



VOLUME 30
No. 2 Juli 2025

ISSN : 2807 - 9418 (Print)

ISSN : 2598 - 2257 (Online)

JURNAL

TEKNIK SIPIL

DAN ARSITEKTUR

KINERJA AKUSTIK DAN TERMAL DINDING BATA GEOPOLYMER CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (GCLC)

Abito Bamban Yuuwono, Febrione Putri Rakhmanti, Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono

KRITERIA DESAIN RUANG TERBUKA UNTUK OPTIMALISASI INTERAKSI SOSIAL DAN PERFORMA BISNIS DI PUSAT KULINER

Aliviana Demami, Nindya Alun Caesania

MORFOLOGI PERMUKIMAN MULTINETNIK DI KAMPUNG PURWODINATAN SEMARANG: INTEGRASI BUDAYA DALAM RUANG ARSITEKTUR

Anityas Dian Susanti, Taufiq Rizza Nuzuluddin, Sharfina Bella P.W

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK LDPE PADA CAMPURAN ASPAL BETON MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI PG 70

Syahrizal Abdullah Razak, Nurani Hartatik2, Hariani, I Gede Agus Punarta

PENAMBAHAN LIMBAH SPONS SANDAL EVA TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL MODIFIKASI PG 70 PADA CAMPURAN ASPAL BETON

Raihan Bryne Firdaus Al Machrus, Aditya Rizkiardi, Nurani Hartatik, Siska Yovina Ervitasisari, I Gede Agus Punarta

POTENSI LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG SEBAGAI FILLER ALTERNATIF PADA CAMPURAN ASPAL BETON

Satria Pradana, Nurani Hartatik, Alif Setyo Ismoyo, I Gede Agus Punarta

POTENSI ABU KERTAS FOOD GRADE SEBAGAI ALTERNATIF FILLER CAMPURAN ASPAL PANAS PENGUJIAN FISIK DAN KIMIA

Amar Ardiansyah, Aditya Rizkiardi, Nurani Hartatik, Yudi D Prasetyo, I Gede Agus Punarta

PENGUNAAN ABU KERTAS KARTON SEBAGAI PENGANTI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL

Isfak Ibnu Ahmad, Aditya Rizkiardi, Nurani Hartatik, Siti Sekar Gondoarum, I Gede Agus Punarta

ANALISIS KECELAKAAN DI JALAN RAYA NGANJUK-MADIUN DENGAN METODE ANGKA EKIVALEN KECELAKAAN DAN UPPER CONTROL LIMIT

Hanifa Nur A'in, RA Dinasty Purnomoasri, Gatot Nursetyo

ANALISIS KEBUTUHAN LIFT GEDUNG MERAH YAYASAN MABAD'UL IHSAN BERDASARKAN SNI: 03-6573-2001

Rayhan Darrel Nafari, Rahayu Pradita, Wahyu Naris Wari, Megalita Rodyani, Wahyu Satyaning Budhi

PERAN RUANG PUBLIK PERKOTAAN DALAM MENDORONG BUDAYA POLITIK INKLUSIF DI KOTA MAKASSAR

Sriany Ersina

KAJIAN PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN CHUTE TERHADAP KECEPATAN DAN JENIS ALIRAN DI SALURAN TERBUKA

Dinia Anggraheni, Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi, Arief El Hakam Tazka, Ikbar Dhalil Haq

PREFERENSI SPASIAL DAN POSTURAL REMAJA DALAM RUANG GAMING NEIGHBORHOOD

Erza Rahma Hajaty, Rizki Hambali, Risky Handayani, Azka Pintra, Dwi Oktyan Waluyo

SEISMIC PERFORMANCE OF A PRIVATE RESIDENCE BUILDING DESIGNED WITH NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS

Caetano José Freitas

EVALUASI RUANG KELAS ANAK USIA DINI DITINJAU DARI ASPEK PSIKOLOGI ARSITEKTUR

Refranisa, M.Arya Sapcahadi, Salsabila Febri

ANALISIS FAKTOR-FAKTOUR YANG MEMPENGARUHI PENCEMARAN SUMBER DAYA AIR DI WILAYAH SUNGAI: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Ade Jaya Saputra, Sri Dewi Lestari, Jody Martin Gingting

EVALUASI TINGKAT KEPUASAN PENGGUNA TERHADAP PROGRAM PAVINGISASI JALAN LINGKUNGAN DI KOTA MADIUN

Ummi Iyyaya, Mochamad Solikin, Dhani Mutiari, Qomarun

PRIORITAS REHABILITASI LUMBUNG AIR DI KABUPATEN PATI DENGAN MULTIPLE ATTRIBUTE DECISION MAKING

Marcio Tahalele, Lintang Jata Angghita

EVALUASI HUJAN BERBASIS SATELIT GPM-IMERG DI WILAYAH SUNGAI HALMAHERA UTARA UNTUK PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR

Ni Made Candra Partarini

PENGARUH KONDISI INFRASTRUKTUR LINGKUNGAN JALAN TERHADAP KESELAMATAN LALU LINTAS ANGKUTAN JALAN: SYSTEMATIC REVIEW

Nurul Fitriani, Naufal Hanif Musyaffa, Adinda Syifa Faryani P.S, Veronika Chintia Dewi, Muhammad Fikri Ananda, Muhammad Adib Masyhuri, Suharyani Cahya Adifari

STUDI EKSPERIMENT KEKUATAN TEKAN MORTAR DENGAN CAMPURAN KAPUR, BUBUKAN BATA MERAH DAN PASIR

Harry Janto Jepira, Jimmy Chandra, Firmus Konstatinus Bhara

ANALISIS DEBIT BANJIR RENCANA BENDUNG TRITIS KABUPATEN SRAGEN

Lidya Ayu Setya Kumala Sari, Paska Wijayanti, Kusdiman Joko Priyanto

ANALISIS HUBUNGAN JUMLAH KECELAKAAN TERHADAP TINGKAT FATALITAS LALU LINTAS DI RUAS JALAN SUDIRMAN KOTA MAUMERE

Alfrendo Satriawan Kabupung, Jimmy Chandra, Yohanes Gualbertus G. Lesu Duran

ANALISIS KERAPUHAN STRUKTUR GEDUNG GSL UNMER MADIUN DENGAN PUSHOVER ANALYSIS

Rosyid Kholidur Rohman, Arif Afrianto, Rendi Gusta Wibowo

ANALISIS BIAYA SIKLUS HIDUP BANGUNAN: STUDI KASUS BIAYA AWAL, OPERASIONAL, DAN PEMELIHARAAN PADA KANTOR DESA NDORUREA 1

Triapriono Kaidu, Jimmy Chandra, Firmus Konstatinus Bhara, Anastasia M.N. Soludale

ANALISIS DEBIT SUNGAI SAMBONG KABUPATEN BATANG DENGAN HEC-RAS

Ikhwanudin, Farida Yudaningrum, Rifka Ahmida Adzkiannisa

KARAKTERISASI KUAT TEKAN BETON AGREGAT LOKAL DENGAN VARIASI SUPERPLASTICIZER PADA UMUR AWAL

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Paska Wijayanti, Erwin aji Prasetyo, Rizal Kurniawan, Wahyu Khoirudin, Daffa Zaidan Alam Izzudin

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAJA BERASAL DARI LIMBAH BAN MOTOR YANG TERBAKAR DAN TIDAK TERBAKAR TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON

Muhammad Taufik, Yudhia Pratidina Pestalozzi, Meilani Belladona

TATA RUANG RUMAH TRADISIONAL DI KECAMATAN BANYUBIRU, KABUPATEN SEMARANG

Agung Wahyudi, Baju Arie Wibawa

ADAPTASI SPASIAL RUMAH PASCA-BENCANA DENGAN STRUKTUR FLEKSIBEL DAN STRUKTUR PERMANEN

Akbar Preambudi, Annisa Oktareangga Dheany

JURNAL

TEKNIK SIPIL DAN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TUNAS PEMBANGUNAN SURAKARTA

Penanggungjawab	: Dr. Tri Hartanto, S.T., Msc.
Pemimpin Umum	: Teguh Yuono, S.T., M.T.
Pemimpin Redaksi	: Ir. Reki Arbianto, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
Anggota Redaksi	: Ir. Kukuh Kurniawan DS, S.T., M.Eng. Paska Wijayanti, S.T., M.Eng. RA Dinasty Purnomoasri, S.T., M.T. (Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret)
Mitra Bestari	: Dr. Ars. Avi Marlina, S.T., M.T. (Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret) Dr. T. Putri Anggi Permata S, S.T., M.T. (Fakultas Teknik Universitas PGRI Semarang)
Pelaksana Teknis	: Awaludin AMZ., A.Md. Rio Kurnia Prasetyo, S.Ds. Chery Ayu Alamanda, S.Pd. Icarisma Anindita, S.T.
Alamat Redaksi	: Jl. Walanda Maramis No.31 Surakarta 57135 Telp. (0271) 853824 - Fax. (0271) 853824

JURNAL

TEKNIK SIPIL DAN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TUNAS PEMBANGUNAN SURAKARTA

DAFTAR ISI

KINERJA AKUSTIK DAN TERMAL DINDING BATA GEOPOLYMER CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (GCLC)	1-8
Abito Bamban Yuuwono, Febrione Putri Rakhmanti, Kukuh Dwi Sungkono	
KRITERIA DESAIN RUANG TERBUKA UNTUK OPTIMALISASI INTERAKSI SOSIAL DAN PERFORMA BISNIS DI PUSAT KULINER	9-16
Aliviana Demami, Nindya Alun Caesania	
MORFOLOGI PERMUKIMAN MULTINETNIK DI KAMPUNG PURWODINATAN SEMARANG: INTEGRASI BUDAYA DALAM RUANG ARSITEKTUR	17-23
Anityas Dian Susanti, Taufiq Rizza Nuzuluddin, Sharfina Bella P.W	
PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK LDPE PADA CAMPURAN ASPAL BETON MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI PG 70	24-32
Syahrizal Abdullah Razak, Nurani Hartatik2, Hariani, I Gede Agus Punarta	
PENAMBAHAN LIMBAH SPONS SANDAL EVA TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL MODIFIKASI PG 70 PADA CAMPURAN ASPAL BETON	33-41
Raihan Bryne Firdaus Al Machrus, Aditya Rizkiardi, Nurani Hartatik, Siska Yovina Ervitasari, I Gede Agus Punarta	
POTENSI LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG SEBAGAI FILLER ALTERNATIF PADA CAMPURAN ASPAL BETON	42-47
Satria Pradana, Nurani Hartatik, Alif Setyo Ismoyo, I Gede Agus Punarta	
POTENSI ABU KERTAS FOOD GRADE SEBAGAI ALTERNATIF FILLER CAMPURAN ASPAL PANAS PENGUJIAN FISIK DAN KIMIA	48-53
Amar Ardiansyah, Aditiya Rizkiardi, Nurani Hartatik, Yudi D Prasetyo, I Gede Agus Punarta	
PENGGUNAAN ABU KERTAS KARTON SEBAGAI PENGANTI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL	54-59
Isfak Ibnu Ahmad, Aditya Rizkiardi, Nurani Hartatik, Siti Sekar Gondoarum, I Gede Agus Punarta	
ANALISIS KECELAKAAN DI JALAN RAYA NGANJUK-MADIUN DENGAN METODE ANGKA EKIVALEN KECELAKAAN DAN UPPER CONTROL LIMIT	60-68
Hanifa Nur A`ini, RA Dinasty Purnomoasri, Gatot Nursetyo	
ANALISIS KEBUTUHAN LIFT GEDUNG MERAH YAYASAN MABADI'UL IHSAN BERDASARKAN SNI: 03-6573-2001	69-76
Rayhan Darrel Nafari, Rahayu Pradita, Wahyu Naris Wari , Megalita Rodiyani, Wahyu Satyaning Budhi	
PERAN RUANG PUBLIK PERKOTAAN DALAM MENDORONG BUDAYA POLITIK INKLUSIF DI KOTA MAKASSAR	77-83
Sriany Ersina	
KAJIAN PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN CHUTE TERHADAP KECEPATAN DAN JENIS ALIRAN DI SALURAN TERBUKA	84-91
Dinia Anggraheni, Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi, Arief El Hakam Tazka, Ikbar Dlialul Haq	

PREFERENSI SPASIAL DAN POSTURAL REMAJA DALAM RUANG GAMING NEIGHBORHOOD Erza Rahma Hajaty, Rizki Hambali, Risky Handayani, Azka Pintra, Dwi Oktyan Waluyo	92-103
SEISMIC PERFORMANCE OF A PRIVATE RESIDENCE BUILDING DESIGNED WITH NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS Caetano José Freitas	104-111
EVALUASI RUANG KELAS ANAK USIA DINI DITINJAU DARI ASPEK PSIKOLOGI ARSITEKTUR Refranisa, M.Arya Sapcahadi, Salsabila Febri	112-118
ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENCEMARAN SUMBER DAYA AIR DI WILAYAH SUNGAI: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW Ade Jaya Saputra, Sri Dewi Lestari, Jody Martin Ginting	119-127
EVALUASI TINGKAT KEPUASAN PENGGUNA TERHADAP PROGRAM PAVINGISASI JALAN LINGKUNGAN DI KOTA MADIUN Ummi Iyyaya, Mochamad Solikin, Dhani Mutiari, Qomarun	128-135
PRIORITAS REHABILITASI LUMBUNG AIR DI KABUPATEN PATI DENGAN MULTIPLE ATTRIBUTE DECISION MAKING Marcio Tahalele, Lintang Jata Angghita	136-142
EVALUASI HUJAN BERBASIS SATELIT GPM-IMERG DI WILAYAH SUNGAI HALMAHERA UTARA UNTUK PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR Ni Made Candra Partarini	143-149
PENGARUH KONDISI INFRASTRUKTUR LINGKUNGAN JALAN TERHADAP KESELAMATAN LALU LINTAS ANGKUTAN JALAN: SYSTEMATIC REVIEW Nurul Fitriani, Naufal Hanif Musyaffa, Adinda Syifa Faryani P.S, Veronika Chintia Dewi, Muhammad Fikri Ananda, Muhammad Adib Masyhuri, Suharyani Cahya Adifriarti	150-160
STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN TEKAN MORTAR DENGAN CAMPURAN KAPUR, BUBUKAN BATA MERAH DAN PASIR Harry Janto Jepira, Jimmy Chandra, Firnimus Konstatinus Bhara	161-166
ANALISIS DEBIT BANJIR RENCANA BENDUNG TRITIS KABUPATEN SRAGEN Lidya Ayu Setya Kumala Sari, Paska Wijayanti, Kusdiman Joko Priyanto	167-176
ANALISIS HUBUNGAN JUMLAH KECELAKAAN TERHADAP TINGKAT FATALITAS LALU LINTAS DI RUAS JALAN SUDIRMAN KOTA MAUMERE Alfrendo Satriawan Kabupung, Jimmy Chandra, Yohanes Gualbertus G. Lesu Duran	177-183
ANALISIS KERAPUHAN STRUKTUR GEDUNG GSL UNMER MADIUN DENGAN PUSHOVER ANALYSIS Rosyid Kholilur Rohman, Arif Afrianto, Rendi Gusta Wibowo	184-191
ANALISIS BIAYA SIKLUS HIDUP BANGUNAN: STUDI KASUS BIAYA AWAL, OPERASIONAL, DAN PEMELIHARAAN PADA KANTOR DESA NDORUREA 1 Triapriono Kaidu, Jimmy Chandra, Firnimus Konstatinus Bhara, Anastasia M.N. Soludale	192-196
ANALISIS DEBIT SUNGAI SAMBONG KABUPATEN BATANG DENGAN HEC-RAS Ikhwanudin, Farida Yudaningrum, Rifka Ahmida Adzkiannisa	197-202
KARAKTERISASI KUAT TEKAN BETON AGREGAT LOKAL DENGAN VARIASI SUPERPLASTICIZER PADA UMUR AWAL Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Paska Wijayanti, Erwin aji Prasetyo, Rizal Kurniawan, Wahyu Khoirudin, Daffa Zaidan Alam Izzudin	203-208

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAJA BERASAL DARI LIMBAH BAN MOTOR YANG TERBAKAR DAN TIDAK TERBAKAR TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON	209-218
Muhammad Taufik, Yudhia Pratidina Pestalozzi, Meilani Belladona	
TATA RUANG RUMAH TRADISIONAL DI KECAMATAN BANYUBIRU, KABUPATEN SEMARANG	219-228
Muhammad Agung Wahyudi, Baju Arie Wibawa	
ADAPTASI SPASIAL RUMAH PASCA-BENCANA DENGAN STRUKTUR FLEKSIBEL DAN STRUKTUR PERMANEN	229-235
Akbar Preambudi, Annisa Oktareangga Dheany	

KINERJA AKUSTIK DAN TERMAL DINDING BATA GEOPOLYMER CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (GCLC)

***Abito Bamban Yuuwono¹, Febrione Putri Rakhmatty², Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono³**

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta (UTP), Surakarta

*) Email: bamban.yuuwono@gmail.com

ABSTRACT

The rapid growth of the construction industry in Indonesia has led to a surge in cement production, a process that is energy-intensive and releases significant amounts of CO₂. To mitigate the environmental impact of cement, geopolymers have emerged as a sustainable alternative. Given their role as spatial dividers, walls play a crucial role in a building's thermal and acoustic performance. Effective thermal performance can reduce the energy consumption required for air conditioning, while good acoustic performance enhances occupant comfort. This study compared the thermal and acoustic performance of lightweight concrete bricks (using cement as the primary material) with geopolymers (utilizing fly ash). Two simulated rooms with distinct wall materials were constructed, and their temperature and acoustic properties were simultaneously measured. The thermal testing revealed that geopolymers exhibited superior acoustic performance compared to lightweight bricks. Acoustic testing indicated that both brick types performed well acoustically. However, the acoustic performance of lightweight bricks peaked in hot weather, while geopolymers demonstrated better acoustic performance at lower temperatures.

Keyword: Geopolymer; CLC; Thermal; Acoustic.

ABSTRAK

Pembangunan konstruksi di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat pesat, hal ini berpengaruh pada meningkatnya produksi semen yang memerlukan banyak energi dan melepaskan CO₂ dalam jumlah besar. Dalam upaya mengurangi dampak semen terhadap lingkungan, material geopolimer menjadi alternatif ramah lingkungan. Dinding yang memiliki fungsi sebagai pembatas antar ruang pada bangunan juga memiliki peran yang penting pada kinerja termal dan akustik bangunan. Kinerja termal yang baik pada bangunan dapat mengurangi konsumsi listrik yang digunakan untuk penghawaan buatan, sementara kinerja akustik yang baik dapat meningkatkan kenyamanan penghuni. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan kinerja termal dan akustik antara bata ringan berbahan utama semen dengan bata geopolimer yang memanfaatkan abu sisa pembakaran sebagai bahan penyusunnya. Penelitian dilakukan dengan membuat dua ruang simulasi dengan material dinding yang berbeda kemudian diukur temperatur dan kinerja akustiknya secara simultan. Dari hasil pengujian termal disimpulkan bahwa bata geopolimer memiliki kinerja akustik yang lebih baik dibandingkan dengan bata ringan, sedangkan hasil pengujian akustik menunjukkan bahwa kedua jenis bata memiliki kinerja akustik yang baik. Kinerja akustik bata ringan akan maksimal pada cuaca panas, sedangkan kinerja akustik bata geopolimer justru lebih baik pada suhu lebih rendah.

Kata kunci: Geopolimer; CLC; Termal; Akustik.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan konstruksi di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat pesat, dan pertumbuhan penduduk menjadi salah satu pendorong pembangunan. Pertumbuhan penduduk diiringi dengan kebutuhan ketersediaan tempat tinggal yang layak dan memenuhi aspek teknis. Hal ini berpengaruh pada meningkatnya kebutuhan material konstruksi bangunan dan mendorong pemenuhan bahan-bahan lainnya. Salah satu bahan bangunan yang memiliki porsi besar dalam konstruksi adalah semen. Produksi semen memerlukan banyak energi dan melepaskan CO₂ dalam jumlah besar, sehingga berdampak buruk terhadap lingkungan [9] [15].

Dalam upaya mengurangi dampak semen terhadap lingkungan, material geopolimer menjadi alternatif ramah lingkungan dibandingkan semen Portland Biasa (OPC). Beton geopolimer (GPC) dikategorikan sebagai pengikat yang diaktifkan alkali, dan produksinya memerlukan dua kelompok bahan penting yang kaya akan alumina dan silika, dan alkali pengaktif untuk bahan tersebut.

Reaksi polimerisasi, sumber umum untuk sintesis geopolimer meliputi kaolinit, abu terbang, abu sekam padi, terak, dan asap silika [3]. Geopolimer membutuhkan energi sekitar 60% lebih sedikit untuk pembuatannya jika dibandingkan dengan OPC dan menunjukkan perilaku mekanik, fisik, kimia dan termal yang sangat baik [15] [12]. Pembuatan beton geopolimer berbasis fly ash tipe C (tinggi kalsium) dapat dilakukan pada temperatur ruangan dan menghasilkan kuat tekan sebanding beton dari proses hidrasi semen [4].

Dinding yang memiliki fungsi sebagai pembatas antar ruang pada bangunan juga memiliki peran yang penting pada kinerja termal dan akustik bangunan. Kinerja termal pada suatu bangunan yang tinggi diharapkan dapat mengurangi konsumsi energi (listrik) untuk pendinginan ruangan [11] [7] [8]. Begitu juga pada kinerja akustik yang tinggi pada ruangan mampu meningkatkan kualitas ruangan bagi penghuni untuk tidak terganggu akibat

polusi suara. Sifat termal bangunan dipengaruhi oleh material yang digunakan pada dinding. Konduktivitas termal setiap material dinding diukur berdasarkan kemampuan material dalam menyerap dan mengalirkan panas [14]. Sebagai contoh bata beton, panel, bata tanah liat dan lain-lain, yang digunakan sebagai bahan dinding memiliki sifat termal berbeda sesuai dengan kepadatan dari material. Studi kenyamanan termal melalui simulasi model computer pada material batako, bata dan bata ringan menunjukkan karakteristik termal yang tidak berbeda jauh, dibandingkan dinding menggunakan kayu yang mudah menyerap panas [2].

Pemanfaatan bata ringan sebagai material dinding, memiliki beberapa keuntungan dari segi biaya, efektifitas pekerjaan dan pengaruh pada struktur utama bangunan [6]. Dengan dimensi yang lebih besar dan ringan, dinding bata ringan memiliki kemudahan pada pemasangan sehingga pembuatan dinding dilakukan dengan cepat serta menurunkan biaya pekerjaan pasangan dinding. Karena memiliki berat yang ringan dan kekuatan yang sama dengan batu bata tanah liat, maka elemen struktur bangunan yang menggunakan bata ringan lebih memiliki ukuran atau dimensi yang lebih optimal [13].

Penelitian ini memiliki urgensi pada penggunaan material konstruksi khususnya bata ringan untuk dinding yang ramah lingkungan dan memiliki sifat termal lebih unggul. Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC) mampu mendukung pembangunan gedung bertingkat dan perumahan pada proyek Ibu Kota Negara di pulau Kalimantan yang memiliki suhu udara yang cukup panas dan diharapkan penggunaan GCLC mampu mengurangi penggunaan energi untuk pendingin ruangan.

Berdasarkan hal diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah (1)Bagaimana kinerja termal dinding Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC); (2)Bagaimana kinerja akustik Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC); (3)Bagaimana teknik pembuatan Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC).

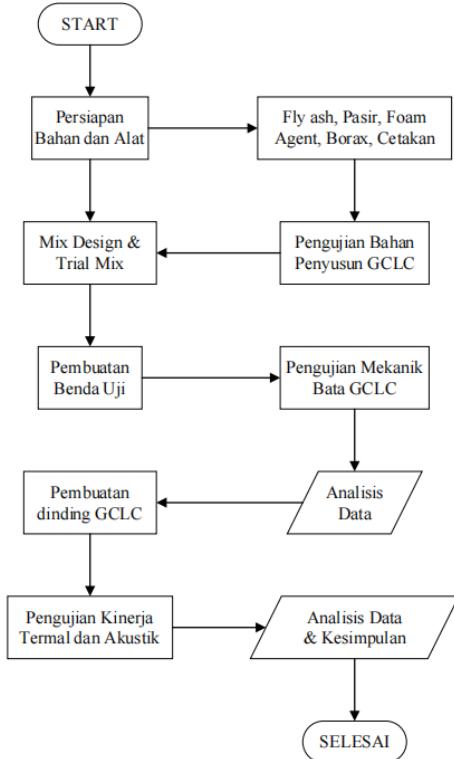
2. METODE

Eksperimen dilakukan dengan tahapan berikut:

- Tahap 1: pengujian sifat bahan penyusun Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC). Pengujian sifat bahan penyusun geopolimter yaitu fly ash, pasir dan foam. Sifat bahan penyusun ini nantinya digunakan dalam penentuan rancangan campuran GCLC.
- Tahap 2: pengujian fisis dan mekanik GCLC dilakukan dengan pengujian kuat tekan. Pembuatan benda uji dinding dilakukan dengan menggunakan variabel GCLC yang memiliki kuat tekan tertinggi dan ringan. Pembuatan benda uji dinding dilakukan dengan menggunakan variabel GCLC yang memiliki kuat tekan tertinggi dan ringan.

Penelitian ini meninjau beberapa aspek, yaitu kuat tekan, kinerja termal dan akustik. Untuk mendapatkan hasil yang optimal maka dibuat beberapa variasi sebagai berikut:

- Variasi bebas, yaitu prosentase foam agent.
- Variasi terikat, yaitu pengujian kuat tekan, kinerja termal dan kinerja akustik.



Gambar 1. Bagan Alir Rencana Penelitian

Tahapan pembuatan, perawatan dan pengujian

a. Pembuatan

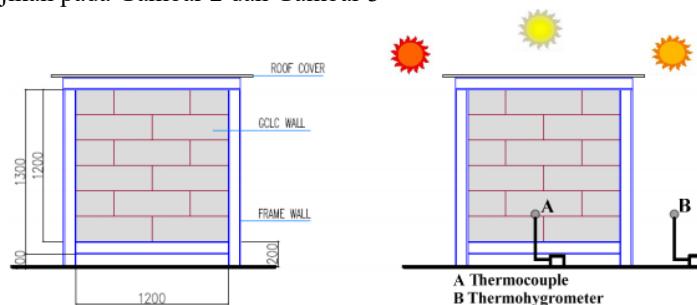
- 1) Pasir disiapkan dengan cara menyaring lolos saringan no.4,8.
- 2) Menimbang bahan-bahan yang diperlukan.
- 3) Mencampurkan larutan alkali (sodium hidroksida dan sodium silikat) dengan borax.
- 4) Mencampurkan pasir dan fly ash, lalu di aduk.
- 5) Menambahkan larutan alkali kedalam campuran.
- 6) Menambahkan foam agent yang telah diproses menjadi busa.
- 7) Aduk sampai homogen.
- 8) Cetak adukan kedalam kubus beton dan cetakan batu.

b. Perawatan

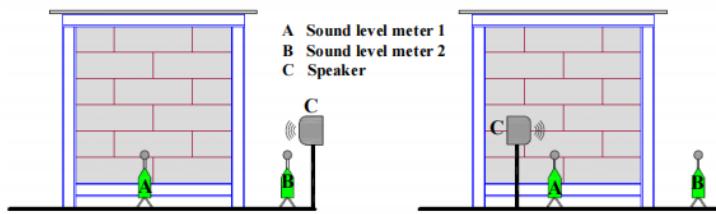
Perawatan benda uji GCLC dilakukan dengan cara disimpan dalam ruangan dan ditutup dengan plastik.

c. Pembuatan dan pengujian benda uji dinding GCLC.

- 1) Siapkan frame support dinding.
- 2) Pasang batu GCLC sesuai setting pengujian kinerja akustik dan termal. Setting benda uji dinding disajikan pada Gambar 2.
- 3) Pengujian kinerja termal dan akustik dilakukan dengan interval waktu setiap 2 jam (07.00 – 17.00).
- 4) Pengujian kinerja termal dan akustik dicatat pada semua kondisi cuaca (hujan dan panas). Pengujian termal dan akustik disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3



Gambar 2. Setting Pengujian Termal



Gambar 3. Setting Pengujian Akustik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kinerja Termal

Kinerja termal diukur melalui pembacaan grafik hasil komparasi pengukuran benda uji melalui 3 instrumen sebagai berikut:

1) *Time Lage (Laju perambatan panas)*

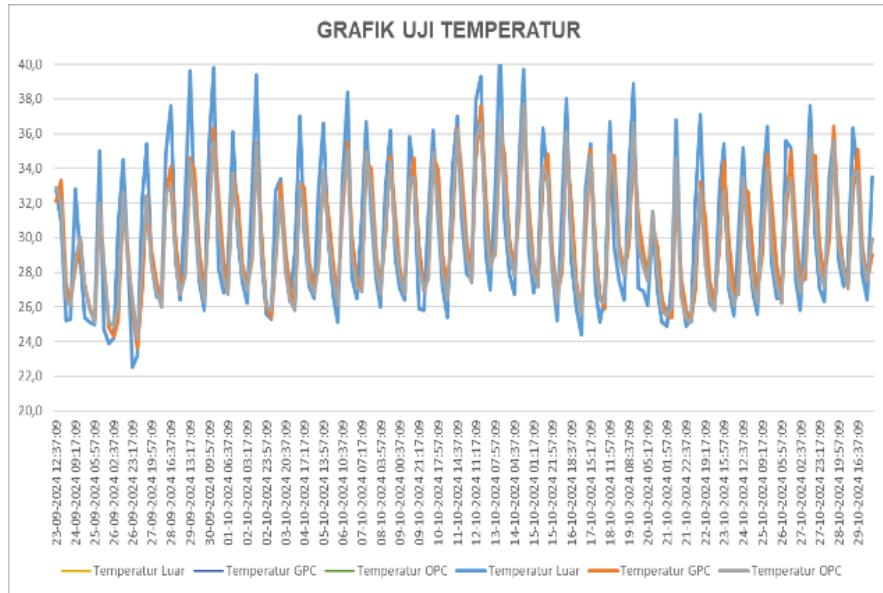
Diukur berdasarkan lama waktu yang dibutuhkan untuk proses perambatan panas dari sisi luar dinding hingga sisi dalam dinding benda uji. Berdasarkan Grafik Uji Temperatur terlihat bahwa baik dinding bata geopolimer maupun dinding bata ringan secara konsisten memiliki time lage dan karakteristik perambatan panas yang hampir sama dimana pola pemanasan yang hamper mirip dimana mulai pukul 06.00 – 14.00 temperatur sisi luar dinding benda uji dan temperatur sisi dalam dinding benda uji mengalami peningkatan temperatur secara bertahap sesuai peningkatan paparan pemanasan dari sinar matahari sehingga tercapai temperatur sisi dalam dan sisi luar dinding benda uji dengan tingkat suhu yang sama yang rata-rata dicapai antara pukul 13:00 – 14:00 (setelah paparan pemanasan sinar matahari selama 6 - 7 jam)

2) **Kemampuan menahan panas**

Adalah seberapa besar kemampuan dinding untuk menahan panas dari luar bangunan ke dalam bangunan. Berdasarkan Grafik Uji Temperatur terlihat pada tahap dimulainya pemanasan dari sinar matahari mulai jam 06:00 – 14:00 temperatur lingkungan luar benda uji berangsur naik sementara temperatur dalam ruang benda uji dinding geopolimer maupun benda uji dinding bata ringan biasa secara konsisten sama-sama mengalami kenaikan temperatur, namun jika dicermati lebih detail maka kenaikan temperatur pada benda uji dinding bata geopolimer terjadi lebih lambat jika dibandingkan pada kenaikan temperatur ruang pada benda uji dinding bata ringan biasa, hal ini menunjukan bahwa kemampuan menahan panas dinding bata geopolimer lebih baik jika dibandingkan dinding bata ringan biasa.

3) **Kemampuan melepas panas**

Adalah kemampuan dinding dalam menahan pelepasan panas dari dalam bangunan ke luar bangunan. Berdasarkan Grafik Uji Temperatur terlihat mulai pukul 16.00 – 06.00 terjadi penurunan temperatur ruang luar secara berangsur hingga malam & pagi hari hal ini diikuti dengan penurunan temperatur dalam benda uji dinding bata geopolimer maupun benda uji dinding bata ringan biasa namun terdapat inkonsistensi dimana pada hari-hari awal pengujian temperatur ruang pada benda uji dinding bata geopolimer sedikit lebih rendah dibanding temperatur ruang pada benda uji dinding bata ringan biasa, namun memasuki minggu ke 2-4 temperatur ruang pada benda uji dinding bata geopolimer cenderung sedikit lebih tinggi dibanding temperatur ruang pada benda uji dinding bata ringan biasa, hal ini menunjukan bahwa dinding bata ringan biasa memiliki kinerja dalam melepas panas secara lebih baik dibanding dinding bata geopolimer meskipun selisihnya sangat kecil, dengan adanya perubahan kinerja pelepasan panas dari minggu 1 ke minggu ke 2 - 4 ini maka diperlukan pengujian lebih lanjut terkait kinerja pelepasan panas dinding bata geopolimer berdasarkan durasi waktu pengujian yang lebih lama.



Gambar 4. Grafik Uji Temperatur

b. Kinerja Akustik

Kinerja akustik diukur berdasarkan kemampuan dinding dalam menurunkan intensitas suara (mengisolasi suara). Berdasarkan data pengukuran di Tabel Pengukuran Akustik dan Grafik Pengukuran Akustik didapatkan bahwa baik bata geopolimer maupun bata ringan sama-sama mampu menurunkan intensitas suara dengan baik, dengan tingkat penurunan dari sumber suara rata-rata sekitar 100 DB menjadi rata-rata sebesar 78 DB, dengan rata-rata penurunan intensitas suara dari sumber adalah 22 DB. Hal ini berarti baik dinding bata geopolimer maupun dinding bata ringan memiliki tingkat penyerapan suara yang baik.

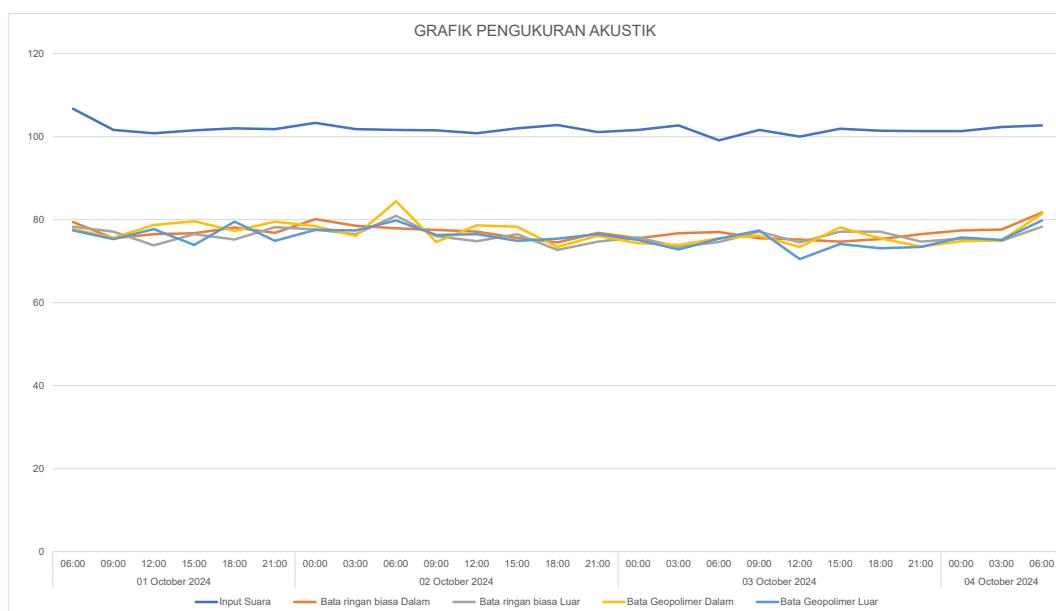
Tabel 1. Hasil Uji Akustik

Tanggal	Jam	Input Suara	Bata Ringan Dalam	Biasa Luar	Bata Geopolimer Dalam	Luar
01 Oktober 2024	06:00	106,7	79,4	78,3	77,7	77,4
	09:00	101,6	75,5	77,1	75,6	75,3
	12:00	100,8	76,5	73,8	78,7	77,7
	15:00	101,5	76,7	76,5	79,6	73,9
	18:00	102	78,1	75,2	77,3	79,5
	21:00	101,8	76,8	78,2	79,5	74,9
02 Oktober 2024	00:00	103,3	80,1	77,6	78,4	77,5
	03:00	101,8	78,5	76,5	76,1	77,4
	06:00	101,6	77,9	80,9	84,4	79,8
	09:00	101,5	77,5	76	74,6	76,3
	12:00	100,8	77,1	74,8	78,6	76,5
	15:00	102	75,6	76,5	78,3	74,9
	18:00	102,8	74,5	72,7	73,4	75,4
	21:00	101,1	76,8	74,7	76,1	76,5
	00:00	101,6	75,5	75,7	74,3	75,1
03 Oktober 2024	03:00	102,7	76,7	73,4	73,9	72,8
	06:00	99,1	77	74,6	75,5	75,4
	09:00	101,6	75,5	77,1	76,1	77,4
	12:00	100	75,2	74,5	73,4	70,5
	15:00	101,9	74,7	77,1	78,1	74,1
	18:00	101,4	75,3	77,1	75,5	73,1
	21:00	101,3	76,5	74,7	73,5	73,4
	00:00	101,3	77,4	75,4	74,8	75,7
	03:00	102,3	77,6	74,9	75	75,1
04 Oktober 2024	06:00	102,7	81,7	78,3	81,4	79,8

(Sumber: Analisa Peneliti, 2024)

Apabila dicermati lebih dalam hasil pengukuran pada kedua benda uji dan komparasikan secara langsung maka kinerja akustik geopolimer cenderung bekerja lebih baik pada waktu sore, malam, hingga pagi hari dimana mampu menurunkan intensitas suara dari dalam ruangan dan luar ruangan terbesar 5.5 DB dan penurunan terendah 0.1 DB, sementara kinerja dinding bata ringan biasa memiliki kecenderungan kinerja akustik yang lebih baik pada saat siang hari, dimana penurunan intensitas suara tertinggi sebesar 3.4 DB dan penurunan intensitas suara terendah sebesar 0.2 DB.

Berdasarkan Grafik Pengukuran Akustik terlihat bahwa pada saat cuaca dingin, dinding geopolimer memiliki kecenderungan kinerja akustik yang lebih baik di bandingkan dinding bata ringan biasa, namun pada saat cuaca panas dinding bata ringan biasa memiliki kecenderungan kinerja akustik yang lebih baik dibandingkan dinding bata geopolimer, sehingga perlu diteliti lebih lanjut pengaruh temperatur terhadap kinerja akustik bata geopolimer.



Gambar 5. Grafik Uji Temperatur

4. KESIMPULAN

a. Kinerja Termal

- *Time Lage/ proses perambatan panas pada dinding bata geopolimer sedikit lebih lambat (lebih baik) jika dibandingkan dengan time lage dinding bata ringan biasa meskipun perbedaannya tidak signifikan, hal ini terlihat secara konsisten pada grafik hasil uji pengukuran dimana mulai pukul 06:00 – 14:00 sisi dalam dinding bata geopolimer memiliki rata-rata temperatur yang lebih rendah dibandingkan sisi dalam dinding bata ringan biasa.*
 - Kemampuan menahan panas dinding bata geopolimer lebih baik. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik Pengukuran Temperatur, dimana penurunan temperatur dalam benda uji yang menunjukkan konsistensi selalu lebih rendah daripada temperatur luar ruangan dimana selisih temperatur terbesar adalah 5.2°C lebih rendah daripada temperatur luar ruangan, sedangkan penurunan temperatur pada dinding bata ringan terbesar adalah 4.4°C .
 - Kemampuan penurunan temperatur dinding geopolimer secara konsisten lebih baik dibandingkan dinding bata ringan biasa hal ini terlihat pada Gambar 4. Grafik Pengukuran Temperatur. Diperoleh hasil pada saat temperatur luar ruangan mencapai titik tertinggi maka penurunan temperatur pada benda uji dinding geopolimer 0.8 derajat lebih rendah (lebih baik) jika dibandingkan penurunan temperatur pada dinding bata ringan biasa.
 - Kemampuan pelepasan panas dinding bata Geopolimer pada minggu pertama pengujian sedikit lebih baik dibandingkan dinding bata ringan biasa hal ini terlihat pada grafik dimana Pada saat tejadinya puncak akumulasi pemanasan antara pukul 13:00-15:00 kemudian berangsur menurun mulai pukul 16:00-06:00

maka tingkat temperatur pada kedua benda uji berubah menjadi proses pelepasan panas hal ini ditandai dengan proses penurunan temperatur luar ruangan yang terus menurun secara berangsur, dimana pada temperatur ruang luar terendah 22.5°C maka temperatur terendah pada benda uji dinding bata geopolimer mencapai 23.6°C sementara tempertur terendah pada benda uji dinding bata ringan sebesar 24.1°C , namun setelah proses pengujian memasuki minggu ke-2 hingga minggu ke-4 kemampuan pelepasan panas menjadi berubah ubah dimana dinding bata ringan biasa kadang-kadang memiliki kinerja pelepasan panas yang lebih baik dibandingkan dinding bata geopolimer dimana kondisi ini sering berubah-ubah saling bergantian, sehingga perlu diteliti lebih lanjut terkait durasi waktu pengujian dan kelembaban lingkungan terhadap kinerja pelepasan panas dinding bata geopolimer.

- Pada minggu 1 pengujian kemampuan pelepasan panas dinding geopolimer rata-rata sekitar 0.5° lebih baik daripada dinding bata ringan biasa. Hal ini terlihat pada Gambar 4. Grafik Pengukuran Temperatur, saat kondisi temperatur luar ruangan mencapai titik terendah, namun pada minggu ke-2 hingga minggu ke-4 terjadi inkonsistensi kemampuan pelepasan panas dimana antara ke dua benda uji saling bergantian memiliki kinerja yang lebih baik.

b. **Kinerja Akustik**

Melihat hasil penurunan intensitas suara antara bata ringan dengan geopolimer dapat disimpulkan bahwa keduanya memiliki tingkat penyerapan suara yang sama baiknya. Kinerja akustik bata ringan cenderung lebih baik pada saat cuaca panas, sedangkan kinerja akustik bata geopolimer justru lebih baik pada saat cuaca dingin. Variabel baru ini dapat menjadi pembahasan baru dalam penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Kemendikbudristek melalui LPPM Universitas Tunas Pembangunan Surakarta sebagai penyandang dana penelitian berdasarkan surat kontrak penelitian nomor 005/PK-P/E.1/LPPM-UTP/VI/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrew, R. M. (2018). Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, 1928–2017. *Earth System Science Data*, 10(4), 2213–2239. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2213-2018>
- [2] Ayuningtyas, N. V., & Suryabrata, J. A. (2019). Analisis material dinding yang berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan termal bangunan; studi kasus bangunan rumah tinggal desain dari Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum. *JURNAL ARSITEKTUR PENDAPA*, 2(1), 11–19. <https://doi.org/10.37631/pendapa.v2i1.64>
- [3] Chithambar Ganesh, A., & M. Muthukannan, Dr. (2018). A review of recent developments in geopolymers concrete. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.5), 696. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.5.25061>
- [4] Cornelis, R., Priyosulistyo, H., Satyarno, I., & Rochmadi. (2018). The Investigation on Setting Time and Strength of High Calcium Fly Ash Based Geopolymer. *Applied Mechanics and Materials*, 881, 158–164. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.881.158>
- [5] Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications* (Vol. 171).
- [6] Eppendie, A., & Kushartomo, W. (2023). ANALISIS EFEKTIFITAS PENGGUNAAN BATA RINGAN SEBAGAI PENGGANTI BATA MERAH PADA KONSTRUKSI GEDUNG BERTINGKAT. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 595–600. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.23033>
- [7] Ismaiel, M., Chen, Y., Cruz-Noguez, C., & Hagel, M. (2021). Thermal resistance of masonry walls: a literature review on influence factors, evaluation, and improvement. *Journal of Building Physics*, 45(4), 528–567. <https://doi.org/10.1177/17442591211009549>
- [8] Karsono, D., Bamban Yuwono, A., & Kurniawan, K. D. (n.d.). *International journal of sustainable building, infrastructure and environment Thermal Conductivity of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB) Different Rate Percentage of Binder Use*.
- [9] Manzoor, T., Bhat, J. A., & Shah, A. H. (2024). Performance of geopolymers concrete at elevated temperature – A critical review. *Construction and Building Materials*, 420, 135578. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135578>

- [10] Nath, P., & Sarker, P. K. (2014). Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymers cured in ambient condition. *Construction and Building Materials*, 66, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080>
- [11] Rathore, P. K. S., Gupta, N. K., Yadav, D., Shukla, S. K., & Kaul, S. (2022). Thermal performance of the building envelope integrated with phase change material for thermal energy storage: an updated review. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103690. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103690>
- [12] Sungkono, K. K. D., Satyarno, I., Priyosulistyo, H., & Perdana, I. (2023). Corrosion Resistance of High Calcium Fly Ash Based Reinforced Geopolymer Concrete in Marine Environment. *Civil Engineering and Architecture*, 11(5A), 3175–3189. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110827>
- [13] Sutama, A., & Irawan, T. (2024). PENGARUH PENGGUNAAN BATA RINGAN DAN BATA MERAH TERHADAP BANGUNAN BERTINGKAT 2 LANTAI. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 95–99. <https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v13i2.1077>
- [14] Vijayan, D. S., Mohan, A., Revathy, J., Parthiban, D., & Varatharajan, R. (2021). Evaluation of the impact of thermal performance on various building bricks and blocks: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101577. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101577>
- [15] Yuuwono, A. B., & Sungkono, K. K. D. (2024). KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH KELAS C DENGAN PENAMBAHAN BORAKS. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 29(1), 17–23. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i1.2895>

KRITERIA DESAIN RUANG TERBUKA UNTUK OPTIMALISASI INTERAKSI SOSIAL DAN PERFORMA BISNIS DI PUSAT KULINER

***Aliviana Demami¹, Nindya Alun Caesania²**

^{1,2}Program Studi Arsitektur, Institut Teknologi Indonesia, Tangerang

^{*}Email: alivianademami@gmail.com

ABSTRACT

Open spaces play a crucial role in creating culinary centers that are not only visually appealing but also support social interaction and optimal business performance. This research aims to identify effective open space design criteria for enhancing social interaction and business performance in culinary centers. The research method employs a qualitative descriptive approach with a comparative case study method. Data collection was conducted through field observations, visual documentation, and literature and online media reviews. The main findings of this research reveal that an ideal open space design must consider elements such as flexible layouts, comfortable and interaction-supportive furniture, lighting that creates a warm atmosphere, and cleanliness. These design criteria have proven to have a significant impact on increasing social interaction among visitors and enhancing the attractiveness of culinary centers for business actors. The implications of this research provide valuable insights for developers and managers of culinary centers in creating open spaces that are not only functional but also capable of improving the visitor experience and supporting business growth.

Keyword: *Open space, Culinary center, Social interaction, Business performance*

ABSTRAK

Ruang terbuka memiliki peran krusial dalam menciptakan pusat kuliner yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga mendukung interaksi sosial dan kinerja bisnis yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kriteria desain ruang terbuka yang efektif dalam meningkatkan interaksi sosial dan performa bisnis di pusat kuliner. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi kasus komparatif. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi visual, serta kajian literatur dan media daring. Temuan utama penelitian ini mengungkapkan bahwa desain ruang terbuka yang ideal harus mempertimbangkan elemen-elemen seperti tata letak yang fleksibel, furnitur yang nyaman dan mendukung interaksi, pencahayaan yang menciptakan atmosfer hangat, serta kebersihan. Kriteria desain ini terbukti memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan interaksi sosial antar pengunjung dan peningkatan daya tarik pusat kuliner bagi pelaku bisnis. Implikasi dari penelitian ini memberikan wawasan berharga bagi pengembang dan pengelola pusat kuliner dalam menciptakan ruang terbuka yang tidak hanya fungsional, tetapi juga mampu meningkatkan pengalaman pengunjung dan mendukung pertumbuhan bisnis.

Kata kunci: Ruang terbuka, Pusat kuliner, Interaksi sosial, Performa bisnis

1. PENDAHULUAN

Pusat kuliner telah berkembang lebih dari sekadar tempat untuk menikmati makanan dan minuman [1]. Pada masa kini, pusat kuliner telah berubah menjadi ruang publik yang berfungsi sebagai tempat bersosialisasi dan juga menjadi wadah mengekspresikan suatu budaya serta sebagai alat penggerak ekonomi daerah [2]. Pusat kuliner tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan dasar pangan, tetapi juga menawarkan pengalaman interaksi, rekreasi, dan identitas komunitas. Pusat kuliner sebagai area komersial menjadi tempat berbagai pelaku usaha. Mulai dari pedagang kaki lima hingga restoran mewah sehingga dapat menciptakan ekosistem bisnis yang dinamis dan berkontribusi signifikan terhadap pendapatan daerah serta penciptaan lapangan kerja.

Ketersediaan ruang terbuka pada pusat kuliner memainkan peranan penting dalam meningkatkan daya tarik dan keberhasilannya. Ruang terbuka seperti area tempat duduk outdoor, taman, atau jalur pejalan kaki, tidak hanya memberikan estetika visual dan kenyamanan fisik tetapi juga memfasilitasi interaksi sosial antar pengunjung. Ruang terbuka yang dirancang dengan seksama dapat menarik orang untuk berkumpul, bersantai, serta berinteraksi sehingga memperkuat rasa kebersamaan dan menciptakan atmosfer yang lebih hidup. [3]

Ruang terbuka yang menarik dan nyaman serta memberikan lebih banyak kapasitas tempat duduk restoran dan kafe, dapat menarik lebih banyak pelanggan dan mendorong mereka untuk menghabiskan lebih banyak waktu dan uang. Sehingga perancangan ruang terbuka yang efektif di pusat kuliner dapat meningkatkan interaksi sosial dan juga performa bisnis secara signifikan. [2], [4]

Walaupun demikian, terdapat kesenjangan dalam pemahaman mengenai kriteria desain ruang terbuka yang optimal untuk mencapai tujuan interaksi sosial dan performa bisnis. Penelitian yang ada seringkali berfokus pada aspek-aspek tertentu seperti kenyamanan termal atau pengaruh kenyamanan visual. Sehingga penelitian yang secara spesifik membahas bagaimana kriteria desain ruang terbuka di pusat kuliner yang dapat mengoptimalkan interaksi sosial sekaligus meningkatkan performa bisnis masih terbatas.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang secara komprehensif menganalisis kriteria desain ruang terbuka yang efektif di pusat kuliner sehingga dapat mengoptimalkan interaksi sosial dan performa bisnisnya. Pemahaman yang lebih mendalam tentang hal ini akan memberikan panduan yang berharga bagi industri, khususnya arsitek, pengembang, dan pengelola pusat kuliner dalam merancang ruang terbuka yang bukan hanya menarik secara visual tetapi juga fungsional, inklusif, dan berkelanjutan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Definisi dan Karakteristik Pusat Kuliner

Pusat kuliner merupakan area yang terorganisir yang dirancang untuk menjadi tempat berkumpulnya berbagai penjaja makanan dan minuman, dengan tujuan utama menyediakan pengalaman kuliner yang beragam bagi konsumen [5]. Pusat wisata kuliner dapat didefinisikan sebagai tempat terjadinya aktivitas jual beli yang berkaitan dengan makanan atau masakan dalam suatu lokasi atau wilayah tertentu [6]. Keragaman menu dari hidangan lokal, nasional, hingga internasional, menciptakan atmosfer sosial yang mendukung interaksi antar pengunjung. Kemudahan akses terhadap lokasi serta ketersediaan fasilitas pendukung yang memadai menjadi faktor penting dalam menunjang kenyamanan dan keterjangkauan tempat tersebut. Penyajian menu yang mengusung kekhasan daerah atau budaya tertentu berperan dalam memperkuat representasi identitas budaya, sekaligus memperkaya nilai-nilai kultural dalam pengalaman menikmati makanan [7].

Tipologi Pusat Kuliner

Pusat kuliner dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa tipologi. Berdasarkan skala, pusat kuliner dapat dibagi menjadi skala kecil (misalnya, warung makan lokal atau food court kecil), skala menengah (pusat kuliner di pusat kota atau area wisata), dan skala besar (kompleks kuliner terintegrasi di pusat perbelanjaan atau destinasi wisata) [7]. Berdasarkan lokasi, pusat kuliner dapat ditemui di pusat kota, daerah wisata, pusat perbelanjaan, atau bahkan di sepanjang jalanan (pusat jajanan kaki lima) [8]. Sementara itu, berdasarkan konsep, pusat kuliner dapat mengusung tema tradisional (menekankan hidangan warisan budaya), modern (mengutamakan inovasi dan tren kuliner terkini), atau tematik (berfokus pada jenis kuliner tertentu, seperti seafood atau vegetarian).

Peran Pusat Kuliner sebagai Ruang Sosial dan Ekonomi

Pusat kuliner berfungsi sebagai peran ganda sebagai ruang sosial dan ekonomi [9]. Sebagai ruang sosial, pusat kuliner berfungsi sebagai titik temu bagi berbagai lapisan masyarakat dan memfasilitasi interaksi sosial serta pertukaran budaya melalui makanan dan minuman [7]. Pusat kuliner menciptakan ruang publik terintegrasi di mana orang dapat bertukar dan membangun kontak dari berbagai latar belakang berbeda [10]. Dalam hal ekonomi, pusat kuliner berperan sebagai pendorong terciptanya lapangan kerja dan meningkatkan pendapatan pelaku usaha kuliner serta menjadi daya tarik wisata yang signifikan [11]. Selain itu, pusat kuliner juga menjadi wadah bagi perkembangan UMKM di sektor kuliner. [12]

Definisi dan Elemen-elemen Desain Ruang Terbuka

Ruang terbuka adalah area yang tidak sepenuhnya tertutup bangunan dan dirancang untuk berbagai aktivitas publik. Desain ruang terbuka mencakup elemen-elemen yang menciptakan pengalaman yang nyaman dan menarik bagi pengguna. Tata letak yang baik mengatur ruang dan sirkulasi, memudahkan pergerakan serta memperhatikan aksesibilitas, kenyamanan, dan keamanan. Pemilihan material yang tahan lama, mudah dirawat, dan ramah lingkungan penting untuk mendukung estetika dan kenyamanan. Vegetasi seperti tanaman memberikan suasana sejuk, teduh, dan alami, sekaligus berfungsi menyaring udara dan mengurangi kebisingan. Pencahayaan yang tepat menciptakan atmosfer aman dan menarik serta dapat menonjolkan elemen desain tertentu. Furnitur yang nyaman dan ergonomis membuat pengunjung untuk lebih lama berada di ruang terbuka dan berinteraksi dengan lingkungan sekitar. [13], [14]

Prinsip-prinsip Desain Ruang Publik

Desain ruang publik yang baik tidak hanya menciptakan area terbuka, tetapi juga ruang yang hidup, inklusif, dan berkelanjutan. Prinsip desain yang penting meliputi:

- Aksesibilitas: ruang publik harus mudah dijangkau oleh semua kalangan, termasuk penyandang disabilitas, lansia, dan anak-anak.
- Kenyamanan: ruang harus nyaman digunakan dalam berbagai cuaca dengan tempat teduh, perlindungan dari hujan, dan fasilitas pendukung lainnya.
- Fleksibilitas: ruang harus mampu mengakomodasi berbagai aktivitas, baik yang terencana maupun spontan, dengan fasilitas yang dapat disesuaikan.

- Keamanan: ruang publik harus aman, dengan pencahayaan yang memadai, visibilitas yang baik, dan pengawasan efektif.
- Estetika: ruang harus menarik secara visual dengan material berkualitas, penataan vegetasi, dan seni publik.
- Inklusivitas: ruang publik harus ramah bagi semua orang, tanpa membedakan latar belakang.
- Keberlanjutan: penggunaan material ramah lingkungan dan pengelolaan sumber daya yang efisien penting untuk keberlanjutan.

Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini, ruang publik dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan mendukung pembangunan berkelanjutan. [14], [15]

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Interaksi Sosial di Ruang Publik

Desain ruang mempengaruhi frekuensi dan kualitas interaksi sosial. Ruang sosiopetal mendorong interaksi melalui penataan yang saling berhadapan, sedangkan ruang sosiofugal membatasi interaksi dengan penataan yang berjauhan. Interaksi juga dipengaruhi oleh faktor demografis, psikologis, dan kondisi sosial ekonomi. [16]

Peran Desain Fisik Ruang Publik dalam Memfasilitasi atau Menghambat Interaksi Sosial

Desain fisik ruang publik mempengaruhi tingkat interaksi sosial. Hal ini menjadi sangat penting menciptakan ruang yang mendukung kebutuhan manusia untuk berinteraksi [17]. Tata letak yang terbuka dan mudah dijangkau mendorong pertemuan antar pengguna. Penataan furnitur seperti bangku yang saling berhadapan memfasilitasi percakapan. Elemen visual seperti pencahayaan yang baik, warna yang hangat, dan dekorasi yang menarik menciptakan suasana nyaman. Selain itu, aksesibilitas bagi semua orang, termasuk penyandang disabilitas, membuat ruang publik lebih inklusif dan mendukung keterlibatan sosial. [14], [15]

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Performa Bisnis Pusat Kuliner

Performa pusat kuliner dipengaruhi oleh sejumlah faktor penting. Lokasi yang strategis, mudah diakses, dan dekat dengan target pasar meningkatkan potensi kunjungan. Konsep yang menarik, seperti tema unik, variasi menu, dan kualitas makanan yang tinggi, menjadi daya tarik utama bagi pengunjung. Manajemen yang baik mencakup efisiensi operasional, pelayanan yang ramah dan cepat, serta pengelolaan keuangan yang sehat untuk menjaga kelangsungan bisnis. Selain itu, strategi pemasaran yang tepat seperti promosi digital, diskon, atau kerja sama dengan influencer dapat meningkatkan visibilitas dan menarik lebih banyak pelanggan. [18]

Potensi Pengaruh Desain Fisik terhadap Performa Bisnis

Desain fisik pusat kuliner sangat mempengaruhi performa bisnis. Tata letak yang nyaman dan efisien memudahkan pengunjung dan meningkatkan pengalaman mereka. Atmosfer, termasuk desain interior, pencahayaan, dan musik, menciptakan suasana yang menarik. Kapasitas tempat duduk yang memadai dan nyaman dapat memperpanjang lama tinggal dan meningkatkan pengeluaran pengunjung. Kebersihan dan sanitasi yang terjaga membangun kepercayaan pelanggan. Aksesibilitas yang baik memastikan kenyamanan bagi semua pengunjung, termasuk penyandang disabilitas. Desain yang baik akan meningkatkan pengalaman pelanggan, yang pada gilirannya meningkatkan kunjungan, durasi tinggal, dan pengeluaran rata-rata. [2], [4]

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi kasus komparatif untuk mengeksplorasi pengaruh desain ruang terbuka terhadap interaksi sosial dan performa bisnis di pusat kuliner. Tiga lokasi dipilih sebagai studi kasus, yaitu The Flavor Bliss di Alam Sutera, Chillax di Sudirman Jakarta, dan Taman Kuliner Siliwangi di Pamulang, Tangerang Selatan. Pemilihan studi kasus dilakukan secara purposive, berdasarkan keberagaman konsep desain, karakteristik pengunjung, dan konteks geografis, guna memberikan gambaran menyeluruh terhadap implementasi desain ruang terbuka di berbagai jenis pusat kuliner.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi visual, serta kajian literatur dan publikasi arsitektur. Fokus observasi diarahkan pada tujuh elemen utama desain ruang terbuka, yaitu tata letak (layout), furnitur, elemen visual, aksesibilitas, atmosfer, kapasitas tempat duduk, dan kebersihan. Masing-masing elemen dianalisis kaitannya dengan intensitas interaksi sosial yang terjadi dan dampaknya terhadap daya tarik serta performa bisnis secara umum. Data yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dengan metode komparasi antar studi kasus, untuk mengidentifikasi pola, perbedaan, dan kesamaan dalam penerapan desain ruang terbuka. Hasil analisis kemudian digunakan untuk merumuskan kriteria desain yang efektif dalam menciptakan ruang kuliner yang sukses secara sosial dan ekonomi.

Dalam proses analisis, masing-masing elemen desain dibandingkan secara sistematis untuk melihat pengaruhnya terhadap dua variabel utama: interaksi sosial dan performa bisnis. Interaksi sosial diamati melalui indikator seperti pola berkumpul pengunjung, durasi kunjungan, serta bentuk aktivitas sosial yang muncul di ruang terbuka. Sementara itu, performa bisnis dianalisis berdasarkan daya tarik visual ruang, intensitas kunjungan berdasarkan

waktu, serta keberagaman dan keterisian tenant sebagai representasi keberhasilan komersial. Meski tidak menggunakan pendekatan kuantitatif, validitas data diperkuat dengan triangulasi melalui perbandingan antar lokasi, dokumentasi visual, dan analisis konten media daring yang mencerminkan persepsi publik terhadap ruang. Metode ini dipilih karena dianggap paling sesuai untuk memahami hubungan antara elemen fisik desain dan dampaknya terhadap perilaku sosial dan ekonomi dalam konteks ruang kuliner terbuka yang bersifat dinamis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil analisis mengenai hubungan antara elemen-elemen desain ruang terbuka dengan interaksi sosial serta performa bisnis pada tiga pusat kuliner yang menjadi studi kasus: The Flavor Bliss, Chillax, dan Taman Kuliner Siliwangi. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi aspek-aspek desain ruang terbuka yang paling berpengaruh dalam menciptakan suasana interaktif serta mendukung performa bisnis.

Analisis Aspek Variable Desain Ruang Terbuka dengan Interaksi Sosial dan Performa Bisnis di Pusat Kuliner

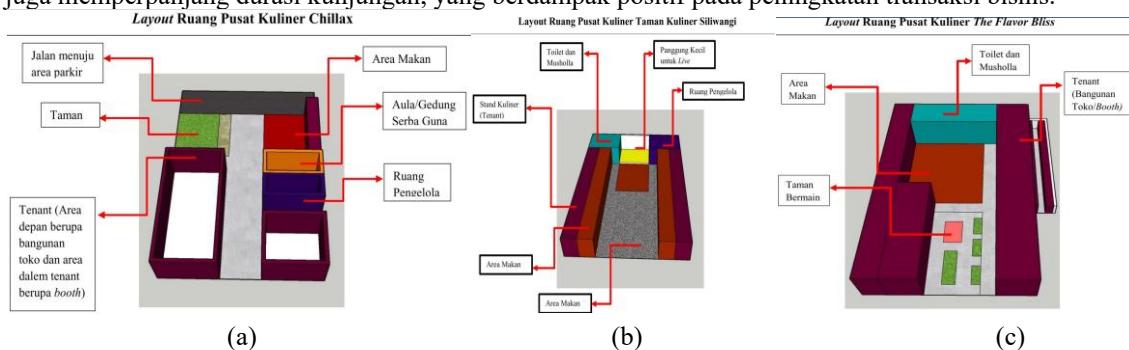
Berdasarkan hasil analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa ada tujuh elemen yang desain fisik ruang terbuka yang dapat meningkatkan interaksi sosial dan performa bisnis pusat kuliner. Elemen yang akan menjadi variabel dalam analisis studi kasus yaitu tata letak ruang (layout), furnitur (furniture), elemen visual (visual elements), aksesibilitas (accessibility), atmosfer (atmosphere), kapasitas tempat duduk (seating capacity) dan kebersihan (cleanliness).

Analisis Kriteria Desain Ruang Terbuka untuk Optimalisasi Interaksi Sosial dan Performa Bisnis di Pusat Kuliner

Hasil analisis menunjukkan bahwa elemen-elemen desain ruang terbuka memiliki kontribusi yang nyata dalam mendorong interaksi sosial dan mendukung performa bisnis di pusat kuliner. Perbandingan ketiga studi kasus menunjukkan bahwa meskipun konsep dan target pengunjung berbeda, terdapat pola umum yang dapat diidentifikasi terkait desain ruang yang efektif. Pembahasan berikut merinci kontribusi masing-masing elemen desain dalam konteks tersebut.

Tata Letak

Tata letak terbukti menjadi faktor fundamental dalam mengatur alur gerak dan pola interaksi pengunjung. Chillax menerapkan desain tata letak yang ringkas dengan sirkulasi yang teratur, memudahkan pengunjung untuk menjelajahi seluruh area. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kemungkinan interaksi antar pengunjung, tetapi juga memperpanjang durasi kunjungan, yang berdampak positif pada peningkatan transaksi bisnis.



Gambar 1. Tata Letak Ruang Chillax (a) Taman Kuliner Siliwangi (b) dan The Flavor Bliss (c)

Sebaliknya, Taman Kuliner Siliwangi menerapkan desain tata letak linear yang memusatkan sirkulasi pengunjung pada satu jalur utama yang memanjang. Pendekatan ini cenderung sederhana namun efektif dalam mengelola arus pengunjung dalam skala besar. Akan tetapi, hal ini juga dapat membuat peluang interaksi yang lebih terbatas karena kurangnya variasi ruang kumpul. Sehingga dapat mengurangi kenyamanan dan durasi kunjungan. Sementara itu, The Flavor Bliss menerapkan pendekatan *cluster* sehingga menciptakan variasi ruang dengan suasana yang lebih personal dan privat. Pendekatan ini mendukung interaksi dalam kelompok kecil dan menciptakan pengalaman yang lebih berkesan. Hal ini berdampak pada meningkatnya durasi kunjungan serta transaksi bisnis. Hal ini menunjukkan bahwa tata letak yang terencana secara strategis mampu memperkuat koneksi antar zona sekaligus mempertahankan pengunjung untuk tinggal lebih lama.

Furnitur

Jenis dan penataan furnitur memiliki peranan penting dalam menentukan intensitas dan kenyamanan interaksi sosial. Chillax dan The Flavor Bliss menampilkan penggunaan furnitur fleksibel yang dapat mengakomodasi

berbagai kebutuhan. Dari interaksi kelompok besar hingga penggunaan individu. Sifat fleksibel ini memberikan kebebasan kepada pengunjung untuk menciptakan ruang interaksi mereka sendiri. Berbeda dengan keduanya, Taman Kuliner Siliwangi menggunakan furnitur tetap yang sederhana dan fungsional. Akan tetapi, hal ini cenderung kurang mendukung kenyamanan untuk interaksi sosial jangka panjang. Temuan ini menunjukkan bahwa desain furnitur yang memperhatikan fleksibilitas dan kenyamanan pengguna memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas pengalaman sosial pengunjung. Sehingga mendorong pengunjung untuk tinggal lebih lama.



Gambar 2. Furnitur yang ada di The Flavor Bliss (a) Chillax (b) dan Taman Kuliner Siliwangi (c)

Elemen Visual

Daya tarik visual merupakan aspek penting dalam menciptakan kesan pertama dan memperkuat identitas visual sebuah ruang. Chillax menonjolkan elemen visual yang kuat seperti mural, pencahayaan artistik, dan *signage* yang estetik. Hal tersebut menjadi faktor yang sangat menarik bagi kalangan muda dan pengguna media sosial. Sedangkan The Flavor Bliss menghadirkan elemen visual yang hangat melalui penggunaan material alami seperti kayu, batu, dan vegetasi, yang memberikan nuansa alami dan menenangkan. Sebaliknya, Taman Kuliner Siliwangi minim dalam penggunaan elemen visual estetis. Terlihat desain yang digunakan lebih kearah fungsional. Perbedaan ini menunjukkan bahwa elemen visual tidak hanya menarik perhatian tetapi juga menjadi salah satu aspek dalam membangun identitas tempat dan meningkatkan daya saing pusat kuliner.



Gambar 3. Elemen Visual di Chillax (a) The Flavor Bliss (b) dan Taman Kuliner Siliwangi (c)

Aksesibilitas

Kemudahan akses menjadi salah satu aspek utama dalam menarik dan mempertahankan jumlah pengunjung. Ketiga studi kasus menunjukkan aksesibilitas yang baik namun dengan pendekatan berbeda. Chillax yang berada di pusat kota lebih unggul dalam koneksi terhadap kendaraan umum dan ramah pejalan kaki. Hal ini menjadikannya mudah dijangkau oleh berbagai kalangan. Sedangkan The Flavor Bliss lebih mengandalkan akses kendaraan pribadi dan menyediakan fasilitas parkir yang memadai. Pendekatan ini cocok untuk pengunjung dari kalangan menengah ke atas. Sementara Taman Kuliner Siliwangi terletak di lokasi strategis yang mudah dijangkau oleh masyarakat lokal dari berbagai lapisan. Temuan ini menunjukkan bahwa lokasi strategis dan kemudahan akses berkontribusi besar terhadap jumlah dan keberlanjutan kunjungan.



Gambar 4. Aksesibilitas yang ada di Chillax (a) The Flavor Bliss (b) dan Taman Kuliner Siliwangi (c)

Atmosfer

Atmosfer ruang terbuka sangat mempengaruhi suasana dan kecenderungan pengunjung untuk berinteraksi. The Flavor Bliss menyajikan suasana yang tenang, nyaman, dan ramah untuk pengunjung keluarga atau mereka yang mencari ketenangan. Sebaliknya, Chillax menawarkan atmosfer yang energik dan modern. Penggunaan elemen yang *Instagramable* cocok untuk komunitas muda dan pekerja urban. Sedangkan Taman Kuliner Siliwangi mengusung suasana merakyat dan lebih informal yang cocok untuk segmen lokal yang lebih luas. Temuan ini menunjukkan bahwa atmosfer suatu ruang terbuka dengan karakteristik target pengunjung tertentu menjadi kunci dalam menciptakan pengalaman emosional yang sejalan. Sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan minat pengunjung.



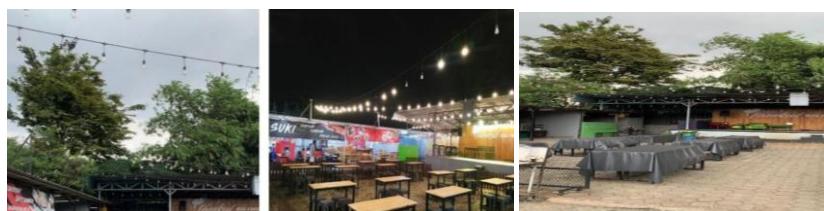
Gambar 5. Atmosfer Familier-Ideal di The Flavor Bliss (a) dan Chillax (b)



Gambar 6. Atmosfer Informal dan Merakyat di Taman Kuliner Siliwangi

Kapasitas Tempat Duduk

Kapasitas tempat duduk yang sesuai dan proporsional menjadi salah satu aspek yang mempengaruhi interaksi sosial dan kenyamanan. Taman Kuliner Siliwangi memiliki kapasitas besar sehingga memungkinkan akomodasi pengunjung dalam jumlah banyak. Namun, karena adanya keterbatasan dalam fleksibilitas tata letak, sehingga menghambat terciptanya interaksi sosial yang intim.



Gambar 7. Kapasitas Tempat Duduk di Taman Kuliner Siliwangi

Sebaliknya, Chillax dan The Flavor Bliss menampilkan penataan tempat duduk dengan kapasitas sedang yang ditata secara strategis sesuai pola ruang. Sehingga menciptakan keseimbangan antara area privat dan area komunal.



Gambar 8. Kapasitas Tempat Duduk di The Flavor Bliss (a) dan Chillax (b)

Kebersihan

Kebersihan menjadi elemen yang sangat mempengaruhi persepsi dan kenyamanan pengunjung. Chillax dan The Flavor Bliss menunjukkan pengelolaan kebersihan yang baik dan terintegrasi dalam desain, seperti tempat sampah yang tersembunyi dan sirkulasi pembersihan yang aktif. Sedangkan, Taman Kuliner Siliwangi memiliki kecenderungan kesulitan mengatur kebersihan secara optimal saat tingginya volume pengunjung. Hal ini menunjukkan bahwa pentingnya sistem pengelolaan kebersihan yang tanggap terhadap intensitas penggunaan ruang.

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa desain ruang terbuka yang optimal tidak hanya ditentukan oleh estetika atau fungsi dasar saja. Akan tetapi hal tersebut juga dipengaruhi oleh keseluruhan pengalaman ruang yang mendukung interaksi sosial dan kenyamanan pengunjung. Kombinasi antara tata letak yang efisien, atmosfer yang sesuai, elemen visual yang kuat, dan kapasitas tempat duduk yang memadai serta kebersihan yang baik menjadi kunci keberhasilan pusat kuliner. Selain itu, performa bisnis sangat dipengaruhi oleh bagaimana desain mendukung lama tinggal, frekuensi kunjungan, dan kepuasan pengguna.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa desain ruang terbuka sangat berpengaruh terhadap interaksi sosial dan performa bisnis di pusat kuliner. Dari perbandingan tiga studi kasus, ditemukan bahwa tata letak ringkas seperti di Chillax meningkatkan koneksi antar zona. Sementara furnitur yang fleksibel mendukung dalam pembentukan interaksi sosial yang optimal. Elemen visual yang kuat dan atmosfer yang baik memperkaya pengalaman pengunjung. Aksesibilitas dan kebersihan yang terjaga memberikan kenyamanan bagi pengunjung. Kapasitas tempat duduk yang proporsional dan beragam memudahkan dalam interaksi sosial yang optimal.

Hal ini menunjukkan bahwa desain ruang terbuka yang optimal berperan strategis dalam kesuksesan pusat kuliner, baik dari segi sosial maupun ekonomi. Perancangan yang memperhatikan aksesibilitas, koneksi, kenyamanan, daya tarik visual, dan fleksibilitas dapat meningkatkan interaksi pengunjung, memperpanjang durasi kunjungan, dan mendorong peningkatan transaksi serta loyalitas pelanggan. Desain ruang terbuka perlu menjadi bagian tak terpisahkan dari strategi bisnis dan pengembangan ruang publik, terutama dalam sektor kuliner.

Penelitian ini terbatas pada observasi visual dan kajian media daring tanpa survei langsung kepada pengunjung atau pengelola. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan pendekatan metode campuran termasuk wawancara dan survei kuantitatif serta memperluas penelitian ke pusat kuliner di kota lain untuk melihat variasi desain ruang terbuka.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Fajarni, "EATING OUT SEBAGAI GAYA HIDUP (Studi Kasus Fenomena Remaja Kota Banda Aceh di Restoran Canai Mamak KL)," *Aceh Anthropol. J.*, vol. 3, no. 1, p. 21, Apr. 2019, doi: 10.29103/aaaj.v3i1.2784.
- [2] D. P. Mau, Y. P. Mau, O. H. Wibowo, R. Kurniansah, I. W. A. Artana, and I. W. A. P. Ariawan, "Preservation of Local Culinary Tourism in Improving the Economy of Local Communities in Surabaya," *GREENOMIKA*, vol. 6, no. 2, pp. 123–134, Dec. 2024, doi: 10.55732/unu.gnk.2024.06.2.3.
- [3] F. R. Zita, "Implementation of Urban Open Space as an Active Recreational Area on West Java Art and Cultural Center," *AGORA Jurnal Penelit. Dan Karya Ilm. Arsit. Usakti*, vol. 17, no. 1, pp. 37–43, Jan. 2021, doi: 10.25105/agora.v17i01.7508.
- [4] S. R. Hayuningtyas and S. Setyowati, "Peran communal space dalam mendukung interaksi sosial pada taman cerdas soekarno-hatta surakarta," *Pros. SIAR Semin. Ilm. Arsit.*, pp. 395–403, Aug. 2022.
- [5] H. A. Williams, R. L. W. <suffix>Jr.</suffix>, and M. Omar, "Gastro-tourism as destination branding in emerging markets," *Int. J. Leis. Tour. Mark.*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2014, doi: 10.1504/IJLTM.2014.059257.
- [6] V. M. N. Karwur, F. O. P. Siregar, and A. E. Tungka, "Pusat wisata kuliner di tondano: implementasi waterfront architecture," *J. Arsit. DASENG*, vol. 11, no. 2, pp. 50–61, Nov. 2022.
- [7] J. E. Nussy, D. M. Rondonuwu, and R. C. Tarore, "Pusat wisata kuliner di manado. Lokalitas arsitektur," *J. Arsit. DASENG*, vol. 8, no. 1, pp. 62–72, Jul. 2019.
- [8] M. P. Maharani, D. B. Susanti, and B. Maringka, "Pusat kuliner dan oleh – oleh di kabupaten jember tema: Arsitektur modern," *Pengilon J. Arsit.*, vol. 7, no. 02, pp. 417–432.
- [9] N. Fitriyani, "Peran Wisata Kuliner Dalam Pertumbuhan Ekonomi Di Destinasi Pariwisata Demak," *J. Ilm. Ekon. DAN Manaj.*, vol. 3, no. 1, pp. 484–493, 2025, doi: <https://doi.org/10.61722/jiem.v3i1.3739>.
- [10] K. Khurniawan, "Perancangan pusat kuliner sebagai ruang interaksi masyarakat kampung rumpak sinang," *bachelor_thesis*, Universitas Multimedia Nusantara, 2022. [Online]. Available: <https://kc.umn.ac.id/id/eprint/22223/>
- [11] A. Putra and S. Pradikto, "Pengaruh UMKM Kuliner dan Wisata Lokal terhadap Meningkatkan Pertumbuhan Ekonomi di Desa Ranggeh Kecamatan Gondangwetan Kabupaten Pasuruan," *Stud. Res. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 97–106, Jan. 2025, doi: 10.55606/srj-yappi.v3i1.1693.
- [12] N. Nurmala *et al.*, "Usaha Kuliner Sebagai Penggerak UMKM Pada Masa Pandemi Covid 19," *AKM Aksi Kpd. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 65–74, Jul. 2022, doi: 10.36908/akm.v3i1.458.
- [13] A. W. Purwantiasning, "Konsep ruang terbuka sebagai elemen arsitektur kota," *NALARs*, vol. 9, no. 1, Jan. 2010, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/nalars/article/view/607>
- [14] F. Fasikhi, S. P. Eni, and M. M. Sudarwani, "KUALITAS RUANG TERBUKA PUBLIK MENGGUNAKAN GOOD PUBLIC SPACE INDEX, STUDI KASUS: COMMUNITY CENTRE PAMULANG," *J. Archit. Des. Dev.*, vol. 4, no. 2, pp. 120–132, Dec. 2023, doi: 10.37253/jad.v4i2.8578.
- [15] A. N. BACHTIAR, "TA: IDENTIFIKASI DESAIN RUANG PUBLIK YANG MENDUKUNG AKTIVITAS LANSIA (STUDI KASUS: TAMAN LANSIA, KECAMATAN BANDUNG WETAN, BANDUNG)," Skripsi, Institut Teknologi Nasional Bandung, 2020. [Online]. Available: <https://eprints.itenas.ac.id/1416/>

- [16] R. Sommer, *Personal space: the behavioral basis of design*, Updated. Bristol, England, UK: Bosko Books, 2007.
- [17] J. Gehl, *Life between buildings: using public space*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- [18] T. MyRobin, “Kpi restoran yang perlu diketahui untuk memaksimalkan bisnis anda! | myrobin.” [Online]. Available: <https://myrobin.id/pojok-hrd/kpi-restoran/>

MORFOLOGI PERMUKIMAN MULTINETNIK DI KAMPUNG PURWODINATAN SEMARANG: INTEGRASI BUDAYA DALAM RUANG ARSITEKTUR

*Anityas Dian Susanti¹, Taufiq Rizza Nuzuluddin², Sharfina Bella P.W³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Prodi Arsitektur, Universitas Pandanaran, Semarang

*)Email: tyas@unpand.ac.id

ABSTRACT

Purwodinatan Village in Semarang is one of the urban residential areas that exhibits a strong multiethnic character, with Koja, Chinese, and Javanese communities having coexisted for over a century. This study aims to examine the settlement morphology of the village and explore how the cultural values of each ethnic group are integrated into spatial forms and architectural expressions. A qualitative-descriptive approach is employed, using field observations, visual documentation, and spatial mapping to analyze street patterns, plot configurations, residential space organization, and building typologies. The findings indicate that the morphological structure of Kampung Purwodinatan has developed organically, reflecting a gradual process of cultural adaptation. The narrow streets and branching alleys illustrate a community-based social system, while the houses and architectural elements display acculturation between Middle Eastern, Chinese, and traditional Javanese styles. Cultural integration is evident not only in the physical form of the buildings but also in the use of communal spaces such as mosques, temples, and local food stalls, which serve as social meeting points that reinforce intercommunity cohesion. This study highlights the importance of understanding multicultural dynamics in the planning of historic urban areas and its relevance in preserving local identity through an inclusive architectural approach.

Keywords: morphology, urban kampung, organic, architecture, inclusive

ABSTRAK

Kampung Purwodinatan di Semarang merupakan salah satu kawasan permukiman urban yang menunjukkan karakter multiethnic yang kuat, dengan keberadaan komunitas Koja, Tionghoa, dan Jawa yang telah hidup berdampingan selama lebih dari satu abad. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji morfologi permukiman kampung tersebut dan melihat bagaimana nilai-nilai budaya dari masing-masing kelompok etnik terintegrasi dalam bentuk ruang dan arsitektur. Pendekatan kualitatif-deskriptif digunakan dengan metode observasi lapangan, dokumentasi visual, dan pemetaan spasial untuk menganalisis pola jalan, bentuk kaveling, organisasi ruang hunian, dan tipologi bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur morfologi di Kampung Purwodinatan berkembang secara organik dan mencerminkan proses adaptasi budaya yang berlangsung secara bertahap. Pola jalan sempit dengan cabang-cabang gang kecil menggambarkan sistem sosial berbasis komunitas, sementara bentuk rumah dan elemen arsitektural memperlihatkan akulturasi antara gaya Timur Tengah, Tionghoa, dan tradisional Jawa. Integrasi budaya tidak hanya terlihat dari bentuk fisik bangunan, tetapi juga dari penggunaan ruang komunal seperti masjid, krenteng, dan warung sebagai titik temu sosial yang memperkuat kohesi antarwarga. Studi ini menegaskan pentingnya pemahaman terhadap dinamika multikultural dalam perencanaan kawasan kota lama, serta relevansinya dalam pelestarian identitas lokal melalui pendekatan arsitektur yang inklusif.

Kata kunci: morfologi, kampung kota, organik, arsitektur, inklusif

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kota-kota di Indonesia tidak terlepas dari hadirnya kampung-kampung kota yang tumbuh secara organik sebagai bagian dari proses urbanisasi dan mobilitas sosial. Kampung kota kerap kali menjadi wadah hidup bersama bagi masyarakat dari latar belakang sosial dan budaya yang beragam. Di tengah kepadatan dan keterbatasan ruang, kampung kota justru menunjukkan dinamika kehidupan yang kompleks dan kaya akan nilai-nilai arsitektur vernakular. Salah satu contoh nyata dari fenomena ini dapat ditemukan di Kampung Purwodinatan, Semarang.

Kampung Purwodinatan terletak di kawasan Kota Lama Semarang, dan telah lama dikenal sebagai kawasan multiethnic yang dihuni oleh komunitas Koja, Tionghoa, dan Jawa. Keberadaan berbagai etnik ini telah berlangsung sejak masa kolonial, menjadikan kampung ini sebagai representasi penting dari integrasi budaya dalam tatanan ruang urban. Arsitektur bangunan di kawasan ini mencerminkan identitas dan nilai-nilai budaya dari masing-masing komunitas, namun sekaligus menunjukkan akulturasi dalam pola hunian, bentuk bangunan, dan penggunaan ruang publik.

Permasalahan muncul ketika nilai-nilai kearifan lokal yang tercermin dalam morfologi kampung kota sering kali terabaikan dalam kebijakan penataan kawasan, terutama dalam konteks revitalisasi kota tua dan tekanan modernisasi. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji bagaimana morfologi permukiman terbentuk di lingkungan multiethnic seperti Kampung Purwodinatan, serta bagaimana unsur-unsur budaya dari berbagai komunitas berinteraksi dalam membentuk ruang arsitektur yang inklusif.

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengidentifikasi pola morfologi permukiman di Kampung Purwodinatan.
- Menganalisis pengaruh budaya etnik (Koja, Tionghoa, dan Jawa) terhadap bentuk dan organisasi ruang.
- Menggali proses integrasi budaya dalam struktur arsitektur dan ruang komunal kampung kota.

Dengan memahami aspek morfologi dan integrasi budaya dalam konteks kampung kota, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pelestarian nilai-nilai lokal serta pendekatan perencanaan kota yang lebih humanistik dan inklusif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Morfologi Permukiman

Morfologi permukiman merupakan kajian tentang bentuk, struktur, dan evolusi ruang kota atau kawasan tempat tinggal. Menurut Conzen (1960) dalam [1], morfologi kota terdiri dari tiga elemen utama: pola jalan, kaveling tanah, dan massa bangunan, yang membentuk struktur spasial kawasan. Pendekatan ini kemudian dikembangkan oleh M.R.G. Conzen dan juga Moudon (1997), yang menekankan pentingnya membaca bentuk kota secara historis dan sosial-budaya. Dalam konteks kampung kota, morfologi permukiman tidak hanya dipengaruhi oleh perencanaan fisik, tetapi juga oleh interaksi sosial, budaya lokal, dan dinamika ekonomi masyarakat.

Menurut Soetomo (2012) kota secara keseluruhan meliputi dua aspek, yaitu: aspek fisik sebagai perwujudan elemen ruang dan aspek pembangunan manusia sebagai subjek dan pengguna ruang kota [2]. Aspek fisik pada kawasan multietnik terlihat dari bentuk bangunan yang mewakili etnisnya, contohnya krenteng atau bangunan dengan arsitektur Cina. Sedangkan aspek non fisik kawasan multietnik terlihat dari interaksi yang terjadi, bagaimana etnis-ethnis tersebut memanfaatkan ruang bersama terutama pada event-event budaya dan keagamaan.

Morfologi kawasan mempunyai kekhasan dari sisi artefak keagamaan yaitu Masjid Jami' (besar) serta krenteng. Serta keberadaan Kali Semarang, yang dulu ialah fasilitas transportasi air yang digunakan oleh seluruh etnis dalam aktivitasnya. Keberadaan krenteng di tepi kali Semarang ialah merupakan salah satu elemen artefak kota [3] begitu pula dengan keberadaan Masjid Jami' Pekojan yang ialah center (*landmark*) dari kawasan permukiman muslim di Semarang, dan juga krenteng yang merupakan simbol agama dan budaya warga etnis Tionghoa.

Kampung Kota dan Arsitektur Vernakular

Kampung kota adalah bentuk permukiman tradisional yang hidup dan tumbuh di tengah-tengah kota modern. Menurut Koerniawan (2011), kampung kota memiliki karakter khas berupa kepadatan tinggi, aksesibilitas terbatas, dan hubungan sosial yang erat antarwarga. Arsitektur di dalam kampung kota sering kali tidak mengikuti pola perencanaan formal, namun menunjukkan daya adaptasi tinggi terhadap lingkungan dan kebutuhan penghuninya. Dalam konteks ini, arsitektur vernakular hadir sebagai bentuk respons lokal yang mengakar pada budaya, iklim, dan kondisi sosial-ekonomi masyarakat setempat [4].

Multietnisitas dan Akulturasi Budaya dalam Arsitektur

Multietnisitas adalah kondisi keberagaman etnik dalam suatu wilayah yang memungkinkan terjadinya interaksi budaya, baik secara sosial maupun spasial. Dalam arsitektur, keberagaman budaya dapat tercermin dalam bentuk rumah, pola ruang, dan penggunaan elemen dekoratif yang mencerminkan identitas kelompok etnik tertentu. Studi oleh Nas (2002) menunjukkan bahwa di kota-kota pelabuhan seperti Semarang, Surabaya, dan Makassar, multietnisitas menjadi bagian dari sejarah pembentukan kawasan permukiman, termasuk akulturasi dalam bentuk bangunan dan struktur ruang.

Akulturasi budaya dalam arsitektur sering kali diwujudkan melalui integrasi elemen-elemen arsitektural dari berbagai budaya tanpa menghilangkan identitas masing-masing. Hal ini dapat dilihat dalam bentuk rumah-rumah komunitas Koja yang menggabungkan unsur Timur Tengah dengan tata ruang tropis, atau rumah komunitas Tionghoa yang beradaptasi dengan pola gang sempit khas kampung kota. Oleh karena itu, kajian tentang akulturasi dalam arsitektur menjadi penting untuk memahami bagaimana ruang dan budaya saling membentuk.

Studi Terdahulu

Penelitian terdahulu dengan tema permukiman multietnik antara lain:

[1] Toleransi Masyarakat Multi Etnis Dan Multiagama Dalam Organisasi Subak Di Bali [5]; berisi tentang strategi meminimalisir konflik dalam masyarakat multietnik di Bali.

Makalah ini memberikan gambaran bahwa dalam masyarakat multietnik di Indonesia, khususnya di Bali, masyarakat secara sadar mempunyai usaha dan strategi untuk hidup berdampingan hampir tanpa konflik antar etnis.

Penelitian selanjutnya [2] Segregasi Ruang Sosial Antara Pendatang dengan Penduduk Asli pada Permukiman Perkotaan di Denpasar [6]; menyatakan dampak segregasi ruang sosial menimbulkan simpul-simpul kegiatan (*multi-nodes*) dalam sebuah permukiman, fenomena ini memunculkan tipologi ruang multietnik yang harus diperhatikan dalam perencanaan spasial.

[3] Interaksi Sosial Antar Etnis Di Pasar Gang Baru Pecinan Semarang Dalam Perspektif Multikultural [7]; Nilai-nilai dalam masyarakat multikultural yaitu kesatuan kemanusiaan (*unity of humankind*), kompetisi dalam kebaikan (*competition in good work*), memberi maaf kepada orang lain (*forgiveness toward human-kind*), dialog atau ko-eksistensi dan pro-eksistensi, kehidupan bersama (*living together*), kesederajatan (*equality* atau *egalitarianism*), saling memahami (*mutual understanding*), saling menghargai (*mutual respect*), kejujuran (*trust*), berpikir positif (*positive thinking*), toleran (*tolerance*), rekonsiliasi (*re-consiliation*), resolusi konflik (*conflict resolution*), kedamaian (*peace*), menghindari kekerasan (*non violence*), dan kesejahteraan sosial (*social justice*).

Dalam makalah ini Setiawan memberikan gambaran interaksi multietnik di kota Semarang, khususnya kawasan Pecinan. Dan makalah ini dapat menguraikan nilai-nilai multietnik dalam kawasan penelitian.

[4] Integrasi Multikultural Masyarakat Dalam Masyarakat Multietnis (Jawa, Cina Dan Arab Keturunan) Di Kota Semarang [8]; menyatakan bahwa hubungan integrasi etnis Cina dan Jawa berlangsung dengan baik di Kota Semarang, Kota Semarang merupakan kota multietnik dengan etnis Jawa, Cina dan Arab yang mempunyai hubungan interaksi baik dan tidak bermasalah.

3. METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif dengan fokus pada pemahaman mendalam terhadap fenomena morfologi permukiman dan integrasi budaya di kawasan multietnik. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menggali makna sosial dan budaya yang terkandung dalam bentuk dan struktur ruang arsitektur kampung kota.

Lokasi Penelitian

Studi dilakukan di Kampung Purwodinatan, yang terletak di Kecamatan Semarang Tengah, Kota Semarang, Jawa Tengah. Kampung ini dipilih karena merupakan salah satu kawasan tua yang memiliki keberagaman etnik yang mencolok, terdiri dari komunitas Koja, Tionghoa, dan Jawa, serta memiliki nilai historis dan arsitektural yang tinggi.

Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan melalui beberapa cara berikut:

- Observasi Lapangan: Dilakukan untuk mengidentifikasi pola jalan, bentuk dan orientasi bangunan, serta penggunaan ruang publik.
- Dokumentasi Visual: Menggunakan foto, sketsa, dan peta untuk merekam elemen-elemen morfologi permukiman dan karakter visual bangunan.
- Wawancara Mendalam: Dijalankan dengan warga lokal, tokoh masyarakat, dan pemilik rumah untuk memahami persepsi budaya dan sejarah tempat tinggal mereka.
- Studi Literatur dan Arsip: Mengkaji dokumen sejarah, peta lama, serta literatur akademik untuk mendukung analisis historis dan kontekstual kawasan.

Teknik Analisis Data

- Data dianalisis dengan metode deskriptif dan interpretatif, yang melibatkan:
- Pemetaan morfologi kawasan, mencakup pola sirkulasi, blok/kaveling, dan distribusi fungsi ruang.
- Analisis tipologi arsitektur, untuk mengidentifikasi ciri khas bangunan dari masing-masing etnik serta bentuk akulturasi.
- Interpretasi budaya ruang, dengan melihat bagaimana simbol, nilai, dan praktik sosial-budaya terekspresikan dalam bentuk fisik dan pemanfaatan ruang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejarah Perkembangan Kampung Purwodinatan

Kampung Purwodinatan merupakan bagian dari kawasan Kota Lama Semarang yang tumbuh sejak masa kolonial Belanda sebagai pusat perdagangan dan transit pelabuhan. Kawasan ini menjadi titik persilangan budaya karena

menjadi tempat tinggal komunitas Koja Hadhrami, Tionghoa perantauan, dan penduduk lokal Jawa. Keberadaan Masjid Jami' Pekojan, toko-toko milik keturunan Tionghoa, serta bangunan bergaya kolonial menunjukkan jejak sejarah permukiman multietnik yang saling berinteraksi sejak awal abad ke-19. Kawasan ini terdiri dari beberapa kampung etnis, yang memiliki kekhasan hubungan interaksi sosial dan budaya yang berbeda. Menjadi unik karena di dalam kawasan seluas 2 hektar, terdapat beberapa kampung etnis dan campuran. Kampung etnis tersebut saling melingkupi, kawasan perdagangan didominasi oleh etnis Tionghoa, kawasan keagamaan (Islam) didominasi oleh etnis Koja/India-Pakistan dan kawasan campuran didominasi oleh etnis Jawa. Berikut ini gambaran setting spatial dalam lokasi pengamatan/penelitian, yang diperoleh dari observasi dan wawancara dengan masyarakat setempat:



(Sumber: Peneliti, 2023)

Gambar 1. Batas Wilayah Penelitian

Dalam satu kawasan kelurahan Purwodinatan, secara garis besar mempunyai setting pemukiman etnis yang saling bersinggungan. Beberapa kampung etnis terkoneksi dengan jalan lingkungan, gang dan jalan inspeksi pinggir sungai. Koeksistensi nampak pada kampung etnis, kawasan perdagangan, kawasan pergudangan, tempat ibadah dan budaya. Kawasan ini membentuk jalinan permukiman multietnik dengan ragam interaksi ekonomi, religi dan sosial budaya.

Struktur Morfologi Permukiman

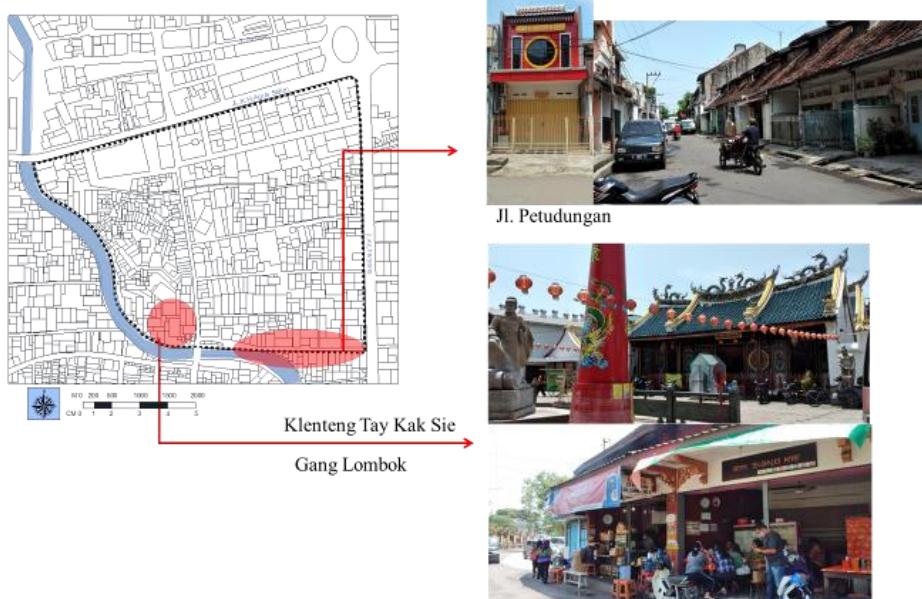
Morfologi permukiman di Purwodinatan memperlihatkan struktur organik, dengan gang-gang sempit yang bercabang tidak beraturan, namun tetap terkoneksi dengan jalan utama. Terdapat pola blok tak teratur dengan kaveling kecil dan padat, menandakan perkembangan kawasan yang mengikuti kebutuhan lokal ketimbang rancangan formal.

- **Pola Jalan dan Sirkulasi:** Jalan utama digunakan untuk fungsi perdagangan dan sirkulasi kendaraan, sedangkan gang-gang kecil menjadi akses utama ke rumah tinggal. Gang tersebut memiliki lebar bervariasi, berkisar antara 1 hingga 2 meter.
- **Pola Kaveling:** Rata-rata kaveling sempit dan memanjang ke belakang, mengakomodasi rumah tinggal sekaligus usaha kecil (warung, toko).
- **Massa Bangunan:** Didominasi bangunan satu hingga dua lantai, dengan percampuran tipologi rumah tinggal, ruko, dan tempat ibadah.

Tipologi Arsitektur dan Representasi Budaya

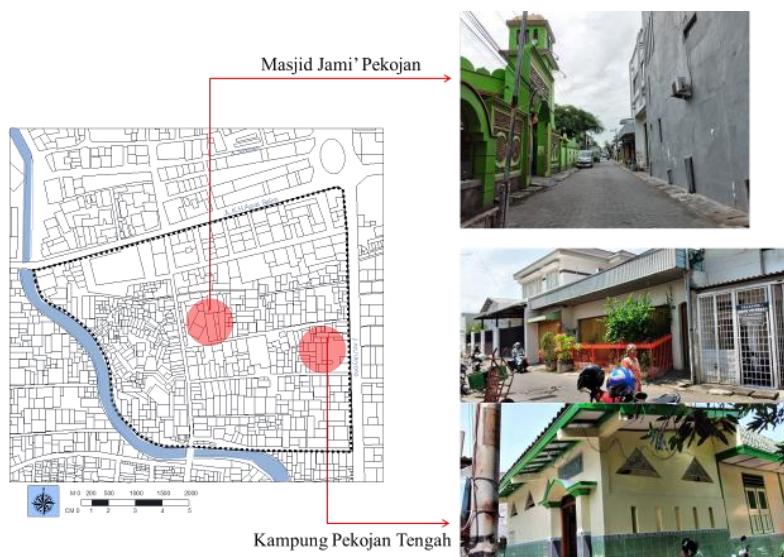
Identitas etnik dalam arsitektur terlihat melalui berbagai elemen:

- Rumah Koja: Ciri khas meliputi pintu kayu besar, dinding masif, jendela berteralis, dan adanya ruang tengah (serambi dalam) yang berfungsi sebagai ruang menerima tamu laki-laki. Rumah-rumah ini umumnya berorientasi ke arah kiblat dan dekat dengan masjid.
- Rumah Tionghoa: Umumnya berupa rumah toko (ruko) dengan denah linier, atap pelana, ventilasi tinggi, dan ornamen bata merah atau ukiran kayu. Ruang dalam sering kali menyatu antara area usaha dan tinggal.
- Rumah Jawa: Ciri tradisional berupa denah berorientasi timur-barat, teras lebar, atap limasan atau joglo, serta halaman depan. Rumah-rumah ini umumnya lebih terbuka dibandingkan rumah Koja.



(Sumber: Peneliti, 2023)

Gambar 2. Pemukiman Etnis Tionghoa di kawasan Purwodinatan



(Sumber: Peneliti, 2023)

Gambar 3. Pemukiman Etnis Koja di kawasan Purwodinatan

Meski demikian, ditemukan banyak bentuk akulturasi seperti rumah dengan fasad Koja namun struktur denah khas Tionghoa, atau penggunaan ornamen Jawa dalam ruko Tionghoa, menandakan terjadinya proses adanya pengaruh antar budaya.

Integrasi Sosial dalam Ruang Publik

Meski berbeda etnis, hubungan interaksi antar etnis berlangsung hampir tanpa konflik berarti, penggunaan ruang bersama dapat berjalan harmonis, tidak ada perebutan ruang untuk kepentingan masing-masing etnis. Menurut narasumber yang ditemui oleh Peneliti, antara lain diungkapkan oleh Bapak Ashar dari kampung Bustaman, dalam kawasan Purwodinatan merupakan kawasan minim konflik dan belum pernah terjadi konflik besar yang menyebabkan perpecahan.

Dalam satu wilayah yang berdekatan, wilayah teritori antar etnis tidak saling mengganggu antara lain saat acara keagamaan dan budaya berlangsung, toleransi antar etnis tetap dijaga. Toleransi ditunjukkan dengan saling membantu dalam mempersiapkan pelaksanaan kegiatan keagamaan dan budaya masing-masing etnis dan dalam keseharian mereka. Menurut informasi warga setempat, belum pernah terjadi konflik dikarenakan perbedaan etnis dan budaya, mereka saling menghormati kepercayaan dan budaya masing-masing dan tidak saling mengganggu.

Sejarah mencatat bahwa etnis Jawa dan Tionghoa bekerjasama untuk mengusir Belanda dari Indonesia termasuk kota Semarang. Peristiwa sejarah tersebut dikenal dengan istilah “geger Pecinan” yang terjadi pada tahun 1740. Hal ini membuktikan bahwa hubungan antar etnis di wilayah kota Semarang khususnya kawasan multietnik Purwodinatan, sangat erat dalam kaitan sejarah. Attachment/keterikatan sejarah antar etnis ditemukan dalam menggambarkan interaksi yang terjadi di kawasan penelitian.

Ruang publik berperan penting dalam membentuk interaksi antar kelompok etnik:

- Masjid Jami' Pekojan menjadi pusat aktivitas komunitas Koja, namun juga menjadi tempat ibadah bersama bagi warga lain.
- Toko-toko dan pasar kecil berfungsi sebagai ruang ekonomi sekaligus titik temu sosial antara warga.
- Warung kopi, langgar kecil, dan halaman rumah sering dimanfaatkan untuk interaksi lintas budaya, memperlihatkan bentuk-bentuk toleransi yang terbangun melalui ruang.
- Akulturasi budaya bukan hanya terjadi dalam bentuk fisik bangunan, melainkan juga dalam praktik penggunaan ruang sehari-hari yang mencerminkan harmoni sosial dalam keberagaman.

Hubungan interaksi saling bersinggungan terjadi pada ruang-ruang publik yang memungkinkan interaksi terjadi di area jalan Petolongan, area makam dan Masjid Jami' Pekojan serta ruang publik pada area pertokoan. Susunan konfigurasi ruang *profan* (area perdagangan) dan *sacred zone* (area masjid) dihubungkan dengan jalan raya Petolongan.

Sesuai prinsip simbiosis oleh Kurokawa (1991), bahwa ruang intermediate di area ini adalah Jalan Petolongan dan area halaman masjid tempat interaksi antar etnis terjadi pada ruang publik. Dalam arsitektur, intermediate zone dan sacred zone adalah kondisi yang diperlukan untuk pembentukan simbiosis [9].

Interaksi yang terjadi di Kampung Purwodinatan- Pertokoan Jalan Pekojan- Pergudangan-Kawasan Klenteng Tay Kak Sie

Pola interaksi di kawasan ini banyak dipengaruhi oleh adanya interaksi perdagangan dan budaya/ religi. Adanya simbol religi dan budaya terdapat di area Klenteng Tay Kak Sie. Kawasan pergudangan dan pertokoan merupakan area perdagangan yang mayoritas pelaku aktivitasnya adalah etnis Tionghoa. Interaksi transaksional terjadi di sepanjang jalan raya Pekojan yang merupakan ruko pertokoan yang berderet.

Interaksi karena adanya keterikatan (*attachment*) terlihat pada hubungan masyarakat di sekitar Klenteng Tay Kak Sie terdapat interaksi terjadi di ruang publik (plaza dan ruang parkir) di area Klenteng.

Hubungan interaksi saling bersinggungan antar etnis banyak terjadi di kawasan Klenteng dikarenakan merupakan kawasan wisata, perdagangan sekaligus sebagai tempat ibadah. Dimungkinkan banyak terjadi interaksi antar etnis di area ruang publik.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Kampung Purwodinatan di Semarang, sebagai permukiman multietnik, memiliki morfologi yang khas dan berkembang secara organik sesuai dengan dinamika sosial, budaya, dan ekonomi masyarakatnya. Pola permukiman di kawasan ini mencerminkan adaptasi terhadap keterbatasan ruang dan kebutuhan komunitas yang beragam, dengan pola jalan sempit dan gang yang berfungsi sebagai ruang pertemuan sekaligus sirkulasi. Keberagaman etnik—Koja, Tionghoa, dan Jawa—terpancar dalam struktur ruang dan tipologi bangunan yang ada di kampung ini.

Morfologi permukiman di Kampung Purwodinatan juga menunjukkan integrasi budaya yang mendalam, baik dalam bentuk fisik bangunan maupun penggunaan ruang sosial. Meskipun masing-masing komunitas

mempertahankan elemen arsitektural khas, terjadi akultiasi yang memperkaya bentuk-bentuk bangunan, seperti rumah Koja dengan fasad Tionghoa, atau penggunaan elemen Jawa dalam desain ruko Tionghoa. Integrasi budaya ini tidak hanya terbatas pada aspek visual, tetapi juga tercermin dalam praktik sosial yang terjadi di ruang komunal, seperti masjid, pasar kecil, dan warung-warung yang menjadi tempat interaksi sosial lintas budaya.

Temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pemahaman tentang bagaimana morfologi permukiman multietnik tidak hanya dipengaruhi oleh perencanaan formal, tetapi juga oleh interaksi antar budaya yang berlangsung secara dinamis. Oleh karena itu, penting untuk melibatkan aspek morfologi dan budaya dalam perencanaan dan revitalisasi kawasan kota lama, dengan pendekatan yang lebih inklusif dan sensitif terhadap keberagaman budaya lokal.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar untuk perencanaan kota yang lebih responsif terhadap nilai-nilai lokal dan berkelanjutan, serta mendorong pelestarian identitas budaya dalam konteks urbanisasi yang semakin pesat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. V. Moudon, “Urban morphology as an emerging interdisciplinary field,” *Urban Morphol.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–10, 1997.
- [2] A. Y. Permana, I. Susanti, N. I. K. Dewi, and K. Wijaya, “MORPHOLOGY OF URBAN SPACE: Model of Configuration using Logic of Space (LoS) Theory in densely populated of Bandung City,” *J. Archit. Res. Educ.*, vol. 1, no. 1, p. 18, 2019, doi: 10.17509/jare.v1i1.15586.
- [3] K. Kropf, *The Handbook Of Urban Morphology*. 2017.
- [4] P. Tutuko, “Community Attachment pada Transformasi Desain Bangunan Permukiman di sekitar Kawasan Pecinan,” *Local Wisdom Sci. Online J.*, vol. 2, no. 4, pp. 10–19, 2010.
- [5] I. G. A. Armini, “Toleransi masyarakat multi etnis dan multiagama dalam organisasi subak di bali,” *Balai Pelestarian Nilai Budaya Bandung*, 2013.
- [6] S. Paturusi, “Segregasi Ruang Sosial Antara Pendatang dengan Penduduk Asli pada Permukiman Perkotaan di Denpasar,” *J. Kaji. Bali (Journal Bali Stud.)*, vol. 6, no. 2, pp. 57–78, 2016.
- [7] D. Setiawan, “INTERAKSI SOSIAL ANTAR ETNIS DI PASAR GANG BARU PECINAN SEMARANG DALAM PERSPEKTIF MULTIKULTURAL,” *J. Educ. Soc. Stud.*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [8] N. Quway, “Integrasi Multikultural dalam masyarakat Multietnis (Jawa, Cina dan Arab Keturunan) di Kota Semarang,” *Ijtimaiya*, vol. 2, pp. 90–110, 2018.
- [9] W. Abdillah, “Kisho Kurokawa , Kajian Arsitektur,” 2018.

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK LDPE PADA CAMPURAN ASPAL BETON MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI PG 70

Syahrizal Abdullah Razak¹, *Nurani Hartatik², Hariani³, I Gede Agus Punarta⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

⁴Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

*Email : nuranihartatik@untag-sby.ac.id

ABSTRACT

Plastic waste management in Indonesia is an important issue in realizing sustainable waste management. Based on data from 2021, Indonesia produces around 25.95 million tons of plastic waste, equivalent to 15.96% of the total national waste production. Plastic waste occupies the second position after organic waste in the composition of waste in Indonesia. One of the efforts to utilize plastic waste is to integrate it as a binder in asphalt concrete mixtures. The asphalt concrete layer is a pavement layer that directly receives vehicle loads, is designed to withstand changes in temperature, shear forces, vertical pressure, and functions as a waterproof layer. In this study, Low-Density Polyethylene (LDPE) plastic waste was used after washing, shredding, and drying. LDPE was then mixed with asphalt through wet mixing method. This research aims to evaluate the effect of LDPE plastic waste addition on the quality of modified asphalt mixture, especially on the aspects of stability, flexibility, and crack resistance. Tests were conducted using the Marshall method to obtain parameters such as stability, flow, voids in the mixture (VIM), voids between aggregate grains (VMA), and voids filled with asphalt (VFA). The test results showed that the penetration value of PG 70 modified asphalt tended to decrease as the LDPE plastic waste content increased, from 55 cm at 0% to 44.13 cm at 6%, indicating an increase in asphalt hardness. The highest flash point was reached at 6% LDPE content of 375.67 °C, while the lowest flash point was 367 °C at 0% content, indicating increased thermal safety. In addition, the highest softening point was recorded at 6% LDPE content of 61.8 °C, while the lowest softening point was 52.9 °C at 0% content. This shows that the addition of LDPE increases the resistance of asphalt to high temperatures and still meets the technical standards set by the 2018 Bina Marga General Specifications. These findings indicate that the utilization of LDPE plastic waste in asphalt mixtures can be an innovative solution in reducing the volume of plastic waste while improving pavement quality.

Keyword: LDPE Plastic Waste, Modified Asphalt, Asphalt Concrete, Marshall Test.

ABSTRAK

Pengelolaan limbah plastik di Indonesia merupakan isu penting dalam upaya mewujudkan pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Berdasarkan data tahun 2021, Indonesia menghasilkan sekitar 25,95 juta ton limbah plastik, setara dengan 15,96% dari total produksi sampah nasional. Limbah plastik menempati posisi kedua setelah limbah organik dalam komposisi sampah di Indonesia. Salah satu upaya pemanfaatan limbah plastik adalah dengan mengintegrasikannya sebagai bahan pengikat dalam campuran aspal beton. Lapisan aspal beton adalah lapisan perkerasan yang langsung menerima beban kendaraan, didesain untuk tahan terhadap perubahan suhu, gaya geser, tekanan vertikal, serta berfungsi sebagai lapisan kedap air. Dalam penelitian ini, limbah plastik jenis Low-Density Polyethylene (LDPE) digunakan setelah melalui proses pencucian, pencacahan, dan pengeringan. LDPE kemudian dicampurkan dengan aspal melalui metode pencampuran basah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penambahan limbah plastik LDPE terhadap kualitas campuran aspal modifikasi, terutama pada aspek stabilitas, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap retak. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall untuk memperoleh parameter seperti stabilitas, flow, rongga dalam campuran (VIM), rongga antar butir agregat (VMA), serta rongga yang terisi aspal (VFA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai penetrasi aspal modifikasi PG 70 cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kadar limbah plastik LDPE, dari 55 cm pada kadar 0% menjadi 44,13 cm pada kadar 6%, yang mengindikasikan peningkatan kekerasan aspal. Titik nyala tertinggi tercapai pada kadar LDPE 6% sebesar 375,67 °C, sementara titik nyala terendah sebesar 367 °C pada kadar 0%, menunjukkan peningkatan keamanan termal. Selain itu, titik lembek tertinggi tercatat pada kadar LDPE 6% sebesar 61,8 °C, sedangkan titik lembek terendah sebesar 52,9 °C pada kadar 0%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan LDPE meningkatkan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi dan tetap memenuhi standar teknis yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah plastik LDPE dalam campuran aspal dapat menjadi solusi inovatif dalam mengurangi volume limbah plastik sekaligus meningkatkan kualitas perkerasan jalan.

Kata kunci: Limbah Plastik LDPE, Aspal Modifikasi, Aspal Beton, Uji Marshall.

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia limbah plastik menjadi salah satu isu utama dalam pengelolaan sampah. Berdasarkan data statistik dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), plastik menempati posisi kedua sebagai jenis sampah terbesar setelah limbah organik dari masakan kuliner. Pada tahun 2021, Indonesia menghasilkan sekitar 25,95 juta ton limbah plastik, yang setara dengan 15,96% dari total sampah yang dihasilkan [1]. Plastik merupakan material yang banyak dimanfaatkan masyarakat untuk berbagai keperluan dengan beragam jenis yang beredar di pasaran, seperti Low-Density Polyethylene (LDPE), High-Density Polyethylene (HDPE), dan Polystyrene (PS).

LDPE (kode 4) bersifat lunak dan fleksibel, HDPE (kode 2) lebih tahan lama, tidak mudah korosi, rendah kontaminasi kimia, dan mudah didaur ulang, sedangkan PS (kode 6) memiliki sifat kaku dan stabil secara dimensi [2].

Lapisan perkerasan jalan yang paling sering digunakan di Indonesia adalah lapisan aspal beton. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan yang langsung menerima beban roda kendaraan dan dirancang agar mampu menahan perubahan suhu, gaya geser, tekanan vertikal, serta berperan sebagai lapisan kedap air. Meskipun kekuatannya cukup memadai, lapisan aspal beton rentan mengalami kerusakan akibat suhu tinggi dan beban lalu lintas yang berat, yang dapat menyebabkan terlepasnya agregat serta munculnya retakan pada permukaan jalan. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan meningkatkan performa perkerasan jalan melalui pemanfaatan aspal modifikasi, sehingga diperoleh campuran yang memiliki stabilitas optimal pada suhu tinggi [3].

Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan pengikat dalam campuran aspal beton tidak hanya memberikan solusi untuk mengurangi jumlah limbah plastik yang mencemari lingkungan, tetapi juga berpotensi meningkatkan kualitas perkerasan jalan. Dengan menambahkan limbah plastik LDPE, campuran aspal menjadi lebih padat dan tahan lama, sehingga memberikan performa yang lebih baik dalam menahan beban kendaraan serta menghadapi pengaruh cuaca [4]. Inovasi ini tidak hanya mendukung upaya pengelolaan limbah plastik, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan infrastruktur jalan yang lebih kuat dan berkelanjutan.

Penelitian ini menggunakan limbah plastik LDPE sebagai material tambahan yang menggunakan aspal modifikasi polimer PG 70. Limbah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) tersebut berasal dari sisa-sisa kemasan makanan dan kantong plastik belanjaan yang terkumpul di kawasan Jalan Bendul Merisi, Kecamatan Jagir, Kota Surabaya, limbah plastik diolah melalui proses pencucian untuk menghilangkan kotoran, kemudian dicacah menjadi kecil dan dikeringkan guna mengurangi kadar air. Selanjutnya, limbah plastik yang telah bersih dan kering dicampur dengan aspal panas hingga merata, sehingga berfungsi sebagai bahan pengikat tambahan yang dapat meningkatkan kualitas campuran aspal. Diharapkan hasil dari pengujian penelitian ini dapat mengetahui apakah limbah plastik jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) memenuhi syarat sebagai bahan pengikat campuran dalam aspal modifikasi untuk perkerasan jalan.

Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan jalan yang memanfaatkan aspal sebagai bahan pengikat utamanya. Karena penggunaan aspal tersebut, perkerasan ini memiliki fleksibilitas atau kelenturan yang cukup tinggi. Struktur dari perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan yang disusun berdasarkan konsep *Multilayer Elastic System*, yaitu sistem elastis berlapis di mana material dengan mutu terbaik diletakkan pada lapisan paling atas atau mendekati permukaan jalan. Dalam perencanaannya, konstruksi perkerasan lentur dibentuk secara berlapis-lapis yang meliputi beberapa elemen utama: lapisan pondasi bawah (*Sub Base Course*), lapisan pondasi atas (*Base Course*), dan lapisan permukaan (*Surface Course*) yang terletak di atas tanah dasar (*Sub Grade*). Seluruh lapisan ini, termasuk tanah dasar, bekerja secara terpadu dalam menahan beban dari kendaraan yang melintas di atasnya. Ketebalan dari masing-masing lapisan struktur perkerasan dirancang sedemikian rupa agar mampu mendistribusikan beban lalu lintas tanpa melebihi kapasitas daya dukung tanah dasar. Oleh karena itu, ketebalan total struktur perkerasan sangat ditentukan oleh kondisi teknis tanah dasar, termasuk kekuatan dan kestabilannya. Semakin baik daya dukung tanah dasar, maka dimungkinkan penggunaan ketebalan lapisan yang lebih efisien. Sebaliknya, bila tanah dasar memiliki daya dukung rendah, maka dibutuhkan perkerasan yang lebih tebal atau tambahan perkuatan untuk menjamin kinerja jalan dalam jangka panjang. [5].

Lapis Aspal Beton

Lapis aspal beton merupakan elemen penting dalam struktur perkerasan jalan yang tersusun dari campuran aspal keras dan agregat dengan gradasi berkelanjutan. Campuran ini diproses dalam kondisi panas, dihamparkan di atas permukaan jalan, lalu dipadatkan pada suhu tertentu untuk membentuk lapisan yang kokoh. Material agregat yang digunakan merupakan perpaduan antara agregat kasar, agregat halus, dan filler, yang disusun dengan gradasi optimal agar menghasilkan struktur yang padat dan stabil. Seluruh komponen tersebut dicampur bersama aspal dengan nilai penetrasi tertentu yang telah disesuaikan dengan spesifikasi teknis. Kekuatan struktural lapis aspal beton terutama berasal dari kemampuan agregat untuk saling mengunci (*interlocking*), yang diperkuat oleh kontribusi mortar berupa kombinasi pasir halus, filler, dan aspal sebagai pengikat, sehingga menciptakan lapisan perkerasan yang kuat, tahan lama, dan mampu menahan beban lalu lintas. [6].

Aspal Modifikasi Polimer

Aspal modifikasi polimer adalah teknologi yang dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan campuran aspal, khususnya dalam menghadapi berbagai kondisi cuaca dan beban lalu lintas yang berat. Teknologi ini melibatkan pencampuran aspal dengan bahan tambahan, seperti polimer, untuk memperkuat ikatan antar partikel aspal dan agregat. Penambahan polimer ini bertujuan agar aspal lebih elastis dan tahan terhadap deformasi atau kerusakan dini [7]. Salah satu contoh dari aspal modifikasi adalah aspal PG 70. PG berarti *Performance*

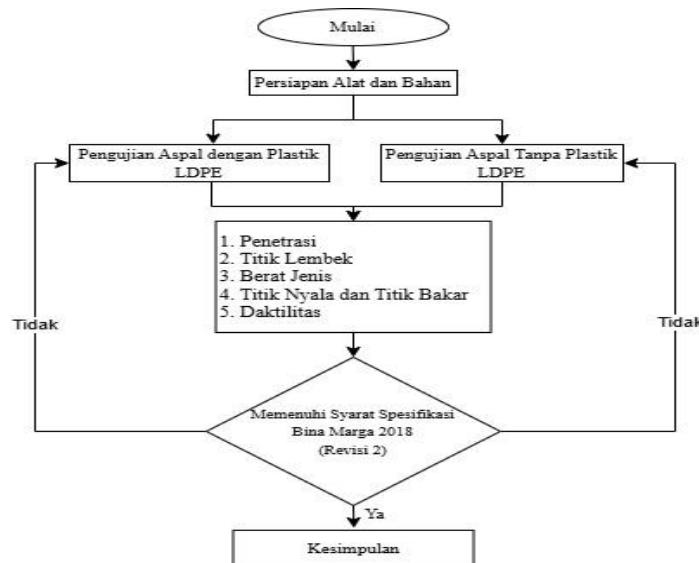
Grades adalah klasifikasi aspal dengan metode *Superpave (Superior Performance Asphalt Pavement)* yang menggunakan metode uji, peralatan, persyaratan, dan penyeleksian aspal yang berbeda dengan metode *Penetration Grade* maupun *Viscosity Grade*, sedangkan angka 70 menunjukkan suhu dalam derajat celsius di mana aspal ini mencapai viskositas yang sesuai, menandakan bahwa aspal ini cocok untuk digunakan pada suhu tinggi. Aspal PG 70 biasanya digunakan pada perkerasan jalan yang membutuhkan kinerja tinggi, seperti jalan tol dan jalan dengan volume lalu lintas yang padat [8].

Limbah Plastik LDPE

Limbah LDPE (*Low Density Polyethylene*) merupakan sisa atau bekas material berbahan plastik LDPE yang telah selesai digunakan dan dibuang. Limbah ini memerlukan proses pengolahan agar dapat dimanfaatkan kembali, salah satunya sebagai bahan pengikat dalam perkerasan jalan lentur berbahan aspal beton. Proses ini dilakukan dengan mencampurkan limbah plastik cacahan pada agregat yang telah dipanaskan hingga suhu 160°C sampai 170°C. Setelah limbah plastik tercampur dengan baik, aspal ditambahkan dan dicampur bersama bahan-bahan lain yang digunakan untuk perkerasan jalan. Melalui metode ini, limbah plastik LDPE dapat digunakan kembali dengan nilai guna yang lebih tinggi, sekaligus membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan [9].

2. METODE PENELITIAN

Diagram pengujian aspal ini memberikan gambaran rinci tentang tahapan-tahapan dan metode yang digunakan dalam proses evaluasi. Setiap langkah dalam diagram tersebut dirancang untuk menganalisis berbagai karakteristik fisik dan kimia aspal, seperti kekuatan, elastisitas, dan daya tahannya. Tujuan utamanya adalah menentukan apakah aspal memenuhi standar kualitas dan layak digunakan, khususnya dalam konteks penelitian yang membutuhkan material dengan spesifikasi tertentu. Diagram ini juga mencakup metode pengujian laboratorium dan teknik analisis untuk memastikan hasil yang akurat.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Persiapan Alat dan Bahan

1. Termometer
2. Alat Penetrasi Aspal
3. Timbangan
4. *Waterbath*
5. Gelas *Beaker*
6. Piknometer
7. Cawan Kuningan
8. Alat Nyala Api
9. Dudukan Benda Uji Plat
10. Alat Pengarah Bola
11. Bola Baja
12. Cetakan Daktilitas
13. *Merhyl alcohol*
14. Mesin Uji Daktilitas

Metode Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini menggunakan jenis aspal PG 70, yang merupakan varian aspal modifikasi dengan tambahan polimer, sehingga menawarkan performa yang lebih unggul dibandingkan aspal konvensional. Aspal ini dirancang untuk memiliki ketahanan lebih baik terhadap kondisi suhu tinggi maupun beban lalu lintas berat. Beragam uji laboratorium dilakukan untuk menilai kualitasnya, antara lain: uji penetrasi guna menentukan tingkat kekerasan

atau konsistensi aspal; uji titik nyala dan titik bakar untuk menilai aspek keamanan terhadap panas ekstrem; uji daktilitas yang menggambarkan kemampuan aspal untuk meregang tanpa terputus; uji berat jenis guna mengetahui densitas material; serta uji titik lembek yang mengindikasikan suhu saat aspal mulai kehilangan kekuatannya. Seluruh pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa aspal yang digunakan memenuhi standar teknis dan keselamatan dalam aplikasi jalan raya.

Pengujian Penetrasi

Pengujian penetrasi aspal merupakan metode yang digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan atau kelembekan aspal, baik yang memiliki sifat padat maupun semi-padat. Proses ini dilakukan dengan cara menusukkan jarum khusus yang memiliki ukuran tertentu ke dalam sampel aspal. Penetrasi dilakukan di bawah beban tertentu dan dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Selama pengujian, suhu aspal dijaga pada 25°C atau 77°F, karena suhu ini dianggap sebagai representasi kondisi suhu permukaan perkerasan jalan di lapangan dalam situasi normal.

Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Uji titik nyala dan titik bakar bertujuan untuk mengetahui suhu saat aspal mulai menyala dan terbakar. Titik nyala didefinisikan sebagai suhu ketika aspal memunculkan nyala singkat, sedangkan titik bakar adalah suhu di mana nyala api bertahan setidaknya selama 5 detik. Pengujian ini dilakukan secara manual menggunakan alat Cleveland Open Cup sesuai dengan standar yang berlaku. Metode ini dapat diterapkan pada berbagai jenis aspal dengan rentang titik nyala antara 79°C hingga 400°C.

Pengujian Daktilitas

Uji daktilitas bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana aspal dapat meregang sebelum putus, yang mengindikasikan sejauh mana aspal memiliki sifat kohesi atau daya ikat antar partikel. Pada uji ini, aspal yang memiliki ukuran 100 mm² akan ditarik dengan kecepatan 50 mm/menit pada suhu 25°C, dan pengukuran dilakukan hingga aspal tersebut terputus.

Pengujian Berat Jenis

Uji berat jenis mengukur rasio antara berat aspal dan berat air suling yang memiliki volume sama pada suhu tertentu. Hasil dari pengukuran berat jenis aspal keras ini bermanfaat dalam perencanaan dan pengawasan kualitas campuran aspal, serta untuk konversi dan penyesuaian dari volume ke berat.

Berat Jenis Aspal

$$Bj = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Keterangan :

- A = berat piknometer dan penutup (gram)
- B = berat piknometer yang berisi air (gram)
- C = berat piknometer yang berisi aspal (gram)
- D = berat piknometer yang berisi aspal dan air (gram)

Pengujian Titik Lembek

Uji titik lembek aspal dilakukan untuk mengetahui suhu di mana aspal mulai kehilangan kekerasannya dan tidak mampu menahan beban bola baja yang diberikan padanya. Pada suhu tertentu, aspal akan mulai melembek hingga bola baja yang diberikan akan turun karena pengaruh gravitasinya. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik di mana aspal beralih dari kondisi padat menjadi cair atau lebih lembek, yang menandakan perubahan fase fisiknya. Hasil dari pengujian ini penting untuk memahami kinerja aspal dalam kondisi suhu tinggi, yang bisa mempengaruhi daya tahan dan kestabilannya saat digunakan pada permukaan jalan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jalan milik Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali, dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). Standar ini diterapkan sebagai pedoman guna memastikan bahwa material alternatif yang digunakan memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan dalam campuran beraspal.

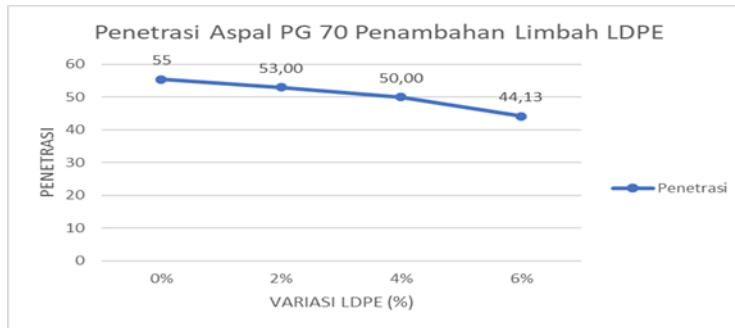
Pengujian Penetrasi

Uji penetrasi digunakan untuk menentukan tingkat kekerasan aspal dengan mengukur kedalaman penetrasi jarum secara vertikal (dinyatakan dalam satuan 0,1 mm). Semakin tinggi nilai penetrasi, semakin lunak sifat aspal tersebut. Berikut ini disajikan hasil pengujian penetrasi pada aspal PG 70 :

Tabel 1. Hasil Pengujian Penetrasi Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi (%)	Hasil Pengujian Penetrasi
1	0%	55
2	2%	53,00
3	4%	50,00
4	6%	44,13

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 2. Hubungan Kadar Limbah Plastik LDPE dengan Penetrasi pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa nilai penetrasi cenderung menurun seiring bertambahnya kadar limbah plastik LDPE. Penurunan ini menunjukkan bahwa aspal menjadi semakin keras atau cenderung getas. Nilai penetrasi tertinggi tercatat sebesar 55 cm pada campuran tanpa penambahan limbah LDPE (0%), sedangkan nilai terendah sebesar 44,13 cm terdapat pada campuran dengan kadar limbah LDPE 6%. Meskipun demikian, seluruh hasil masih berada dalam batas yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum 2018 untuk aspal PG 70.

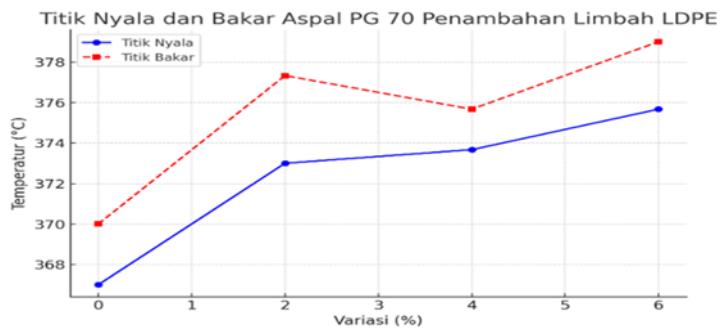
Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian terhadap titik nyala dan titik bakar merupakan prosedur penting dalam menilai sejauh mana aspal memiliki potensi untuk terbakar ketika terkena panas berlebih atau sumber api langsung. Uji ini memberikan informasi krusial terkait tingkat keamanan dan risiko kebakaran yang mungkin timbul saat aspal digunakan di lapangan. Titik nyala yang rendah menjadi indikator adanya senyawa mudah menguap dalam aspal, yang dapat memicu nyala api dengan cepat. Data hasil pengujian titik nyala disajikan pada bagian berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70			
No.	Kadar Variasi (%)	Hasil Pengujian Titik Nyala	Hasil Pengujian Titik Bakar
1	0%	367	370,0
2	2%	373,00	377,33
3	4%	373,67	375,67
4	6%	375,67	379

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 3. Hubungan Kadar Limbah Plastik LDPE dengan Titik Nyala dan Bakar pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai titik nyala meningkat seiring dengan penambahan kadar limbah plastik LDPE. Peningkatan ini terjadi karena limbah LDPE memiliki titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal. Titik nyala tertinggi tercapai pada kadar limbah LDPE 6% sebesar 375,67 °C, sementara nilai terendah sebesar 367 °C terdapat pada campuran tanpa limbah LDPE (0%). Seluruh nilai tersebut masih memenuhi ketentuan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

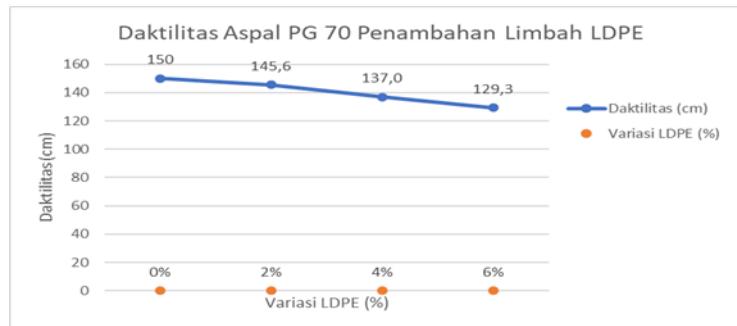
Pengujian Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui tingkat kelenturan dan elastisitas aspal ketika mengalami tarikan. Uji ini dilakukan pada suhu $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ atau sesuai dengan ketentuan suhu yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada pengujian tersebut, sampel aspal ditempatkan dalam cetakan khusus, kemudian ditarik secara perlahan dengan kecepatan 50 mm per menit $\pm 2,5$ mm hingga aspal mengalami retakan. Jarak pemuluran aspal sampai terjadi retakan digunakan sebagai parameter untuk menentukan nilai daktilitasnya. Data hasil pengujian daktilitas akan disajikan pada bagian berikut di bawah ini :

Tabel 3. Hasil Pengujian Daktilitas Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi (%)	Hasil Pengujian Daktilitas
1	0%	150 cm
2	2%	145,6 cm
3	4%	137,0 cm
4	6%	129,3 cm

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 4. Hubungan Kadar Limbah Plastik LDPE dengan Daktilitas pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan data pada grafik dan tabel di atas, nilai daktilitas cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kadar limbah LDPE. Penurunan ini menunjukkan bahwa aspal modifikasi menjadi lebih getas seiring bertambahnya limbah LDPE. Nilai daktilitas tertinggi tercatat sebesar 150 cm pada kadar limbah LDPE 0%, sedangkan nilai terendah sebesar 129,3 cm pada kadar 6%. Seluruh campuran aspal dengan variasi kadar limbah LDPE tetap memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum 2018.

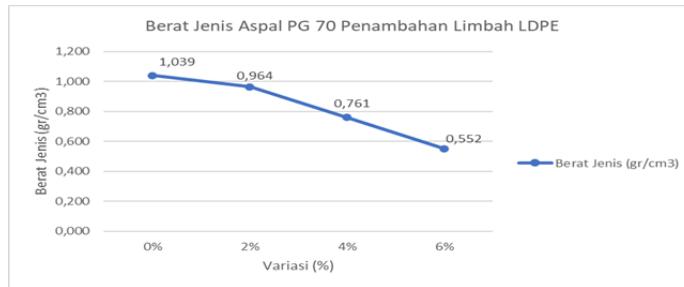
Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis ini dilakukan dengan tujuan memastikan bahwa nilai berat jenis material aspal PG 70 yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan yang ada dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Hasil pengukuran berat jenis aspal akan disajikan pada tabel berikut dibawah ini :

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi (%)	Hasil Pengujian Berat Jenis
1	0%	1,039 gr/cm ³
2	2%	0,964 gr/cm ³
3	4%	0,761 gr/cm ³
4	6%	0,552 gr/cm ³

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 5. Hubungan Kadar Limbah Plastik LDPE dengan Berat Jenis pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan grafik dan tabel di atas, nilai berat jenis cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kadar limbah LDPE. Penurunan ini disebabkan oleh berat jenis limbah LDPE yang lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis aspal. Nilai berat jenis tertinggi tercatat sebesar 1,039 gram/cm³ pada kadar limbah LDPE 0%, sedangkan nilai terendah sebesar 0,552 gram/cm³ pada kadar 6%. Semua campuran aspal dengan variasi kadar limbah LDPE masih sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum 2018.

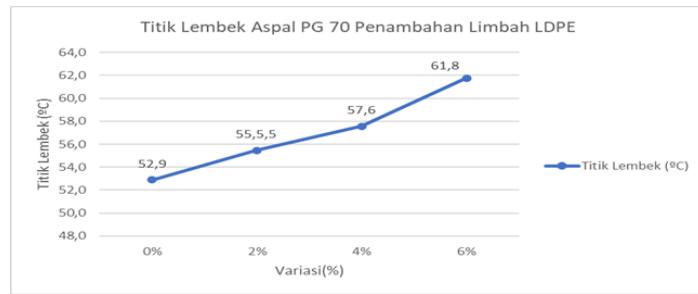
Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk menentukan suhu ketika aspal mulai mengalami pelunakan, dengan menggunakan metode ring and ball. Hasil pengujian ini berguna untuk mengevaluasi tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan suhu. Adapun hasil pengukuran titik lembek aspal disajikan pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Hasil Pengujian Titik Lembek Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi (%)	Hasil Pengujian Titik Lembek
1	0%	52,9 (°C)
2	2%	55,5 (°C)
3	4%	57,6 (°C)
4	6%	61,8 (°C)

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 6. Hubungan Kadar Limbah Plastik LDPE dengan Titik Lembek pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan tabel dan grafik di atas menunjukkan di mana nilai titik lembek meningkat seiring dengan bertambahnya kadar limbah LDPE. Hal ini disebabkan oleh titik lembek limbah LDPE yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik lembek aspal. Titik lembek tertinggi tercatat pada kadar limbah LDPE 6% sebesar 61,8 °C, sementara titik lembek terendah sebesar 52,9 °C terdapat pada campuran tanpa limbah LDPE (0%). Semua nilai tersebut masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian				Metode Pengujian	Syarat Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	
		0%	2%	4%	6%		Min	Max
1	Penetrasi (0,1 mm)	55 cm	53 cm	50 cm	44 cm	SNI 2456-2011	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Titik Nyala (°C)	367 °C	373 °C	371 °C	375 °C	SNI 2433-2011	≥230	-
3	Daktilitas (cm)	150 cm	145,6 cm	137 cm	129,3 cm	SNI 2432-2011	-	
4	Berat Jenis (gr/cm ³)	1,039 gr/cm ³	0,964 gr/cm ³	0,761 gr/cm ³	0,552 gr/cm ³	SNI 2441-2011	-	
5	Titik Lembek (°C)	52,9 °C	55,5 °C	57,6 °C	61,8 °C	SNI 2434-2011	Dilaporkan ⁽²⁾	

(Sumber : Peneliti, 2025)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah plastik LDPE sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal modifikasi PG 70 terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas aspal. Penambahan LDPE pada aspal beton meningkatkan stabilitas, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap retak. Hasil uji penetrasi menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar LDPE, nilai penetrasi aspal menurun, yang berarti aspal menjadi lebih keras. Selain itu, peningkatan kadar LDPE juga meningkatkan titik lembek, sehingga aspal lebih tahan terhadap suhu tinggi. Penurunan berat jenis aspal terjadi seiring dengan meningkatnya kadar LDPE karena berat jenis plastik LDPE lebih rendah. Secara keseluruhan, campuran aspal dengan variasi kadar LDPE tetap memenuhi standar teknis yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, sehingga LDPE dapat dimanfaatkan sebagai bahan modifikasi aspal yang dapat meningkatkan performa jalan sekaligus mengurangi limbah plastik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Purwanto and D. Hikmah Perkasa, "Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Biji Plastik Yang Bernilai Tambang Ekonomi Di Kelurahan Dadap Tangerang," *Dedikasi : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 2, no. 1, pp. 171–181, Feb. 2023, doi: 10.53276/dedikasi.v2i1.42.
- [2] Elizabeth Fiona Hartono and Nur Rachmat, "Klasifikasi Jenis Plastik HDPE, LDPE, Dan PS Berdasarkan Tekstur Menggunakan Metode Support Vector Machine," 2022. [Online]. Available: <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [3] E. Suardi, R. Fitri, D. Chintya Sagita, J. Teknik Sipil, and P. Negeri Padang, "Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil Perbandingan Karakteristik Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76," vol. 19, no. 1, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/TerakreditasiSINTAPeringkat5>

- [4] Fahrizal Gunawan, Meriana Wahyu Nugroho, Totok Yulianto, and Titin Sundari, “Evaluasi Nilai Stabilitas Pada Aspal AC-WC Dengan Metode SNI 06-2489-1991,” *Jurnal Sipil Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 90–100, Dec. 2023, doi: 10.58169/jusit.v1i2.284.
- [5] A. Arthono and V. A. Permana, “(2022) Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode Analisa Komponen SNI,” 2022.
- [6] S. Subagyo, E. Yosef, and M. Nana, “PENGENDALIAN MUTU PELAKSANAAN ASPAL BETON (AC-BC),” no. 1, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.ucty.ac.id/index.php/CivETech/issue/archive>
- [7] I. Tosi, M. Hadi, M. Wisman, and K. Kunci, “Durabilitas Aspal Modifikasi Pg 70 Menggunakan Limestone (Abu Batu) Sebagai Filler Terhadap Uji Marshall,” vol. 6, no. 1, pp. 31–35, 2023, doi: 10.52005/teslink.v115i1.xxx.
- [8] R Endro Wibisono and Risma Yuantika, “Analisis Kualitas Aspal Pertamina Dan Aspal PG 70 Berdasarkan Uji Penetrasi Menggunakan SNI 2456-2011,” 2024, doi: 10.25139/jprs.v7i2.8662.
- [9] M. Fahrizal Zaki Mubarok, “Pengaruh Penambahan Limbah Kantong Plastik Ldpe (*Low Density Polyethylene*) Dengan Metode Basah Pada Campuran Laston Lapis Pondasi Terhadap Parameter Uji Marshall.,” 2020.

PENAMBAHAN LIMBAH SPONS SANDAL EVA TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL MODIFIKASI PG 70 PADA CAMPURAN ASPAL BETON

Raihan Bryne Firdaus Al Machrus¹, Aditya Rizkiardi², *Nurani Hartatik³, Siska Yovina Ervitasari⁴,
I Gede Agus Punarta⁵

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

^{4,5}Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

*)Email : nuranihartatik@untag-sby.ac.id

ABSTRACT

In Indonesia, waste from home industries is still a major challenge in sustainable environmental management efforts. One type of waste that is often overlooked is Ethylene Vinyl Acetate (EVA)-based sandal sponge waste. This waste is generally disposed of without further utilization, thus potentially polluting the surrounding environment. This research aims to utilize EVA waste as an additive in PG 70 modified asphalt mixture in the asphalt concrete layer, which is a road pavement layer that directly bears the traffic load and must be able to withstand vertical pressure, shear force, deformation, and temperature fluctuations. EVA waste was processed through washing, shredding, and drying before being mixed into the asphalt using the wet mixing method. A series of laboratory tests were conducted to assess the effect of EVA addition on the physical characteristics of asphalt, including penetration, flash point, ductility, specific gravity, and softening point tests. The results showed that the addition of EVA waste tended to increase the flash point and softening point, but decreased the penetration, ductility, and specific gravity values. All test parameters are still within the limits required by the General Specifications of Bina Marga 2018 (Revision 2). These findings prove that EVA waste has potential as an additive that not only improves asphalt performance, but also supports more environmentally friendly and sustainable waste management solutions.

Keyword : PG 70 asphalt, EVA waste, asphalt concrete, physical characteristics, asphalt modification.

ABSTRAK

Di Indonesia, limbah dari industri rumahan masih menjadi tantangan besar dalam upaya pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Salah satu jenis limbah yang sering diabaikan adalah limbah spons sandal berbahan dasar *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA). Limbah ini umumnya dibuang tanpa pemanfaatan lebih lanjut, sehingga berpotensi mencemari lingkungan sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah EVA sebagai bahan aditif dalam campuran aspal modifikasi PG 70 pada lapisan aspal beton (Laston), yaitu lapisan perkerasan jalan yang langsung menanggung beban lalu lintas dan harus mampu bertahan terhadap tekanan vertikal, gaya geser, deformasi, serta fluktuasi suhu. Limbah EVA diolah melalui proses pencucian, pencacahan, dan pengeringan sebelum dicampurkan ke dalam aspal menggunakan metode pencampuran basah. Serangkaian pengujian laboratorium dilakukan untuk menilai pengaruh penambahan EVA terhadap karakteristik fisik aspal, meliputi uji penetrasi, titik nyala, duktilitas, berat jenis, dan titik lembek. Hasil menunjukkan bahwa penambahan limbah EVA cenderung meningkatkan titik nyala dan titik lembek, namun menurunkan nilai penetrasi, duktilitas, dan berat jenis. Seluruh parameter hasil uji masih berada dalam batas yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Temuan ini membuktikan bahwa limbah EVA memiliki potensi sebagai bahan tambah yang tidak hanya meningkatkan performa aspal, tetapi juga mendukung solusi pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci : Aspal PG 70, limbah EVA, aspal beton, karakteristik fisik, modifikasi aspal.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya urbanisasi, pertumbuhan sektor industri di Indonesia mengalami kemajuan yang signifikan dan berperan penting dalam mendukung perekonomian nasional. Salah satu sektor yang berkembang pesat adalah industri alas kaki. Berdasarkan laporan Kementerian Perindustrian (2018), Indonesia termasuk salah satu produsen alas kaki terbesar di dunia. Menurut [1] Indonesia menempati peringkat ketiga sebagai eksportir alas kaki global pada tahun 2022, setelah Tiongkok dan Vietnam, dengan total ekspor mencapai 535 juta pasang atau sekitar 3,5% dari pangsa ekspor dunia. Di balik pencapaian tersebut, aktivitas industri ini turut menghasilkan limbah, salah satunya adalah limbah spons sandal berbahan dasar *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA), yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Pemanfaatan limbah spons sandal berbahan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) di Indonesia masih sangat terbatas. Limbah ini sering dianggap tidak bernilai ekonomis dan dibuang tanpa pengolahan yang tepat. Salah satu sumber utamanya berasal dari industri rumahan di Desa Wagir, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo, yang memproduksi sekitar 100 pasang sandal dan menghasilkan 10 kg limbah spons per hari. Penumpukan limbah ini dapat mencemari lingkungan jika tidak ditangani. Salah satu alternatif solusi adalah pemanfaatan limbah EVA sebagai bahan aditif dalam campuran aspal beton karena mampu meningkatkan kohesi dan kekuatan ikatan antarpartikel [2].

Lapisan aspal beton (Laston) merupakan bagian teratas perkerasan jalan yang langsung menanggung beban lalu lintas. Meskipun bersifat fleksibel dan dirancang untuk memberikan kenyamanan serta ketahanan, lapisan ini tetap rentan terhadap kerusakan akibat suhu tinggi dan beban berat, seperti pelepasan agregat dan retak permukaan [3]. Pemanfaatan limbah spons sandal berbahan EVA sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton dapat menjadi solusi inovatif untuk mengurangi limbah sekaligus meningkatkan kualitas dan daya tahan jalan [4].

Salah satu cara untuk meningkatkan mutu aspal adalah melalui penerapan aspal modifikasi, yang dirancang agar campuran perkerasan lebih stabil pada suhu tinggi. Aspal PG 70, yang dicampur dengan aspal alami, merupakan salah satu jenis aspal modifikasi yang terbukti mampu meningkatkan kinerja perkerasan jalan. Dibandingkan dengan aspal konvensional tipe penetrasi 60/70, PG 70 menawarkan stabilitas termal lebih tinggi dan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi plastis, terutama dalam kondisi bersuhu ekstrem. Campuran aspal beton dengan PG 70 juga memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi, yang berkontribusi pada peningkatan daya tahan terhadap deformasi, pengurangan risiko retak, dan ketahanan aus yang lebih baik sepanjang masa layanan jalan. Dengan demikian, penggunaannya dapat memperpanjang umur jalan dan menekan biaya perawatan [5].

2. KAJIAN PUSTAKA

Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur adalah jenis konstruksi perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, sehingga memiliki sifat fleksibel dan mampu menyesuaikan diri terhadap deformasi tanah di bawahnya. Perencanaan perkerasan terdiri dari lapisan pondasi bawah (*Sub Base Course*), pondasi atas (*Base Course*), dan lapisan permukaan (*Surface Course*) yang diletakkan di atas tanah dasar (*Sub Grade*). Semua lapisan tersebut bersama tanah dasar menahan beban lalu lintas, dengan ketebalan perkerasan disesuaikan berdasarkan daya dukung tanah dasar. [6].

Lapis Aspal Beton

Lapis aspal beton (Laston) merupakan salah satu jenis lapisan perkerasan jalan yang tersusun dari campuran agregat kasar, agregat halus, material pengisi (*filler*), serta aspal keras. Campuran ini diolah dalam kondisi panas, kemudian dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu agar mencapai kepadatan dan kekuatan yang diinginkan. Agregat yang digunakan adalah kombinasi dari agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dengan gradasi yang seragam dan baik, sehingga menghasilkan campuran yang stabil dan mampu menahan beban lalu lintas. Aspal yang digunakan biasanya adalah aspal keras dengan tingkat penetrasi tertentu, yang disesuaikan dengan kebutuhan teknis dan kondisi lingkungan jalan tersebut. Laston banyak dipilih karena daya tahannya yang tinggi terhadap beban kendaraan dan perubahan suhu, serta memberikan permukaan jalan yang halus dan nyaman dilalui. [7].

Aspal

Aspal adalah bahan yang berperan sebagai pengikat, terbentuk dari campuran senyawa hidrokarbon yang kompleks. Memiliki sifat termoplastis, aspal akan melembut saat dipanaskan dan mengeras kembali ketika dingin. Dalam konstruksi jalan, aspal digunakan untuk menyatukan agregat menjadi struktur yang solid dan kokoh. Sifat kedap airnya juga menjadikan aspal sangat cocok sebagai lapisan perkerasan jalan yang mampu bertahan terhadap perubahan cuaca dan tekanan lalu lintas. Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam, aspal minyak dan aspal polimer [8].

Aspal Modifikasi Polimer

Aspal modifikasi polimer adalah inovasi yang dirancang untuk meningkatkan mutu dan ketahanan campuran aspal, terutama terhadap cuaca ekstrem dan beban lalu lintas berat. Proses ini mencampurkan aspal dengan polimer agar lebih elastis dan tahan deformasi. Salah satu jenisnya adalah Aspal PG 70, yang diklasifikasikan berdasarkan metode *Superpave*. Angka 70 menunjukkan suhu maksimum penggunaan, sehingga cocok untuk jalan berkinerja tinggi seperti jalan tol dan jalan dengan lalu lintas padat [9].

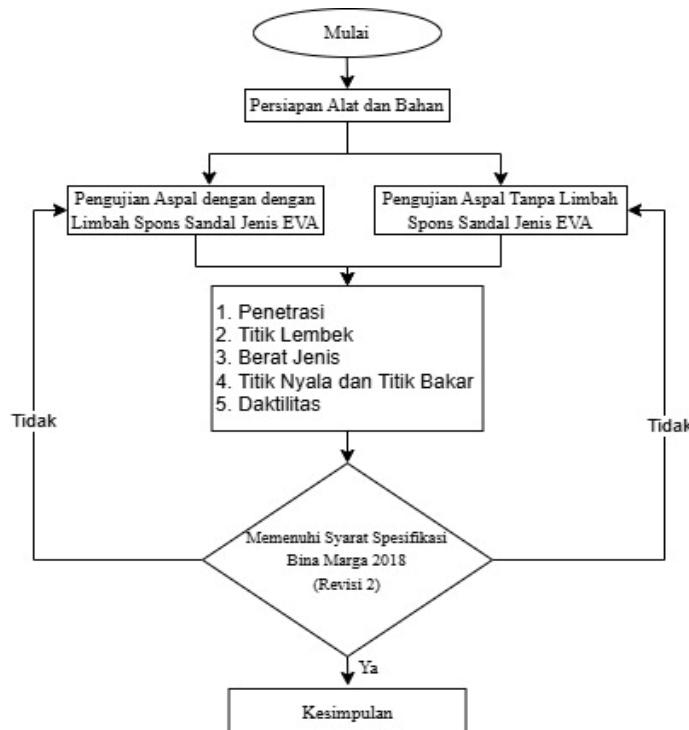
Limbah Spons Sandal EVA

Limbah spons sandal berbahan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) merupakan jenis limbah padat yang umum dihasilkan oleh industri rumahan, seperti yang terdapat di Desa Wagir, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. Dengan jumlah produksi mencapai sekitar 100 pasang sandal per hari, limbah EVA yang dihasilkan dapat mencapai sekitar 10 kilogram per hari. Limbah ini berasal dari sisa-sisa potongan bahan yang tidak terpakai dalam proses pembuatan sandal. Apabila tidak dimanfaatkan dengan baik, limbah ini akan menumpuk dan menimbulkan potensi pencemaran lingkungan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak negatif tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah EVA sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton. Proses ini dilakukan dengan mencacah limbah menjadi potongan kecil, kemudian mencampurkannya ke dalam aspal panas pada suhu antara 160°C hingga 170°C. Penggunaan limbah EVA sebagai aditif pada aspal tidak hanya membantu mengurangi volume limbah, tetapi juga berpotensi meningkatkan kualitas campuran aspal.

Pemanfaatan ini merupakan langkah positif dalam mendukung pengelolaan limbah yang ramah lingkungan sekaligus mendorong inovasi dalam penggunaan material konstruksi berkelanjutan.[2].

3. METODE PENELITIAN

Diagram pengujian aspal ini menjelaskan secara rinci tahapan dan metode yang digunakan dalam proses evaluasi. Setiap langkah dirancang untuk menguji berbagai karakteristik fisik aspal, seperti kekuatan, elastisitas, dan ketahanan. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa aspal memenuhi standar kualitas serta layak digunakan, terutama dalam penelitian yang memerlukan material dengan spesifikasi khusus. Diagram tersebut juga mencakup prosedur pengujian laboratorium dan teknik analisis guna menghasilkan data yang akurat.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Persiapan Alat dan Bahan

1. Termometer
2. Alat Penetrasi Aspal
3. Timbangan
4. *Waterbath*
5. Gelas *Beaker*
6. Piknometer
7. Cawan Kuningan
8. Alat Nyala Api
9. Dudukan Benda Uji Plat
10. Alat Pengarah Bola
11. Bola Baja
12. Cetakan Daktilitas
13. *Merhyl alcohol*
14. Mesin Uji Daktilitas

Metode Pengujian Aspal

Penelitian ini menggunakan aspal PG 70, yaitu aspal modifikasi polimer dengan performa lebih baik dibandingkan aspal biasa. Berbagai pengujian dilakukan untuk menilai karakteristik fisik dan termalnya, antara lain uji penetrasi untuk mengetahui kekerasan, uji titik nyala dan titik bakar guna mengevaluasi keamanan termal, serta uji daktilitas untuk mengukur kelenturan aspal. Selain itu, dilakukan juga uji berat jenis untuk menentukan densitas, dan uji

titik lembek yang bertujuan mengidentifikasi suhu di mana aspal mulai melunak. Semua pengujian ini bertujuan memastikan kualitas aspal sesuai standar.

Pengujian Penetrasi

Pengujian penetrasi aspal digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan atau kelembutan aspal dalam kondisi padat atau semi-padat. Metode ini melibatkan penusukan jarum standar ke dalam sampel aspal dengan beban dan durasi tertentu. Pengujian dilakukan pada suhu 25°C (77°F) untuk mensimulasikan kondisi suhu permukaan jalan pada situasi normal di lapangan. Nilai penetrasi yang diperoleh mencerminkan konsistensi aspal dan membantu menentukan kualitas serta ketahanan material terhadap deformasi. Hasil pengujian ini sangat penting dalam memilih aspal yang sesuai untuk konstruksi jalan guna memastikan performa dan daya tahan yang optimal.

Pengujian Titik Nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk menentukan suhu saat aspal mulai menghasilkan uap yang dapat menyala sesaat ketika terkena api. Titik nyala ini menandai batas awal risiko kebakaran, meskipun api belum dapat terus menyala pada suhu tersebut. Pengujian dilakukan secara manual menggunakan alat Cleveland Open Cup sesuai standar yang berlaku. Metode ini dapat diterapkan pada berbagai jenis aspal dengan rentang titik nyala antara 79°C hingga 400°C. Hasil pengujian ini penting untuk menilai keamanan penyimpanan dan penggunaan aspal dalam proses konstruksi serta mengurangi potensi bahaya kebakaran.

Pengujian Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan mengukur kemampuan aspal untuk meregang sebelum putus, yang mencerminkan kohesi atau kekuatan ikatan antar partikel dalam material tersebut. Dalam pengujian, sampel aspal berukuran 100 mm² ditarik secara perlahan dengan kecepatan 50 mm per menit pada suhu 25°C hingga terjadi pemutusan. Panjang regangan maksimum yang berhasil dicapai menjadi indikator utama dalam menilai hasil pengujian ini. Data tersebut sangat penting untuk menentukan fleksibilitas aspal, yang berpengaruh pada ketahanan material terhadap retak dan deformasi saat digunakan dalam konstruksi jalan.

Pengujian Berat Jenis

Pengujian titik lembek bertujuan menentukan suhu di mana aspal mulai melembek hingga tidak mampu menopang beban bola baja di atasnya. Saat suhu naik, kekerasan aspal menurun sehingga bola baja turun karena gaya gravitasi. Uji ini mengukur suhu transisi aspal dari kondisi padat menjadi lunak, yang penting untuk menilai stabilitas dan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi. Hasil pengujian membantu memastikan performa aspal di permukaan jalan, khususnya dalam menghadapi cuaca panas yang dapat mempengaruhi daya tahan dan umur material. Dengan demikian, pengujian ini sangat krusial dalam evaluasi kualitas aspal.

Rums Berat Jenis Aspal :

$$Bj = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Keterangan :

- A = berat piknometer dengan penutup (gram)
- B = berat piknometer berisi air (gram)
- C = berat piknometer berisi aspal (gram)
- D = berat piknometer berisi aspal dan air (gram)

Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk menentukan suhu di mana aspal mulai melembek hingga tidak mampu menopang beban bola baja yang diletakkan di atasnya. Saat suhu meningkat, kekerasan aspal menurun sehingga bola baja akan turun akibat gaya gravitasi. Uji ini mengidentifikasi suhu transisi aspal dari kondisi padat ke lunak, yang menjadi parameter penting dalam menilai stabilitas dan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi. Informasi ini sangat berguna untuk memastikan performa aspal saat digunakan di permukaan jalan, terutama dalam menghadapi kondisi cuaca panas yang dapat mempengaruhi daya tahan dan keawetan material.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Jalan BBPJN Jawa Timur – Bali dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Standar tersebut diterapkan untuk memastikan material alternatif dalam campuran aspal memenuhi persyaratan teknis yang ketat, sehingga menjamin mutu, ketahanan, dan keberlanjutan konstruksi jalan. Pengujian ini penting untuk mendukung kualitas dan daya tahan infrastruktur jalan secara optimal.

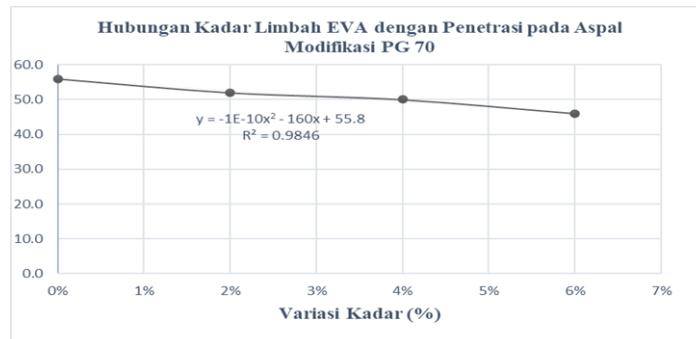
Pengujian Penetrasi

Uji penetrasi dilakukan untuk mengukur tingkat kekerasan aspal dengan menentukan kedalaman penetrasi jarum secara vertikal, yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm. Nilai penetrasi yang lebih tinggi menunjukkan sifat aspal yang lebih lunak. Berikut ini disajikan hasil pengujian penetrasi pada aspal PG 70 :

Tabel 7. Hasil Pengujian Penetrasi Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Penetrasi Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi	Hasil Pengujian Penetrasi
1	0%	56 cm
2	2%	52 cm
3	4%	50 cm
4	6%	46 cm

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 2. Hubungan Kadar Limbah EVA dengan Penetrasi pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa nilai penetrasi cenderung menurun seiring bertambahnya kadar limbah EVA. Penurunan ini menunjukkan bahwa aspal menjadi semakin keras atau cenderung getas. Nilai penetrasi tertinggi tercatat sebesar 56 cm pada campuran tanpa penambahan limbah EVA (0%), sedangkan nilai terendah sebesar 46 cm terdapat pada campuran dengan kadar limbah EVA 6%. Meskipun demikian, seluruh hasil masih berada dalam batas yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum 2018 untuk aspal PG 70.

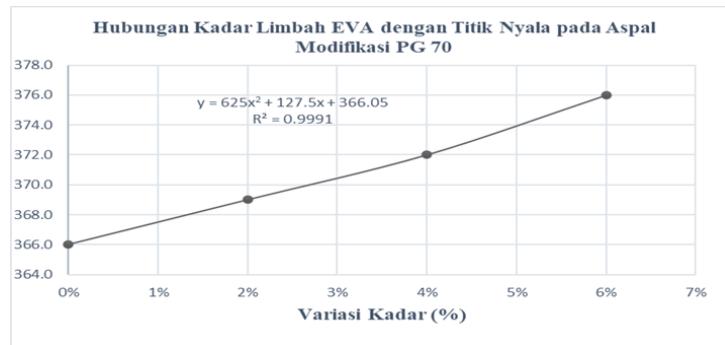
Pengujian Titik Nyala

Uji titik nyala dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan aspal terhadap suhu tinggi, dengan cara mengukur suhu saat aspal mulai terbakar secara berkelanjutan. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan aspal yang lebih baik dalam menghadapi panas ekstrem. Hasil pengujian titik nyala ditampilkan pada bagian berikut :

Tabel 8. Hasil Pengujian Titik Nyala Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Titik Nyala Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi	Hasil Pengujian Titik Nyala
1	0%	366.0 °C
2	2%	369.0 °C
3	4%	372.0 °C
4	6%	376.0 °C

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 3. Hubungan Kadar Limbah EVA dengan Titik Nyala pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan tabel dan grafik, dapat dilihat bahwa nilai titik nyala seiring dengan penambahan kadar limbah EVA. Peningkatan ini terjadi karena limbah EVA memiliki titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal. Titik nyala tertinggi tercapai pada kadar limbah EVA 6% sebesar 376 °C, sementara nilai terendah sebesar 366 °C terdapat pada campuran tanpa limbah EVA (0%). Seluruh nilai tersebut masih memenuhi ketentuan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

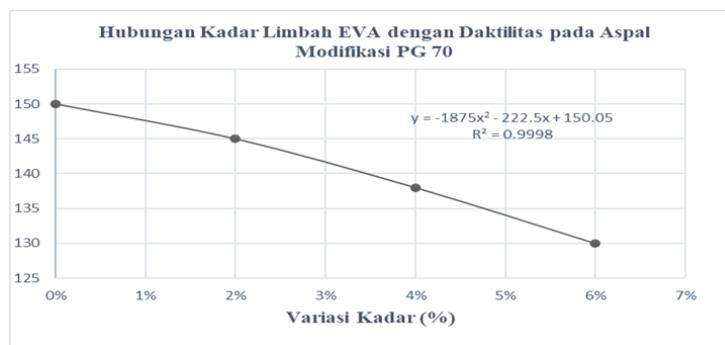
Pengujian Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengukur tingkat kelenturan dan elastisitas aspal saat ditarik. Uji ini dilakukan pada suhu $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ atau sesuai standar yang berlaku. Sampel aspal dimasukkan ke dalam cetakan khusus dan ditarik secara perlahan dengan kecepatan 50 mm per menit $\pm 2,5$ mm hingga terjadi retakan. Panjang pemuluran hingga retak menjadi parameter untuk menentukan nilai daktilitas. Hasil pengujian daktilitas akan disajikan pada bagian berikut ini:

Tabel 9. Hasil Pengujian Daktilitas Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Daktilitas Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi	Hasil Pengujian Daktilitas
1	0%	150 cm
2	2%	145 cm
3	4%	138 cm
4	6%	130 cm

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 4. Hubungan Kadar Limbah EVA dengan Daktilitas pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan data yang disajikan pada tabel dan grafik di atas, nilai daktilitas aspal menunjukkan penurunan yang konsisten seiring dengan meningkatnya kadar limbah EVA dalam campuran. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan limbah EVA membuat aspal modifikasi menjadi lebih getas atau kurang lentur. Nilai daktilitas tertinggi dicapai pada kadar limbah EVA 0% dengan panjang regangan sebesar 150 cm, sedangkan nilai terendah tercatat sebesar 130 cm pada kadar limbah EVA 6%. Meskipun terjadi penurunan, seluruh variasi campuran aspal dengan limbah EVA tetap memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, sehingga masih layak digunakan dalam konstruksi jalan.

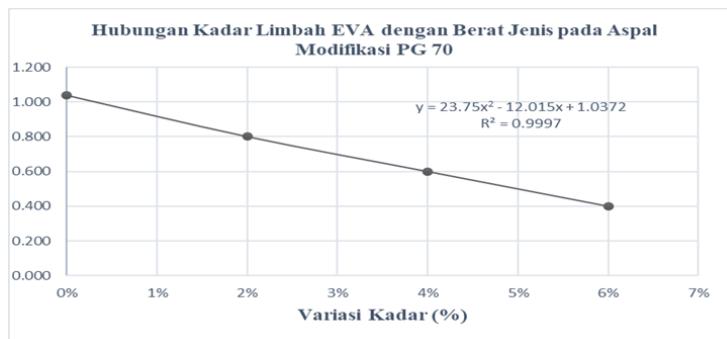
Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan untuk memastikan bahwa nilai densitas aspal PG 70 yang digunakan dalam campuran telah sesuai dengan standar dan ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Pengujian ini sangat penting untuk menjamin bahwa aspal memiliki karakteristik fisik yang memenuhi persyaratan teknis sehingga dapat mendukung kualitas dan daya tahan konstruksi jalan. Data hasil dari pengujian berat jenis tersebut kemudian disajikan secara rinci dalam tabel berikut, yang akan memudahkan analisis dan evaluasi terhadap kesesuaian material dengan standar yang berlaku.

Tabel 10. Hasil Pengujian Berat Jenis Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Berat Jenis Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi	Hasil Pengujian Berat Jenis
1	0%	1.039 gram/cm ³
2	2%	0.801 gram/cm ³
3	4%	0.600 gram/cm ³
4	6%	0.400 gram/cm ³

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 5. Hubungan Kadar Limbah EVA dengan Berat Jenis pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, nilai berat jenis aspal menunjukkan penurunan seiring dengan meningkatnya kadar limbah EVA. Penurunan ini terjadi karena berat jenis limbah EVA yang lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis aspal asli. Nilai berat jenis tertinggi tercatat sebesar 1,039 gram/cm³ pada kadar limbah EVA 0%, sementara nilai terendah mencapai 0,400 gram/cm³ pada kadar limbah EVA 6%. Meskipun terjadi penurunan, seluruh variasi campuran aspal dengan limbah EVA tersebut masih memenuhi persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, sehingga layak untuk digunakan dalam konstruksi jalan.

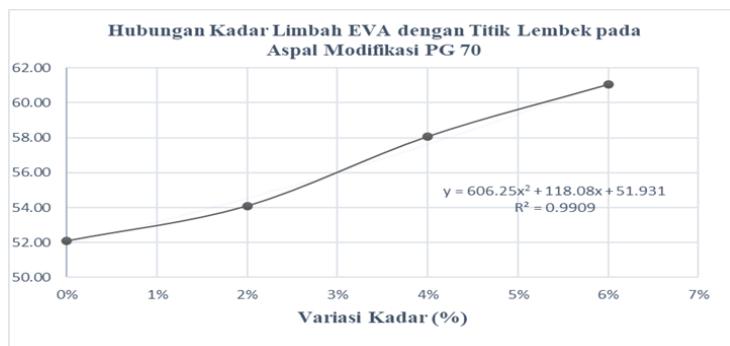
Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk menentukan suhu saat aspal mulai kehilangan kekakuan dan mulai melunak. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode *ring and ball*, yang merupakan metode standar dalam menentukan ketahanan termal aspal. Informasi dari hasil pengujian ini sangat penting untuk menilai sejauh mana aspal sensitif terhadap perubahan suhu lingkungan, khususnya dalam kondisi iklim ekstrem. Data hasil pengukuran titik lembek aspal disajikan pada tabel di bawah ini sebagai dasar evaluasi karakteristik termal material tersebut.

Tabel 11. Hasil Pengujian Titik Lembek Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

Hasil Pengujian Titik Lembek Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70		
No.	Kadar Variasi	Hasil Pengujian Titik Lembek
1	0%	53.08 °C
2	2%	54.09 °C
3	4%	58.07 °C
4	6%	61.05 °C

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 6. Hubungan Kadar Limbah EVA dengan Titik Lembek pada Aspal Modifikasi PG 70

Berdasarkan tabel dan grafik di atas menunjukkan pola yang serupa dengan grafik titik nyala, di mana nilai titik lembek meningkat seiring dengan bertambahnya kadar limbah EVA. Hal ini disebabkan oleh titik lembek limbah EVA yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik lembek aspal. Titik lembek tertinggi tercatat pada kadar limbah EVA 6% sebesar 61,05 °C, sementara titik lembek terendah sebesar 52,08 °C terdapat pada campuran tanpa limbah EVA (0%). Semua nilai tersebut masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Bagian ini menyajikan ringkasan hasil pengujian karakteristik aspal PG 70 yang telah dimodifikasi dengan penambahan limbah EVA pada variasi kadar 0%, 2%, 4%, dan 6%. Pengujian meliputi parameter penetrasi, titik nyala, daktilitas, berat jenis, dan titik lembek, yang kemudian dievaluasi berdasarkan kesesuaian dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Rekapitulasi hasil pengujian aspal modifikasi PG 70 disajikan sebagai berikut :

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70

No	Jenis Pengujian	Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Modifikasi PG 70				Metode Pengujian	Syarat Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018
		0%	2%	4%	6%		
1	Penetrasi (0.1 mm)	56 cm	52 cm	50 cm	46 cm	SNI 2456-2011	Dilaporkan ⁽¹⁾
2	Titik Nyala (°C)	366.0 °C	369.0 °C	372.0 °C	376.0 °C	SNI 2433-2011	≥230 -
3	Daktilitas (cm)	150	145	138	130	SNI 2432-2011	-
4	Berat Jenis (gr/cm³)	1.039 gr/cm³	0.801 gr/cm³	0.600 gr/cm³	0.400 gr/cm³	SNI 2441-2011	-
5	Titik Lembek (°C)	52.08 °C	54.09 °C	58.07 °C	61.05 °C	SNI 2434-2011	Dilaporkan ⁽²⁾

(Sumber : Peneliti, 2025)

Berdasarkan rangkuman hasil pengujian terhadap karakteristik aspal modifikasi PG 70, dapat disimpulkan bahwa material tersebut telah memenuhi seluruh ketentuan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Oleh karena itu, aspal PG 70 yang telah diuji dinyatakan layak dan memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk digunakan dalam proyek konstruksi jalan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap pengaruh penambahan limbah spons sandal EVA pada aspal modifikasi PG 70 dalam campuran AC-WC, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan limbah EVA berpengaruh terhadap karakteristik fisik aspal, di mana terjadi penurunan nilai penetrasi, daktilitas, dan berat jenis seiring bertambahnya kadar EVA, yang mengindikasikan aspal menjadi lebih keras dan getas.
2. Sebaliknya, nilai titik nyala dan titik lembek mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar limbah EVA, yang menunjukkan bahwa campuran aspal menjadi lebih tahan terhadap suhu tinggi.

3. Seluruh hasil pengujian, baik pada kadar 0%, 2%, 4%, maupun 6% limbah EVA, masih memenuhi syarat teknis yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2), sehingga dapat disimpulkan bahwa limbah EVA layak digunakan sebagai bahan aditif dalam modifikasi aspal.
4. Penggunaan limbah spons sandal EVA dalam campuran aspal tidak hanya memberikan manfaat teknis dalam peningkatan performa aspal, tetapi juga mendukung pengelolaan limbah industri secara berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Dengan demikian, limbah spons EVA tidak hanya meningkatkan performa aspal, tetapi juga mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Pemanfaatan ini menjadi solusi inovatif yang ramah lingkungan dalam bidang konstruksi jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Footwear Yearbook 2023, “WORLD FOOTWEAR YEARBOOK 2023.” [Online]. Available: www.worldfootwear.com
- [2] I. N. Nurwantari, ‘‘PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL DARI HOME INDUSTRY DI DESA KEPUH KIRIMAN KECAMATAN WARU KABUPATEN SIDOARJO SEBAGAI MATERIAL AGREGAT KASAR PADA BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PAVING BLOCK,’’ 2023.
- [3] D. Iqbal and F. Ramadhani, ‘‘KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON DENGAN SUBSTITUSI LIMBAH ETHYLENE VINYL ACETATE MENGGUNAKAN GRADASI TERBUKA,’’ 2022.
- [4] S. Supardi *et al.*, ‘‘Pengaruh Bahan Tambah Polimer Ethylene Vinyl Asetate (EVA) pada Campuran Aspal Beton AC-WC Terhadap Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS) dan Durabilitas,’’ *JUNI*, vol. 8, no. 2, p. 109, 2023.
- [5] M. Rizaldi Absyah and N. Hartatik, ‘‘ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70 MODIF PG 70 DENGAN ASPAL CURAH PADA CAMPURAN AC-WC,’’ *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. 3, no. 2, pp. 1275–1289, 2023, doi: 10.46306/tgc.v3i2.
- [6] A. Arthono and V. A. Permana, ‘‘(2022) Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode Analisa Komponen SNI,’’ 2022.
- [7] S. Sukirman, ‘‘Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur,’’ 2010.
- [8] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. 2016.
- [9] I. Tosi, M. Hadi, M. Wisman, and K. Kunci, ‘‘Jurnal Teslink : Teknik Sipil dan Lingkungan Eksperimen Durabilitas Aspal Modifikasi Pg 70 Menggunakan Limestone (Abu Batu) Sebagai Filler Terhadap Uji Marshall,’’ vol. 6, no. 1, pp. 31–35, 2023, doi: 10.52005/teslink.v115i1.xxx.

POTENSI LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG SEBAGAI FILLER ALTERNATIF PADA CAMPURAN ASPAL BETON

*Satria Pradana¹, *Nurani Hartatik², Alif Setyo Ismoyo³, I Gede Agus Punarta⁴

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

^{3,4}Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

*)Email : nuranihartatik@untag-sby.ac.id

ABSTRACT

The utilization of industrial waste as a construction material is a strategic step in supporting sustainable development. In this context, the study was conducted to evaluate the characteristics of tile kiln crust waste as a substitute for filler in asphalt concrete mixture. The waste was obtained from tile production in Kencong Village, Kediri Regency, East Java, then processed into fine powder before being used in the mixture. This study was conducted at the National Road Implementation Center Laboratory, with a series of tests including sieve analysis, determination of specific gravity, and X-Ray Fluorescence (XRF) test. Based on the results of the sieve analysis test, it showed that 77.63% of tile kiln crust powder filler particles could pass through the No. 200 sieve, while the specific gravity value of the material was 2.713. Meanwhile, the results of the XRF analysis indicated that the content of CaO (12.3%), SiO₂ (36.7), and Al₂O₃ (12%) were the main elements, with characteristics resembling limestone filler. Based on the test results, it shows that the waste of the roof tile kiln crust has met the criteria as a filler in the asphalt concrete mixture according to the Bina Marga 2018 specifications (Revision 2). The use of this waste not only contributes to increasing the stability of the asphalt mixture, but also becomes an environmentally friendly waste management solution. Therefore, tile kiln slag waste has significant potential to be applied as a filler substitute in road pavement construction.

Keyword: Tile Waste, Filler, Marshall, Asphalt Concrete.

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah industri sebagai material kontruksi merupakan langkah strategis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Dalam konteks ini, penelitian dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik limbah kerak tungku pembakaran genteng sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran aspal beton. Limbah tersebut diperoleh dari proses genteng di Desa Kencong, Kabupaten Kediri, Jawa Timur, kemudian diolah menjadi serbuk halus sebelum digunakan dalam campuran. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional, dengan rangkaian pengujian yang mencakup analisis saringan, penentuan berat jenis, serta uji *X-Ray Fluorescence* (XRF). Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan menunjukkan bahwa sebanyak 77,63% partikel *filler* serbuk kerak tungku pembakaran genteng yang dapat melewati ayakan No.200, sedangkan nilai berat jenis material tersebut didapatkan nilai 2,713. Sementara itu, hasil analisis XRF mengidikasikan bahwa kandungan CaO (12,3%), SiO₂ (36,7), dan Al₂O₃ (12%) merupakan unsur utama, dengan karakteristik yang menyerupai *filler* dari batu kapur. Berdasarkan hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa limbah kerak tungku pembakaran genteng telah memenuhi kriteria sebagai *filler* dalam campuran aspal beton sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2). Penggunaan limbah ini tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas campuran aspal, tetapi juga menjadi solusi pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Dengan demikian, limbah kerak tungku memiliki potensi signifikan untuk diaplikasikan sebagai substitusi *filler* dalam kontruksi perkerasan jalan.

Kata kunci: Limbah Genteng, Filler, Marshall, Aspal Beton.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan infrastruktur jalan mendorong pencarian material kontruksi yang tidak hanya berkinerja baik, tetapi juga ramah lingkungan. Salah satu material penting dalam perkerasan jalan, khususnya pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) adalah *filler*. *Filler* berfungsi untuk mengisi rongga antar agregat, meningkatkan kepadatan, dan mendukung stabilitas campuran [1]. Umumnya, *filler* yang digunakan berasal dari bahan konvensional seperti semen dan batu kapur. Namun, pemanfaatan limbah industri sebagai alternatif *filler* mulai mendapat perhatian karena potensi ekonomis dan keberlanjutannya [2].

Berbagai studi sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan limbah seperti abu terbang, abu boiler, dan limbah serbuk kaca sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran aspal, dengan hasil yang cukup menjanjikan terhadap peningkatan performa *Marshall*. Meski demikian, pemanfaatan limbah kerak tungku pembakaran genteng masih jarang diteliti, padahal limbah ini tersedia melimpah di sejumlah sentra industri genteng seperti di Desa Kencong, Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Limbah tersebut selama ini hanya dibuang tanpa pengelolaan, padahal memiliki karakteristik fisik yang memungkinkan untuk digunakan sebagai *filler* alternatif [3].

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengkajian karakteristik fisik limbah kerak tungku pembakaran genteng sebagai *filler* pengganti dalam campuran aspal beton, termasuk melalui uji saringan dan berat jenis, serta kelayakan relevansinya dengan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2). Belum banyak penelitian yang secara

spesifik menguji karakteristik material ini dalam campuran aspal beton, sehingga studi ini menjadi penting sebagai bagian dari inovasi material berkelanjutan dalam bidan teknik sipil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik limbah kerak tungku pembakaran genteng sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran aspal beton dan menilai kesesuaian berdasarkan parameter teknis yang berlaku. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan teknologi jalan yang lebih ramah lingkungan dan efisien dari segi biaya material.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat utama [4]. Aspal adalah material perekat berwarna hitam atau coklat gelap yang bersifat *cementitious* dan memiliki komponen utama berupa bitumen. Bahan ini dapat diperoleh secara alami maupun sebagai produk residu dari proses pengilangan minyak bumi [5]. Aspal juga memiliki sifat termoplastis, di mana pada suhu ruang berbentuk padat hingga semi-padat, namun akan mencair saat dipanaskan dan kembali mengeras ketika suhunya menurun [6]. Berdasarkan sumber perolehannya, aspal dibagi menjadi dua jenis, yaitu aspal alam dan aspal minyak [7]. Aspal alam diperoleh langsung dari alam dan dapat digunakan tanpa atau dengan sedikit proses pengolahan, sedangkan aspal minyak merupakan hasil sisa dari proses destilasi minyak bumi.

Filler

Filler dalam campuran aspal digunakan sebagai bahan pengisi untuk campuran aspal terdiri dari material yang lolos pada saringan No. 200 (0,075 mm) [8]. *Filler* juga memiliki fungsi yaitu untuk meningkatkan kepadatan serta stabilitas campuran, meningkatkan jumlah titik kontak mutiran, serta mengurangi penggunaan bitumen yang diperlukan untuk mengisi rongga dalam campuran [9]. Secara umum, *filler* yang digunakan berasal dari bahan alami seperti abu batu, kapur, semen atau bahan lainnya. Dalam penelitian ini, digunakan kerak tungku pembakaran genteng sebagai bahan pengganti alternatif pada *filler*.

Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Limbah kerak tungku pembakaran genteng adalah lapisan residu atau endapan yang terbentuk di permukaan bagian dalam tungku atau peralatan pembakaran akibat pembakaran bahan bakar. Kerak ini umumnya terdiri dari sisa material yang tidak terbakar sempurna, serta elemen-elemen lain dari bahan bakar, seperti sulfur atau mineral logam.

Limbah kerak tungku pembakaran genteng sering dianggap tidak memiliki nilai guna. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pengolahan terhadap limbah kerak ini untuk memberikan nilai tambah, salah satunya sebagai bahan substitusi *filler* pada perkerasan jalan lentur dengan aspal beton. Limbah kerak ini diolah dengan cara ditumbuk hingga menjadi serbuk halus, yang kemudian dicampurkan dengan material perkerasan jalan.

Limbah kerak tungku pembakaran genteng mengandung unsur yang serupa dengan semen, yang umumnya digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal beton, sehingga memiliki potensi untuk menggantikan bahan *filler* tersebut. Kerak tungku pembakaran genteng kaya akan silika (SiO_2) dan aluminium, di mana silika dalam aspal beton dapat memperbaiki ketahanan dan stabilitas campuran [8]. Komposisi kimia kerak tungku pembakaran genteng memiliki kesamaan dengan senyawa pozzolan dalam semen, terutama kandungan silika yang diyakini dapat mengurangi jumlah aspal dan sekaligus meningkatkan stabilitas campuran.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jalan milik Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali yang berlokasi di Waru, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Bahan limbah kerak tungku pembakaran genteng diperoleh dari Desa Kencong, Kecamatan Kepung, Kabupaten Kediri. Pelaksanaan penelitian dimulai dari pengambilan sampel hingga pengujian propertis material dan analisis data.

Sebelum pelaksanaan penelitian di laboratorium, dilakukan terlebih dahulu studi literatur guna memahami metode yang digunakan. Dalam melakukan penelitian terkait pemanfaatan limbah kerak tungku pembakaran sebagai *filler* pada campuran aspal beton, dibutuhkan tahapan yang terstruktur sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Persiapan Alat dan Bahan

Perlengkapan dan material yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Satu set alat uji saringan
2. Alat piknometer
3. Oven pengering
4. Nampan
5. *Filler* dari kerak tungku pembakaran genteng
6. Timbangan digital dengan ketelitian 0,1 gram
7. Air

Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF)

Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur kimia yang terkandung dalam suatu material, seperti serbuk kerak tungku pembakaran genteng. Prosesnya dilakukan dengan memaparkan sinar-X ke permukaan sampel, yang kemudian memancarkan sinar balik (fluoresensi). Pancaran ini dianalisis untuk menentukan jenis dan konsentrasi unsur-unsur yang terdapat di dalam material tersebut.

Metode Pengujian *Filler* Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Karakteristik limbah kerak tungku pembakaran genteng diuji menggunakan metode berikut:

1. Analisa Saringan

Analisa saringan adalah suatu teknik untuk mengukur sebaran ukuran partikel agregat dengan menggunakan proses penyaringan. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, pengujian analisa saringan pada *filler* memiliki ketentuan yaitu minimum 75% dari berat total material harus lolos ayakan No. 200. Adapun rumus yang digunakan dalam analisa saringan disajikan sebagai berikut:

- Persen Tertahan:

$$\frac{kumulatif\ massa\ tertahan\ saringan}{massa\ semula} \times 100$$

- Persen Lelos:

$$100\% - kumulatif\ %\ tertahan\ tiap\ saringan$$

2. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian terhadap berat jenis *filler* pada campuran aspal beton bertujuan untuk menentukan densitas atau massa jenis dari material pengisi yang digunakan. Pengujian ini penting dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan *filler*, yang akan memengaruhi kemampuannya dalam mengisi rongga pada campuran. Adapun rumus yang digunakan dalam berat jenis disajikan sebagai berikut:

- Berat Jenis *filler*

$$\frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pengujian terhadap kerak tungku pembakaran genteng sebagai bahan pengisi dilakukan berdasarkan acuan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Pengujian XRF Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) terhadap serbuk kerak tungku pembakaran genteng dilakukan guna mengidentifikasi kandungan unsur-unsur kimia di dalam material tersebut. Hasil analisis XRF disajikan sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Uji XRF Kerak Tungku Pembakaran Genteng

No.	Chemical Composition	Amount (%)
1	Al ₂ O ₃	12
2	SiO ₂	36,7
3	P ₂ O ₅	0,75
4	K ₂ O	16,5
5	CaO	12,3
6	TiO ₂	1,19
7	V ₂ O ₅	0,077
8	Cr ₂ O ₃	0,048
9	MnO	0,37
10	Fe ₂ O ₃	19,0
11	CuO	0,058
12	ZnO	0,03

(Sumber : Peneliti, 2025)

Hasil pengujian XRF terhadap serbuk kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan bahwa komposisi kimianya memiliki kemiripan dengan abu kapur yang umum digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal. Dengan kesamaan tersebut, serbuk kerak tungku pembakaran genteng memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai alternatif bahan pengganti *filler*. Material ini didominasi oleh senyawa silika (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), dan kalsium oksida (CaO), yang diketahui dapat berkontribusi dalam meningkatkan stabilitas serta ketahanan campuran aspal AC-WC. Meskipun unsur-unsur utamanya serupa dengan abu kapur, perbedaan tetap terdapat pada proporsi masing-masing komponen.

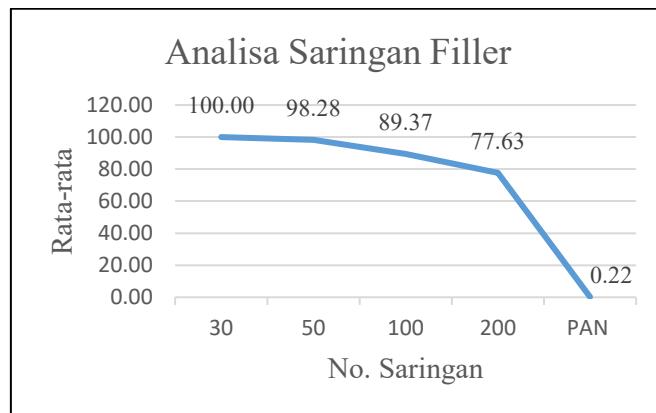
Pengujian Analisa Saringan Filler

Pengujian terhadap analisa saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran pertikel pada setiap lapisan saringan secara berurutan serta untuk menilai kelayakan limbah kerak tungku pembakaran genteng sebagai material *filler* dalam campuran aspal. Dalam pengujian ini, limbah kerak tersebut harus memenuhi persyaratan teknis, yaitu memiliki Tingkat kelolosan lebih dari 75% terhadap ayakan No. 200 dari total berat sampel. Persyaratan ini mengacu pada spesifikasi teknis yang digunakan untuk campuran aspal beton, di mana *filler* berperan penting dalam mengisi rongga antar agregat guna meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran. Di bawah ini disajikan hasil uji analisis saringan terhadap *filler* dari limbah kerak tungku pembakaran genteng:

Tabel 2. Hasil Analisa Saringan Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Sieve No.	Berat	Agregat Halus : Filler Serbuk Kerak Tungku Pembakaran Genteng (Berat Sampel Minimal 300 gram)												Rata-rata	
		Satu Gram			Dua Gram			Tiga Gram							
		502,8	504,5	507,1	507,1	507,1	507,1	507,1	507,1	507,1	507,1	507,1	507,1		
Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif	Komulatif		
Berat Tertahan	Berat Berat Tertahan	Berat Komulatif	Berat Komulatif	Berat Komulatif	Berat Berat Tertahan	Berat Komulatif	Berat Komulatif	Berat Komulatif	Berat Berat Tertahan	Berat Komulatif	Berat Komulatif	Berat Komulatif	Berat Komulatif		
1 1/2"	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	100	100,0	
1"	8,7	8,7	1,73	98,27	8,6	8,6	1,70	98,30	8,8	8,8	1,74	98,26	98,28		
3/4"	43,8	52,5	10,44	89,56	44,6	53,2	10,55	89,45	46,5	55,3	10,91	89,09	89,37		
1/2"	52,6	105,1	20,90	79,10	65,3	118,5	23,49	76,51	59,9	115,2	22,72	77,28	77,63		
PAN	396,7	501,8	99,80	0,20	384,6	503,1	99,72	0,28	391,00	506,2	99,82	0,18	0,22		

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Grafik 2. Lelos Analisa Saringan Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Dari hasil pengujian analisis saringan terhadap limbah kerak tungku pembakaran genteng, diperoleh nilai sebesar 75,63% material berhasil melewati saringan No. 200. Nilai ini telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yang mensyaratkan bahwa material yang lolos saringan No. 200 harus melebihi 75% dari total massa awal.

Pengujian Berat Jenis Filler

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat agregat dalam satu satuan volume dengan berat air pada volume yang setara pada suhu yang ditentukan.

Tabel 3. Hasil Berat Jenis Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Nomor Contoh	Filler Kerak: Tungku Pembakaran Genteng		
	Pic.1	Pic.2	Pic.3
Massa piknometer + contoh	W2	80,6	81,8
Massa piknometer	W1	41,6	42,7
Massa filler	Wt = W2 – W1	39	39,1
Massa piknometer + Air + Filler	W3	166,9	165,7
Massa piknometer + Air	W4	142	142,6
	W5 = W2 – W1 + W4	181	181,7
Isi filler	W5 – W3	14,1	16
Berat jenis	Wt/W5-W3	2,766	2,444
Rata-rata			2,713

(Sumber : Peneliti, 2025)

Pengujian terhadap berat jenis filler dari limbah kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan nilai rata-rata sebesar 2,713 dari tiga sampel yang diuji. Standar yang dijadikan acuan adalah SNI 0013-81, yang menetapkan nilai minimum sebesar 2,5. Dengan demikian, hasil pengujian ini telah memenuhi kriteria spesifikasi berat jenis semen sesuai dengan SNI 0013-81 yang umum digunakan sebagai *filler*.

Tabel 4. Spesifikasi Filler Berdasarkan Bina Marga (Revisi 2)

No.	Parameter	Hasil	Spesifikasi
1	Lolos Saringan No. 200	75,63%	>75%
2	Berat Jenis	2,713	>2,5

(Sumber : Direktorat Jendral bina Marga, 2020)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa limbah kerak tungku pembakaran genteng memiliki karakteristik yang memenuhi syarat sebagai filler alternatif dalam campuran aspal beton lapis aus (AC-WC). Hasil uji menunjukkan bahwa sebanyak 77,63% partikel dari limbah ini dapat lolos saringan No. 200, serta memiliki berat jenis rata-rata sebesar 2,713 yang telah sesuai dengan persyaratan minimum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Dari hasil analisis X-Ray Fluorescence (XRF), diketahui bahwa komposisi kimia utama filler ini terdiri dari SiO_2 sebesar 36,7%, CaO sebesar 12,3%, dan Al_2O_3 sebesar 12%, yang memiliki kemiripan dengan filler abu batu. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah kerak tungku pembakaran genteng tidak hanya layak digunakan sebagai pengganti filler konvensional, tetapi juga mampu meningkatkan stabilitas campuran aspal. Di samping itu, pemanfaatan limbah ini memberikan Solusi terhadap pengelolaan limbah industri yang lebih ramah lingkungan, khususnya di wilayah sentra produksi genteng. Dengan demikian, limbah kerak tungku memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai material konstruksi jalan yang berkelanjutan dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. I. Y. Bramantio and N. Hartatik, “PERBEDAAN KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-BC BERGRADASI HALUS DENGAN CAMPURAN AC-BC BERGRADASI KASAR,” *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. Vol. 3, No. 1, pp. 561–581, Jul. 2023.
- [2] H. A. Susanto, “PENGARUH PENGGUNAAN FILLER PASIR BESI DAN SEMEN DALAM CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC),” *TECHNO*, vol. 21, no. 1, pp. 37–46, 2020, [Online]. Available: <http://jurnalsisional.ump.ac.id/index.php/Techno>
- [3] D. Salam, *Pengelolaan Limbah Genteng sebagai Bahan Alternatif Agregat Kasar Ditinjau dari Nilai Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY, 2018.
- [4] N. T. Sembung, T. K. Sendow, and S. Palenewen, “ANALISA CAMPURAN ASPAL PORUS MENGGUNAKAN MATERIAL DARI KAKASKASEN KECAMATAN TOMOHON UTARA KOTA TOMOHON,” *Jurnal Sipil Statik*, vol. 8, no. 3, pp. 345–352, May 2020.
- [5] H. Cahyadi, Abdurrahman, F. Ridzeki, and M. Kurniawan, “TR-8 PENGGUNAAN KAPUR PADAM SEBAGAI PENGGANTI FILLER PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC),” Balikpapan, Nov. 2023.
- [6] S. H. Dewi, R. Mildawati, and A. Nurbakim, “Perbandingan Dua Jenis Agregat Daerah Yang Berbeda Terhadap Karakteristik Marshall Pada Aspal Porus,” 2021.
- [7] R. Setiowati and M. F. Putra, “Struktur Biaya Produksi Aspal Buton Untuk Kebutuhan Infrastruktur Sebagai Substitusi Impor,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, vol. 21, no. 1, pp. 35–42, Mar. 2023, doi: 10.52330/jtm.v21i1.94.
- [8] A. Z. W. A. Sudarsono, N. Hartatik, A. Rizkiardi, and Y. D. Prasetyo, “PEMANFAATAN LIMBAH PRODUKSI BATA MERAH UD. BATA PRES MRH SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN AC-BC,” vol. 8, pp. 1–8, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/sondir>
- [9] N. Hartatik, G. S. Utami, and N. Rohmania, “KARAKTERISTIK CAMPURAN BETON ASPAL (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU SLAG BAJA SEBAGAI BAHAN PENGGANTI FILLER,” 2014.

POTENSI ABU KERTAS FOOD GRADE SEBAGAI ALTERNATIF FILLER CAMPURAN ASPAL PANAS PENGUJIAN FISIK DAN KIMIA

Amar Ardiansyah¹, Aditiya Rizkiardi², *Nurani Hartatik³, Yudi D Prasetyo⁴, I Gede Agus Punarta⁵

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

^{4,5}Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

Email : nuranihartatik@untag-sby.ac.id

ABSTRACT

Population growth and industrial activities in Indonesia significantly increase the production of solid waste every year. One of the large amounts of waste that has not been optimally utilized is paper waste, including food grade paper waste. Handling food grade paper waste is an environmental challenge that requires innovative solutions. This research examines the potential of food grade paper ash as an alternative filler in hot mix asphalt through physical and chemical analysis. Food grade paper waste from industries in East Java was burned to ash and tested to meet the technical requirements of asphalt filler. Physical testing included particle size analysis with a No. 200 sieve and specific gravity measurement, while chemical testing used the X-Ray Fluorescence (XRF) method to determine the composition of the main compounds. The test results showed that 85.43% of the ash particles passed the No. 200 sieve, exceeding the minimum limit of 75% according to the 2018 Bina Marga General Specifications. The specific gravity of paper ash was 2.640 gr/cm³, in accordance with the SNI 1970-2008 standard which requires a minimum of 2.5 gr/cm³. The chemical composition of ash is dominated by calcium oxide (CaO) at 71.52%, silica (SiO₂) 11.6%, and aluminum oxide (Al₂O₃) 7.3%, which play a role in increasing the adhesion and stability of asphalt mixtures. With these characteristics, food grade paper ash is suitable to be used as a filler to replace conventional materials in hot asphalt mixtures. The utilization of food grade paper ash not only meets the technical aspects, but also contributes to the reduction of industrial waste and provides an environmentally friendly solution in road construction.

Keyword: Food grade paper ash, Filler material, waste utilization, Hot mix asphalt

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah penduduk dan aktivitas industri di Indonesia secara signifikan meningkatkan produksi limbah padat setiap tahunnya. Salah satu limbah yang jumlahnya besar namun belum dimanfaatkan optimal adalah limbah kertas, termasuk limbah kertas *food grade*. Penanganan limbah kertas *food grade* menjadi tantangan lingkungan yang membutuhkan solusi inovatif. Penelitian ini mengkaji potensi abu kertas *food grade* sebagai *filler* alternatif dalam campuran aspal panas melalui analisis fisik dan kimia. Limbah kertas *food grade* yang berasal dari industri di Jawa Timur dibakar hingga menjadi abu dan diuji untuk memenuhi persyaratan teknis *filler* aspal. Pengujian fisik meliputi analisa ukuran partikel dengan saringan No. 200 dan pengukuran berat jenis, sementara pengujian kimia menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi senyawa utama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 85,43% partikel abu lolos saringan No. 200, melebihi batas minimal 75% sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Berat jenis abu kertas adalah 2,640 gr/cm³, sesuai standar SNI 1970-2008 yang mensyaratkan minimal 2,5 gr/cm³. Komposisi kimia abu didominasi oleh kalsium oksida (CaO) sebesar 71,52%, silika (SiO₂) 11,6%, dan aluminium oksida (Al₂O₃) 7,3%, yang berperan dalam meningkatkan daya rekat dan stabilitas campuran aspal. Dengan karakteristik tersebut, abu kertas *food grade* layak digunakan sebagai *filler* pengganti material konvensional pada campuran aspal panas. Pemanfaatan abu kertas *food grade* tidak hanya memenuhi aspek teknis, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan limbah industri dan memberikan solusi ramah lingkungan dalam konstruksi jalan.

Kata kunci: Abu kertas *food grade*, Material *filler*, Pemanfaatan limbah, Campuran aspal panas

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas industri di Indonesia menyebabkan produksi limbah terus bertambah. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah dapat mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan [1]. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2022), dari 36 juta ton limbah tahunan, hanya 49,12% yang terkelola. Mayoritas limbah berasal dari rumah tangga, sekolah, dan kantor, terdiri dari limbah organik dan anorganik seperti plastik, kaca, logam, dan terutama kertas [2]. Secara global, limbah kertas mencapai 200 juta ton per tahun, termasuk kertas *food grade* [3].

Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian mulai mengembangkan pemanfaatan limbah kertas *food grade* sebagai bahan alternatif dalam konstruksi jalan. Salah satu pendekatan potensial adalah pemanfaatannya sebagai *filler* dalam campuran aspal panas. Di Indonesia, sistem perkerasan jalan banyak menggunakan perkerasan lentur yang berbasis aspal [4]. Campuran aspal panas sendiri terdiri atas aspal, agregat, dan *filler*, yang berperan penting dalam meningkatkan kepadatan, stabilitas, serta ketahanan campuran terhadap beban dan cuaca [5]. *Filler* berperan penting dalam mengisi celah antar agregat untuk menambah kepadatan dan stabilitas campuran, menghasilkan permukaan jalan yang lebih halus, stabil, dan tahan lama [6].

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 (rev.2), *filler* yang digunakan sebaiknya berupa material halus seperti debu batu kapur, dengan minimal 75% lolos saringan No. 200 dan bebas dari gumpalan [8]. Namun, penggunaan *filler* konvensional seperti semen Portland, *fly ash*, atau batu kapur menghadapi tantangan dari sisi ketersediaan dan dampak lingkungan. Sebagai alternatif, penelitian ini memanfaatkan potensi abu kertas *food grade* sebagai material *filler* dalam campuran aspal panas. Limbah kertas ini berasal dari salah satu pabrik industri di Jawa Timur, yang setiap tahun menghasilkan potongan kertas (aval) dalam jumlah besar, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah tersebut dibakar dalam kondisi kering dan bersih hingga menjadi abu. Abu yang dihasilkan kemudian diuji untuk memenuhi persyaratan lolos saringan No. 200 minimal sebesar 75% (0,075 mm) agar layak digunakan dalam campuran aspal panas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Aspal

Aspal atau yang dikenal sebagai bitumen, adalah zat lengket berwarna gelap atau hitam, yang berbentuk padat atau semi-padat. Sebagai bahan pengikat dalam campuran aspal untuk lapisan perkerasan jalan, aspal berfungsi mengikat material lainnya. Aspal dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan asalnya yaitu aspal alami/ aspal batu dan aspal minyak bumi [9]

Fungsi Aspal

1. Bahan Pengikat: Aspal mengikat agregat secara kuat, membentuk perkerasan kokoh dan tahan beban.
2. Bahan Pengisi: Aspal mengisi rongga antar agregat, meningkatkan kepadatan dan mencegah kerusakan akibat air dan udara.
3. Pengikat Antar lapisan: Aspal merekatkan lapisan lama dan baru, menciptakan jalan yang lebih kuat dan tahan lama

Bahan Campuran Aspal Panas

Lapisan Asphalt Concrete (AC) atau aspal beton campuran panas terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler* dalam proporsi tertentu. Terdapat tiga jenis lapisan beton aspal, yaitu: [9]

1. AC-WC (Wearing Course): Lapisan permukaan dengan agregat 19 mm dan ketebalan 4 cm, berfungsi sebagai lapisan aus.
2. AC-BC (Binder Course): Terletak di antara AC-BASE dan AC-WC, dengan agregat maksimum 25,4 mm dan ketebalan minimal 5 cm, berfungsi mengikat agregat dan aspal.
3. AC-BASE (Base Course): Lapisan pondasi dengan agregat maksimum 37,5 mm dan ketebalan minimal 6 cm.

Bahan Pengisi Filler

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020 [7], Spesifikasi bahan pengisi *filler* adalah sebagai berikut:

- Agregat *filler* harus dalam kondisi kering, bebas gumpalan, dan memenuhi syarat ayakan SNI ASTM C136:2012, dengan minimal 75% lolos saringan No. 200 (75 mikron).
- Bahan pengisi yang digunakan dapat berupa debu batu kapur, debu kapur padam, debu kapur magnesium, atau dolomit yang sesuai dengan standar AASHTO M303-89(2014), serta semen atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui oleh pengawas pekerjaan. Penggunaan semen hanya diperbolehkan pada campuran beraspal panas yang menggunakan aspal keras Pen. 60/70 sebagai bahan pengikat.
- Bahan pengisi yang ditambahkan, untuk semen, harus berkisar antara 1% hingga 2% dari berat total, sementara bahan pengisi lainnya 1% hingga 3%, kecuali pada campuran SMA yang tidak memperbolehkan semen.

Limbah Abu Kertas Food Grade

Limbah kertas *food grade* dihasilkan dari proses industri seperti kemasan, percetakan, dan pelapisan anti-air, dan menjadi tantangan karena sulit terurai secara alami. Penelitian ini memanfaatkan limbah tersebut berupa potongan kertas *food grade* dari pabrik di Jawa Timur sebagai *filler* dalam campuran aspal AC-WC, yang merupakan lapisan permukaan jalan dengan tuntutan kualitas tinggi. Pengolahan limbah kertas *food grade* meliputi proses pembakaran untuk menghasilkan abu yang digunakan sebagai *filler*. Sebelum dibakar, limbah harus dalam keadaan kering dan bebas dari material seperti logam atau bahan lain yang dapat mengganggu proses pembakaran. Limbah abu kertas *food grade* Sebagian besar memiliki silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), yang berperan dalam memperkuat ikatan dan stabilitas campuran aspal. Pengujian *Filler* menggunakan limbah kertas *food grade* adalah sebagai berikut :

1. Analisa Saringan

Analisis saringan adalah metode pengujian yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir suatu material berdasarkan susunan saringan tertentu. Dalam filler, pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) tahun 2018, yang mensyaratkan bahwa minimal 75% dari massa material harus lolos saringan No. 200. Persentase butiran yang tertahan pada masing-masing saringan dapat dihitung dengan rumus:

- Persen tertahan =

$$\frac{\text{Kumulatif massa tertahan saringan}}{\text{Massa semula}} \times 100$$

- Persen lolos =

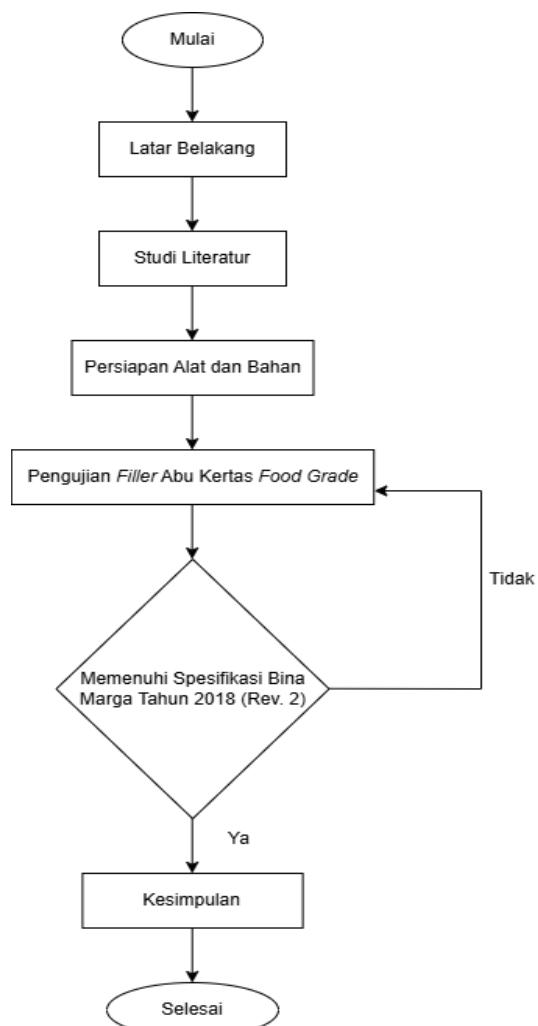
$$100\% - \text{Kumulatif \% tertahan}$$

2. Berat Jenis

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat suatu material dengan berat air yang memiliki volume yang sama, yang diukur pada suhu yang telah ditentukan. Nilai berat jenis ini digunakan sebagai salah satu parameter untuk menggambarkan kerapatan atau kepadatan suatu zat, yang sangat penting untuk menilai sifat fisik material tersebut. Berat jenis filler akan dihitung menggunakan rumus :

$$= \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$$

3. METODE PENELITIAN



Gambar 6. Diagram Alir (Flowchart)

Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Satu set alat saringan
2. Pliknometer
3. Oven
4. Nampang
5. Limbah abu kertas *food grade* sebagai *filler*
6. Timbangan dengan ketelitian hingga 0,1 gram
7. Air

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian abu kertas *food grade* (Kertas Minyak) dilakukan dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Rev.2).

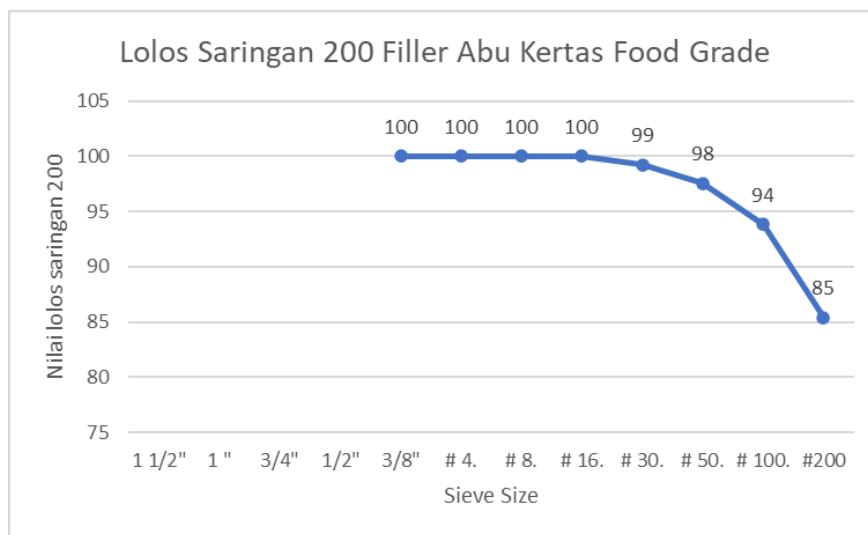
Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel pada setiap saringan berdasarkan urutan yang telah ditetapkan, serta untuk menilai apakah limbah abu *food grade* (Kertas Minyak) dapat digunakan sebagai material *filler*. Urutan saringan yang digunakan dimulai dari saringan No.4 hingga No.200. Syarat kelulusan pada saringan No.200 adalah minimal 75% dari massa awal harus lolos. Berikut ini disajikan hasil pengujian analisis saringan terhadap *filler* dari abu *food grade* (Kertas Minyak):

Tabel 2. Analisa Saringan Limbah Abu Kertas *Food Grade*

Sieve Size	FILLER ABU KERTAS <i>FOOD GRADE</i> (Berat Sampel Minimal 300 gram)			Massa Total : 500 gram			Massa Total : 500,2 gram			Massa Total : 500,4 gram		
	Massa	Jumlah	%	% Lolos	Sieve Size	Massa	Jumlah	%	% Lolos	Sieve Size	Massa	Jumlah
1 1/2"					1 1/2"					1 1/2"		
1"					1"					1"		
3/4"					3/4"					3/4"		
1/2"					1/2"					1/2"		
3/8"					3/8"					3/8"		
#4	0	0	100	#4		0	0	100	#4		0	0
#8	0	0	100	#8		0	0	100	#8		0	0
#16	0	0	100	#16		0	0	100	#16		0	0
#30	3,5	3,5	0,7	99,30	#30	4,2	4,2	0,8	99,16	#30	3,8	3,8
#50	8	11,5	2,3	97,70	#50	7,6	11,8	2,4	97,64	#50	9,4	13,2
#100	18,8	30,3	6,06	93,94	#100	19,8	31,6	6,3	93,68	#100	17,5	30,7
#200	43,4	73,7	14,74	85,26	#200	41,8	73,4	14,7	85,33	#200	40,9	71,6
PAN	425,5	499,2	99,84	0,16	PAN	426,2	499,6	99,88	0,12	PAN	428,3	499,9

(Sumber: Hasil Uji Laboratorium, 2025)



(Sumber: Hasil Uji Laboratorium, 2025)

Gambar 2. Analisa Lolos Saringan 200 Filler Abu Kertas *Food Grade*

Hasil uji saringan pada abu kertas *food grade* (kertas minyak) menunjukkan bahwa sebesar 85,43% material lolos saringan No.200. Persentase ini telah memenuhi syarat dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), yang mengharuskan minimal 75% material lolos saringan tersebut.

Berat Jenis

Berat jenis merupakan hasil bagi antara berat dari satuan volume agregat terhadap agregat air dengan volume yang sama pada temperature yang ditentukan.

Tabel 3. Pengujian berat Jenis Filler

Nomor Contoh		Pic. 1	Pic. 2	Pic. 3
Massa piknometer + contoh	W2	54,7	55,8	56
Massa piknometer	W1	41,6	42,8	42,8
Massa filler	W _t = W ₂ - W ₁	13,1	13	13,2
Massa piknometer + Air + Filler	W ₃	149,8	150,4	150,5
Massa piknometer + Air	W ₄	141,9	142,2	142,2
	W ₅ = W ₂ - W ₁ + W ₄	155	155,2	155,4
Isi Filler	W ₅ - W ₃	5,2	4,8	4,9
Berat Jenis	W _t /W ₅ - W ₃	2,519	2,708	2,694
	Rata-Rata		2,640	

(Sumber: Hasil Uji Laboratorium, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis filler abu kertas *food grade* (kertas minyak) didapatkan nilai rata-rata dari ketiga sampel yaitu 2,640 gr/cm³. Persyaratan yang diterapkan mengacu pada SNI 1970-2008, yang menetapkan nilai minimal 2,5 gr/cm³. Hasil yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam SNI 1970-2008 terkait berat jenis semen yang umumnya digunakan sebagai *filler*.

Pengujian Senyawa Kimia

Pengujian senyawa kimia pada filler abu kertas *food grade* (Kertas Minyak) dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang berperan penting dalam meningkatkan stabilitas dan daya rekat campuran aspal, serta memastikan tidak adanya senyawa yang dapat mengganggu kinerja material jalan. Hasil dari pengujian senyawa kimia abu kertas *food grade* (Kertas Minyak) menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*).

Tabel 4. Kandungan Senyawa Kimia pada Abu *Food Grade* (Kertas Minyak)

No.	Komposisi Abu Kertas Minyak	Jumlah (%)
1.	SiO ₂	11,6
2.	Al ₂ O ₃	7,3
3.	CaO	71,52
4.	Fe ₂ O ₃	4,17
5.	V ₂ O ₅	0,03
6.	K O ₂	0,08
7.	MnO	0,069
8.	Cr ₂ O ₃	0,060
9.	TiO ₂	1,91
10.	CuO	0,12
11.	ZnO	0,11
12.	SO ₃	0,4
13.	SrO	0,18
14.	MoO ₃	0,5
15.	In ₂ O ₃	1,4
16.	Yb ₂ O ₃	0,28
17.	Re ₂ O ₇	0,1

(Sumber : Hasil Pengujian XRF oleh peneliti, 2024)

Hasil pengujian menyatakan bahwa senyawa kimia dalam abu *food grade* (Kertas Minyak), seperti kalsium oksida CaO (71,52%) sebagai komponen utama, silika SiO₂ (11,6%), dan alumina Al₂O₃ (7,3%). Kandungan ini mirip dengan *filler* konvensional debu kapur, sehingga menunjukkan potensi abu kertas sebagai *filler* alternatif. Kehadiran unsur-unsur lain dalam jumlah kecil dapat memberikan sifat tambahan yang memperkuat daya ikat dan meningkatkan stabilitas campuran aspal.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik *Filler* Abu Kertas *Food Grade*

No.	Jenis Pengujian	Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Filler</i> Abu Kertas <i>Food Grade</i>			Syarat Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Rev.2)	Keterangan
		Hasil Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Rev.2)		
1	Analisa Saringan <i>Filler</i>	85,43 %	SNI ASTM C136:2012	Lolos ayakan 200 < 75%		Memenuhi
2	Berat Jenis <i>Filler</i>	2,640 gr/cm ³	SNI 1970:2016	< 2,5 gr/cm ³		Memenuhi

(Sumber: *Hasil Uji Laboratorium*, 2025)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian fisik dan kimia yang dilakukan, abu kertas *food grade* menunjukkan potensi yang sangat baik sebagai *filler* alternatif dalam campuran aspal panas. Uji saringan partikel mengungkapkan bahwa sebanyak 85,43% partikel abu berhasil lolos saringan No. 200, angka ini melebihi batas minimal 75% yang telah ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, sehingga memenuhi persyaratan gradasi *filler*. Selain itu, nilai berat jenis *filler* sebesar 2,640 gr/cm³ juga sesuai dengan standar SNI 1970-2008 tentang berat jenis *filler* minimal 2,5 gr/cm³, yang menandakan kestabilan dimensi dan kualitas material. Dari hasil uji kimia, ditemukan bahwa abu kertas *food grade* didominasi oleh senyawa kalsium oksida CaO (71,52%), silika SiO₂ (11,6%), dan aluminium oksida Al₂O₃ (7,3%), yang memiliki peran penting dalam meningkatkan daya ikat antar partikel serta stabilitas campuran aspal secara keseluruhan. Kandungan senyawa-senyawa tersebut memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan dan ketahanan perkerasan jalan. Dengan demikian, abu kertas *food grade* layak digunakan sebagai *filler*, sekaligus memberikan nilai tambah ramah lingkungan dan solusi pengelolaan limbah industri. Pemanfaatan material ini dapat menjadi alternatif berkelanjutan dalam pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Pribadi, I. Indriasari, and R. L. Rahman, “Analisis Subtitusi Limbah Plastik (LDPE) terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Laston AC-WC,” *J. Kridatama Sains Dan Teknol.*, vol. 5, no. 02, pp. 334–347, 2023, doi: 10.53863/kst.v5i02.945.
- [2] T. Prasetyo *et al.*, “Penyuluhan Tentang Sampah Organik Dan Anorganik, Pemilahan Sampah, Serta Pengolahannya,” *Community Dev. J.*, vol. 4, no. 6, pp. 13495–13500, 2023.
- [3] Pandu Rudy Widyatama *et al.*, “Kegiatan Sosialisasi Lingkungan Hidup Dan Praktik Kreasi Limbah Kertas Di SMP Negeri 16 Surabaya,” *JurnalRagamPengabdian*, vol. 1, no. 2, pp. 31–43, 2024.
- [4] Prastama Errian Apteda, Muhammad Royyan, Hafizuddin Alfin Putra Yuwanto, Mohammad Hendrik Saputra Romadhon, and Ahna Mayhella Putri, “Perbandingan Karakteristik Marshall pada Aspal Modifikasi Polimer PG70 dengan Aspal Minyak Pen 60-70 pada Proyek Preservasi Jalan Sidoarjo – Malang,” *Jurnal Ris. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 23–31, 2023, doi: 10.55606/jurritek.v2i1.867.
- [5] M. Lusyana, E. Suardi, D. Rahma, and S. Alyza, “Karakteristik Marshall dari Aspal Beton – Lapisan Aus (AC-WC) Dengan Substitusi Pasir Silika Sebagai Agregat Halus,” vol. 12, no. 2, pp. 250–259, 2023.
- [6] M. Aris, D. G. Sukowati, and W. P. Sitorus, “Analisa Perbandingan Nilai Uji Marshall Pada Lapis Aspal Beton (Laston) Dengan Menggunakan Material PT. Pro Intertech Indonesia Dengan Material Batu Kapur,” *J. Tek. Sipil Ranc. Bangun*, vol. 6, no. 2, p. 63, 2020, doi: 10.33506/rb.v6i2.1144.
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga, “Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2),” *Minist. Public Work. Hous.*, no. Oktober, p. 1036, 2020.
- [8] Fahrисal Gunawan, Meriana Wahyu Nugroho, Totok Yulianto, and Titin Sundari, “Evaluasi Nilai Stabilitas Pada Aspal AC-WC Dengan Metode SNI 06-2489-1991,” *J. Sipil Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 90–100, 2023, doi: 10.58169/jusit.v1i2.284.
- [9] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. 2016.

PENGGUNAAN ABU KERTAS KARTON SEBAGAI PENGANTI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL

Isfak Ibnu Ahmad¹, Aditya Rizkiardi², *Nurani Hartatik³, Siti Sekar Gondoarum⁴, I Gede Agus Punarta⁵

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

^{4,5}Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur-Bali, Sidoarjo, Jawa Timur

*Email : nuranihartatik@untag-sby.ac.id

ABSTRACT

The ever-increasing waste of paperboard is a serious challenge to the environment, prompting this research to explore the potential of paperboard ash as a filler replacement in asphalt mixtures. This research was conducted at the Laboratory of the National Road Implementation Center of East Java-Bali, with testing methods that included sieve analysis, specific gravity measurement, and X-Ray Fluorescence (XRF) analysis. The test results showed that 82.03% of the paper ash particles successfully passed the No. 200 sieve, indicating that this material is fine enough to function as a filler in asphalt mixtures. In addition, the average specific gravity obtained was 2.628, which meets the provisions in the 2018 Bina Marga General Specifications (Revision 2). XRF analysis revealed a dominant composition of calcium oxide (CaO) of 72.20%, followed by silica (SiO₂) 10.9% and alumina (Al₂O₃) 6.8%, showing similarities with limestone filler. These findings indicate that paperboard ash can not only improve the stability of asphalt mixtures, but also contribute to waste management. By utilizing waste paperboard as filler, this research plays a role in sustainable development efforts and reduces negative impacts on the environment. In addition, the use of paperboard ash as an alternative filler in asphalt mixtures can also help reduce dependence on non-renewable natural resources, as well as reduce the volume of waste that ends up in landfills. Therefore, the use of paperboard ash as an alternative filler in asphalt mixtures is worth considering in modern construction practices.

Keyword: paperbooard ash, alternative filler, asphalt

ABSTRAK

Limbah kertas karton yang terus meningkat menjadi tantangan serius bagi lingkungan, mendorong penelitian ini untuk mengeksplorasi potensi abu kertas karton sebagai pegganti *filler* dalam campuran aspal. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur-Bali, dengan metode pengujian yang mencakup analisis saringan, pengukuran berat jenis, dan analisis X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil pengujian menunjukkan bahwa 82,03% pertikel abu kertas berhasil lolos dari saringan No. 200, menandakan bahwa material ini cukup halus untuk berfungsi sebagai *filler* dalam campuran aspal. Selain itu, rata-rata berat jenis yang diperoleh adalah 2,628 yang telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) tahun 2018. Analisis XRF mengungkapkan komposisi dominan kalsium oksida (CaO) sebesar 72,20%, diikuti oleh silika (SiO₂) 10,9% dan alumina (Al₂O₃) 6,8%, menunjukkan kesamaan dengan *filler* batu kapur. Temuan ini menunjukkan bahwa abu kertas karton tidak hanya dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan limbah. Dengan memanfaatkan limbah kertas karton sebagai *filler*, penelitian ini berperan dalam upaya pembangunan berkelanjutan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, penggunaan abu kertas karton sebagai alternatif *filler* dalam campuran aspal juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang tidak terbarukan, serta mengurangi volume limbah yang berakhir di tempat pembangunan. Oleh karena itu, penggunaan abu kertas karton sebagai alternatif *filler* dalam campuran aspal sangat layak untuk dipertimbangkan dalam praktik konstruksi modern.

Kata kunci: abu kertas karton, *filler* alternatif, aspal

1. PENDAHULUAN

Perubahan populasi manusia berdampak besar pada peningkatan jumlah limbah, termasuk limbah kertas khususnya kertas karton [1]. Sebagai salah satu jenis sampah paling dominan, kertas dihasilkan dari berbagai aktivitas sehari-hari, baik dari rumah tangga, sekolah, maupun perkantoran. Masalah limbah kertas kini menjadi ancaman serius bagi lingkungan. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024, kontribusi limbah kertas karton mencapai 11,06% dari total sampah di Indonesia. Kertas umumnya diproduksi dari bahan baku kayu, sehingga tingginya konsumsi kertas berpotensi mempercepat kerusakan lingkungan dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Proses daur ulang kertas tidak hanya membantu pelestarian alam tetapi juga mendukung upaya mitigasi perubahan iklim [2].

Limbah kertas kerap dianggap sebagai sampah yang berdampak buruk bagi lingkungan. Dengan terus bertambahnya volume limbah ini, diperlukan strategi pengelolaan yang efisien guna meminimalkan kerusakan ekologis [2]. Salah satu solusi inovatif adalah memanfaatkannya dalam bidang konstruksi, misalnya sebagai bahan tambah dalam pembangunan infrastruktur. Pemanfaatan limbah sebagai material alternatif dalam campuran konstruksi sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular, yang menekankan pada optimalisasi siklus hidup sumber daya. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, pendekatan ini dinilai efektif dalam mengurangi ketergantungan

terhadap sumber daya alam yang tidak terbarukan serta menurunkan volume limbah yang berakhir di tempat pembuangan. Contohnya, limbah kertas dapat diolah menjadi filler untuk campuran aspal pada pembuatan jalan. Namun, material tersebut harus memenuhi persyaratan agar kualitas jalan tetap terjaga [3].

Dalam campuran aspal, keberadaan filler memiliki peran penting dalam menentukan kinerja mekanis perkerasan jalan. Filler berfungsi mengisi rongga antar agregat dan meningkatkan kohesi antara agregat dan aspal, sehingga struktur perkerasan menjadi lebih padat dan stabil. Material filler pada campuran aspal umumnya menggunakan debu kapur yang berfungsi untuk meningkatkan densitas dan kekuatan struktural perkerasan jalan [4]. Namun dalam mengembangkan material yang lebih berkelanjutan, peneliti mulai memanfaatkan limbah kertas sebagai pengganti parsial debu kapur. Dalam studi ini, sumber kertas diperoleh dari sisa pengolahan pabrik kertas yang kemudian melalui proses pengolahan meliputi pengeringan untuk menurunkan kandungan air dan pembakaran untuk menghasilkan abu kertas dengan partikel halus yang memenuhi syarat bahan filler aspal.

Pada struktur perkerasan jalan, lapisan AC-WC merupakan lapisan atas yang langsung bersentuhan dengan beban lalu lintas dan lingkungan. Oleh karena itu, campuran AC-WC harus memiliki karakteristik mekanis dan durabilitas yang tinggi untuk menjamin umur jalan. Penggunaan *filler* dalam campuran AC-WC sangat krusial karena berperan dalam meningkatkan stabilitas, mengurangi prositas, serta memperbaiki sifat kohesi antara agregat dan aspal. Substitusi *filler* konvensional seperti debu kapur dengan abu kertas karton pada campuran aspal menjadi salah satu pedekatan inovatif yang menjanjikan. Abu kertas karton dengan ukuran partikel halus dapat membantu mengisi celah antar agregat dengan lebih efisien, sekaligus berpotensi memperbaiki sifat adhesi antara agregat dan aspal.

Aspal

Aspal, atau juga dikenal sebagai bitumen adalah senyawa hidrokarbon berwarna hitam hingga coklat tua yang memiliki daya rekat tinggi dan bersifat tahan terhadap air. Karena karakteristik viskoelastisnya, aspal berfungsi sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beraspal yang digunakan pada lapisan permukaan perkerasan jalan. Aspal ini dapat diperoleh secara alami maupun sebagai produk hasil olahan dari minyak bumi [5]. Aspal dibedakan menjadi dua jenis, aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam terbentuk secara alami dari sisa organisme yang terurai selama jutaan tahun dan terdiri dari campuran hidrokarbon serta mineral. Aspal jenis ini memiliki ketahanan tinggi terhadap cuaca dan tekanan, serta bisa digunakan langsung dengan sedikit pengolahan. Sebaliknya, aspal minyak merupakan hasil penyulingan minyak mentah yang melalui proses pemurnian untuk memenuhi standar mutu tertentu. Aspal ini lebih stabil jika kandungan parafinnya rendah, sehingga tahan terhadap suhu tinggi dan kondisi cuaca ekstrem. Karena sifatnya yang kuat dan tahan lama, aspal minyak umum digunakan dalam konstruksi jalan [6]. Aspal minyak terdiri atas cair dan aspal padat, aspal cair tetap cair pada suhu ruang karena dicampur pelarut seperti bensin atau solar, sedangkan aspal padat memiliki tingkat kepadatan tinggi dan digunakan dalam campuran aspal beton dengan nilai penetrasi 40/50 hingga paling tinggi 100/110.

Agregat

Agregat memegang peran vital dalam pembangunan struktur perkerasan jalan, menyusun 90-95% berat total dan 75-85% volume campuran aspal. Dominan proporsi ini menjadikan kualitas agregat sebagai faktor krusial yang menentukan performa dan umur jalan [5]. Material agregat ideal harus memenuhi kriteria spesifik berupa partikel isometrik (kubus atau bulat), bebas kontaminan, serta memiliki kekuatan mekanik dan gradasi yang memadai. Gradasi optimal yang mencakup distribusi merata partikel halus hingga kasar memungkinkan pengisian rongga antar agregat secara maksimal, sehingga menghasilkan campuran aspal dengan kepadatan tinggi, mudah dikerjakan, dan memiliki stabilitas struktural yang baik [7]. Agregat sendiri terbagi menjadi dua, yaitu agregat kasar, dan agregat halus.

Filler

Filler merupakan bahan pengisi yang merupakan material berbutir halus yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm), dapat berupa debu batu, kapur padam, semen portland, atau bahan non-plastis lainnya. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang menganggu. Kadar filler dalam campuran beton aspal akan berpengaruh pada proses pencampuran, penghamparan dan pemadatan. Fungsi dari filler adalah sebagai bahan pengisi rongga-rongga antar agregat yang diharapkan dapat meningkatkan kerapatan dan memperkecil permeabilitas dari campuran. Selain itu filler juga mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitasnya terhadap air [8].

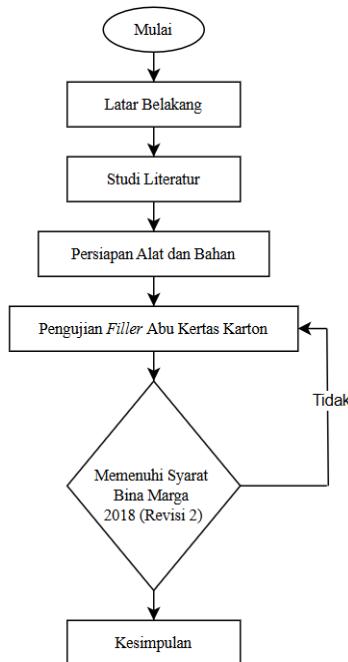
Abu Kertas Karton

Abu kertas karton merupakan residu pada yang dihasilkan dari proses pembakaran atau pengabuan kertas karton. Secara fisik, abu ini berwarna abu-abu hingga putih keabuan, tergantung pada suhu pembakaran dan kandungan mineral dalam karton. Komposisi utamanya terdiri dari senyawa anorganik seperti kalsium karbonat (Ca), Silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan sejumlah kecil logam seperti magnesium, natrium, dan kalium. Abu kertas karton ini bersifat basa karena kandungan kalsium yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam

industri semen, atau pupuk. Namun, jika tidak dikelola dengan baik, abu kertas karton dapat menjadi polutan yang mempengaruhi kualitas tanah dan udara. Analisis menggunakan XRF atau SEM-EDS sering dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur dalam abu karton guna menentukan potensi pemanfaatannya lebih lanjut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali yang berlokasi di Sidoarjo. Sebelum kegiatan penelitian di laboratorium dimulai, terlebih dahulu dilakukan studi pustaka untuk menentukan pendekatan dan metode yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah kertas karton sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal AC-WC. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian disusun secara sistematis melalui serangkaian tahapan yang dirangkum dalam diagram alir pada bagian berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alat dan Bahan

1. Satu set saringan
2. Piknometer
3. *Filler* abu kertas karton
4. Timbangan dengan ketelitian 0,1 garam
5. Oven
6. Nampan
7. Air

Metode Pengujian *Filler* Abu Kertas Karton

Pengujian *filler* pada campuran aspal bertujuan untuk memastikan bahwa material pengisi yang digunakan memiliki karakteristik yang sesuai guna menunjang kinerja perkerasan jalan. Pengujian *Filler* mencakup beberapa parameter penting, seperti gradasi (ukuran dan distribusi partikel), berat jenis, serta komposisi kimia seperti kandungan kalsium karbonat dan lain sebagainya.

1. Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan pada *filler* merupakan salah satu metode penting dalam menentukan distribusi ukuran partikel yang digunakan dalam campuran perkerasan jalan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui gradasi proporsi butiran berdasarkan ukuran, guna memastikan bahwa agregat tersebut memenuhi spesifikasi. Berikut rumus yang digunakan dalam analisa saringan.

Presentase tertahan =

$$\frac{\text{Kumulatif massa tertahan saringan}}{\text{massa semula}} \times 100$$

Presentase lolos =

100% - kumulatif % tertahan tiap saringan

2. Berat Jenis

Pengujian berat jenis *filler* pada campuran aspal dilakukan untuk mengetahui massa jenis atau densitas bahan pengisi yang digunakan dalam campuran. Pengujian berat jenis *filler* dilakukan untuk mengetahui seberapa pada material tersebut yang nantinya berperan penting dalam mengisi rongga. Rumus yang digunakan dalam menghitung nilai berat jenis *filler*.

$$\frac{\text{Berat jenis } \textit{filler} \\ (C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

3. X-Ray Fluirescence (XRF)

Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah metode yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur kimia dalam suatu material (abu kertas karton). Cara kerjanya yaitu dengan menyinari sampel menggunakan sinar-X, lalu sampel akan memancarkan kembali sinar (disebut fluoresensi) yang bisa dianalisis untuk mengetahui unsur apa saja yang ada di dalamnya dan berapa kadarnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terhadap material abu kertas karton yang digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) dilakukan dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) tahun 2018. Standar ini digunakan sebagai pedoman untuk memastikan bahwa material alternatif tersebut memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan dalam campuran beraspal.

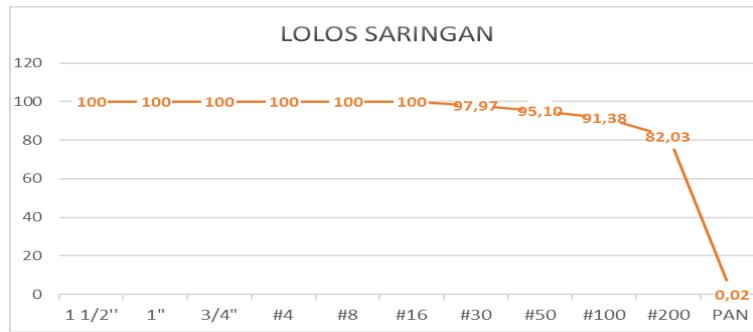
Pengujian Analisa Saringan Abu Kertas Karton

Dalam pengujian ini, abu kertas yang akan digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) harus memenuhi persyaratan lolos ayakan No. 200 sebanyak lebih dari 75% dari berat total sampel. Ketentuan ini mengacu pada spesifikasi teknis yang berlaku untuk campuran aspal, khususnya dalam campuran aspal. Persentase kelolosan tersebut menunjukkan bahwa partikel abu kertas cukup halus untuk berperan sebagai *filler*, yang fungsinya adalah mengisi rongga antar agregat agar campuran menjadi lebih padat dan stabil. Jika abu kertas tidak memenuhi syarat ini, maka material tersebut dianggap kurang sesuai untuk digunakan sebagai *filler* dalam campuran beraspal.

Tabel 1. Hasil Analisa Saringan Abu Kertas Karton

Agregat Halus : Filler Abu Kertas Karton (Berat Sampel Minimal 300 gram)															
Sieve No.	Berat Tertahan	Satu Gram			Dua Gram			Tiga Gram			Rata-rata				
		Komulatif			Komulatif			Komulatif			Komulatif				
		Berat	Komulatif	Tertahan											
	Tertahan	Berat	Komulatif	Komulatif											
				Tertahan											
1 1/2"															
1"															
3/4"															
#4															
#8															
#16	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	100		
#30	9,84	9,84	1,97	98,03	10,1	10,1	2,02	97,98	10,5	10,5	2,10	97,90	97,97		
#50	15,2	25,04	5,00	95,00	14,1	24,2	4,83	95,17	13,9	24,4	4,88	95,12	95,10		
#100	18,55	43,59	8,71	91,29	18,5	42,7	8,53	91,47	18,8	43,2	8,63	91,37	91,38		
#200	46,4	89,99	17,99	82,01	48	90,7	18,11	81,89	45,9	89,1	17,80	82,20	82,03		
PAN	410,2	410,2	99,98	0,02	410	500,7	99,98	0,02	411,3	500,4	99,98	0,02	0,02	0,02	

(Sumber : Peneliti, 2025)



(Sumber : Peneliti, 2025)

Gambar 2. Lulos Analisa Saringan Abu Kertas Karton

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan terhadap abu kertas karton, diperoleh hasil 82,03% material berhasil lolos dari saringan No. 200. Hasil ini telah memenuhi persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) tahun 2018, yang menetapkan syarat *filler* minimal 75% dari total massa material harus lolos saringan No. 200 agar dapat digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal.

Pengujian Berat Jenis Abu Kertas Karton

Berat jenis adalah perbandingan antara berat material dalam satuan volume tertentu dengan berat air pada volume yang sama pada suhu yang telah ditentukan.

Tabel 2. Hasil Berat Jenis Abu Kertas Karton

Nomor Contoh	Filler : Serbuk Kapur		
	Pic.1	Pic.2	Pic.3
Massa piknometer + contoh	W2	55,1	55,9
Massa piknometer	W1	41,6	42,7
Massa filler	Wt = W2 – W1	13,5	13,2
Massa piknometer + Air + Filler	W3	150,1	149,9
Massa piknometer + Air	W4	142	142,6
	W5 = W2 – W1 + W4	155,5	154,9
Isi filler	W5 – W3	5,4	5,9
Berat jenis	Wt/W5-W3	2,5	2,237
Rata-rata			2,628

(Sumber : Peneliti, 2025)

Hasil pengujian terhadap berat jenis *filler* dari abu kertas karton menunjukkan bahwa nilai rata-rata dari tiga sampel yang diuji adalah 2,628. Standar yang digunakan sebagai acuan adalah SNI 03-4145-1996, yang menetapkan rentang berat jenis *filler* antara 2,25 hingga 2,7. Dengan demikian, nilai yang diperoleh telah sesuai dan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan untuk *filler*.

Pengujian XRF Abu Kertas Karton

Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) pada abu kertas karton dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur kimia yang terkandung di dalamnya. Berikut hasil dari pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Tabel 3. Uji XRF Abu Kertas Karton

No.	Chemical Composition	Amount (%)	No.	Chemical Composition	Amount (%)
1	Al2O3	6,8	7	V2O5	0,02
2	SiO2	10,9	8	Cr2O3	0,044
3	SO3	1,6	9	MnO	0,06
4	K2O	0,09	10	Fe2O3	3,99
5	CaO	72,20	11	CuO	0,14
6	TiO2	1,86	12	ZnO	0,12

(Sumber: Peneliti, 2025)

Berdasarkan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) pada abu kertas karton, menunjukkan kandungan yang mirip dengan abu kapur yang biasa digunakan sebagai pengisi dalam campuran beraspal. Oleh karena itu, abu kertas karton diharapkan nantinya dapat digunakan sebagai penganti *filler*. Abu kertas karton didominasi oleh senyawa kalsium (CaO), silika (SiO2), dan aluminium (Al2O3) dimana unsur kimia tersebut dapat meningkatkan potensi

stabilitas dan durabilitas pada campuran aspal. Meskipun unsur-unsur penyusunnya sama dengan yang terdapat pada abu kapur, tetapi komposisinya mempunyai proporsi yang berbeda.

Tabel 3. Rekapitulasi Spesifikasi Pengujian Abu Kertas Karton Berdasarkan Bina Marga (Revisi 2) 2018

No.	Parameter	Hasil	Spesifikasi
1	Lolos Saringan No. 200	82,03%	>75%
2	Berat Jenis	2,628	2,25-2,7

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang dilakukan, abu kertas karton menunjukkan karakteristik fisik yang sesuai dengan standar teknis sebagai *filler* pada campuran aspal tipe AC-WC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 82,03% partikel dari limbah ini dapat melewati saringan No. 200, serta memiliki berat jenis rata-rata sebesar 2,628. Nilai ini telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Selain itu, kemiripan komposisi senyawa kimia antara abu kertas karton dan abu kapur menjadikan limbah ini berpotensi sebagai alternatif *filler* dalam campuran perkerasan aspal. Oleh karena itu, limbah ini dianggap layak untuk menggantikan filler konvensional seperti batu kapur atau semen. Selain meningkatkan stabilitas campuran aspal, pemanfaatan abu kertas karton juga memberikan kontribusi positif terhadap upaya pengelolaan limbah kertas yang ramah lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa limbah tersebut memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai material alternatif dalam pembangunan konstruksi jalan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Ali, N. Ijaz, N. Aman, dan E. M. Noor, “Feasibility study of low density waste plastic in non load bearing asphalt pavement in district faisalabad,” *Earth Sci. Pakistan*, vol. 1, no. 2, hal. 17–18, 2017, doi: 10.26480/esp.02.2017.17.18.
- [2] A. Z. Saputra dan A. S. Fauzi, “Pengolahan Sampah Kertas Menjadi Bahan Baku Industri Kertas Bisa Mengurangi Sampah di Indonesia,” *J. Mesin Nusant.*, vol. 5, no. 1, hal. 41–52, 2022, doi: 10.29407/jmn.v5i1.17522.
- [3] Y. Anggraini, A. Malik, dan M. Sebayang, “Analisa Kinerja Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Kombinasi Limbah Abu Bata dan Abu Serbuk Kayu Sebagai Filler,” *Sainstek (e-Journal)*, vol. 8, no. 2, hal. 70–80, 2020, doi: 10.35583/js.v8i2.122.
- [4] M. B. Miftah, “The Performance of Asphalt Concrete Wearing Course Mix using De-oiled Bleaching Earth as Filler reviewed from Marshall Parameters,” vol. 14, no. 5, hal. 16545–16552, 2024.
- [5] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. 2016.
- [6] Risdian Rizza, “Perbandingan Aspal Alam Dan Aspal Karet Pada Lapisan Perkerasan Jalan Ac-Bc Penetrasi 60/70 Terhadap Nilai Marshall,” hal. 1–126, 2021.
- [7] A. Gunawan, “Pengaruh Pencampuran Dua Jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton,” *Inersia J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, hal. 59–68, 2016.
- [8] F. S. Ridwan dan Nadia, “Analisis Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton,” *J. Konstr.*, vol. 8, no. 2, hal. 1–8, 2017.

ANALISIS KECELAKAAN DI JALAN RAYA NGANJUK-MADIUN DENGAN METODE ANGKA EKIVALEN KECELAKAAN DAN *UPPER CONTROL LIMIT*

Hanifa Nur A`ini¹, *RA Dinasty Purnomoasri², Gatot Nursetyo³

^{1,3}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

² Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

*Email: dinasty@ft.uns.ac.id

ABSTRACT

The Nganjuk-Madiun highway is a national road that connects the provincial capitals of East Java and Central Java. Therefore, the road is quite potential for traffic flow movements that have a fairly high accident rate. This analysis is used to determine and analyze the causal factors, characteristics, locations of accident-prone areas (blackspots), conditions of accident-prone areas (blackspots), and preventive measures that can be taken. The methods used in this analysis are the AEK (Accident Equivalent Number) method and the Upper Control Limit Method. Primary data is data on the geometric condition of the road, while secondary data is the number, time, location, day, class of victims, and type of vehicle obtained from the Nganjuk Police Traffic Unit in 2019 - 2023. The results of this study indicate that the characteristics of accidents based on the location of the most segments occurred in 2019 in segment 1 as many as 15, based on the time of the incident, namely at 06.01-07.00 WIB as many as 12 incidents, based on the class of victims, namely minor injuries (LR) as many as 93 victims, based on the type of vehicle, namely motorcycles as many as 63. Accident-prone areas on the Nganjuk-Madiun highway, Bagor District for 5 years (2019-2023) are in segment 3 with an AEK value of 314 and a UCL value of 302.68. Efforts that can be made to prevent accidents include installing traffic warning signs, adding road markings, repairing street lights, and adding road noise tape.

Keyword: Nganjuk-Madiun highway, traffic accidents, accident-prone areas, accident equivalent traffic, upper control limit, prevention efforts.

ABSTRAK

Jalan Raya Nganjuk-Madiun merupakan jalan nasional yang menghubungkan ibu kota provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Oleh karena itu, jalan tersebut cukup potensial untuk pergerakan arus lalu lintas yang memiliki tingkat kecelakaan yang cukup tinggi. Analisis ini digunakan untuk mengetahui dan menganalisis faktor-faktor penyebab, karakteristik, lokasi kawasan rawan kecelakaan (blackspot), kondisi kawasan rawan kecelakaan (blackspot), serta upaya preventif yang dapat dilakukan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah metode AEK (Accident Equivalent Number) dan Metode Batas Kendali Atas. Data primer merupakan data kondisi geometrik jalan, sedangkan data sekunder berupa jumlah, waktu, lokasi, hari, kelas korban, dan jenis kendaraan yang diperoleh dari Satlantas Polres Nganjuk tahun 2019 – 2023. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik kecelakaan berdasarkan lokasi segmen terbanyak terjadi pada tahun 2019 pada segmen 1 sebanyak 15 kejadian, berdasarkan waktu kejadian yaitu pada pukul 06.01-07.00 WIB sebanyak 12 kejadian, berdasarkan kelas kecelakaan korban yaitu luka ringan (LR) sebanyak 93 korban berdasarkan jenis kendaraan yaitu sepeda motor sebanyak 63. Kawasan rawan kecelakaan di jalan raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor selama 5 tahun (2019-2023) adalah pada segmen 3 dengan nilai AEK sebesar 314 dan nilai UCL sebesar 302,68. Upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kecelakaan antara lain dengan memasang rambu peringatan lalu lintas, menambah marka jalan, memperbaiki lampu jalan, dan menambah pita kebisingan jalan.

Kata kunci: jalan raya Nganjuk-Madiun, kecelakaan lalu lintas, daerah rawan kecelakaan, Angk Ekivalen Kecelakaan, Upper Control Limit, upaya pencegahan.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini dengan perkembangan zaman, serta diiringi perkembangan teknologi yang seakin canggih, maka bertambah pula mobilitas masyarakat dan sebagian besar masyarakat dan Kebanyakan masyarakat Indonesia memiliki kendaraan sendiri, baik sepeda motor maupun mobil, dan kemacetan lalu lintas semakin meningkat setiap tahunnya. Kepadatan lalu lintas inilah yang menjadi salah satu penyebab terjadinya kecelakaan, serta beberapa faktor lainnya. Kecelakaan lalu lintas merupakan masalah yang sangat serius di Indonesia. Berdasarkan laporan Kepolisian Lalu Lintas Republik Indonesia (Korlantas Pori), sepanjang Januari 2022 hingga 13 September 2022, tercatat 94.671 kecelakaan lalu lintas di wilayah NKRI. Jumlah ini meningkat sekitar 34,6% dibandingkan tahun 2021 yang mencapai 70.000 kecelakaan. [1].

Jalan raya Nganjuk-Madiun merupakan jalan raya nasional yang menghubungkan dua provinsi, Jawa Timur dan Jawa Tengah. Akibatnya, arus kendaraan di jalan tersebut tinggi dan rawan banyak kecelakaan lalu lintas. Misalnya saja pada 10 September 2019, terjadi kecelakaan antara mobil Innova bernomor polisi AE 567 SC dan bus Mira bernomor polisi S 7190 US. Tiga orang dinyatakan tewas dan dua lainnya mengalami luka di bagian kepala [2]. Selain itu, kecelakaan antara truk Hino bernomor polisi L 8206 UR dengan sepeda motor Honda Beat dengan nomor polisis AG 3742 VAC juga terjadi di jalan raya Nganjuk-Madiun pada tanggal 12 Juli 2023 yang

mengakibatkan satu orang paruh baya meninggal di tempat dan satu orang luka ringan [3]. Untuk meningkatkan keselamatan jalan raya, dapat dilakukan dengan cara antara lain dengan mengurangi jumlah kecelakaan dan mengurangi tingkat keparahan korban kecelakaan. Keselamatan lalu lintas jalan harus dievaluasi seperti keadaan jalan, pemeliharaan jalan, konstruksi jalan, dan pengoperasian [4][5]. Oleh karena itu, diperlukan basis data yang akan dianalisis untuk kepentingan perbaikan infrastruktur jalan, mengurangi atau mengubah perilaku abnormal pengemudi sangatlah penting dalam pencegahan kecelakaan lalu lintas, pengurangan korban jiwa dan kerugian harta benda, dan peningkatan keselamatan lalu lintas jalan [6]. Dari hal tersebut perlu dilakukan kajian tentang karakteristik dan analisis mengenai daerah rawan kecelakaan yang sering terjadi di jalan raya Nganjuk-Madiun dengan harapan dapat mengurangi angka kecelakaan lalu lintas yang terjadi. Untuk menentukan lokasi yang menjadi titik rawan kecelakaan (blackspot) dapat dihitung dengan menggunakan metode Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dan Upper Control Limit (UCL). Identifikasi black spot dapat digunakan untuk mengevaluasi dan kemudian meningkatkan keselamatan lalu lintas [7][8]. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengelompokkan data yang diperoleh dari satlantas polres Nganjuk untuk mengetahui karakteristik kecelakaan kemudian menghitung data dengan metode Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dan Upper Control Limit (UCL) untuk mengetahui derah rawan kecelakaan. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik kecelakaan lalu lintas di jalan raya Nganjuk-Madiun, mengetahui derah rawan kecelakaan di jalan raya Nganjuk-Madiun, dan upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kecelakaan lalu lintas di jalan raya Nganjuk-Madiun.

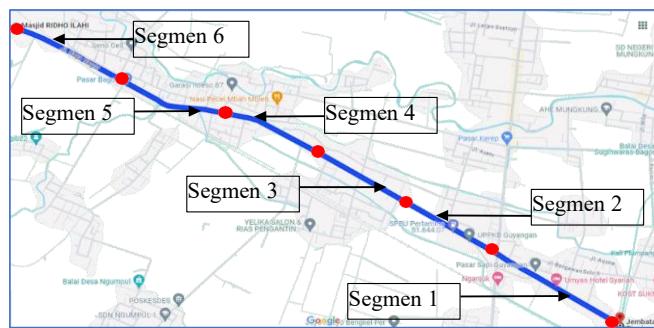
Oleh karena itu perlu diketahui bagaimana karakteristik kecelakaan lalu lintas di jalan raya Nganjuk-Madiun meliputi lokasi kecelakaan persegmen, waktu (jam dan hari) kejadian, kelas korban, dan jenis kendaraan yang selanjutnya dicari Upaya apa yang perlu dilakukan. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu mengetahui mengetahui karakteristik kecelakaan lalu lintas di jalan raya Nganjuk – Madiun meliputi lokasi kecelakaan per segmen, waktu (jam dan hari) kejadian, kelas korban, dan jenis kendaraan. Mengetahui di segmen berapa yang rawan terjadi kecelakaan lalu lintas berdasarkan metode Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dan metode Upper Control Limit (UCL). Serta mengetahui upaya apa yang bisa dilakukan untuk mengurangi terjadinya kecelakaan lalu lintas.

Adapun penelitian ini dibatasi oleh:

1. Kejadian kecelakaan yang akan dilihat dan yang akan dipakai pada penelitian ini adalah kejadian kecelakaan yang tercatat dalam data Laka Lantas Polres Nganjuk selama 5 tahun terakhir yaitu tahun 2019 – 2023.
2. Lokasi penelitian ini dilakukan di Ruas Jalan Raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor.
3. Karakteristik kecelakaan pada penelitian ini menggunakan data karakteristik kecelakaan berdasarkan kecelakaan per segmen, waktu, jenis kendaraan, dan kelas korban.
4. Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah metode Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dan metode Upper Control Limit (UCL).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di jalan raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor. Lokasi ini memiliki panjang \pm 6km dalam penelitian ini dibagi menjadi 6 (enam) segmen yang dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



(Sumber: Google Maps, 2024)

Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian

Segmen 1 berada pada km 12 – km 13, segmen 2 berada pada km 13 – km 14, segmen 3 berada pada km 14 – km 15, segmen 4 berada pada km 15 – km 16, segmen 5 berada pada km 16 – km 17, dan segmen 6 berada pada km 17 – km 18. Penentuan lokasi rawan kecelakaan berdasarkan metode analisis yang mengacu pada pedoman (Pd T-09-2004-B) tentang penanganan lokasi rawan kecelakaan adalah lokasi dimana banyak terjadi kecelakaan, dan dimana kecelakaan yang disebabkan oleh sebab-sebab tertentu berulang kali terjadi di wilayah yang relatif sama dan dalam jangka waktu yang relatif sama [2].

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu data sekunder, data yang diperoleh dari Satlantas Polres Nganjuk berupa kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Jalan Raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor selama 5 tahun terakhir yaitu (2019-2023) meliputi lokasi, waktu, kelas korban, dan jenis kendaraan yang tersangkut dalam kecelakaan lalu lintas.

Pembobotan

Pembobotan tingkat kecelakaan berdasarkan (Pd T-09-2004-B) yaitu menggunakan Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dengan sistem pembobotan yang mengacu kepada biaya kecelakaan Meninggal Dunia (MD) = 12, Luka Berat (LB) = 3, Luka Ringan (LR) = 3, dan Kerugian Materi (K) = 1. Dalam menentukan daerah rawan kecelakaan digunakan dua metode yaitu Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dan Upper Control Limit (UCL). Segmen ruas jalan dengan nilai AEK yang berada di atas garis UCL didefinisikan sebagai lokasi rawan kecelakaan. Perhitungan nilai AEK dapat menggunakan persamaan berikut ini [9][10]:

$$AEK = 12 MD + 3 LB + 3 LR + 1K$$

dengan MD = Meninggal Dunia, LB = Luka Berat, LR = Luka Ringan, dan K= Kerugian

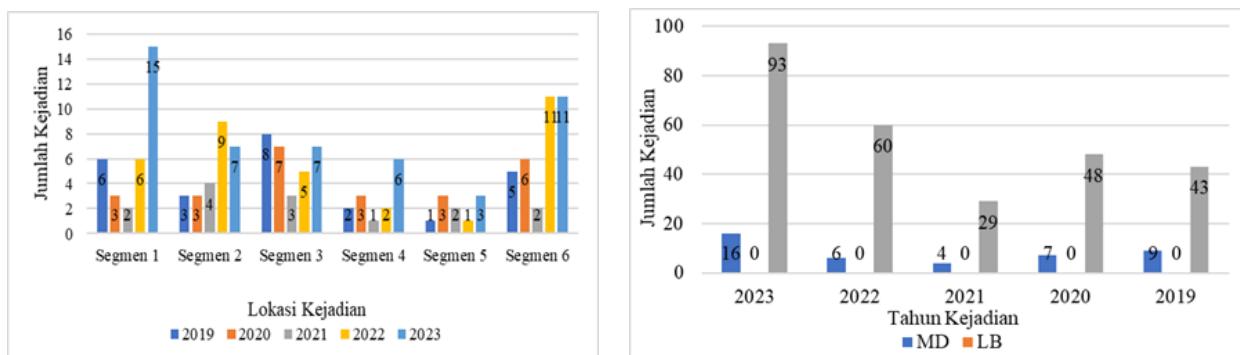
Sedangkan untuk perhitungan Upper Control Limit (UCL) dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$UCL = \lambda + \psi \times \sqrt{\frac{\lambda}{m} + \left(\frac{0,829}{m} + \frac{1}{2} \times m \right)}$$

dengan λ = Rata-rata angka kecelakaan AEK, ψ = Faktor probabilitas = 2.576, m = Angka kecelakaan ruas yang ditinjau (AEK)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kecelakaan Lalu Lintas Per Segmen

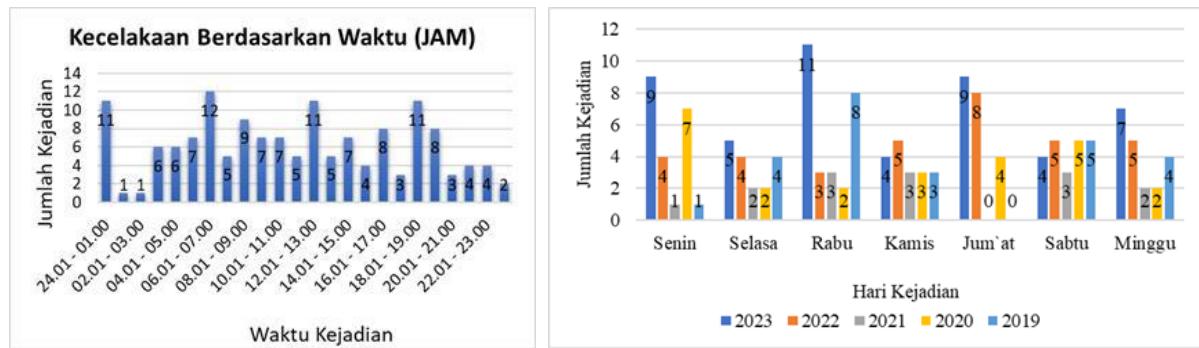


(Sumber: Data Satlantas Polres Nganjuk, 2019-2023)

Gambar 2. Grafik Kecelakaan Lalu Lintas Per Segmen dan Kelas Korban

Pada **Gambar 2** dapat dilihat kecelakaan lalu lintas yang tertinggi terjadi pada segmen 1 dengan jumlah 15 kejadian yang terjadi pada tahun 2023 dan kecelakaan lalu lintas yang terendah terjadi pada segmen 5 dengan jumlah 1 kejadian yang terjadi pada tahun 2019 dan 2022. Dari data pada tahun 2023 paling tinggi korban mengalami luka ringan (LR) dengan total 93 korban dan paling rendah pada tahun 2021 yaitu sebanyak 29 korban. Tidak ada korban luka berat selama lima tahun 2019-2023 dan korban yang meninggal dunia paling tinggi pada tahun 2023 sebanyak 16 korban dan paling rendah pada tahun 2021 yaitu sebanyak 4 korban.

Karakteristik Kecelakaan Lalu Lintas Berdasarkan Waktu

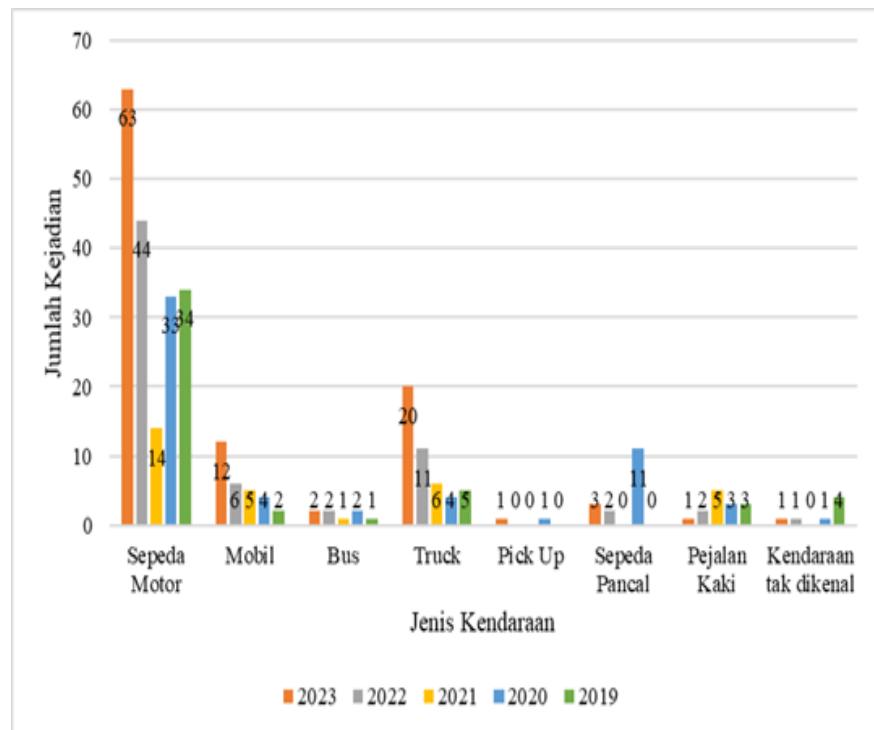


(Sumber: Data Satlantas Polres Nganjuk, 2019-2023)

Gambar 3. Total Kecelakaan Berdasarkan Waktu (Jam dan Hari) Selama 5 Tahun

Ditinjau dari **Gambar 3** total kecelakaan yang terjadi di jalan raya Nganjuk-Madiun selama lima tahun 2019-2023 kecelakaan tertinggi terjadi pada jam 06.01-07.00 WIB sebanyak 12 kejadian. Dan kecelakaan terendah terjadi pada jam 01.01-02.00 WIB dan jam 02.01-03.00 WIB yaitu sebanyak 1 kejadian. bahwa total kecelakaan lalu lintas yang terjadi pada hari senin pada tahun 2023 dengan total 9 kejadian. Dan paling rendah terjadi pada hari jum'at dengan tidak ada kejadian.

Karakteristik Kecelakaan Lalu Lintas Berdasarkan Jenis Kendaraan



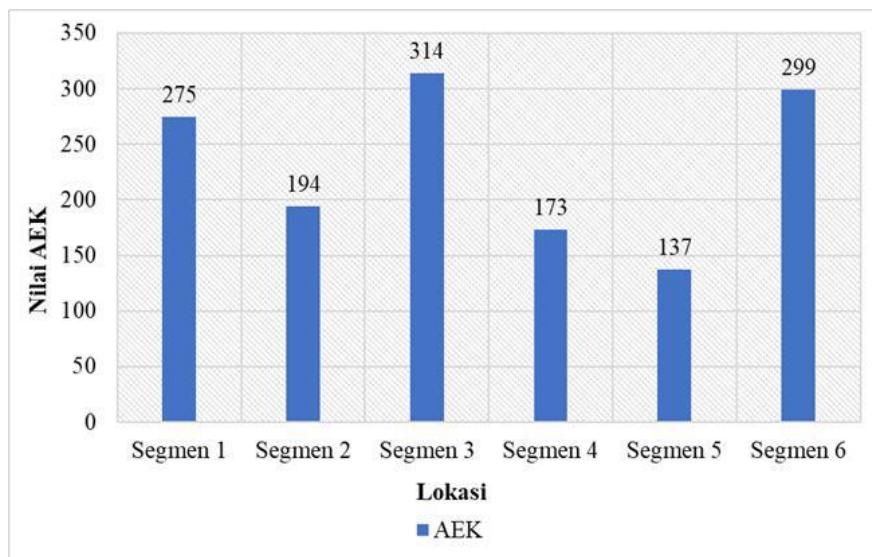
(Sumber: Data Satlantas Polres Nganjuk, 2019-2023)

Gambar 4. Grafik Data Kecelakaan Berdasarkan Hari Kejadian

Gambar 4 menunjukkan bahwa karakteristik kecelakaan lalu lintas berdasarkan jenis kendaraan paling tinggi terjadi pada sepeda motor dengan jumlah 63 kejadian pada tahun 2023 dan paling rendah terjadi pada pick up dengan tidak ada kejadian pada tahun 2019, 2021, dan 2022. Jika dilihat pada grafik pejalan kaki juga cukup banyak mengalami kecelakaan yang mungkin dipicu oleh perbedaan pengaruh tekanan waktu [11].

Daerah Rawan Kecelakaan

Berdasarkan data jumlah korban kecelakaan yang diterima dari Divisi Lalu Lintas Polres Nganjuk, maka jumlah kecelakaan di ruas jalan raya Nganjuk-Madiun dapat dihitung dengan menggunakan metode Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 5**.

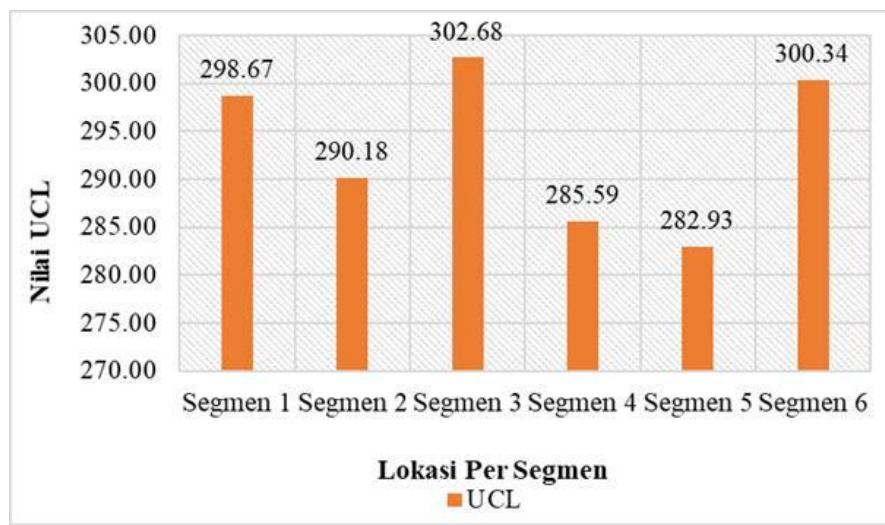


(Sumber: Analisis,2024)

Gambar 5. Total Nilai AEK Selama 5 Tahun Per Segmen

Pada **Gambar 7** terlihat nilai total tinggi Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) 5 tahun terdapat pada segmen 3, nilai total Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) sebesar 314, dan nilai Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) terendah. Nilai ini berada pada segmen 5 dan mempunyai total nilai 137.

Identifikasi lokasi rawan kecelakaan di jalan raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor menggunakan metode Upper Control Limit (UCL) dengan menggunakan nilai tingkat kecelakaan segmen dan Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK). Penentuan titik rawan kecelakaan dilakukan dengan menggunakan teknik pengendalian mutu statistik berupa peta kendali UCL (Upper Control Limit). Peta kendali ini diberi bobot berdasarkan jumlah kecelakaan per kilometer atau ruas jalan. Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) batas UCL (Upper Control Limit). Berdasarkan perhitungan jumlah kecelakaan, dapat dilakukan perhitungan dengan teknik pengendalian kualitas statistik untuk setiap ruas jalan raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor. Di bawah ini adalah penghitungan nilai Upper Control Limit (UCL) selama 5 tahun 2019-2023 dapat dilihat pada **Gambar 6**.



(Sumber: Analisis,2024)

Gambar 6. Total Nilai UCL Selama 5 Tahun Per Segmen

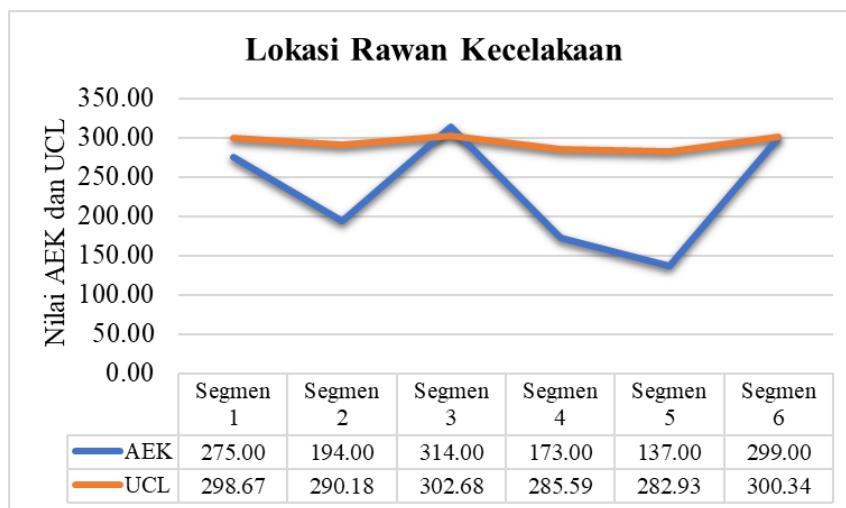
Berdasarkan **Gambar 6** hasil perhitungan Upper Control Limit (UCL) menunjukkan bahwa dalam lima tahun terakhir, segmen yang memiliki nilai Upper Control Limit (UCL) tertinggi sebesar 302,69 adalah segmen 1. Nilai terendah yaitu 282,93 pada segmen 4 pada lima tahun terakhir tahun. Pada ruas jalan raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor yang teridentifikasi sebagai daerah rawan terjadi kecelakaan selama lima tahun (2019-2023)

berada di segmen 3 yang mempunyai nilai AEK > UCL. Perbandingan nilai AEK dan UCL selama lima tahun (2019-2023) dapat dilihat pada **Tabel 1.** dan **Gambar 7.**

Tabel 1. Perbandingan Nilai AEK dan UCL Selama 5 Tahun (2019-2023)

Ruas Jalan	UCL	AEK
Segmen 1	298.67	275.00
Segmen 2	290.18	194.00
Segmen 3	302.68	314.00
Segmen 4	285.59	173.00
Segmen 5	282.93	137.00
Segmen 6	300.34	299.00

(Sumber: Analisis, 2024)



(Sumber: Analisis, 2024)

Gambar 7. Perbandingan Nilai AEK Dan UCL Selama 5 Tahun (2019 – 2023),

Untuk rata-rata nilai Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dan Upper Control Limit (UCL) selama lima tahun (2019-2023) daerah rawan kecelakaan juga berada di segmen 3 dengan nilai AEK > UCL yaitu, segmen 3 AEK = 62,80 > UCL = 60,54. Identifikasi black spot kecelakaan sangat penting untuk pencegahan kecelakaan lalu lintas dengan membagi ruas jalan untuk analisis data kecelakaan [12]. Analisis lokasi black spot diawali dengan pendataan jumlah kecelakaan disepanjang Ruas Jalan kemudian akan dianalisis menggunakan sistem pembobotan sesuai dengan metode yang digunakan. Hasil Analisa nilai pembobotan yang lebih besar dapat disimpulkan sebagai lokasi black spot (daerah rawan kecelakaan) [13][14]. Selain itu, kondisi segmen 3 juga terdapat simpang tak bersinyal yang menjadi lokasi tingginya jumlah kecelakaan lalu lintas karena terbatasnya jarak pandang, penilaian kesenjangan yang salah oleh pengemudi di jalan kecil, dan kecepatan kendaraan yang lebih tinggi di jalan besar [15], dan segmen 3 juga berada di daerah dekat dengan pabrik, spbu, dan bangunan timbangan kendaraan berat sehingga keadaan lalu lintas menjadi padat dan ramai dengan keadaan pabrik, spbu, dan bangunan timbangan berada di tempat yang berdekatan seperti pada Gambar 8.



(Sumber : Google Earth,2024)

Gambar 8. Keadaan Lokasi Segmen 3

Berdasarkan hasil identifikasi daerah rawan kecelakaan pada ruas jalan raya Nganjuk-Madiun Kecamatan Bagor menurut data sekunder memiliki karakteristik kecelakaan yaitu kendaraan yang paling banyak terlibat adalah sepeda motor sebanyak 188. Perilaku berisiko pada sepeda motor niaga antara lain mabuk dan mengemudi, merokok saat berkendara, menggunakan penerangan kendaraan yang tidak tepat, menggunakan ponsel saat berkendara, melebihi kapasitas penumpang, melanggar rambu lalu lintas, menyalip secara berbahaya, dan penggunaan yang tidak tepat. Hal ini erat kaitannya dengan kecelakaan. Sinyal belok, ngebut, pelanggaran rambu/sinyal lalu lintas [16]. Rekayasa faktor manusia di bidang keselamatan lalu lintas jalan terutama berfokus pada pengemudi, menjadikan kondisi jalan, lingkungan berkendara, manajemen perilaku mengemudi dan desain kendaraan sesuai dengan karakteristik fisiologis dan psikologis pengemudi, sehingga dapat mengurangi intensitas dan kesulitan pengoperasian. pengemudi dalam aspek fisik dan mental, memenuhi persyaratan keselamatan dan kenyamanan berkendara, serta mencapai tujuan mengurangi atau bahkan menghilangkan kecelakaan lalu lintas [17]. Waktu kejadian banyak terjadi pada pukul 06.01 - 07.00 WIB sebanyak 12 kejadian. Selanjutnya berdasarkan data primer pada daerah tersebut merupakan trek jalan lurus dengan kondisi jalan yang lumayan bagus sehingga memungkinkan pengguna jalan mengemudikan kendaraannya dengan cepat.

Kecepatan adalah salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi kecelakaan di jalan raya. Untuk mengatur kecepatan kendaraan, telah dipasang batas kecepatan [18]. Pengurangan batas kecepatan di jalan perkotaan melalui skema ketenangan lalu lintas bertujuan untuk menjamin kondisi lalu lintas yang lebih aman bagi pengguna jalan dengan mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan parah [19]. Banyak kasus kecelakaan di jalan raya karena faktor manusia atau human error. Salah satu melebihi batas kecepatan [20]. Setiap tahun, sejumlah besar anak mengalami cedera dan kematian akibat kecelakaan kendaraan bermotor di Wyoming dikarenakan usia anak-anak, jenis alat pengaman, jenis kendaraan, usia pengemudi, cara tabrakan dan kondisi lingkungan berkontribusi terhadap risiko cedera anak [21]. Selain itu, berdasarkan data perlengkapan jalan yang diperoleh dilapangan, pada daerah tersebut ditemukan pagar pengaman/ guardrail yang rusak, ditemukan kendaraan yang parkir di bahu jalan, serta ada beberapa bagian bahu jalan yang kondisinya sudah mulai rusak, ada beberapa titik badan jalan yang berlubang dan jika terjadi hujan akan terjadi genangan yang akan membahayakan keselamatan pengguna jalan. Beberapa lokasi tidak terdapat rambu-rambu lalu lintas serta ada marka jalan yang sudah mulai menghilang. Kebutuhan akan marka zebra cross dan pita penggaluh menjadi priorita penting dalam meningkatkan keselamatan wilayah sekolah [22][23]. Saat malam hari ada beberapa lampu jalan mati minimnya lampu penerangan jalan dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan dan apabila di jalan yang menikung bisa membahayakan keselamatan pengguna jalan [24]. Audit keselamatan jalan dilakukan dengan tujuan untuk menyelaraskan perlengkapan jalan yang termasuk dalam kategori sangat berbahaya. Hasil rekomendasi keselamatan dari audit keselamatan jalan raya terkait bangunan pelengkap dan perlengkapan jalan. Banyak dari rekomendasi yang diajukan didasarkan pada rekomendasi dari temuan audit, seperti: Terjadinya kecelakaan di jalan nasional (jalan umum) yaitu rambu lalu lintas, pagar pengaman, marka jalan, alat penerangan jalan, dan fasilitas pejalan kaki yang mempunyai dampak penting terhadap hubungan manusia, jalan, dan lingkungan hidup hubungan antara jalan dan lingkungan [25][26].

Upaya Pencegahan Kecelakaan Lalu Lintas

Penambahan rambu lalu lintas

Kondisi jalan segmen 3 yang cenderung lurus dan bagus sehingga berkemungkinan kendaraan berkecepatan tinggi dikarenakan segmen 3 menjadi daerah rawan kecelakaan maka dari itu, diperlukan penambahan rambu batasan kecepatan di segmen 3 dan pemasangan rambu-rambu lalu lintas berupa pemberitahuan zona sekolah

Penambahan marka jalan

Segmen 3 juga berada di zona sekolah tapi tidak ada pelengkap jalan berupa marka jalan. Oleh karena itu, perlu upaya berupa pembuatan marka jalan zebra cross dan perbaikan marka jalan yang sudah mulai mengelupas oleh pihak terkait.

Perbaikan lampu lalu lintas

Minimnya lampu penerangan jalan dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan. Dikarenakan terbatasnya pandangan pengguna jalan maka penglihatan pengguna jalan juga terbatas, di segmen 3 juga terdapat beberapa lampu penerangan jalan yang mati maka perlu perbaikan agar berfungsi kembali.

Penambahan pita penggaduh jalan

Kondisi jalan segmen 3 cenderung lurus serta keadaan jalan yang bagus dan lurus tanpa adanya simpang bersinyal bisa berbahaya jika pengemudi dalam keadaan mengantuk. Maka dari itu pada segmen 3 bisa ditambah dengan pita penggaduh jalan supaya bisa memberi reaksi pada pengemudi yang dalam keadaan mengantuk.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil data survei, analisis dan perhitungan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Karakteristik kecelakaan lalu lintas di ruas jalan raya Nganjuk-Madiun Kacamatan Bagor berdasarkan data Satuan Lalu Lintas Polres Nganjuk selama lima tahun (2019-2023). Berdasarkan kemunculan menurut segmen, segmen 1 memiliki kejadian terbanyak dengan total 15 kasus. Jumlah kecelakaan lalu lintas terbanyak berdasarkan waktu (jam) terjadi pada pukul 06.01-07.00 WIB sebanyak 12 kasus; kecelakaan lalu lintas harian terjadi pada hari Rabu sebanyak 11 kasus dan jumlah kecelakaan lalu lintas terbanyak berdasarkan kelas korban adalah luka ringan (LR); Luka Ringan (LR) terjadi dengan total korbannya sebanyak 93 orang, dengan 63 kecelakaan lalu lintas melibatkan sepeda motor, jenis kendaraan yang paling banyak ditemui.
- b. Hasil analisis kecelakaan lalu lintas di jalan raya Nganjuk-Madiun Kacamatan Bagor yang dilakukan selama lima tahun (2019-2023) berdasarkan metode Angka Ekivalen Kecelakaan (AEK) dan metode Upper Control Limit (UCL) sering terjadi pada segmen 3 dengan nilai AEK = 314 dan nilai UCL = 302,68.
- c. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kecelakaan yang terjadi pada ruas jalan raya Nganjuk-Madiun adalah pemasangan rambu – rambu peringatan lalu lintas pada lokasi yang rawan terjadi kecelakaan, penambahan marka jalan, dan penambahan pita penggaduh jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. K. dan I. Publik, “Tekan Angka Kecelakaan Lalu Lintas, Kemenhub Ajak Masyarakat Beralih Ke Transportasi Umum dan Utamakan Keselamatan Berkendara.” Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.dephub.go.id/post/read/tekan-angka-kecelakaan-lalu-lintas,-kemenhub-ajak-masyarakat-beralih-ke-transportasi-umum-dan-utamakan-keselamatan-berkendara>.
- [2] I. Budiarti, “Candaan Maut di Balik Kecelakaan Tragis Nganjuk Renggut 3 Nyawa,” detik Jatim. Accessed: Jul. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jatim/berita/d-6981852/candaan-maut-di-balik-kecelakaan-tragis-nganjuk-renggut-3-nyawa#>
- [3] R. M. Kediri, “Tragis! Wanita Tewas Terlindas Truk di Jalan Nganjuk-Madiun.” [Online]. Available: <https://kediri.memo.co.id/tragis-wanita-tewas-terlindas-truk-jalan-nganjuk-madiun/>
- [4] Z. Du, M. Deng, N. Lyu, and Y. Wang, “ScienceDirect A review of road safety evaluation methods based on driving behavior,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 10, no. 5, pp. 743–761, 2023, doi: 10.1016/j.jtte.2023.07.005.
- [5] G. Sugianto, “10768-28429-1-Pb,” vol. 19, no. 2, pp. 128–135, 2017.
- [6] M. Yang, Q. Bao, Y. Shen, and Q. Qu, “Thirty years of research on driving behavior active intervention: A bibliometric overview,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 10, no. 5, pp. 721–742, 2023, doi: 10.1016/j.jtte.2023.06.002.
- [7] Y. Xu, C. Zhang, J. He, Z. Liu, Y. Chen, and H. Zhang, “ScienceDirect Comparisons on methods for

- identifying accident black spots using vehicle kinetic parameters collected from road experiments,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 10, no. 4, pp. 659–674, 2023, doi: 10.1016/j.jtte.2021.08.007.
- [8] S. A. Kurnia, I. Elvina, and Robby, “Analisis Kecelakaan dan Alternatif Penanggulangannya Pada Jalan Rta Milono Dengan Metode AEK dan UCL,” *J. Tek. J. Teor. dan Terap. Bid. Keteknikan*, vol. 6, no. 1, pp. 49–55, 2022.
- [9] “pd-t-09-2004-b-penanganan-lokasi-rawan-kecelakaan.pdf.”
- [10] D. Metode, A. Ekivalen, K. Aek, R. Kojo, and R. S. S. I. Kawet, “Analisis Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Penghubung Desa Kolongan Atas Dan Desa Leilem,” vol. 22, no. 87, 2024.
- [11] A. Dhone and P. Choudhary, “Temporal and spatial compliance behaviour of pedestrians under the influence of time pressure at signalized intersections: A pedestrian simulator study,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 11, no. 1, pp. 55–68, 2024, doi: 10.1016/j.jtte.2023.04.010.
- [12] H. Cui, J. Dong, M. Zhu, X. Li, and Q. Wang, “Identifying accident black spots based on the accident spacing distribution,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 9, no. 6, pp. 1017–1026, 2022, doi: 10.1016/j.jtte.2021.02.006.
- [13] K. Al Qubro, M. Fauzi, and A. Christine, “Penentuan Titik Rawan Kecelakaan (Black Spot) Pada Ruas Jalan Nasional Palembang – Indralaya,” *Bear. J. Penelit. dan Kaji. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 3, p. 151, 2022, doi: 10.32502/jbearing.4650202273.
- [14] R. Rahmawati, H. Widarto, and N. Hadansi, “Analisis Tingkat Kecelakaan Menggunakan Metode Accident Rate Dan Equivalent Accident Number (Ean) Di Kab. Enrekang,” *STABILITA || J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 3, p. 143, 2023, doi: 10.55679/jts.v11i3.46257.
- [15] Y. Rachakonda and D. S. Pawar, “ScienceDirect Evaluation of intersection conflict warning system at unsignalized intersections : A review,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 10, no. 4, pp. 530–547, 2023, doi: 10.1016/j.jtte.2023.04.003.
- [16] Z. Hidayat and Rizky indra Utama, “Analisa Kecelakaan Lalu Lintas Di Jalan Sitinjau Laut Provinsi Sumatera Barat Dengan Menggunakan Metode Angka Ekivalen Kecelakaan Dan Metode Upper Control Limit,” *Appl. Sci. Civ. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 72–76, 2024.
- [17] L. Han, Z. Du, H. Zheng, F. Xu, and J. Mei, “Reviews and prospects of human factors research on curve driving,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 10, no. 5, pp. 808–834, 2023, doi: 10.1016/j.jtte.2023.04.007.
- [18] A. Abdulghani and C. Lee, “ScienceDirect Differential variable speed limits to improve performance and safety of car-truck mixed traffic on freeways,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 9, no. 6, pp. 1003–1016, 2021, doi: 10.1016/j.jtte.2021.08.004.
- [19] E. Zargiannaki, P. G. Tzouras, E. Antoniou, C. Karolemeas, and K. Kepaptsoglou, “ScienceDirect Assessing the impacts of traffic calming at network level : A multimodal agent-based simulation,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 11, no. 1, pp. 41–54, 2022, doi: 10.1016/j.jtte.2023.01.003.
- [20] P. K. Banjar, “Batas Kecepatan Berkendara Yang Wajib Anda Ketahui.” Accessed: Jul. 14, 2024. [Online]. Available: <https://dishub.banjarkab.go.id/batas-kecepatan-berkendara-yang-wajib-anda-ketahui/>
- [21] S. Nazneen, A. Farid, and K. Ksaibati, “Impact of drivers’ attributes on children injury severities in traffic crashes,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 10, no. 4, pp. 647–658, 2023, doi: 10.1016/j.jtte.2022.08.004.
- [22] A. K. Zaini, M. Z. Muttaqin, and M. Habibi, “Analisis Zona Selamat Sekolah Terhadap Keselamatan Penyeberang Jalan Di SD Negeri 36 Sail Kota Pekanbaru,” *J. Multidisiplin Madani*, vol. 2, no. 2, pp. 899–908, 2022, doi: 10.54259/mudima.v2i2.459.
- [23] I. Maulidya, “Kebutuhan Fasilitas Keselamatan Jalan di Kota Kotamobagu,” *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 25, no. 1, pp. 36–47, 2023, doi: 10.25104/jptd.v25i1.2161.
- [24] R. Manggala *et al.*, “Studi Kasus Faktor Penyebab Kecelakaan Lalu Lintas Pada Tikungan Tajam,” *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 4, no. 21, pp. 462–470, 2015.
- [25] M. Rimba, M. I. Ramli, and S. H. Aly, “Studi Keselamatan Jalan pada Jalan Nasional Ruas Bomberai-Purwata di Kabupaten Fak-Fak,” *J. Penelit. Enj.*, vol. 24, no. 1, pp. 29–37, 2020, doi: 10.25042/jpe.052020.05.
- [26] B. Nalendra and E. Amrina, “Rekomendasi Audit Keselamatan Jalan terhadap Bangunan Pelengkap dan Perlengkapan Jalan,” *J. Talent. Sipil*, vol. 6, no. 1, p. 69, 2023, doi: 10.33087/talentasipil.v6i1.178.

ANALISIS KEBUTUHAN LIFT GEDUNG MERAH YAYASAN MABADI'UL IHSAN BERDASARKAN SNI: 03-6573-2001

*Rayhan Darrel Nafari¹, Rahayu Pradita², Wahyu Naris Wari³, Megalita Rodiyani⁴,
Wahyu Satyaning Budhi⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi D3 Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

^{*)}Email: rahayu.pradita@poliwangi.ac.id

ABSTRACT

The Red Building of Foundation Mabadi'ul Ihsan functioned as an educational facility for both school and university-level activities, consisting of five floors in the central area and seven floors on the sides. Currently, the building lacks a vertical transportation system such as an elevator, which is essential to support vertical mobility, especially considering the high volume of daily activity and the accessibility needs of its users. This study aims to calculate the required number and capacity of elevators based on SNI 03-6573-2001, the Indonesian national standard for planning vertical transportation systems in buildings. This standard provides technical guidelines for calculating, installing, and operating elevators to ensure safety, efficiency, and user comfort. The research methodology includes literature review, preliminary surveys, data collection, data analysis, result discussion, and the formulation of conclusions and recommendations. Through this structured approach, the study seeks to determine accurate elevator requirements tailored to the building's capacity and usage. The final outcome is expected to serve as a practical recommendation for the building management in considering the implementation of elevators. By doing so, the overall comfort and accessibility for students, faculty, and visitors can be significantly improved, thereby enhancing the effectiveness and inclusiveness of educational activities within the facility.

Keywords: elevator, multi-story building, SNI 03-6573-2001, vertical transportation

ABSTRAK

Gedung Merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan merupakan bangunan pendidikan yang berfungsi sebagai sekolah dan perguruan tinggi, dengan jumlah lantai sebanyak 5 pada area tengah dan 7 pada area samping. Gedung ini belum dilengkapi sistem transportasi vertikal seperti lift yang sangat dibutuhkan untuk menunjang mobilitas antar lantai, terutama mengingat aktivitas yang tinggi serta kebutuhan aksesibilitas bagi seluruh pengguna gedung. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan dan kapasitas lift yang ideal berdasarkan SNI 03-6573-2001 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Transportasi Vertikal pada Gedung (Lift). Standar ini digunakan sebagai acuan karena mencakup panduan teknis dalam perencanaan, pemasangan, serta pengoperasian lift untuk menjamin keselamatan, efisiensi, dan kenyamanan penggunaan. Metode penelitian yang diterapkan meliputi studi literatur, survei pendahuluan, pengambilan dan pengolahan data, pembahasan hasil, serta penarikan kesimpulan dan saran. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh data yang akurat mengenai jumlah dan kapasitas lift yang dibutuhkan untuk menunjang aktivitas gedung secara optimal. Hasil akhir penelitian ini diharapkan menjadi rekomendasi bagi pengelola gedung dalam mempertimbangkan pemasangan lift, sehingga kenyamanan dan aksesibilitas bagi siswa, tenaga pendidik, serta pengunjung gedung dapat lebih terjamin dan mendukung efektivitas operasional pendidikan di lingkungan tersebut.

Kata kunci: gedung bertingkat, lift, SNI 03-6573-2001, transportasi vertikal

1. PENDAHULUAN

Bangunan gedung bertingkat seringkali menjadi pilihan pada bangunan sekolah atau perguruan tinggi. Mengingat bangunan sekolah atau perguruan tinggi memiliki kebutuhan kapasitas cukup besar, maka jenis bangunan gedung bertingkat diharapkan dapat mengatasi kurangnya kapasitas lahan bangunan, karena jenis bangunan gedung bertingkat dapat mengoptimalkan lahan yang direncanakan sebelumnya. Bertambahnya populasi penghuni gedung dan semakin tingginya tanpa adanya penunjang sistem transportasi vertikal efisien pada bangunan gedung akan menyebabkan semakin berkurangnya kelayakan dan kenyamanan pada suatu gedung. Faktor keselamatan dan kesehatan penghuni gedung juga dapat menjadi pertimbangan pemilihan sistem transportasi vertikal pada sebuah gedung bertingkat.

Gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan merupakan jenis bangunan sekolah dan perguruan tinggi. Bangunan ini memiliki kapasitas 5 lantai pada area barat dan 7 lantai pada area timur. Terdapat beberapa jenjang pendidikan yang menempati gedung tersebut, diantaranya SD, SMP, SMK, dan Universitas. Sistem transportasi vertikal yang digunakan pada gedung ini yaitu tangga yang terletak pada sisi depan dan belakang gedung, pada sisi depan terdapat dua tangga utama dan pada sisi belakang terdapat satu tangga utama. Pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan belum memiliki sistem transportasi penunjang seperti lift yang dapat mempermudah akses mobilisasi antar lantainya. Dalam melakukan aktifitas mobilisasi antar lantai, sebagian dari pada penghuni gedung merasa kurang efektif dan melelahkan. Kondisi ini mempengaruhi kenyamanan pengguna gedung dalam melakukan aktifitas di dalam gedung, dan dapat berdampak pada kurangnya efisiensi baik waktu dan tenaga. Oleh

karena itu, sangat penting merencanakan sistem lift yang optimal, guna meningkatkan kenyamanan para penghuni gedung dalam menjalankan berbagai aktifitas sehari-hari di dalam gedung tersebut. Perhitungan yang akurat dan optimal akan memastikan efisiensi serta mendukung kelancaran mobilisasi vertikal, sehingga penghuni gedung dapat beraktifitas tanpa hambatan.

Lift atau lift adalah perangkat transportasi vertikal yang berfungsi untuk memindahkan orang atau barang. Biasanya berbentuk kotak, lift digunakan di gedung bertingkat tinggi, terutama yang memiliki lebih dari tiga atau empat lantai. Spesifikasi lift ditentukan oleh kapasitas, kecepatan, serta daya angkutnya. Pemilihan lift dilakukan berdasarkan kebutuhan penggunaan dalam gedung, termasuk lalu lintas, durasi perjalanan, waktu puncak, dan waktu tunggu, dengan mempertimbangkan kapasitas dan kecepatan lift [1].

SNI 03-6573-2001 tentang Tata cara perencanaan sistem transportasi vertikal pada gedung (lift) menjadi acuan dalam perhitungan lift, karena di dalamnya mencakup panduan teknis perhitungan, pemasangan, dan pengoprasiannya untuk memastikan keselamatan, efisiensi, dan kenyamanan [2]. Lift umumnya digunakan pada gedung bertingkat lebih dari 3-4 lantai karena keterbatasan manusia dalam naik turun tangga [9]. Telah dijelaskan pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor: 28/UU RI/2002 tentang Bangunan Gedung, Pasal 29 ayat (4) yang berbunyi “Bangunan gedung dengan jumlah lantai lebih dari 5 (lima) harus dilengkapi dengan sarana transportasi vertikal (lift) yang dipasang sesuai dengan kebutuhan dan fungsi bangunan gedung” [8]. Berdasarkan UU RI tersebut maka pada gedung merah Yayasan Mabadi’ul Ihsan perlu pengaplikasian perhitungan lift berdasarkan SNI 03-6573-2001 guna menambah aspek keyamanan, keselamatan penghuni gedung.

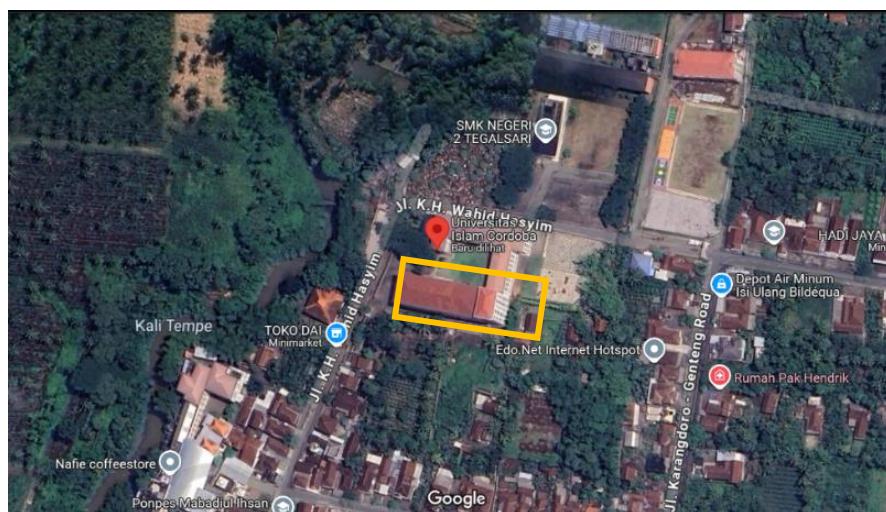
Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan maka dapat disimpulkan bahwa gedung merah Yayasan Mabadi’ul Ihsan membutuhkan lift sebagai sarana transportasi vertikal, karena memiliki kapasitas 7 lantai, hal tersebut tidak sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor: 28/UU RI/2002 tentang Bangunan Gedung. , Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai jumlah kebutuhan dan kapasitas lift, memalui hasil perhitungan yang diterapkan pada gedung merah Yayasan Mabadi’ul Ihsan, untuk memenuhi kebutuhan penghuni gedung berdasarkan SNI 03-6573-2001.

Guna mendukung data yang ada, perlu dilakukan observasi lapangan guna memahami kodisi yang ada di lokasi penelitian. Berdasarkan dari pembahasan di atas maka topik pembahasan yang diambil yaitu Analisis Kebutuhan Lift Gedung Merah Yayasan Mabadi’ul Ihsan Berdasarkan SNI: 03-6573-2001. Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya karena penelitian ini menganalisis kebutuhan lift pada gedung berkapasitas lebih dari 5 lantai dan belum memiliki lift sebagai sarana transportasi vertikal gedung.

2. METODE

Lokasi Penelitian

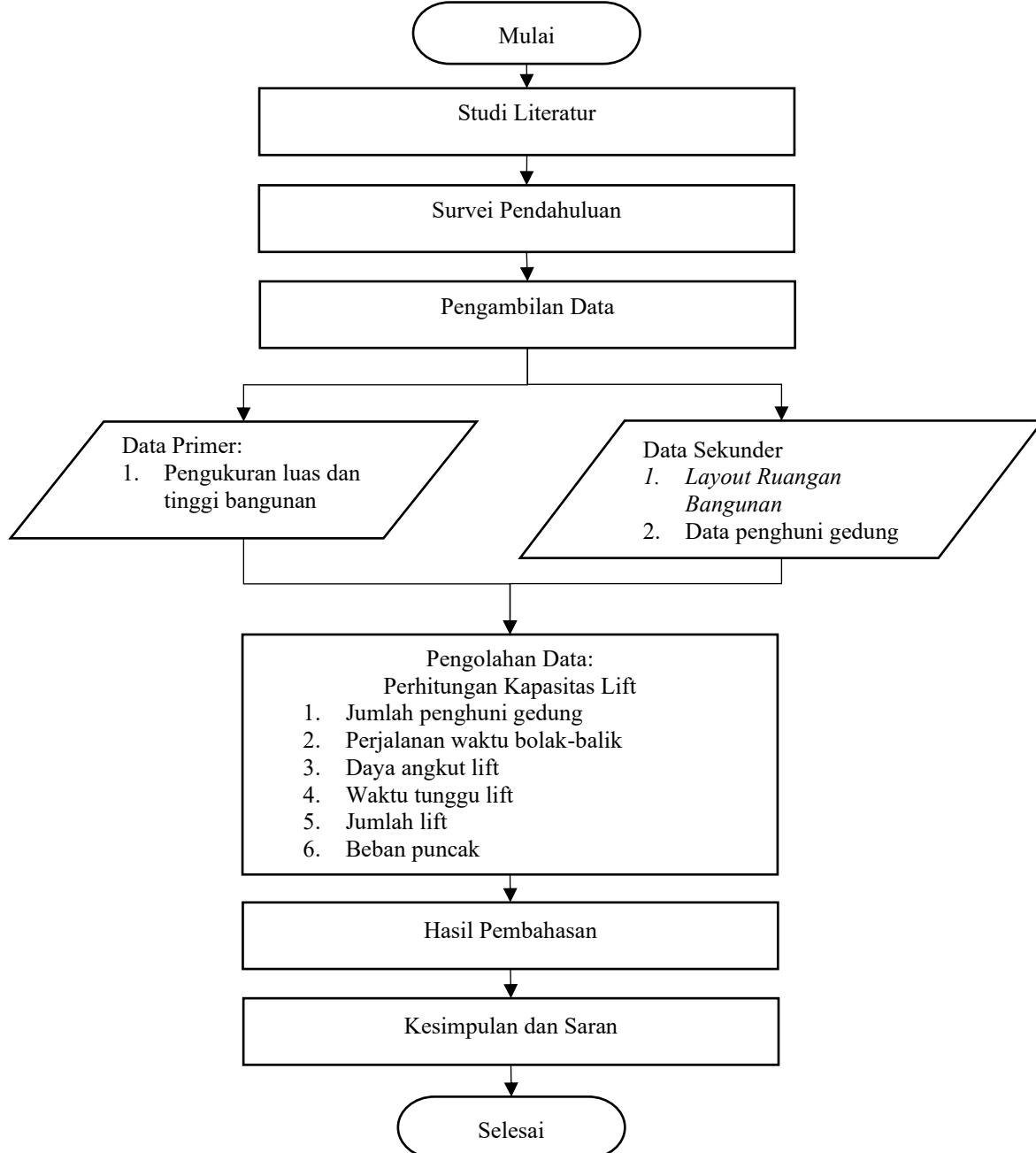
Lokasi penelitian yang digunakan sebagai objek penelitian Proyek Akhir ini yaitu pada Gedung Merah Yayasan Mabadi’ul Ihsan, yang berlokasi di K.H.Musayyidi No.2, Karangdoro, Kec. Tegalsari, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Lokasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Maps, 2025)

Dalam pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan perlu adanya tahapan dalam proses penelitian. Diagram alir ini diharapkan dapat mempermudah proses penelitian karena dapat menggambarkan poin-poin tahapan yang perlu dilakukan. *Flowchart* atau diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**

Diagram Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram alur penelitian

Studi Literatur

Pada tahapan awal penelitian ini yaitu mencari sumber-sumber yang berisi gagasan yang berkaitan dengan topik penelitian yaitu tentang transportasi vertikal dan perhitungan lift. Sumber-sumber tersebut dapat berupa buku, artikel, jurnal, peraturan pemerintah, dan pedoman teknis seperti SNI yang berhubungan dengan perhitungan lift. Sehingga dapat dijadikan landasan dan referensi dalam penelitian yang dilakukan, agar mendapatkan hasil yang akurat sesuai dengan yang diharapkan.

Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan bertujuan untuk mengumpulkan informasi awal dalam proses penelitian dan memahami kondisi yang ada di lokasi penelitian. Adapun aktifitas aktifitas yang dilakukan pada saat survei pendahuluan yaitu:

- a. melakukan perizinan terkait lokasi penelitian, melakukan observasi pada gedung untuk memahami kondisi yang ada pada gedung.
- b. melakukan wawancara langsung kepada pihak pengelola gedung, menanyakan terkait kondisi dan kendala yang ada pada lokasi penelitian, dan mencatat hasil wawancara.
- c. menanyakan ketersediaan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian seperti data penghuni gedung, *layout* ruangan bangunan, dan data penghuni gedung.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Data Primer
 - a. Pengukuran luas dan tinggi bangunan
Pengukuran luas dan tinggi bangunan ini dilakukan secara langsung di lokasi penelitian pengukuran tersebut antara lain mengukur luas tiap ruangan pada gedung. Hasil dari pengukuran tersebut nantinya digunakan pada perhitungan kapasitas lift, dan mengidentifikasi lokasi yang berpotensi sebagai penempatan lift. Data primer yang didapat berupa *layout* fungsi ruangan pada gedung beserta luasannya.
2. Data sekunder
 - a. *Layout* ruangan bangunan
Layout ruangan bangunan digunakan untuk mengidentifikasi aspek yang ditinjau pada penempatan lift strategis, dan memastikan aksesibilitas yang ada pada bangunan sudah tepat. Data sekunder yang didapat berupa *layout* ruangan bangunan yang tidak disertai dengan dimensi ruangan dan bangunan.
 - b. Data penghuni gedung
Data penghuni gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan meliputi Dosen/Guru, Murid/Mahasiswa, dan Karyawan. Data ini didapat melalui prosedur mengajuan data pada pihak terkait.

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan ketika seluruh data yang dibutuhkan sudah terkumpul. Pengolahan data yang dilakukan meliputi beberapa perhitungan. Berikut merupakan perhitungan yang dilakukan dalam pengolahan data.

1. Jumlah Penghuni Gedung

Jumlah penghuni gedung memengaruhi perhitungan kebutuhan lift. Peneliti akan menentukan jumlah penghuni maksimal gedung secara teoritis. Angka ini diperoleh dengan membagi luas bersih (*netto*) gedung dengan luas per meter persegi yang diperlukan per orang. Perhitungan jumlah penghuni harus dilakukan secara tepat untuk memastikan kebutuhan lift terpenuhi, sehingga sistem transportasi vertikal di gedung dapat berjalan dengan baik. Jumlah maksimal penghuni gedung dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah penghuni gedung} = \frac{\text{luas bangunan (m}^2\text{)}}{\text{a}''} \quad (1)$$

Keterangan:

a'' = Luas netto per orang (m² / orang)

2. Perjalanan Bolak-Balik

Waktu perjalanan bolak-balik lift (*Round trip time*) adalah total waktu yang dibutuhkan seseorang, mulai dari masuk di lobi hingga mencapai lantai tujuan. Ini mencakup waktu yang diperlukan lift untuk mengangkut penumpang dari lantai dasar, berhenti di setiap lantai untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, hingga akhirnya mencapai lantai teratas. Oleh karena itu, perlu dihitung dan dijumlahkan durasi waktu yang diperlukan selama perjalanan tersebut. Waktu perjalanan bolak-balik lift dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{(2h+4s)(n-1)+s(3m-4)}{s \text{ (detik)}} \quad (2)$$

Keterangan:

T = Waktu perjalanan bolak-balik lift (detik)

H = jarak antar lantai (m)

s = Kecepatan rata-rata lift (m/detik)

N = Jumlah lantai

m = daya angkut atau kapasitas lift (orang)

3. Daya Angkut Lift

Daya angkut lift ditentukan oleh kapasitas dan frekuensi pemuatannya. Standar daya angkut lift diukur dalam periode 5 menit selama jam sibuk (*rush hour*). Daya angkut dalam 5 menit mengacu pada kemampuan satu unit lift untuk mengangkut penumpang dalam waktu 300 detik. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas angkut lift dalam periode tersebut. Daya angkut satu lift selama 5 menit dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M = \frac{5 \times 60 \times m}{T} = \frac{300 \times m \times N}{T} \quad (3)$$

Keterangan :

m = Kapasitas lift (orang) dan daya angkut 68 kg/orang

T = Waktu perjalanan bolak balik lift (detik)

4. Waktu Tunggu

Waktu tunggu (*waiting interval*) adalah durasi maksimum, diukur dalam hitungan detik, antara saat tombol pemanggil lift ditekan di lobi utama lantai dasar pada waktu beban puncak hingga pintu lift terbuka. Waktu tunggu menjadi salah satu faktor penting dalam perancangan lift, karena semakin lama waktu tunggu, semakin panjang pula antrian yang terjadi. Waktu tunggu lift dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$WT = \frac{T}{N} \quad (4)$$

Keterangan:

WT = Waktu tunggu

T = Durasi perjalanan bolak balik (detik)

N = Jumlah lift

5. Jumlah Lift

Penghitungan lift bertujuan untuk menentukan jumlah lift yang diperlukan dalam sebuah gedung agar kebutuhan penggunaannya terpenuhi. Ketersediaan lift yang memadai akan mempermudah mobilitas pengguna gedung dalam berpindah antar lantai. Oleh karena itu, penting untuk menentukan jumlah lift yang sesuai pada bangunan bertingkat. Jumlah lift yang dibutuhkan dapat ditentukan melalui sebuah perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$WT = \frac{T}{N} \quad (5)$$

Keterangan:

WT = Waktu tunggu

T = Durasi perjalanan bolak balik (detik)

N = Jumlah lift

6. Beban Puncak

Beban puncak adalah beban angkut yang terjadi selama periode waktu kritis, seperti jam sibuk. Perhitungan beban puncak dilakukan dengan menghitung jumlah beban yang diangkut oleh lift dalam 5 menit pertama selama waktu puncak. Pada gedung bertingkat yang menggunakan lift sebagai sarana transportasi utama, penting untuk memastikan bahwa lift yang tersedia mampu mengangkut seluruh pengguna ke tujuannya masing-masing saat beban puncak terjadi. Oleh karena itu, menghitung beban puncak sangat bermanfaat untuk mengetahui kepadatan pengguna lift pada waktu tertentu. Beban puncak dalam 5 menit pertama dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = 4\% \times \text{Jumlah penghuni gedung} \quad (6)$$

Perentasi empiris terhadap jumlah penghuni gedung untuk gedung perkantoran adalah 4% [4].

Presentasi Beban Puncak Lift (*Peak load*) :

a. Perkantoran 4% x jumlah penghuni gedung

b. Flat 3% x jumlah penghuni gedung

c. Hotel 5% x jumlah penghuni gedung

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Bangunan

Untuk mendukung penelitian ini, maka diperlukan data-data pendukung yang berkaitan dalam perhitungan. Data-data tersebut didapatkan dari pihak pengelola gedung. Berikut merupakan data-data gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan yang dibutuhkan dalam perhitungan kebutuhan dan kapasitas lift yang telah didapat:

Fungsi bangunan : Sekolah dan Perkuliahannya

Luas gedung asumsi 7 lantai : 5735,38 m²

Luas gedung asumsi 5 Lantai : 5408,13 m²

Tinggi gedung Utama : 16 m

Tinggi gedung B	: 22,4 m
Tinggi perlantai	: 3,2 m

Data Spesifikasi Perhitungan Kebutuhan Lift

Sebelum melakukan perhitungan kebutuhan lift pada suatu bangunan gedung. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan data spesifikasi lift yang akan digunakan. Data spesifikasi tersebut didapat berdasarkan SNI 03-6573-2001 tentang Tata cara perencanaan sistem transportasi vertikal pada gedung (lift). Data spesifikasi tersebut merupakan kebutuhan teknis dalam perhitungan kebutuhan lift yang meliputi, kecepatan lift, perjalanan waktu bolak-balik, daya angkut lift, waktu tunggu lift, kebutuhan jumlah lift, dan beban puncak lift. adapun data spesifikasi dalam perhitungan lift sebagai berikut:

Luas netto per orang	: 4 m ² per orang
Kapasitas lift	: 750 kg (11 orang)
Kecepatan lift	: 75 m/m atau 1,25 m/s (asumsi 7 lantai) 60 m/m atau 1 m/s (asumsi 5 lantai)

Pada pemilihan spesifikasi lift pada perhitungan kebutuhan dan kapasitas lift khususnya lift dengan kapasitas 750 kg (11 orang) dan kecepatan lift rata-rata lift 75 m/m atau 1,25 m/s (asumsi 7 lantai) dan 60 m/m atau 1 m/s (asumsi 5 lantai) pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan, ditentukan berdasarkan spesifikasi bangunan yang meliputi jenis bangunan, luas bangunan, jarak antar lantai, dan jumlah lantai berdasarkan SNI 03-6573-2001 tentang Tata cara perencanaan sistem transportasi vertikal pada gedung (lift).

Perhitungan Kebutuhan Lift

Perhitungan lift pada gedung bertingkat meliputi, jumlah penghuni gedung, perjalanan waktu bolak-balik, daya angkut lift, waktu tunggu lift, beban puncak, dan kebutuhan jumlah lift. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui nilai kebutuhan kapasitas lift yang sesuai SNI 03-6573-2001 tentang Tata cara perencanaan sistem transportasi vertikal pada gedung (lift) dan kondisi pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan.

1. Menghitung jumlah penghuni gedung

Jumlah penghuni gedung harus diperhitungkan secara tepat agar dapat melayani penghuni gedung jumlah penghuni gedung dapat dihitung melalui persamaan (1). Pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan dengan asumsi 7 lantai dengan luas total bangunan 5735,38 m² dan luas netto per orang 4 m² didapatkan jumlah maksimal penghuni gedung sebanyak **1434 orang**

2. Menghitung perjalanan waktu bolak-balik

Waktu perjalanan bolak-balik lift pada gedung bertingkat menjadi salah satu faktor utama yang dapat menentukan efisiensi atau tidaknya transportasi vertikal khususnya lift pada suatu gedung bertingkat. Semakin cepat waktu perjalanan bolak-balik lift pada suatu gedung, maka semakin efisien transportasi vertikal pada gedung tersebut. Begitu pula sebaliknya jika waktu perjalanan bolak-balik suatu lift semakin lama maka semakin tidak efisien transportasi vertikal pada gedung tersebut. Untuk menentukan perjalanan waktu bolak-balik dapat dilakukan melalui persamaan (2)

Berdasarkan perhitungan melalui persamaan (2), didapatkan nilai perjalanan bolak-balik pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan dengan asumsi 7 lantai, menggunakan kapasitas lift 750 kg (11 orang), dan dengan kecepatan rata-rata kecepatan lift 75 m/m atau 1,25 m/s yaitu selama **83,72 detik**

3. Menghitung daya angkut lift

Untuk menghitung daya angkut lift dalam 5 menit perlu adanya proses secara teknis guna mendapat nilai daya angkut yang optimal. Karena perhitungan daya angkut sangat mempengaruhi faktor keamanan dan kenyamanan pengguna lift, jika kapasitas lift melebihi nilai daya angkut lift yang telah ditentukan maka berpotensi membahayakan penghuni gedung. Daya angkut lift dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai perhitungan daya angkut dengan asumsi 7 lantai, kapasitas lift 11 orang, dan dengan perjalanan bolak-balik 83,73 detik, lift dapat mengangkut dengan kapasitas **39 orang** dalam waktu 5 menit. Nilai perhitungan daya angkut tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai daya angkut kapasitas lift dalam 5 menit.

4. Menghitung waktu tunggu lift

Perhitungan waktu tunggu lift dihitung pada saat tombol lift ditekan. Dalam perhitungan kebutuhan lift waktu tunggu sangat menentukan kenyamanan dan efisiensi penghuni gedung. Semakin cepat waktu tunggu lift maka semakin efisien sistem transportasi vertikal pada gedung bertingkat. Waktu tunggu lift dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (4) didapatkan nilai waktu tunggu dengan asumsi 7 lantai selama **41,86 detik**. Gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan termasuk gedung sekolah dan perkuliahan maka nilai tersebut sesuai dengan SNI 03-6573-2001 tentang Tata cara perencanaan sistem transportasi vertikal pada gedung (lift).

5. Menghitung kebutuhan jumlah lift

Kebutuhan lift pada suatu gedung bertingkat dapat ditentukan berdasarkan beberapa spesifikasi data diantaranya, jumlah lantai, luas kotor pertingkat, persentase jumlah penghuni gedung, waktu perjalanan bolak-balik, luas lantai netto per orang, jumlah lantai. Tujuan dari perhitungan kebutuhan jumlah lift yaitu untuk mengetahui jumlah lift yang dibutuhkan dalam suatu gedung bertingkat khususnya gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan. Perhitungan jumlah kebutuhan lift dapat dihitung melalui persamaan (5) Berdasarkan perhitungan kebutuhan jumlah lift menggunakan persamaan (5) dan dengan menggunakan asumsi 7 lantai dan berdasarkan spesifikasi data yang didapat kebutuhan jumlah lift pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan sebanyak **2 unit** dengan kapasitas 11 orang. Dengan nilai yang didapat secara teknis tersebut, diharapkan jumlah unit tersebut dapat mempermudah penghuni gedung dalam melakukan aktifitas mobilisasi vertikal di dalam gedung.

6. Menghitung beban puncak

Menghitung beban puncak lift pada suatu gedung bertingkat dilakukan untuk mengetahui beban maksimal lift pada saat aktifitas di jam-jam tertentu (jam sibuk) di sebuah gedung bertingkat khususnya pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan. Karena dengan mengetahui beban puncak lift dapat meminimalisir persentase kecelakaan penghuni gedung yang diakibatkan kinerja lift. Beban puncak ini dihitung berdasarkan jumlah penghuni gedung yang harus terlayani oleh lift dalam 5 menit pertama selama waktu tersibuk (*rush hour*). Beban puncak lift dapat dihitung melalui persamaan (6).

Nilai beban puncak dengan asumsi 7 lantai, jumlah orang 1434 orang, dan dengan persentase empiris 4% didapatkan nilai sebanyak **58 orang**. Nilai tersebut menunjukkan kepadatan pengguna lift pada saat jam-jam sibuk. Pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan aktifitas jam-jam sibuk terjadi pada saat pagi, siang, dan sore hari. Sehingga didapatkan beban puncak lift pada 5 menit pertama ketika jam sibuk sebanyak 58 orang dengan jumlah maksimal penghuni gedung 1434 orang.

Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Lift

Pada rekapitulasi ini membahas mengenai hasil yang telah didapat melalui perhitungan yang telah dilakukan, yang meliputi, jumlah penghuni gedung, perjalanan bolak-balik, daya angkut lift, waktu tunggu lift, kebutuhan jumlah lift, dan beban puncak. Seluruh faktor yang digunakan dalam perhitungan kebutuhan lift pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan dianalisis secara teknis untuk mendapatkan nilai dari hasil perhitungan yang optimal dan efisien bagi seluruh penghuni gedung, yang mana dapat memudahkan aktifitas mobilisasi vertikal seluruh penghuni gedung. Rekapitulasi perhitungan lift dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 6. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan lift

No	Keterangan	Hasil	
		Asumsi 7 lantai	Asumsi 5 lantai
1	Fungsi bangunan	Gedung sekolah dan perkuliahan	
2	Luas bangunan	5735,38 m ²	5408,13 m ²
3	Jumlah lantai	7 lantai	5 lantai
4	Kapasitas lift	11 orang (750 kg)	11 orang (750 kg)
5	Kecepatan lift	1,25 m/s	1 m/s
6	Jumlah penghuni gedung	1434 orang	1352 orang
7	Waktu perjalanan bolak-balik	83,72 detik	71,6 detik
8	Daya angkut lift	39 orang	46 orang
9	Waktu tunggu lift	41,86 detik	35,8 detik
10	Kebutuhan jumlah lift	2 unit	2 unit
11	Beban puncak lift	58 orang	55 orang

Rekapitulasi perhitungan kebutuhan lift yang telah didapat merupakan langkah awal dalam suatu perencanaan lift. Karena dalam perencanaan lift perlu adanya perhitungan secara teknis guna menghasilkan nilai kebutuhan lift yang efisien dan aman bagi seluruh penghuni gedung. Rekapitulasi hasil perhitungan kebutuhan lift tersebut juga telah disesuaikan dengan SNI 03-6573-2001 tentang Tata cara perencanaan sistem transportasi vertikal pada gedung (lift), guna memastikan keamanan dan kenyamanan pengguna lift dan penghuni gedung.

Analisis Dampak

Apabila jumlah penghuni gedung mengalami peningkatan dan tanpa diiringi dengan penambahan kapasitas dan jumlah unit lift, maka hal tersebut dapat berpengaruh pada waktu perjalanan bolak-balik, daya angkut, waktu tunggu, dan beban puncak lift. hal ini dapat mengurangi efisiensi aktifitas mobilisasi secara vertikal penghuni gedung serta mengurangi kenyamanan, dan aksesibilitas penghuni gedung terutama pada saat jam sibuk. Hal ini tidak hanya berdampak pada kinerja operasional gedung, akan tetapi juga dapat menurunkan nilai aksesibilitas

bangunan berdasarkan Permen PUPR No. 14/2017. Oleh karena itu perencanaan jumlah lift, dan kapasitasnya perlu dipertimbangkan dalam mengevaluasi kebutuhan aksesibilitas gedung.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan perhitungan kebutuhan lift pada gedung merah Yayasan Mabadi'ul Ihsan, dapat disimpulkan bahwa kapasitas lift yang dibutuhkan adalah lift dengan kapasitas 11 orang atau 750 kg. Untuk memenuhi kebutuhan jumlah penghuni gedung, diperlukan sebanyak 2 unit lift dengan kapasitas tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widi, M. V. (2024). Analisis Kerusakan untuk Tindakan Perawatan pada Mekanika Elevator Otis Kapasitas 2 Ton di RSUP Dr M. Djamil Padang. *Volume 7 Issue 1 2024, Page 550-557*, 7(1), 550-557.
- [2] (BSN) Badan Standarisasi Nasional. (2001). Standart Nasional Indonesia Nomor 6573 Tahun 2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Transportasi Vertikal Dalam Gedung (Lift). Jakarta.
- [4] Poerbo, H. 1992. Utilitas Bangunan. Djambatan, Jakarta.
- [8] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung
- [9] Ifalih, N. "Pengaplikasian Desain Lift Pada Studi Kasus Gedung Rusunawa Pakal Surabaya", Disertasi, Politeknik Negeri Banyuwangi, 2024.

PERAN RUANG PUBLIK PERKOTAAN DALAM MENDORONG BUDAYA POLITIK INKLUSIF DI KOTA MAKASSAR

*Sriany Ersina¹

¹Prodi Teknik Arsitektur, Lab. Data Desain Perkotaan, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia.

^{*}Email: sriany.ersina@uin-alauddin.ac.id

ABSTRACT

Urban public spaces serve as vital social platforms where interactions between diverse groups occur, potentially strengthening an inclusive political culture. This study seeks to find out how the design, management, and utilization of public spaces in Makassar City promotes civic political involvement. The methodology used is qualitative, using a case study approach that includes comprehensive interviews, participatory observations, and documentation analysis. The data was studied using NVivo software to uncover prominent themes arising from socio-political engagement in public locations such as Losari Beach, Karebosi, and Fort Rotterdam. The findings suggest that carefully designed public spaces can act as catalysts for fostering a participatory political culture, despite structural barriers such as inadequate supportive regulations and limited access. The results of this study provide a basis for formulating recommendations aimed at improving democratic and socially fair public space planning.

Keyword: *Public Space, Urban, Inclusive Political Culture, Makassar City*

ABSTRAK

Ruang publik perkotaan berfungsi sebagai platform sosial vital dimana interaksi antara beragam kelompok terjadi, berpotensi memperkuat budaya politik inklusif. Penelitian ini berusaha untuk mengetahui bagaimana desain, pengelolaan, dan pemanfaatan ruang publik di Kota Makassar mempromosikan keterlibatan politik sipil. Metodologi yang digunakan adalah kualitatif, menggunakan pendekatan studi kasus yang mencakup wawancara komprehensif, pengamatan partisipatif, dan analisis dokumentasi. Data diteliti menggunakan perangkat lunak NVivo untuk mengungkap tema-tema menonjol yang timbul dari keterlibatan sosial-politik di lokasi publik seperti Pantai Losari, Karebosi, dan Benteng Rotterdam. Temuan menunjukkan bahwa ruang publik yang dirancang dengan cermat dapat bertindak sebagai katalis untuk menumbuhkan budaya politik partisipatif, terlepas dari adanya hambatan struktural seperti peraturan pendukung yang tidak memadai dan akses yang terbatas. Hasil penelitian ini memberikan dasar untuk merumuskan rekomendasi yang bertujuan meningkatkan perencanaan ruang publik yang aksesibel, demokratis dan adil secara sosial.

Kata kunci: Ruang Publik, Perkotaan, Budaya Politik Inklusif, Kota Makassar.

1. PENDAHULUAN

Ruang publik di kota-kota modern semakin memainkan peran krusial dalam mengaktifkan warga secara politik. Kota Makassar, sebagai salah satu pusat urbanisasi di Indonesia Timur, menyediakan konteks yang kaya untuk mengkaji bagaimana ruang-ruang bersama dapat menjadi wahana pembentukan budaya politik inklusif. Penelitian ini menjawab pertanyaan: sejauh mana ruang publik di kota Makassar mendukung keterlibatan politik masyarakat dari berbagai latar belakang sosial?

Perkembangan ruang publik perkotaan memiliki dampak yang signifikan pada budaya politik masyarakat. Makassar sebagai salah satu pusat perkembangan kota di Indonesia, memberikan perubahan ruang publik yang dapat mempengaruhi pola interaksi sosial dan pandangan politik warganya. Penelitian ini bermaksud untuk menyelidiki bagaimana Peran Ruang Publik Perkotaan dalam Mendorong Budaya Politik Inklusif di Kota Makassar.

Kota Makassar, sebagai salah satu pusat perkembangan di Indonesia, mengalami dinamika sosial, politik, dan ekonomi yang pesat. Transformasi ini tidak hanya tercermin dalam infrastruktur fisik, tetapi juga dalam karakter budaya dan politik masyarakat. Seiring dengan perkembangan perkotaan, ruang publik di Kota Makassar mengalami perubahan yang signifikan. Dari tradisional hingga modern, ruang-ruang publik menjadi saksi perubahan pola hidup dan interaksi sosial warga.

Ruang publik yang dirancang dengan baik dapat merangsang interaksi sosial dan mempengaruhi budaya politik. Desain kota seharusnya memprioritaskan kebutuhan manusia, menciptakan tempat-tempat di mana orang dapat berkumpul dan berpartisipasi dalam kehidupan kota [1]. Menurut Carr et al. Menurut Carr (1992), tipologi ruang publik bergantung pada karakteristik aktivitas, lokasi, dan proses pembentukannya. Carr menyebutkan beberapa jenis ruang publik seperti jalanan, taman, jalur hijau, tempat perbelanjaan, ruang spontan di lingkungan hunian, ruang komunitas, plaza, pasar, dan tepi air. Pengelompokan ruang publik sangat dipengaruhi oleh aktivitas

dominan, lokasi dan bagaimana proses ruang tersebut terbentuk. Carr mengidentifikasi berbagai jenis ruang publik, mulai dari jalan dan taman hingga pasar dan area tepi pantai, menunjukkan keragaman fungsi dan karakteristik ruang publik. Salah satu peran penting taman kota adalah menyediakan ruang untuk ekspresi keberagaman, baik pribadi maupun budaya; Hal ini menimbulkan permasalahan mengenai penyediaan dan akses demokratis terhadap ruang terbuka publik [3].

Perkembangan ruang publik dalam konteks urbanisasi tidak hanya berkaitan dengan fisiknya, tetapi juga mencakup aspek-aspek sosial, politik, dan kultural. Ruang publik perkotaan bukan hanya tempat untuk kegiatan sehari-hari, tetapi juga merupakan arena di mana budaya politik masyarakat tumbuh dan berkembang. Budaya politik, sebagai manifestasi nilai, sikap, dan partisipasi politik masyarakat, dapat tercermin dan dipengaruhi oleh desain, pengelolaan, dan penggunaan ruang publik.

Thomassen dan Lasse 2017 dalam [4] menyatakan bahwa “Keberlangsungan ruang publik, memungkinkan partisipasi masyarakat untuk berkontribusi dan membicarakan segala sesuatu melalui sikap dan tindakan rasional. Lebih lanjut, ruang publik memperoleh signifikansinya ketika dirinya menjadi basis dari kebijakan publik dan partisipasi masyarakat. Bahwa kebijakan publik harus berdasar pada kehendak rasional yang muncul dan muncul dalam diskursus argumentatif dalam ruang publik”.

Dalam perspektif [5], klasifikasi kepentingan masyarakat ada tiga jenis yang didasarkan pada rasionalitas yang berbeda: (1) kepentingan instrumental (kebutuhan untuk menyelesaikan masalah secara praktis), (2) kepentingan intersubjektif (kebutuhan untuk berinteraksi dengan orang lain), dan (3) kepentingan dominatif (kebutuhan untuk memiliki pengaruh). Pandangan ini mengindikasikan bahwa struktur kekuasaan dalam masyarakat sangat mempengaruhi cara individu memenuhi ketiga kepentingan tersebut. Konsep ini juga menyoroti hasrat universal manusia untuk mencapai kebebasan dari segala bentuk dominasi.

Kota Makassar memiliki sejumlah ruang publik yang penting, antara lain Pantai Losari, Karebosi, dan Benteng Rotterdam. Pantai Losari; bukan hanya destinasi wisata tetapi juga tempat berkumpulnya masyarakat untuk berbagai aktivitas sosial dan kebudayaan. Karebosi; yang dikenal sebagai alun-alun kota, kerap menjadi pusat kegiatan masyarakat dari berbagai lapisan sosial, mulai dari olahraga hingga acara kebudayaan serta kegiatan kampanye politik dalam proses pemilihan calon presiden, legislatif maupun kepala daerah. Benteng Rotterdam; dengan sejarah kolonialnya, juga berfungsi sebagai ruang terbuka yang kerap digunakan untuk acara seni dan budaya, yang mencerminkan keberagaman dan kekayaan sejarah Makassar. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya ruang publik sebagai tempat bagi masyarakat untuk berkumpul, berdiskusi, dan mengekspresikan pandangan politik mereka. Dengan menyediakan ruang yang inklusif dan mudah diakses, dapat meningkatkan interaksi antar kelompok sosial berbeda, mengurangi ketegangan dan konflik, serta memperkuat solidaritas sosial dan partisipasi politik. Keberadaan ruang publik yang dirancang dengan baik dan dapat diakses oleh semua lapisan masyarakat memiliki implikasi penting bagi pembangunan sosial, politik yang berkelanjutan.

Kota Makassar, sebagai kota multi-etnis dengan sejarah panjang, memiliki lapisan-lapisan kultural yang unik. Pergeseran demografi dan pola migrasi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap dinamika budaya politik di kota ini. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana perubahan ruang publik dapat membentuk atau mengubah budaya politik masyarakat Makassar. Dalam hal ini **Sejauh mana ruang publik seperti Pantai Losari, Lapangan Karebosi, dan Fort Rotterdam mampu mendorong budaya politik yang inklusif?**

Dalam konteks Kota Makassar, jalan raya umumnya menjadi pilihan utama sebagai ruang publik fisik bagi mahasiswa untuk melakukan aksi unjuk rasa. Faktor-faktor seperti lokasi yang strategis, aksesibilitas, dan daya tarik visual menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan lokasi tersebut. [6].

Kajian Penelitian Terdahulu:

1. Artikel “Public Spaces, Urban” oleh [7]

Artikel ini mengkaji peran kompleks ruang publik di kota, menyoroti ketegangan antara penggunaannya sebagai platform untuk ekspresi sosial dan politik dan perannya dalam mempromosikan citra kota dan pertumbuhan ekonomi. Artikel ini menantang pandangan tradisional tentang ruang publik sebagai tempat untuk bersantai dan konsumsi. Penulis berpendapat bahwa ruang-ruang ini secara historis berfungsi sebagai arena vital untuk wacana publik, protes, dan gerakan sosial. Namun, tren kontemporer dalam perencanaan dan pengelolaan perkotaan sering kali memprioritaskan komersialisasi dan kontrol ruang publik, yang mengarah pada pembatasan aktivitas yang dianggap mengganggu citra kota yang diinginkan.

2. Artikel "Defying Disappearance: Cosmopolitan Public Spaces in Hong Kong" [8]:

Artikel ini mengeksplorasi hubungan kompleks antara ruang publik dan politik budaya di Hong Kong. Ini menantang persepsi umum bahwa ruang publik di kota menghilang karena faktor-faktor seperti kontrol berlebihan atau komersialisasi. Sementara sentimen ini beresonansi dengan kekhawatiran yang diungkapkan di banyak kota, penulis berpendapat bahwa di Hong Kong, kecemasan ini terkait dengan politik pasca-kolonial.

3. Artikel "Introduction: Contested Landscapes, Asian Cities" [9] :

membahas konsep lanskap sebagai ruang yang diperebutkan di kota-kota Asia. Para penulis berpendapat bahwa lanskap bukan hanya lingkungan fisik tetapi juga dibentuk oleh faktor budaya, sosial, dan politik. Mereka menekankan pentingnya mengenali beragam perspektif dan pengalaman yang berkontribusi pada pembentukan lanskap perkotaan.

Penelitian sebelumnya mengenai ruang publik perkotaan dan budaya politik telah dilakukan di berbagai konteks, namun, konteks spesifik Kota Makassar masih memerlukan penelitian yang mendalam. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa karakteristik fisik dan sosial suatu ruang publik dapat mempengaruhi partisipasi politik dan konstruksi identitas kota. Faktor-faktor ini saling terkait dan mendarahkan dan membentuk dalam realitas kota.

Meskipun memiliki potensi besar, ruang publik di kota Makassar sering menghadapi tantangan seperti kurangnya aksesibilitas, desain yang kurang inklusif, dan minimnya partisipasi masyarakat dalam proses perencanaan. Berdasarkan kajian sebelumnya, desain ruang publik yang inklusif dapat meningkatkan partisipasi politik dan memperkuat demokrasi lokal. Oleh karena itu, penting untuk mengeksplorasi bagaimana ruang publik di kota Makassar dapat berfungsi sebagai katalisator bagi budaya politik inklusif.

Landasan Teori

Konsep atau Teori yang Relevan:

1. Teori Ruang Publik oleh [1] yang menekankan pentingnya ruang yang dirancang untuk manusia.
2. Konsep Demokrasi Deliberatif dari [5], [10] yang menghubungkan ruang publik dengan diskursus rasional.
3. Teori Keberlanjutan Urban oleh [3] yang menyoroti integrasi antara desain fisik dan fungsi sosial ruang publik.

Variabel Penelitian

- A. Ruang Publik Perkotaan, mencakup: Desain Fisik, Fungsi Sosial, Fasilitas Pendukung, Aksesibilitas, Keamanan dan Kenyamanan, Regulasi dan Kebijakan.
- B. Budaya Politik Inklusif, mencakup: Keterlibatan Politik Lintas Kelompok, Kesetaraan Akses Ekspresi Politik, Representasi dan Kebebasan Berpendapat, Kolaborasi Warga dan Pemerintah, Rasa Aman dan Inklusif.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif [11] dengan pendekatan studi kasus [12]. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan 15 informan dari berbagai kelompok sosial (aktivis, pedagang kaki lima, mahasiswa, tokoh masyarakat), observasi langsung di tiga lokasi utama (Pantai Losari, Karebosi, dan Fort Rotterdam), serta survei [13] dokumentasi kebijakan dan media lokal. Analisis data dilakukan dengan NVivo [11] menggunakan teknik coding tematik untuk menemukan pola dan hubungan antara tema, untuk mendapatkan wawasan mendalam tentang Peran Ruang Publik Perkotaan dalam Mendorong Budaya Politik Inklusif di Kota Makassar. Kesimpulannya ditemukan bahwa desain fisik, aksesibilitas, fungsi sosial, serta regulasi yang mengatur ruang publik sangat memengaruhi sejauh mana warga dari berbagai kelompok sosial dapat berpartisipasi dalam aktivitas politik.

Metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus; dipilih untuk mendapatkan pemahaman mendalam [14] tentang Peran Ruang Publik Perkotaan dalam Mendorong Budaya Politik Inklusif di Kota Makassar. Studi kasus tersebut untuk mengeksplorasi konteks dan dinamika yang spesifik dalam lingkungan/kawasan kota.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pantai Losari merupakan ikon Kota Makassar yang memiliki daya tarik tinggi sebagai ruang publik tepi laut. Kawasan ini terbuka 24 jam dan menjadi tempat berkumpul masyarakat untuk aktivitas rekreasi, olahraga, hingga diskusi informal. Namun, dari hasil observasi ditemukan bahwa fasilitas pendukung seperti tempat duduk kelompok, toilet umum, dan aksesibilitas untuk penyandang disabilitas masih terbatas. Kegiatan sosial-politik di area ini lebih banyak bersifat spontan dan tidak terorganisasi.

Lapangan Karebosi adalah alun-alun utama kota yang sering digunakan untuk kegiatan olahraga, konser, bazar, dan juga kampanye politik. Kawasan ini memiliki peran penting sebagai titik temu sosial warga lintas kelas dan usia. Tersedia ruang terbuka luas, tetapi kurangnya tempat berlindung dari panas/hujan menjadi hambatan bagi aktivitas diskusi publik. Interaksi sosial di Karebosi tergolong aktif dan intensif, khususnya pada akhir pekan.

Benteng Fort Rotterdam adalah ruang publik bersejarah yang kini difungsikan sebagai situs wisata budaya sekaligus tempat berkegiatan komunitas. Area ini digunakan oleh kelompok seni, pegiat sejarah, dan aktivis sosial

untuk diskusi, pementasan seni, hingga forum warga. Ruang ini relatif tertata dan aman, namun akses publik terkadang terbatas pada jam operasional dan kegiatan tertentu.

Dari ketiga lokasi tersebut, dapat ditarik gambaran bahwa meskipun masing-masing memiliki karakteristik berbeda, seluruhnya memainkan peran dalam membentuk interaksi sosial yang berkontribusi pada budaya politik lokal. Analisis menggunakan perangkat lunak NVivo untuk mendalami bagaimana keterlibatan budaya politik inklusif dan ekspresi warga termanifestasi di ruang-ruang publik tersebut.

A. Hasil analisis NVivo menghasilkan lima tema dominan:

3.1 Aksesibilitas Fisik dan Keadilan Spasial Sebagian besar informan menyatakan bahwa ruang publik belum sepenuhnya dapat diakses oleh semua kalangan. Kode NVivo seperti akses terbatas, jalan rusak, dan minim fasilitas muncul berulang. Masyarakat disabilitas dan warga usia lanjut merasa terpinggirkan dari ruang publik utama.

3.2 Interaksi Sosial sebagai Modal Politik Teridentifikasi bahwa ruang publik mendukung percakapan dan diskusi tentang isu-isu politik lokal secara informal. Kode seperti ngobrol politik, diskusi santai, dan acara komunitas menunjukkan bahwa ruang publik memainkan peran sebagai arena politik warga.

3.3 Ruang Ekspresi dan Representasi Kelompok Marginal Ruang publik seperti Fort Rotterdam menjadi tempat pertemuan komunitas budaya, LSM, dan aktivis perempuan. Kode unjuk rasa damai, panggung seni komunitas, dan aspirasi perempuan mengindikasikan bahwa ruang publik memberi tempat bagi kelompok marginal untuk menyuarakan kepentingan mereka.

3.4 Hambatan Regulatif dan Ketidaksiapan Institusional Dari dokumen yang dikaji dan wawancara dengan pengelola ruang publik, ditemukan bahwa kebijakan pemerintah kota belum responsif terhadap pentingnya ruang publik sebagai wahana demokrasi. Kode tidak boleh berkumpul, perizinan rumit, dan ketakutan dibubarkan mendominasi.

3.5 Peran Komunitas Lokal dan Kolaborasi Pemerintah Data menunjukkan bahwa inisiatif komunitas sangat menentukan dalam menghidupkan ruang publik. Di sisi lain, peran pemerintah masih bersifat pasif. Kode seperti inisiatif warga, kerjasama dengan RT/RW, dan kegiatan mandiri menunjukkan kekuatan inisiatif akar rumput.

B. Pembahasan

Temuan menunjukkan bahwa ruang publik di Kota Makassar memiliki potensi besar sebagai platform budaya politik inklusif. Namun, potensi ini tidak sepenuhnya dimaksimalkan akibat hambatan regulasi dan kurangnya desain yang berkeadilan. Hal ini tercermin secara jelas dalam bagan visual hasil tematik yang menunjukkan bahwa tema "**Aksesibilitas Fisik dan Keadilan Spasial**" merupakan yang paling dominan (kode 28, pada Gambar 1), disusul oleh "Interaksi Sosial sebagai Modal Politik" dan "Hambatan Regulatif dan Institusional". Kuatnya temuan ini menandakan bahwa isu keadilan spasial dan pengelolaan yang inklusif merupakan perhatian utama warga dalam menggunakan ruang publik secara politis.

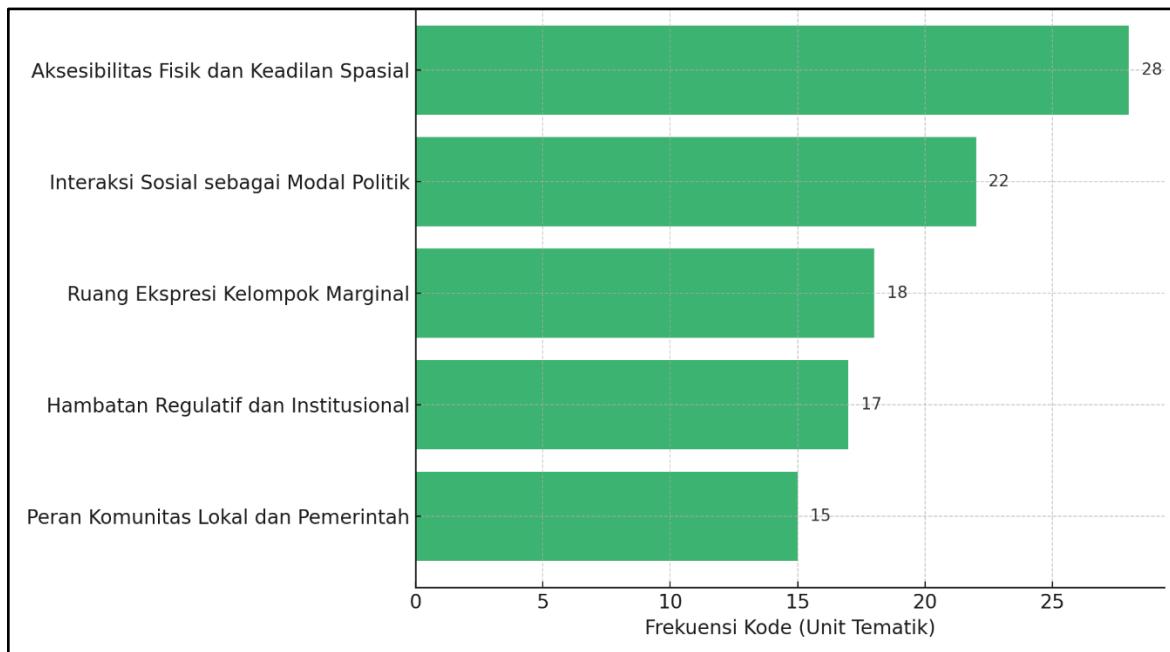
Visualisasi berbasis kata (*word cloud*) yang menonjolkan istilah "**aksesibilitas**", "partisipasi", "politik", "komunitas", "ekspresi" dan "diskusi" memperkuat bukti naratif bahwa warga memaknai ruang publik sebagai media interaksi dan ekspresi politik. Dominasi istilah tersebut menunjukkan tingginya kesadaran warga akan pentingnya ruang inklusif yang dapat mengakomodasi berbagai bentuk partisipasi politik non-formal.

Prinsip "hak atas kota" sebagaimana dalam teori Gehl [1] dan Thompson [3] menjadi penting dalam pembahasan ini. Mereka menekankan bahwa ruang kota harus memberikan kesempatan setara bagi seluruh warga untuk menggunakan dan membentuknya, termasuk dalam konteks politik. Desain ruang yang tidak adil atau eksklusif akan membatasi ekspresi politik kelompok rentan seperti perempuan, disabilitas, dan komunitas lokal.

Selain itu, dikaitkan dengan teori ruang diskursif Habermas [5], [10], ruang publik yang bebas dari kontrol negara adalah prasyarat demokrasi deliberatif. Dalam konteks Makassar, temuan seperti perizinan rumit dan pembatasan aktivitas publik di ruang terbuka menunjukkan lemahnya jaminan atas kebebasan berekspresi. Ini menjadi hambatan utama dalam menghidupkan demokrasi yang inklusif dan partisipatif.

Dengan demikian, bagan tematik dan visualisasi berbasis kata (*word cloud*) tidak hanya memperkuat dimensi analitis, tetapi juga memberikan bukti visual yang mendukung keterkaitan antara ruang publik dan penguanan budaya politik warga. Keduanya saling melengkapi dalam mengilustrasikan gap antara potensi ruang publik sebagai wahana demokrasi dengan kenyataan regulatif dan desain yang belum inklusif sepenuhnya. Dimana pendekatan desain inklusif berfokus pada penciptaan ruang fungsional yang dapat dengan layak melayani semua pengguna, termasuk kelompok terpinggirkan dan ataupun rentan tersebut [15].

Adapun visualisasi bagan hasil tematik dan berbasis kata (*word cloud*) dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 sebagai berikut:



(Sumber: Penulis, 2025)

Gambar 1. Bagan visual hasil tematik

Bagan tersebut menunjukkan lima tema utama yang muncul dari hasil *coding tematik* dalam penelitian. Panjang batang menunjukkan frekuensi kemunculan unit data (kutipan wawancara dan/atau catatan lapangan) yang terkait dengan masing-masing tema.



(Sumber: Penulis, 2025)

Gambar 2. Visualisasi berbasis kata (*word cloud*)

Hal ini mengindikasikan bahwa kata-kata aksesibilitas, diskusi/interaksi, komunitas, dan partisipasi mendominasi, menunjukkan topik-topik utama yang sering muncul dalam narasi warga terkait ruang publik dan budaya politik di Kota Makassar.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa ruang publik di Kota Makassar memiliki peran krusial dalam membentuk budaya politik yang inklusif. Melalui pendekatan kualitatif dan analisis tematik, ditemukan lima tema utama yang menggambarkan dinamika antara ruang publik dan partisipasi politik masyarakat. Tema dominan mencakup aksesibilitas fisik dan keadilan spasial, interaksi sosial sebagai modal politik, ruang ekspresi kelompok marginal, hambatan regulatif dan institusional, serta peran komunitas lokal dan pemerintah.

Tiga lokasi utama; Pantai Losari, Lapangan Karebosi, dan Fort Rotterdam, mewakili variasi karakteristik ruang publik di Kota Makassar. Meskipun memiliki potensi untuk mendorong keterlibatan warga lintas kelompok, masing-masing lokasi masih menghadapi tantangan dari sisi desain, pengelolaan, dan regulasi.

Hasil *word cloud* dan analisis tematik memperkuat bahwa warga menginginkan ruang publik yang terbuka, aman, dan adil sebagai sarana menyuarakan aspirasi serta membangun kesadaran politik kolektif. Ruang publik bukan hanya fasilitas fisik, tetapi juga ruang sosial yang mewujudkan prinsip-prinsip keadilan, inklusivitas, dan kebebasan.

5. REKOMENDASI

Ruang publik di Kota Makassar belum sepenuhnya inklusif, namun memiliki potensi besar untuk mendorong budaya politik partisipatif. Penelitian ini merekomendasikan:

1. Revisi kebijakan ruang publik yang menghambat kebebasan berekspresi.
2. Perancangan ruang publik perkotaan dengan prinsip universal desain, dimana bertujuan untuk menciptakan lingkungan inklusif yang memenuhi beragam kebutuhan pengguna, termasuk penyandang disabilitas, orang tua, dan anak-anak [16], [17]
3. Penguatan kolaborasi antara komunitas warga dan pemerintah kota.

Dengan langkah-langkah ini, diharapkan ruang publik di Kota Makassar dapat menjadi lebih inklusif dan mendorong keterlibatan aktif warga dalam proses politik, sehingga tercipta budaya politik yang sehat dan partisipatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Gehl, *Life Between Buildings (Using Public Space)*. Washington DC, USA: Island Press, 2011.
- [2] S. Carr, M. Francis, L. G. Rivlin, and A. M. Stone, *Public Space (Environment and Behavior Series)*, First Published. United States of America: Cambridge University Press, 1992.
- [3] C. W. Thompson, “Urban open space in the 21st century,” *Landsc Urban Plan*, vol. 60, no. 2, pp. 59–72, Jul. 2002, doi: 10.1016/S0169-2046(02)00059-2.
- [4] N. Fitriyah, “BAB 9: RUANG PUBLIK DAN PARTISIPASI WARGA DI TAMAN KOTA,” in *SOSIOLOGI RUANG PUBLIK PERKOTAAN*, Ahmadin, Ed., Bandung: WIDINA BHAKTI PERSADA BANDUNG, 2023.
- [5] J. Habermas, *The Liberating Power of Symbols, Philosophical essays*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2001. Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=F8N6pu6EClgC&oi=fnd&pg=PP8&dq=Habermas,+J%C3%BCrgen.+2001.+The+Liberating+Power+of+Symbols,+Philosophical+essays,+Polity+Press,+Cambridge.+Held,+David.+1980&ots=hr91bUVUeQ&sig=ki4MOvLVdH4GIV325aOt2AZvOOI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [6] A. Purnamasari S and L. Muta’ali, “KAJIAN SPASIAL RUANG PUBLIK (PUBLIC SPACE) PERKOTAAN UNTUK AKTIVITAS DEMONSTRASI MAHASISWA DI KOTA MAKASSAR ,” *Jurnal Bumi Indonesia*, pp. 27–36, 2012, Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/75659/kajian-spasial-ruang-publik-public-space-perkotaan-untuk-aktivitas-demonstrasi-m>
- [7] D. Collins and B.-M. Shantz, “Public Spaces, Urban,” in *International Encyclopedia of Human Geography*, Elsevier, 2009, pp. 517–522. doi: 10.1016/B978-008044910-4.01099-3.
- [8] L. Law, “Defying Disappearance: Cosmopolitan Public Spaces in Hong Kong,” *Urban Studies*, vol. 39, no. 9, pp. 1625–1645, Aug. 2002, doi: 10.1080/00420980220151691.

- [9] L. Kong and L. Law, "Introduction : Contested Landscapes, Asian Cities," *Urban Studies*, vol. 39, no. 9, pp. 1503–1512, Aug. 2002, doi: 10.1080/00420980220151628.
- [10] J. Habermas, *Communication and The Evolution of Society*. Bosto: Beacon Press, 1979. Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://contemporarythinkers.org/jurgen-habermas/books/>
- [11] B. Miles Matthew and Huberman Michael, "Qualitative Data Analysis A Methods Sourcebook (Matthew B. Miles, A. Michael Huberman etc.)," 2014.
- [12] R. K. . Yin, *Case study research : design and methods*. Sage Publications, 2009.
- [13] Morissan, *Metode Penelitian Survei*, Edisi Pertama. Jakarta: Kencana, 2012.
- [14] Prof. Dr. Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif-Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2010.
- [15] R. B. Shalihah and I. Pujiyanti, "Perancangan Community Learning Center Dengan Pendekatan Inclusive Design di Yogyakarta," *JAS: Journal of Architecture Students*, vol. 2, no. 2, pp. 74–90, Nov. 2021, doi: 10.31101/jas.v2i2.2097.
- [16] B. Yilmaz Çakmak and H. F. Alkan Meşhur, "Universal Design in Urban Public Spaces: The Case of Zafer Pedestrian Zone / Konya -Turkey," *Iconarp International J. of Architecture and Planning*, vol. 6, no. Special Issue, pp. 15–40, Aug. 2018, doi: 10.15320/ICONARP.2018.47.
- [17] E. Esfandfard, M. H. Wahab, and R. Che Amat, "UNIVERSAL DESIGN IN URBAN PUBLIC SPACES FOR PEOPLE WITH DISABILITY. CASE STUDY OF TEHRAN, IRAN," *PLANNING MALAYSIA JOURNAL*, vol. 16, no. 5, Jul. 2018, doi: 10.21837/pmjournal.v16.i5.421.

KAJIAN PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN *CHUTE* TERHADAP KECEPATAN DAN JENIS ALIRAN DI SALURAN TERBUKA

*Dinia Anggraheni¹, Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi², Arief El Hakam Tazka³, Ikbar Dlialul Haq⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

^{*}Email: dinia.anggraheni@uui.ac.id

ABSTRACT

Studies related to flow in open channels are still very important to support understanding of flow behavior and also applications in civil engineering such as the construction of irrigation and drainage channels to increase efficiency and better design. Most of the designed flows in artificial open channels are non-uniform steady flows. The flow becomes non-uniform, one of which is because the flow passes through a channel whose geometry changes, including changes in width, height and slope angle of the channel. One of the structures in an artificial channel is a chute. Through this research, the effect of variations in chute slope on flow velocity and the type of flow that occurs downstream of the chute was studied. This research uses primary data with independent variables in the form of 4 variations in flow discharge or flow opening and 4 variations in slope. To analyze flow velocity, two measurement were used, using a current meter and float. Based on the analysis results, the greater the slope, the greater the flow velocity at the end of the chute and decreases further downstream. Flow velocity using a float produces a greater velocity because the float was on the surface of the flow, so it requires a correction number to become the average flow velocity. Because the influence of slope also had on velocity, the greater the slope, the greater the velocity, the more supercritical flow forms.

Keyword: Open Channel Flow, Chute, Velocity, Non-uniform Flow, Slope Channel

ABSTRAK

Kajian terkait aliran pada saluran terbuka masih sangat penting untuk menunjang pemahaman perilaku aliran dan juga aplikasi dalam teknik sipil seperti konstruksi saluran irigasi dan drainase untuk meningkatkan efisiensi dan desain yang lebih baik. Sebagian besar aliran yang didesain pada saluran terbuka buatan merupakan aliran tetap tidak seragam. Aliran menjadi tidak seragam salah satunya karena aliran melewati saluran yang geometrinya berubah-ubah, meliputi perubahan lebar, tinggi, dan sudut kemiringan saluran. Salah satu struktur pada saluran buatan adalah *chute* atau dikenal dengan selokan miring. Melalui penelitian ini dipelajari pengaruh variasi kemiringan *chute* terhadap kecepatan aliran dan jenis aliran yang terjadi di hilirnya. Penelitian ini menggunakan data primer dengan variabel bebas berupa 4 variasi debit aliran atau lebih tepatnya bukaan pintu dan 4 variasi kemiringan. Untuk menganalisis kecepatan aliran digunakan dua alat ukur yaitu menggunakan *current meter* dan pelampung. Berdasarkan hasil analisis, semakin besar kemiringan maka kecepatan aliran di hilir *chute* akan semakin besar dan semakin menurun ke hilir. Kecepatan aliran dengan menggunakan pelampung menghasilkan kecepatan yang semakin besar karena pelampung berada di permukaan aliran, sehingga membutuhkan angka koreksi untuk menjadi kecepatan rerata aliran. Karena kemiringan juga berpengaruh pada kecepatan, maka semakin besar kemiringan, semakin besar kecepatan, semakin besar potensi aliran superkritis yang terbentuk.

Kata kunci: Aliran Saluran Terbuka, *Chute*, Aliran Tidak Seragam, Kemiringan Saluran

1. PENDAHULUAN

Studi tentang saluran terbuka sangat banyak dilakukan untuk menggali pemahaman dan pengaruh beberapa variabel terhadap aliran itu sendiri. Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas[1]. Analisis aliran melalui saluran buka memperhitungkan banyak variabel yang sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun waktu, seperti: tampang lintang, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran, dan sebagainya[2].

Di lapangan, saluran buatan bisa berupa kanal, talang, *chute*, bangunan terjun, gorong-gorong, dan terowongan. *Chute* adalah semacam selokan dengan kemiringan yang tajam[3]. Kondisi kemiringan yang sangat tajam menimbulkan kecepatan aliran yang tinggi di ujung saluran. Oleh karena itu, studi tentang saluran ini sangat sering dilakukan terutama mengenai bagaimana cara meredam energi karena energi yang dikeluarkan sangat besar terutama di ujung saluran. Kajian mengenai peredaman energi akibat adanya saluran peluncur, beberapa peneliti melakukan kajian tentang struktur saluran peluncur dalam hal ini termasuk bendung atau *spillway* karena dinilai memiliki karakter yang sama yaitu kemiringan yang tajam. Kajian karakteristik aliran pada bangunan pelimpah bendungan dikatakan bahwa kecepatan aliran paling besar adalah pada saat air melewati bangunan pelimpah [4]. Salah satu usaha untuk meredam energi adalah modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak hingga ke hilir peluncur[5]. Hal serupa juga dilakukan oleh Dilaga dkk. (2013) dengan menggunakan tangga pada penelitiannya, dan membuktikan bahwa bentuk bangunan peluncur sangat mempengaruhi tinggi muka air hilir dan menghasilkan tinggi muka air yang lebih rendah setelah melewati peluncur bertangga dengan nilai Froude juga lebih rendah[6]. Peredaman energi lainnya adalah dengan menempatkan

struktur berupa kolam olak di hilir saluran peluncur dalam hal ini adalah bendung. Pernah dilakukan kajian model fisik pengaruh perubahan jari-jari kolam olak pada peredam energi tipe yaitu: semakin besar jari-jari semakin menuruh kecepatan aliran, pada saat debit besar, loncatan air juga semakin besar[7]. Oleh karena itu, melalui penelitian ini dikaji pengaruh kemiringan *chute* terhadap kecepatan dan jenis aliran yang terjadi setelah aliran melalui *chute*. Namun, pada penelitian ini tidak sampai dikaji terkait solusi bangunan peredam energi dihilir *chute*.

2. METODE PENELITIAN

Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan pengambilan data primer dengan menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Beberapa alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Flume dengan dimensi Panjang \times Lebar \times Tinggi = 1007 cm \times 97 cm \times 60 cm (Gambar 1).



Gambar 1. Flume

2. *Current meter* untuk menghitung kecepatan dengan kecepatan rendah yaitu 25 mm/detik (Gambar 2).



Gambar 2. *Current meter*

3. Bola pingpong sebagai material pelampung yang digunakan untuk alat pembanding perhitungan kecepatan aliran.
4. *Handphone* untuk digunakan sebagai penghitung waktu atau *stopwatch*.

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari persiapan bahan dan alat serta penyiapan variabel bebas. Kemudian, dilakukan pengukuran kecepatan, baik pengukuran kecepatan dari alat *current meter* dan juga pelampung. Setelah itu, dilakukan analisis pengaruh kemiringan *chute* terhadap kecepatan aliran, serta menyelidiki jenis aliran yang terjadi akibat kemiringan tersebut.

1. Penyiapan variabel bebas

Flume tersebut dapat diatur dengan beberapa kondisi untuk dinyatakan sebagai variabel bebas yaitu:

- a. Pengaturan debit melalui bukaan tuas 1 sampai 4. Bukaan 1 artinya ada satu putaran tuas ke arah berlawanan jarum jam dengan dua pipa yang terbuka, sedangkan bukaan 4 artinya ada empat putaran tuas ke arah berlawanan jarum jam dengan dua pipa terbuka (Gambar 3).



Gambar 3. Bukaan Pipa Pengaturan Debit

b. Pengaturan kemiringan hulu (*chute*), yaitu 0° , 10° , 15° , dan 20° . Flume memiliki kemiringan maksimum 20° , karena terbatas oleh posisi pipa yang ada di atas flume (Gambar 4).



Gambar 4. Flume Bagian Hulu

2. Pengukuran Kecepatan

Untuk mengetahui kecepatan aliran, dilakukan dua cara yaitu menggunakan alat ukur *currentmeter* dan pelampung. Material pelampung yang digunakan adalah bola pingpong. Bola pingpong mulai diletakkan untuk dihitung jarak tempuh dan waktu yang dibutuhkan dari titik awal hingga jarak yang ditentukan. Bola pingpong (Gambar 5 kanan) dan *current meter* (Gambar 5 kiri) diletakkan di tiga posisi yaitu tengah, kiri, dan kanan saluran.



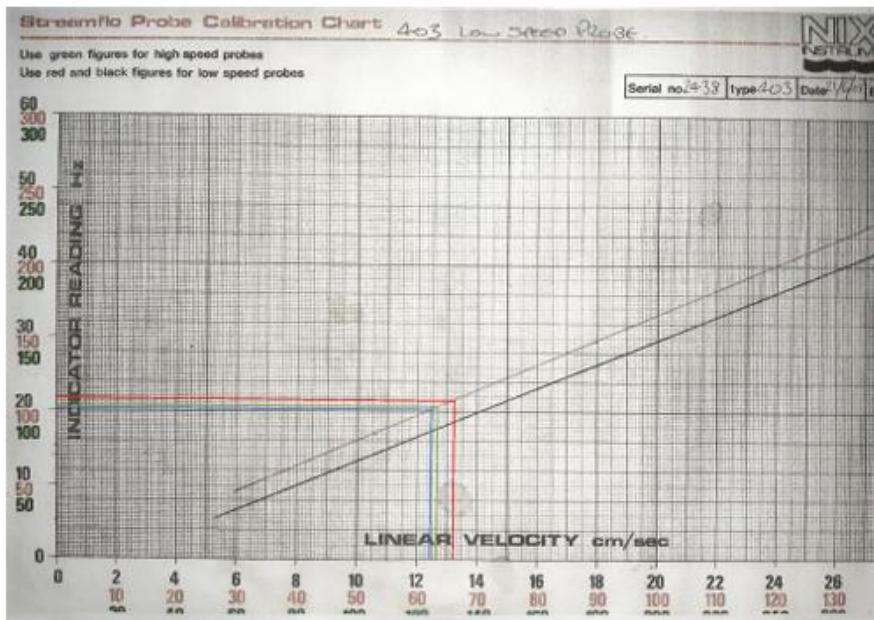
Gambar 5. Peletakan Alat Ukur Kecepatan Menggunakan Bola Pingpong dan *Current meter*

Kecepatan aliran dengan pelampung dihitung menggunakan persamaan:

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

dengan, V = kecepatan aliran (m/s), L = jarak antara dua titik yang dilalui (m), t = waktu yang dibutuhkan untuk melalui L (s). Disimpulkan bahwa ketelitian hasil pengukuran pelampung permukaan terhadap *current meter* adalah sebesar 77% dimana terdapat pengaruh cuaca dan kehilangan air yang tidak diteliti [8].

Namun, pada *current meter* yang dipakai pada penelitian, kecepatan aliran didapat dengan mengonversi data kecepatan dari satuan Hz menjadi cm/s dengan bantuan tabel kalibrasi (*streamflow calibration chart*) yang dapat ditunjukkan pada Gambar 6, dengan mengambil contoh kecepatan aliran pada saat variasi kemiringan 0° dan bukaan 4, maka data yang diperoleh di *current meter* menunjukkan hasil 108 Hz pada posisi kiri saluran, 101 Hz pada bagian tengah saluran, dan 104 Hz pada bagian kanan saluran. Dengan menggunakan tabel konversi, maka kecepatan aliran didapat 66 cm/s pada bagian kiri saluran, 62 cm/s pada bagian tengah, dan 63.5 cm/s pada bagian kanan saluran.



Gambar 6. Chart Kalibrasi Kecepatan *Current meter*

4. Penentuan Jenis Aliran

Penentuan jenis aliran adalah dengan menggunakan angka Froude. Angka Froude adalah bilangan non dimensional akibat hubungan antara kecepatan dengan cepat rambat gelombang pada aliran air. Dalam studi karakteristik aliran pada flume, digunakan parameter angka Froude untuk menyatakan sifat aliran. Untuk menghitung angka Froude dapat digunakan rumus berikut[9].

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (2)$$

dengan

Fr = angka Froude, V = kecepatan aliran (m/s), g = percepatan gravitasi (m/s^2), dan D = kedalaman hidraulik (m). Jika kecepatan aliran sama dengan cepat rambat gelombang, kondisi aliran disebut kritis.

$$V = \sqrt{gD} \quad (3)$$

Jika angka Froude kurang dari satu atau, kecepatan aliran kurang dari cepat rambat gelombang, maka kondisi aliran adalah sub kritis.

$$V < \sqrt{gD} \quad (4)$$

Namun, jika angka Froude lebih dari satu atau kecepatan aliran lebih dari cepat rambat gelombang, kondisi aliran disebut kondisi super kritis.

$$V > \sqrt{gD} \quad (5)$$

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Kecepatan

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan dua alat, yaitu *current meter* dan pelampung (bola pingpong). Analisis data kecepatan yang dilakukan pada aliran flume dengan penggunaan *current meter* diawali dengan pencatatan angka (jumlah putaran) yang terbaca pada *counter digital*. Selanjutnya, angka tersebut disesuaikan dengan hasil dari pembacaan *streamflow probe calibration chart*, untuk mendapatkan nilai kecepatan dalam cm/s yang kemudian diubah kedalam satuan m/s. Penggunaan *current meter* diletakkan pada kiri, tengah dan kanan

aliran, sehingga akan terbaca kecepatan pada kiri, kanan, dan kanan yang selanjutnya dirata-rata untuk mendapatkan kecepatan rata-rata aliran.

Analisis data kecepatan menggunakan pelampung adalah dengan mengambil data waktu di setiap jarak yang berhasil dilalui oleh bola pingpong (pelampung). Dalam hal ini, jarak yang diambil adalah perdua meter, sehingga data kecepatan diperoleh dari pebandingan jarak per waktu. Dari 10 data pengambilan kemudian dirata-rata untuk bisa mendapatkan kecepatan aliran.

Berikut adalah hasil analisis kecepatan aliran dengan alat *current meter* dan pelampung (Tabel 1).

Tabel 1. Rekapitulasi Analisis Kecepatan Aliran (dalam m/s)

No	Kemiringan	Bukaan	Kecepatan dengan <i>Current meter</i>			Kecepatan Rata-Rata	Kecepatan dengan Pelampung			Kecepatan Rata-Rata
			Kiri	Tengah	Kanan		Kiri	Tengah	Kanan	
1	0	1	0,147	0,220	0,141	0,169	0,224	0,275	0,226	0,242
2	0	2	0,403	0,409	0,398	0,403	0,513	0,566	0,512	0,530
3	0	3	0,522	0,551	0,522	0,532	0,770	0,827	0,748	0,781
4	0	4	0,634	0,672	0,597	0,634	0,921	0,955	0,948	0,941
5	10	1	0,166	0,235	0,198	0,200	0,230	0,276	0,248	0,251
6	10	2	0,256	0,727	0,413	0,465	0,414	0,831	1,090	0,778
7	10	3	0,778	1,164	1,101	1,014	1,260	1,912	1,679	1,617
8	10	4	1,065	1,055	1,473	1,197	1,687	2,837	2,254	2,259
9	15	1	0,213	0,254	0,238	0,235	0,257	0,303	0,277	0,279
10	15	2	0,456	0,537	0,450	0,481	0,776	0,976	0,866	0,873
11	15	3	1,071	1,152	1,093	1,105	1,550	1,624	1,702	1,625
12	15	4	1,369	1,378	1,425	1,390	2,665	2,814	2,616	2,698
13	20	1	0,240	0,257	0,239	0,245	0,284	0,324	0,271	0,293
14	20	2	0,515	0,556	0,525	0,532	0,866	1,168	0,822	0,952
15	20	3	1,090	1,151	1,098	1,113	1,607	2,091	1,591	1,763
16	20	4	1,442	1,676	1,390	1,503	2,770	2,781	2,691	2,747

Penentuan Jenis Aliran

Sifat aliran yang akan dibahas adalah berdasar angka Froude yang dapat mendefinisikan aliran sub kritis, kritis, dan super kritis. Penentuan sifat aliran ini berguna untuk informasi desain. Hal tersebut tentu akan membantu pada penelitian-penelitian selanjutnya yang akan menggunakan flume untuk simulasi desain. Mengacu pada penentuan sifat aliran tersebut maka dibutuhkan analisis kecepatan dan kedalaman hidraulik sebagaimana pada persamaan 2, 3, 4, dan 5. Berikut adalah hasil analisis penentuan sifat aliran (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Analisis Sifat Aliran

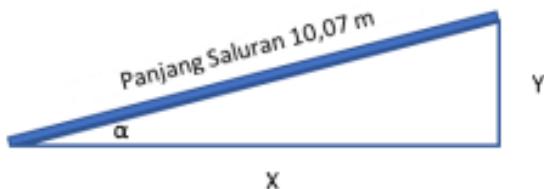
No	Kemiringan	Bukaan	Kecepatan rata-rata (m/s)	Kedalaman Hidraulik (D) dalam m	Kecepatan rambat (m/s)	Fr (Angka Froude) dengan <i>current meter</i>	Fr (Angka Froude) dengan pelampung	Sifat Aliran		
			dengan <i>current meter</i>					dengan <i>current meter</i>	dengan pelampung	
1	0	1	0,169	0,242	0,014	0,375	0,452	0,645	sub kritis	sub kritis
2	0	2	0,403	0,530	0,026	0,503	0,801	1,054	sub kritis	super kritis
3	0	3	0,532	0,781	0,041	0,636	0,836	1,229	sub kritis	super kritis
4	0	4	0,634	0,941	0,054	0,729	0,870	1,291	sub kritis	super kritis
5	10	1	0,200	0,251	0,015	0,383	0,521	0,656	sub kritis	sub kritis
6	10	2	0,465	0,778	0,025	0,492	0,945	1,582	sub kritis	super kritis
7	10	3	1,014	1,617	0,027	0,511	1,983	3,162	super kritis	super kritis
8	10	4	1,197	2,259	0,025	0,496	2,412	4,552	super kritis	super kritis
9	15	1	0,235	0,279	0,013	0,363	0,647	0,767	sub kritis	sub kritis
10	15	2	0,481	0,873	0,022	0,462	1,041	1,888	super kritis	super kritis
11	15	3	1,105	1,625	0,025	0,491	2,251	3,311	super kritis	super kritis
12	15	4	1,390	2,698	0,026	0,501	2,777	5,389	super kritis	super kritis
13	20	1	0,245	0,293	0,014	0,365	0,672	0,803	sub kritis	sub kritis
14	20	2	0,532	0,952	0,018	0,416	1,277	2,286	super kritis	super kritis
15	20	3	1,113	1,763	0,022	0,463	2,401	3,805	super kritis	super kritis
16	20	4	1,503	2,747	0,023	0,477	3,148	5,756	super kritis	super kritis

Pembahasan

Beberapa yang dibahas adalah pengaruh kemiringan terhadap kecepatan, jenis aliran yang terjadi setelah melewati *chute*, serta keterbatasan penelitian di laboratorium.

1. Pengaruh Kemiringan *Chute* terhadap Perbedaan Kecepatan

Kemiringan saluran yang digunakan dalam penelitian ini adalah kemiringan flume di bagian hulu saja. Namun, karena nilai derajat tidak lazim digunakan, untuk menggambarkan kemiringan digunakan kemiringan atau perbandingan jarak vertikal (Y) dan horizontal (X), sehingga didapatkan variasi kemiringan sebagai berikut (Gambar 6).



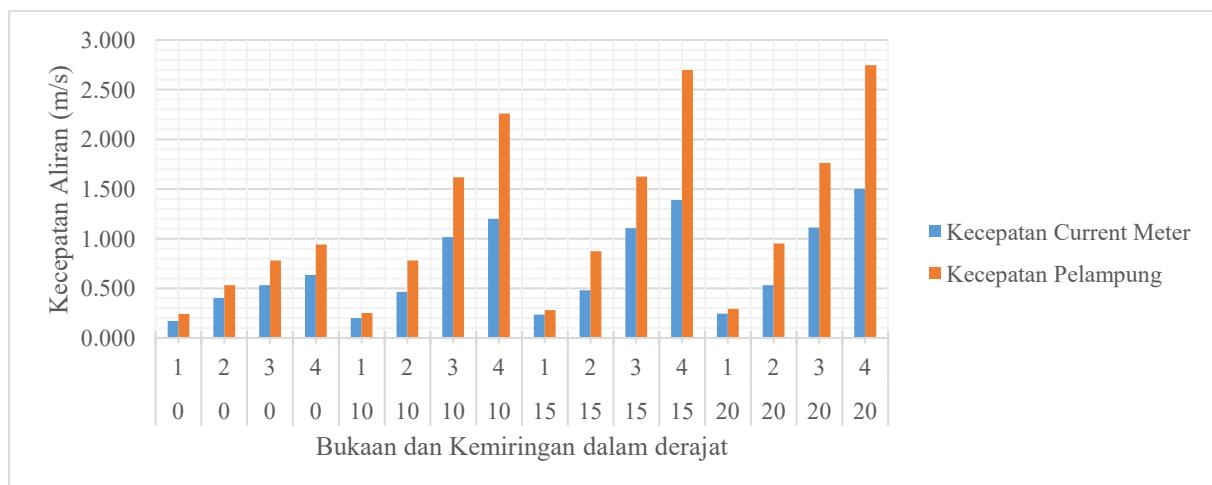
Gambar 6. Penetuan Kemiringan Saluran

Kemudian, perhitungan kemiringan saluran dihitung pada variabel kemiringan dalam sudut (Tabel 3).

Tabel 3. Variasi Kemiringan pada Flume Bagian Hulu.

Sudut (°)	Y (m)	X (m)	Kemiringan
0	0	10,07	0
10	1,75	9,92	0,18
15	2,61	9,73	0,27
20	3,44	9,46	0,36

Setelah dianalisis, kemiringan *chute* akan memberikan pengaruh pada kecepatan aliran yang semakin tinggi. Semakin tinggi kemiringan, maka akan semakin tinggi kecepatan aliran yang dihasilkan berlaku untuk seluruh variasi bukaan atau debit yang diberikan. Pada bukaan 1, kecepatan aliran adalah paling kecil meningkat seiring tambahan bukaannya. Walaupun perbedaan kemiringan pada sudut 15° dan 20° tidak memperlihatkan perbedaan hasil yang signifikan baik pada bukaan 1 sampai 4. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbedaan Kecepatan Aliran pada Variasi Kemiringan *Chute*

Selain itu, perhitungan kecepatan dengan pelampung memberikan hasil yang secara merata lebih tinggi dibandingkan kecepatan dengan *current meter*. Hal tersebut terjadi karena perhitungan kecepatan dengan pelampung dilakukan di permukaan air yang cenderung akan menghasilkan kecepatan maksimum. Oleh karena itu, perhitungan kecepatan dengan pelampung harus memiliki angka koreksi untuk menunjukkan kecepatan rata-ratanya. Hasil angka koreksi untuk kecepatan rata-rata aliran dengan pelampung adalah sebagai berikut (Tabel 4). Angka koreksi rata-rata adalah 0,658.

Tabel 4. Angka Koreksi untuk Kecepatan Rata-Rata dengan Pelampung

No (1)	Kemiringan (2)	Bukaan (3)	Kecepatan Rata-Rata (m/s)		Koreksi Kecepatan (4)/(5)
			Current meter (4)	Pelampung (5)	
1	0	1	0,169	0,242	0,700
2	0	2	0,403	0,530	0,760
3	0	3	0,532	0,781	0,680
4	0	4	0,634	0,941	0,674
5	10	1	0,200	0,251	0,794
6	10	2	0,465	0,778	0,597
7	10	3	1,014	1,617	0,627
8	10	4	1,197	2,259	0,530
9	15	1	0,235	0,279	0,843
10	15	2	0,481	0,873	0,551
11	15	3	1,105	1,625	0,680
12	15	4	1,390	2,698	0,515
13	20	1	0,245	0,293	0,837
14	20	2	0,532	0,952	0,559
15	20	3	1,113	1,763	0,632
16	20	4	1,503	2,747	0,547
Nilai Koreksi Rata-Rata					0,658

2. Jenis Aliran pada *Chute*

Berdasar hasil analisis sifat aliran yang tersaji pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa kondisi sifat aliran super kritis dapat terjadi mulai pada debit aliran dengan variasi kemiringan hulu 10° pada variasi buaan tuas 3. Semakin besar buaan dan kemiringan hulu saluran, kecenderungan sifat aliran adalah superkritik. Hal tersebut menunjukkan bahwa pentingnya bangunan peredam energi yang diperlukan di hilir *chute* apalagi dengan kemiringan dan debit yang tinggi. Meskipun demikian, pada variasi debit yang rendah, masih memungkinkan terjadinya aliran subkritik pada daerah hilir *chute* sehingga tidak terjadi gerusan di daerah sekitarnya.

3. Keterbatasan Penelitian

Beberapa hal yang kemudian menjadi keterbatasan dalam penelitian aliran di flume Laboratorium Hidrolik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah sebagai berikut ini.

- Kemiringan hulu maksimum yang bisa diatur adalah maksimal 20° atau 0,36 atau 1:2,78. Hal tersebut karena terdapat pipa yang membatasi kemiringan flume juga permasalahan pengaturan kemiringan yang cukup berat dan harus seimbang di bagian kanan dan kiri.
- Nilai debit maksimum yang dapat digunakan dalam penelitian adalah sekitar $0,039 \text{ m}^3/\text{s}$, dengan buaan tuas 4 putaran, karena jika lebih dari itu aliran yang terjadi terlalu deras dan pengisian kolam penampungan terlalu cepat.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah bahwa semakin besar kemiringan suatu saluran *chute* maka akan menghasilkan kecepatan yang tinggi juga di hilirnya dan mengakibatkan jenis saluran superkritik, dimana aliran tersebut dapat memberikan potensi gerusan di sekitar hilir *chute*. Oleh karena itu, disarankan pada hilir *chute* dibangun struktur peredam energi. Selain itu, kesimpulan tambahan adalah untuk memperoleh kecepatan aliran rata-rata pada saluran terbuka dengan alat pelampung membutuhkan angka koreksi 0,658.

7. SARAN

Melihat keterbatasan penelitian, *flume* pada laboratorium sebaiknya dapat diperhatikan lagi untuk variasi kemiringan yang lebih tinggi, mengingat kemiringan *chute* di lapangan bisa lebih dari 20° . Penelitian dapat dilanjutkan dengan menambahkan parameter lain, seperti pengaruh bagunan peredaman energi terhadap kecepatan aliran.

8. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia atas bantuan hibah penelitian yang pernah diterima pada tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Harseno and S. J. V.L, "Studi Eksperimental Aliran Berubah Beraturan pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis," *Majalah Ilmiah UKRIM*, 2007.
- [2] B. Triatmodjo, *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset, 2013.
- [3] A. Suroso, *Bahan Ajar Mekanika Fluida dan Hidrolik*. Jakarta: Pusat Pengembangan Bahan Ajar-Universitas Mercu Buana, 2020.
- [4] S. S. Saleh, R. Musa, and H. As'ad, "Kajian Karakteristik Aliran terhadap Bangunan Pelimpah pada Saluran Terbuka," *Jurnal Teknik Hidro*, vol. 12, pp. 40–52, Aug. 2019.
- [5] D. S. Krisnayanti, V. Dermawan, M. Solichin, Suhardjono, and D. N. Khaerudin, "Stepped Weir as an Alternative Design of Irrigation Structure," *Jurnal Irigasi*, vol. 11, pp. 91–102, Oct. 2016.
- [6] S. Dilaga, Y. Hardiansyah, F. Hamdi, and A. B. Tongeng, "Analisis Distribusi Debit Aliran pada Pelimpah dengan Variasi Model Bangunan Peluncur," vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.59810/localengineering.
- [7] M. R. Firdaus, N. S. Rizal, and A. S. Manggala, "Kajian Model Fisik Pengaruh Perubahan Jari-Jari Kolam Olak Pada Peredam Energi Tipe Bucket," *Jurnal Smart Teknologi*, vol. 3, pp. 480–491, Jul. 2022.
- [8] H. Tangkudung, "Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Menggunakan Pelampung dan Current meter.," *Jurnal TEKNIK-SIPIL*, vol. 09, no. 55, Apr. 2011.
- [9] G. Y. D. Astuti and F. Hariati, "Studi Karakteristik Aliran pada Flume Saluran Terbuka di Laboratorium Teknik Sipil UIKA," *ASTONJADRO*, vol. 5, Jan. 2016.

PREFERENSI SPASIAL DAN POSTURAL REMAJA DALAM RUANG GAMING NEIGHBORHOOD

***Erza Rahma Hajaty¹, Rizki Hambali², Risky Handayani³, Azka Pintra⁴, Dwi Oktyan Waluyo⁵**

^{1,2,3,4,5}Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta

*) Email: erzarahma43@gmail.com

ABSTRACT

Frequent use of social media, particularly playing games, can lead to a decline in direct interaction with family and friends. Therefore, this study aims to identify the gaming spaces preferred by teenagers in their neighborhood, the characteristics of these spaces they desire, and the gaming postures they prefer. This study employs a qualitative method combined with percentage calculations of the analysis results. The findings reveal that the preferred gaming spaces chosen by teenagers are home, friends' houses, school, cafes, and internet cafes, with characteristics such as free space to play games and be with friends, free space for expression and activity, comfortable and quiet space, facilitated space, concentration space, privacy space, inexpensive space, and preferred gaming postures such as sitting upright, sitting relaxed, relaxing freely. This research provides a basis for designing gaming spaces and public interaction areas that can accommodate and encourage face-to-face gaming activities with neighborhood friends, thereby increasing teenagers' social interactions.

Keyword: teenage neighborhood, gaming space, spatial characteristics, gaming posture

ABSTRAK

Seringnya remaja menggunakan media sosial khususnya bermain games dapat menyebabkan kurangnya waktu berinteraksi secara langsung baik dengan keluarga ataupun teman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ruang bermain games yang dipilih remaja, karakteristik ruang yang diinginkan dan postur bermain games yang disukai. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif yang dikombinasikan dengan perhitungan prosentase kategori hasil analisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa preferensi ruang bermain games yang dipilih remaja adalah rumah, rumah teman, sekolah, café, dan warnet, dengan karakteristik ruang bebas bermain games dan bersama teman, ruang bebas berekspresi dan beraktivitas, ruang yang nyaman dan tenang, ruang berfasilitas, ruang konsentrasi, ruang privasi, ruang yang murah, serta disukai dengan postur duduk tegak, duduk santai, dan santai bebas. Penelitian ini bermanfaat untuk menjadi dasar merancang ruang-ruang bermain games dan ruang-ruang interaksi publik yang dapat mewadahi dan mendorong aktivitas bermain games bersama teman neighborhood secara tatap muka, dalam meningkatkan interaksi sosial.

Kata kunci: neighborhood remaja, ruang bermain games, karakteristik ruang, postur bermain games

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pengguna internet di Indonesia dari tahun 2014 hingga 2029 menunjukkan tren kenaikan yang stabil. Diprediksi bahwa antara tahun 2024 dan 2029, jumlah pengguna internet di Indonesia akan terus bertambah sebesar 10,2 juta, menandai peningkatan sebesar 3,72 persen dari periode sebelumnya, dalam kurun waktu lima belas tahun akan terjadi peningkatan yang signifikan hingga mencapai total 284,43 juta pengguna pada tahun 2029, mencapai titik tertinggi sepanjang sejarah [1]. Menurut Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) jumlah pengguna internet di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 221,56 juta orang [2] dengan jumlah pengguna terbanyak adalah Gen Z (kelahiran 1997-2012). Pada tahun 2024 data menunjukkan bahwa pengguna media sosial berjumlah 5,04 miliar atau setara dengan 62,3% dari total 8,08 miliar populasi global [3]. Sedangkan pengguna media sosial di Indonesia di awal 2024 berjumlah 139 juta orang atau setara dengan 49,9% dari total populasi di Indonesia [4]. *Online Games* adalah salah satu jenis media sosial [5], merupakan video games yang memiliki karakteristik yang mirip dengan media sosial yang memungkinkan interaksi sosial antar pemain terutama pada permainan dalam tim. *Online games* merupakan permainan komputer yang memanfaatkan jaringan internet dan dapat dimainkan secara bersamaan dengan menggunakan komputer yang terhubung ke jaringan tertentu, sehingga memiliki kemampuan untuk terhubung ke permainan multiplayer [6]. Sedangkan *console games* merupakan perangkat keras yang dirancang hanya untuk memainkan video game elektronik yang dalam perkembangannya menggunakan teknologi prosesor, memori, grafik, suara, serta berbagai fitur lainnya [7]. Video games adalah permainan elektronik dan interaktif yang menempatkan pemain di dunia alternatif yang diatur oleh prinsip dan batasan yang mungkin melampaui apa yang ditemukan di dunia nyata [8]. Video game dapat terdiri dari *games action-like video games* seperti *first-person shooter and third person shooter* (FPS/TPS), *action-role playing game* (RPG)/*adventure, sports/driving, real-time strategy/multiplayer online battle arena* (RTS/MOBA), kemudian *non-action-like video games* meliputi *Turn-based/non-action role-playing/fantasy, Turn-based strategy/life simulation/puzzle, music games*, dan game lainnya seperti *fighting video games, casino, card atau board games, party video games* [8]. Pengguna video games sebagian besar adalah remaja yang mana berdasarkan data dari We Are Social menunjukkan bahwa sebesar 41,6% dari jumlah penduduk di dunia pada usia 16-24 tahun aktif bermain

online games [3]. Permainan games multipemain memiliki dampak positif pada keterampilan kognitif [9] [10], meningkatkan kemampuan manusia dalam mengambil keputusan dengan cepat dan tepat terutama pada game First-person shooter (FPS) yang kompetitif [11], serta meningkatkan interaksi sosial pada game online [12]. Meskipun bermain game online dapat meningkatkan interaksi sosial namun ruang interaksi yang terbentuk lebih banyak pada ruang virtual sehingga kurangnya waktu untuk berinteraksi dengan teman di lingkungan sekitar secara tatap muka [13], padahal sebagian besar remaja menghabiskan waktunya untuk berinteraksi dengan teman melalui media games [14].

Idealnya, interaksi remaja dengan teman neighborhood dilakukan secara tatap muka baik secara spontan, terencana ataupun saat melakukan aktivitas bersama seperti bermain games. Neighborhood adalah hubungan psikis antar penghuni yang bertempat tinggal menetap atau bermukim dalam suatu lingkungan permukiman yang sama, yang mana antar penghuni atau kelompok penghuni dapat memiliki kualitas hubungan yang berbeda dan tingkat interaksi yang berbeda [15]. Maka ketika antar remaja di dalam neighborhood hanya berinteraksi secara digital melalui media games, dikhawatirkan akan memiliki kualitas hubungan yang hanya sebatas teman maya di dalam dunia digital. Oleh karena itu, memahami perilaku spasial dan preferensi spasial remaja menjadi sangat penting untuk mengetahui karakteristik fisik yang mendorong neighborhood remaja untuk hadir berinteraksi secara tatap muka pada ruang. Hasil penelitian yang telah ada menunjukkan bahwa simpul aktivitas terbentuk karena adanya interaksi yang dinamis antara desain dan keterlibatan pengguna, sehingga pendekatan adaptif dan responsif dalam desain dan perencanaan dilakukan dengan mempertimbangkan dinamika spasial dan temporal [16]. Hal itu sejalan dengan teori yang menjelaskan bahwa preferensi, perasaan ideal, konsepsi perilaku dan pengalaman merupakan bagian dari kognisi yang berhubungan dengan kompleksitas lingkungan fisik yang terdiri dari tempat, ruang dan propertinya yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan diantaranya psikologis dan sosial [17]. Penelitian lainnya menekankan bahwa keinginan remaja untuk hadir di dalam ruang dipengaruhi oleh pengalaman situasional, dan pengalaman positif akan mendorong remaja untuk kembali hadir pada ruang [18]. Maka, aktivitas dan praktik kolektif bergantung pada pengalaman keterbacaan spasial, sehingga desain pada ruang-ruang akan mempengaruhi penggunaan ruang-ruang dan interaksi sosial di dalamnya [19]. Berdasarkan beberapa hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ruang dengan karakteristik dan propertinya akan mampu memberikan pengalaman yang diinginkan oleh remaja jika ruang tersebut memenuhi preferensi spasial remaja. Penelitian lain menjelaskan bahwa remaja tidak terlibat secara sosial di area berkumpul yang dirancang khusus untuk aktivitas sosial formal [20]. Hal ini memberikan gambaran bahwa ruang-ruang yang dirancang khusus sebagai ruang interaksi memiliki kemungkinan untuk tidak digunakan karena memiliki karakteristik yang tidak sesuai dengan preferensi remaja. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan penelitian tentang preferensi ruang bermain games neighborhood remaja, khususnya karakteristik ruang yang diinginkan remaja dalam aktivitas bermain games bersama teman neighborhoodnya.

Banyaknya waktu yang digunakan remaja untuk bermain games [14], dapat menyebabkan remaja berlama-lama pada postur tertentu. Postur adalah posisi yang dapat menopang tubuh saat duduk, berdiri, atau berbaring, yang mana postur yang baik didapatkan dari adanya keselarasan antara bagian tubuh dengan otot-otot, sehingga distribusi beban tubuh tersebut merata [21]. Postur tubuh dengan posisi statis dalam waktu yang lama dapat menimbulkan gangguan pada otot [22]. Oleh karena itu penting juga untuk mengetahui postur bermain games yang disukai remaja sehingga dapat menjadi dasar untuk merancang ruang-ruang interaksi yang mewadahi postur bermain games yang disukai namun nyaman dan aman untuk remaja. Belum ditemukan penelitian yang berfokus pada preferensi ruang bermain games neighborhood remaja khususnya dalam melihat ruang-ruang bermain games, karakteristik ruang dan postur bermain games. Sebagian besar penelitian tentang bermain games oleh remaja hanya melihat dampak bermain games [23] [24] [25] [26]. Disamping itu belum banyak ditemukan penelitian tentang ruang interaksi neighborhood remaja, dan sebagian besar hanya meneliti tentang ruang interaksi untuk publik secara umum [27] [28] [29] [30] [31] [32]. Penelitian ruang neighborhood remaja yang telah dilakukan masih berfokus pada melihat transformasi ruang privat menjadi ruang interaksi neighborhood remaja [33], dampak lingkungan fisik terhadap interaksi sosial remaja dan kaum muda [34], serta cara merancang ruang bagi remaja dan kaum muda terkait aspek sosial-spasial [35]. Penelitian yang sudah dilakukan belum meneliti preferensi ruang neighborhood remaja dalam aktivitas bermain games. Oleh karena itu penting melakukan penelitian tentang preferensi ruang gaming neighborhood remaja khususnya dalam melihat ruang-ruang bermain games pilihan remaja, karakteristik ruang yang diinginkan remaja dan postur bermain games yang disukai remaja, untuk menjadi pedoman dalam merancang ruang-ruang gaming yang dapat mewadahi interaksi tatap muka antar remaja saat bermain games dalam meningkatkan hubungan dan interaksi neighborhood remaja.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif yang dikombinasikan dengan perhitungan jumlah dan prosentase kategori hasil analisis, untuk mengungkapkan preferensi remaja dalam bermain games dengan teman di dalam

neighborhoodnya. Wawancara terstruktur dilakukan dengan memberikan pertanyaan essai kepada remaja melalui media online *google form* (G-form). Wawancara melalui media online dilakukan untuk memperoleh informasi secara cepat serta memungkinkan remaja untuk menjawab pertanyaan secara lebih leluasa, bebas dan santai sehingga jawaban yang diperoleh menjadi lebih valid. Penggunaan G-form sebagai salah satu media digital dapat berfungsi sebagai *Open-ended questionnaire* yang memungkinkan responden remaja untuk memberikan jawaban dalam bentuk esai atau narasi panjang melalui smartphononya. Maka remaja dapat lebih mudah untuk memberikan jawaban dan memiliki kebebasan untuk mengungkapkan pendapatnya [36]. Uji validitas data dilakukan dengan teknik triangulasi dengan melibatkan anggota-anggota tim peneliti menyebarluaskan G-form di wilayah yang sama, kemudian membandingkan hasil temuan dan makna data. Sedangkan reliabilitas data diperoleh dengan melakukan penelitian awal melalui penyebaran G-form kepada beberapa remaja untuk menguji pemahaman remaja terhadap pertanyaan, dilanjutkan dengan melakukan penyempurnaan pertanyaan G-form dan melakukan penyebaran G-form kembali di wilayah yang berbeda untuk melihat konsistensi data dan hasil analisis.

Wawancara digital dilakukan kepada 41 orang remaja yang sering bermain games baik games online maupun games konsol yang berusia 10-18 tahun secara random dan tidak berfokus pada 1 area permukiman tertentu. Hal itu agar memungkinkan untuk mendapatkan informasi dari beberapa permukiman di wilayah yang berbeda secara bersamaan. Untuk memastikan keragaman responden, penyebaran G-form dilakukan secara random kepada remaja yang tinggal di wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi, dan juga beberapa remaja yang tinggal di wilayah Jawa Tengah dan Jawa Timur. Maka hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk melakukan penelitian lanjutan pada permukiman yang memiliki fenomena dan permasalahan yang lebih fokus dan mendalam.

Data wawancara yang telah diperoleh dianalisis dengan (i) pemahaman makna data dari keseluruhan informasi hasil wawancara, (ii) proses koding ruang-ruang bermain games dan karakteristik ruang dengan mengelompokkan data-data berdasarkan ruang-ruang yang digunakan remaja dan alasan remaja untuk bermain games, (iii) proses koding postur bermain games, (iv) menentukan kategori-kategori ruang bermain games, karakteristik ruang yang diinginkan oleh neighborhood remaja berdasarkan alasan memilih ruang, dan postur bermain games yang disukai remaja dalam bermain games, (v) perhitungan jumlah dan prosentasi untuk mengetahui ruang bermain games yang paling dipilih remaja, karakteristik ruang yang paling diinginkan remaja dan postur bermain games yang paling disukai remaja saat bermain games. Pada analisis dan pembahasan, penyebaran nama-nama remaja menggunakan initial yaitu remaja 1, remaja 2, remaja 3 hingga remaja 41.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ruang Bermain Games Yang Dipilih Remaja

Ketika bermain games, remaja lebih memilih ruang-ruang tertentu untuk bermain games bersama teman (mabar). Tidak sekedar memilih saja, tetapi remaja lebih menyukai bermain games di ruang-ruang tersebut karena alasan tertentu. Ruang-ruang pilihan remaja yang biasa digunakan oleh remaja untuk bermain games terdiri dari rumah, rumah teman, sekolah, café, dan warnet. Sebagian besar remaja memilih rumah (rumah tempat remaja tinggal) sebagai tempat favorit untuk bermain games (Tabel 1 kolom C). Dari 41 responden, 30 remaja menyukai bermain games di rumah baik bermain sendiri ataupun bermain bersama teman. alasan-alasan remaja mengapa memilih rumah sebagai tempat untuk bermain games yang pertama adalah bebas bermain games. Remaja merasakan kebebasan saat bermain games di rumah. Sebagaimana dikatakan oleh remaja 2 “*Di rumah, bisa lebih leluasa dan bebas saat bermain games*”, kemudian diungkapkan juga oleh remaja 3 “*...gak harus mikirin lingkungan sekitar...*”, dan remaja 36 “*Di kamar, soalnya gak ada yang ganggu*” Pernyataan-pernyataan tersebut dapat dipahami bahwa remaja ingin merasakan kebebasan pada ruang untuk bermain games. Alasan kedua adalah dapat bebas bermain games bersama teman sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 18 “*Saya lebih menyukai bermain game di rumah saya karena rumah saya membuat saya merasa nyaman, dan saya pun bisa mengajak teman-teman saya untuk bermain game bersama di rumah saya*”. Alasan ketiga adalah bebas beraktivitas/berekspresi karena remaja merasa dapat bebas melakukan aktivitas yang mereka inginkan sambil bermain games. Sebagaimana pernyataan Remaja 20 “*Karena lebih nyaman dan bebas melakukan apapun di rumah sendiri*”, Remaja 28 “*Di rumah sambil berbaring di atas kasur*”. Pernyataan-pernyataan remaja tersebut dapat dipahami bahwa pada saat remaja bermain games, ingin sambil melakukan aktivitas yang membuat mereka merasa nyaman, tanpa harus merasa terganggu oleh kehadiran orang lain.

Alasan keempat remaja memilih rumah adalah karena remaja merasa nyaman. Kenyamanan menjadi alasan yang mendominasi remaja untuk bermain games di rumah, yaitu berjumlah 17 orang remaja menyatakan merasa nyaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 3 “*...lebih berasa me time*”, Remaja 29 “*Di rumah, ... tidak berisik*”, Remaja 33 “*Kamar lebih tenang*”, dan Remaja 40 “*di rumah karena lebih nyaman*”. Alasan kelima adalah karena rumah memiliki fasilitas yang dibutuhkan untuk bermain games. Pada saat bermain games khususnya *online games*, remaja membutuhkan fasilitas-fasilitas, baik fasilitas utama berupa

jaringan internet/wifi yang lancar dan juga fasilitas pendukung seperti AC, stop kontak dan sebagainya. Hal tersebut sebagaimana diungkapkan Remaja 29 “*di rumah, ... bisa makan gratis*”, remaja 32 “*karena wifi lancar dan roblox butuh yang wifi lancar*”. Alasan keenam adalah dapat berkonsentrasi saat bermain games. Pada saat remaja bermain games memerlukan konsentrasi karena adanya kompetisi, limit waktu, memecahkan skor tertentu, dan sebagainya. Hal tersebut menyebabkan remaja memilih rumah sebagai salah satu tempat favorit yang mereka sukai untuk bermain games. Sebagaimana pernyataan Remaja 14 “*Di rumah, alasannya karena dapat lebih berkonsentrasi dibanding tempat ramai (contohnya di kelas/sekolah)*”, Remaja 36 “*Kamar soalnya biar ga ada yang ganggu*”. Alasan keenam adalah biaya Murah ketika bermain games di rumah, sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 29 “*Di rumah... bisa makan gratis ...*”. Alasan ketujuh memilih rumah karena rumah dapat memberikan privasi bagi remaja untuk bermain games, sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 28 “*Di rumah, sambil berbaring di atas kasur*” dan Remaja 36 “*Kamar, soalnya biar ga ada yang ganggu*”.

Rumah teman menjadi salah satu ruang bermain games favorit remaja dengan jumlah responden 6 remaja. Alasan remaja menyukai rumah teman yaitu pertama dapat bebas bermain games bersama teman yang menjadi alasan terbanyak. Dari 6 remaja yang memilih rumah teman, sebanyak 4 remaja memilih alasan ini, sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 11 “*di rumah temen, karena asik ada teman*”, Remaja 13 “*di rumah teman karena bisa mabar berdekatan*”, Remaja 15 “*kontrakan temen karena disitu ada wifi dan ada banyak anak-anak yang minat bermain games*”, dan remaja 21 “*rumah teman, karena bisa mabar (main bareng)*”. Alasan yang kedua mengapa memilih rumah teman karena dapat bebas beraktivitas/berekspresi. Alasan ketiga yaitu bebas beraktivitas, yang menjadi salah satu alasan remaja memilih rumah teman, sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 10 “*di rumah teman, karna kalo mabar enak gak ribet*”, dan Remaja 39 “*di rumah teman karena suasana lebih ramai dan seru*”. Suasana ramai dan seru yang diinginkan remaja saat bermain games dapat dipahami bahwa saat bermain remaja menginginkan kebebasan untuk berekspresi baik melalui lisan maupun perilaku. Memiliki fasilitas menjadi alasan keempat dan menjadi hal yang penting bagi remaja untuk bermain games, khususnya jaringan internet, sebagaimana diungkapkan Remaja 15 “*kontrakan temen karena disitu ada wifi...*”.

Sekolah menjadi salah satu pilihan remaja sebagai ruang bermain games untuk mengisi waktu luang saat istirahat sekolah. Namun dari 41 responden hanya 13 remaja yang menyatakan sekolah menjadi salah satu pilihan (Tabel 1 kolom B). Sejumlah 3 orang remaja menyatakan sekolah merupakan tempat favorit bermain games (Tabel 1 kolom C), dengan alasan dapat bermain games bersama teman. Sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 23 “*Sekolah, karena bisa bantai bermuda bareng bareng*”, Remaja 25 “*Di sekolah, karena mainnya bareng temen*”, dan Remaja 35 “*Sekolah, karena bisa bermain bersama*”. Semua alasan remaja menyatakan sekolah menjadi tempat favorit bermain games karena ingin bermain bersama dengan teman. Hal itu menunjukkan bahwa remaja sangat menginginkan untuk ‘mabar’ dengan teman yang mereka kenal.

Terdapat 1 orang remaja yang memilih café sebagai tempat favorit bermain games. Alasan remaja lebih menyukai café adalah dikarenakan dapat bermain bersama teman, sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 1 “*café karena bisa main bersama*”. Begitu juga dengan warnet yang disukai oleh 1 orang remaja sebagai tempat favorit bermain games. Alasan remaja menyukai warnet dikarenakan warnet memiliki fasilitas untuk bermain games khususnya wifi, sebagaimana diungkapkan oleh Remaja 30 “*Di warnet, karena lancar internetnya*”.

Tabel 1. Ruang yang Dipilih Neighborhood Remaja untuk Bermain Games

Remaja	Ruang-ruang Pilihan Remaja untuk Bermain Games	Ruang Pilihan Favorit dan Alasan Memilih Ruang	Kategori Karakteristik Ruang
A	B	C	D
1	“Di rumah dan di café”	“Cafe karna bisa maen bersama”	Bebas bermain games bersama teman
2	“Di rumah dan di sekolah”	“Di rumah, Bisa lebih leluasa dan bebas saat bermain”	- Bebas bermain games - Bebas beraktivitas/berekspresi
3	“Di mana saja, rumah seringnya”	“Rumah, Karena pake wifi, adem, dan ga harus mikirin lingkungan sekitar, lebih berasa me time”	- Bebas bermain games - Nyaman dan tenang - Memiliki fasilitas
4	“Di rumah dan di sekolah”	“Di rumah, karena bisa sambil bersantai”	- Bebas beraktivitas - Nyaman
5	“Di rumah sendiri	“Di rumah, karena di rumah sangat nyaman”	Nyaman
6	“Rumah dan sekolah	“Kamar, karena nyaman”	Nyaman
7	“Rumah, sekolah”	“Rumah karena itu tempat tinggal ku”	- Bebas beraktivitas
8	“Rumah, sekolah”	“Ya jelas di rumah, karena ada wifi”	Memiliki fasilitas
9	“Di rumah”	“Di ruang tamu, tempat nyaman”	Nyaman

Remaja	Ruang-ruang Pilihan Remaja untuk Bermain Games	Ruang Pilihan Favorit dan Alasan Memilih Ruang	Kategori Karakteristik Ruang
10	“Di rumah, di rumah teman, rumah sodara”	“Di rumah teman, karna kalo mabar enak ga ribet”	Bebas beraktivitas//berekspresi
11	“Di rumah kadang di rumah temen”	“Di rumaah temen, karna asik ada temen”	Bebas bermain games bersama teman
12	“Rumah”	“Di kamar ,alasannya karna”	--
13	“Di rumah teman, di sekolah, di rumah, di rumah saudara, dll”	“Di rumah teman (Karena bisa mabar berdekatan)”	Bebas bermain games bersama teman
14	“Di kelas dan rumah”	“Di rumah, alasannya karena dapat lebih berkonsentrasi dibanding tempat ramai (contohnya di kelas/sekolah)”	- Bebas beraktivitas/berekspresi - Konsentrasi bermain
15	“Kontrakan temen”	“Kontrakan temen. Karena disitu ada wifi dan banyak anak-anak yang minat bermain games”	- Memiliki fasilitas - Bebas bermain games bersama teman - Nyaman
16	“Dimana aja asalkan nyaman dan tepat kondisinya”	“Di kasur”	--
17	“Rumah sekolah dll”	“Di rumah”	- Nyaman
18	“Di rumah”	“Saya lebih menyukai bermain game di rumah saya karena rumah saya membuat saya merasa nyaman, dan saya pun bisa mengajak teman-teman saya untuk bermain game bersama di rumah saya”	- Bebas bermain games bersama teman
19	“Di rumah bisa, di sekolah jd, di rumah teman, dimana aja asal bisa main”	“Di rumah, karena ada wifi dan juga lebih enak kalau main gamenya dirumah sendiri daripada di tempat yang ramai”	- Memiliki fasilitas - Nyaman dan tenang - Konsentrasi bermain
20	“Di rumah, rumah teman”	“Di rumah, Karena lebih nyaman dan bebas melakukan apapun di rumah sendiri”	- Nyaman
21	“2 rumah teman/sendiri dan di sekolah”	“Rumah teman, karena bisa mabar”	Bebas bermain games bersama teman
22	“Dimana saja”	“Rumah”	--
23	“Di rumah dan sekolah”	“Sekolah, karna bisa bantai bermuda bareng bareng”	Bebas bermain games bersama teman
24	“Di rumah”	“Di rumah, karna ya enak aja, ga ribet kemanana mana”	- Nyaman - Bebas beraktivitas
25	“Di rumah, di sekolah”	“Di sekolah, karena mainnya bareng temen”	Bebas bermain games bersama teman
26	“Rumah”	“Di rumah karna wifi lancar terus nyaman”	- Memiliki fasilitas
27	“Di rumah, rumah teman, tempat saudara”	“Di kamar”	--
28	“Dimana pun (ketika dirumah, di sekolah, dirumah teman, maupun di saat di luar rumah)”	“Di rumah sambil berbaring di atas kasur, alasan nya karena nyaman”	- Nyaman - Bebas beraktivitas
29	“Warnet dan dirumah”	“Di rumah, karna di rumah lebih nyaman untuk bermain game tidak berisik dan bisa makan gratis kalo di warnet atau di manapun itu resiko nya ya berisik”	- Nyaman dan tenang - Konsentrasi bermain - Biaya murah - Memiliki fasilitas
30	“Di rumah sendiri atau di warnet”	“Di warnet, Karena lancar internetnya”	Memiliki fasilitas

Remaja	Ruang-ruang Pilihan Remaja untuk Bermain Games	Ruang Pilihan Favorit dan Alasan Memilih Ruang	Kategori Karakteristik Ruang
31	“Di rumah dan di rumah teman”	“Di rumah”	--
32	“Kalo roblox biasanya di rumah”	“Rumah, krn wifi lancar dan roblox btuh yang wifi lancar”	Memiliki fasilitas
33	“Dimana pun”	“Kamar lebih tenang”	Nyaman & tenang
34	“Di rumah, di kantor, di kampus”	“Di rumah, karena nyaman”	Nyaman
35	“Rumah, sekolah, rumah temen”	“Sekolah, karena bisa bermain bersama”	- Bebas bermain games bersama teman
36	“Di rumah”	“Kamar soalnya biar gada yg ganggu”	- Bebas bermain games - Konsentrasi bermain - Memiliki privasi
37	“Di rumah”	“Di ruang game di rumah karena nyaman”	Nyaman
38	“Di rumah, dimana saja waktu senggang”	“Di rumah, lebih nyaman”	Nyaman
39	“Di rumah dan rumah teman”	“Di rumah teman karena suasana lebih ramai dan seru”	Bebas beraktivitas/berekspresi
40	“Di rumah”	“Di rumah, karena lebih nyaman”	Nyaman
41	“Rumah dan rumah teman”	“Rumah karena ada wifi”	Memiliki fasilitas

Sumber: Analisis Peneliti (2025)

Rumah memiliki semua alasan bagi remaja untuk bermain games sehingga menjadi pilihan utama remaja untuk bermain games baik secara individu maupun bersama teman neighborhood. Hal ini sesuai dengan penelitian Hajaty, Sihombing, Ellisa [37] bahwa rumah telah menjadi ruang interaksi neighborhood remaja sehingga membentuk *the moving interaction space* yaitu ruang interaksi berpindah-pindah bergantian dari rumah remaja yang satu ke rumah remaja lainnya, *the impermanent interaction space* yaitu ruang interaksi terbentuk hanya ketika anggota neighborhood remaja berkumpul, dan *unexpected interaction space* yaitu proses berkumpul pada ruang tidak terencana. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa rumah tidak sekedar ruang privat tetapi dapat berubah menjadi ruang bersama ketika remaja bermain games bersama dengan teman neighborhoodnya, sebagaimana penelitian Hajaty, Sihombing, Ellisa [33] bahwa rumah sebagai ruang privat dapat bertransformasi menjadi ruang berkumpul remaja untuk melakukan berbagai aktivitas bersama. Namun hal tersebut bertolak belakang dengan studi Abbott-Chapman & Robertson [38] bahwa bagi remaja rumah adalah ruang personal yang memiliki makna privasi dan keamanan, sehingga memungkinkan adanya perubahan makna rumah.

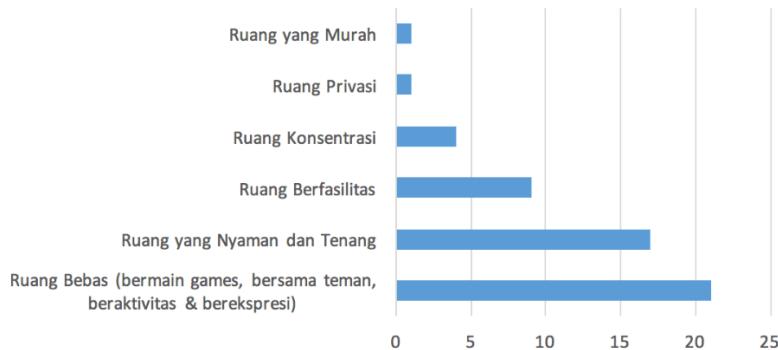
Karakteristik Ruang Yang Diinginkan Remaja

Berdasarkan analisis dari alasan-alasan remaja memilih ruang-ruang bermain games, maka diperoleh alasan-alasan utama remaja memilih ruang sebagaimana Tabel 1 Kolom C. Alasan-alasan tersebut menghasilkan kategori-kategori karakteristik ruang yang diinginkan neighborhood remaja (Tabel 1 Kolom D) yaitu terdiri dari ruang bebas bermain games dan ruang bebas bermain games bersama teman, ruang bebas berekspresi dan beraktivitas, ruang yang nyaman dan tenang, ruang berfasilitas, ruang konsentrasi, ruang privasi, ruang yang murah.



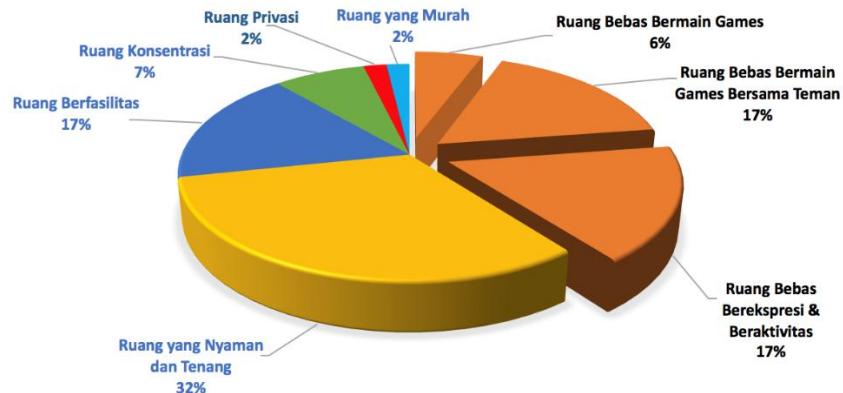
Gambar 1. Alasan remaja memilih ruang saat bermain games

Ruang bebas bermain games bersama teman merupakan karakteristik yang dimiliki oleh 4 ruang bermain games yaitu rumah, rumah teman, sekolah dan café (Gambar 1). Karakteristik ruang bebas bermain games berdasarkan preferensi remaja, hanya dimiliki oleh rumah saja. Karakteristik ruang bebas beraktivitas dan berkespresi menjadi alasan remaja memilih rumah dan rumah teman untuk bermain games. Karakteristik ruang yang nyaman dan tenang hanya dimiliki oleh rumah saja, yang menjadi alasan 17 remaja memilih rumah sebagai ruang bermain games (Gambar 1 dan Gambar 2). Karakteristik ruang berfasilitas menjadi alasan 9 remaja memilih rumah, rumah teman dan warnet. Sedangkan karakteristik ruang konsentrasi, ruang yang murah dan ruang privasi untuk bermain games hanya dimiliki oleh rumah saja. Maka karakteristik ruang yang bebas bermain bersama teman merupakan karakteristik utama yang diinginkan remaja untuk bermain games yang dimiliki oleh 4 ruang (rumah, rumah teman, sekolah dan kafe).



Gambar 2. Perbandingan karakteristik ruang bermain games yang diinginkan neighborhood remaja

Nilai prosentasi karakteristik ruang menunjukkan jumlah remaja yang menginginkan karakteristik tertentu pada ruang (Gambar 3). Semakin besar nilai prosentase karakteristik ruang menunjukkan bahwa karakteristik ruang tersebut semakin diinginkan remaja untuk dimiliki oleh ruang bermain games. Berdasarkan hasil analisis karakteristik ruang bebas bermain games bersama teman diinginkan oleh 9 remaja yaitu dengan prosentase 17%. Hal tersebut menunjukkan bahwa keinginan remaja untuk bermain games bersama teman cukup tinggi. Oleh karena itu ruang-ruang interaksi neighborhood memiliki kemungkinan besar akan lebih mudah terbentuk ketika adanya kebebasan untuk bermain games bersama teman. Ruang yang nyaman dan tenang memiliki prosentase yang paling tinggi yaitu 32%. Namun hasil analisis juga menunjukkan bahwa karakteristik ruang yang bebas yang terdiri dari ruang bebas bermain games (3 remaja dengan prosentase 6%), ruang bebas bermain games dengan teman (9 remaja dengan prosentase 17%), dan ruang bebas beraktivitas dan berekspresi (9 remaja dengan prosentase 17%), ketika ketiga ruang bebas dijumlahkan maka merupakan karakteristik yang sangat diinginkan oleh sebagian besar remaja yaitu 21 remaja dengan total prosentase sebesar 40% (Gambar 3), melebihi nilai prosentase karakteristik ruang yang nyaman dan tenang. Maka hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hajaty, Sihombing dan Ellisa [33] bahwa salah satu alasan kehadiran remaja pada ruang adalah kebebasan mengkonsumsi ruang dan waktu, yang memiliki hubungan yang kuat dengan karakteristik ruang yang bebas dengan privasi.



Gambar 3. Prosentasi karakteristik ruang yang diinginkan oleh neighborhood remaja saat bermain games

Postur Bermain Games Yang Disukai Remaja

Pada saat remaja bermain games sebagaimana Tabel 2 menunjukkan beberapa postur yang disukai remaja saat bermain games, yaitu posisi duduk di kursi, duduk di sofa, duduk di kursi dengan sandaran, duduk di lantai, duduk di lantai sambil bersadar, rebahan, serta duduk di kursi dengan meja. Berdasarkan postur-postur tersebut diperoleh kategori-kategori yang terdiri dari 3 postur berdasarkan posisi tubuh saat bermain games yaitu postur duduk tegak yang menunjukkan posisi tubuh pada kursi yang formal atau tegak, postur duduk santai yang menunjukkan posisi tubuh pada sofa, duduk bersandar ataupun duduk lesehan pada lantai, dan postur santai bebas yang menunjukkan posisi tubuh rebahan baik pada tempat tidur ataupun sofa.

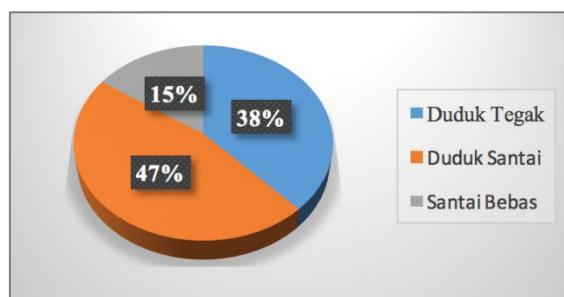
Tabel 2. Postur yang disukai remaja saat bermain games

Remaja	Posisi yang Disukai Saat Bermain games	Kategori Postur Bermain Games	Remaja	Posisi yang Disukai Saat Bermain games	Kategori Postur Bermain Games
1	“Duduk di kursi kalo sambil rebahan bisa membuat mata kita rusak”	Duduk tegak	22	“Duduk”	Duduk tegak Duduk santai
2	“Duduk di lantai”	Duduk santai	23	“Sofa”	Duduk santai
3	“Duduk di sofa”	Duduk santai	24	“Duduk di lantai, lebih enak bermain online, apa lagi tentang serang gitu”	Duduk santai
4	“Duduk di kursi”	Duduk tegak	25	“Lebih nyaman sambil rebahan atau duduk di lantai sih”	Duduk santai
5	“Duduk di kursi”	Duduk tegak	26	“Duduk di lantai”	Duduk santai
6	“Lebih nyaman sambil duduk”	Duduk tegak	27	“Rebahan”	Santai bebas
7	“Mana aja boleh, yang penting nyaman”	Duduk tegak Duduk santai	28	“Dimanapun asal nyaman”	Duduk santai Duduk tegak
8	“Semuanya sih, tergantung mood”	Duduk tegak Duduk santai Santai Bebas	29	“Di kursi yg ada mejanya kalau laptop, kalo hp lebih suka rebahan”	Santai bebas Duduk tegak Santai bebas
9	“Duduk di kursi yang ada sandaran dan nyaman”	Duduk santai	30	“Di kursi”	Duduk tegak
10	“Duduk di lantai sama duduk di kursi karna nyaman aja gituuu”	Duduk santai Duduk tegak	31	“Duduk di lantai”	Duduk santai
11	“Rebahan, nyaman aja”	Santai bebas	32	“Bisa rebahan bisa duduk karna nyaman aja”	Duduk santai Santai bebas
12	“Saya lebih nyaman duduk di kursi dan di lantai”	Duduk santai Duduk tegak	33	“Duduk di lantai lebih nyaman”	Duduk santai
13	“Rebahan karena nyaman”	Santai bebas	34	“Duduk di lantai”	Duduk santai

Remaja	Posisi yang Disukai Saat Bermain games	Kategori Postur Bermain Games	Remaja	Posisi yang Disukai Saat Bermain games	Kategori Postur Bermain Games
14	“Duduk di lantai, karena lebuh nyaman, dan bisa lebih gampamg untuk berinteraksi dibanding duduk di kursi”	Duduk santai	35	“Duduk karena bisa senderan ke dinding”	Duduk santai
15	“Duduk di lantai, karena bisa lebih fokus”	Duduk santai	36	“Duduk di lantai”	Duduk santai
16	“Rebahan dan duduk di kursi, rebahan kalo pas lagi nyantai, duduk pas lagi serius”	Santai bebas Duduk tegak	37	“Duduk di sofa”	Duduk santai
17	“Rebahan dll”	Santai bebas Duduk tegak Duduk santai	38	“Bermain game sambil duduk”	Duduk tegak Duduk santai
18	“Saya lebih pilih untuk duduk di kursi, tetapi duduk di lantai adalah alternatif yang masih nyaman untuk saya”	Duduk tegak Duduk santai	39	“Duduk di kursi”	Duduk tegak
19	“Saya lebih nyaman sambil rebahan, namun jika bersama teman saya, saya lebih suka bermain sambil duduk”	Santai bebas Duduk tegak	40	“Duduk di kursi”	Duduk tegak
20	“Duduk di kursi, karena lebih terbiasa di duduk di kursi”	Duduk tegak	41	“Duduk di kursi atau duduk di lantai sambil bersandar”	Duduk tegak Duduk santai
21	“Duduk di kursi”	Duduk tegak			

Sumber: Peneliti, 2025

Berdasarkan data dan hasil analisis pada Tabel 2, sebanyak 26 remaja hanya menyukai 1 kategori postur dan 15 remaja menyukai lebih dari 1 kategori postur saat bermain games. Secara keseluruhan, jumlah setiap kategori postur bermain games menunjukkan jumlah postur bermain games yang disukai oleh remaja, sehingga semakin besar prosentase setiap kategori menunjukkan bahwa postur tersebut semakin disukai oleh remaja. Maka berdasarkan kategori-kategori postur bermain games pada Tabel 2, duduk santai disukai oleh 27 remaja merupakan postur yang paling disukai dengan nilai prosentase sebesar 47%, sedangkan duduk tegak disukai oleh 22 remaja dengan prosentasi 38% dan santai bebas hanya disukai 9 remaja dengan prosentase 15% sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Prosentase Postur bermain games yang disukai remaja

Duduk santai merupakan kategori dari posisi tubuh pada sofa, duduk bersandar atau duduk lesahan pada lantai (Gambar 5). Meskipun duduk dalam keadaan santai, duduk dengan posisi statis lebih dari 30 menit dapat menyebabkan nyeri pada tubuh, sehingga memerlukan peregangan atau istirahat setiap 30-60 menit [39]. Maka pembentukan ruang bermain games yang mewadahi bermain bersama teman neighborhood akan memberikan dampak positif untuk meminimalkan posisi statis remaja saat bermain games dan memungkinkan remaja lebih aktif bergerak saat berinteraksi dengan teman-temannya.



Gambar 5. Ilustrasi postur bermain games duduk santai

4. KESIMPULAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui ruang-ruang yang dipilih remaja untuk bermain games, karakteristik ruang bermain games yang diinginkan neighborhood remaja dan postur bermain games yang disukai remaja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ruang-ruang bermain games yang dipilih adalah rumah, rumah teman, sekolah, café dan warnet. Rumah sebagai tempat tinggal remaja menjadi ruang yang paling dipilih remaja untuk bermain games baik secara individu ataupun bersama teman neighborhood. Karakteristik ruang yang diinginkan remaja adalah ruang bebas bermain games dan bersama teman, ruang bebas berekspresi dan beraktivitas, ruang yang nyaman dan tenang, ruang berfasilitas, ruang konsentrasi, ruang privasi, dan ruang yang murah. Karakteristik ruang yang paling diinginkan oleh sebagian besar remaja adalah karakteristik ruang yang bebas yaitu terdiri dari ruang bebas bermain games, ruang bebas bermain games dengan teman, dan ruang bebas beraktivitas dan berekspresi. Sedangkan postur bermain games yang disukai remaja saat bermain games adalah duduk tegak, duduk santai, dan santai bebas. Duduk santai merupakan postur bermain games yang paling disukai remaja. Implikasi hasil penelitian ini dapat bermanfaat sebagai pedoman untuk merancang ruang-ruang berkumpul remaja yang menerapkan karakteristik-karakteristik ruang bermain games yang diinginkan dan postur yang disukai, baik pada rumah, ruang café, ruang berkumpul di sekolah, serta penyediaan ruang-ruang bermain games bersama pada warnet atau ruang-ruang sosial lainnya. Hasil penelitian karakteristik ruang bermain games yang diinginkan remaja dapat menjadi pedoman dan diterapkan dengan rekomendasi desain berupa pengaturan fungsi dan hubungan antar ruang, akustik ruang, serta penyediaan fasilitas bermain games pada ruang. Sedangkan hasil penelitian postur yang disukai dapat diterapkan dengan rekomendasi desain berupa pemilihan elemen finishing dan furnitur pada ruang. Penerapan hasil penelitian pada rancangan ruang-ruang yang dipilih remaja untuk bermain games dapat bermanfaat untuk mewadahi keinginan remaja bermain games seraya berkumpul bersama teman, sehingga dapat meningkatkan interaksi tatap muka neighborhood remaja.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Indraprasta PGRI atas dukungan dana yang diberikan melalui program Penelitian Hibah Unindra dengan Nomor Kontrak 01673/SP3/KP/LPPM/UNINDRA/XI/2024. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Indraprasta PGRI atas dukungan dan fasilitasi yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wibowo, T. S., Mamis, S., Yahya, S. R., Romadloni, N. T., Witjaksono, G., Trianti, F. A., Nurislamiah, M., Fauzi, R., Silviana, S. C, Fadilah, R., Tantrisna, E., Pardosi, V. B. A, & Akmal, M. N. (2024). *Transformasi Teknologi Komunikasi*. CV. Aina Media Baswara, Kabupaten Kuningan.

- [2] APJII. 2024. APJII Jumlah Pengguna Internet Indonesia Tembus 221 Juta Orang. <https://apjii.or.id/berita/d/apjii-jumlah-pengguna-internet-indonesia-tembus-221-juta-orang> (diakses 27 Maret 2025).
- [3] We Are Social. 2024. Digital 2024: 5 Billion Social Media Users. Reports 31 Januari 2024. <https://wearesocial.com/uk/blog/2024/01/digital-2024-5-billion-social-media-users/> (diakses 14 September 2024).
- [4] Kemp, Simon. 2024. Digital 2024: Indonesia. https://datareportal-com.translate.goog/reports/digital-2024-indonesia?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc (diakses 27 Maret 2025).
- [5] Al-Ansi, A. M., Hazaimeh, M., Hendi, A., AL-hrinat, J., & Adwan, G. (2023). "How Do Social Media Influencers Change Adolescents' Behavior? An Evidence from Middle East Countries". *Heliyon*, 9(5), e15983. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15983>.
- [6] Surbakti, K. (2017). "Pengaruh Game Online Terhadap Remaja". *Jurnal Curere*, 01(01), 28-38.
- [7] Fahad, M. 2015. "Gaming Console." *Seminar Report*. Departement of Computer Science & Engineering. ZAD Institute of Engineering & Technology, Lucknow.
- [8] Nguyen, A., & Bavelier, D. (2023). Play in video games. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 153, Article 105386. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105386>.
- [9] Pasayat, A. K., Shrestha, M., & Priya, P. P. (2025). "Unleashing the Possibilities of Play: Analyzing the positive and negative consequences of multiplayer online gaming". *Entertainment Computing*, 52, 100898. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2024.100898>.
- [10] Ding, J., Shan, R., Chenmeng, M., Tu, M., Yu, Q., Kong, F., & Zhao, Q. (2021). "Are Online Games A Blessing or Evil? The moderating role of self-worth". *Thinking Skills and Creativity*, 41, 100915. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100915>.
- [11] Oscarido, J., Siswanto, Z. A., Maleke, D. A., & Gunawan, A. A. S. (2023). "The Impact of Competitive FPS Video Games on Human's Decision-making Skills". *Procedia Computer Science*, 216, 539–546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.167>.
- [12] Fonseca, X., Slingerland, G., Lukosch, S., & Brazier, F. (2021). "Designing for Meaningful Social Interaction in Digital Serious Games". *Entertainment Computing*, 36, 100385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2020.100385>.
- [13] Satura, A. & Rifayani, H. (2024). "Pengaruh Kecanduan Game Online Terhadap Keterampilan Sosial Individu: Analisis Dampak dan Implikasi". *Observasi: Jurnal Publikasi Ilmu Psikologi*, 2(1), 219–233. <https://doi.org/10.61132/observasi.v2i1.224>.
- [14] Gottfried, J. & Sidoti, O. 2024. "Teens and Video Games Today." *Pew Research Center*, <https://www.pewresearch.org/internet/2024/05/09/teens-and-video-games-today/> (Diakses 21 August 2024).
- [15] Hajaty, E. R. "Neighborhood dan Ruang Interaksi Imaginer", Disertasi, Universitas Indonesia. 2024.
- [16] Hardilla, D., Garcia, C. A., & Dewanker, B. J. (2025). "Temporal and Spatial Analysis Of Activity Patterns: A Case Study of Neighborhood Park in The Orio-Hibikino Area, Kitakyushu, Japan". *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2025.04.005>.
- [17] Proshansky, H. M., Fabian, A. K., & Kaminoff, R. (1983). "Place-Identity: Physical World Socialization of The Self". *Journal of Environmental Psychology*, 3(1), 57-83. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(83\)80021-8](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(83)80021-8).
- [18] Costa, C. S., Batista, J. S., Almeida, I., & Menezes, M. (2020). "Exploring Teenagers' Spatial Practices and Needs in Light of New Communication Technologies". *Cities*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102574>.
- [19] Félix, L., & Organista, M. (2024). "Understanding the neighborhoods' in-between spaces on spatial perception, social interaction, and security". *Frontiers of Architectural Research*, 13(1), 21–36. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.10.001>.
- [20] Ziaesaeidi, P., Cushing, D. F., Washington, T., & Buys, L. (2023). "Just to Make New Friends and Play With Other Children: Understanding Youth Engagement Within Neighbourhood Parks Using A Photo-Choice Tool". *Landscape and Urban Planning*, 235, 104757. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104757>.
- [21] Setiawan, C., Putu, I., Griadhi, I. P. A., & Primayanti, I. D. A. I. D. (2021). "Gambaran Postur dan Karakteristiknya pada Mahasiswa Kedokteran Umum". *Jurnal Medika Udayan*, 10(4), 13-22. <https://doi.org/10.24843.MU.2021.V10.i4.P03>.

- [22] Akbar, D., & Nilapsari, R. (2021). "Hubungan Posisi Duduk dengan Keluhan Nyeri Punggung Bawah pada Tenaga Kependidikan Fakultas Kedokteran Universitas Islam Bandung". *Jurnal Riset Kedokteran*, 1(1), 9–13. <https://doi.org/10.29313/jrk.v1i1.110>.
- [23] Oscarido, J., Siswanto, Z. A., Maleke, D. A., & Gunawan, A. A. S. (2023). "The Impact of Competitive FPS Video Games on Human's Decision-Making Skills". *Procedia Computer Science*, 216, 539–546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.167>.
- [24] Meng, Y., Shi, X., Cai, D., Ran, M., Ye, A., & Qiu, C. (2024). "Prevalence, Predictive Factors, and Impacts of Internet Gaming Disorder Among Adolescents: A Population-Based Longitudinal Study". *Journal of Affective Disorders*, 362, 356–362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.06.020>.
- [25] Yunhao, H., Sophie, E., Elizabeth M., C., & Bianca, K. (2025). "Player versus Player: A Systematic Review of Cyberbullying in Multiplayer Online Games". *Computers in Human Behavior Reports*, 18, 100675. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100675>.
- [26] Adžić, S., Al-Mansour, J., Naqvi, H., & Stambolić, S. (2021). "The Impact of Video Games on Students' Educational Outcomes". *Entertainment Computing*, 38, 100412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2021.100412>.
- [27] Pinandita, S., Anggraini, S. P., & Lestari, T. A. (2023). "Kualitas Ruang Komunal Sebagai Ruang Interaksi Sosial: Perbandingan Ruang Komunal Formal Dan Non Formal Di Perumahan Bekasi". *Sakapari* 11, 6(1), 954-964.
- [28] Hatem, N., Elshater, A., Afifi, S., & Alfiky, A. (2024). "Impact of Wireless Networking Technology on Social Interaction in Cairo's Public Spaces". *Ain Shams Engineering Journal*, 15(12), 103114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103114>.
- [29] Mady, C., & Hewidy, H. (2025). "The Public Library Building as Nexus for Social Interactions: Cases from Helsinki". *City, Culture and Society*, 40, 100610. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ccs.2024.100610>.
- [30] Chen, S., Sleipness, O., Christensen, K., Yang, B., Park, K., Knowles, R., Yang, Z., & Wang, H. (2024). "Exploring Associations Between Social Interaction and Urban Park Attributes: Design Guideline for Both Overall and Separate Park Quality Enhancement". *Cities*, 145, 104714. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104714>.
- [31] Guo, X., Yang, Y., Cheng, Z., Wu, Q., Li, C., Lo, T., & Chen, F. (2022). "Spatial Social Interaction: An Explanatory Framework of Urban Space Vitality and Its Preliminary Verification". *Cities*, 121, 103487. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103487>.
- [32] Sucipto, I. B. (2021). "Spektrum Ruang Komunal sebagai Wadah Interaksi Sosial bagi Penghuni pada Rumah Susun Sederhana Sewa di Jakarta". *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 10(3), 132–137. <https://doi.org/10.32315/jlbi.v10i3.53>.
- [33] Hajaty, E. R., Sihombing, A., & Ellisa, E. (2024). "Transformation of Home's Private Spaces into Gathering Spaces for Teenage Girls Neighborhood: Relationship Between Spatial Characteristics and Reasons for Presence". *Civil Engineering and Architecture*, 12(3), 1350–1368. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120305>.
- [34] Jo, Y. I., Lee, J. L., & Koo, J. H. (2018). "Effect of Physical Environment and Programs on the Social Interaction of Youth Space Users in Seoul in the Case of Pilot Projects". *Sustainability*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/su10124515>.
- [35] Ismail, A. S. (2025). "Youth Spaces and Places Design for the Development of Socio-spatial Communal Values". *International Journal of Art & Design (IJAD)*, 9(1), 1-14. <https://journal.uitm.edu.my/ojs/index.php/IJAD/index>.
- [36] Gibson, K. (2022). "Bridging the Digital Divide: Reflections on Using WhatsApp Instant Messenger Interviews in Youth Research". *Qualitative Research in Psychology*, 19(3), 611–631. <https://doi.org/10.1080/14780887.2020.1751902>.
- [37] Hajaty, E. R., Sihombing, A., & Ellisa, E. (2021). "Neighborhood and Occupant Interaction Space". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1), 012201. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012201>.
- [38] Abbott-Chapman, J., & Robertson, M. (1999). "Home as a Private Space: Some Adolescent Constructs". *Journal of Youth Studies*, 2(1), 23–43. <https://doi.org/10.1080/13676261.1999.10593022>.
- [39] Akbar, D., & Nilapsari, R. (2021). "Hubungan Posisi Duduk dengan Keluhan Nyeri Punggung Bawah pada Tenaga Kependidikan Fakultas Kedokteran Universitas Islam Bandung". *Jurnal Riset Kedokteran*, 1(1), 9–13. <https://doi.org/10.29313/jrk.v1i1.110>.

SEISMIC PERFORMANCE OF A PRIVATE RESIDENCE BUILDING DESIGNED WITH NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS

***Caetano José Freitas¹**

¹Student of the Civil Engineering Master's Degree Study Program, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia

^{*)}Email: 245119919@students.uajy.ac.id

ABSTRACT

This study aims to evaluate the seismic performance of a private residence building employing a Special Moment Resisting Frame (SMRF) system through Nonlinear Time History Analysis (NLTHA). Reinforced concrete (RC) buildings with SMRF systems are widely used in seismic regions due to their superior ductility and energy dissipation capabilities. Despite the increasing adoption of SMRF systems in urban settings, their behavior under real earthquake excitations—especially in developing countries such as Timor-Leste—remains underexplored. In this study, a five-story SMRF RC private residence building located in Delta-4, Dili, is analyzed using SAP2000 v19. The structural model was designed following the Indonesian codes SNI 1726:2019 for seismic design and SNI 2847:2019 for reinforced concrete detailing, as no national code exists in Timor-Leste. Four ground motion records (El Centro 1940, Northridge 1994, Kobe 1995, and Chi-Chi 1999) were scaled using SeismMatch v1.3.0 to approximately match the target response spectrum. Key performance indicators such as base shear, story drift ratios, and plastic hinge development were assessed. The structure performed within Immediate Occupancy (IO) and Life Safety (LS) levels under all input motions. Plastic hinges developed primarily in beams, supporting the expected strong-column weak-beam mechanism. This outcome affirms the ductile design philosophy and highlights the building's ability to maintain functionality during seismic events. This study concludes that NLTHA is a powerful tool for evaluating structural performance and can inform performance-based seismic design in countries with emerging seismic engineering practices. The findings support the broader use of SMRF systems in similar contexts and recommend further investigation of taller structures and other frame configurations.

Keyword: SMRF RC Buildings, Nonlinear Time History Analysis, Seismic Performance, Plastic Hinge Mechanism.

1. INTRODUCTION

Earthquakes pose a major threat to structures and human life, especially in seismically active regions such as Timor-Leste. Located at the convergence of the Indo-Australian, Pacific, and Eurasian plates, Timor-Leste experiences high seismic risks. Historical records and regional tectonic settings indicate the potential for destructive ground shaking across the country, even in urban zones such as Dili. However, modern seismic engineering practices in the country remain limited, due to a lack of technical expertise, regulatory frameworks, and local design codes. Consequently, buildings in Timor-Leste are potentially vulnerable to future seismic events.

One of the most effective strategies for reducing earthquake risk is the implementation of Performance-Based Seismic Design (PBS). Unlike prescriptive code-based approaches, PBS enables engineers to explicitly assess how a structure will perform under various earthquake intensities. Among the available analysis tools, Nonlinear Time History Analysis (NLTHA) stands out for its ability to capture the dynamic, inelastic behavior of structures subjected to real ground motion records. This method not only provides detailed insight into damage mechanisms but also supports informed decision-making in both design and retrofit applications.

In earthquake-prone areas, structural systems such as Special Moment Resisting Frames (SMRF) have been extensively used because of their high ductility and energy dissipation capacity. SMRF systems allow buildings to undergo large deformations while maintaining overall stability. For regions like Timor-Leste, the adoption of such systems is particularly relevant given the absence of national building codes. Engineers and practitioners in the country commonly rely on foreign standards such as Indonesia's SNI 1726:2019 for seismic design and SNI 2847:2019 for reinforced concrete detailing. These standards offer comprehensive guidelines suitable for adaptation in regions with similar seismic profiles.

However, despite the growing use of SMRF systems and nonlinear dynamic methods, there remains a scarcity of case studies that evaluate the seismic performance of actual buildings in Timor-Leste. This gap in practical knowledge hinders the development of local engineering practices and the establishment of context-specific guidelines. Moreover, limited awareness of structural behavior under dynamic loads further complicates efforts to improve seismic resilience at the community level.

This research seeks to address this gap by evaluating the seismic performance of a five-story private reinforced concrete building located in Delta-4, Dili. The structure is analyzed using NLTHA with input from real earthquake records, scaled to reflect local hazard conditions. The primary focus is on assessing story drift behavior, plastic hinge development, and the applicability of SNI-based design in the Timor-Leste context.

This research aims to:

1. Evaluate the seismic performance of a five-story RC building with SMRF using nonlinear dynamic analysis.
2. Identify plastic hinge development and drift behavior under selected ground motions.
3. Examine the suitability of SNI-based design for seismic performance in Timor-Leste.

2. LITERATURE REVIEW

Performance-Based Seismic Design (PBS) has emerged as a vital framework in earthquake engineering, especially for regions with high seismic risk and limited regulatory infrastructure. PBS focuses on designing structures to meet specific performance objectives during and after an earthquake, rather than simply satisfying prescriptive code requirements. The core performance levels—Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), and Collapse Prevention (CP)—are defined through quantitative criteria such as inter-story drift limits and structural damage thresholds. These concepts are thoroughly discussed in FEMA 273 and ATC-40, which provide guidance for performance-based evaluation and retrofit of existing structures.

Within the PBS framework, Nonlinear Time History Analysis (NLTHA) stands out as one of the most comprehensive methods available. Unlike linear or equivalent static approaches, NLTHA captures the full range of structural behavior under real earthquake records. It simulates the inelastic time-dependent response of buildings, allowing engineers to observe the development of plastic hinges, energy dissipation, and potential collapse mechanisms. NLTHA is particularly useful for analyzing irregular or complex structures, as well as for evaluating retrofit strategies.

SMRF (Special Moment Resisting Frame) systems have been widely adopted in modern seismic design due to their high ductility and energy absorption capacity. According to Paulay and Priestley (1992), SMRF structures are expected to form plastic hinges primarily at beam ends, enabling them to deform without significant loss of strength. This ductile behavior is essential for ensuring building safety during major earthquakes. The proper detailing of SMRF members—especially confinement of concrete, spacing of transverse reinforcement, and development lengths—plays a critical role in maintaining structural integrity.

In the context of countries like Timor-Leste, where national seismic codes are still under development, foreign standards such as Indonesia's SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019 are often referenced. Several studies (Bojórquez et al., 2020; Khoshnoudian et al., 2021; Kim & Lee, 2022) confirm the effectiveness of combining PBS and SMRF systems using NLTHA in producing resilient buildings in similar developing contexts. However, the application of these methods in Timor-Leste is still rare and underdocumented.

This study contributes to the limited body of knowledge by demonstrating the practical application of NLTHA on an SMRF RC building designed using SNI standards. The findings aim to encourage broader adoption of performance-based methods and serve as a benchmark for future developments in structural engineering practice in Timor-Leste.

3. MATERIALS AND METHODS

Building Description

The building under study is a five-story reinforced concrete private residence located in Delta-4, Dili, Timor-Leste. It has a total height of 21.00 meters, with each floor having a uniform story height of 3.60 meters. The structural layout includes a central corridor system with rooms distributed symmetrically along both sides, as seen in the floor plans. The ground floor accommodates service rooms, an office, and communal spaces, while the upper floors contain residential rooms. The building's footprint measures approximately 25.20 meters in width and 17.10 meters in depth.

Structural Configuration

The structure adopts a Special Moment Resisting Frame (SMRF) system with the following primary members:

- Beams: B1 (30×50 cm) and B2 (25×40 cm)
- Columns: C1 (50×50 cm) and C2 (40×40 cm)
- Slabs: 15 cm (floor 1–3), 13 cm (top floor)

The materials used include normal-weight concrete with $f_c = 25$ MPa and reinforcement bars BJ37 and BJ57. All design and detailing follow SNI 2847:2019 provisions. Foundation details and soil properties were assumed based on local practice due to lack of geotechnical investigation.

Modeling and Analysis Tools

The 3D model was constructed using SAP2000 v19. The frame elements were modeled as nonlinear beam-column elements. The model incorporated 12 vibration modes through eigenvalue analysis. Dead loads and live loads were applied by referring to the principles of SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019. While the design referred to these standards, full compliance with SNI 1726:2019—particularly regarding bidirectional ground motion requirements—was not achieved due to practical constraints in ground motion data and software capability. The self-weight of structural elements was automatically considered by the software.

Seismic Input and Scaling

Four historical ground motion records were selected: El Centro (1940), Northridge (1994), Kobe (1995), and Chi-Chi (1999). Each accelerogram was scaled using SeismMatch v1.3.0 to approximately match the target design spectrum. The scaling was applied in a single direction due to constraints in bidirectional input processing, which is acknowledged as a limitation and indicates that the method only partially complies with the bidirectional ground motion input requirement of SNI 1726:2019. Nevertheless, the approach remains suitable for performance-based evaluation, particularly in contexts where full bidirectional ground motion data and local seismic design codes are unavailable, such as in Timor-Leste.

Plastic Hinge Definition and Performance Criteria

Plastic hinges were defined as per FEMA guidelines using default hinge properties: M3 hinges for beams and P-M-M hinges for columns. The structural performance was evaluated based on inter-story drift and hinge formation under ATC-40 criteria. The performance levels are:

- Immediate Occupancy (IO): drift $\leq 1\%$
- Life Safety (LS): drift 1%–2%
- Collapse Prevention (CP): drift $> 2\%$

The use of ATC-40 performance criteria ensures that structural response can be assessed objectively, even in the absence of national performance level definitions in Timor-Leste. This makes the methodology adaptable for local applications while still grounded in international standards.

Output Parameters

The following structural responses were extracted:

- Base shear forces (X and Y direction)
- Story drift and drift ratios per floor
- Number and location of plastic hinges
- Maximum roof displacement. These results were used to determine whether the building met performance expectations under each ground motion input.

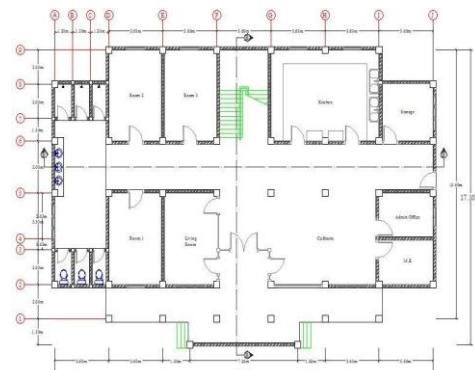


Figure 1. Ground floor plan

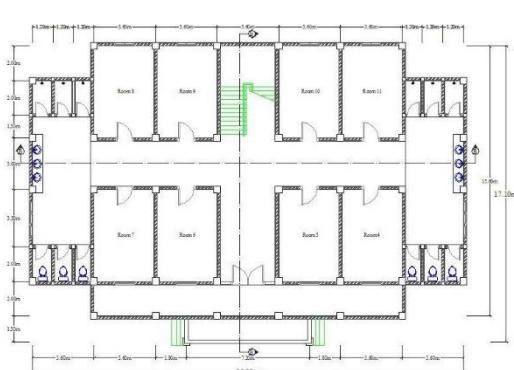


Figure 2. 1st-3rd floor plan

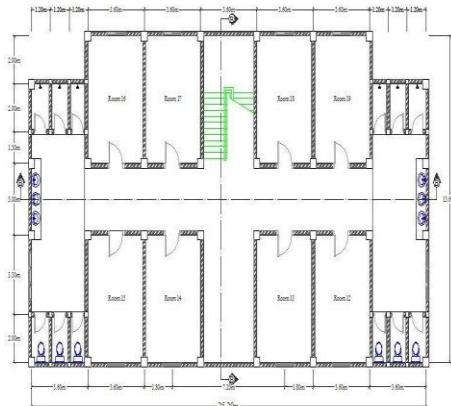


Figure 3. 4th floor plan

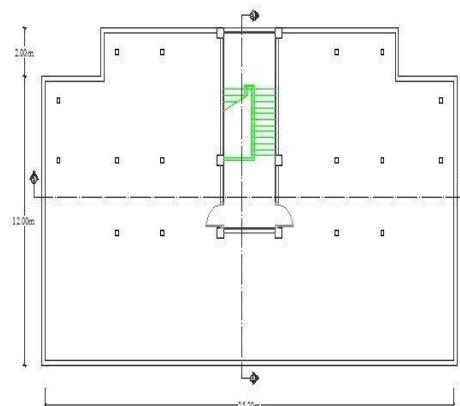


Figure 4. Top floor

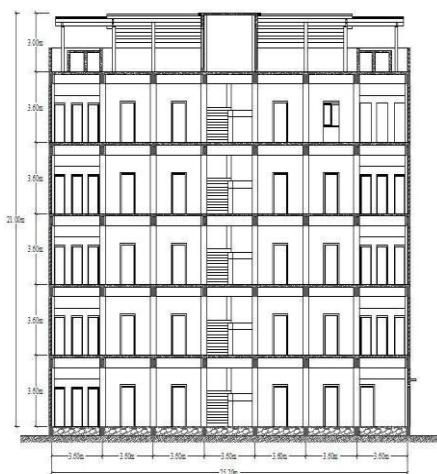


Figure 5. Section A-A

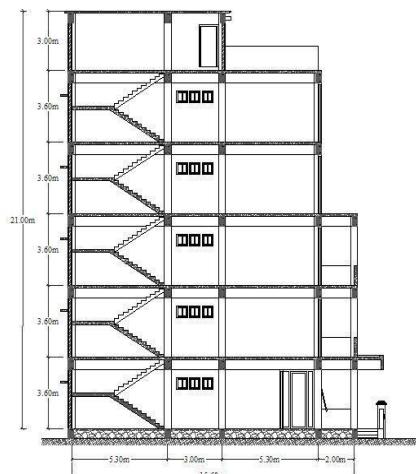


Figure 6. Section B-B

4. RESULTS AND DISCUSSION

Modal Analysis and Base Shear Validation

Modal analysis conducted in SAP2000 v19 produced a fundamental period of 0.679 seconds. A total of 12 vibration modes were included, capturing over 90% of the mass participation in both translational directions.

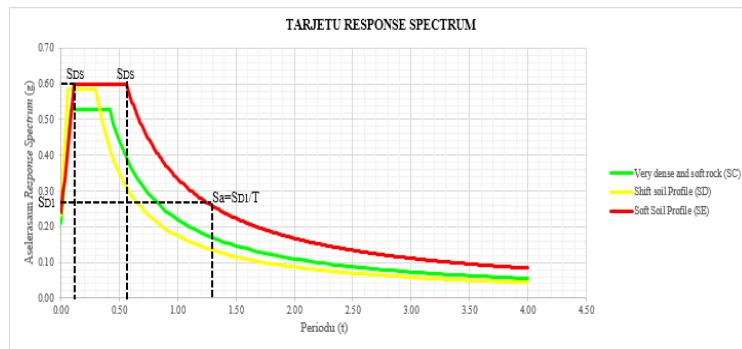
Table 1. Period with frequency

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
MODAL	Mode	1	0.679	1.472	9.251	85.578
MODAL	Mode	2	0.660	1.514	9.514	90.511
MODAL	Mode	3	0.613	1.632	10.257	105.199
MODAL	Mode	4	0.275	3.635	22.837	521.536
MODAL	Mode	5	0.266	3.754	23.590	556.488
MODAL	Mode	6	0.248	4.025	25.289	639.524
MODAL	Mode	7	0.155	6.448	40.513	1641.303
MODAL	Mode	8	0.152	6.600	41.468	1719.584
MODAL	Mode	9	0.138	7.226	45.402	2061.362
MODAL	Mode	10	0.124	8.078	50.755	2576.046
MODAL	Mode	11	0.122	8.197	51.504	2652.644
MODAL	Mode	12	0.120	8.362	52.543	2760.726

These values were used to calibrate the response spectrum analysis and validate the applied base shear. Scaling was applied as required to meet the minimum $0.85 \times V_1$ criterion, ensuring consistency with design code expectations.

Seismic Load Distribution and Structural Response

The applied seismic loads, generated from four matched earthquake records, were used to analyze building response in the nonlinear domain. The peak base shear varied between 450 kN and 610 kN across different records.



Graphic 1. Spectrum Response Target

The response was symmetrical in both X and Y directions due to the regular layout of the building and uniform stiffness distribution.

Inter-Story Drift Evaluation

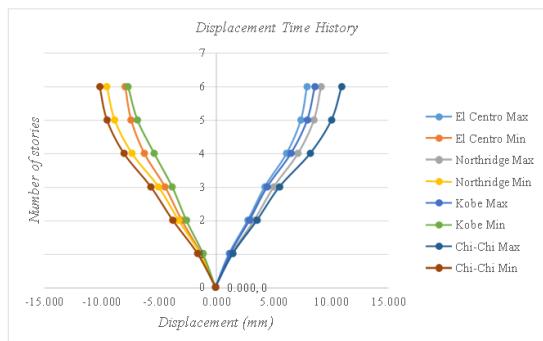
Inter-story drift ratios were analyzed for all floors and compared with performance level criteria. The maximum drift ratio observed was 1.8%, which remained within the Life Safety (LS) threshold per ATC-40. Most drift ratios fell below 1.0%, confirming that the structure maintained Immediate Occupancy (IO) under three of the four ground motions.

Table 2. Serviceability limit performance

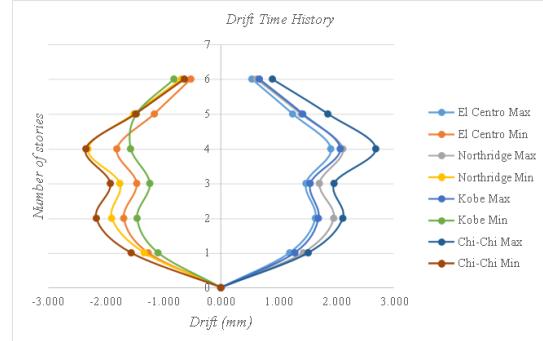
Story	H (m)	Displacement X (m)	Drift X (mm)	Displacement Y (m)	Drift Y (mm)	Criteria Δs (m) $((0.03/R)*H)$	OBS
6	3	0.01343	0.00091	0.01376	0.00108	0.01125	OK
5	3.6	0.01253	0.00201	0.01269	0.00223	0.01350	OK
4	3.6	0.01052	0.00310	0.01046	0.00322	0.01350	OK
3	3.6	0.00742	0.00249	0.00724	0.00246	0.01350	OK
2	3.6	0.00493	0.00284	0.00478	0.00277	0.01350	OK
1	3.6	0.00209	0.00209	0.00201	0.00201	0.01350	OK
Base	0	0	0	0	0	0	OK

Table 3. X and Y axis ultimate limit performance

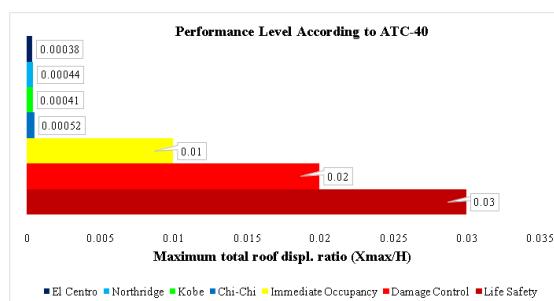
Story	H (m)	Disp X (m)	Drift X (m)	$\xi * Drift$ (X) (m)	Disp Y (m)	Drift Y (m)	$\xi * Drift$ (Y) (m)	Criteria Δs (m) $(0.02*H)$	OBS
6	3	0.01343	0.00091	0.00502	0.0003	0.00003	0.00016	0.06	OK
5	3.6	0.01253	0.00201	0.01111	0.00027	0.00004	0.00023	0.072	OK
4	3.6	0.01052	0.0031	0.01716	0.00023	0.00006	0.00034	0.072	OK
3	3.6	0.00742	0.00249	0.01379	0.00016	0.00006	0.0003	0.072	OK
2	3.6	0.00493	0.00284	0.01573	0.00011	0.00006	0.00033	0.072	OK
1	3.6	0.00209	0.00209	0.0116	0.00005	0.00005	0.00034	0.072	OK
Base	0	0	0	0	0	0	0	0	OK



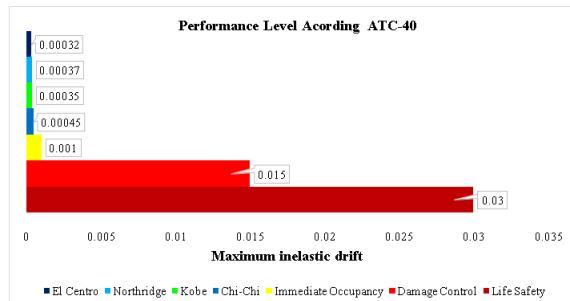
Graphic 2. Displacement Time History



Graphic 3. Drift Time History



Graphic 4. Maximum total roof displacement ratio



Graphic 5. Maximum inelastic drift.

The largest drifts occurred at intermediate floors due to natural mode shapes and mass concentration.

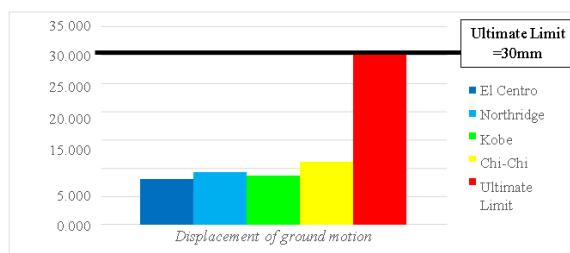
Plastic Hinge Development

The nonlinear analysis indicated the formation of plastic hinges mainly at beam ends, particularly on the second and third floors. This behavior confirms the ductile mechanism intended by SMRF design, adhering to the strong-column weak-beam philosophy. No plastic hinges were found in the columns, even at peak excitation, indicating proper detailing and redundancy.

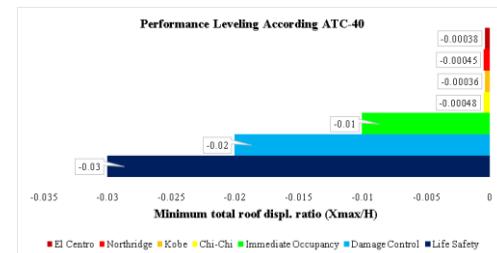
The hinge performance levels were within the IO and LS ranges, with no element reaching Collapse Prevention (CP).

Roof Displacement and Overall Performance

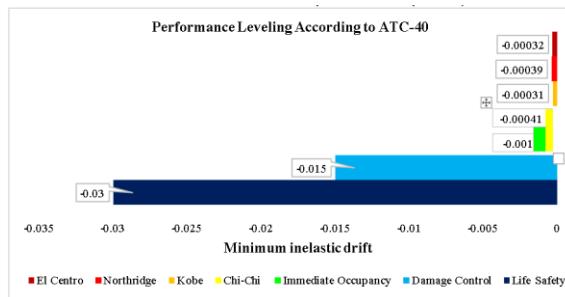
Maximum roof displacements ranged from 22 mm to 28 mm, significantly below the ultimate displacement limit of 420 mm. Time history plots revealed smooth displacement curves, suggesting good energy dissipation and minimal residual deformation.



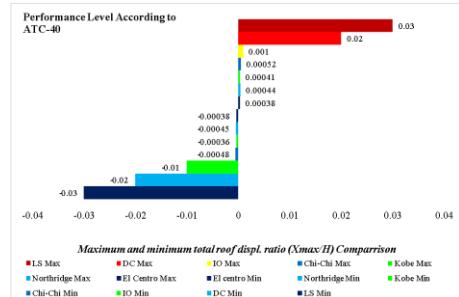
Graphic 6. Displacement



Graphic 7. Maximum total roof displacement ratio



Graphic 8. Maximum inelastic drift.



Graphic 9. Max & min total roof displ. Ratio Comparison

The absence of structural irregularities contributed to stable dynamic behavior across all time steps.

Summary of Structural Performance

Overall, the structure met performance expectations under all ground motion inputs. The SMRF system demonstrated its effectiveness in maintaining elastic or near-elastic response during moderate to strong seismic events. These results validate the suitability of the design and analysis approach based on SNI standards, even when applied in a region like Timor-Leste where localized codes are absent.

Table 4. Summary of Structural Performance Metrics

Earthquake Record	Max Drift (%)	Max Roof Displacement (mm)	Plastic Hinge Location	Performance Level
El Centro(1940)	0.96	24.1	Beam ends (2nd—3rd floor)	IO
Northridge (1994)	1.02	25.8	Beam ends (2nd—4th floor)	IO-LS
Kobe (1995)	1.78	27.9	Beam ends (3rd floor)	LS
Chi-Chi (1999)	1.45	26.2	Beam ends (2nd-3rd floor)	IO-LS

Table 5. Inter-story Drift per Floor (Kobe Earthquake Example)

Story	Drift X (mm)	Drift Y (mm)
5	1.54	1.48
4	2.23	2.16
3	2.68	2.61
2	2.21	2.13
1	1.37	1.30

Additionally, the applied spectral acceleration parameters ($S_s = 0.6g$, $S_1 = 0.15g$) generated a target response spectrum corresponding to soft soil conditions (Site Class SE). Due to differences in base shear from spectrum analysis (less than V_1), correction factors $FS_x = 1.011$ and $FS_y = 1.043$ were applied to scale the responses. While this deviates from the strict bidirectional requirements of SNI 1726:2019, the procedure ensured that the adjusted spectral response was sufficient for design-level performance evaluation.

These visual and numerical indicators collectively confirm that the building satisfies performance targets and supports the reliability of the NLTHA approach for SMRF RC structures in high-risk seismic zones like Timor-Leste.

5. CONCLUSION

Based on the Nonlinear Time History Analysis (NLTHA), the structural performance of the five-story SMRF RC private residence building has been evaluated comprehensively. The results indicate that:

- The structure's maximum displacement and drift remain within the acceptable limits specified by SNI 1726:2019 and ATC-40, with no instance of Collapse Prevention (CP) level performance observed.
- Plastic hinges developed primarily at beam ends, consistent with the intended strong-column weak-beam mechanism and ductile behavior expected from SMRF systems.
- The building achieved an Immediate Occupancy (IO) performance level under all ground motion inputs, indicating minimal structural damage and full post-earthquake functionality.

Considering the building's intended use as a private residence, this IO-level performance is both appropriate and desirable. Residential structures must remain safe and usable immediately after an earthquake to ensure occupant safety and minimize disruption, and the results confirm that this building meets such expectations.

Therefore, despite limitations in bidirectional input processing and local geotechnical data, the design approach using Indonesian SNI standards proves to be suitable for seismic performance objectives in the context of Timor-Leste.

REFERENCES;

- [1] W. K. T. A. S. Moghadam, "Seismic performance of RC moment-resisting frames designed based on PBSD concepts," *Engineering Structures*, vol. 212, p. 10519, 2020.
- [2] J.-S. J. S. Mangalathu, "Classification of building damage states using machine learning and performance-based features from NLTHA," *Structures*, vol. 30, p. 55–66, 2021.
- [3] M. R. M. A. H. G. I. Aghayan, "Probabilistic seismic performance assessment of RC buildings using NLTHA and fragility curves," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 154, pp. 107-132, 2022.
- [4] C. C. A. K. Chopra, "Comparison of nonlinear static and dynamic seismic analysis of RC frame buildings," *J. Struct. Eng.*, vol. 146, p. 04020110, 2020.
- [5] M. M. M. Amini, "Effect of modeling uncertainties on seismic response of RC buildings subjected to near-fault ground motions," *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, vol. 48, p. 280–295, 2019.
- [6] M. J. W. P. G. A. R. Barbosa, "Assessing code-compliant and PBSD-based RC buildings under extreme seismic demands," *J. Earthquake Eng.*, vol. 27, p. 789–812, 2023.
- [7] A. K. R. Setiawan, "Application of nonlinear time history analysis for seismic performance of mid-rise RC buildings in Indonesia," *J. Earthquake Eng. Vibration*, vol. 15, p. 320–335, 2021.
- [8] J. R.-G. A. R.-S. E. Bojórquez, "Evaluation of the seismic performance of RC buildings using time history analysis," *Engineering Structures*, vol. 210, p. 110270, 2020.
- [9] M. J. N. P. T. Paulay, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, New York: John Wiley & Sons, 1992.
- [10] FEMA, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273), Washington, D.C.: FEMA, 1997.
- [11] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40), Redwood City, CA: Applied Technology Council, 1996.
- [12] BSNI, SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [13] BSNI, SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [14] CSI, "SAP2000 v.19 – Integrated Software for Structural Analysis and Design," Computers and Structures, Inc., Walnut Creek, CA, 2017.
- [15] CSI, "SAP2000 Nonlinear Analysis Manual," Computers and Structures, Inc., Walnut Creek, CA, 2016.
- [16] PEER, PEER Ground Motion Database, Berkeley, CA: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [17] Seismosoft, "SeismMatch v1.3.0 User Manual," Seismosoft Ltd., Pavia, Italy, 2020.
- [18] USGS, El Centro Earthquake Strong Motion Data, California: United States Geological Survey, 1940.
- [19] USGS, Northridge Earthquake Report, California: United States Geological Survey, 1994.
- [20] JMA, Kobe Earthquake Report (Great Hanshin), Japan: Japan Meteorological Agency, 1995.
- [21] C. (Taiwan), Chi-Chi Earthquake Report, Taiwan: Central Geological Survey, 1999.

EVALUASI RUANG KELAS ANAK USIA DINI DITINJAU DARI ASPEK PSIKOLOGI ARSITEKTUR

*Refranisa¹, M.Arya Sapcahadi², Salsabila Febri³

^{1,2,3}Program Studi Arsitektur, Institut Teknologi Indonesia, Tangerang Selatan

^{*})Email : refranisa@iti.ac.id

ABSTRACT

TK Islam Al-Fath is a kindergarten level educational institution located in Pamulang District, South Tangerang City, Banten Province. The learning space facilities designed at the institution are flexible with an interior that uses bright colors designed to stimulate children's imagination and creativity. This is related to the application of architectural psychology which plays an important role in providing an environment that supports optimal child growth and development at an early age. This study aims to evaluate how much psychological aspects are applied to the classroom of TK Islam Al-Fath in order to determine factors such as the condition of furniture that is directly related to users, the condition of the spatial arrangement for users, the method used is observation of elements of architectural psychology. The results of this study indicate that in the design of the classroom, there needs to be adjustments in the selection of colors, flexibility of furniture, and lighting in order to create a more comfortable and conducive learning environment for children.

Keyword: Early Childhood, Classroom Interior, Child Growth and Development.

ABSTRAK

TK Islam Al-Fath adalah lembaga pendidikan tingkat Taman Kanak-Kanak yang berada di Kecamatan Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten. Fasilitas ruang belajar yang dirancang pada lembaga tersebut fleksibel dengan interior yang menggunakan warna-warna cerah yang dirancang untuk merangsang imajinasi dan kreativitas anak. Hal tersebut berkaitan dengan penerapan psikologi arsitektur yang berperan penting dalam memberikan lingkungan yang mendukung perkembangan optimal anak-anak di usia dini. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa besar aspek psikologi yang terimplementasikan ada ruang kelas Tk Islam Al-Fath guna mengetahui faktor-faktor seperti kondisi dari perabot yang berhubungan langsung dengan pengguna, kondisi penataan ruang terhadap pengguna. Metode yang dilakukan adalah observasi pengamatan elemen-elemen psikologi arsitektur. Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa desain ruang kelas perlu penyesuaian dalam pemilihan warna, fleksibilitas furnitur, dan pencahayaan agar dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih nyaman dan kondusif bagi anak-anak.

Kata kunci: Evaluasi, interior ruang kelas, psikologi arsitektur, anak usia dini

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tk Islam Al-Fath adalah lembaga pendidikan tingkat taman kanak-kanak yang berada di Kecamatan Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten. Sekolah ini didirikan pada tahun 2016, berdasarkan Surat Keputusan Pendirian Nomor 421.1/Kep.2369-Dindik dan berada di bawah naungan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Sebagai institusi pendidikan, Tk Islam Al-Fath mengutamakan pembentukan karakter anak sesuai nilai-nilai keislaman dan mendorong perkembangan holistik yang mencakup aspek kognitif, emosional, sosial, serta fisik. Dengan pendekatan pembelajaran yang menyenangkan, untuk berupaya menciptakan lingkungan yang aman, nyaman, dan mendukung tumbuh kembang anak di usia emas mereka. Sekolah ini juga menanamkan nilai-nilai moral, budaya, dan spiritual sebagai bagian dari kurikulumnya, sehingga anak-anak tidak hanya mendapatkan pendidikan akademik tetapi juga pembentukan karakter yang kokoh.

Dalam fasilitasnya, Tk Islam Al-Fath menyediakan ruang belajar yang dirancang agar anak-anak dapat berekspresi dan beraktivitas dengan leluasa. Warna-warna cerah dan desain interior yang fleksibel digunakan untuk merangsang imajinasi dan kreativitas mereka. Guna menciptakan pendidikan yang berkualitas perlu adanya sarana dan prasarana yang mendukung, salah satunya ruang kelas. Ruang kelas merupakan tempat kegiatan atau aktivitas inti dari sekolah yang perlu diperhatikan dari segi penataan ruang kelas untuk menunjang kegiatan belajar mengajar [3]. Ruang belajar taman kanak-kanak haruslah penuh keceriaan, tidak membuat anak tertekan, dan meningkatkan kreatifitas anak. Oleh karena sebagian besar waktunya dihabiskan di sekolah atau ruang belajar [9].

Psikologi arsitektur menjadi penting untuk digunakan sebagai metoda pendekatan desain pada pendidikan anak usia dini dan sekolah dasar, karena memiliki daya dukung ilmu psikologi dalam menciptakan lingkungan binaan, yang mampu menghasilkan respon berupa perilaku yang diinginkan berupa perkembangan yang sesuai dengan karakteristik anak (Tri Suci H, Tri Yuni, 2014). Faktor Yang mempengaruhi psikologi Ruangan terhadap kenyamanan penggunanya yang akan dibahas meliputi factor langsung dan tidak langsung. Faktor-faktor

Langsung contohnya seperti kondisi dari perabot yang berhubungan langsung dengan pengguna, kondisi penataan ruang terhadap pengguna, faktor visual ruang terhadap pengguna [11]. Oleh karena itu, dilakukannya suatu observasi atau pengamatan dan analisis mengenai psikologi arsitektur pada interior ruang kelas yang optimal untuk mendukung perkembangan psikologi anak usia.

Tinjauan Pustaka

Pendidikan anak usia dini sangat bergantung pada lingkungan yang mendukung perkembangan fisik, emosional, dan sosial anak. Ruang kelas yang nyaman dan menyenangkan dapat menjadi kunci dalam menciptakan suasana belajar yang efektif. Dalam hal ini, desain ruang kelas yang mempertimbangkan faktor psikologis, seperti pemilihan warna dan pembagian zona aktivitas, berperan penting dalam merangsang kreativitas dan interaksi sosial anak.

Ruang Kelas Anak Usia Dini

Ruang kelas adalah tempat anak belajar dan tumbuh, sehingga harus dirancang agar nyaman, aman, dan mampu mendorong kreativitas serta interaksi sosial. Warna-warna lembut seperti pastel dapat menciptakan suasana yang tenang dan menyenangkan [7]. Dengan menggunakan elemen-elemen interior seperti warna, ruang kelas dapat membantu memenuhi lingkungan belajar anak agar anak tetap tertarik untuk belajar, sehingga mereka dapat berkembang secara optimal. Pembelajaran akan berlangsung lebih lama jika ruang kelasnya menyenangkan. Penataan ruang kelas adalah komponen penting dari pengelolaan kelas. Penataan kelas memerlukan perhatian dan perencanaan yang sungguh-sungguh dalam proses pembelajaran. Ruangan kelas yang ditata dengan baik, akan membuat peserta didik menjadi nyaman, sehingga berkonsentrasi untuk belajar. Penataan ruangan kelas perlu dilakukan untuk menciptakan ruangan kelas yang nyaman dengan memperhatikan standarisasi yang ada (Sari, 2004).

Psikologi Arsitektur

Psikologi arsitektur adalah sebuah bidang studi yang mempelajari hubungan antara lingkungan binaan dan pengaruhnya terhadap perilaku manusia yang ada di dalamnya [1]. Dalam penerapan psikologi arsitektur pada Sekolah Pendidikan Anak Usia Dini bangunan mampu berkomunikasi antara anak-anak dengan lingkungannya, dimana karakter anak-anak yaitu eksploratif, egosentrisk, aktif, dinamis, rasa ingin tahu tinggi, bermain sambil belajar, konsentrasi rendah, dan unik sehingga lingkungan sekolah dapat mewadahi segala aktifitas anak dengan nyaman, aman, dan menyenangkan [4].

Psikologi arsitektur mempertimbangkan psikologi dari perilaku pengguna terdapat beberapa variable yang berpengaruh terhadap perilaku diantaranya:

1. Perabotan di dalam ruang yang berkaitan dengan penataan serta pengaruh terhadap pengguna [6]. Perabot merupakan sarana yang mendukung fungsi pendidikan, administrasi dan penunjang contohnya adalah mebel [12].
2. Warna berkaitan dengan peran dari warna dalam menciptakan suasana ruang dan mendukung wujudnya perilaku-perilaku tertentu. Warna berperan penting dalam menciptakan kenyamanan visual di ruang kelas. Warna pastel dan hangat dengan intensitas rendah dinilai paling aman dan menenangkan, karena tidak menyilaukan dan membantu anak merasa nyaman [2].
3. Penggunaan material. Dinding pada ruang belajar sebaiknya tidak memiliki banyak hiasan atau tempelan yang menutupi media nak untuk berimajinasi. Dinding dapat dirancang sedemikian rupa, misalnya setengah dari ketinggian dinding ditempelkan material yang dapat dihapus atau dicat ulang atau satu bagian full dinding guna untuk media mencoret-coret anak. Penggunaan material yang aman bagi anak adalah dengan menggunakan parket kayu yang berbahan empuk. Anak-anak seringkali mengalami kecelakaan kecil seperti jatuh atau terbentur ke lantai ruangan. Oleh karena itu, lantai ruang kelas pun sebaiknya nyaman dan aman bagi mereka [9].
4. Konsep bentuk ruang yang berkaitan dengan fungsi dan pemakaian ruang, Diantara nya adalah dengan menentukan formasi tempat duduk peserta didik. Konsep ini berdasarkan metode pembelajaran seorang guru yang menyesuaikan dengan materi yang akan diberikan. Tujuan dari perencanaan tempat duduk tersebut supaya siswa lebih fokus dan semangat dalam belajar [5].

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif yang dilakukan melalui survei, observasi langsung, dan wawancara pada TK Islam Al-Fath untuk mendapatkan data. Data yang didapatkan merupakan hasil survei pada saat pembelajaran dengan mendokumentasikan keadaan ruang kelas, Wawancara juga dilakukan terhadap beberapa

guru kelas guna mendukung data observasi dengan memberikan pertanyaan mengenai konsep dan tujuan ruang kelas. Data yang terkumpul kemudian di analisis dengan literatur dan standart terkait, Literatur yang digunakan mencakup buku, artikel jurnal, dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian ini. yang kemudian dirumuskan hipotesanya. Sehingga hasil dari analisa menjawab rumusan masalah terkait evaluasi ruang kelas anak yang ditinjau dari aspek psikologi arsitektur ternyata berdampak pada pengembangan kognitif dan kreatifitas anak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi terhadap interior TK Islam Al-Fath dan pengaruhnya terhadap perkembangan psikologi pada anak usia dini.

Warna

Pemilihan warna dalam ruang kelas TK Islam Al-Fath memiliki dampak signifikan terhadap kenyamanan visual dan suasana belajar anak-anak. Kelas A, dengan pink fanta dan hijau hunter, memiliki intensitas warna tinggi yang dapat menyebabkan ketegangan mata dan kelelahan visual. Kelas B mengombinasikan pink pastel yang menenangkan, hijau lime yang memberi energi positif, serta plafon oranye yang perlu dikontrol agar tidak menyilaukan. Kelas C didominasi pink pastel untuk suasana lembut dan menenangkan, dipadukan dengan hijau lime, sementara plafon oranye tetap berisiko jika berlebihan. Oleh karena itu, keseimbangan warna dan pencahayaan yang tepat perlu diperhatikan agar menciptakan lingkungan belajar yang nyaman dan optimal bagi anak-anak (Refranisa & Saputra, 2020).

Tabel 1. Indikator Warna

No	Indikator	Kelas A	Kelas B	Kelas C
1	Warna			

Gambar 1. Kelas A

Warna pink fanta dan hijau hunter pada dinding kelas A dapat menyebabkan ketegangan mata dan kelelahan visual karena intensitasnya yang tinggi.

Keterangan:

Warna pink fanta memiliki saturasi yang tinggi, sehingga dapat terlihat mencolok dan menarik perhatian. Jika digunakan secara dominan, warna ini dapat menyebabkan ketegangan mata dan mengurangi kenyamanan belajar dalam jangka waktu lama.

Kelas B menggunakan pink pastel yang menenangkan, hijau lime yang memberi energi positif, dan plafon oranye yang berisiko menyilaukan jika berlebihan.

Keterangan:

Hijau lime memberikan kesan segar dan penuh energi, membantu meningkatkan semangat belajar anak-anak.

Oranye dikenal sebagai warna yang hangat dan membuat semangat, sehingga dapat meningkatkan interaksi sosial serta kreativitas anak-anak. Namun, penggunaan warna oranye pada plafon dapat menyebabkan silau yang mengganggu kenyamanan belajar.

114

No	Indikator	Kelas A	Kelas B	Kelas C
		<p>Hijau hunter adalah warna hijau tua dengan intensitas tinggi yang dapat memberikan kesan serius dan fokus. Namun, jika diterapkan secara luas, warna ini dapat membuat ruangan terasa lebih berat secara visual, yang berisiko menimbulkan kelelahan mata.</p>	<p>Oranye dikenal sebagai warna yang hangat dan membangkitkan semangat, sehingga dapat meningkatkan interaksi sosial serta kreativitas anak-anak. Namun, penggunaan warna oranye pada plafon dapat menyebabkan silau yang mengganggu kenyamanan belajar.</p>	

Sumber: Analisis Pribadi

Konsep Penataan Furniture

Penataan ruang kelas mengutamakan kenyamanan dan fungsionalitas dengan perabotan berwarna cerah. Material yang digunakan seragam di setiap kelas, dengan plafon gypsum, dinding bercat krem dan hijau, serta pintu dan jendela kayu berwarna hijau. Lantai keramik berpola geometris menambah estetika. Secara keseluruhan, desain ini menciptakan lingkungan belajar yang aman, nyaman, dan mendukung aktivitas siswa [7].

Tabel 2. Indikator Konsep Penataan Furniture

No	Indikator	Kelas A	Kelas B	Kelas C
1	Konsep Penataan Furniture			

Gambar 4. Denah Kelas A

Jenis Parabotan:
Meja
 Berbentuk persegi panjang, dicat dengan warna-warna cerah seperti merah, putih, dan kuning.
Kursi
 Kursi kecil dengan warna-warna cerah seperti merah, kuning, hijau, dan pink, yang cocok untuk anak-anak.
Rak
 Rak berwarna-warni yang digunakan untuk menyimpan buku, alat tulis, atau perlengkapan belajar lainnya.
Lemari hitam Kemungkinan digunakan untuk menyimpan barang atau peralatan kelas. A dapat menyebabkan ketegangan mata dan kelelahan

Gambar 5. Denah Kelas B

Jenis Perabotan:
Meja
 Berbentuk persegi panjang, dicat dengan warna-warna cerah seperti merah, putih, dan kuning.
Kursi
 Kursi kecil dengan warna-warna cerah seperti merah, kuning, hijau, dan pink, yang cocok untuk anak-anak.
Rak penyimpanan
 Rak berwarna-warni yang digunakan untuk menyimpan buku, alat tulis, atau perlengkapan belajar lainnya.
Lemari hitam
 Kemungkinan digunakan untuk menyimpan barang atau peralatan kelas.
Dekorasi gantung
 Berupa kertas warna-warni dengan motif tangan dan

Gambar 6. Denah Kelas C

Jenis Parabotan:
Meja
 Berbentuk persegi panjang, dicat dengan warna-warna cerah seperti merah, putih, dan kuning.
Kursi
 Kursi kecil dengan warna-warna cerah seperti merah, kuning, hijau, dan pink, yang cocok untuk anak-anak.
Rak penyimpanan
 Rak berwarna-warni yang digunakan untuk menyimpan buku, alat tulis, atau perlengkapan belajar lainnya.
Lemari hitam
 Kemungkinan digunakan untuk menyimpan barang atau peralatan kelas.
Dekorasi gantung
 Berupa kertas warna-warni dengan motif tangan dan bentuk

No Indikator	Kelas A	Kelas B	Kelas C
	visual karena intensitasnya yang tinggi.	bentuk lainnya, yang berfungsi sebagai hiasan kelas.	lainnya, yang berfungsi sebagai hiasan kelas.

Sumber: *Analisis Pribadi*

Material

Ruang kelas dirancang dengan material yang seragam, menggunakan plafon gypsum berwarna cerah, dinding bercat pink atau krem dengan aksen hijau, serta pintu dan jendela kayu berwarna hijau dengan teralis besi untuk keamanan. Meja dan kursi dari kayu solid dicat warna-warni, sementara lantai menggunakan keramik berpola geometris. Desain ini menciptakan lingkungan belajar yang nyaman, aman, dan menarik bagi siswa (Refranisa & Saputra, 2020).

Tabel 3. Indikator Material

No Indikator	Kelas A	Kelas B	Kelas C
1 Material	<p>Plafon (Bagian atas ruangan) Menggunakan material gypsum dengan finishing cat warna pink. Terpasang lampu downlight yang menambah pencahayaan ruangan.</p> <p>Dinding (Area sekitar ruangan) Menggunakan pasangan bata dengan finishing cat tembok warna krem pada bagian atas dan aksen cat hijau pada bagian bawah.</p> <p>Pintu Terbuat dari material kayu dengan finishing cat hijau.</p> <p>Kusen dan jendela (Bingkai Jendela) Terbuat dari material kayu dengan cat warna hijau. Jendela dilengkapi dengan teralis besi untuk keamanan.</p> <p>Meja dan kursi (Furniture dalam ruangan) Terbuat dari material kayu solid yang dicat dengan berbagai warna cerah seperti merah, kuning, hijau, dan pink.</p> <p>Lantai (Area bawah) Menggunakan keramik dengan pola geometris kombinasi warna putih, merah marun, dan abu-abu</p>	<p>Plafon (Bagian atas ruangan) Menggunakan material gypsum dengan finishing cat warna oranye. Terpasang lampu downlight yang menambah pencahayaan ruangan.</p> <p>Dinding (Area sekitar ruangan) Menggunakan pasangan bata dengan finishing cat tembok warna krem pada bagian atas dan aksen cat hijau pada bagian bawah.</p> <p>Pintu Terbuat dari material kayu dengan finishing cat hijau.</p> <p>Kusen dan jendela (Bingkai Jendela) Terbuat dari material kayu dengan cat warna hijau. Jendela dilengkapi dengan teralis besi untuk keamanan.</p> <p>Meja dan kursi (Furniture dalam ruangan) Terbuat dari material kayu solid yang dicat dengan berbagai warna cerah seperti merah, kuning, dan hijau.</p>	<p>Plafon (Bagian atas ruangan) Menggunakan material gypsum dengan finishing cat warna oranye. Terpasang lampu downlight yang menambah pencahayaan ruangan.</p> <p>Dinding (Area sekitar ruangan) Menggunakan pasangan bata dengan finishing cat tembok warna krem pada bagian atas dan aksen cat hijau pada bagian bawah.</p> <p>Pintu Terbuat dari material kayu dengan finishing cat hijau.</p> <p>Kusen dan jendela (Bingkai Jendela) Terbuat dari kayu dengan cat warna hijau. Jendela dilengkapi dengan teralis besi untuk keamanan.</p> <p>Meja dan kursi (Furniture dalam ruangan) Terbuat dari material kayu solid yang dicat dengan berbagai warna cerah seperti merah, kuning, hijau, dan pink.</p> <p>Lantai (Area bawah) Menggunakan keramik dengan pola geometris kombinasi warna putih, merah marun, dan abu-abu.</p>

Sumber: *Analisis Pribadi*

Konsep Bentuk

Tata letak ruang kelas dirancang dengan pola simetris dan teratur, di mana meja dan kursi siswa disusun dalam formasi 4 baris x 2 kolom untuk menciptakan keseimbangan. Meja guru ditempatkan di depan kelas guna mendukung interaksi dan pengawasan yang efektif terhadap siswa. Pintu masuk di sudut kanan bawah memastikan akses yang mudah dan lancar bagi guru maupun siswa, menjadikan ruang kelas lebih fungsional dan nyaman untuk kegiatan belajar. ruang kelas mengutamakan kenyamanan dan fungsionalitas dengan perabotan berwarna cerah, seperti meja, kursi, rak, lemari, dan dekorasi gantung. Material yang digunakan seragam di setiap kelas, dengan plafon gypsum.

Tabel 4. Indikator Bentuk

No	Indikator	Kelas A	Kelas B	Kelas C
1	Bentuk	<p>Simetris dan Teratur: Meja dan kursi siswa disusun dalam kelompok dengan formasi 4 baris x 2 kolom, menciptakan keteraturan dan keseimbangan dalam ruang kelas.</p> <p>Fokus pada Interaksi dan Pengajaran: Meja guru ditempatkan di depan kelas, memungkinkan kontrol yang baik terhadap siswa.</p> <p>Aksesibilitas yang Baik: Pintu masuk terletak di sudut kanan bawah, memberikan jalur yang jelas bagi siswa dan guru untuk keluar-masuk ruangan.</p>	<p>Tata Letak Simetris dan Rapi: Meja dan kursi siswa diatur dalam kelompok dengan pola 4 baris x 2 kolom, menciptakan susunan yang terstruktur dan seimbang dalam ruang kelas.</p> <p>Interaksi dan Pembelajaran yang Efektif: Posisi meja guru di bagian depan memungkinkan pengawasan yang optimal terhadap siswa.</p> <p>Kemudahan Akses: Pintu masuk yang terletak di sudut kanan bawah memberikan jalur yang jelas bagi siswa dan guru untuk bergerak keluar-masuk ruangan.</p>	<p>Pola Susunan yang Simetris dan Tertata: Meja serta kursi siswa diorganisir dalam kelompok dengan konfigurasi 4 baris x 2 kolom, menciptakan keseimbangan dan keteraturan dalam ruang kelas.</p> <p>Mendukung Interaksi dan Proses Belajar: Meja guru ditempatkan di bagian depan, memungkinkan pengawasan dan bimbingan yang lebih efektif terhadap siswa.</p> <p>Akses yang Mudah dan Lancar: Pintu masuk di sudut kanan bawah memberikan jalur pergerakan yang jelas bagi guru dan siswa untuk keluar dan masuk kelas.</p>

Sumber: Analisis Pribadi

Berdasarkan hasil penilaian terhadap tiga kelas di TK Islam Al-Fath, dapat disimpulkan bahwa kelas B memiliki kondisi yang paling optimal dibandingkan kelas A dan C, terutama dalam aspek warna dan penataan perabotan.

Tabel 5. Evaluasi Kualitas Ruang Kelas TK Islam Al-Fath

No	Indikator	Warna	Konsep Penataan Prabotan	Materi 1	Konsep Bentuk
1	Kelas A	-	√	-	√
2	Kelas B	√	√	-	√
3	Kelas C	√	-	√	-

Keterangan:

√ : Memenuhi

- : Tidak Memenuhi

Sumber: Analisis Pribadi

4. KESIMPULAN

Pendidikan anak usia dini adalah fase penting dalam membentuk karakter anak, dan TK Islam Al-Fath berkomitmen menciptakan lingkungan belajar yang mendukung perkembangan holistik anak. Desain ruang kelas berperan besar dalam memenuhi kebutuhan psikologis, visual, dan stimulasi anak, dengan elemen seperti warna pastel, zona aktivitas fleksibel, dan elemen edukatif yang menarik. TK Islam Al-Fath memiliki tiga ruang kelas dengan desain interior berbeda. Meskipun dirancang untuk memenuhi kebutuhan anak, terdapat beberapa kekurangan, seperti pemilihan warna yang dapat menyebabkan ketegangan mata (seperti warna pink fanta dan hijau hunter di Kelas A) dan plafon oranye yang menyilaukan di Kelas B dan C. Penataan furnitur juga kurang fleksibel, membatasi ruang gerak anak. Material yang digunakan cukup aman dan tahan lama, seperti plafon gypsum, dinding pastel, serta furnitur kayu solid. Namun, pencahayaan dan kombinasi warna perlu diperbaiki untuk menghindari gangguan visual. Tata letak ruang kelas simetris dengan meja dan kursi dalam formasi 4 baris

x 2 kolom, dengan meja guru di depan untuk mempermudah interaksi dan pengawasan siswa. Kesimpulannya, desain ruang kelas perlu penyesuaian dalam pemilihan warna, fleksibilitas furnitur, dan pencahayaan agar dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih nyaman dan kondusif bagi anak-anak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifiyani, I., & Setijanti, P. (2022). Ruang Publik Sebagai Optimalisasi Pengembangan Diri Remaja dengan Pendekatan Psikologi Arsitektur: Surabaya Youthcenter. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 10(2), 60–65. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v10i2.69399>
- [2] Fitriasari, D. (2025). Peran Warna Interior Terhadap Perkembangan Dan Pendidikan Anak Di Taman Kanak-Kanak. *Dimensi Interior*, 2(1), 22–36. <http://dimensiinterior.petra.ac.id/index.php/int/article/view/16244>
- [3] Latif, M. B. dan F. T. N. (2020). Evaluasi ruang kelas siswa SLB Negeri Surakarta bagian C berdasarkan karakteristik anak tunagrahita pada jenjang pendidikan dasar di tinjau dari persepsi pengajar. *Siar*, 8686, 48–56.
- [4] Nabilah, D. P., & Hardiyati, S. (2020). Penerapan Psikologi Arsitektur Pada Perancangan Sekolah Pendidikan Anak Usia Dini Di Surakarta. *Senthong*, 3(1), 166–177. <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/senthong/index>
- [5] Nunzaurina, Zahra Ayuni Nasution, S. (2023). *Pengelolaan Ruang Kelas Pendidikan Anak Usia Dini Pada Kelompok B Di*. 5(2), 571–573.
- [6] Palupi, D., & Lissimia, F. (2021). Kajian Konsep Arsitektur Perilaku pada Bangunan Rehabilitasi Narkoba Fan Campus Bogor. *Sinektika: Jurnal Arsitektur*, 18(2), 123–128. <https://doi.org/10.23917/sinektika.v18i2.15317>
- [7] Refranisa, R., & Saputra, C. (2020). Pengembangan Desain Ruang Kelas Dalam Upaya Mendukung Tumbuh Kembang Anak Usia Dini. *SELAPARANG Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(1), 406. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v4i1.3260>
- [8] Sriti Mayang Sari. (2004). Peran Warna Interior Terhadap Perkembangan Dan Pendidikan Anak Di Taman Kanak-Kanak. *Dimensi Interior*, 2(1), 22–36. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/int/article/view/16244>
- [9] Thenius, H. P., Joedawinata, A., & Asmarandani, D. (2019). Kajian Dampak Elemen Interior Pada Fasilitas Ruang Belajar Taman Kanak-Kanak Terhadap Perkembangan Kreatifitas Anak. *Jurnal Seni Dan Reka Rancang: Jurnal Ilmiah Magister Desain*, 1(2), 261–290. <https://doi.org/10.25105/jsrr.v1i2.6738>
- [10] Tri Suci H, Tri Yuni, L. P. (2014). *PENERAPAN PSIKOLOGI ARSITEKTUR PADA FASILITAS PENDIDIKAN ANAK USIA DINI DAN SEKOLAH DASAR DI KOTA SURAKARTA*.

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENCEMARAN SUMBER DAYA AIR DI WILAYAH SUNGAI: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

*Ade Jaya Saputra¹, Sri Dewi Lestari², Jody Martin Ginting³

^{1,2,3} Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam, Batam

^{*}Email: ade.jaya@uib.ac.id

ABSTRACT

Rivers are vital components of ecosystems, providing water for domestic use, irrigation, and industrial activities. However, river pollution caused by human activities has led to a significant decline in water quality, posing risks to public health and environmental sustainability. This study employs a Systematic Literature Review (SLR) method to identify and analyze the factors contributing to river pollution, based on a review of 10 scientific articles. The analysis was conducted using the Publish or Perish and VOSviewer software. The findings reveal that all rivers studied have exceeded water quality standards, indicated by elevated levels of physical and chemical parameters such as pH, Total Dissolved Solids (TDS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Dissolved Oxygen (DO), salinity, and other organic substances. The polluted rivers include the Ampel, Krukut, Muara Jodoh, Karang Mumus, Taipin, Ampenan, Kedungprit, Jaing, Cipinang, and Citarum Rivers, which are located across various regions of Indonesia. The sources of pollution are classified into five main categories: (1) domestic waste, including direct defecation and bathing, washing, and latrine (BWL) activities in rivers; (2) industrial waste containing hazardous chemicals; (3) waste from micro, small, and medium enterprises (MSMEs), such as oils and dyes; (4) livestock waste, such as shrimp processing; and (5) the habitual disposal of wastewater into rivers by communities. This review concludes that direct pollution from human activities is the dominant cause of river water degradation. Integrated measures including waste treatment, environmental education, and strict law enforcement are essential to preserve water resources.

Keyword: River, Water, Pollution

ABSTRAK

Sungai merupakan komponen vital dalam ekosistem yang menyediakan air untuk kebutuhan domestik, irigasi, dan industri. Namun, pencemaran sungai akibat aktivitas manusia menyebabkan penurunan kualitas air secara signifikan dan berdampak pada kesehatan serta kelestarian lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor pencemaran sungai berdasarkan 10 artikel ilmiah. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Publish or Perish* dan *VOSviewer*. Hasil kajian menunjukkan bahwa seluruh sungai yang diteliti mengalami pencemaran melebihi baku mutu air, dengan peningkatan parameter seperti pH, TDS, BOD, COD, DO, salinitas, dan zat organik. Sungai-sungai yang tercemar meliputi Ampel, Krukut, Muara Jodoh, Karang Mumus, Taipin, Ampenan, Kedungprit, Jaing, Cipinang, dan Citarum. Faktor pencemaran terbagi dalam lima kelompok utama, yaitu: (1) limbah domestik seperti pembuangan tinja dan aktivitas MCK di sungai; (2) limbah industri yang mengandung bahan kimia berbahaya; (3) limbah UMKM seperti minyak dan pewarna; (4) limbah peternakan seperti pengolahan udang; serta (5) kebiasaan masyarakat membuang limbah cair langsung ke sungai. Studi ini menyimpulkan bahwa pencemaran langsung akibat aktivitas manusia merupakan penyebab utama penurunan kualitas air sungai. Oleh karena itu, diperlukan penanganan terpadu melalui pengolahan limbah, edukasi masyarakat, dan penegakan regulasi untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air.

Kata kunci: Sungai, Air, Pencemaran

1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan bagian penting dari ekosistem beberapa negara di seluruh dunia ini. Sungai menyediakan air untuk minum, irigasi, dan penggunaan lainnya [1]. Namun, aktivitas manusia telah menyebabkan pencemaran sungai [2]. Beberapa contoh penyebab pencemaran sungai seperti, nutrisi (seperti fosfor dan nitrat), bahan kimia (seperti logam berat), polutan air tanah (dari penggunaan pestisida di bidang pertanian), tumpahan minyak atau air limbah yang merembes ke dalam tanah [3], [4]. Polusi sungai dapat menimbulkan konsekuensi serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Hal ini dapat menyebabkan kematian kehidupan akuatik dan membuat air menjadi tidak aman untuk dikonsumsi manusia. Indonesia memiliki banyak sungai, termasuk beberapa sungai terpanjang di dunia.

Pencemaran air di sungai terjadi ketika kualitas air terganggu oleh adanya faktor-faktor dari berbagai sumber yang tidak seimbang, sehingga tidak layak untuk digunakan dan dikonsumsi [5]. Untuk mencegah terjadinya pencemaran sungai, diperlukan pengambilan langkah-langkah untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan. Hal ini termasuk mengurangi penggunaan pestisida dan bahan kimia, membuang limbah dengan benar, dan mendukung kebijakan yang melindungi sungai dan sumber daya alam lainnya. Pencemaran sungai adalah masalah serius yang mempengaruhi lingkungan dan kesehatan manusia [6]. Hal ini disebabkan oleh aktivitas manusia seperti industrialisasi, pertanian, dan urbanisasi [7].

Pencemaran sungai bukan hanya masalah lokal tetapi juga masalah global [8], [9]. Pencemaran sungai dapat menimbulkan dampak yang luas, terutama ketika air yang tercemar mengalir ke hilir dan mempengaruhi daerah-daerah sekitarnya [10]. Upaya untuk mengatasi pencemaran sungai membutuhkan kerja sama dan kolaborasi internasional. Negara-negara perlu bekerja sama untuk menerapkan kebijakan dan peraturan yang efektif yang bertujuan untuk mengurangi polusi dan melindungi kesehatan sungai dan ekosistemnya. Selain dampak ekologis, pencemaran sungai juga merupakan ancaman bagi kesehatan manusia. Air yang terkontaminasi dapat mengandung patogen berbahaya dan zat beracun, yang dapat menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air dan masalah kesehatan lainnya [11]. Masyarakat yang bergantung pada sungai untuk mendapatkan air minum atau memancing sangat rentan terhadap risiko ini. Sangatlah penting untuk memprioritaskan penyediaan sumber air bersih dan aman, terutama di daerah-daerah yang sangat terpengaruh oleh pencemaran sungai.

Pendidikan dan kesadaran memainkan peran penting dalam mengatasi pencemaran sungai [12]. Dengan mengedukasi masyarakat tentang konsekuensi dari tindakan pencemaran dan mempromosikan praktik-praktik yang berkelanjutan, setiap orang dapat membuat perbedaan positif dalam mengurangi tingkat polusi. Mendorong pengelolaan sampah yang bertanggung jawab, mempromosikan konservasi air, dan mengadopsi praktik pertanian yang ramah lingkungan hanyalah beberapa cara untuk meminimalkan polusi dan menjaga kesehatan sungai [13]. Pengembangan sistem pengolahan air limbah yang inovatif dan penerapan teknik produksi yang lebih bersih di industri dapat secara signifikan mengurangi pembuangan polutan ke sungai. Berdasarkan latar belakang tersebut maka dirasa perlu untuk dilakukan analisis mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air di wilayah sungai melalui kajian literature review. Hasil penelitian nantinya diharapkan dapat memberikan gambar apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air khususnya di wilayah sungai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Sungai adalah aliran air yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat lebih rendah dan terbentuk dari akumulasi air dari berbagai sumber seperti mata air, curah hujan, serta salju yang mencair [14]. Sungai memainkan peran penting dalam membentuk lanskap bumi dan merupakan komponen penting dalam siklus hidrologi. Sungai dapat memiliki ukuran yang bervariasi, mulai dari aliran kecil hingga badan air besar yang membentang ratusan bahkan ribuan kilometer. Sungai biasanya dicirikan oleh aliran, volume, kecepatan, dan beban sedimennya [15]. Aliran sungai mengacu pada jumlah air yang melewati titik tertentu selama periode tertentu, sedangkan volume mengacu pada jumlah total air yang terkandung di dalam sungai. Kecepatan menunjukkan kecepatan air bergerak, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kemiringan, bentuk saluran, dan penghalang. Beban sedimen mengacu pada jumlah partikel padat, seperti pasir, lumpur, dan tanah liat, yang terbawa oleh air sungai.

Sungai memiliki dampak yang besar terhadap lingkungan dan ekosistem yang dilaluinya. Sungai menyediakan habitat bagi beragam spesies tanaman dan hewan, yang mendukung keanekaragaman hayati yang kaya [16]. Sungai juga berfungsi sebagai koridor penting bagi migrasi satwa liar dan memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Selain itu, sungai telah menjadi sumber air tawar yang signifikan bagi peradaban manusia sepanjang sejarah, menyediakan air untuk minum, irigasi, transportasi, dan berbagai kegiatan ekonomi [17].

2.2 Limbah

Limbah di sungai mengacu pada keberadaan berbagai jenis polutan dan sampah yang terakumulasi di dalam air dan di sepanjang bantaran sungai [18]. Limbah ini dapat berasal dari aktivitas manusia dan sumber-sumber alami. Limbah yang dihasilkan manusia di sungai termasuk buangan industri, limbasan pertanian, limbah, sampah, dan pembuangan limbah yang tidak dikelola dengan baik [19]. Keberadaan sampah di sungai dapat menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Pertama, mengganggu keseimbangan ekosistem sungai. Polusi dari sumber industri dan pertanian memasukkan bahan kimia dan racun berbahaya ke dalam air, yang menyebabkan penurunan kualitas air [20]. Polusi ini dapat menyebabkan kematian tanaman dan hewan air, mengganggu rantai makanan, dan merusak keanekaragaman hayati sungai secara keseluruhan. Selain itu, limbah organik, seperti nutrisi yang berlebihan dari pupuk, dapat menyebabkan eutrofikasi, yang menyebabkan pertumbuhan ganggang yang cepat dan mengurangi kadar oksigen di dalam air, membuat ikan dan organisme air lainnya mati lemas [21].

Kedua, limbah air di sungai menimbulkan risiko yang signifikan bagi kesehatan manusia [22]. Air yang terkontaminasi dari limbah dan buangan industri dapat mengandung bakteri, virus, dan bahan kimia berbahaya yang dapat menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air dan masalah kesehatan lainnya ketika dikonsumsi atau bersentuhan dengan kulit [23]. Selain itu, keberadaan sampah fisik, seperti sampah plastik dan sampah, tidak

hanya menurunkan daya tarik visual sungai tetapi juga menimbulkan ancaman bagi satwa liar yang mungkin menelan atau terjerat dalam sampah.

Mengatasi sampah di sungai membutuhkan pendekatan multifaset yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan [24]. Pendekatan ini melibatkan penerapan peraturan dan praktik yang ketat untuk mengurangi polusi industri dan pertanian, meningkatkan sistem pengolahan air limbah, mempromosikan pengelolaan dan daur ulang limbah yang tepat, dan meningkatkan kesadaran tentang pentingnya menjaga ekosistem sungai. Upaya untuk meminimalkan limbah di sungai sangat penting untuk menjaga kesehatan badan air yang vital ini dan memastikan keberlanjutan sumber daya alam.

2.3 Faktor – Faktor Pencemaran Sungai

Faktor dalam pencemaran sungai adalah pembuangan limbah industri dan limbah ke badan air [25]. Kegiatan industri dapat memasukkan berbagai zat berbahaya ke dalam sungai, termasuk logam berat, bahan kimia beracun, dan bahan berbahaya. Tanpa pengolahan dan regulasi yang tepat, polutan ini dapat berdampak buruk pada kualitas air dan organisme yang bergantung pada ekosistem sungai.

Praktik pertanian juga memainkan peran utama dalam polusi sungai [26]. Penggunaan pupuk, pestisida, dan herbisida di bidang pertanian dapat menyebabkan pencemaran sungai melalui limpasan. Nutrisi yang berlebihan, seperti nitrogen dan fosfor, dari lahan pertanian dapat masuk ke sungai dan menyebabkan eutrofikasi, yang mengarah pada pertumbuhan ganggang yang berlebihan dan menipisnya kadar oksigen. Selain itu, limbah ternak dan kotoran hewan juga dapat masuk ke sungai dan menyebabkan penurunan kualitas air [18].

Urbanisasi dan pengelolaan limbah yang tidak tepat adalah faktor penting lainnya dalam polusi sungai. Seiring dengan berkembangnya kota, kepadatan penduduk yang meningkat menghasilkan timbulan sampah yang lebih besar [27]. Jika limbah padat, termasuk plastik dan bahan non-biodegradable lainnya, tidak dikelola dengan baik, limbah tersebut dapat berakhir di sungai melalui pembuangan yang tidak tepat atau sistem pembuangan limbah yang tidak memadai. Limpasan air dari perkotaan, yang mengandung polutan dari jalan raya, tempat parkir, dan lokasi konstruksi, juga dapat berkontribusi terhadap pencemaran sungai.

Untuk mengatasi polusi sungai secara efektif, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor ini secara komprehensif. Menerapkan peraturan yang lebih ketat dan sistem pemantauan untuk pembuangan limbah industri, mempromosikan praktik pertanian berkelanjutan, meningkatkan infrastruktur pengelolaan limbah, dan mengadopsi pendekatan yang tahan terhadap perubahan iklim adalah beberapa strategi utama untuk mengurangi dampak dari faktor-faktor pencemaran ini [28].

3. METODE

Penelitian ilmiah yang sistematis harus dimulai dengan mengidentifikasi masalah yang tepat [29]. Penelitian analisis dilakukan dengan mencari sumber-sumber mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air di wilayah sungai. Setelah mengidentifikasi faktor-faktor berdasarkan kategorinya, faktor-faktor tersebut akan dilakukan kajian secara ilmiah dan analisis penyebab pencemaran wilayah sungai.

Metode yang digunakan untuk mendapatkan hasil dalam pembahasan ini adalah menyusun penelitian dan pemodelan secara ilmiah dengan menggunakan peta jaringan berdasarkan kata kunci yang terkait berdasarkan data *co-occurrence* dan diagram yang akurat untuk produksi pengetahuan ilmiah dengan menggunakan perangkat lunak *Publish or Perish* dan *VOS Viewer* [30].

Publish or Perish merupakan perangkat lunak yang dikenal luas di dunia akademis, yang digunakan oleh peneliti dan akademisi untuk menganalisis publikasi dan kutipan dari karya ilmiah lain. Perangkat lunak ini membantu untuk memahami seberapa besar dampak penelitian yang telah dilakukan, yang menggarisbawahi tekanan pada para peneliti untuk terus membuat dan mempublikasikan penelitian ilmiah untuk memajukan karier mereka [31]. Ungkapan ini mencerminkan sifat ilmu pengetahuan yang sangat kompetitif, di mana catatan publikasi sering dilihat sebagai indikator utama keberhasilan dan kredibilitas. Kemudian, *VOS Viewer* menghitung kedekatan dua kata kunci berdasarkan jumlah publikasi di mana kedua kata kunci tersebut muncul bersamaan [32]. Kekuatan asosiasi antara dua kata kunci mencerminkan relevansi bidang penelitian masing-masing. Dalam pembahasan, gambar akan ditampilkan dengan menggunakan *VOS Viewer* sebagai hasilnya. Terdapat beberapa tahapan untuk memproses jurnal-jurnal yang didapatkan yakni:

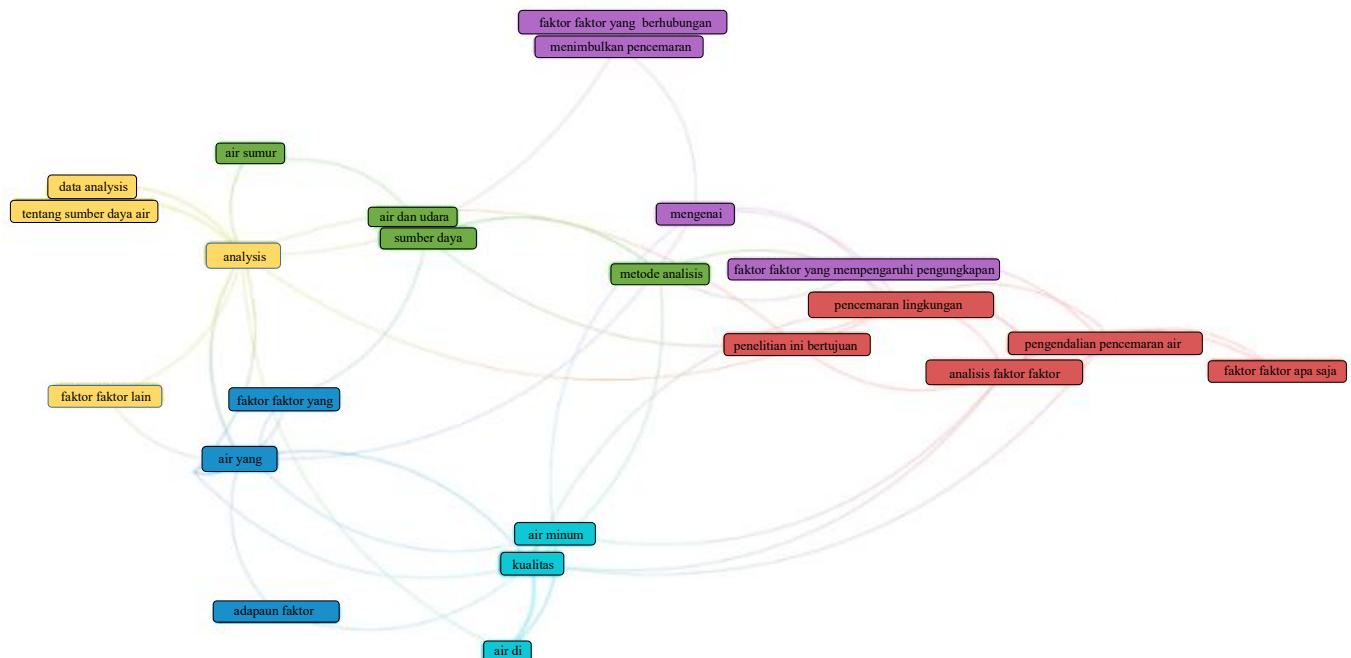
1. Mengumpulkan artikel dengan menggunakan perangkat lunak *Publish or Perish*. Data yang diperoleh dengan perangkat lunak tersebut menggunakan kata kunci “faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air di wilayah sungai” dengan rentang tahun terbit dari tahun 2000 hingga 2023.
2. Memilih dan menyeleksi artikel yang berisi indeks dari tujuan penelitian yang mana pada tahap ini akan dipilih 10 (sepuluh) artikel yang akan dianalisa mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya

air khususnya sumber langsung. Setelah menentukan dan memilih profil artikel, penulis akan menunjukkan karakteristik dari artikel yang digunakan dalam pembahasan.

3. Menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air, dimana pada tahap ini akan dibahas sesuai dengan tujuan tinjauan pustaka tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air di wilayah sungai.
4. Menyajikan hasil yang diperoleh setelah dilakukan pemeriksaan mendalam. Identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air diilustrasikan dengan menggunakan *VOS Viewer*, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air.
5. Menginterpretasikan hasil yang merupakan tahap terakhir dalam metode penelitian ini.

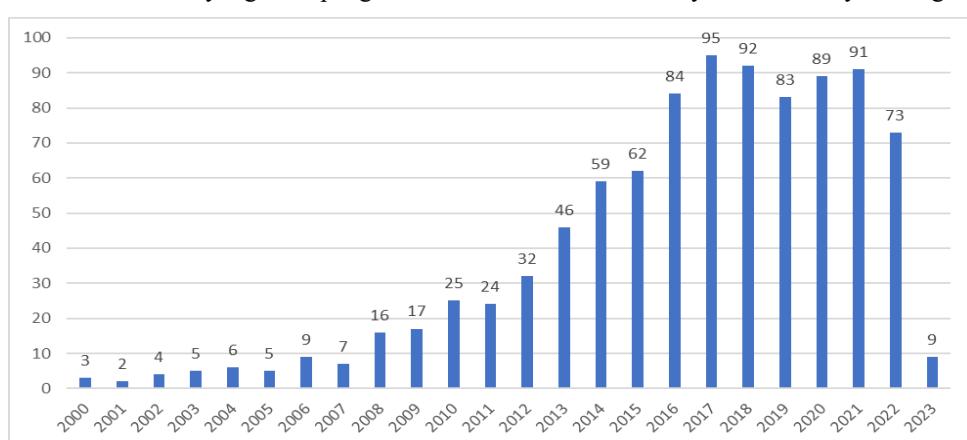
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penulisan artikel ini diperoleh sumber dari *VOS Viewer* dan *Publish or Perish* dengan menggunakan metode literature review yang membahas tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air di wilayah Sungai. Artikel tersebut diperoleh *Publish or Perish* dari tahun 2000 – 2023 dan data tersebut diproses menggunakan *VOS Viewer* sehingga didapatkan data pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Data *Vos Viewer*
(Sumber: Aplikasi *Vos Viewer*, 2023)

Publish or Perish menemukan 936 jurnal terhitung sejak tahun 2000 hingga 2023 dengan kata kunci yang dicari yaitu "Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Sumber Daya Air di Wilayah Sungai".



Gambar 2. Grafik Data *Publish or Perish* Dari Tahun 2000 Hingga 2023
(Sumber: Penulis)

Gambar 2 di atas menunjukkan grafik dengan kata kunci yang telah dicari. Dapat disimpulkan bahwa tahun 2017 merupakan tahun dengan publikasi terbanyak yakni 95 publikasi jurnal, sedangkan pada tahun 2001 merupakan tahun publikasi jurnal paling sedikit yakni 2 jurnal. Adapun berdasarkan analisa data diatas dapat disimpulkan bahwa publikasi jurnal mengalami peningkatan terhitung mulai sejak tahun 2000, walaupun dalam beberapa tahun tertentu penerbitan jurnal mengalami penurunan yang tidak signifikan.

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap pencemaran sumber daya harus menjadi subjek penelitian yang komprehensif dan studi mendalam untuk mengatasi dan mengurangi masalah yang mendesak ini secara efektif. Dengan memeriksa berbagai elemen yang mencemari sumber air, seperti limbah industri, limpasan pertanian, pembuangan limbah yang tidak tepat, dan tumpahan bahan kimia. Penelitian yang menyeluruh dapat membantu dalam mengidentifikasi polutan tertentu, sumbernya, dan perilakunya dalam sistem air yang berbeda. Pencarian dan pengumpulan jurnal-jurnal mengenai faktor-faktor pencemaran sumber daya air di wilayah sungai yang memiliki indeks untuk keperluan penelitian. Identifikasi Faktor pencemaran sumber daya air secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu: sumber kontaminan tidak langsung dan langsung [33].

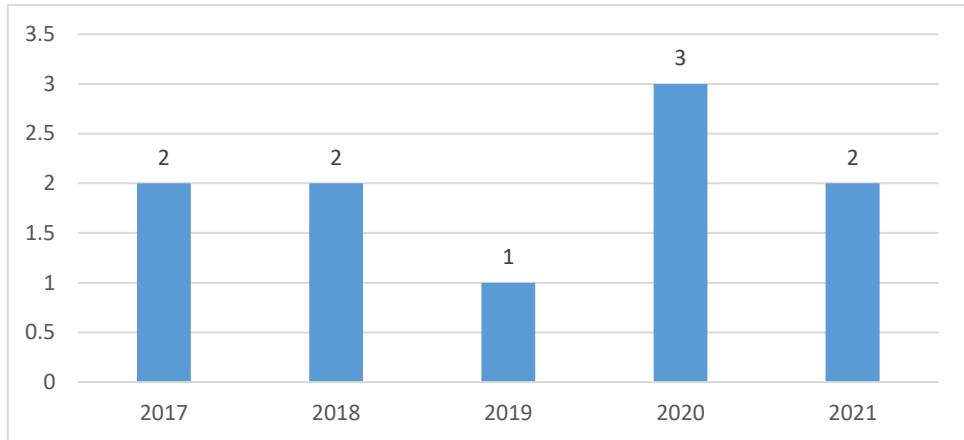
1. Sumber langsung (SL) mencakup limbah industri, tempat pembuangan akhir (TPA) sampah, dan kegiatan rumah tangga yang menghasilkan limbah.
2. Sumber tidak langsung (STL) meliputi kontaminan yang masuk ke perairan melalui tanah, air tanah, atau melalui hujan dari atmosfer.

Tabel 1. Analisis Artikel Mengenai Faktor Pencemaran

No.	Penulis	Judul	Faktor Pencemaran		Kesimpulan
			SL	STL	
1	(Inovasi et al., 2021)	Analisis Indeks Pencemaran Sungai Ampel Desa Sletreng Kabupaten Situbondo	✓		Parameter fisika-kimia seperti pH, TDS, BOD, DO, dan salinitas dalam air limbah hasil pengolahan udang perusahaan di Kecamatan Kapongan, Kabupaten Situbondo, mempengaruhi kualitas air sungai Ampel. Adapun nilai indeks pencemaran pada sungai Ampel melebihi standar baku mutu yang ditetapkan. Faktor yang menyebabkan pencemaran sumber daya air di sungai tersebut adalah limbah peternakan.
2	(Yohannes, Utomo, and Agustina, 2019)	Kajian Kualitas Air Sungai Dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air (Studi Di Sungai Krukut, Jakarta Selatan)	✓		Mutu air pada wilayah sungai Krukut memiliki nilai indeks pada 5 (lima) titik pemantauan yaitu (7,65), (7,54), (6,93), (6,95) dan (9,03). Faktor yang menyebabkan pencemaran sumber daya air di sungai tersebut adalah limbah cair UMKM.
3	(Akbar, Melani, and Apriadi, 2020)	Indeks Pencemaran Muara Sungai Jodoh, Kota Batam	✓		Tingkat pencemaran air pada Muara Jodoh, Kelurahan Tanjung Uma, Kota Batam memiliki nilai indeks yang tergolong cemar ringan. Faktor yang menyebabkan pencemaran sumber daya air di sungai tersebut adalah limbah domestik berupa tinja yang dibuang langsung ke perairan.
4	(Mukti, Pasaribu, and Linanda, 2017)	Penyuluhan Hukum Terhadap Akibat Hukum Pencemaran Lingkungan Sungai Karang Mumus Di Kelurahan Sungai Dama	✓		Sungai Karang Mumus merupakan salah satu sungai yang terletak di Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Sungai ini terkenal karena pencemaran yang terjadi. Faktor yang menyebabkan pencemaran sumber daya air di sungai tersebut adalah akibat kegiatan masyarakat yang melakukan MCK (Mandi, Cuci dan Kakus) di sungai tersebut.

No.	Penulis	Judul	Faktor Pencemaran		Kesimpulan
			SL	STL	
5	(Amanda 2020)	Analisis Daya Tampung Sungai Terhadap Beban Pencemar Organik	✓	✓	Pengukuran mutu air pada Sungai Taipin menunjukkan status cemar ringan berdasarkan metode Indeks Pencemaran. Faktor yang menyebabkan pencemaran sumber daya air di sungai tersebut adalah limbah organik dan kegiatan MCK (Mandi, Cuci dan Kakus) yang dilakukan masyarakat.
6	(Aderibigbe , 2018)	Analisis Kadar Karbon Dioksida Di Sungai Ampenan Lombok		✓	Kondisi Sungai Ampenan secara fisik tidak mengalami pencemaran. Namun memiliki kandungan CO2 yang cukup tinggi. Hal tersebut dikarenakan faktor kebiasaan masyarakat yang masih membuang limbah cair langsung ke badan sungai.
7	(Agustus, 2020)	Analisis Kualitas Air Terproduksi Desa Kedewan, Kecamatan Wonocolo Kabupaten Bojonegoro		✓	Kualitas air pada Sungai Kedungprit termasuk dalam kategori yang tidak memenuhi baku mutu kelas air kelas II PP No. 82 Tahun 2001. Faktor yang menyebabkan perihal tersebut diatas adalah kegiatan pengolahan minyak bumi sehingga dapat dikategorikan sebagai limbah industri.
8	(Herliwati, Rahman, and Rahman, 2021)	Analisis Indeks Pencemaran Dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Jaing Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan		✓	Sungai Janing memiliki indeks cemar sedang. Terdapat beberapa parameter yang melampaui daya tamping beban pencemaran air yakni DO (<i>Dissolved Oxygen</i>), BOD (<i>Dissolved Oxygen</i>) dan COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>). Faktor yang menyebabkan pencemaran sumber daya air di sungai tersebut adalah limbah kegiatan industri dan masyarakat setempat.
9	(Yudo, 2018)	Kondisi Pencemaran Air Sungai Cipinang Jakarta		✓	Sungai Cipinang mengalami penurunan kualitas air yang cukup drastis yang ditandai dengan peningkatan parameter BOD (<i>Dissolved Oxygen</i>) dan COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>) serta zat organik lainnya. Hal tersebut disebabkan oleh pencemaran limbah domestik dan sampah yang dibuang ke sungai serta limbah industri yang berada dalam DAS Sungai Cipinang.
10	(Setiady, 2017)	Pencegahaan Pencemaran Air Sungai Citarum Akibat Limbah Industri		✓	Sungai Citarum merupakan sungai yang tercemar karena meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan industri dengan pesat. Hal tersebut mengakibatkan beban limbah baik domestik ataupun industri yang dibuang ke sungai semakin meningkat dan terus mencemari sungai tersebut.

Artikel yang tersortir dengan kriteria sumber langsung merupakan jurnal dari tahun 2017 hingga 2021. Sebagian besar literatur yang dipilih dalam tinjauan ini berasal dari tahun 2020 yang mempunyai lebih banyak jurnal yang dipublikasikan dengan tema pencemaran sumber daya air pada wilayah sungai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Jurnal Terpilih Berdasarkan Tahun Publikasi

Berdasarkan hasil analisis terhadap 10 artikel yang mengkaji pencemaran air sungai akibat pencemaran langsung, ditemukan bahwa seluruh sungai yang dikaji mengalami penurunan kualitas air yang signifikan dan melebihi baku mutu yang ditetapkan. Penurunan kualitas air ini umumnya ditunjukkan oleh meningkatnya parameter fisika dan kimia seperti pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), DO (*Dissolved Oxygen*), salinitas, dan zat organik lainnya. Sungai-sungai yang tercemar antara lain Sungai Ampel, Krukut, Muara Jodoh, Karang Mumus, Taipin, Ampenan, Kedungprit, Jaing, Cipinang, dan Citarum, yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia. Pencemaran ini terjadi karena adanya limbah yang dibuang langsung ke sungai tanpa proses pengolahan terlebih dahulu, baik oleh masyarakat, industri, maupun sektor lainnya.

Adapun faktor-faktor penyebab pencemaran air sungai yang ditemukan dalam studi-studi tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam lima kelompok utama, yaitu:

- (1) limbah domestik yang berasal dari aktivitas rumah tangga, termasuk pembuangan tinja secara langsung ke sungai seperti yang terjadi di Muara Jodoh dan kebiasaan MCK (mandi, cuci, kakus) di sungai sebagaimana ditemukan di Sungai Karang Mumus dan Taipin;
- (2) limbah industri yang berasal dari kegiatan produksi, seperti pembuangan limbah pengolahan minyak bumi di Sungai Kedungprit serta limbah industri di kawasan Sungai Citarum dan Jaing, yang mengandung bahan kimia berbahaya dan sulit terurai secara alami;
- (3) limbah dari aktivitas UMKM (Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah) seperti di Sungai Krukut, yang menyumbang polutan berupa bahan kimia ringan, minyak, dan pewarna;
- (4) limbah peternakan, misalnya limbah dari pengolahan udang yang mencemari Sungai Ampel di Situbondo; dan
- (5) kebiasaan masyarakat membuang limbah cair ke sungai, seperti di Sungai Ampenan, yang menyebabkan tingginya kadar CO₂ dalam air sungai meskipun secara fisik tampak bersih.

Secara keseluruhan, pencemaran langsung akibat aktivitas manusia menjadi faktor dominan dalam menurunnya kualitas air sungai di berbagai daerah. Hal ini menandakan perlunya penanganan yang serius melalui pendekatan teknis dan sosial, seperti pembangunan sistem pengolahan limbah terpadu, peningkatan kesadaran masyarakat melalui edukasi lingkungan, serta penegakan regulasi dan hukum lingkungan yang tegas. Tanpa adanya upaya terpadu tersebut, pencemaran sungai akan terus berlanjut dan membahayakan ekosistem serta kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber daya air tersebut.

Secara keseluruhan, tinjauan literatur sistematis ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai faktor-faktor dan jenis-jenis limbah yang mempengaruhi pencemaran sumber daya air di wilayah sungai. Kajian ini merangkum pengetahuan dan penelitian yang ada di bidang ini dan memberikan wawasan serta rekomendasi yang berharga bagi para praktisi dan peneliti yang terlibat dalam penelitian pencemaran sumber daya air khususnya di wilayah sungai.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap 10 artikel dan data bibliometrik dari VOS Viewer serta Publish or Perish, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pencemaran langsung akibat aktivitas manusia merupakan faktor utama penurunan kualitas air sungai di Indonesia, dengan seluruh sungai yang diteliti menunjukkan kualitas air yang telah melebihi baku mutu yang ditetapkan.
2. Parameter fisika dan kimia seperti pH, TDS, BOD, COD, DO, salinitas, dan zat organik lainnya mengalami peningkatan sebagai indikator pencemaran.
3. Faktor-faktor pencemaran langsung dapat diklasifikasikan ke dalam lima kategori utama, yaitu:
 - a. Limbah domestik,
 - b. Limbah industri,
 - c. Limbah UMKM,
 - d. Limbah peternakan, dan
 - e. Kebiasaan membuang limbah cair ke sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Widyasari, “Beban Pencemaran Sumber Limbah di Sungai Code,” *J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 144–154, Mar. 2019, doi: 10.28932/jts.v5i2.1319.
- [2] S. W. Al Idrus, “ANALISIS PENCEMARAN AIR MENGGUNAKAN METODE SEDERHANA PADA SUNGAI JANGKUK, KEKALIK DAN SEKARBELA KOTA MATARAM,” *J. Pijar Mipa*, vol. 10, no. 2, Sep. 2015, doi: 10.29303/jpm.v10i2.28.
- [3] E. R. Syofyan, “Partisipasi Masyarakat Dalam Rangka Penanggulangan Pencemaran Sungai,” *J. Ilm. Poli Rekayasa*, vol. 14, no. 2, p. 39, Apr. 2019, doi: 10.30630/jipr.14.2.127.
- [4] A. Taftazani and M. Muzakky, “STUDI HUBUNGAN ANTARA SEBARAN DAN BEBAN PENCEMARAN RADIOAKTIVITAS SAMPEL LINGKUNGAN TERHADAP BAKU MUTU DAN DAYA TAMPUNG SUNGAI CODE YOGYAKARTA,” *GANENDRA Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 12, no. 1, Jan. 2009, doi: 10.17146/gnd.2009.12.1.148.
- [5] H. E. Tarru, “ANALISIS TINGKAT PENCEMARAN AIR SUNGAI SA’DAN TERHADAP KUALITAS AIR PDAM TORAJA UTARA,” *J. Dyn. Saint*, vol. 1, no. 2, Dec. 2017, doi: 10.47178/dynamicsaint.v1i2.130.
- [6] Susmarkanto, “River Pollution as a Contributing Factor to Flooding in Jakarta: An Anthropological Review,” *J. Environ. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–16, 2002.
- [7] M. Agustine, “Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Daerah Aliran Sungai Citarum,” *G-SMART*, vol. 5, no. 1, p. 35, Jul. 2021, doi: 10.24167/gsmart.v5i1.3082.
- [8] A. Suriadikusumah, O. Mulyani, R. Sudirja, E. T. Sofyan, M. H. R. Maulana, and A. Mulyono, “Analysis of the water quality at Cipeusing river, Indonesia using the pollution index method,” *Acta Ecol. Sin.*, vol. 41, no. 3, pp. 177–182, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.chnaes.2020.08.001.
- [9] Y. Wang, M. Mukherjee, D. Wu, and X. Wu, “Combating river pollution in China and India: policy measures and governance challenges,” *Water Policy*, vol. 18, no. S1, pp. 122–137, Dec. 2016, doi: 10.2166/wp.2016.008.
- [10] T. Lufiana, H. Haeruddin, and C. Ain, “Analisis Beban Pencemaran Dan Indeks Kualitas Air Sungai Silandak Dan Sungai Siangker, Semarang,” *Manag. Aquat. Resour. J.*, vol. 5, no. 3, pp. 127–134, 2016, doi: 10.14710/marj.v5i3.14399.
- [11] F. Sugiester S, Y. W. Firmansyah, W. Widiyantoro, M. F. Fuadi, Y. Afrina, and A. Hardiyanto, “DAMPAK PENCEMARAN SUNGAI DI INDONESIA TERHADAP GANGGUAN KESEHATAN : LITERATURE REVIEW,” *J. Ris. Kesehat. Poltekkes Depkes Bandung*, vol. 13, no. 1, pp. 120–133, Aug. 2021, doi: 10.34011/juriskesbdg.v13i1.1829.
- [12] M. K. F. Dirun, S. Gumiri, and D. J. Negara, “Persepsi Masyarakat Bataran Sungai Kahayan Terhadap Pencemaran Kualitas Air,” *Anterior J.*, vol. 20, no. 2, pp. 22–28, Apr. 2021, doi: 10.33084/anterior.v20i2.2116.
- [13] N. FEBRIANTI, “STUDI BEBAN PENCEMARAN SUNGAI KAPUAS AKIBAT BUANGAN DARI DRAINASE DI KECAMATAN PONTIANAK UTARA KOTA PONTIANAK (Studi Kasus: Kelurahan Siantan Tengah dan Kelurahan Siantan Hilir),” *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 2, no. 1, Sep. 2014, doi: 10.26418/jtllb.v2i1.7111.
- [14] E. Yogafanny, “Pengaruh Aktifitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo,” *J. Sains & Teknologi Lingkung.*, vol. 7, no. 1, pp. 29–40, Apr. 2015, doi: 10.20885/jstl.vol7.iss1.art3.
- [15] A. J. Saputra and P. Fu, “Analisis Penerapan Sistem Rainwater Tank Di Perumahan Citra Indah Batam Center,” *Inersia J. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 31–40, 2021, doi: 10.33369/ijts.13.1.31-40.
- [16] A. J. Saputra and J. Josephine, “Implementasi Rain Garden Infiltration untuk Mencapai Pembangunan Berkelanjutan dalam Pengelolaan Air Hujan,” *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, vol. 19, no. 1, pp. 11–19, Apr. 2022,

- doi: 10.30630/jirs.v19i1.767.
- [17] E. Hendriarianti, "SKENARIO PENGELOLAAN KUALITAS AIR SUNGAI METRO KOTA MALANG DARI ANALISA DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN," *J. Purifikasi*, vol. 14, no. 2, pp. 125–135, Jul. 2014, doi: 10.12962/j25983806.v14.i2.18.
 - [18] S. Yudo, "KONDISI PENCEMARAN AIR SUNGAI CIPINANG JAKARTA," *J. Air Indones.*, vol. 7, no. 2, Feb. 2018, doi: 10.29122/jai.v7i2.2412.
 - [19] I. Azhar, A., Dewata, "No Title," *J. Pengelolaan Lingkung. Berkelanjutan (journal Environ. Sustain. Manag.)*, vol. 2, no. 1, p. 76, 2018.
 - [20] A. Sutardi, S. Suprayogi, and T. N. Adji, "Kajian Kualitas Airtanah Bebas antara Sungai Kuning dan Sungai Tepus di Kecamatan Ngemplak, Yogyakata, Indonesia," *Maj. Geogr. Indones.*, vol. 31, no. 1, p. 31, Apr. 2017, doi: 10.22146/mgi.24230.
 - [21] Y. Sesempuli, B. Iswanto, and D. I. Hendrawan, "The Study of Pollution Degradation Rate in Krukut River," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 26, no. 2, pp. 11–30, 2020.
 - [22] N. T. Taufik Arief, Nukman Nukman, Fajri Vidian, "Pemberdayaan Masyarakat Melalui Penyediaan Air Bersih Dan Pengelolaan Sampah (Penerapan 6R) Dalam Mewujudkan Restorasi Sungai Tawar Dikelurahan 29 Ilir Kota Palembang," *J. Pengabdi. Community*, vol. 4, no. 2, pp. 60–68, 2022.
 - [23] R. M. PRASETYAWATI, "KEBERADAAN BAKTERI ESHERICHIA COLI PADA SUMBER AIR MINUM DI DESA MAMALA MALUKU TENGAH," *J. Nurs. Public Heal.*, vol. 6, no. 2, pp. 80–85, 2018, doi: <https://doi.org/10.37676/jnph.v6i2.640>.
 - [24] I. G. N. A. W. Putra and I. G. N. P. Mandala, "Upaya Cepat Dalam Mengatasi Banjir Akibat Penumpukan Sampah Di Sungai Saba Desa Pengastulan, Seririt," *PARTA J. Pengabdi. Kpd. Masyarakat*, vol. 1, no. 2, pp. 29–35, 2020, [Online]. Available: <http://journal.undiknas.ac.id/index.php/parta>.
 - [25] D. Marganiningrum and R. Noviardi, "PENCEMARAN AIR DAN TANAH DI KAWASAN PERTAMBANGAN BATUBARA DI PT. BERAU COAL, KALIMANTAN TIMUR," *J. Ris. Geol. dan Pertamb.*, vol. 19, no. 2, p. 11, Jun. 2009, doi: 10.14203/risetgeotam2010.v20.30.
 - [26] A. A. Hidrijanti, I. Juwana, P. T. Lingkungan, and U. Kebangsaan, "Sungai Cibeureum Das Citarum Di Sektor Pertanian," *J. Teknol. Lingkung. Basah*, vol. 07, no. 2, pp. 72–80, 2019.
 - [27] S. Wahyuningsih, E. Novita, and S. N. Afifah, "DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN SUNGAI SUMBERTELAK KABUPATEN JEMBER MENGGUNAKAN METODE STREETER-PHELPS," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 8, no. 1, pp. 110–118, Mar. 2020, doi: 10.29303/jrpb.v8i1.155.
 - [28] D. Agustiningsih and S. B. Sasongko, "Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal," *J. Presipitasi*, vol. 9, no. 2, pp. 64-71–71, 2012, doi: 10.14710/presipitasi.v9i2.64-71.
 - [29] A. I. Rifai, S. P. Hadiwardoyo, A. G. Correia, and P. Pereira, "Genetic Algorithm Applied for Optimization of Pavement Maintenance under Overload Traffic: Case Study Indonesia National Highway," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 845, pp. 369–378, Jul. 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.845.369.
 - [30] A. I. Rifai, S. P. Hadiwardoyo, A. G. Correia, P. Pereira, and P. Cortez, "The Data Mining Applied for the Prediction of Highway Roughness due to Overloaded Trucks," *Int. J. Technol.*, vol. 6, no. 5, p. 751, Dec. 2015, doi: 10.14716/ijtech.v6i5.1186.
 - [31] O. K. Osunsan, A. T. Ijjo, J. F. Mugisha, P. Samuel, and M. Muhwezi, "Publish or Perish': A Systematic Review," *J. Soc. Sci. Manag.*, vol. 1, no. September, pp. 1–22, 2022, [Online]. Available: www.cavendish.ac.ug
 - [32] M. Hofmann and A. Chisholm, Eds., *Text Mining and Visualization*. Chapman and Hall/CRC, 2016. doi: 10.1201/b19007.
 - [33] D. Rukandar, "Pencemaran Air: Pengertian, Penyebab, dan Dampaknya," *Mimb. Huk.*, vol. 21, no. 1, pp. 23–34, 2017.

EVALUASI TINGKAT KEPUASAN PENGGUNA TERHADAP PROGRAM PAVINGISASI JALAN LINGKUNGAN DI KOTA MADIUN

*Ummi Iyyaya¹, Mochamad Solikin², Dhani Mutiari³, Qomarun⁴

^{1,2,3,4}Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta

*) Email: ummi.iyyaya@gmail.com

ABSTRACT

Roads are important infrastructure in supporting mobility and economic growth. Madiun City, as a developing city in East Java Province, continues to improve road infrastructure through a paving program aimed at improving accessibility and user comfort. This program has been successfully implemented in 2023 and again in 2024, covering the entire Madiun City. However, this study focused on Manguharjo sub-district with a time span from February to October 2024. This study aims to evaluate community satisfaction with neighborhood road paving using the Importance Satisfaction Analysis (ISA) and Customer Satisfaction Index (CSI) methods. In addition, this research identifies attributes that need to be improved in order to improve the quality of paving. The results show that paving quality and road safety are the main factors that need to be improved, as illustrated in Quadrant A of the ISA analysis. Meanwhile, accessibility and road width have a good level of satisfaction and need to be maintained. Based on the CSI analysis, a satisfaction index of 85% was obtained, indicating that the community as a whole was very satisfied with the results of the paving of neighborhood roads in Madiun City.

Keyword: Pavingization, User Satisfaction, Importance Satisfaction Analysis (ISA), Customer Satisfaction Index (CSI), Madiun City

ABSTRAK

Jalan merupakan infrastruktur penting dalam mendukung mobilitas dan pertumbuhan ekonomi. Kota Madiun, sebagai kota berkembang di Provinsi Jawa Timur, terus meningkatkan infrastruktur jalan melalui program pavingisasi yang bertujuan meningkatkan aksesibilitas dan kenyamanan pengguna. Program ini telah sukses dilaksanakan pada 2023 dan kembali berlanjut pada 2024, mencakup seluruh Kota Madiun. Namun, penelitian ini difokuskan pada Kecamatan Manguharjo dengan rentang waktu dari Februari hingga Oktober 2024. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kepuasan masyarakat terhadap pavingisasi jalan lingkungan menggunakan metode Importance Satisfaction Analysis (ISA) dan Customer Satisfaction Index (CSI). Selain itu, penelitian ini mengidentifikasi atribut-atribut yang perlu diperbaiki guna meningkatkan kualitas pavingisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas paving dan keamanan jalan menjadi faktor utama yang perlu ditingkatkan, sebagaimana tergambar dalam Kuadran A analisis ISA. Sementara itu, aksesibilitas dan lebar jalan memiliki tingkat kepuasan yang baik dan perlu dipertahankan. Berdasarkan analisis CSI, diperoleh indeks kepuasan sebesar 85%, menunjukkan bahwa masyarakat secara keseluruhan merasa sangat puas dengan hasil pavingisasi jalan lingkungan di Kota Madiun.

Kata kunci: Pavingisasi, Kepuasan Pengguna, Importance Satisfaction Analysis (ISA), Customer Satisfaction Index (CSI), Kota Madiun

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi darat yang memiliki peran krusial dalam mendukung mobilitas manusia dan distribusi barang, serta menjadi fondasi penting dalam pembangunan sosial dan ekonomi suatu wilayah. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan [1], jalan diklasifikasikan berdasarkan fungsi, status, dan material perkerasannya, salah satunya adalah jalan lingkungan yang berada di kawasan permukiman dengan intensitas lalu lintas rendah [2]. Di antara jenis jalan berdasarkan material, jalan berpaving atau jalan yang diperkeras dengan *paving block* menjadi pilihan populer dalam pembangunan kawasan permukiman karena bersifat ekonomis, mudah dipasang, ramah lingkungan, dan memungkinkan partisipasi masyarakat [3]. Kota Madiun, sebagai kota berkembang di Provinsi Jawa Timur, mengimplementasikan program pavingisasi jalan lingkungan sebagai bagian dari peningkatan infrastruktur dengan pendekatan padat karya. Program ini telah dijalankan sejak tahun 2023 dan kembali dilanjutkan pada tahun 2024 dengan lingkup seluruh kota [3], namun penelitian ini memfokuskan pada Kecamatan Manguharjo. Pavingisasi yang dilakukan tidak hanya bertujuan memperbaiki kondisi jalan tetapi juga melibatkan masyarakat secara langsung melalui kelompok swadaya (pokmas) [4], serta menggunakan inovasi visual seperti motif paving 3D untuk meningkatkan daya tarik kawasan. Pentingnya program ini mendorong perlunya evaluasi terhadap tingkat keberhasilan pelaksanaannya, terutama dari sisi kepuasan masyarakat sebagai pengguna langsung [4]. Penelitian ini menggunakan dua metode utama, yaitu *Importance Satisfaction Analysis* (ISA) dan *Customer Satisfaction Index* (CSI), untuk mengukur persepsi masyarakat terhadap atribut-atribut layanan pavingisasi, seperti kualitas paving, aksesibilitas, keamanan jalan, dan fasilitas pendukung. Metode ISA digunakan untuk memetakan prioritas perbaikan melalui pemetaan kuadran antara kepentingan dan kepuasan, sedangkan CSI digunakan untuk mengukur kepuasan secara kuantitatif melalui perhitungan indeks kepuasan pengguna. Kedua metode ini telah banyak digunakan dalam penelitian

sejenis dan terbukti mampu memberikan informasi yang mendalam mengenai kebutuhan dan harapan masyarakat [5]. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan strategis bagi Pemerintah Kota Madiun dalam merancang kebijakan lanjutan yang lebih tepat sasaran, efisien, dan berkelanjutan dalam pelaksanaan program pavingisasi, serta memperkuat partisipasi publik dalam pembangunan infrastruktur lokal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Manguharjo, Kota Madiun, yang terdiri dari sembilan kelurahan, yaitu Nambangan Kidul, Nambangan Lor, Manguharjo, Pangongan, Winongo, Madiun Lor, Patihan, Ngegong, dan Sogaten. Menurut BPS kota madiun [6] Kecamatan ini memiliki populasi sebanyak 60.359 jiwa dan menjadi salah satu wilayah dengan program pavingisasi jalan lingkungan yang cukup intensif. Program ini mencakup 117 titik jalan yang telah atau sedang dalam proses pavingisasi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei kuesioner kepada masyarakat yang tinggal di sekitar jalan lingkungan yang telah dipaving. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen resmi pemerintah, laporan proyek pavingisasi, serta sumber lain seperti jurnal ilmiah dan peraturan daerah yang relevan. Kuesioner yang digunakan mengadopsi skala *Likert* [7] untuk mengukur persepsi masyarakat terkait kualitas paving, aksesibilitas, dan keamanan jalan, dan untuk Variabel yang diteliti pada penelitian ini adalah produk, tempat, proses dan juga bukti fisik yang di tabulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variabel dan Indikator pengukuran

No	Dimensi (Atribut)	Variabel	Kode
1	<i>Product</i>	Kualitas Paving	X1
		Aksesibilitas Jalan	X2
		Fasilitas dan Infrastruktur Pendukung (Bahu Jalan dan Drainase)	X3
2	<i>Place</i>	Lebar Jalan	X4
3	<i>Physical Evidence</i>	Pemeliharaan	X5
		Kenyamanan berlalu-lalang	X6
		Keamanan Jalan	X7
		Penampilan Visual	X8
4	<i>Process</i>	Dampak Selama Musim Hujan	X9

Sumber: Yosritzal, 2020

Teknik Sampling

Dalam penelitian ini, pemilihan sampel menggunakan metode *Proportionate Stratified Random Sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel yang membagi populasi ke dalam beberapa strata atau lapisan berdasarkan karakteristik tertentu, kemudian sampel diambil secara acak proporsional dari masing-masing strata. Metode ini didasarkan pada teori sampling yang menyatakan bahwa stratifikasi dapat meningkatkan representativitas sampel dan mengurangi bias, sehingga hasil penelitian menjadi lebih akurat dan dapat digeneralisasi ke populasi secara keseluruhan [8]. Penerapan *Proportionate Stratified Random Sampling* sangat efektif terutama ketika populasi terdiri dari subkelompok yang heterogen dan memiliki ukuran yang berbeda-beda, seperti dalam penelitian sosial, pendidikan, maupun pemasaran, karena metode ini memastikan setiap strata terwakili sesuai proporsinya dalam populasi, sehingga analisis data dapat mencerminkan kondisi sebenarnya dengan lebih baik.

Importance Satisfaction Analysis (ISA)

Metode ini digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi tingkat kepuasan pengguna atau pelanggan berdasarkan dua dimensi utama: importance (pentingnya atribut atau faktor) dan satisfaction (tingkat kepuasan terhadap atribut tersebut). Metode ini biasanya divisualisasikan dalam bentuk grafik dua dimensi yang memetakan atribut pada sumbu kepentingan dan kepuasan, sehingga dapat mengidentifikasi area yang perlu diprioritaskan untuk perbaikan atau dipertahankan.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa ketentuan awal, dengan mengikuti beberapa persamaan yang sudah dituliskan oleh penelitian sebelumnya [4] harapanya hasil yang di dapat bisa mencerminkan keadaan yang *real* pada kondisi di lapanganya, berikut adalah persamaan 1 dengan mengetahui Tingkat Kesesuaian Responden.

$$Tki = \frac{x_i}{y_i} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan Tki = Tingkat Kesesuaian Responden, Xi = Skor Penilaian Kinerja, Yi = Skor Kepentingan Pengguna Layanan

Selanjutnya sumbu mendatar (X) akan diisi oleh skor tingkat kinerja sedangkan sumbu vertikal (Y) akan diisi oleh skor tingkat kepentingan atau harapan. Untuk setiap faktor yang mempengaruhi penilaian pengguna jasa dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 berikut :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (3)$$

Dengan n = Tingkat Kesesuaian Responden, \bar{X} = Rata-rata tingkat kepuasan indikator ke-1, \bar{Y} = Rata-rata tingkat kepentingan indikator ke-1

Selanjutnya adalah menghitung rata-rata tingkat kepentingan dan kinerja untuk keseluruhan indikator, dengan persamaan 4 dan 5 :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{k} \quad (4)$$

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{\sum \bar{Y}_i}{k} \quad (5)$$

Dengan k = Jumlah Pertanyaan dalam kuesioner, $\bar{\bar{X}}$ = Total Rata-rata tingkat kepuasan atribut ke-1, $\bar{\bar{Y}}$ = Total Rata-rata tingkat kepentingan atribut ke-1

Skor rata-rata tingkat penilaian kinerja dari responden selanjutnya akan ditempatkan pada diagram kartesius dengan sumbu mendatar (sumbu X) merupakan skor rata-rata tingkat penilaian kinerja \bar{X} dan sumbu tegak (sumbu Y) adalah skor rata-rata tingkat penilaian kepentingan/harapan indikator \bar{Y} . Diagram kartesian ini akan dibagi menjadi empat (4) kuadran dengan perpotongan sumbunya merupakan nilai rata-rata total dari skor penilaian kinerja $\bar{\bar{X}}$ dan total skor penilaian kepentingan/harapan indikator $\bar{\bar{Y}}$, pada berbagai atribut terdapat keterangan yang menandakan berbagai keadaan tergantung masing masing nilai yang didapat.

Menurut [4] dan [9] Dalam analisis *Importance Satisfaction Analysis* (ISA), atribut-atribut hasil evaluasi dipetakan ke dalam empat kuadran berdasarkan kombinasi antara tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan pengguna. Kuadran A mencakup atribut-atribut yang memiliki tingkat kepentingan dan kepuasan yang sama-sama tinggi. Atribut dalam kuadran ini menunjukkan bahwa pengguna merasa sangat puas terhadap aspek yang mereka anggap penting, sehingga kualitas dari atribut-atribut ini perlu terus dipertahankan agar tetap memenuhi harapan. Contohnya adalah aksesibilitas jalan yang baik dan lebar jalan yang memadai. Sementara itu, Kuadran B berisi atribut-atribut dengan tingkat kepentingan rendah tetapi memiliki tingkat kepuasan tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun pengguna merasa puas, mereka tidak menganggap atribut tersebut terlalu penting, sehingga pengelola dapat mempertimbangkan pengurangan alokasi sumber daya untuk atribut ini dan mengalihkannya pada aspek yang lebih membutuhkan perhatian. Atribut seperti estetika jalan dan kenyamanan berlalu-lalang termasuk dalam kuadran ini. Selanjutnya, Kuadran C mencakup atribut-atribut dengan tingkat kepentingan dan kepuasan yang rendah. Meskipun bukan prioritas utama, peningkatan atribut-atribut ini tetap dapat dilakukan secara bertahap untuk memberikan nilai tambah jangka panjang, seperti fasilitas pendukung berupa trotoar atau rambu-rambu jalan. Terakhir, Kuadran D merupakan area yang harus menjadi perhatian utama, karena mencakup atribut dengan tingkat kepentingan tinggi namun tingkat kepuasan rendah. Atribut dalam kuadran ini dinilai sangat penting oleh pengguna, namun kinerjanya belum memenuhi harapan, sehingga perbaikannya akan memberikan dampak besar terhadap peningkatan kepuasan secara keseluruhan. Contoh dari atribut ini adalah kualitas paving jalan dan keamanan jalan yang masih perlu ditingkatkan secara signifikan.

Customer Satisfaction Analysis (CSI)

CSI adalah metrik utama yang mengukur tingkat kepuasan pelanggan terhadap suatu organisasi, produk, atau layanan secara keseluruhan [10], CSI tidak hanya mengukur kepuasan secara umum, tetapi juga memberikan wawasan tentang aspek-aspek spesifik dari produk atau layanan yang memenuhi, melampaui, atau gagal memenuhi kebutuhan pelanggan.

Indeks Kepuasan ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai kepuasan yang dapat digunakan untuk membandingkan kinerja proyek di berbagai lokasi atau waktu [4], dalam metode tahapan awal akan digunakan persamaan 6 guna mengetahui *Mean Importance Score* (MIS) sebagai berikut :

$$MIS_i = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \times 100\% \quad (6)$$

Dengan n = Jumlah data, Y_i = Nilai Kepentingan Atribut ke i (yang telah dikonversi pada skala yang ditentukan) Lalu untuk tahapan kedua perlu untuk mengetahui *Weight Factor* (WF), yaitu faktor tertimbang per atribut dengan menggunakan persamaan 7 sebagai berikut :

$$WF_i = \frac{MIS_i}{\Sigma MIS} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan MIS = Nilai Atribut MIS, ΣMIS = Nilai total Atribut MIS

Pada tahapan ketiga perlu dicari untuk Nilai rata-rata kepuasan (*Mean Satisfaction Score/MSS*) dengan menggunakan persamaan 8 sebagai berikut :

$$MSS = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \times 100\% \quad (8)$$

Dengan n = Jumlah data, X_i = Nilai kinerja atribut ke- i (yang telah dikonversi pada skala yang telah ditentukan)

Terakhir, menentukan *Weight Score* (WS), yang merupakan perkalian antara WF dan MSS. Menentukan nilai CSI dengan menggunakan persamaan 9 :

$$CSI = \frac{\sum_{i=1}^n WS_i}{HS} \times 100\% \quad (9)$$

Dengan p = Indikator Kepentingan ke- p , HS = *Highest Scale* (skala maksimum yang digunakan)

Menurut [11] bila nilai CSI $> 50\%$ maka dapat dikatakan bahwa pengguna jasa telah merasa puas, sebaliknya bila CSI $< 50\%$ maka pengguna jasa belum merasa puas. Nilai CSI dalam penelitian ini dibagi dalam lima kriteria dari tidak puas sampai dengan sangat puas seperti dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Nilai Customer Satisfaction Index (CSI)

No.	Nilai CSI	Kriteria CSI
1.	$X > 0,81$	Sangat Puas
2.	$0,66 - 0,81$	Puas
3.	$0,51 - 0,65$	Cukup Puas
4.	$0,35 - 0,50$	Kurang Puas
5.	$0,00 - 0,34$	Tidak Puas

Sumber: Yosrizal, 2020

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan dari 100 responden yang tersebar di Kecamatan Manguharjo, Kota Madiun. Karakteristik responden dilihat dari tiga aspek utama, yaitu jenis kelamin, usia, dan tempat tinggal. Berdasarkan jenis kelamin, mayoritas responden adalah perempuan dengan persentase sebesar 53%, sementara laki-laki sebanyak 47%. Dari segi usia, responden terbanyak berada pada rentang usia 21–30 tahun dengan persentase 26%, menunjukkan bahwa mayoritas responden merupakan individu pada usia produktif. Sementara itu, kelompok usia paling sedikit adalah 31–40 tahun, dengan persentase 16%. Ditinjau dari tempat tinggal, responden paling banyak berasal dari Kelurahan Nambangan Lor sebanyak 20%, diikuti oleh Nambangan Kidul (16%), dan yang paling sedikit dari Kelurahan Ngegong dengan persentase 5%. Sebaran ini menunjukkan bahwa penelitian mencakup berbagai kelompok masyarakat yang cukup representatif di wilayah Kec. Manguharjo.

Sampling Responden

Berdasarkan Hasil Observasi Lapangan, bahwasanya digunakan masyarakat sebagai populasi yang akan diambil sebagai sampel terpilih pada penelitian ini, oleh karena itu penentuan sampel terpilih digunakan teknik *Proportionate Stratified Random Sampling*, oleh karena itu jumlah responden ditetapkan secara Proporsional berdasarkan hitungan *slovin* dan juga teknik *Proportionate Stratified Random Sampling* seperti pada persamaan 10 berikut.

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (10)$$

Dengan n = Ukuran sampel, N = Ukuran Populasi, e = Persentase kelonggaran ketelitian kesalahan pengambilan sampel yang masih bisa ditolerir; $e = 5\% \text{ s/d } 10\%$

Sesuai dengan jumlah populasi yang hidup di Kecamatan Manguharjo terdapat 60.359 jiwa [6], maka perhitungannya sebagai berikut.

$$n = \frac{60.359}{1 + 60.359(0,1)^2}$$

$$n = 100 \text{ sampel}$$

Dari hasil persamaan *slovin* diatas didapat 100 sampel, yang mana akan dihitung kembali berdasarkan teknik *Proportionate Stratified Random Sampling* sebagai berikut.

$$nh = \frac{Nh}{N} \times n \quad (11)$$

Dengan nh = Jumlah Sampel terpilih dari *Proportionate Stratified Random Sampling*, Nh = Jumlah Populasi pada strata, N = Jumlah total populasi, n = Jumlah Sampel (dari *slovin*)

Sebagai contoh hitungan akan diambil salah satu kelurahan yaitu Nambangan Kidul dengan terdapat 9568 jiwa hidup di kelurahan tersebut.

$$nh = \frac{9568}{60.359} \times 100$$

$$nh = 16 \text{ sampel terpilih}$$

Dari hasil perhitungan diatas, akan drangkum dalam tabel perhitungan sampel terpilih menggunakan teknik *Proportionate Stratified Random Sampling* pada Tabel 3 dibawah.

Tabel 3. Perhitungan sampel terpilih menggunakan teknik *Proportionate Stratified Random Sampling*

No	Kelurahan	Titik	(%)	Populasi	(%)	Slovin	Sampel	Sampel/titik
1	Nambangan Kidul	8	7%	9568	16%		16	2
2	Nambangan Lor	15	13%	12347	20%		20	1
3	Manguharjo	15	13%	7635	13%		13	1
4	Pangongan	8	7%	3414	6%		6	1
5	Winongo	24	21%	7779	13%		13	1
6	Madiun Lor	5	4%	7159	12%	100	12	2
7	Patihan	10	9%	4938	8%		8	1
8	Ngegong	26	22%	3252	5%		5	0
9	Sogaten	6	5%	4267	7%		7	1
Total		117	100%	60359	100%		100	10

Sumber: Analisis Perhitungan, 2025

Hasil Perhitungan ISA

Tingkat kesesuaian merupakan hasil perbandingan antara nilai tingkat kepuasan dengan tingkat kepentingan, pada persamaan 1 digunakan untuk menghitung tingkat kesesuaian guna melihat urutan peringkat atribut dari yang terendah sampai yang tertinggi, hasilnya ditunjukan pada tabel 4.

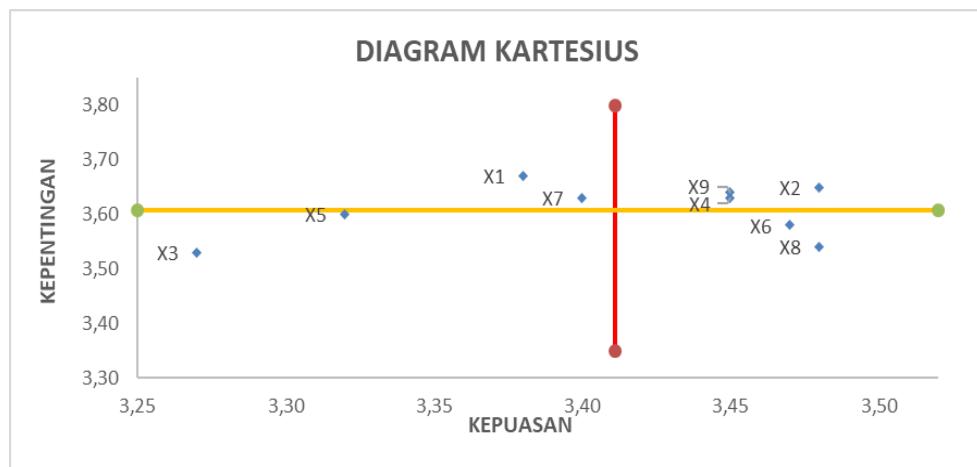
Tabel 4. Perhitungan Tki

No	Var	Skor Kepuasan (Xi)	Skor Kepentingan (Yi)	TKi (%)
1	X1	3,38	3,67	92,1
2	X2	3,48	3,65	95,3
3	X3	3,27	3,53	92,6
4	X4	3,45	3,63	95,0
5	X5	3,32	3,60	92,2
6	X6	3,47	3,58	96,9
7	X7	3,40	3,63	93,7
8	X8	3,48	3,54	98,3
9	X9	3,45	3,64	94,8
Rata-rata				94,6

Sumber: Analisis Perhitungan, 2025

Dari Tabel 4. Perhitungan Tki dapat disimpulkan bahwasanya tingkat kesesuaianya berada di rata-rata persentasenya sebesar 95 %. Kemudian dari hasil perhitungan rata rata di atas dapat dijadikan suatu

diagram kartesius, dimana diagram ini dapat berfungsi guna mengetahui berada di kuadran mana variabel kita, yang nanti akan diperbaiki, gambar diagram kartesius akan ditampilkan pada gambar 1 dibawah, dan untuk tabel kesimpulanya terdapat pada Tabel 5.



Sumber: Analisis Perhitungan, 2025

Gambar 1. Diagram Kartesius

Tabel 5. Kesimpulan dan Rekomendasi

Kuadran	Kesimpulan Diagram Kartesius	
	Variabel	Rekomendasi
Kuadran A	X1, dan X7	Prioritas Utama untuk ditingkatkan
Kuadran B	X2, X4, dan X9	Harus dipertahankan
Kuadran C	X3, dan X5	Prioritas Rendah untuk Peningkatan
Kuadran D	X6, dan X8	Kelola Alokasi Sumber daya

Sumber: Analisis Perhitungan, 2022

Kualitas paving (material) dan keamanan jalan, baik dari sisi infrastruktur maupun fasilitas pendukung, menjadi fokus prioritas utama dalam penelitian ini. Hal tersebut selaras dengan temuan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang juga menempatkan kedua aspek ini sebagai perhatian utama masyarakat. Fenomena ini mengindikasikan bahwa masyarakat Indonesia umumnya lebih memprioritaskan aspek kualitas material dan kekuatan jalan dibandingkan aspek estetika. Hal ini tidak terlepas dari kondisi jalan di Indonesia yang dituntut memiliki kekuatan yang memadai, bahkan ketika digunakan di luar peruntukan semestinya. Berdasarkan analisis *Importance Satisfaction Analysis* (ISA), atribut-atribut dalam program pavingisasi jalan lingkungan dipetakan ke dalam empat kuadran.

Pada Kuadran A yang merupakan prioritas utama, terdapat dua atribut penting yaitu Kualitas Paving (X1) dan Keamanan Jalan (X7). Hasil penilaian menunjukkan bahwa meskipun atribut-atribut ini memiliki tingkat kepentingan yang tinggi dari masyarakat (nilai kepentingan X1 sebesar 3,67), tingkat kepuasannya masih lebih rendah (nilai kepuasan X1 sebesar 3,38). Artinya, masyarakat menganggap kedua aspek ini sangat penting namun belum sepenuhnya puas terhadap pelaksanaannya saat ini. Oleh karena itu, atribut X1 dan X7 perlu menjadi perhatian utama dan dioptimalkan dalam program pavingisasi berikutnya.

Selanjutnya, Kuadran B mencakup atribut-atribut yang saat ini memiliki kinerja yang baik dan patut untuk dipertahankan, yaitu Aksesibilitas Jalan (X2), Lebar Jalan (X4), dan Dampak Selama Musim Hujan (X9). Ketiga atribut ini menunjukkan keseimbangan antara kepentingan dan kepuasan masyarakat yang sama-sama tinggi, yang mencerminkan keberhasilan pelaksanaan program pada aspek-aspek tersebut. Sebagai contoh, Aksesibilitas Jalan (X2) mendapatkan skor kepentingan 3,65 dan kepuasan 3,48, sedangkan Lebar Jalan (X4) dan Dampak Selama Musim Hujan (X9) juga menunjukkan hasil yang hampir serupa.

Sementara itu, Kuadran C berisi atribut yang tergolong prioritas rendah untuk peningkatan, yaitu Fasilitas dan Infrastruktur Pendukung (X3) serta Pemeliharaan (X5). Kedua atribut ini memiliki nilai kepentingan dan kepuasan yang relatif rendah, seperti X3 dengan skor kepentingan 3,53 dan kepuasan 3,27, serta X5 dengan skor kepentingan 3,60 dan kepuasan 3,32. Walaupun bukan menjadi fokus utama, peningkatan secara bertahap tetap disarankan guna menambah kenyamanan dan kelengkapan infrastruktur dalam jangka panjang.

Adapun Kuadran D memuat atribut yang perlu dikelola secara efisien dalam hal alokasi sumber daya, yaitu Kenyamanan Berlalu-lalang (X6) dan Penampilan Visual (X8). Kedua atribut ini dinilai memiliki tingkat kepentingan yang lebih rendah namun telah memberikan tingkat kepuasan yang tinggi kepada masyarakat. Misalnya, X6 memiliki nilai kepentingan 3,58 dan kepuasan 3,47, serta X8 dengan nilai kepentingan 3,54 dan kepuasan 3,48. Oleh karena itu, alokasi sumber daya untuk atribut-atribut ini dapat dikurangi dan difokuskan pada aspek-aspek yang lebih membutuhkan perbaikan. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu pemerintah dalam menentukan strategi perbaikan yang lebih tepat sasaran dan efisien.

Hasil Perhitungan CSI

Tahapan berikutnya ialah menghitung sejauh mana persentase yang di dapat pada perhitungan CSI (*Customer Satisfaction Index*), Guna mengkategorikan indeks tingkat kepuasan dalam CSI, digunakan Kategorisasi serupa yang ditemukan dalam penelitian [12] dan [13]. Kategorisasi ini membagi kriteria CSI berdasarkan tingkat kesesuaian, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Interpretasi Indeks Kepuasan

Tingkat Indeks	Interpretasi
$x \leq 64\%$	<i>Very poor</i>
$64\% < x \leq 71\%$	<i>Poor</i>
$71\% < x \leq 77\%$	<i>Cause for concern</i>
$77\% < x \leq 80\%$	<i>Borderline</i>
$80\% < x \leq 84\%$	<i>Good</i>
$84\% < x \leq 87\%$	<i>Very good</i>
$87\% < x$	<i>excellent</i>

Sumber: Syukri, 2014 dan Kartikasari, 2020

Tabel 6. Interpretasi Indeks Kepuasan menunjukkan tingkat kesesuaian antara tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan pada atribut/variabel. Tingkat kesesuaian tersebut menunjukkan urutan prioritas dari yang terendah hingga yang tertinggi sebagai upaya peningkatan atau perbaikan di dalamnya, untuk rangkuman perhitungannya terdapat pada tabel 7 dibawah.

Tabel 7. Perhitungan Customer Satisfaction Index (CSI)

No	Variabel	Σ Kepuasan	Σ Kepentingan	MSS	MIS	WF	WS
1	Kualitas Paving	338	367	3,4	3,6	0,113	0,38
2	Aksesibilitas Jalan	348	365	3,5	3,6	0,112	0,39
3	Fasilitas dan Infrastruktur	327	353	3,3	3,5	0,109	0,35
4	Lebar Jalan	345	363	3,4	3,6	0,112	0,38
5	Pemeliharaan	332	360	3,3	3,6	0,111	0,36
6	Kenyamanan berlalu-lalang	347	358	3,5	3,5	0,110	0,38
7	Keamanan Jalan	340	363	3,4	3,6	0,112	0,38
8	Penampilan Visual	348	354	3,5	3,5	0,109	0,37
9	Dampak Selama Musim Hujan	345	364	3,4	3,6	0,112	0,38
Total		3070	3247	31	32,4	100%	3,4
<i>Customer Satisfaction Index (CSI)</i>		85%		<i>Very good</i>			

Sumber: Analisis Perhitungan, 2025

Data yang dianalisis pada Tabel 7 menggunakan Customer Satisfaction Index (CSI) untuk menentukan tingkat kepuasan pengguna terhadap Program Pavingisasi Jalan Lingkungan di Kecamatan Manguharjo Kota Madiun menunjukkan persentase 85 %, hal ini menunjukkan bahwasanya 85 % masyarakat merasa puas terhadap Program Pavingisasi yang dilaksanakan oleh Dinas setempat.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini memberikan temuan dalam penggabungan pengujian ISA dan CSI pada hubungan antara atribut dan variabel Program Pavingisasi Jalan Lingkungan di Kota Madiun, Penelitian ini mengevaluasi tingkat kepuasan masyarakat terhadap program pavingisasi jalan lingkungan di Kota Madiun dengan menggunakan metode *Importance Satisfaction Analysis* (ISA) dan *Customer Satisfaction Index* (CSI). Hasil analisis menunjukkan bahwa 85% masyarakat merasa puas dengan program ini. Berdasarkan analisis ISA, faktor yang harus menjadi prioritas utama untuk ditingkatkan adalah kualitas paving dan keamanan jalan. Kualitas paving

masih dianggap belum optimal, sementara aspek keamanan jalan perlu ditingkatkan untuk mengurangi risiko kecelakaan. Sementara itu, aksesibilitas jalan dan lebar jalan dinilai sudah baik dan perlu dipertahankan.

Penelitian ini juga memiliki keterbatasan yakni hanya mengambil satu objek kawasan penelitian yaitu pada Kecamatan Manguharjo, sehingga penelitian ini tidak bisa menggeneralisir seluruh Kota Madiun, dan rekomendasi bagi penelitian mendatang untuk memperluas cakupan penelitian ataupun memilih daerah Kecamatan lain di Kota Madiun, hingga nanti nya diharapkan untuk dapat mencapai tahap dapat menjadi rekomendasi yang general untuk Pemerintah Daerah.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan penuh hormat dan apresiasi, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Kota Madiun atas segala bentuk bantuan, dukungan, serta kemudahan dalam pemberian akses data yang sangat dibutuhkan selama proses penelitian ini. Kontribusi dan kerja sama yang telah diberikan sangat membantu dalam memperoleh informasi yang akurat dan relevan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Semoga kerja sama yang baik ini dapat terus terjalin di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perhubungan, "UU PERUBAHAN KEDUA ATAS UNDANG-UNDANG NOMOR 38 TAHUN 2004 TENTANG JALAN," Pemerintah Pusat, Jakarta, 2022.
- [2] PUPR, "Pedoman Penetapan Fungsi dan Status Jalan," Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta, 2012.
- [3] S. Randhawa, E. Aygun, R. Guntaj, B. Herfort, S. Lautenbach and A. Zipf, "Paved or unpaved? A Deep Learning derived Road Surface Global Dataset from Mapillary," *Elsevier*, 2024.
- [4] Y. E. Novrianti and Y. , "Evaluation of concretization of local road in Padang city using the importance satisfaction analysis and customer satisfaction index methods," *4th ICEEDM* , 2020.
- [5] A. Rifai, "Pemkot Madiun lanjutkan program padat karya pavingisasi di tahun 2024," Antara Jatim, Madiun, 2024.
- [6] B. K. MADIUN, Kecamatan Manguharjo dalam Angka 2024, vol. XIII, Madiun, Jawa Timur: Badan Pusat Statistik, 2024.
- [7] S. Arikunto, Prosedur Penelitian : Suatu Pendekatan Praktik, Jakarta: Rineka Cipta, 2019.
- [8] Sugiyono, Statistika untuk Penelitian, Bandung: Alfabeta Bandung, 2007.
- [9] W. Nugroho, "EVALUASI TINGKAT KEPUASAN PENGGUNA JALAN (Studi Kasus Jalan Lintas Sumbawa Bima Desa Baka Jaya Kabupaten Dompu)," Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram, 2020.
- [10] I. Buamonabot, R. Syahdan, M. A. Arilaha, J. Fahri and N. , "ATTRIBUTES OF TERTIARY INSTITUTIONS, INFORMATION SATISFACTION, USER SATISFACTION OF INFORMATION SYSTEM, SATISFACTION ON SELECTING TERTIARY INSTITUTIONS (STUDY ON THE ACCEPTANCE OF NEW STUDENTS)," *Indonesian Journal on Information System*, vol. 5, no. 2, p. 157, 2020.
- [11] E. B. Kurniawan, R. Fitriani and Z. , "PENGUKURAN INDEKS KEPUASAN LAYANAN INFRASTRUKTUR (IKLI) KOTA MALANG TAHUN 2022," *Jurnal Pangripta*, vol. 6, 1 Maret 2023.
- [12] S. H. A. Syukri, "Penerapan Customer Satisfaction Index (CSI) dan Analisis Gap Kualitas Pelayanan Trans jogja," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 13, no. 2, pp. 103-111, Desember 2014.
- [13] R. D. Kartikasari, "Analisis Customer Satisfaction Index (CSI) Terhadap Kinerja Pedagang Sayuran di pasar Tradisional Kabupaten Sukoharjo," *AGRINECA*, vol. 20, no. 1, Januari 2020.

PRIORITAS REHABILITASI LUMBUNG AIR DI KABUPATEN PATI DENGAN MULTIPLE ATTRIBUTE DECISION MAKING

***Marcio Tahalele¹, Lintang Jata Angghita²**

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, 50234, Indonesia

²Program Studi Rekayasa Infrastruktur Lingkungan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Lingkungan, Universitas Katolik Soegijapranata, 50234, Indonesia

*) Email: marciotahalele@unika.ac.id

ABSTRACT

Water security has become a global issue, especially in sustainable water resources management. It is closely related to the need for clean water, which is critical, limited, and vulnerable. Some factors that lead to problems in water security are population growth, climate change, and water resources management, which involves many parties and has not been optimized in many places. The Central Java region, especially Pati Regency, is an area that is vulnerable to water security problems, particularly drought. Water granaries in Pati Regency are one of the solutions to overcome drought problems. However, water granaries in Pati Regency have not functioned optimally. Thus, it is necessary to determine the priority order in rehabilitating water granaries using the Multi-Attribute Decision Making (MADM) method. The research was conducted by examining fourteen alternatives influenced by six criteria. The results show that physical infrastructure an important role in determining the priority order of rehabilitation of water granaries in Pati Regency. The results revealed that the Raci water granary was the priority in rehabilitation and had the highest preference value. The SAW method was optimal in determining the priority order of rehabilitation of water granaries in Pati Regency with an RMSE value of 3.648. It is necessary to review the weight of the performance assessment of water granaries to make decisions and follow up on water granary rehabilitation that can be carried out appropriately and beneficially for the community.

Keyword: Rehabilitation, Water Granaries, MADM

ABSTRAK

Ketahanan air telah menjadi isu global terutama dalam pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Hal ini berhubungan erat dengan kebutuhan air bersih yang merupakan hal yang penting, terbatas, dan rentan. Beberapa faktor yang menyebabkan masalah ketahanan air adalah pertumbuhan penduduk, perubahan iklim, pengelolaan sumber daya air yang melibatkan banyak pihak dan belum optimal di banyak tempat. Daerah Jawa Tengah khususnya Kabupaten Pati merupakan daerah yang rentan terhadap permasalahan ketahanan air terlebih khusus bencana kekeringan. Lumbung air di Kabupaten Pati menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan kekeringan. Tetapi lumbung air di Kabupaten Pati belum berfungsi secara optimal, maka diperlukan penentuan urutan prioritas dalam rehabilitasi lumbung air dengan menggunakan metode *Multi Attribute Decision Making* (MADM). Penelitian yang dilakukan dengan melihat 14 (empat belas) alternatif yang dipengaruhi oleh 6 (enam) kriteria. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa prasarana fisik memegang peranan penting dalam penentuan urutan prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati. Hasil penelitian menjelaskan bahwa lumbung air Raci menjadi prioritas pertama dalam rehabilitasi dengan nilai preferensi tertinggi. Metode SAW digunakan sebagai metode yang optimal dalam penentuan urutan prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati dengan nilai RMSE 3,648. Perlu dilakukan peninjauan ulang terkait bobot penilaian kinerja lumbung air, sehingga dalam pengambilan keputusan dan tindak lanjut terhadap rehabilitasi lumbung air dapat dilaksanakan tepat guna dan bermanfaat bagi masyarakat.

Kata kunci: Rehabilitasi, Lumbung Air, MADM

1. PENDAHULUAN

Ketahanan air menjadi isu global yang telah menjadi perbincangan, terlebih khusus dalam konteks pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan [1]. Isu tersebut erat kaitannya dengan penggunaan air bersih diberbagai kehidupan. Air bersih sendiri merupakan sumber daya abiotik yang sangat penting dalam ekosistem dan keberlangsungan makhluk hidup [2, 3]. Air bersih sendiri merupakan hal yang penting, terbatas, dan rentan. Selain itu, air bersih merupakan aset ekonomi yang penting dan mendukung berbagai sektor. Hal itu berdampak bagi ketahanan pangan global dan pembangunan ekonomi secara global. Di Indonesia, ketahanan air merupakan masalah yang sangat kompleks. Permasalahan tersebut diakibatkan karena pengelolaan sumber daya air yang melibatkan banyak pihak, mulai dari pemerintah pusat hingga daerah, masyarakat, dan dunia usaha [4]. Pertumbuhan penduduk menjadi salah satu faktor utama yang berdampak kepada meningkatnya kebutuhan manusia terhadap sumber daya, termasuk pangan, energi, dan air. Perubahan iklim dan pengelolaan sumber daya air yang belum optimal menjadi faktor pendukung dalam permasalahan ketahanan air [5]. Konsumsi air bersih yang berlebihan dapat mengakibatkan kekurangan pasokan yang berdampak pada kelangkaan air bersih. Selain itu, adanya kesenjangan akses terhadap air bersih, kuantitas dan kualitas air permukaan, serta pengelolaan ekstraksi air tanah menjadi faktor pendukung dalam permasalahan ketahanan air [6].

Salah satu daerah di Indonesia yang tergolong rawan bencana alam khususnya banjir, tanah longsor, dan kekeringan adalah Jawa Tengah. Kabupaten Pati merupakan salah satu daerah dalam kategori rawan bencana kekeringan [7, 8, 9]. Kekeringan tersebut diakibatkan karena Kabupaten Pati didominasi oleh batuan yang sulit menyimpan air, sehingga pada musim kemarau mengalami krisis air. Untuk mengantisipasi bencana kekeringan dalam hal ini krisis air, Kabupaten Pati memiliki infrastruktur air berupa lumbung air. Lumbung air yang berada di Kabupaten Pati tidak semuanya berfungsi secara optimal, sehingga manfaat dari adanya lumbung air tidak berdampak secara signifikan. Hal ini dapat mengakibatkan menurunnya pemenuhan kebutuhan air di masyarakat. Dengan melihat kondisi semua lumbung air di Kabupaten Pati tidak berfungsi secara optimal, maka perlu dilakukan penentuan skala prioritas penanganan atau rehabilitasi lumbung air. Penentuan skala prioritas dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Multi Attribute Decision Making* (MADM). MADM merupakan salah satu metode yang diterapkan untuk menentukan alternatif terbaik dari beberapa alternatif yang telah dipilih dengan kriteria yang telah ditentukan [10]. Dalam menyelesaikan permasalahan dengan berbagai kriteria dan alternatif, analisis MADM dapat digunakan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dengan MADM, yaitu *Simple Additive Weighting Method* (SAW), *Weighted Product* (WP), dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Metode MADM banyak digunakan dalam pengambilan keputusan di bidang sumber daya air [11, 12, 13, 14]. Penelitian-penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa MADM merupakan salah satu solusi dalam pengambilan keputusan di bidang sumber daya air. Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, maka metode MADM digunakan untuk menentukan urutan prioritas dalam rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Multi Attribute Decision Making

Multi Attribute Decision Making (MADM) adalah mengevaluasi m alternatif $A_i (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ terhadap sekumpulan atribut atau kriteria $C_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$, dimana setiap atribut tidak bergantung satu dengan lainnya. Nilai bobot yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif setiap atribut diberikan sebagai $W = \{w_1, w_2, \dots, n\}$. Matriks keputusan setiap alternatif terhadap setiap atribut (X) dinyatakan sebagai berikut:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Simple Additive Weighting Method (SAW)

Metode SAW memerlukan proses normalisasi matriks keputusan (X) ke skala yang dapat dibandingkan dengan semua peringkat alternatif yang ada. Normalisasi matriks keputusan dalam metode SAW didekati dengan persamaan (2).

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} & \Rightarrow \text{jika } j \text{ adalah atribut keuntungan} \\ \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} & \Rightarrow \text{jika } j \text{ adalah atribut biaya} \end{cases} \quad (2)$$

Dimana, r_{ij} adalah peringkat kinerja ternormalisasi dari alternatif (A_i) pada atribut (C_j); $i = 1, 2, \dots, m$ dan $j = 1, 2, \dots, n$

Nilai preferensi untuk setiap alternatif (V_i) dengan metode SAW dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (3)$$

Nilai V_i yang lebih besar menunjukkan bahwa A_i lebih terpilih.

Weighted Product (WP)

Metode *Weighted Product* (WP) menggunakan perkalian untuk menghubungkan rating atribut, dimana setiap atribut dipangkatkan terlebih dahulu dengan bobotnya. Penentuan nilai bobot (S_i) dengan metode WP dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_i = \prod_{j=1}^n x_{ij}^{w_j} \quad (4)$$

$$\sum w_j = 1 \quad (5)$$

w_j adalah pangkat bernilai positif untuk atribut keuntungan dan bernilai negatif untuk atribut biaya. Nilai preferensi untuk setiap alternatif (V_i) dengan metode WP dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_i = \frac{\prod x_{ij}^{w_j}}{\prod (x_j^*)^{w_j}} \quad (6)$$

Nilai V_i yang lebih besar menunjukkan bahwa A_i lebih terpilih.

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Metode TOPSIS merupakan salah satu metode dengan konsep yang sederhana dan mudah dipahami, komputasinya efisien, dan mempunyai kemampuan untuk mengukur kinerja relatif dari berbagai alternatif keputusan [15]. Normalisasi matriks keputusan didekati dengan persamaan (7).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (7)$$

Matriks solusi ideal positif (A^+) dan matriks solusi ideal negatif (A^-) dapat ditentukan dengan bobot rating yang dinormalisasi (y_{ij}).

$$y_{ij} = w_i r_{ij} \quad (8)$$

$$y_j^+ = \begin{cases} \max_i y_{ij} & \text{; jika } j \text{ adalah atribut keuntungan} \\ \min_i y_{ij} & \text{; jika } j \text{ adalah atribut biaya} \end{cases} \quad (9)$$

$$y_j^- = \begin{cases} \min_i y_{ij} & \text{; jika } j \text{ adalah atribut keuntungan} \\ \max_i y_{ij} & \text{; jika } j \text{ adalah atribut biaya} \end{cases} \quad (10)$$

Jarak antara nilai setiap alternatif (A_i) dengan matriks solusi ideal positif (A^+) dan matriks solusi ideal negatif (A^-) dapat dilihat dalam persamaan (11) dan (12).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_j^+ - y_{ij})^2} \quad (11)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad (12)$$

Nilai preferensi untuk setiap alternatif (V_i) dengan metode TOPSIS dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (13)$$

Nilai V_i yang lebih besar menunjukkan bahwa A_i lebih terpilih.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Pati dengan melihat sebanyak 14 (empat belas) lumbung air yang dibawah wewenang Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juana. Adapun koordinat lumbung air di Kabupaten Pati dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat Lumbung Air di Kabupaten Pati

Lumbung Air	Koordinat	
	Lintang	Bujur
Boto	-6,819646	111,197929
Bulu Mulyo	-6,732984	111,204538
Kemangi Sido Mukti	-6,788336	111,189798
Kuniran	-6,744245	111,230522
Mantingan	-6,776899	111,138495
Ngeging	-6,727762	111,180735
Raci	-6,713388	111,183269
Ropoh	-6,784804	111,196361
Sokopuluhan	-6,805842	111,175356
Tambah Mulyo 1	-6,772329	111,116648
Tambah Mulyo 2	-6,818344	111,056633
Bumimulyo 1	-6,711144	111,205575
Bumimulyo 2	-6,707078	111,214653
Wonorejo	-6,691228	111,028208

Sumber: BBWS Pemali Juana

Komponen Penilaian

Penelitian ini memerlukan beberapa komponen penilaian untuk melakukan penentuan skala prioritas rehabilitasi lumbung air. Komponen penilaian yang dimaksud adalah prasarana fisik, layanan, sarana penunjang, organisasi personalia, dokumentasi, serta perkumpulan pemakai air baku (PPAB) dengan berbagai bobot penilaian [16]. Adapun bobot setiap komponen penilaian lumbung air dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen Penilaian Kinerja Lumbung Air

No	Komponen Penilaian	Bobot (%)
1	Prasarana Fisik	45
2	Layanan	12
3	Sarana Penunjang	13
4	Organisasi Personalia	15
5	Dokumentasi	5
6	PPAB	10

Sumber: Petunjuk Teknis Penilaian Kinerja Jaringan Air Baku, 2022

Prosedur Analisis Data

Proses analisis data metode SAW, metode WP, dan metode TOPSIS berbeda-beda. Berikut prosedur analisis data untuk metode SAW, metode WP, dan metode TOPSIS.

1. Metode SAW

- Menyusun matriks keputusan (X) berdasarkan alternatif (A_i) dan kriteria (C_j).
- Menormalisasi matriks keputusan dengan menghitung nilai rating kinerja ternormalisasi (r_{ij}) dari alternatif (A_i) pada setiap kriteria (C_j).
- Menghitung nilai preferensi setiap alternatif (V_i) yang menjadi dasar urutan pengambilan keputusan.

2. Metode WP

- Menyusun matriks keputusan (X) berdasarkan alternatif (A_i) dan kriteria (C_j).
- Menormalisasi matriks keputusan dengan menghitung nilai rating kinerja ternormalisasi (r_{ij}) dari alternatif (A_i) pada setiap kriteria (C_j). Rating kinerja ternormalisasi (r_{ij}) didapat dengan setiap atribut (x_{ij}) dipangkatkan terlebih dahulu dengan bobot (w_j).
- Menghitung nilai bobot (S_i) dengan mengalikan semua rating kinerja ternormalisasi (r_{ij}).
- Menghitung nilai preferensi setiap alternatif (V_i) yang menjadi dasar urutan pengambilan keputusan.

3. Metode TOPSIS

- Menyusun matriks keputusan (X) berdasarkan alternatif (A_i) dan kriteria (C_j).
- Menormalisasi matriks keputusan dengan menghitung nilai rating kinerja ternormalisasi (r_{ij}) dari alternatif (A_i) pada setiap kriteria (C_j).
- Membuat matriks ternormalisasi terbobot (y_{ij}) dengan cara mengalikan matriks keputusan ternormalisasi (r_{ij}) dengan bobot yang telah ditentukan (w_j).

- d. Membuat matriks solusi ideal positif (A^+) dan matriks solusi ideal negatif (A^-) berdasarkan (y_j^+) dan (y_j^-).
- e. Menghitung jarak alternatif solusi ideal positif (D_i^+) dan jarak alternatif solusi ideal negatif (D_i^-).
- f. Menghitung nilai preferensi setiap alternatif (V_i) yang menjadi dasar urutan pengambilan keputusan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian Lumbung Air

Penilaian lumbung air pada dasarnya dilakukan dengan tiga pendekatan, yaitu pendekatan secara subjektif, pendekatan secara objektif, dan pendekatan integrasi antara subjektif dan objektif. Penilaian lumbung air dilakukan pada 14 (empat belas) lumbung air dengan melibatkan 6 (enam) komponen penilaian sebagai kriteria yang didasarkan pada Tabel 2. Hasil penilaian lumbung air dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penilaian Lumbung Air di Kabupaten Pati

Lokasi LA	Prasarana Fisik	Layanan	Sarana Penunjang	Organisasi Personalia	Dokumentasi	PPAB
Boto	53,22	89,92	73,08	100	75	94
Bulu Mulyo	44,44	50,42	68,46	62	75	86
Kemangi Sido Mukti	42,22	45	51,15	59,33	75	86
Kuniran	56,78	89,25	73,08	100	75	94
Mantingan	40,22	57,5	70,77	62	75	86
Ngening	63,27	98,75	73,08	100	75	100
Raci	65,44	89,58	76,92	100	75	100
Ropoh	57	86	73,08	100	75	94
Sokopuluhan	54,89	90,75	73,08	100	75	94
Tambah Mulyo 1	36,89	50,42	73,08	62	75	86
Tambah Mulyo 2	61,22	90,83	73,08	100	75	94
Bumimulyo 1	62,44	98,75	73,08	100	75	100
Bumimulyo 2	58,67	64,33	41,15	100	75	39
Wonorejo	44,44	48,08	56,92	62	75	86

Sumber: BBWS Pemali Juana

Analisis Prioritas

Analisis pemilihan prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati menggunakan MADM dengan menggunakan 3 metode, yaitu SAW, WP, dan TOPSIS. Analisis prioritas disusun dalam matriks keputusan yang terdiri atas 14 (empat belas) alternatif dan 6 (enam) kriteria. Matriks keputusan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Matriks Keputusan

A/C	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₁	53,22	89,92	73,08	100	75	94
A ₂	44,44	50,42	68,46	62	75	86
A ₃	42,22	45	51,15	59,33	75	86
A ₄	56,78	89,25	73,08	100	75	94
A ₅	40,22	57,5	70,77	62	75	86
A ₆	63,27	98,75	73,08	100	75	100
A ₇	65,44	89,58	76,92	100	75	100
A ₈	57	86	73,08	100	75	94
A ₉	54,89	90,75	73,08	100	75	94
A ₁₀	36,89	50,42	73,08	62	75	86
A ₁₁	61,22	90,83	73,08	100	75	94
A ₁₂	62,44	98,75	73,08	100	75	100
A ₁₃	58,67	64,33	41,15	100	75	39
A ₁₄	44,44	48,08	56,92	62	75	86

Kriteria pada analisis prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati bersifat keuntungan/*benefit*. Adapun hasil analisis prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati dengan MADM dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Penilaian Urutan Prioritas Rehabilitasi Lumbung Air di Kabupaten Pati

Lokasi LA	SAW	WP	TOPSIS
Boto	8	8	8
Bulu Mulyo	10	10	10
Kemangi Sido Mukti	14	14	13
Kuniran	5	5	6
Mantingan	11	11	12
Ngening	2	2	2
Raci	1	1	1
Ropoh	6	6	5
Sokopuluhan	7	7	7
Tambah Mulyo 1	13	13	14
Tambah Mulyo 2	4	4	4
Bumimulyo 1	3	3	3
Bumimulyo 2	9	9	9
Wonorejo	12	12	11

Prasarana fisik menjadi faktor utama dalam menentukan urutan prioritas rehabilitasi lumbung air. Dari hasil analisis prioritas rehabilitasi menggunakan MADM dengan metode SAW, metode WP, dan metode TOPSIS bahwa lumbung air Raci menjadi prioritas pertama dalam rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati. Hal ini dibuktikan dengan nilai preferensi tertinggi. Nilai preferensi untuk metode SAW sebesar 0,989; metode WP sebesar 0,085 serta metode TOPSIS sebesar 0,951. Hasil analisis prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati menghasilkan urutan yang sama khususnya pada metode SAW dan WP, sedangkan mengalami perbedaan urutan pada metode TOPSIS. Perbedaan urutan terjadi pada enam lumbung air, yaitu Kemangi Sido Mukti, Kuniran, Mantingan, Ropoh, Tambah Mulyo 1, dan Wonorejo. Dengan melihat perbedaan urutan prioritas rehabilitasi, maka diperlukan analisa statistik untuk menentukan metode yang dipilih dalam penentuan urutan prioritas rehabilitasi. Analisa statistik dilakukan dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE didekati dengan persamaan berikut:

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^N (\Sigma C_{ij} - V_i)^2} \quad (14)$$

Dimana, ΣC_{ij} adalah jumlah penilaian kriteria setiap alternatif, V_i adalah hasil akhir penilaian kriteria, dan n adalah jumlah alternatif. Hasil perhitungan RMSE untuk metode SAW 3,648; metode WP 4,422 dan metode TOPSIS 3,869. Dengan melihat hasil perhitungan RMSE, maka metode yang dipilih dalam urutan prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati adalah metode SAW. Selain metode SAW, metode TOPSIS dapat digunakan sebagai pilihan yang optimal karena menggunakan prosedur yang kompleks, mengukur jarak relatif antar alternatif, serta mempertimbangkan jarak maksimum dan minimum terhadap solusi ideal [10, 11].

5. KESIMPULAN

Lumbung air merupakan infrastruktur air yang menjadi salah satu solusi dari permasalahan ketahanan air. Penilaian terhadap kinerja lumbung air perlu dilakukan untuk memastikan lumbung air bekerja secara optimal. Penilaian tersebut berguna dalam pengambilan keputusan untuk menentukan urutan prioritas perbaikan atau rehabilitasi lumbung air. Penilaian kinerja lumbung air dilihat berdasarkan enam parameter, yaitu prasarana fisik, layanan, sarana penunjang, organisasi personalia, dokumentasi, serta perkumpulan pemakai air baku (PPAB). Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa prasarana fisik memegang peranan penting dalam penentuan urutan prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati. Lumbung air Raci menjadi prioritas pertama dalam rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati. Hal ini dibuktikan dengan nilai preferensi tertinggi. Nilai preferensi pada lumbung air Raci untuk metode SAW sebesar 0.989, metode WP sebesar 0,085 serta metode TOPSIS sebesar 0,951. Metode SAW menjadi alternatif dalam menentukan urutan prioritas rehabilitasi lumbung air di Kabupaten Pati. Hal itu dibuktikan dengan nilai RMSE metode SAW lebih kecil dibandingkan kedua metode lainnya, yaitu 3,648. Selain metode SAW, metode TOPSIS bisa menjadi pilihan yang optimal dalam penentuan skala prioritas rehabilitasi. Dengan melihat hasil analisis penentuan urutan prioritas rehabilitasi lumbung air, maka perlu dilakukan peninjauan ulang terkait bobot penilaian kinerja lumbung air. Peninjauan ulang berguna agar dalam hal pengambilan keputusan dan tindak lanjut terhadap rehabilitasi lumbung air dapat dilaksanakan tepat guna dan bermanfaat bagi masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juana yang telah membantu dalam pengumpulan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Ingrao, R. Strippoli, G. Lagioia and D. Huisingsh, "Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks," *Heliyon*, vol. 9, pp. 1-16, 2023.
- [2] J.-B. Bayart, C. Bulle, L. Deschênes, M. Margni, S. Pfister, F. Vince and A. Koehler, "A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 15, pp. 439-453, 2010.
- [3] G. Layani, M. Bakhshoodeh, M. Zibaei and D. Viaggi, "Sustainable water resources management under population growth and agricultural development in the Kheirabad river basin, Iran," *Bio-based and Applied Economics*, vol. 10, no. 4, pp. 305-323, 2021.
- [4] R. Deby, L. M. Limantara, V. Dermawan and S. Wahyuni, "Assessment of Water Resilience Index Due to the Technical Instruction," *Journal of Ecohumanism*, vol. 4, no. 1, pp. 2948-2966, 2025.
- [5] H. Nurrohmah and E. Nurjani, "Kajian Kekeringan Metereologis Menggunakan Standardized Precipitation Index (SPI) di Provinsi Jawa Tengah," *Geimedia*, vol. 15, no. 1, pp. 1-15, 2017.
- [6] M. B. R. Prayoga, Fatmah and B. Harsoyo, "Ketahanan Air Indonesia dalam Perspektif Ilmu Lingkungan dan Paradigma Nexus Pangan-Energi-Air Berkelanjutan," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 21, no. 2, pp. 279-288, 2023.
- [7] H. P. Adi, "Kondisi dan Konsep Penanggulangan Bencana Kekeringan di Jawa Tengah," in *Seminar Nasional Mitigasi dan Ketahanan Bencana*, Semarang, 2011.
- [8] E. Sumastuti and N. S. Pradono, "Dampak Perubahan Iklim Pada Tanaman Padi di Jawa Tengah," *Journal of Economic Education*, vol. 5, no. 1, pp. 31-38, 2016.
- [9] E. P. A. Pratiwi, E. L. Ramadhai, F. Nurrochmad and D. Legono, "The Impacts of Flood and Drought on Food Security in Central Java," *Journal of Civil Engineering Forum*, vol. 6, no. 1, pp. 69-78, 2020.
- [10] K. Saadati, F. Nurrochmad and R. Triatmadja, "Rehabilitation priority of irrigation infrastructure in west colo irrigation area using multiple attribute decision making," in *The 2nd International Symposium on Civil, Environmental, and Infrastructure Engineering*, Yogyakarta, 2023.
- [11] A. G. Pradipta, Murtiningrum, N. W. D. Febriyan, F. A. Rizqi and Ngadisih, "Prioritas Pengembangan dan Pengelolaan Jaringan Irigasi Tersier di D.I. Yogyakarta Menggunakan Multiple Attribute Decision Making," *Jurnal Irigasi*, vol. 15, no. 1, pp. 55-69, 2020.
- [12] N. L. P. Prabandari, H. Siswoyo and R. Haribowo, "Penentuan Skala Prioritas Pengembangan Potensi Mata Air untuk Irigasi Menggunakan Metode TOPSIS di Kecamatan Singosari Kabupaten Malang," *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, vol. 21, no. 3, pp. 996-1001, 2021.
- [13] R. N. Saridewi and H. Salsabila, "Penilaian Kinerja Jaringan Irigasi di Daerah Irigasi Tulangan Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta," *Jurnal Media Konstruksi*, vol. 10, no. 1, pp. 115-125, 2025.
- [14] F. Han, R. N. Alkhawaji and M. M. Shafieezadeh, "Evaluating sustainable water management strategies using TOPSIS and fuzzy TOPSIS methods," *Applied Water Science*, vol. 15, no. 4, pp. 1-13, 2024.
- [15] T. Kristina, "Sistem Pendukung Keputusan Dengan Menggunakan Metode TOPSIS untuk Pemilihan Lokasi Pendirian Grosir Pulsa," *Paradigma*, vol. 20, no. 1, pp. 8-12, 2018.
- [16] D. B. O. d. Pemeliharaan, Petunjuk Teknis Penilaian Kinerja Jaringan Air Baku, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air - Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022.

EVALUASI HUJAN BERBASIS SATELIT GPM-IMERG DI WILAYAH SUNGAI HALMAHERA UTARA UNTUK PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR

*Ni Made Candra Partarini¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Sleman

*) Email: made.candra@uajy.ac.id

ABSTRACT

Hydrological data is a crucial component in the planning and management of water resources (SDA) in Indonesia. The availability of data to date remains a critical issue that requires immediate attention. Satellite-based rainfall data has emerged as a promising alternative with better spatial and temporal scale coverage. This satellite data has been applied globally, especially for hydrological disaster prediction in various locations. Satellite rainfall technology continues to evolve with improvements in both quality and quantity over time. This research aims to assess the feasibility of using satellite rainfall data released by NASA, known as the Global Precipitation Measurement - Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (GPM-IMERG), for water resources management. The study location is the North Halmahera River Basin (WS). The feasibility assessment is conducted by comparing satellite rainfall data against field observation data represented by rain gauge stations scattered throughout the study area. The satellite performance assessment uses metric evaluation methods, including Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Critical Success Index (CSI), and accuracy (fraction correct). The analysis results indicate that GPM-IMERG data demonstrates good performance in predicting rainfall in the South Halmahera River Basin based on the obtained evaluation metric values. Based on the metric evaluation, GPM-IMERG satellite rainfall data at 11 locations shows good performance in predicting rainfall in the North Halmahera River Basin. This is evident from the Probability of Detection (POD) values ranging from 0.90 to 0.99, the False Alarm Ratio (FAR) between 0.41 and 0.80, as well as the Critical Success Index (CSI) meeting values of 0.20 to 0.58, and accuracy ranging from 0.33 to 0.66.

Keyword: Water resources management, satellite, metric evaluation

ABSTRAK

Data hidrologi merupakan komponen penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air (SDA) di Indonesia. Ketersediaan data hingga saat ini menjadi isu krusial yang harus segera dibenahi. Data curah hujan berbasis satelit muncul sebagai alternatif menjanjikan dengan cakupan skala spasial dan temporal yang lebih baik. Data satelit ini telah diaplikasikan secara global, terutama untuk prediksi bencana hidrologi di berbagai tempat. Teknologi hujan satelit terus berkembang dengan peningkatan dari segi kualitas dan kuantitas seiring berjalannya waktu. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kelayakan penggunaan data hujan satelit yang dikeluarkan oleh NASA dengan nama *Global Precipitation Measurement - Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* GPM-IMERG untuk pengelolaan SDA. Lokasi studi pada penelitian ini yaitu pada Wilayah Sungai (WS) Halmahera Utara. Penilaian kelayakan yang dilakukan dengan membandingkan data hujan satelit terhadap data observasi lapangan yang diwakili oleh stasiun hujan yang tersebar di wilayah studi. Penilaian kinerja satelit menggunakan metode evaluasi metrik, berupa *Probability of Detection* (POD), *False Alarm Ratio* (FAR), *Critical Success Index* (CSI), dan akurasi (*fraction correct*). Hasil analisis menunjukkan bahwa data GPM-IMERG menunjukkan kinerja yang baik dalam memprediksi curah hujan di DAS Halmahera Selatan berdasarkan nilai metrik evaluasi yang diperoleh. Berdasarkan evaluasi metrik, data hujan satelit GPM-IMERG pada delapan lokasi menunjukkan performa yang baik dalam memprediksi curah hujan di WS Halmahera Utara. Hal ini terlihat dari nilai POD yang berkisar antara 0,90 – 0,99, FAR antara 0,41 – 0,80, serta nilai CSI memenuhi nilai 0,20 – 0,58 dan akurasi yang berada dalam rentang 0,33 hingga 0,66.

Kata kunci: Pengelolaan SDA, satelit, evaluasi metrik

1. PENDAHULUAN

Perencanaan dan pengelolaan sumber daya air melibatkan pendekatan komprehensif terhadap pengembangan, distribusi, dan pengoperasian sumber daya air untuk memenuhi berbagai kebutuhan sambil memastikan keberlanjutan dan efisiensi [1], [2]. Pengelolaan SDA dan perencanaan pembangunan berkelanjutan bergantung pada pemahaman hidrologi sungai dan potensi perubahannya dalam kondisi iklim di masa depan [3]. Data hidrologi berdampak signifikan terhadap pengelolaan air dengan meningkatkan pengambilan keputusan, memperbaiki penilaian sumber daya, memanfaatkan kemajuan teknologi, mengatasi ketidakpastian data, mendukung adaptasi perubahan iklim, dan menginformasikan pembuatan kebijakan. Integrasi dan aksesibilitas data hidrologi berkualitas tinggi sangat penting untuk praktik pengelolaan air yang berkelanjutan dan efektif [4], [5].

Ketersediaan data hidrologi sangat penting untuk pengelolaan sumber daya air, perencanaan, dan pengambilan keputusan yang efektif [6]. Kurangnya ketersediaan data hidrologi menimbulkan tantangan signifikan terhadap pengelolaan sumber daya air yang efektif. Untuk mengatasi tantangan ini diperlukan kombinasi pemodelan, penginderaan jarak jauh, pemantauan berbasis masyarakat, dan dukungan teknologi serta organisasi yang lebih baik. Praktik pengumpulan dan pengelolaan data yang lebih baik, bersama dengan penelitian dan kolaborasi

interdisipliner, sangat penting untuk mengatasi kelangkaan data dan memastikan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan[7][8].

Penginderaan jauh kini menjadi alternatif untuk memantau curah hujan di suatu wilayah dengan mudah tanpa memerlukan interfensi langsung pada permukaan bumi. Hal ini dapat mempermudah perhitungan data hujan untuk keperluan SDA. Penginderaan jarak jauh merupakan alat yang sangat berguna karena menyediakan cara mudah dalam menyediakan data khususnya data hidrologi [9]. Data curah hujan dari satelit unggul karena sifatnya yang spasial, kemampuannya meningkatkan pemahaman pola hujan, dan kemampuannya menjangkau area tanpa stasiun hujan konvensional [10]. Hal ini berpotensi meningkatkan akurasi perkiraan curah hujan rata-rata wilayah, terutama di daerah dengan minimnya data lapangan [11]. Perkembangan teknologi satelit untuk pemantauan curah hujan telah secara signifikan memajukan pemahaman tentang pola curah hujan dan meningkatkan akurasi pengukuran curah hujan [12]. Akurasi, ketidakpastian, dan resolusi spasial tetap ada untuk data hujan satelit sehingga diperlukan penelitian berkelanjutan dan peningkatan estimasi curah hujan berbasis satelit [13].

Produk curah hujan satelit sering dievaluasi berdasarkan data pengukur curah hujan berbasis darat. Perbandingan ini membantu mengidentifikasi bias dan kesalahan dalam estimasi satelit [14], [15], [16]. Penelitian terkait evaluasi dan valuasi data hujan satelit *CHIRPS*, Tamsat, Persiann *CDR*, dan TerraClimate melibatkan perbandingan statistik dengan data stasiun hujan dan analisis visual pola hujan untuk menilai akurasi dan kemampuan menangkap kejadian penting di *Essaouira City* (Morocco). Secara keseluruhan, evaluasi ini bertujuan untuk menentukan keandalan data hujan satelit sebagai alternatif atau pelengkap data pengamatan lapangan, terutama di daerah dengan keterbatasan stasiun [17]. Penelitian terkait perbandingan dan evaluasi data curah hujan satelit dan pengamatan ini telah banyak dilakukan diseluruh dunia bahkan di wilayah Indonesia. Evaluasi data hujan satelit NOAA dilakukan dengan membandingkannya dengan data stasiun hujan di Lombok menggunakan analisis korelasi dan metrik statistik seperti koefisien korelasi, efisiensi, NRMSE, dan ME. Hasilnya menunjukkan korelasi positif namun dengan tingkat kesalahan tinggi dan ketidaksesuaian rendah, terutama di wilayah ekstrem basah dan kering. Selain itu, data satelit cenderung mendeteksi hujan satu hari lebih awal, sehingga penelitian ini menyimpulkan perlunya kalibrasi data NOAA sebelum dapat digunakan secara akurat untuk prediksi curah hujan di Pulau Lombok [14]. Penelitian lainnya dilakukan dalam kajian penerapan data satelit untuk berbagai kepentingan, seperti perencanaan talang air irigasi dan analisis debit banjir dengan menggunakan satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) dan *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIAAN) [18], [19]. Selain itu, penelitian pada daerah Provinsi Maluku Utara telah dilakukan dengan mengambil lokasi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Halmahera Selatan. Hasil analisis evaluasi ini menunjukkan bahwa kinerja data hujan satelit GPM-IMERG memiliki kinerja yang baik ditinjau dari nilai POD dengan rentang 0,8 – 1. Nilai FAR memiliki rentang 0,1 – 0,61, serta nilai CSI dan Akurasi berkisar antara 0,40 – 0,95. Berdasarkan hasil analisis metrik evaluasi ini, dapat disimpulkan bahwa data GPM-IMERG memiliki kinerja yang baik dalam memprediksi data hujan di WS Halmahera Selatan [20]. Namun, hingga saat ini belum ada evaluasi yang dilakukan pada WS Halmahera Utara yang memiliki sedikit stasiun pengamatan dengan berbagai jenis data satelit.

Studi ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan data satelit di DAS Halmahera Utara, menjadi penelitian awal yang secara khusus membandingkan kemampuan deteksi dan perkiraan satelit GPM-IMERG. Hasil evaluasi kinerja satelit ini dapat menjadi referensi awal penggunaan sumber data tersebut di wilayah studi untuk berbagai keperluan, terutama dalam pengelolaan SDA. Penelitian ini akan melibatkan delapan stasiun pengamatan lapangan yang ada di sekitar WS Halmahera Utara dengan menerapkan berbagai metode penilaian kinerja satelit.

2. METODE

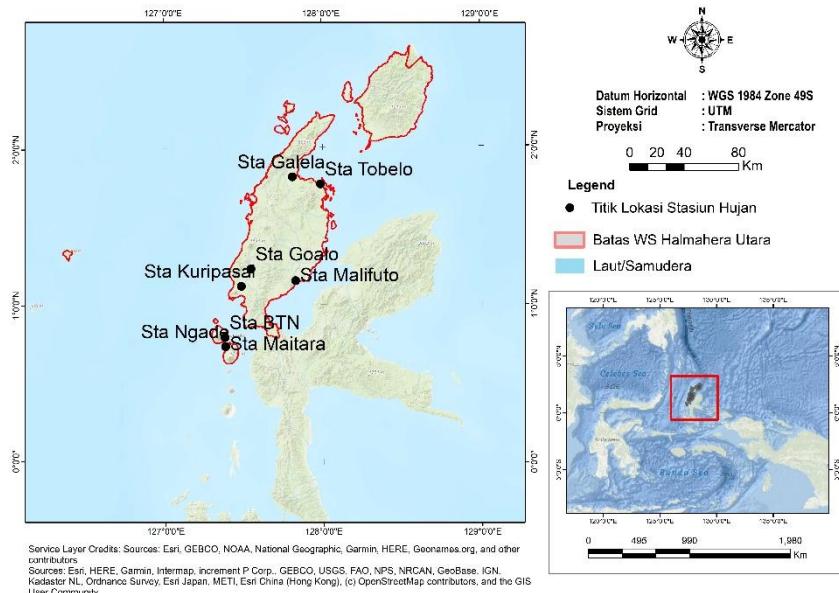
Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada WS Halmahera Selatan yang memiliki luas total 8197,094 km². WS Halmahera Utara mencakup Kabupaten Halmahera Barat, Halmahera Utara, Pulau Morotai, dan Kota Ternate. Pengelolaan SDA pada WS ini dinaungi oleh Balai Wilayah Sungai (BWS) Maluku Utara dengan melaksanakan berbagai upaya pengelolaan, seperti perencanaan, pelaksanaan, operasi, dan pemeliharaan infrastruktur sumber daya air. Batas WS Halmahera Utara dapat diperhatikan pada **Gambar 1**.

Data Curah Hujan Pengamatan

Data curah hujan pengamatan adalah data curah hujan yang dikumpulkan secara langsung dari permukaan tanah menggunakan alat pengukur hujan (*rain gauge*) yang ditempatkan di berbagai lokasi. Data ini dianggap sebagai data primer atau observasi langsung karena merepresentasikan kondisi hujan yang sebenarnya terjadi di titik pengukuran tersebut. Pada WS Halmahera Utara terdapat delapan stasiun hujan yang dikelola oleh BWS Maluku

Utara. Adapun stasiun hujan tersebut yaitu, Stasiun BTN, Galela, Gialo, Kuripasai, Maitara, Malifuto, Ngade, dan Tobelo.



Gambar 1. Batas Wilayah WS Halmahera Utara
Sumber: Analisis dengan *Software QGIS*

Data Curah Hujan Satelit

GPM-IMERG adalah produk presipitasi canggih berbasis satelit yang dikembangkan oleh misi GPM, yang merupakan kerja sama antara NASA dan JAXA. IMERG mengintegrasikan data dari konstelasi satelit internasional untuk memberikan estimasi presipitasi beresolusi tinggi secara global. IMERG menyediakan data presipitasi pada resolusi halus $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ dan pada interval setengah jam, meliputi garis lintang dari 60° LU hingga 60° LS [21], [22]. IMERG merupakan alat yang sangat berharga untuk pengukuran curah hujan global, yang menawarkan data terperinci dan tepat waktu yang penting untuk berbagai aplikasi lingkungan dan hidrologi. Meskipun telah mengalami kemajuan, evaluasi dan perbaikan yang berkelanjutan sangat penting untuk mengatasi keterbatasannya dan meningkatkan akurasinya lebih lanjut [23]. Data IMERG yang diunduh dalam penelitian ini menyesuaikan lokasi delapan stasiun hujan pengamatan dengan format data (.csc), Panjang data menyesuaikan panjang data tiap stasiun seperti pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Panjang Data Tiap Stasiun Hujan WS Halmahera Utara

Nama Stasiun	Jenis Data	Panjang Data
Stasiun BTN	Data harian	2015 – 2023
Stasiun Galela	Data harian	2008 – 2023
Stasiun Goalo	Data harian	2010 – 2023
Stasiun Kuripasai	Data harian	2010 – 2023
Stasiun Maitara	Data harian	2008 – 2023
Stasiun Malifuto	Data harian	2010 – 2023
Stasiun Ngade	Data harian	2022 – 2023
Stasiun Tobelo	Data harian	2009 – 2023

Metode Evaluasi Metrik

Evaluasi kinerja data satelit dimulai dengan analisis kategoris, di mana kinerja estimasi curah hujan satelit dinilai menggunakan berbagai metrik statistik untuk mengklasifikasikan dan mendeteksi terjadinya hujan [24]. Penilaian IMERG telah dilakukan menggunakan berbagai metrik statistik untuk menilai akurasi dan keandalannya di WS Halmahera Utara secara temporal. Metode statistik yang digunakan yaitu, POD, FAR, CSI, dan akurasi. Metode statistik ini banyak diterapkan dalam penilaian kategori statistik kinerja data satelit [25]. Pendekatan metode metrik ini dapat dilakukan dengan mengikuti persamaan pada **Tabel 8**. Nilai a menyatakan terdapat besaran hujan yang terekam pada kedua jenis pengukur hujan (stasiun dan satelit), b adalah jumlah kejadian curah hujan palsu terdeteksi oleh satelit namun tidak terekam pada stasiun pengamatan lapangan, sedangkan c adalah jumlah curah

hujan tidak terkam oleh satelit namun terkam oleh stasiun di lapangan, dan d peristiwa tanpa curah hujan benar terdeteksi [26]. Analisis evaluasi metrik yang dilakukan pada tingkatan data hujan harian, hujan harian pada bulan basah dan bulan kering.

Tabel 8. Tabel Persamaan Metrik

Persamaan	Rentang hasil	Nilai maksimal
$POD = \frac{a}{a + c}$	(1) 0 sampai 1	1
$FAR = \frac{b}{a + b}$	(2) 0 sampai 1	0
$CSI = \frac{a}{a + b + c}$	(3) 0 sampai 1	1
$Akurasi = \frac{a + d}{total}$	(4) 0 sampai 1	1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi kinerja data satelit dalam memprediksi hujan dilakukan dengan beberapa metrik yang diterapkan pada data harian dan data musiman pada skala harian. Analisis evaluasi ini dilakukan pada tiga kelompok data seperti, data harian, dan hujan harian pada bulan basah serta bulan kering. Pembagian musim di WS Halmahera Utara mengacu pada klasifikasi pola hujan BMKG yang menunjukkan tipe equatorial untuk WS tersebut. Tipe equatorial dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun, berbeda dengan pola umum di Indonesia yang mengalami kemarau Mei-Oktober dan hujan November-April [27], [28].

Evaluasi kemampuan satelit dalam merekam kejadian hujan menggunakan metrik kategori menghasilkan nilai POD, FAR, CSI, dan Akurasi pada **Tabel 9**. Kinerja satelit dinilai berdasarkan data hujan harian selama periode waktu yang tersedia serta dikelompokkan menurut bulan basah dan kering. Hasil analisis menunjukkan variasi nilai metrik di setiap stasiun, dengan nilai POD yang umumnya baik dengan rentang 0,90 – 0,99, terutama di Stasiun Maitara yang mencapai nilai paling tinggi yaitu 0,99. Analisis POD di penelitian ini menunjukkan nilai lebih tinggi pada bulan basah dibandingkan bulan kering, namun secara keseluruhan, nilai POD menunjukkan kinerja deteksi yang baik di semua kategori karena mendekati nilai ideal 1.

Tabel 9. Hasil Evaluasi GPM-IMERG Dengan Metode Metrik

Nama Stasiun	Kategori	POD	FAR	CSI	Akurasi
Stasiun BTN	Hujan Harian	0.98	0.77	0.23	0.34
	Bulan basah	0.98	0.80	0.20	0.33
	Bulan kering	0.98	0.74	0.26	0.36
Stasiun Galela	Hujan Harian	0.90	0.53	0.44	0.59
	Bulan basah	0.90	0.54	0.43	0.59
	Bulan kering	0.90	0.52	0.45	0.58
Stasiun Goalo	Hujan Harian	0.94	0.50	0.49	0.57
	Bulan basah	0.96	0.47	0.52	0.61
	Bulan kering	0.92	0.52	0.46	0.54
Stasiun Kuripasai	Hujan Harian	0.97	0.44	0.55	0.62
	Bulan basah	0.97	0.41	0.58	0.66
	Bulan kering	0.97	0.47	0.52	0.59
Stasiun Maitara	Hujan Harian	0.99	0.61	0.39	0.42
	Bulan basah	0.99	0.57	0.43	0.46
	Bulan kering	0.99	0.64	0.35	0.38
Stasiun Malifuto	Hujan Harian	0.92	0.66	0.33	0.46
	Bulan basah	0.93	0.72	0.28	0.43
	Bulan kering	0.92	0.60	0.38	0.49
Stasiun Ngade	Hujan Harian	0.98	0.56	0.44	0.46
	Bulan basah	0.98	0.57	0.42	0.46
	Bulan kering	0.98	0.55	0.45	0.46

Nama Stasiun	Kategori	POD	FAR	CSI	Akurasi
Stasiun Tobelo	Hujan Harian	0.93	0.59	0.40	0.47
	Bulan basah	0.92	0.59	0.39	0.46
	Bulan kering	0.93	0.58	0.41	0.47

Hasil analisis metrik FAR ditujukan untuk mengukur frekuensi alarm palsu relatif terhadap jumlah total kejadian yang terdeteksi. Jumlah alarm palsu memiliki arti, data satelit merekam kejadian hujan sedangkan stasiun hujan di lapangan tidak mencatat adanya hujan. Hal ini sangat mungkin terjadi karena satelit mendeteksi potensi hujan di atmosfer. Berbagai faktor lingkungan sangat menentukan apakah hujan dapat terjadi atau tidak walaupun terdeteksi potensi tinggi di atmosfer. Nilai FAR yang diperoleh ialah sekitar rentang rerata 0,41 – 0,80 yang mengindikasikan bahwa data satelit masih sangat rentan terhadap kesalahan perekaman akibat alarm palsu. GPM-IMERG dan produk satelit lainnya sering kali menunjukkan FAR yang lebih tinggi dalam kondisi tertentu, seperti konsentrasi aerosol di atmosfer yang tinggi [29].

Komponen CSI menghasilkan nilai 0,20 – 0,58 yang mengindikasikan nilai ini lebih rendah daripada nilai CSI pada penelitian serupa di WS Halmahera Selatan [20]. CSI menggabungkan FAR dan POD untuk memberikan gambaran kinerja deteksi yang seimbang. Proporsi perekaman palsu dibandingkan dengan semua pendekripsi positif. Semakin rendah nilai CSI, maka kinerja dianggap baik karena nilai perekaman akibat alarm palsu semakin kecil. Nilai CSI paling rendah terdapat pada Stasiun BTN pada bulan basah sebesar 0,20 sedangkan nilai paling tinggi sebesar 0,58 di bulan basah Stasiun Kuripasai.

Nilai akurasi pada metode metrik diukur dengan mendekripsi ketepatan perekaman satelit secara menyeluruh sehingga memberikan gambaran umum kemampuannya dalam mengidentifikasi pola curah hujan secara luas. Hasil analisis akurasi yang diperoleh berupa 0,33 hingga 0,66 yang mengindikasikan nilai akurasi yang masih kurang baik. Nilai akurasi yang buruk dapat diakibatkan oleh seringkali data satelit kurang akurat dalam merepresentasikan kejadian hujan pada kondisi ekstrem dan wilayah dengan kondisi geografis tertentu. Akurasi yang baik memang sering kali diperoleh dalam menguji kinerja data GPM-IMERG dengan rentang nilai diatas dari 0,7 [26].

Evaluasi kinerja pada data satelit GPM-IMERG pada skala data harian menggunakan empat metrik statistik pada kondisi umum, basah, dan kering menunjukkan performa GPM-IMERG yang konsisten dalam merekam berbagai kondisi hujan. Tiap stasiun memiliki nilai yang berbeda-beda namun masih pada rentang yang tidak jauh berbeda sehingga mengindikasikan hasil yang sama. Penilaian kinerja lain telah banyak dilakukan diberbagai wilayah dengan berbagai tingkatan. Hasil analisis pada WS Halmahera Utara menunjukkan hasil yang sama dengan evaluasi kinerja GPM-IMERG pada WS Halmahera Selatan. Dengan metode yang sama, pada WS ini menghasilkan POD dengan rentang 0,8 – 1. Nilai FAR memiliki rentang 0,1 – 0,61, serta nilai CSI dan Akurasi berkisar antara 0,40 – 0,95 [20]. Kedua WS ini terletak berdekatan di Provinsi Maluku Utara. Secara umum kondisi wilayahnya masih sama, khususnya kondisi hidrologis yang mempengaruhi kondisi curah hujan. Kedua analisis ini menghasilkan metrik yang sama dan konsisten. Dengan demikian, penelitian ini memberikan justifikasi awal bahwa data satelit GPM-IMERG dapat diandalkan untuk memprediksi kondisi hujan normal, basah, dan kering, yang sangat penting untuk pengelolaan SDA.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja data curah hujan berbasis satelit GPM-IMERG dalam mendukung pengelolaan sumber daya air di Wilayah Sungai Halmahera Utara. Data satelit dibandingkan dengan data observasi dari stasiun hujan di lapangan menggunakan berbagai metrik evaluasi seperti POD, FAR, CSI, dan akurasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja data GPM-IMERG cukup baik, dengan nilai POD antara 0,90–0,99, FAR dengan rentang 0,41 – 0,80 dan nilai CSI berkisar 0,20–0,58, serta akurasi antara 0,33–0,66. Secara umum, nilai ini menunjukkan hasil evaluasi dengan metode metrik pada data curah hujan GPM-IMERG adalah baik dan sesuai dengan data curah hujan pengamatan. Meskipun demikian, data satelit cenderung mendekripsi hujan lebih awal dan memiliki tingkat kesalahan yang tinggi di area ekstrem basah dan kering. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa data satelit GPM-IMERG memiliki potensi untuk dijadikan sumber data pendukung pengelolaan SDA di wilayah WS Halmahera Utara, tetapi perlu dilakukan kalibrasi dan evaluasi lebih lanjut untuk meningkatkan ketepatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. H. Kirshen, “Use of Indicators in Integrated Water Resources Management,” in *Impacts of Global Climate Change*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, Jul. 2005, pp. 1–4. doi: 10.1061/40792(173)88.

- [2] J. Katusiime and B. Schütt, "Integrated Water Resources Management Approaches to Improve Water Resources Governance," *Water (Basel)*, vol. 12, no. 12, p. 3424, Dec. 2020, doi: 10.3390/w12123424.
- [3] S. Shrestha, D.-H. Bae, P. Hok, S. Ghimire, and Y. Pokhrel, "Future hydrology and hydrological extremes under climate change in Asian river basins," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 17089, Aug. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-96656-2.
- [4] S. M. Kassaye, T. Tadesse, G. Tegegne, and A. T. Hordofa, "Quantifying the climate change impacts on the magnitude and timing of hydrological extremes in the Baro River Basin, Ethiopia," *Environmental Systems Research*, vol. 13, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1186/s40068-023-00328-1.
- [5] T. Chauhan, R. Gowri, S. Ghosh, and P. P. Mujumdar, "Advances in surface water hydrology research in India," *Proceedings of the Indian National Science Academy*, vol. 90, no. 2, pp. 482–493, Jun. 2024, doi: 10.1007/s43538-024-00234-9.
- [6] S. Xie and Y. Zhu, "Prediction of the Discharge Flow in a Small Hydropower Station without Hydrological Data Based on SWAT Model," *Water (Basel)*, vol. 14, no. 13, p. 2011, Jun. 2022, doi: 10.3390/w14132011.
- [7] D. Ocio, T. Beskeen, and K. Smart, "Fully distributed hydrological modelling for catchment-wide hydrological data verification," *Hydrology Research*, vol. 50, no. 6, pp. 1520–1534, Dec. 2019, doi: 10.2166/nh.2019.006.
- [8] P. D. Hynds, A. E. Nasr, and J. O'Dwyer, "Evaluation of hydrometric network efficacy and user requirements in the Republic of Ireland via expert opinion and statistical analysis," *J Hydrol (Amst)*, vol. 574, pp. 851–861, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.086.
- [9] B. Victor, Z. He, and A. Nibali, "A systematic review of the use of Deep Learning in Satellite Imagery for Agriculture," Oct. 2022, doi: 10.1109/JSTARS.2024.3501216.
- [10] R. Li, D. Qi, Y. Zhang, and K. Wang, "A new pixel-to-object method for evaluating the capability of the GPM IMERG product to quantify precipitation systems," *J Hydrol (Amst)*, vol. 613, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128476.
- [11] C. Kidd and V. Levizzani, "Satellite rainfall estimation," in *Rainfall: Modeling, Measurement and Applications*, 2022, pp. 135–170.
- [12] L. Milani and C. Kidd, "The State of Precipitation Measurements at Mid-to-High Latitudes," Nov. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/atmos14111677.
- [13] M. Masood, G. Nabi, M. Babur, A. H. Azhar, and M. K. Ullah, "Disintegration of uncertainties associated with real-time multi-satellite precipitation products in diverse topographic and climatic area in Pakistan," *J Mt Sci*, vol. 18, no. March 2021, pp. 716–734, Mar. 2021.
- [14] H. Saidah, R. S. Saptaningtyas, L. Hanifah, I. D. G. Jaya Negara, and D. Widhyanty, "NOAA Satellite performance in estimating rainfall over the Island of Lombok," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Feb. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/437/1/012035.
- [15] D. M. M. Mulungu and E. Mukama, "Evaluation and modelling of accuracy of satellite-based CHIRPS rainfall data in Ruvu subbasin, Tanzania," *Model Earth Syst Environ*, vol. 9, no. 1, pp. 1287–1300, Mar. 2023, doi: 10.1007/s40808-022-01555-8.
- [16] G. W. Gella, "Statistical evaluation of High Resolution satellite precipitation products in arid and semi-arid parts of Ethiopia: a note for hydro-meteorological applications," *Water and Environment Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 86–97, Feb. 2019, doi: 10.1111/wej.12380.
- [17] S. Rachidi, E. H. El Mazoudi, J. El Alami, M. Jadoud, and S. Er-Raki, "Assessment and Comparison of Satellite-Based Rainfall Products: Validation by Hydrological Modeling Using ANN in a Semi-Arid Zone," *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 11, Jun. 2023, doi: 10.3390/w15111997.
- [18] E. Mulyandari and H. Susila, "VALIDASI DATA CURAH HUJAN SATELIT TRMM DAN PERSIANN DALAM ANALISIS DEBIT BANJIR RENCANA DI DAS TELAGA LEBUR," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 25, no. 2, pp. 16–22, Jul. 2020, doi: 10.36728/jtsa.v25i2.1070.
- [19] Teguh Yuono and Erni Mulyandari, "KAJIAN PENGGUNAAN DATA HUJAN SATELIT TRMM UNTUK PERENCANAAN TALANG AIR IRIGASI PADA DAERAH IRIGASI NGARUM," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 26, no. 1, pp. 41–48, Jan. 2021, doi: 10.36728/jtsa.v26i1.1243.
- [20] N. Partarini, Y. Saputra, and W. Tjahyadi, "EVALUASI HUJAN SATELIT GMP-IMERG DI DAS HALMAHERA SELATAN UNTUK PREDIKSI BANJIR DAN KEKERINGAN," D. Krisnayanti, R. Cornelis, F. Adoe, and A. Galla, Eds., Kupang: Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-18, Oct. 2024, pp. 684–689.
- [21] G. J. Huffman *et al.*, "Integrated Multi-satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) Mission (IMERG)," vol. 67, 2020, pp. 343–353. doi: 10.1007/978-3-030-24568-9_19.
- [22] O. Sungmin, U. Foelsche, G. Kirchengast, J. Fuchsberger, J. Tan, and W. A. Petersen, "Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria," *Hydrol Earth Syst Sci*, vol. 21, no. 12, pp. 6559–6572, Dec. 2017, doi: 10.5194/hess-21-6559-2017.

- [23] M. S. Keikhosravi-Kiany and R. C. Balling, "Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final Run in Representing Extreme Rainfall Indices in Southwestern Iran," *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 15, p. 2779, Jul. 2024, doi: 10.3390/rs16152779.
- [24] Z. Zhou, D. Lu, B. Yong, Z. Shen, H. Wu, and L. Yu, "Evaluation of GPM-IMERG Precipitation Product at Multiple Spatial and Sub-Daily Temporal Scales over Mainland China," *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/rs15051237.
- [25] F. Baig, M. Abrar, H. Chen, and M. Sherif, "Rainfall Consistency, Variability, and Concentration over the UAE: Satellite Precipitation Products vs. Rain Gauge Observations," *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/rs14225827.
- [26] M. Taye, D. Mengistu, and D. Sahlu, "Performance evaluation of multiple satellite rainfall data sets in central highlands of Abbay Basin, Ethiopia," *Eur J Remote Sens*, vol. 56, no. 1, 2023, doi: 10.1080/22797254.2023.2233686.
- [27] N. Bafdal, "Rainfall Harvesting as Resources of Self Watering Fertigation System with Various Growing Medias," vol. 6, no. 5, 2016.
- [28] I. D. G. A. Junnaedhi, A. Inagaki, M. R. Ferdiansyah, and M. Kanda, "Seasonal sea breeze variation analysis based on multi-year near-surface observations in Jakarta, Indonesia," *International Journal of Climatology*, vol. 43, no. 11, pp. 5177–5195, Sep. 2023, doi: 10.1002/joc.8139.
- [29] N. Lu, "Evaluation of IMERG Precipitation Products in the Southeast Costal Urban Region of China," *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/rs14194947.

PENGARUH KONDISI INFRASTRUKTUR LINGKUNGAN JALAN TERHADAP KESELAMATAN LALU LINTAS ANGKUTAN JALAN: SYSTEMATIC REVIEW

Nurul Fitriani¹, *Naufal Hanif Musyaffa², Adinda Syifa Faryani P.S³, Veronika Chintia Dewi⁴,

Muhammad Fikri Ananda⁵, Muhammad Adib Masyhuri⁶, Suharyani Cahya Adifriarti⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Kota Tegal

^{*}Email : naufalmsyffa0304@gmail.com

ABSTRACT

Road infrastructure plays a critical role in ensuring a safe, efficient, and sustainable transportation system, particularly in developing countries that continue to face challenges in providing road facilities that comply with safety standards. This study aims to systematically assess the contribution of various road infrastructure components to traffic safety, including road geometry, pavement surface conditions, the adequacy of markings and signage, and roadway lighting. A Systematic Literature Review (SLR) method was employed, referring to the PRISMA approach, by analyzing ten peer-reviewed articles published between 2015 and 2025. The findings reveal that road geometry and lighting are the most dominant factors influencing accident risk, followed by pavement quality, clarity of road markings, and legibility of traffic signs. Inconsistencies or damage in these elements may cause driver confusion, delayed reactions, and poor decision-making, especially in high-risk areas. Furthermore, road users' perception and awareness of the infrastructure's function significantly affect its overall safety effectiveness. Therefore, efforts to enhance road safety must be carried out through an integrated approach that includes technically sound infrastructure planning, consistent maintenance, user education, and the implementation of forgiving road and self-explaining road principles. These evidence-based strategies are essential in reducing accident rates and fostering safer road environments in a sustainable manner.

Keyword: *Road Infrastructure, Road Safety, Traffic Accidents*

ABSTRAK

Kondisi infrastruktur jalan merupakan elemen krusial dalam menjamin sistem transportasi yang aman, efisien, dan berkelanjutan, terutama di negara berkembang yang masih menghadapi tantangan dalam penyediaan fasilitas jalan yang sesuai dengan standar keselamatan. Studi ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis kontribusi berbagai komponen infrastruktur jalan terhadap keselamatan lalu lintas, mencakup geometri jalan, kondisi permukaan perkerasan, kelengkapan marka dan rambu, serta pencahayaan jalan. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review (SLR)* dengan mengacu pada pendekatan PRISMA, melalui analisis terhadap sepuluh artikel ilmiah terbitan tahun 2015 hingga 2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa geometri jalan dan pencahayaan merupakan faktor dominan yang memengaruhi tingkat risiko kecelakaan, diikuti oleh kualitas perkerasan, kejelasan marka, dan keterbacaan rambu lalu lintas. Ketidaksesuaian atau kerusakan pada elemen-elemen tersebut dapat menyebabkan kebingungan, keterlambatan respons, dan pengambilan keputusan yang salah oleh pengemudi, terutama pada lokasi rawan kecelakaan. Selain itu, persepsi dan pemahaman pengguna jalan terhadap fungsi dan keberadaan infrastruktur juga menjadi faktor penting dalam efektivitas keselamatan. Oleh karena itu, peningkatan keselamatan lalu lintas harus dilakukan secara terpadu melalui perencanaan yang berbasis standar teknis dan keselamatan, pemeliharaan infrastruktur yang berkelanjutan, edukasi kepada pengguna jalan, serta penerapan prinsip *forgiving road* dan *self-explaining road* sebagai pendekatan strategis berbasis bukti dalam menurunkan angka kecelakaan secara berkelanjutan.

Kata kunci: Infrastruktur Jalan, Keselamatan Jalan, Kecelakaan lalu lintas

1. PENDAHULUAN

Sebagai isu yang berdampak luas, keselamatan lalu lintas terus menjadi pusat perhatian di tingkat nasional maupun internasional. Setiap tahunnya, kecelakaan lalu lintas merenggut sekitar 1,19 juta jiwa di seluruh dunia. Dan menyebabkan 20 hingga 50 juta orang lainnya mengalami cedera, dengan banyak di antaranya menderita kecacatan permanen, dan banyak di antaranya mengalami kecacatan. Ironisnya, lebih dari 90% kematian terjadi di negara berpenghasilan rendah dan menengah, yang sebagian besar belum memiliki infrastruktur jalan yang layak dan aman bagi semua pengguna jalan. Menurut WHO, Kematian karena kasus kecelakaan lalu lintas tertinggi terdapat di Wilayah Afrika dan terendah di Wilayah Eropa, di mana sistem transportasi dan infrastruktur jalan masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk dalam hal kelayakan dan keselamatan fisik [1]

Untuk mengatasi permasalahan ini, sistem transportasi harus responsif terhadap kebutuhan semua pengguna jalan. Pendekatan sistem yang aman (*safe system approach*) terhadap keselamatan lalu lintas menekankan pentingnya membangun sistem jalan yang dirancang untuk mengakomodasi kesalahan manusia dan melindungi pengguna yang rentan. Konsep ini bertumpu pada empat elemen utama: jalan dan tepi jalan yang aman, kecepatan yang aman, kendaraan yang aman, dan pengguna jalan yang aman. Keempat elemen ini harus diintegrasikan secara menyeluruh untuk mengurangi risiko kecelakaan fatal dan cedera serius [2]

Salah satu komponen kunci dari pendekatan ini adalah infrastruktur jalan. Infrastruktur jalan sebagai bagian dari lingkungan fisik transportasi memiliki peran krusial dalam menentukan tingkat keselamatan lalu lintas [2]. Infrastruktur jalan yang buruk terbukti meningkatkan risiko kecelakaan. Di Amerika Serikat, kondisi jalan diketahui menyumbang sekitar 53% dari faktor penyebab kecelakaan. Jalan yang rusak, tidak rata, atau bergelombang dapat memengaruhi stabilitas kendaraan dan menurunkan tingkat kepatuhan pengemudi. Studi oleh [3] di Batu Pahat, Malaysia, menunjukkan bahwa permukaan jalan yang bergelombang dapat menjadi faktor signifikan dalam kecelakaan lalu lintas yang serius. Selain itu, geometri jalan, manajemen akses, perlengkapan di tepi jalan seperti pembatas dan tiang, serta marka jalan semuanya berperan penting dalam menciptakan kondisi berkendara yang aman.

Risiko yang muncul akibat infrastruktur yang buruk mencakup: perlindungan sisi jalan yang tidak memadai, desain jalan yang tidak sesuai standar, keselamatan rendah di zona konstruksi, sistem drainase yang tidak berfungsi, kurangnya penerangan jalan, serta manajemen lalu lintas dan tata guna lahan yang tidak tertata. Bahkan elemen-elemen seperti rambu lalu lintas yang tidak harmonis, baik dari segi desain, penempatan, maupun keterbacaannya dapat menyebabkan kebingungan dan meningkatkan potensi kecelakaan, khususnya di area padat lalu lintas [4].

Penerangan jalan juga merupakan faktor penting dalam keselamatan lalu lintas, terutama pada malam hari. Berbagai studi menunjukkan bahwa peningkatan pencahayaan dapat mengurangi angka kecelakaan malam hari hingga 30–35%, seperti dilaporkan dalam NZTA Economic Evaluation Manual (EEM). Namun, belum terdapat definisi baku tentang kondisi pencahayaan yang dianggap “buruk” atau “tidak aman”, serta tidak ada hubungan dosis-respons yang jelas antara parameter pencahayaan dan hasil keselamatan. Di Selandia Baru, misalnya, kerugian ekonomi akibat kecelakaan malam hari di kawasan urban dengan penerangan jalan yang tidak memadai diperkirakan mencapai USD 310 juta per tahun, atau sekitar 8% dari total biaya kecelakaan nasional [5].

Dengan mempertimbangkan kompleksitas faktor-faktor tersebut, penting untuk melakukan kajian komprehensif guna memahami sejauh mana kondisi infrastruktur lingkungan jalan yang mencakup perkerasan jalan, rambu, penerangan, sistem drainase, dan geometri berpengaruh terhadap tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan. Oleh karena itu, penelitian ini disusun dalam bentuk systematic review untuk menghimpun dan menganalisis temuan-temuan ilmiah terkait pengaruh infrastruktur jalan terhadap keselamatan, serta memberikan dasar bagi perencanaan kebijakan transportasi yang lebih aman, berkelanjutan, dan inklusif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jalan

Jalan merupakan bagian vital dari infrastruktur transportasi yang mencakup seluruh elemen fisik, termasuk bangunan penunjang dan perlengkapannya, yang dirancang untuk menunjang aktivitas lalu lintas. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, seluruh bagian jalan baik yang berada di atas permukaan tanah, di bawah permukaan, maupun di wilayah perairan, termasuk dalam jaringan jalan [6]. Sementara itu, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan menjelaskan bahwa pengertian jalan tidak hanya terbatas pada permukaan lintasan, tetapi juga mencakup sarana penunjang lalu lintas umum yang berada di atas, di bawah, di atas air, atau di dalam air, dengan pengecualian terhadap jalur kereta api dan kabel. Dalam konteks pembangunan nasional, jalan berfungsi sebagai penghubung utama antarwilayah, mendukung pemerataan hasil pembangunan, serta memperkuat aspek pertahanan dan keamanan negara [7].

Infrastruktur Jalan

Infrastruktur dapat dipahami sebagai sistem fisik yang mencakup sarana transportasi, jaringan irigasi, gedung, serta berbagai fasilitas umum lainnya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia dalam konteks sosial maupun ekonomi. Keberadaan sistem infrastruktur menjadi landasan utama bagi berjalannya aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Secara umum, infrastruktur mencakup struktur dasar, perangkat, dan instalasi yang dibangun untuk menunjang kelangsungan dan kinerja sistem sosial serta ekonomi. Dalam konteks teknis, infrastruktur didefinisikan sebagai aset fisik yang dirancang secara sistematis untuk menyediakan layanan publik yang esensial. Untuk mewujudkan lingkungan permukiman yang layak huni dan berkelanjutan, diperlukan dukungan infrastruktur permukiman beserta fasilitas umum yang memadai. Infrastruktur permukiman meliputi jaringan jalan lokal, sistem drainase, akses terhadap air bersih, sistem pembuangan air limbah, pengelolaan sampah, serta ketersediaan listrik dan jaringan telekomunikasi seperti telepon [8].

Keselamatan Lalu Lintas

Keselamatan lalu lintas dapat diartikan sebagai kondisi di mana setiap individu terlindungi dari potensi kecelakaan selama berada dalam sistem lalu lintas, yang risikonya dapat berasal dari faktor manusia, kendaraan, infrastruktur jalan, maupun lingkungan sekitarnya [7]. Sistem transportasi jalan didasarkan pada interaksi tiga komponen utama,

yaitu pengguna jalan, kendaraan, serta kondisi jalan dan lingkungannya. Efektivitas keselamatan dalam lalu lintas sangat dipengaruhi oleh sejauh mana ketiga elemen tersebut saling mendukung. Untuk menjamin terciptanya jalan yang aman, perlu diterapkan prinsip-prinsip desain jalan yang berorientasi pada keselamatan. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, terdapat tiga prinsip utama yang harus diterapkan dalam perancangan dan pengelolaan ruas jalan, yaitu *self-explaining road* (jalan yang mudah dipahami secara intuitif oleh pengemudi), *self-enforcing road* (jalan yang secara fisik mendorong kepatuhan terhadap aturan), dan *forgiving road* (jalan yang mampu meminimalkan dampak kesalahan pengguna) [7]. Ketiga prinsip ini menjadi dasar dalam upaya menciptakan sistem jalan yang lebih aman dan responsif terhadap perilaku pengguna.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan Systematic Literature Review (SLR) yang dirancang mengacu pada panduan PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Prosedur tinjauan dilakukan melalui empat tahap utama, yaitu tahap identifikasi sumber, proses penyaringan, evaluasi kelayakan, dan penarikan hasil dari studi yang memenuhi kriteria. Literatur diperoleh melalui penelusuran basis data elektronik secara daring, dengan memanfaatkan platform Google Scholar sebagai sumber utama. Pencarian artikel dilakukan pada bulan Juni 2025 dengan rentang tahun publikasi yang dibatasi antara 2015 hingga 2025. Hanya artikel yang menggunakan desain penelitian cross-sectional dan relevan dengan tujuan studi yang diikutsertakan dalam analisis. Artikel yang diseleksi mencakup publikasi dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Beberapa kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian meliputi *infrastruktur jalan*, *keselamatan lalu lintas*, *marka jalan*, *kondisi fisik jalan*, *permukaan jalan*, serta istilah-istilah lain yang berkaitan erat dengan fokus penelitian ini.

Objek Penelitian

Objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah pengaruh kondisi infrastruktur lingkungan jalan terhadap tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan. Pemilihan objek ini didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

1. Keselamatan lalu lintas angkutan jalan masih menjadi permasalahan penting dalam bidang transportasi, mengingat tingginya angka kematian dan cedera akibat kecelakaan lalu lintas, baik di tingkat nasional maupun global.
2. Kondisi infrastruktur jalan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi tingkat keselamatan lalu lintas, di mana aspek seperti perkerasan jalan, penerangan, harmonisasi rambu dan desain geometrik jalan berperan signifikan dalam menurunkan atau meningkatkan risiko kecelakaan.

Tahapan Penelitian

1. Research Question (Pertanyaan Penelitian)

Penelitian ini disusun untuk menjawab sejumlah pertanyaan utama yang berkaitan dengan pengaruh kondisi infrastruktur lingkungan jalan terhadap tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan. Pertanyaan penelitian tersebut dirumuskan sebagai berikut:

RQ1 : Apa rancangan penelitian (*research design*) yang digunakan dalam metodologi studi-studi terdahulu terkait pengaruh infrastruktur jalan terhadap keselamatan lalu lintas?

RQ2 : Faktor-faktor apa saja yang berhubungan dengan tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan berdasarkan kondisi infrastruktur lingkungan jalan?

2. Search Process

Setelah merumuskan research question, tahap berikutnya adalah search process atau proses pencarian literatur yang sesuai dengan fokus pertanyaan penelitian. Pada tahap ini, penelusuran dilakukan melalui platform Google Scholar sebagai sumber utama referensi ilmiah. Pencarian jurnal dilakukan dengan memasukkan sejumlah kata kunci yang relevan dengan tema penelitian, sehingga hasil yang diperoleh dapat mendukung kajian secara tepat dan terarah.

3. Inclusion and Exclusion Criteria

Kriteria inklusi dan eksklusi digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan kelayakan data yang telah dikumpulkan untuk dijadikan sumber dalam penelitian ini. Proses seleksi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hanya literatur yang memenuhi syarat tertentu yang dianalisis lebih lanjut. Suatu artikel dinyatakan layak untuk dijadikan sumber data apabila memenuhi kriteria berikut:

- a. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah artikel atau jurnal ilmiah yang diterbitkan pada jurnal bidang transportasi, teknik sipil, atau keselamatan lalu lintas, dengan rentang waktu publikasi antara tahun 2015 hingga 2025.
- b. Data diperoleh dari sumber terpercaya, yaitu melalui laman *Google Scholar* dan/atau database jurnal nasional terakreditasi lainnya yang relevan.

- c. Jurnal yang digunakan adalah jurnal yang membahas faktor-faktor yang berhubungan dengan tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan, yang dikaitkan dengan kondisi infrastruktur lingkungan jalan, seperti perkerasan jalan, penerangan, rambu lalu lintas, sistem drainase, desain geometrik jalan, dan fasilitas penunjang lainnya.
4. *Quality Assessment*
Tahap penilaian kualitas (quality assessment) bertujuan untuk memastikan bahwa data atau literatur yang digunakan dalam penelitian ini memiliki standar mutu yang memadai. Proses ini dilakukan dengan mengevaluasi setiap artikel terpilih melalui sejumlah pertanyaan penilaian yang telah ditetapkan. Evaluasi ini membantu menilai sejauh mana validitas, relevansi, dan keandalan data yang diperoleh. Adapun beberapa pertanyaan yang digunakan dalam proses penilaian kualitas antara lain:
AQ1: Apakah artikel atau jurnal ilmiah yang diterbitkan pada jurnal bidang transportasi, teknik sipil, kesehatan masyarakat, atau keselamatan lalu lintas, dengan rentang waktu publikasi antara tahun 2010 hingga 2025?
AQ2: Apakah data diperoleh dari sumber terpercaya, yaitu melalui laman *Google Scholar* dan/atau database jurnal nasional terakreditasi lainnya yang relevan?
AQ3: Apakah artikel/jurnal tersebut membahas faktor-faktor yang berhubungan dengan tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan, yang dikaitkan dengan kondisi infrastruktur lingkungan jalan seperti perkerasan jalan, penerangan, rambu lalu lintas, sistem drainase, desain geometrik jalan, dan fasilitas penunjang lainnya.
5. *Data Collection*
Data collection (pengumpulan data) pada tahap ini yaitu mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian, dan akan dianalisis pada proses selanjutnya. Tahap-tahap pengumpulan data dalam penelitian ini sebagai berikut:
- a. Melakukan penelusuran melalui laman *Google Scholar* serta basis data jurnal nasional terakreditasi lain yang dianggap relevan dengan topik penelitian.
 - b. Pada kolom pencarian, memasukkan kata kunci yang berkaitan dengan topik, seperti “*Pengaruh Infrastruktur*” untuk memperoleh artikel yang sesuai.
 - c. Menggunakan fitur *filter* untuk menyaring hasil pencarian berdasarkan tahun terbit, dengan menetapkan rentang waktu publikasi antara tahun 2015 hingga 2025. Artikel yang ditampilkan merupakan publikasi yang terbit dalam rentang waktu tersebut dan memenuhi kriteria awal seleksi.
6. *Data Analysis*
Data yang telah berhasil dikumpulkan selanjutnya dianalisis pada tahap ini. Proses analisis tersebut dilakukan untuk memperoleh temuan yang dapat menjawab seluruh rumusan pertanyaan penelitian (research question) yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu:
- a. Apa rancangan penelitian (*research design*) yang digunakan dalam metodologi studi-studi terdahulu terkait pengaruh infrastruktur jalan terhadap keselamatan lalu lintas?
 - b. Faktor-faktor apa saja yang berhubungan dengan tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan berdasarkan kondisi infrastruktur lingkungan jalan?
7. *Documentations*
Pada tahap dokumentasi, seluruh data yang telah dikumpulkan dan dianalisis kemudian disusun dan dituangkan dalam bentuk naskah ilmiah (paper), sesuai dengan format penulisan yang ditetapkan oleh jurnal elektronik yang menjadi target publikasi.

4. HASIL

Hasil Search Process dan Inclusion and Exclusion Criteria

Sebanyak 10 artikel ilmiah berhasil dikumpulkan setelah melewati tahapan *search process* yang disesuaikan dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Seluruh artikel tersebut merupakan publikasi yang terbit dalam rentang waktu 2015 hingga 2025, dan secara khusus membahas topik mengenai faktor-faktor yang berkaitan dengan infrastruktur jalan serta dampaknya terhadap keselamatan lalu lintas. Artikel yang telah terkumpul kemudian diklasifikasikan berdasarkan kategori jurnal atau sumber publikasinya sebagai berikut:

Tabel 1. Pengelompokan Artikel Menurut Jenis Jurnal

No.	Jenis Jurnal	Tahun	Jumlah
1.	Jurnal Ilmiah akses terbuka (PLOS ONE)	2020	1
2.	Jurnal Transportasi	2022	1
3.	Jurnal Ilmiah Indonesia	2025	1
4.	Asia Pacific Transportation and the Environment Conference	2018	1

No.	Jenis Jurnal	Tahun	Jumlah
5.	Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)	2017	1
6.	Jurnal Civil Engineering Study	2025	1
7.	Jurnal Qua Teknik	2025	1
8.	Jurnal Teknik Gradien	2025	1
9.	International Association of Traffic and Safety Sciences	2015	1
10.	Jurnal Teknologi Berkelanjutan	2020	1

Hasil *Quality Assessment*

Tahap quality assessment dilakukan untuk menilai kelayakan dan kualitas artikel yang dipilih dalam kajian sistematis ini. Evaluasi dilakukan berdasarkan tiga kriteria utama, yaitu kesesuaian topik dengan bidang keselamatan transportasi, kredibilitas sumber publikasi, serta relevansi isi artikel terhadap variabel infrastruktur jalan dan keselamatan lalu lintas. Tabel 2 berikut menyajikan hasil penilaian terhadap sepuluh artikel yang telah diseleksi, termasuk nama penulis, judul, tahun publikasi, hasil asesmen untuk setiap kriteria, serta keputusan akhir kelayakan artikel.

Tabel 2. Hasil *Quality Assessment*

No.	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Tahun	QA1	QA2	QA3	Hasil
1.	(Musa et al., 2020) [3]	The Impact of Roadway Conditions Towards Accident Severity on Federal Roads in Malaysia	2020	YA	YA	YA	Diterima
2.	(Kurniawati et al., 2022) [9]	Pengaruh Jenis Permukaan dan Kondisi Jalan terhadap Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Batu	2022	YA	YA	YA	Diterima
3.	(Syara et al., 2025) [10]	Evaluasi Kelengkapan Rambu Lalu Lintas dan Marka Jalan terhadap Tingkat Keselamatan Lalu Lintas di Kota Sorong	2025	YA	YA	YA	Diterima
4.	(Pembuain et al., 2018) [2]	The Effect of Road Infrastructure on Traffic Accidents	2018	YA	YA	YA	Diterima
5.	(Mayuni et al., 2017) [8]	Evaluasi Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan Trans Kalimantan)	2017	YA	YA	YA	Diterima
6.	(Rahmania et al., 2025) [11]	Pengaruh Fasilitas Infrastruktur Pendukung Keselamatan Dan Kenyamanan Pada Pengguna Jalan Di Bundaran Besar Kota Palangka Raya	2025	YA	YA	YA	Diterima
7.	(M. Sa'dillah et al., 2025) [12]	Analisis Tingkat Keselamatan Ruas Jalan Ditinjau Dari Aspek Kelengkapan Infrastruktur (Studi Kasus : Jl Raya Sambigede, Kec. Sumberpucung, Kab. Malang)	2025	YA	YA	YA	Diterima

No.	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Tahun	QA1	QA2	QA3	Hasil
8.	(Ula Nabillah Yoni et al., 2025) [13]	Inspeksi Keselamatan Jalan Pada Jalan Ahmad Yani Di Kota Magelang	2025	YA	YA	YA	Diterima
9.	(Jackett & Frith, 2015) [5]	Quantifying The Impact Of Road Lighting On Road Safety — A New Zealand Study	2015	YA	YA	YA	Diterima
10.	(Lestari & Anjarsari, 2020) [14]	Analisis Kecelakaan Lalu Lintas Dan Penanganan Daerah Rawan Kecelakaan Jalan Ahmad Yani (Ruas KM 17 - KM 36) Kota Banjarbaru	2020	YA	YA	YA	Diterima

Data Analysis

Pada tahap ini, berbagai pertanyaan penelitian (*research question*) dijawab melalui analisis terhadap temuan yang berkaitan dengan faktor-faktor yang memengaruhi kejadian stunting pada balita dalam rentang waktu 2015 hingga 2025.

Tabel 3. Hasil *Systematic Literature Review* Pengaruh Infrastruktur Lingkungan Terhadap Keselamatan Jalan

No.	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Metode & Variabel Penelitian	Hasil
	(Musa et al., 2020) [3]	<i>The Impact of Roadway Conditions Towards Accident Severity on Federal Roads in Malaysia</i>	Metode yang digunakan adalah studi literatur. Variabel penelitian adalah Geometrik Jalan.	Nilai odds ratio sebesar 0,4169 menunjukkan bahwa keselarasan horizontal yang buruk justru menurunkan peluang terjadinya kecelakaan parah, dan bukan menjadi penyebab utama keparahan kecelakaan. Hanya variabel keselarasan horizontal yang signifikan terhadap tingkat keparahan kecelakaan pada tingkat kepercayaan 90% ($p = 0,0590$).
2.	(Kurniawati et al., 2022) [9]	Pengaruh Jenis Permukaan dan Kondisi Jalan terhadap Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Batu	Metode yang digunakan adalah studi literatur. Variabel penelitian adalah permukaan jalan dna kondisi jalan.	Studi ini menunjukkan bahwa jenis permukaan jalan dan kondisi jalan yang rusak berpengaruh signifikan terhadap tingkat kecelakaan di Kota Batu sebesar 98,7% ($R^2 = 0,987$). Uji F menghasilkan nilai Fhitung = 77,722 (signifikansi 0,013), sedangkan uji t menunjukkan bahwa kedua variabel signifikan secara parsial (thitung = 10,274; $p = 0,009$ dan thitung = -7,863; $p = 0,016$).
3.	(Syara et al., 2025) [10]	Evaluasi Kelengkapan Rambu Lalu Lintas dan Marka Jalan terhadap Tingkat Keselamatan Lalu Lintas di Kota Sorong	Metode Observasi lapangan. Variabel Penelitian adalah kelengkapan rambu, Marka jalan, Kondisi geometrik jalan dan faktor lingkungan	Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa kelengkapan rambu dan marka jalan berpengaruh sebesar 93,3% ($R^2 = 0,933$) terhadap tingkat keselamatan lalu lintas di Kota Sorong, sementara 6,7% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti geometri jalan, perilaku pengguna, atau lingkungan.

No.	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Metode & Variabel Penelitian	Hasil
4.	(Pembuain et al., 2018) [2]	The Effect of Road Infrastructure on Traffic Accidents	Metode yang digunakan adalah studi literatur. Kajian ini difokuskan pada lima elemen utama infrastruktur jalan, yaitu geometri ,kondisi permukaan jalan bahaya di sisi jalan , bangunan pelengkap jalan dan perlengkapan jalan	Hasil studi menunjukkan bahwa geometri jalan, kondisi permukaan, bahaya di sisi jalan, bangunan pelengkap, dan perlengkapan jalan memiliki pengaruh signifikan terhadap kecelakaan lalu lintas. Maka, infrastruktur jalan yang aman harus dibangun sesuai standar perencanaan dan mempertimbangkan seluruh aspek keselamatan.
5.	(Mayuni et al., 2017) [8]	Evaluasi Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan Trans Kalimantan)	Penelitian ini menggunakan Observasi lapangan. Variabel Penelitian adalah geometrik jalan, kerusakan perkerasan jalan dna harmonisasi fasilitas perlengkapan jalan.	Evaluasi Jalan Trans Kalimantan KM 21 mengungkap defisiensi serius pada aspek keselamatan, terutama geometri jalan, hambatan visual, serta fasilitas keselamatan seperti marka, rambu, dan guardrail yang tidak sesuai standar. Jalan ini tidak memenuhi prinsip forgiving road dan self-explaining road, sehingga diperlukan perbaikan desain geometrik, pemeliharaan fasilitas, dan peningkatan manajemen jalan untuk menurunkan risiko kecelakaan.
6.	(Rahmania et al., 2025) [11]	Pengaruh Fasilitas Infrastruktur Pendukung Keselamatan Dan Kenyamanan Pada Pengguna Jalan Di Bundaran Besar Kota Palangka Raya	Metode penelitian yang digunakan adalah dengan Survei kuesioner. Variabel penelitian adalah perlengkapan jalan dan kondisi geometrik jalan	Analisis menunjukkan bahwa fasilitas infrastruktur berpengaruh sebesar 49,7% ($R^2 = 0,497$) terhadap keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, sementara 50,3% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti lingkungan, cuaca, dan perilaku pengguna. Nilai korelasi $r = 0,705$ menunjukkan hubungan yang kuat, berada dalam kategori interval 0,60–0,799.
7.	(M. Sa'dillah et al., 2025) [12]	Analisis Tingkat Keselamatan Ruas Jalan Ditinjau Dari Aspek Kelengkapan Infrastruktur (Studi Kasus : Jl Raya Sambigede, Kec. Sumberpucung, Kab. Malang)	Penelitian ini menggunakan Observasi lapangan. Variabel penelitian adalah prasarana jalan.	Minimnya fasilitas pendukung lalu lintas, seperti tidak tersedianya rambu peringatan dan rambu batas kecepatan, marka jalan yang tidak terlihat jelas, serta kerusakan pada lampu penerangan jalan umum, menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap tingginya risiko kecelakaan di Jalan Raya Sambigede berdasarkan observasi kondisi lapangan terkini.
8.	(Ula Nabillah Yoni et al., 2025)	Inspeksi Keselamatan Jalan	Metode Hazard Identification	Inspeksi keselamatan di Jalan Ahmad Yani, Kota Magelang,

No.	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Metode & Variabel Penelitian	Hasil
	[13]	Pada Jalan Ahmad Yani Di Kota Magelang	and Risk Assessment (HIRA) . variabel penelitian adalah infrastruktur jalan, dan fasilitas keselamatan	mengungkap berbagai kerusakan infrastruktur yang membahayakan lalu lintas, seperti marka jalan memudar, rumble strip terputus, jalur sepeda terganggu parkir liar, dan permukaan jalan berlubang. Rambu banyak yang pudar atau tertutup vegetasi, APILL tidak berfungsi, serta drainase bermasalah akibat saluran rusak dan tersumbat sampah, yang secara keseluruhan meningkatkan risiko kecelakaan.
9.	(Jackett & Frith, 2015) [5]	<i>Quantifying the impact of road lighting on road safety — A New Zealand Study</i>	Metode penelitian adalah korelasi kuantitatif. Dan variabel penelitian adalah penerangan jalan.	Luminansi rata-rata (Lavg) merupakan faktor paling signifikan dalam meningkatkan keselamatan lalu lintas malam hari; semakin tinggi Lavg, semakin rendah rasio kecelakaan malam. Threshold increment (TI) juga berpengaruh, dengan silau rendah terkait penurunan kecelakaan. Sebaliknya, uniformity (Uo dan Ul) tidak signifikan. Warna cahaya putih dikaitkan dengan peningkatan kecelakaan, namun belum konklusif. Peningkatan luminansi sebesar 0,5 cd/m ² dapat menurunkan kecelakaan malam hingga 56%, tergantung jenis kecelakaannya, menegaskan pentingnya pencahayaan jalan yang optimal.
10.	(Lestari & Anjarsari, 2020) [14]	Analisis Kecelakaan Lalu Lintas Dan Penanganan Daerah Rawan Kecelakaan Jalan Ahmad Yani (Ruas KM 17 - KM 36) Kota Banjarbaru	Metode penelitian adalah Kualitatif Deskriptif. Dan variabel penelitian adalah geometri jalan, lingkungan jalan serta penerangan jalan.	Analisis kecelakaan di Jalan Ahmad Yani KM 17–36, Kota Banjarbaru, mengidentifikasi dua segmen rawan kecelakaan (blacksite) dan delapan titik rawan (blackspot), dengan titik paling berbahaya di KM 19,25–19,50 (TF = 10614,401; jauh di atas UCL = 4523,506). Penyebab utama meliputi rendahnya disiplin pengendara, kecepatan tinggi, kurangnya penerangan, kondisi geometrik buruk, serta minimnya rambu, marka, dan fasilitas keselamatan. Temuan ini menekankan pentingnya penanganan teknis dan perilaku pengguna untuk mitigasi kecelakaan.

RQ1: Apa rancangan penelitian (*research design*) yang digunakan dalam metodologi studi-studi terdahulu terkait pengaruh infrastruktur jalan terhadap keselamatan lalu lintas?

Analisis data yang berkaitan dengan pertanyaan penelitian pertama (RQ1) mengenai jenis rancangan penelitian (*research design*) yang digunakan menghasilkan klasifikasi artikel atau jurnal berdasarkan pendekatan metodologis yang diterapkan. Hasil pengelompokan ini disajikan pada Tabel 4, yang menampilkan distribusi artikel sesuai dengan rancangan penelitian yang digunakan dalam studi yang ditinjau.

Tabel 4. Pengelompokan Kategori Artikel/Jurnal Berdasarkan *Research Design* (Rancangan Penelitian)

No.	Design Penelitian	Artikel/ Jurnal Penelitian	Jumlah
1.	Studi Literatur	[3], [9], [2]	3
2.	Observasi Lapangan	[10], [8], [12], [5]	4
3.	Survei dan Kuisisioner	[11], [14]	2
4.	Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA)	[13]	1

Merujuk pada Tabel 4, diketahui bahwa sebagian besar penelitian yang membahas faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan berdasarkan kondisi infrastruktur lingkungan jalan menggunakan rancangan penelitian observasional lapangan, dengan total 4 artikel/jurnal. Sementara itu, 3 artikel/jurnal mengadopsi pendekatan studi literatur, sedangkan 2 artikel/jurnal menggunakan metode survei dan kuesioner. Hanya 1 artikel/jurnal yang menerapkan pendekatan Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) dalam rancangan penelitiannya.

RQ2: Faktor-faktor apa saja yang berhubungan dengan Tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan berdasarkan kondisi infrastruktur lingkungan jalan?

Tabel 5. Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Tingkat Keselamatan Lalu Lintas Angkutan Jalan Berdasarkan Kondisi Infrastruktur Lingkungan Jalan

No.	Faktor Penyebab	Artikel/ Jurnal Penelitian	Jumlah
1.	Geometrik jalan	[3], [10], [2], [8], [11], [14]	6
2.	Permukaan Jalan	[9], [2], [8]	3
3.	Kondisi Jalan	[9], [2], [13]	3
4.	Kelengkapan Rambu	[10], [8], [11], [12]	4
5.	Marka Jalan	[10], [8], [12]	3
6.	Penerangan Jalan	[8], [11], [5]. [14]	4
7.	Lingkungan Jalan	[14]	1

Berdasarkan Tabel 5 mengenai faktor-faktor yang berhubungan dengan tingkat keselamatan lalu lintas angkutan jalan berdasarkan kondisi infrastruktur lingkungan jalan, diketahui bahwa faktor penyebab utama yang paling banyak mempengaruhi yaitu geometrik jalan, yang disebutkan dalam 6 artikel/jurnal penelitian. Faktor penyebab utama kedua adalah kelengkapan rambu dan penerangan jalan, yang masing-masing muncul dalam 4 artikel/jurnal penelitian. Sementara itu, faktor penyebab utama ketiga terdiri dari permukaan jalan, kondisi jalan, dan marka jalan, yang masing-masing tercantum dalam 3 artikel/jurnal penelitian. Faktor lingkungan jalan merupakan faktor yang paling sedikit disebutkan, yaitu hanya dalam 1 artikel/jurnal penelitian.

5. PEMBAHASAN

Geometrik Jalan

Geometrik jalan merupakan struktur dasar yang menentukan kenyamanan dan keamanan pengemudi dalam berinteraksi dengan jalan. Elemen-elemen seperti jarak pandang, radius tikungan, lebar lajur, dan lebar bahu jalan menjadi aspek penting dalam menentukan kelancaran manuver kendaraan serta waktu reaksi pengemudi terhadap kondisi darurat. Penelitian Siti Mayuni, dkk. [8] menunjukkan bahwa banyak ruas jalan di Indonesia, khususnya di Jalan Trans Kalimantan KM 21, tidak memenuhi standar teknis geometrik, seperti tikungan tajam tanpa pandangan cukup dan bahu jalan yang sempit. Hal ini menyebabkan penurunan antisipasi pengemudi terhadap risiko dan meningkatkan kecelakaan, terutama jenis tabrakan frontal dan run-off-road. Begitu pula dalam studi Syara et al., [10] dan Rahmania et al., [11], disebutkan bahwa kondisi geometrik jalan turut berkontribusi terhadap persepsi keselamatan pengguna jalan. Hal ini mengindikasikan bahwa infrastruktur tidak hanya dinilai dari fungsi teknis, tetapi juga kemampuan jalan menciptakan rasa aman.

Permukaan dan Kondisi Jalan

Permukaan jalan yang baik adalah syarat utama keselamatan berkendara. Luasan pothole, deformasi, bleeding, serta rutting berkontribusi besar terhadap kecelakaan tunggal dan kerusakan kendaraan. Hal ini diperkuat dalam penelitian Kurniawati, et al., [9] yang menunjukkan bahwa jenis dan kondisi permukaan jalan berkontribusi 98,7% terhadap kecelakaan di Kota Batu, dengan signifikansi statistik sangat tinggi. Kondisi permukaan jalan yang buruk menyebabkan hilangnya traksi ban, memperpanjang jarak pengereman, dan menurunkan kontrol kendaraan. Selain itu, permukaan yang tidak rata menyebabkan keausan kendaraan lebih cepat, sehingga menambah beban operasional dan risiko teknis yang tidak disadari pengemudi.

Kelengkapan Rambu dan Marka Jalan

Rambu dan marka jalan berfungsi sebagai sarana komunikasi visual antara infrastruktur dengan pengguna jalan. Kelengkapan dan kejelasan informasi menjadi kunci utama dalam pengambilan keputusan secara cepat oleh pengemudi, khususnya dalam situasi darurat. Penelitian Syara et al., [10] menunjukkan bahwa kelengkapan rambu dan marka jalan menyumbang 93,3% terhadap keselamatan lalu lintas di Kota Sorong ($R^2 = 0,933$). Rambu yang tidak ada, rusak, atau tertutup vegetasi menjadi pemicu pelanggaran lalu lintas dan kecelakaan karena pengemudi kehilangan orientasi. Marka yang kabur atau tidak konsisten juga menyebabkan kebingungan, terutama pada malam hari dan kondisi hujan. Ketiadaan delineator atau pita penggaduh menyebabkan hilangnya batas visual jalan, memperbesar risiko kendaraan keluar jalur.

Fasilitas Keselamatan Jalan dan Prasarana

Elemen seperti lampu penerangan, sinyal lalu lintas, guardrail, trotoar, dan halte merupakan pelengkap penting dari sistem keselamatan. Penelitian M. Sa'dillah et al.,[12] dan Mayuni et al.,[8] menemukan bahwa banyak fasilitas ini tidak tersedia atau berada dalam kondisi rusak dan tidak sesuai standar. Penerangan jalan umum (PJU) yang minim atau tidak berfungsi menyebabkan penurunan visibilitas, terutama di tikungan dan persimpangan. Guardrail yang absen pada tikungan tajam atau turunan panjang menyebabkan fatalitas tinggi pada kecelakaan tunggal. Di sisi lain, halte dan trotoar yang tidak layak meningkatkan risiko pejalan kaki dan pengguna angkutan umum. Fasilitas keselamatan yang dirancang hanya sebagai formalitas tidak mampu menjalankan fungsinya secara efektif. Oleh karena itu, audit berkala dan pemeliharaan sistematis sangat dibutuhkan, bukan hanya pembangunan awal.

Faktor Lingkungan dan Perilaku Pengguna Jalan

Meskipun fokus kajian ini adalah pada infrastruktur fisik, perilaku pengguna jalan menjadi faktor antara yang sangat memengaruhi efektivitas infrastruktur tersebut. Penelitian Rahmania et al., [11] menunjukkan bahwa persepsi pengguna terhadap kelengkapan jalan berkontribusi 49,7% terhadap keselamatan dan kenyamanan berkendara. Faktor lingkungan seperti cuaca, pencahayaan alami, vegetasi liar, serta keramaian jalan turut memengaruhi bagaimana pengguna memanfaatkan infrastruktur. Sementara itu, perilaku pengguna seperti disiplin mengikuti marka, memahami rambu, dan mematuhi batas kecepatan sangat ditentukan oleh kejelasan infrastruktur itu sendiri. Jika rambu tidak tersedia, marka kabur, dan jalan rusak, maka perilaku pengguna pun tidak akan maksimal. Di sinilah pentingnya melihat keselamatan tidak hanya dari sisi perilaku pengemudi, tetapi juga dari kualitas sistem yang mereka gunakan.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review, dapat disimpulkan bahwa kondisi infrastruktur lingkungan jalan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat keselamatan lalu lintas. Elemen-elemen seperti geometri jalan, permukaan, kelengkapan marka dan rambu, serta pencahayaan terbukti memengaruhi frekuensi dan tingkat keparahan kecelakaan. Ketidaksesuaian atau kerusakan pada elemen-elemen tersebut dapat menyebabkan kebingungan, keterlambatan respons, serta pengambilan keputusan yang salah oleh pengemudi, terutama pada area-area rawan kecelakaan. Selain itu, persepsi pengguna jalan terhadap infrastruktur juga menjadi faktor penting, karena fasilitas yang lengkap tidak akan efektif bila tidak dikenali atau dimanfaatkan dengan benar. Oleh karena itu, peningkatan keselamatan lalu lintas harus dilakukan secara terpadu melalui perencanaan infrastruktur yang memenuhi standar teknis dan keselamatan, pemeliharaan yang berkelanjutan, serta edukasi kepada pengguna jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Word Health Organization, “Global Status Report On Road Safety 2023,” 2023.
- [2] A. Pembuain, S. Priyanto, and L. B. Suparma, “The Effect of Road Infrastructure on Traffic ,” *Asia Pacific Transportation and the Environment Conference*, 2018.
- [3] M. F. Musa, S. A. Hassan, and N. Mashros, “The impact of roadway conditions towards accident severity on federal roads in Malaysia,” *PLoS One*, vol. 15, no. 7 July, Jul. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0235564.
- [4] H. J. Fajar, A. Kumalawati, and E. E. Hangge, “Impact of Road Equipment and Road Geometry Facilities on Traffic Safety in Accident-Restricted Areas,” *Jurnal Forum Teknik Sipil*, vol. 4, no. Tahun, 2024.
- [5] M. Jackett and W. Frith, “Quantifying the impact of road lighting on road safety - A New Zealand Study,” *IATSS Research*, vol. 36, no. 2, pp. 139–145, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.iatssr.2012.09.001.
- [6] *Undang Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan*. 2004.
- [7] *Undang Undang Republik Indonesia No 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. 2009.
- [8] S. Mayuni, S. Widodo, and E. Sulandari, “Evaluasi Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan Trans Kalimantan),” in *Inovasi Teknologi Smart Building dan Green Construction untuk Pembangunan yang Berkelanjutan*, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP), Feb. 2017.

- [9] R. A. Kurniawati, P. N. Hawa, T. I. Salsabila, and I. Deffinika, "Pengaruh Jenis Permukaan Dan Kondisi Jalan Terhadap Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Di Kota Batu," *Jurnal Transportasi Vol. 22 No. 2 Agustus 2022: 155–162*, 2022.
- [10] E. Syara, Muh. Rizal, H. Kadir, H. R. Majid, and J. Wasaraka, "Evaluasi Kelengkapan Rambu Lalu Lintas Dan Marka Jalan Terhadap Tingkat Keselamatan Lalu Lintas Di Kota Sorong," *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 2025.
- [11] N. N. Rahmania, Dewantoro, and Puspasari, "Pengaruh Fasilitas Infrastruktur Pendukung Keselamatan Dan Kenyamanan Pada Pengguna Jalan Di Bundaran Besar Kota Palangkaraya," *Jurnal Civil Engineering Study*, 2025.
- [12] M. Sa'dillah, P. Di. Rahma, and Y. Nimun, "Analisis Tingkat Keselamatan Ruas Jalan Ditinjau Dari Aspek Kelengkapan Infrastruktur (Studi Kasus : Jl Raya Sambigede, Kec. Sumberpucung, Kab. Malang)," *Jurnal Qua Teknika*, 2025.
- [13] A. Ula Nabillah Yoni, R. Martha Brilian, S. Hadi, and P. Keselamatan Transportasi Jalan, "Inspeksi Keselamatan Jalan Pada Jalan Ahmad Yani Di Kota Magelang," *Jurnal Teknik Gradienteknikgradien*, vol. 17, no. 01, pp. 13–24, 2025, [Online]. Available: <http://www.ojs.unr.ac.id/index.php/>
- [14] U. S. Lestari and R. I. Anjarsari, "Analisis Kecelakaan Lalu Lintas Dan Penanganan Daerah Rawan Kecelakaan Jalan Ahmad Yani (Ruas Km 17 – Km 36)," *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)*, 2020.

STUDI EKSPERIMENTAL KEKUATAN TEKAN MORTAR DENGAN CAMPURAN KAPUR, BUBUKAN BATA MERAH DAN PASIR

***Harry Janto Jepira¹, Jimmy Chandra², Firnimus Konstatinus Bhara³**

^{1,2}Program Studi Profesi insinyur, Universitas Atma Jaya, Jakarta

³Teknik, Nusa Nipa, Maumere

^{*}) Email: harryjepira@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan kapur sebagai bahan pengikat alternatif pengganti semen dalam campuran mortar, dengan penambahan serbuk bata merah guna meningkatkan kekuatan mekanis. Upaya ini merupakan solusi ramah lingkungan terhadap dampak produksi semen yang tinggi emisi karbon. Campuran mortar disusun dengan perbandingan 1:1:3 (kapur : serbuk bata merah : pasir) dan rasio air terhadap pengikat sebesar 0,5. Pengujian dilakukan terhadap kuat tekan dan kepadatan mortar pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata meningkat seiring bertambahnya umur mortar, yaitu sebesar 1,49 MPa pada 7 hari, 1,86 MPa pada 14 hari, dan 2,40 MPa pada 28 hari. Nilai kepadatan mortar berkisar antara 2.080–2.680 kg/m³, dengan nilai rata-rata masing-masing sebesar 2.513 kg/m³ (7 hari), 2.342 kg/m³ (14 hari), dan 2.230 kg/m³ (28 hari). Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi kapur dan serbuk bata merah dapat meningkatkan performa mortar serta berpotensi menjadi alternatif material konstruksi yang lebih ramah lingkungan

Kata kunci: Mortar, Kapur, Bubukan_bata_merah, Kuat_tekan

ABSTRAK

This study aims to evaluate the use of lime as an alternative binder to replace cement in mortar mixtures, with the addition of crushed brick powder to enhance mechanical strength. This approach offers an environmentally friendly solution to the high carbon emissions associated with cement production. The mortar mixture was prepared using a ratio of 1:1:3 (lime : crushed brick powder : sand) with a water-to-binder ratio of 0.5. Tests were conducted to assess the compressive strength and density of the mortar at 7, 14, and 28 days of curing. The results showed that the average compressive strength increased with curing time, reaching 1.49 MPa at 7 days, 1.86 MPa at 14 days, and 2.40 MPa at 28 days. The mortar density ranged from 2,080 to 2,680 kg/m³, with average values of 2,513 kg/m³ (7 days), 2,342 kg/m³ (14 days), and 2,230 kg/m³ (28 days). These findings indicate that the combination of lime and crushed brick powder improves mortar performance and has the potential to be a more sustainable alternative construction material.

Keywords: Mortar, Lime, Crushed_brick_powder, Compressive_strength, Density

1. PENDAHULUAN

Mortar kapur merupakan salah satu jenis mortar tertua, yang dibuat dari campuran kapur dan pasir dengan tambahan air [1]. Dibandingkan dengan mortar berbahan dasar semen, mortar kapur mengeras lebih lambat, sehingga memudahkan proses pembentukan. Selain itu, kapur memiliki sifat yang tidak mudah retak atau pecah. Bahkan, retakan yang terbentuk dapat menyerap karbon dioksida dan secara alami mengalami proses perbaikan seiring waktu [2]. Saat ini, mortar kapur banyak digunakan dalam pekerjaan konservasi bangunan bersejarah maupun dalam pembangunan baru dengan pendekatan tradisional [3]. Sifatnya yang lebih berpori dibandingkan mortar semen memungkinkan mortar kapur menyerap kelembapan dari dinding dan mengalirkannya ke permukaan untuk menguap [4].

Gaya arsitektur tembokan yang diadopsi dari Eropa umumnya ditandai dengan dinding tebal lebih dari satu batu dan dibangun menggunakan plester bata tanpa adanya struktur kolom atau beton bertulang sebagai rangka bangunan. Pada masa kolonial, Belanda menggunakan campuran mortar berbahan dasar bubuk kapur, serbuk bata merah, dan pasir yang dicampur air [5].

Mortar adalah campuran semen, pasir, dan air yang digunakan untuk mengikat batu bata atau batu pada dinding bangunan, plester pada dinding, unit pasangan bata di sepanjang dinding, dan mengisi atau menutup celah tidak beraturan di antara keduanya [6]. Sebagian besar mortar dibuat dengan semen, tetapi biasanya semen diganti dengan beberapa campuran lain seperti kapur hidrolik, abu terbang, lumpur merah, asap silika dan kaca untuk meningkatkan sifat mekanis mortar [7].

Kapur adalah bahan anorganik yang mengandung kalsium yang didominasi oleh karbonat, oksida, dan hidroksida. Kapur berasal dari batu kapur yang dapat dihancurkan, dipotong atau dihaluskan, dan diubah menggunakan bahan kimia. Kapur meningkatkan kemampuan kerja, plastisitas, kohesi, adhesi, kandungan udara, dan kandungan air [8]. Kapur telah digunakan selama ribuan tahun sebagai bahan pengikat utama dalam berbagai campuran seperti

dempul kapur dan kapur hidrolik. Sebagai material yang tahan lama, melimpah, dan serbaguna, kapur banyak dimanfaatkan dalam konstruksi, termasuk pada beton kapur dan mortar kapur.



Gambar 1. Kubus Mortar

2. METODE

Material Yang Digunakan

Pasir:

Agregat halus berfungsi untuk mengisi semua ruang kosong di antara partikel kasar. Agregat halus harus lolos saringan 4,75 mm dan tertahan pada saringan 75μ [9].



Gambar 2. M-Pasir

Kapur Aktif:

Kapur dicampur dengan air yang lebih banyak sehingga mempertahankan wujud cair, ini dikenal sebagai *slaking* dan kapur yang terbentuk disebut kapur padam atau kapur terhidrasi [10]. Kapur hidrolik yang digunakan sesuai dengan spesifikasi [11]. Kapur aktif atau Kalsium oksida (CaO), secara kimiawi terdiri dari 52,22% Kalsium (Ca), 28,16% Kalsium karbonat ($CaCO_3$), dan 7,85% Aluminium oksida (Al_2O_3). Komposisi ini menunjukkan bahwa kapur aktif mengandung Kalsium oksida murni, yang terbentuk dari proses pembakaran Kalsium karbonat dan Aluminium oksida [12].



Gambar 3. Kapur Aktif

Bubukan Bata:

Bubukan bata telah digunakan dalam berbagai aplikasi yang berkaitan dengan pekerjaan teknik sipil, seperti bahan pengisi dalam semen pozolanik, agregat halus dan kasar dalam produksi beton, stabilisasi tanah, dan bahan agregat, bahan penyaring dan bahan dasar untuk perkerasan berpori [13]. Limbah batu bata memiliki komposisi kimia yang

didominasi oleh silika oksida (SiO_2) sebesar 54%–61% dan aluminium oksida (Al_2O_3) sebesar 22%–32%. [14]. Bubuk batu bata merah digunakan adalah yang lolos ayakan nomor 200.



Gambar 4. Bubukan Bata

Pembuatan Mortar

Mortar disiapkan dengan mengombinasikan rasio kuantitatif (1:1:3) yaitu 1 kg kapur : 1 kg bubukan bata merah : 3 kg pasir sesuai dengan [15]. Rasio air semen adalah 0,55. Cetakan kubus mortar berdimensi 50 mm x 50 mm x 50 mm. Cetakan dilumasi mengguakan oli dan mortar ditempatkan dalam dua lapisan dengan setiap lapisan diberi rojokan selama 20 kali dengan batang baja. Setelah 48 jam, sampel dikeluarkan dari cetakan dan diambil untuk pengerasan. Saat proses pengeringan, kantong karung goni basah diletakkan di atas kubus mortar.



Gambar 7. Proses pembuatan mortar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kepadatan Massa Kubus

Kepadatan ditentukan oleh hubungan kuantitatif berat mortar terhadap kuantitatif kubus mortar. Beban mati struktur bangunan dinyatakan sebagai kepadatan. Secara umum, berat jenis kapur aktif dan bubukan bata lebih kecil dibandingkan dengan semen. Oleh karena itu, mortar kapur menunjukkan kepadatan yang lebih rendah daripada mortar semen.



Gambar 8. Pengukuran berat mortar

Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan material atau struktur untuk menahan beban pada permukaannya tanpa retak atau lendutan. Material yang mengalami tekanan cenderung mengecil, sedangkan yang mengalami tarikan cenderung memanjang. Kekuatan tekan dari berbagai umur mortar diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan mortar.



Gambar 8. Pengujian kuat tekan

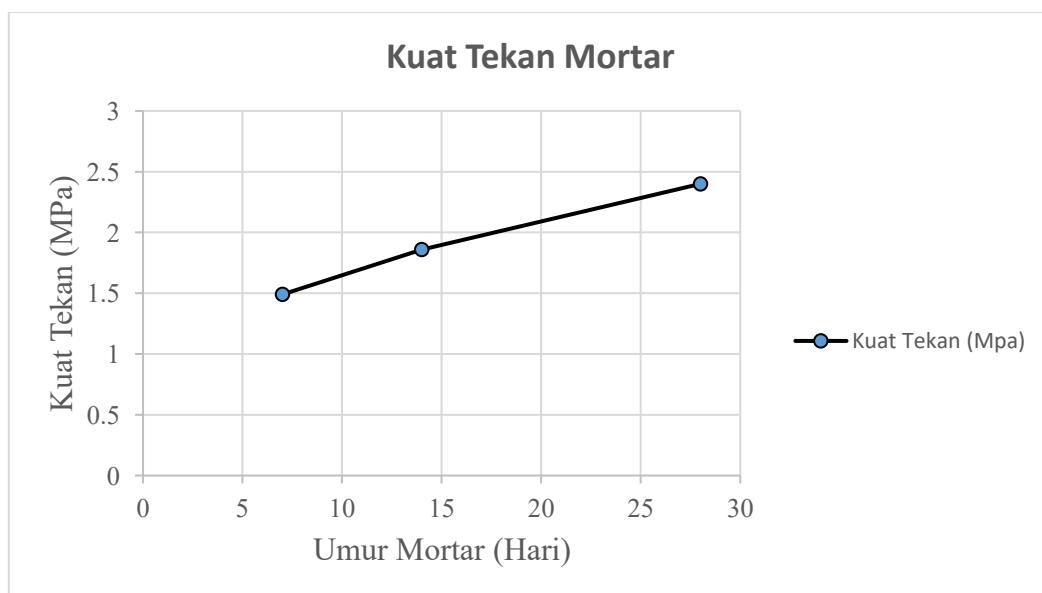


Gambar 9. Kerusakan kulus mortar

Tabel 4. Hasil pengujian kepadatan dan kuat tekan mortar

No	Umur (Hari)	Tinggi (mm)	Sisi (mm)		Berat (gram)	Kepadatan (Kg/m ³)	Beban Maks (KN)	Kuat Takan (MPa)
1.	7	43,5	44	43,5	214	2570	3,0	1,57
2.	7	43,7	44	43,7	214	2550	2,1	1,09
3.	7	44	44	44	228	2680	4,0	2,07
4.	7	44	44	44	202	2370	3,9	2,01
5.	7	44	44	44	206	2420	3,1	1,60
6.	7	44	44	44	212	2490	4,3	2,22
					Rata-rata	2513		1,49
7.	14	44,5	45	45	206	2290	3,0	1,48
8.	14	44,6	44,1	44,6	206	2460	3,3	1,68
9.	14	45	45	45	205	2250	3,1	1,53
10.	14	45	45	45	208	2280	4,2	2,07
11.	14	44	44	44	206	2420	4,6	2,38
12.	14	44,5	44,5	44,5	207	2350	4,0	2,02
					Rata-rata	2342		1,86
13.	28	43	45	45	194	2230	4,0	1,98
14.	28	44,5	43,7	43,7	195	2250	4,6	2,36
15.	28	43,8	43,8	43,8	184	2190	4,2	2,19
16.	28	46	44	44	203	2280	5,7	2,94
17.	28	43	44	44	196	2350	5,4	2,79
18.	28	45,5	44	45	187	2080	4,2	2,12
					Rata-rata	2230		2,40

Perbandingan kekuatan tekan mortar berdasarkan umur ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik perbandingan kuat tekan mortar berdasarkan umur mortar

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mortar dengan campuran kapur, bubukan batu merah, dan pasir dengan proporsi campuran 1:1:3 diperoleh kekuatan tekan sebesar 2,40 MPa umur 28 hari dengan kepadatan mortar sebesar 2230 kg/m³.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Rizal, C. Anwar, Syarwan, and Mulizar, “Analisis eksperimental penggunaan kapur dengan campuran putih telur (bio-cement) sebagai bahan pengikat pada campuran mortar,” *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2024.
- [2] C. Torney, *Lime Mortars in Traditional Buildings: Short Guide 6*. Historic Scotland, Edinburgh, 2014.
- [3] F. K. Bhara, “Studi eksperimen nilai redaman pasangan batu bata dengan mortar campuran kapur dan bubukan batu bata,” *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Abad ke-21*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2021.
- [4] A. Swastikawati, L. A. Haldoko, P. D. Hanggoro, and A. Gunawan, “Rekonstruksi material pembangunan benteng-benteng Nusantara: Studi kasus Benteng Keraton Buton dan Indraputra,” *Borobudur*, vol. 16, no. 2, Jakarta: Kemdikbud, 2022.
- [5] F. K. Bhara, “Deteksi retak dinding pasangan batu dengan mortar campuran kapur, bubukan batu merah dan pasir menggunakan analisis getaran,” Disertasi, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2023.
- [6] R. Y. Adi, “Kuat tekan mortar dengan berbagai campuran penyusun dan umur,” *Media Komunikasi Teknik Sipil*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, 2008.
- [7] H. Verma, N. K. Maurya, S. Faldu, and R. Thakur, “The influence of lime as partial replacement of cement on strength characteristics of mortar and concrete mixes,” *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, vol. 6, no. 5, India, 2019.
- [8] Mashuri, J. F. Batti, and Listiana, “Pengaruh penggunaan kapur padam sebagai bahan pengisi (filler) pada ketahanan pengelupasan beton aspal lapis aus (AC-WC),” *Majalah Ilmiah Mektek*, Universitas Tadulako, Palu, 2013.
- [9] D. N. Kumar, G. Priyadharshini, and P. V. R. Kumar, “Study on compressive strength of lime mortar with admixture and tiles powder,” *International Journal of Advanced Science and Engineering Research*, vol. 5, no. 1, India, 2020.
- [10] Andri, A. Setiawan, and N. Pradani, “Pengaruh penggunaan kapur sebagai bahan pengisi (filler) terhadap karakteristik campuran beton aspal lapis aus (AC-WC),” *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi*, vol. 2, no. 2, Universitas Tadulako, Palu, 2012.
- [11] Megawati, K. Alimuddin, and L. A. Kadir, “Komposisi kimia batu kapur alam dari industri kapur Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara,” *Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*, vol. 5, no. 1, Universitas Sulawesi Barat, 2019.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-6378-2000: Spesifikasi kapur hidrat untuk keperluan pasangan bata*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2000.
- [13] A. K. Jadoon, S. T. Muntaha, M. A. Khattak, and H. Munir, “Effect of brick powder on engineering properties of soil,” in *Proc. 1st Int. Conf. Climate Change and Emerging Trends in Civil Engineering (CCETC)*, GIK Institute, Pakistan, 2024.
- [14] T. M. Wicaksono *et al.*, “Optimalisasi pemanfaatan limbah abuta (abu sekam padi dan serbuk bata) sebagai substitusi semen pada campuran beton ramah lingkungan,” *Bangun Rekaprima*, vol. 10, no. 1, Politeknik Negeri Semarang, 2024.
- [15] T. Boen, *Belajar dari kerusakan akibat gempa bumi bangunan tembokan nir-rekayasa di Indonesia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2016.

ANALISIS DEBIT BANJIR RENCANA BENDUNG TRITIS KABUPATEN SRAGEN

Lidya Ayu Setya Kumala Sari¹, *Paska Wijayanti², Kusdiman Joko Priyanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

^{*}) Email: paska.wijayanti@lecture.utp.ac.id

ABSTRACT

Water availability is an aspect that should be given high priority by the government to meet community needs, both in urban and rural areas. Generally, the current water sources come from rivers, canals, or shallow groundwater wells. The water availability in irrigated land obtained from weirs is crucial for the agricultural sector. Dams have a role to hold water and distribute it through irrigation channels to agricultural land, in order to ensure consistent water availability, especially in the dry season. Tritis Dam functions to raise the elevation of the river water level so that it can be used to irrigate into irrigation channels. Tritis weir is a permanent dam with a stone masonry structure located in Sambirejo Village, Sambirejo District, Sragen Regency, which is located in the Tritis Watershed with an area of 31.15 km². The purpose of this study is to determine planned flood discharge value. The method used in this study is the Synthetic Unit Hydrograph (HSS) ITB-I, but previously it must process GPM (Global Precipitation Measurement) satellite rainfall data and calculate the planned rainfall using the Log Pearson III frequency distribution method. The planned flood discharge in the Tritis Watershed, Sragen Regency using the HSS ITB I method was obtained at 258.41 m³/second for a 50-year return period and 318.09 m³/second for a 100-year return period.

Keywords: *tritis weir, satellite rain, HSS ITB-I*

ABSTRAK

Ketersediaan air adalah suatu aspek yang seharusnya mendapatkan prioritas tinggi dari pemerintah untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, baik di daerah perkotaan maupun di pedesaan. Umumnya, sumber air yang ada saat ini berasal dari sungai, saluran, maupun sumur air tanah yang dangkal. Ketersediaan air di lahan irigasi yang diperoleh dari bendung sangat krusial bagi sektor pertanian. Bendung memiliki peran untuk menahan air dan mendistribusikannya melalui saluran irigasi ke lahan pertanian, guna menjamin ketersediaan air yang konsisten, terutama di musim kering. Bendung Tritis berfungsi untuk meninggikan elevasi muka air sungai sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengairi ke dalam saluran irigasi. Bendung Tritis merupakan bendung tetap dengan struktur pasangan batu yang terletak di Desa Sambirejo, Kecamatan Sambirejo, Kabupaten Sragen yang berada di DAS Tritis dengan luas 31,15 km². Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai debit banjir rencana. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) ITB-I, namun sebelumnya harus melakukan pengolahan data hujan satelit GPM (*Global Precipitation Measurement*) dan menghitung hujan rencana menggunakan metode distribusi frekuensi Log Pearson III. Debit banjir rencana pada DAS Tritis Kabupaten Sragen menggunakan metode HSS ITB I di dapatkan sebesar 258,41 m³/detik untuk kala ulang 50 tahun dan 318,09 m³/detik untuk kala ulang 100 tahun.

Kata kunci: bendung tritis, hujan satelit, HSS ITB-I

1. PENDAHULUAN

Air sangat penting karena tanpanya tidak ada kehidupan di Bumi. Karena makhluk hidup tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan air, maka potensi air harus dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk penyediaan air dalam berbagai keperluan. Bendung merupakan kontruksi yang jauh lebih kecil dari bendungan yang menyebabkan air menggenang membentuk kolam tetapi mampu melewati bagian atas bendung. Bendung mengizinkan air meluap melewati bagian atasnya sehingga aliran air tetap ada dan dalam debit yang sama bahkan sebelum sungai dibendung. Bendung bermanfaat untuk mencegah banjir, mengukur debit sungai dan memperlambat aliran sungai sehingga menjadikan sungai lebih mudah di lalui. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar debit banjir rencana pada Bendung Tritis Kabupaten Sragen.

Peran DAS Alang terhadap proses pengisian waduk Gajah Mungkur tidak dapat diabaikan oleh karena itu sungai ini dipilih agar pengendalian bencana banjir dapat berjalan lancar. Analisisnya menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis Gama I dengan kala ulang debit banjir 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, dan 1000. Didapatkan hasil potensi banjir tertinggi yaitu banjir 100 tahunan terjadi pada tahun 2004 [1]

Terjadi perbedaan yang cukup besar antara Debit Banjir Rancangan pada DAS Bangga hasil olahan data curah hujan dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Gama I terhadap debit banjir rancangan hasil olahan data debit sungai (terukur) dengan menggunakan metode distribusi *log person III*. Perbedaan yang cukup besar dapat disebabkan oleh i. jumlah stasiun curah hujan pada DAS Bangga hanya 2 stasiun sehingga asumsi hidrograf satuan tentang hujan merata diseluruh DAS sulit terwakili selain itu data hujan yang manual sehingga data yang diperoleh dalam waktu 24 jam sedangkan analisis hidrologi memerlukan data agihan hujan jam-jaman yang hanya

diperoleh dari stasiun pencatat hijan otomatis. Luas DAS Bangga Bangga yang terlalu kecil (69,04 km²) dibandingkan dengan untuk luas DAS maksimum yang disarankan yakni 3250 km² [2].

2. LANDASAN TEORI

Bendung adalah kontruksi bangunan air berupa pelimpah yang melintang sungai bertujuan menaikkan muka air sungai di hulu yang memungkinkan dibelokannya air ke jaringan irigasi untuk keperluan mengairi sawah [3].

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu kawasan yang dibatasi oleh batasan topografi (seperti punggungan bukit) untuk menerima dan mengumpulkan air hujan, sedimen, serta unsur hara, dan kemudian mengalirkannya melalui anak-anak sungai hingga keluar pada outlet [4]

Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah informasi yang sangat penting untuk melakukan penilaian potensi sumber air, penggunaan dan pengelolaan air yang baik, serta Kumpulan peristiwa hidrologi seperti jumlah hujan, suhu, laju penguapan, durasi sinar matahari, kecepatan angin, aliran sungai, tinggi permukaan air sungai, dan konsentrasi sedimen dalam sungai akan selalu mengalami perubahan seiring waktu [5]. Analisis hidrologi adalah tahap awal yang penting dalam perencanaan bangunan air dengan tujuan mengetahui hidrologi DAS dalam menentukan kemungkinan debit banjir rencana [5].

Data Hujan Satelit

Perkiraan data curah hujan yang tepat dan menyeluruh sangat penting untuk pengelolaan sumber daya air, dimana ketersediaannya masih terbatas, terutama pada DAS yang memiliki sedikit stasiun hujan di lapangan, sehingga diperlukan alternatif pemanfaatan data curah hujan yang berasal dari satelit salah satunya adalah GPM (Pengukuran Curah Hujan Global) [6]. *Global Precipitation Measurement* (GPM) adalah pengamat curah hujan berbasis citra satelit dengan durasi perekaman data hujan setiap 2 – 4 jam sehingga dapat menjadi solusi alternatif dalam penyediaan data hujan.

Data curah hujan yang berasal dari satelit adalah informasi mengenai curah hujan yang didapat melalui pengukuran yang dilakukan dengan citra satelit meteorologi. Pengukuran hujan menggunakan citra satelit memiliki keuntungan dalam hal area jangkauan yang sangat luas, akurasi waktu, dan efisiensi biaya. Oleh karena itu, hal tersebut sangat bermanfaat karena citra satelit memberikan informasi mengenai curah hujan secara cepat dan dengan tingkat akurasi yang memadai [7].

Berdasarkan beberapa penelitian mengenai penggunaan data hujan satelit, terdapat error atau perbedaan nilai antara hujan satelit dengan pos hujan. Perbedaan dapat berupa overestimate maupun underestimate, bergantung kepada wilayah studi. Untuk mengatasi perbedaan tersebut, data hujan satelit perlu dikoreksi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk analisis hidrologi [8].

Kala Ulang

Pemilihan teknik analisis untuk menentukan banjir rencana bergantung dari data yang tersedia serta jenis bangunan air yang digunakan, kriteria pemilihan banjir hanya mempertimbangkan kemungkinan terjadinya banjir yang lebih besar atau setara dengan banjir rencana selama keberadaan bangunan air tersebut [9]. Kriteria lain yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan banjir rancangan sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria Pemilihan Kala Ulang Banjir Rencana

Jenis Bangunan	Kala Ulang Banjir Rencana (Tahun)
Bendungan urugan tanah/batu (<i>earth/rockfill dam</i>)	1000
Bendungan beton/batu kali (<i>concrete dam/masonry</i>)	500 – 1000
Bendung (<i>weir</i>)	50 – 100
Saluran pengelak banjir (<i>flood diversion canal</i>)	25 – 50
Tanggul Sungai	10 - 25
Drainase saluran di sawah/pemukiman	5 - 10

(Sumber: Diklat Morfologi Sungai [10])

Hujan Rencana

Hujan rencana merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam kala ulang tertentu sebagai hasil dari suatu rangkaian analisis hidrologi yang biasa disebut dengan analisis frekuensi. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas/kemungkinan [11].

Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman

Dalam perhitungan banjir rancangan, diperlukan masukan data berupa hujan rencana (didapatkan dari hasil analisis frekensi) yang didistribusikan kedalam hujan jam-jaman [12]. Untuk dapat mengubah hujan rencana ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusi hujan jam-jaman. Dengan merata-ratakan pola distribusi hujan hasil pengamatan, kemudian didapatkan pola distribusi rerata yang selanjutnya dianggap mewakili kondisi hujan dan dipakai sebagai pola untuk mendistribusikan hujan rancangan menjadi besaran hujan jam-jaman [13].

Penelitian ini untuk menentukan pola distribusi hujan jam-jaman secara empiris, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Durasi hujan rata-rata yang terjadi di Indonesia yaitu 6 jam [14].
2. Jika data hujan otomatis sulit diperoleh, maka lengkung intensitas curah hujan untuk durasi pendek ditentukan berdasarkan data hujan harian menggunakan *Modified Mononobe* [14].

$$I = \frac{R_{24}}{t_c} \left(\frac{t_c}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dengan: I = Intensitas hujan dengan kala ulang T untuk durasi t (mm/jam), R_{24} = curah hujan maksimum selama 24 jam (mm/hari), t = durasi hujan (jam), dan t_c = waktu konsentrasi (jam).

3. *Alternating Block Method* (ABM) merupakan cara sederhana dalam membuat hyetograph rencana dari kurva IDF. Dari hitungan pertambahan hujan dan interval waktu Δt , blok-blok pertambahan hujan disusun kedalam rangkaian waktu, dengan intensitas hujan maksimum berada di tengah-tengah durasi hujan (T_d) dan blok-blok sisanya disusun dalam urutan secara bolak-balik pada kanan dan kiri blok maksimum. Dengan demikian terbentuk hyetograph rencana [14].

Aliran Dasar (*Baseflow*)

Aliran dasar (*baseflow*) merupakan salah satu komponen aliran sungai yang digunakan dalam pengelolaan DAS, yang diamati sebagai debit, berasal dari air hujan yang terinfiltasi dan masuk ke dalam sub DAS menjadi cadangan air tanah dan perlahan-lahan akan mengalir keluar bergabung dengan aliran Sungai [15]. Salah satu metode yang biasanya digunakan untuk pemisahan baseflow adalah metode grafik [16]. Metode grafik pada umumnya digunakan dalam memplotkan komponen aliran dasar dari hidrograf kejadian banjir, pendekatan grafik untuk memisahkan aliran dasar antara lain [17]:

- a. Metode debit konstan merupakan aliran dasar yang mempunyai nilai konstan sepanjang titik puncak hidrograf,
- b. Metode kemiringan konstan menghubungkan antara titik awal (*rising limb*) dan titik perubahan pada *recession limb*,
- c. Metode cekung merupakan penurunan awal aliran dasar (*baseflow*) yang diproyeksikan pada penurunan hidrograf sebelum kejadian hujan yang berada langsung pada titik puncak hidrograf.

Analisa Debit Banjir Rencana

Debit sungai adalah indikator dari fungsi daerah aliran sungai (DAS) dalam mengubah hujan menjadi aliran, dan biasanya disajikan dalam bentuk hidrograf [18]. Hidrograf debit adalah representasi grafik yang menunjukkan hubungan antara debit aliran dan waktu, yang mencerminkan perilaku debit dalam periode waktu tertentu [19]. Di wilayah yang tidak memiliki data hidrologi untuk menghasilkan hidrograf satuan, maka dibuatlah hidrograf satuan sintetis (HSS) yang didasarkan pada ciri-ciri fisik dari DAS, salah satu metode yang dapat diterapkan adalah Metode HSS ITB-1 [12]. Pada penelitian ini perhitungan debit banjir rencana menggunakan HSS ITB-I. Dalam menganalisis debit banjir rencana di suatu DAS menggunakan metode ITB terdapat parameter penting yang perlu diketahui yaitu tinggi dan durasi hujan satuan, waktu puncak, waktu dasar, faktor laju puncak, dan debit puncak, selanjutnya hydrograf total dapat ditemukan dengan prinsip superposisi hidrograf satuan [20]. Berikut ini adalah komponen penting pembentuk HSS ITB-1 antara lain [21]:

1. Tinggi dan durasi hujan satuan
Tinggi hujan satuan adalah 1 mm. Durasi hujan satuan adalah $T_r = 1$ jam. Apabila dipilih durasi 0,5 jam maka tinggi hujan setiap jam harus dibagi 2 dan didistribusikan dalam interval 0,5 jam.
2. *Time Lag* (TL), Waktu Puncak (Tp) dan Waktu Dasar (Tb) merupakan parameter nonfisik pada suatu DAS.
 - a. *Time Lag* (TL) dirumuskan sebagai berikut :

$$TL = Ct \cdot 0,81225 \cdot L 0,6$$

Dimana: TL = *Time lag* (jam), Ct = Koefisien waktu (untuk proses kalibrasi), dan L = Panjang sungai (km).

- b. Waktu puncak (Tp) dirumuskan sebagai berikut :

$$Tp = TL + 0,50 Tr$$

Dimana: T_p = Waktu puncak, T_L = *Time lag*, dan T_r = Durasi hujan satuan

c. Waktu Dasar (T_b)

Pada DAS yang luasan kecil ($A < 2 \text{ km}^2$) menurut *Soil Conservation Service* (SCS) harga T_b dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$T_b = \frac{8}{3} T_p$$

Dimana: T_b = Waktu dasar, dan T_p = Waktu puncak

Nilai T_b dapat dibatasi sampai lengkung turun mendekati nol atau dapat menggunakan rumus berikut :

$$T_b = (10 \text{ s/d } 20) * T_p$$

Bentuk dasar hidrograf satuan pada Metode HSS ITB-1 sebagai berikut :

1. HSS ITB-1 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun seluruhnya yang dinyatakan dengan satu persamaan yang sama yaitu :

$$q(t) = \exp \left[2 - t - \frac{1}{t} \right]^{\alpha C_p}$$

2. Penentuan nilai Koefisien α , β , dan C_p yaitu metode HSS ITB-1 menggunakan nilai $\alpha = 1,50$.
3. Penentuan luasan HSS tak berdimensi menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_i = \frac{1}{2} \times ((t_i - t_{i-1})(q_i + q_{i-1}))$$

Dimana: q_i = Debit ke- i , t_i = Waktu ke- i , dan A_i = Luasan HSS tak berdimensi.

4. Penentuan Q HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_i = q_i \times Q_p$$

Dimana: Q_i = Debit ke- i , Q_p : Waktu puncak (m^3/s), dan q_i = Debit ke- i tak berdimensi.

5. Penentuan V HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} \times 3600 \times (T_i - T_{i-1})(Q_i + Q_{i-1})$$

Dimana: Q_i = Debit ke- i , t_i = Waktu ke- i , dan V = Volume HSS (m^3)

Prinsip konservasi masa dan definisi hidrograf satuan sintesis maka dapat disimpulkan bahwa volume satuan hujan efektif yang jatuh merata diseluruh DAS harus sama dengan volume hidrograf satuan sintesis dengan waktu puncak, dapat dirumuskan sebagai berikut

$$V_{DAS} = R \times A_{DAS} = 1000 A_{DAS}$$

$$1000 A_{DAS} = A_{DAS} \times Q_p \times T_p \times 3600$$

6. Penentuan debit puncak (Q_p) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{R}{3.6 T_p} \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}}$$

Dimana: Q_p = Debit puncak hidrograf satuan sintesis (m^3/s), R = curah hujan satu satuan (1 mm), T_p = waktu puncak (jam), A_{DAS} : luas DAS (km^2), dan A_{HSS} = luas HSS yang tak berdimensi.

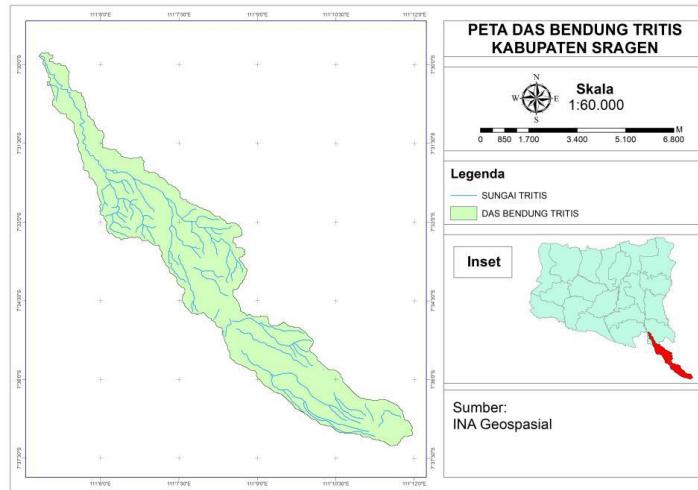
3. METODE PENELITIAN

Bangunan utama Bendung Tritis berlokasi di Desa Sambirejo , Kecamatan Sambirejo , Kabupaten Sragen, lokasi tersebut berjarak ± 14 km. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yaitu data hujan diperoleh dari GPM (*Global Precipitation Mission*) selama 24 tahun (2000-2023) dan data karakteristik Daerah Aliran Sungai Tritis diperoleh dari Konsultan Perencana CV. Majapahit.

Tahapan perhitungan debit banjir rencana bendung Tritis sebagai berikut.

1. Perhitungan data Curah Hujan diolah dengan Giovani Nasa.
2. Penentuan kala ulang perencanaan, berdasarkan Tabel 1 penelitian ini menggunakan kala ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.
3. Uji konsistensi data curah hujan GPM menggunakan maetode RAPS.
4. Pengukuran dispersi statistik meliputi nilai rata-rata, standard deviasi (S_d), koefesien skewness (C_s), koefesien kurtosis (C_k), dan koefesien variasi (C_v).
5. Pemilihan distribusi frekuensi antara lain Distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Person Tipe III.

6. Perhitungan hujan rencana berbagai kala ulang menggunakan metode distribusi frekuensi terpilih.
7. Uji Keselarasan Distribusi menggunakan metode Smirnov-Kolmogorov.
8. Perhitungan hujan efektif
9. Perhitungan distribusi hujan jam-jaman menggunakan metode ABM (*Alternating Block Method*)
10. Perhitungan debit banjir rencana berbagai kala ulang menggunakan metode HSS (hidrograf satuan sintetis) ITB I.



(Sumber: Konsultan Cv. Majapahit [22])

Gambar 1. Peta DAS Tritis Kabupaten Sragen

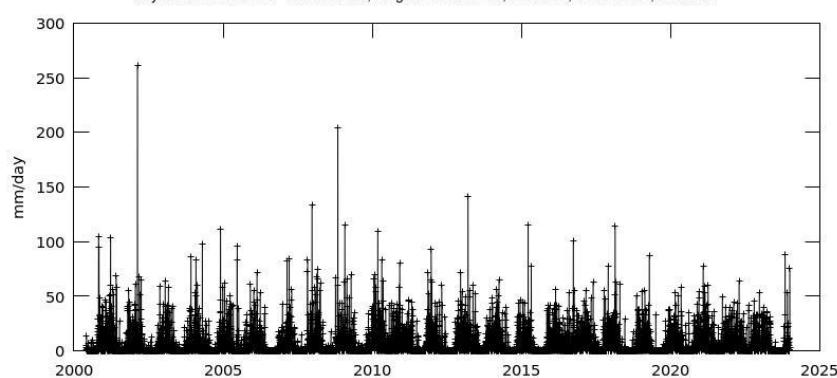
4. PEMBAHASAN

Analisis Data Hujan

Data curah hujan akan dianalisa untuk mendapatkan curah hujan rencana yang merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana. Data curah hujan yang digunakan biasanya diambil dari stasiun hujan terdekat dari lokasi. Namun, karena keterbatasan ketersediaan stasiun pengukur hujan permukaan dan rendahnya aksesibilitas untuk memperoleh data curah hujan, maka diperlukan alternatif lain untuk memperoleh data curah hujan, salah satu alternatifnya yaitu dengan menggunakan data curah hujan satelit GPM (*Global Precipitation Measurement*). Analisis data hujan penelitian ini menggunakan data hujan GPM dengan panjang data dari Januari 2000 sampai dengan Desember 2023 (Kurang lebih 24 tahun).

Berdasarkan data grid yang ditentukan, selanjutnya menggunduh data GPM melalui website Giovanni Nasa (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Time Series, Area-Averaged of Daily mean precipitation rate (combined microwave-IR) estimate - Final Run daily 0.1 deg. [GPM GPM_3IMERGDF v07] mm/day over 2000-06-01 - 2023-12-31, Region 111.0014E, 7.5995S, 111.0989E, 7.4979S



- The user-selected region was defined by 111.0014E, 7.5995S, 111.0989E, 7.4979S. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 111.05E, 7.55S. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Gambar 2. Tampilan data yang sudah siap di unduh dari aplikasi Giovani Nasa

Hasil pengolahan data hujan yang telah di unduh dapat menggunakan miscrosoft excel dapat menggunakan fungsi pivot table atau dengan fungsi – fungsi lainnya. Hasil pengolahan data hujan dengan Microsoft excel adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Curah Hujan Maksimum Tahunan GPM

No	Tahun	Hujan Maksimum (mm)	Jumlah Hujan (mm)	No	Tahun	Hujan Maksimum (mm)	Jumlah Hujan (mm)
1	2000	104,55	998,64	13	2012	71,59	2035,19
2	2001	103,43	2722,70	14	2013	141,61	2478,30
3	2002	261,25	2206,42	15	2014	64,81	2139,09
4	2003	85,88	2053,80	16	2015	115,02	1961,62
5	2004	111,76	2159,47	17	2016	100,55	2797,47
6	2005	96,03	2269,87	18	2017	77,45	2570,69
7	2006	71,88	1829,78	19	2018	114,67	1933,84
8	2007	133,39	2180,38	20	2019	86,82	1856,62
9	2008	204,22	2664,54	21	2020	58,26	2533,37
10	2009	115,05	2038,01	22	2021	78,06	2808,55
11	2010	109,25	3794,75	23	2022	63,78	2688,31
12	2011	92,72	2257,46	24	2023	87,92	1945,05

Berdasarkan hasil analisis statistik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa data hujan GPM Tritis dapat digunakan untuk analisis selanjutnya karena telah memenuhi semua kriteria dari pengujian statistik yang dilakukan.

Karakteristik DAS

Batas dan Luasan DAS merupakan salah satu faktor penting yang digunakan untuk keperluan perhitungan debit banjir rencana dengan menggunakan data curah hujan. Dasar pembuatan DAS adalah peta Rupa Bumi berkontur. Berdasarkan DAS yang dibuat oleh konsultan CV. Majapahit, luasan DAS Tritis dengan tinjauan titik kontrol bendung Tritis memiliki luas 31,15 km² dengan panjang sungai 8,12 km.

Berdasarkan ciri fisik dari DAS yang diteliti serta ketersediaan data, maka serangkaian analisis debit banjir yang dirancang dalam studi ini akan dianalisis berdasarkan sebagai berikut.

1. Penyediaan seri data hujan harian yang cukup satelit GPM yang akan digunakan dalam analisa debit banjir rancangan.
2. Melengkapi, menguji dan mengoreksi data bila diperlukan.
3. Menentukan curah hujan daerah dan memilih nilai terbesar tiap tahunnya.
4. Melakukan analisis distribusi frekuensi dengan menggunakan metode yang sesuai karakteristik data untuk mendapatkan curah hujan rancangan.
5. Menentukan curah hujan netto dan distribusi jam-jamannya.
6. Menganalisa hidrograf satuan.

Analisis Hujan Rencana

Analisis hujan rencana menggunakan perhitungan distribusi frekuensi dengan cara pengukuran dispersi statistik. Hasil pengukuran dispersi pada data curah hujan maksimum yaitu jumlah sebesar 2445,420 mm, rata-rata sebesar 106,323 mm, standar deviasi (Sd) sebesar 45,283 mm, koefesien skewness (Cs) sebesar 2,161, koefesien kurtosis (Ck) sebesar 5,466, dan koefisien variasi (Cv) sebesar 2,348. Perhitungan tersebut selanjutnya digunakan untuk pemilihan uji distribusi frekuensi dan didapatkan hasil yaitu Log Pearson III. Hasil perhitungan hujan rencana dengan metode distribusi frekuensi Log Person III ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hujan Rencana Metode Distribusi Frekuensi Log Pearson III

Kala ulang (tahun)	LogXr (mm)	K	SLogX (mm)	LogXt (mm)	Xt (mm)
5	1,998	0,758	0,152	2,113	129,713
10	1,998	1,340	0,152	2,201	158,995
25	1,998	2,043	0,152	2,308	203,310
50	1,998	2,542	0,152	2,384	242,076
100	1,998	3,022	0,152	2,457	286,324

Berdasarkan Tabel 3. di dapatkan hasil perhitungan hujan rencana metode distribusi frekuensi Log Pearson III kala ulang 5 tahun sebesar 129,713 mm , kala ulang 10 tahun sebesar 158,995 mm, kala ulang 25 tahun sebesar 203,310 mm, kala ulang 50 tahun sebesar 242,076 mm, dan kala ulang 100 tahun sebesar 286,324 mm. Selanjutnya dilakukan pengujian keselarasan distribusi menggunakan metode Smirnov-Kolmogorov dan hasilnya didapatkan distribusi frekuensi Log Pearson III dapat diterima, dengan Dmaks sebesar 0,060 lebih kecil daripada Dkritis sebesar 0,269.

Distribusi Hujan Jam-jaman dan Hujan Efektif

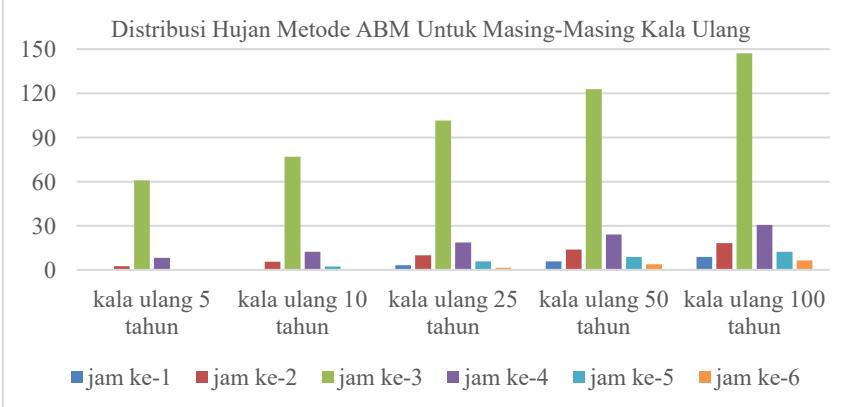
Parameter DAS pada bendung Tritis meliputi beda tinggi hulu-hilir DAS sebesar 73,80 m, panjang sungai utama (L) sebesar 8,12 km, waktu konsentrasi (tc) sebesar 2,03 jam, dan luas DAS (A) sebesar 31,15 km². Distribusi hujan jam-jaman pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Intensitas Hujan Untuk Masing-Masing Kala Ulang

Durasi Hujan (jam)	T = 5 tahun	Intensitas Hujan (mm/jam)	T = 10 tahun	T = 25 tahun	T = 50 tahun	T = 100 tahun
1	44,97	55,12	70,48	83,92	99,26	
2	28,33	34,72	44,40	52,87	62,53	
3	21,62	26,50	33,89	40,35	47,72	
4	17,85	21,87	27,97	33,30	39,39	
5	15,38	18,85	24,11	28,70	33,95	
6	13,62	16,69	21,35	25,42	30,06	

Tabel 5. Distribusi Hujan Metode ABM Untuk Masing-Masing Kala Ulang

Durasi Hujan (jam)	T = 5 tahun	Distribusi Hujan (mm)	T = 10 tahun	T = 25 tahun	T = 50 tahun	T = 100 tahun
1	0,00	0,24	3,23	5,84	8,83	
2	2,53	5,47	9,91	13,80	18,24	
3	60,90	77,01	101,40	122,73	147,08	
4	8,07	12,26	18,59	24,14	30,47	
5	0,00	2,21	5,75	8,85	12,38	
6	0,00	0,00	1,50	3,79	6,40	



Gambar 3. Distribusi Hujan Metode ABM Untuk Masing-Masing Kala Ulang

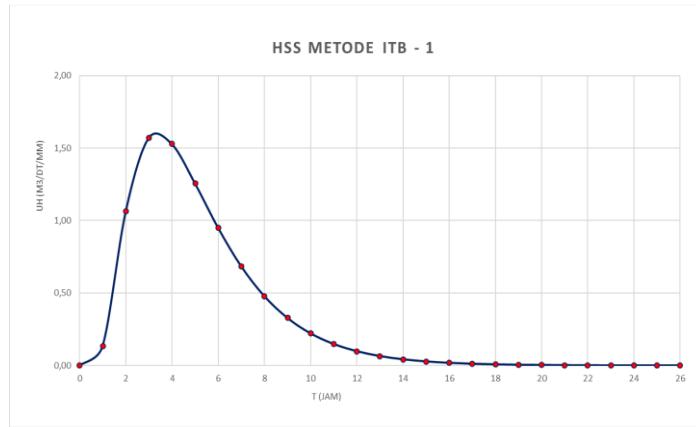
Analisis Banjir Rencana

Analisis banjir rencana bendung Tritis menggunakan metode HSS ITB I untuk mengalihragamkan hujan rencana menjadi debit banjir rencana, tahapannya sebagai berikut.

1. Perhitungan Ordinat HSS ITB I

Parameter yang digunakan dalam perhitungan ordinat HSS ITB I sebagai berikut.

Luas DAS (A)	= 31,15 km ²
Panjang Sungai Utama (L)	= 8,12 km
Tinggi hujan (R)	= 1 mm
Durasi hujan (Tr)	= 1 jam
Koefisien Kalibrasi Waktu (Ct)	= 1,00
Time Lag (TL) = Ct * 0,81225 L ^{0,6} (Standar)	= 2,854 jam
Lama hujan efektif (te) = TL/5,5	= 0,519 jam
Waktu puncak (Tp), karena te < Tr maka TL + 0,5Tr = 3,3538 jam	
Waktu Dasar (Tb) = (8/3) Tp	= 3 jam
Koefisien Puncak (Cp)	= 1,00
Alpha (α)	= 1,50
Qp = (R * ADAS) / (3,6 * Tp * AHSS)	= 1,601 m ³ /s

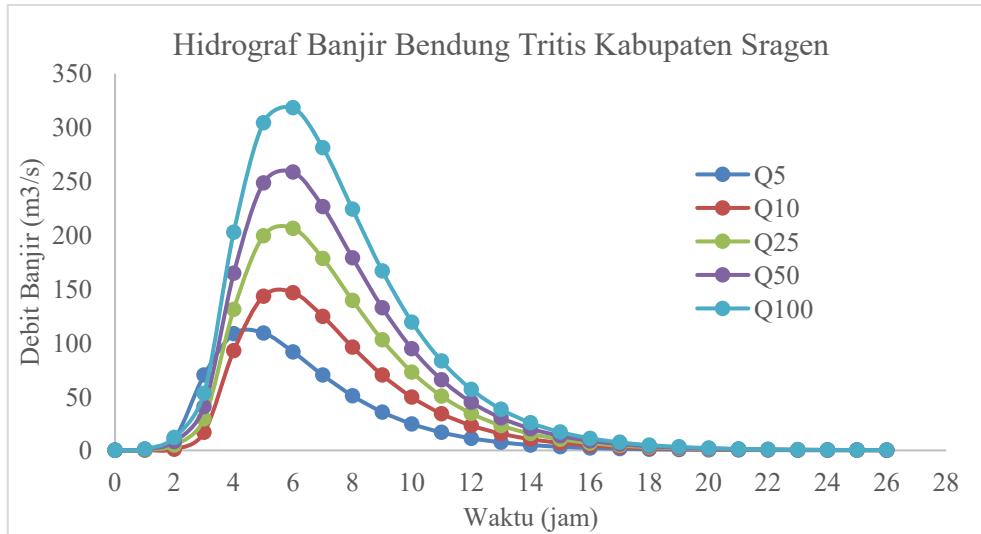


Gambar 4. HSS ITB I

2. Perhitungan aliran dasar (*baseflow*)
Debit aliran dasar menggunakan metode *straight line* sebesar $0,134 \text{ m}^3/\text{s}$.
3. Perhitungan hidrograf banjir rencana untuk masing-masing kala ulang
Hasil perhitungan hidrograf banjir rencana dengan menggunakan metode ITB I pada masing masing kala ulang adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Hidrograf Banjir Rencana Untuk Masing-Masing Kala Ulang

Jam	HS (m^3/s)	BF (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
0	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,134	0,134	0,47	0,17	0,57	0,92	1,32
2	1,063	0,134	11,00	1,12	4,90	8,20	11,97
3	1,572	0,134	69,91	16,67	29,37	40,48	53,16
4	1,528	0,134	108,28	92,58	130,91	164,44	202,71
5	1,257	0,134	109,05	143,14	199,23	248,30	304,31
6	0,950	0,134	91,38	146,53	206,15	258,44	318,12
7	0,685	0,134	69,86	124,47	178,23	226,29	281,15
8	0,479	0,134	50,71	95,94	139,32	178,80	223,86
9	0,328	0,134	35,66	69,99	102,57	132,55	166,77
10	0,222	0,134	24,56	49,36	72,76	94,45	119,20
11	0,149	0,134	16,68	34,06	50,39	65,59	82,95
12	0,099	0,134	11,23	23,16	34,33	44,78	56,69
13	0,065	0,134	7,51	15,58	23,13	30,20	38,27
14	0,043	0,134	5,01	10,42	15,46	20,20	25,60
15	0,028	0,134	3,34	6,93	10,28	13,43	17,02
16	0,018	0,134	2,24	4,61	6,82	8,90	11,27
17	0,012	0,134	1,51	3,07	4,52	5,89	7,45
18	0,008	0,134	1,03	2,05	3,00	3,90	4,92
19	0,005	0,134	0,72	1,38	2,00	2,59	3,26
20	0,003	0,134	0,51	0,95	1,35	1,73	2,17
21	0,002	0,134	0,38	0,66	0,92	1,17	1,45
22	0,001	0,134	0,29	0,48	0,65	0,81	0,99
23	0,001	0,134	0,24	0,36	0,47	0,57	0,69
24	0,001	0,134	0,20	0,28	0,35	0,42	0,49
25	0,000	0,134	0,18	0,23	0,27	0,32	0,37
26	0,000	0,134	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28



Gambar 5. Hidrograf Banjir Rencana DTA Tritis Untuk Masing-Masing Kala Ulang

Hasil analisis debit banjir rencana Bendung Tritis menggunakan metode HSS ITB I pada kala ulang 5 tahun sebesar 109,03 m³/detik, kala ulang 10 tahun sebesar 146,50 m³/detik, kala ulang 25 tahun sebesar 206,12 m³/detik, kala ulang 50 tahun sebesar 258,41 m³/detik, dan kala ulang 100 tahun sebesar 318,09 m³/detik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil analisis statistik pada data hujan GPM Tritis telah memenuhi semua kriteria dari pengujian statistik yang dilakukan (layak).
2. Hasil analisis hujan rencana menggunakan metode distribusi frekuensi Log Pearson III kala ulang 50 tahun sebesar 242,076 mm dan kala ulang 100 tahun sebesar 286,324 mm
3. Hasil analisis debit banjir rencana Bendung Tritis Kabupaten Sragen menggunakan metode HSS ITB I pada kala 50 tahun sebesar 258,41 m³/detik dan kala ulang 100 tahun sebesar 318,09 m³/detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramesti Andalas Sari, *ANALISIS BANJIR TAHUNAN DAS ALANG*. Surakarta: PROGRAM DIPLOMA III TEKNIK SIPIL JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA, 2013.
- [2] V. W. Andiese, "PENGUJIAN METODE HIDROGRAF SATUAN SINTETIK GAMA I DALAM ANALISIS DEBIT BANJIR RANCANGAN DAS BANGGA," *Majalah Ilmiah Mektek*, vol. XIV, no. NO. 1, Jan. 2012.
- [3] Kementerian PU DirJen SDA, *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Bagian Bangunan Utama KP-02*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013.
- [4] Anonim, "Konservasi Daerah Aliran Sungai," <https://konservasidas.fkt.ugm.ac.id/2016/09/10/daerah-aliran-sungai/>.
- [5] A. N. NEGORO and H. PRAMAWAN, "PERENCANAAN TEKNIS EMBUNG SILANDAK SEBAGAI PENGENDALI BANJIR KALI SILANDAK SEMARANG," Semarang, 2008.
- [6] N. Helda *et al.*, "Evaluasi Data Satelit GPM (Global Precipitation Measurement) pada DAS Kemuning di Banjarbaru, Kalimantan Selatan," *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, Apr. 2025, [Online]. Available: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- [7] R. Vernimmen, *Evaluation and Bias Correction of Satellite Rainfall Data For Drought Monitoring in Indonesia. Hydrology and Earth System Sciences*. 2011.
- [8] Kementerian PUPR Dirjen SDA, "Modul 1 Analisis Curah Hujan. Bimbingan Teknik Analisis Debit Banjir Desain Dengan Menggunakan Data Hujan Satelit," Jakarta, Jun. 2022.
- [9] B. Apriliansyah, H. Suprijanto, and M. Taufiq, "PEMODELAN AWAL PERENCANAAN BENDUNG GERAJ KARANGTALUN DENGAN HEC-RAS," Malang, 2014.
- [10] S. Marsudi and R. D. Lufira, *Morfologi Sungai*. Cv. Ae Media Grafika, 2021.

- [11] G. Mahendra, "Analisi Hujan Rencana Tahunan Metode Gumbel," Fakultas Kehutanan UGM. Accessed: Jun. 15, 2025. [Online]. Available: <https://konservasidas.fkt.ugm.ac.id/2020/12/14/analisi-hujan-rencana-tahunan-metode-gumbel/>
- [12] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2010.
- [13] B. Rafikah Zaki, Y. Lilis Handayani, and M. Fauzi, "POLA DISTRIBUSI HUJAN KOTA PEKANBARU BERDASARKAN DATA SATELIT TRMM JAXA," *Jom FTEKNIK*, vol. 5, no. 1, Jun. 2018.
- [14] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2010.
- [15] Indarto, *Dasar Teori Dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: Bumi Aksara, 2010.
- [16] R. Brodie and S. Hostetler, *An overview of tools for assessing groundwater-surface water connectivity*. Canberra: Bureau of Rural Sciences. ross.s.brodie@brs.gov.au, 2007.
- [17] R. K. Linsley, Kohler M.A., Paulhus J.L.H., and Wallace J.S., *Hydrology for engineers*. New York: McGraw Hill, 1958.
- [18] D. F. Welkis, D. Harisuseno, and S. Wahyuni, "Pemodelan Debit dengan Data Curah Hujan dari Rain Gauges dan Data TRMM pada DAS Temef di Pulau Timor - NTT," *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, vol. 2, no. 1, pp. 35–46, Jul. 2022, doi: 10.56860/jtsda.v2i1.30.
- [19] F. D. A.-I. Sembiring, D. Indriana K., and D. J. Winarno, "Analisis Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetik Gama I dan SCS (HEC-HMS) dengan Hidrograf Satuan Terukur di Sungai Way Besai," *JRSDD*, vol. 1, no. 1, pp. 103–112, Mar. 2019.
- [20] D. K. Natakusumah, "ITB Synthetic Unit Hydrograph Method with Exact and Numerical Peak Discharge Factor (Kp) and Normalized Unit Rainfall Duration (Tr)," *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, vol. 30, no. 1, pp. 144–156, Sep. 2024, doi: 10.14710/mkts.v30i1.55820.
- [21] D. S. Krisnayanti, K. V. D. Ihut, and T. M. W. Sir, "Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS ITB-1, HSS ITB-2 dan HSS Gama-1 pada DAS Temef," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, Apr. 2021.
- [22] CV Majapahit, "Diskusi Antara Rehabilitasi Bendung Tritis Kabupaten Sragen," Sragen, 2023.

ANALISIS HUBUNGAN JUMLAH KECELAKAAN TERHADAP TINGKAT FATALITAS LALU LINTAS DI RUAS JALAN SUDIRMAN KOTA MAUMERE

*Alfrendo Satriawan Kabupung¹, Jimmy Chandra², Yohanes Gualbertus G. Lesu Duran³

^{1,2}Program Studi Profesi insinyur,Universitas Atma Jaya, Jakarta

³teknik, Nusa Nipa, Maumere

*) Email: alfrenddo@gmail.com

ABSTRACT

Traffic accidents remain a major issue affecting public safety worldwide. This study aims to analyze the relationship between the number of traffic accidents and the level of fatality on Sudirman Road in Maumere City. The research uses secondary data from the Sikka District Police covering the period 2019–2023, along with primary data from traffic volume surveys conducted in the study area. The analytical methods used include simple linear regression and correlation to determine the strength and direction of the relationship between the variables. The results show a fairly strong positive linear relationship between the number of accidents and the level of fatality, with a coefficient of determination (R^2) of 0.6722. This means that approximately 67.22% of the variation in fatality levels can be explained by changes in the number of accidents. These findings indicate that an increase in the number of accidents is likely to be followed by a higher fatality rate. This research is expected to serve as a reference for improving traffic safety measures in urban areas.

Keyword: traffic_accidents, fatality_rate, linear_regression, Jalan_Sudirman

ABSTRAK

Kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu permasalahan serius yang berdampak besar terhadap keselamatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara jumlah kecelakaan dan tingkat fatalitas kecelakaan lalu lintas di ruas Jalan Sudirman, Kota Maumere. Data yang digunakan meliputi data sekunder kecelakaan dari Kepolisian Resor Kabupaten Sikka tahun 2019–2023, serta data primer berupa volume lalu lintas dari hasil survei lapangan. Metode analisis yang digunakan adalah analisis regresi linier sederhana dan korelasi untuk mengetahui kekuatan dan arah hubungan antar variabel. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif linear yang cukup kuat antara jumlah kecelakaan dan tingkat fatalitas, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6722. Artinya, sekitar 67,22% variasi tingkat fatalitas dapat dijelaskan oleh perubahan jumlah kecelakaan. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kecelakaan secara signifikan berkontribusi terhadap peningkatan risiko fatalitas di lokasi penelitian. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam perencanaan dan pengendalian keselamatan lalu lintas di wilayah perkotaan.

Kata kunci: kecelakaan_lalu_lintas, tingkat_fatalitas, regresi_linier, Jalan_Sudirman

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas merupakan persoalan serius yang dihadapi banyak negara, termasuk Indonesia. Menurut World Health Organization (WHO), kecelakaan lalu lintas menempati urutan ketiga sebagai penyebab kematian tertinggi di dunia, melebihi HIV dan malaria, dengan estimasi korban mencapai 1,19 juta jiwa setiap tahun [1]. Di Indonesia, Undang-Undang No. 22 Tahun 2009 menyebutkan bahwa kecelakaan lalu lintas adalah peristiwa yang tidak terduga dan tidak disengaja, yang melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pengguna jalan lainnya, dan mengakibatkan korban jiwa atau kerugian materi [2]. Jalan Sudirman di Kota Maumere merupakan salah satu ruas jalan utama yang memiliki fungsi sebagai penghubung antarwilayah, serta sebagai akses utama ke area pusat kota, perkantoran, dan pertokoan. Tingginya aktivitas lalu lintas di ruas ini menjadikan Jalan Sudirman sebagai lokasi yang rawan kecelakaan. Berdasarkan data Kepolisian Resor Kabupaten Sikka, jumlah kecelakaan di ruas ini cenderung menurun dari tahun ke tahun: 93 kasus (2019), 69 kasus (2020), 67 kasus (2021), 64 kasus (2022), dan 57 kasus (2023), namun potensi fatalitas tetap signifikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara jumlah kecelakaan dan tingkat fatalitas kecelakaan lalu lintas di Jalan Sudirman, Kota Maumere, dengan menggunakan metode analisis regresi dan korelasi serta berdasarkan pendekatan dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023) [3].

Kecelakaan Lalu Lintas

Menurut UU No. 22 Tahun 2009, kecelakaan lalu lintas adalah kejadian tidak terduga di jalan yang menyebabkan kerugian atau korban jiwa. Berdasarkan National Highway Traffic Safety Administration Kecelakaan diklasifikasikan berdasarkan korban (fatal, serious injury, minor injury, possible, no injury), posisi tabrakan (rear-end, head-on, angle), dan cara terjadinya (single-vehicle/crash off road, collision/noncollision types) [4].

Karakteristik Kecelakaan

Analisis dilakukan dengan pendekatan 5W + 1H (What, When, Where, Who, Why, How) [5], mencakup tipe tabrakan, waktu dan lokasi kejadian, pengguna jalan yang terlibat, penyebab, serta jenis pergerakan kendaraan.

Tingkat Fatalitas Kecelakaan

Tingkat kecelakaan didasarkan pada: populasi, kendaraan, dan kendaraan-mil. Kecelakaan per 100.000 orang per tahun, per 10.000 kendaraan atau per 100.000.000 kendaraan-km juga umum digunakan. Perhitungan tingkat kecelakaan pada ruas jalan dapat diketahui melalui angka kecelakaan 100 juta kendaraan/km (Indriastuti, et, al, 2011) [6].

Volume Lalu Lintas

Menurut PKJI (2023), volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan per titik lokasi dalam satuan waktu. Dalam penelitian ini jenis volume yang digunakan adalah volume jam puncak selama satu jam pada saat terjadi arus lalu lintas yang terbesar dalam satu hari kemudian dikonversi ke satuan mobil penumpang (SMP) menggunakan nilai ekivalensi kendaraan.

Analisis Korelasi Dan Regresi

Untuk mengetahui hubungan antara jumlah kecelakaan dan tingkat kecelakaan dalam penelitian ini menggunakan analisa korelasi dan regresi.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis data primer dan sekunder. Tujuan utama adalah mengidentifikasi jumlah kecelakaan dan hubungannya dengan tingkat fatalitas di Ruas Jalan Sudirman, Kabupaten Sikka. Metode penelitian ini mencakup tahapan: identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, serta penyusunan kesimpulan dan rekomendasi.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di ruas Jalan Sudirman, Kota Maumere, Kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Ruas jalan ini memiliki panjang 1,70 km dan merupakan jalan dengan tipe 2/2 tak terbagi (TT), serta dikategorikan sebagai salah satu lokasi rawan kecelakaan.

Pengumpulan Data

• Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil survei lalu lintas di lapangan, yaitu volume kendaraan pada jam puncak. Klasifikasi kendaraan yang diamati terdiri dari MC (*Motorcycle*) atau sepeda motor dan LV (*Light Vehicle*) atau kendaraan ringan. Survei dilakukan selama tiga hari berturut-turut dengan tiga rentang waktu untuk mengetahui volume lalu lintas jam puncak.

• Data Sekunder

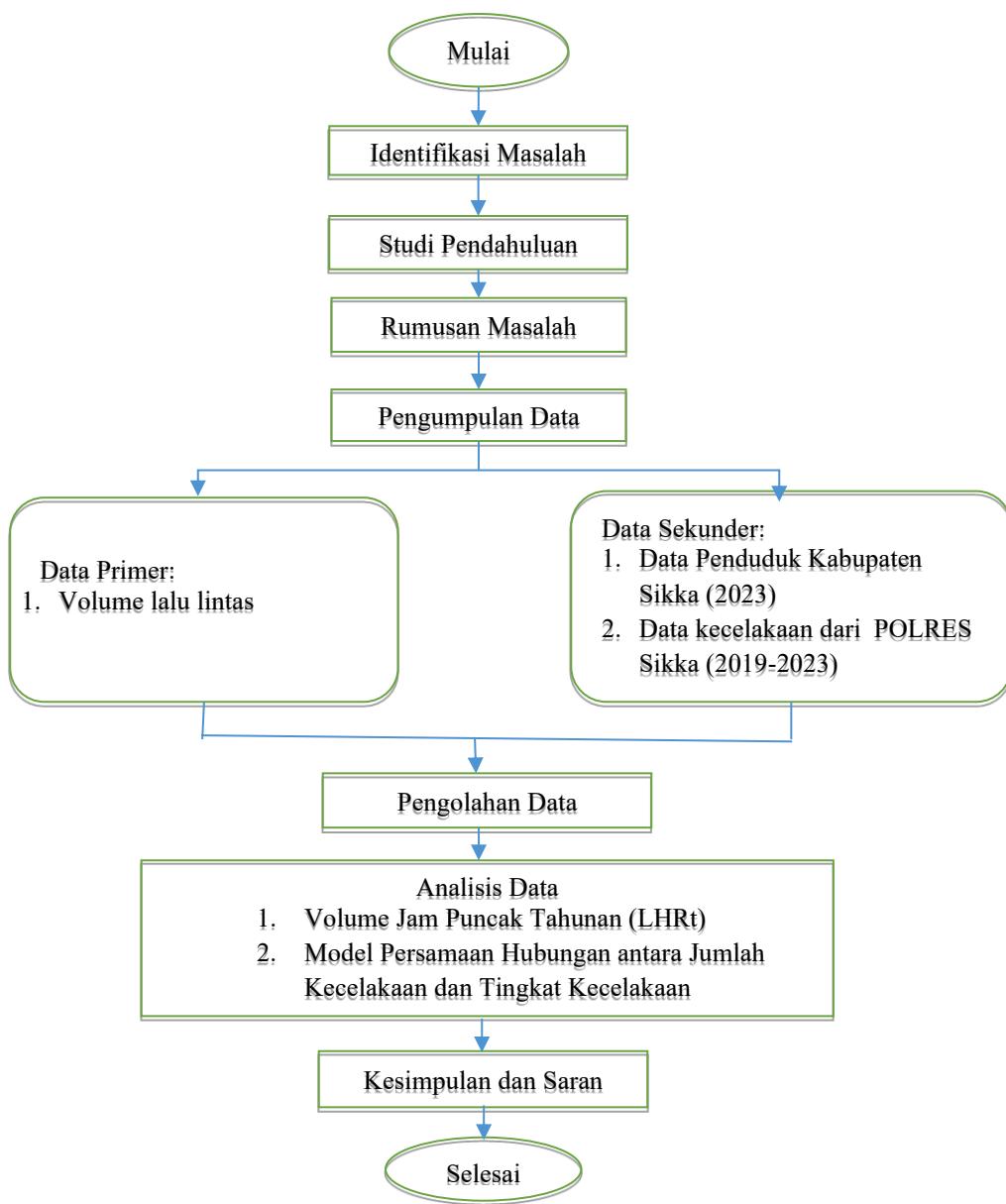
Data sekunder diperoleh dari Kepolisian Resor Kabupaten Sikka dan mencakup Jumlah kecelakaan lalu lintas selama lima tahun (2019–2023) dan Data kependudukan (opsional sebagai penguat demografi wilayah).

Pengolahan Data

Data kecelakaan diklasifikasikan menggunakan pendekatan 5W + 1H :

- *What* : Tipe kecelakaan (tabrakan, benturan, dll.).
- *When* : Waktu kejadian (bulan, jam, musim).
- *Where* : Titik lokasi kecelakaan di Ruas Jalan Sudirman.
- *Who* : Keterlibatan pengguna jalan (pengemudi, pejalan kaki, dll.).
- *Why* : Penyebab utama kecelakaan (kesalahan manusia, kondisi jalan, cuaca).
- *How* : Pergerakan kendaraan saat kejadian.

Namun karena keterbatasan data, klasifikasi dalam penelitian ini difokuskan pada analisis tren jumlah kecelakaan selama lima tahun.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Analisis Data

- Analisis Karakteristik Kecelakaan

Analisis dilakukan berdasarkan jumlah kecelakaan tahunan untuk menghitung nilai tingkat kecelakaan (Tk) dan tingkat fatalitas (Tf), dengan persamaan sebagai berikut:

$$Tk = \frac{Fk \times 100.000.000}{LHRt \times n \times L \times 365} \quad (1)$$

$$Tf = \frac{\text{Jumlah kejadian} \times 10^8}{LHRt \times n \times L \times 365} \quad (2)$$

dengan Tk = Tingkat kecelakaan, Tf = tingkat fatalitas, Fk = Frekuensi kecelakaan di ruas jalan, n = Tahun data, L = Panjang jalan, LHRt = volume jam puncak tahunan.

- Analisis Hubungan Jumlah Kecelakaan dengan Tingkat Fatalitas

Hubungan antara jumlah kecelakaan dan tingkat fatalitas dianalisis menggunakan Uji Korelasi untuk mengetahui kekuatan hubungan antar variabel. Dan Regresi Linier Sederhana untuk mengetahui pengaruh dan model persamaan matematis hubungan tersebut.

Nilai korelasi jumlah kecelakaan (x) dan tingkat fatalitas (y) dapat diperoleh dari persamaan :

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (3)$$

dengan r = korelasi, n = jumlah subjek, x = angka pada variabel bebas, y = angka pada variabel terkait.

Nilai regresi dapat diperoleh dari persamaan :

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (5)$$

$$y = a + b \cdot x \quad (6)$$

dengan a = konstanta regresi, b = koefisien regresi, n = jumlah subjek, x angka pada variabel bebas, y = angka pada variabel terkait.

Validasi dan Limitasi Data

Validasi data dilakukan melalui cross-check dengan sumber sekunder (Polres Sikka) dengan keterbatasan data penelitian meliputi :

- Data kecelakaan yang tidak terperinci (hanya jumlah total, tanpa informasi penyebab yang lebih spesifik),
- Ketergantungan pada data historis yang mungkin tidak mencakup faktor lingkungan yang dinamis (misalnya perubahan cuaca dan infrastruktur).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ruas Jalan Sudirman di Kota Maumere termasuk jalan kolektor primer tipe 2/2 tak terbagi (TT), dengan panjang segmen yang diamati sepanjang 1.700 meter. Jalan ini merupakan jalur utama yang menghubungkan pusat kegiatan masyarakat, termasuk kantor, sekolah, dan pusat perdagangan, sehingga intensitas lalu lintasnya tinggi dan rawan kecelakaan.

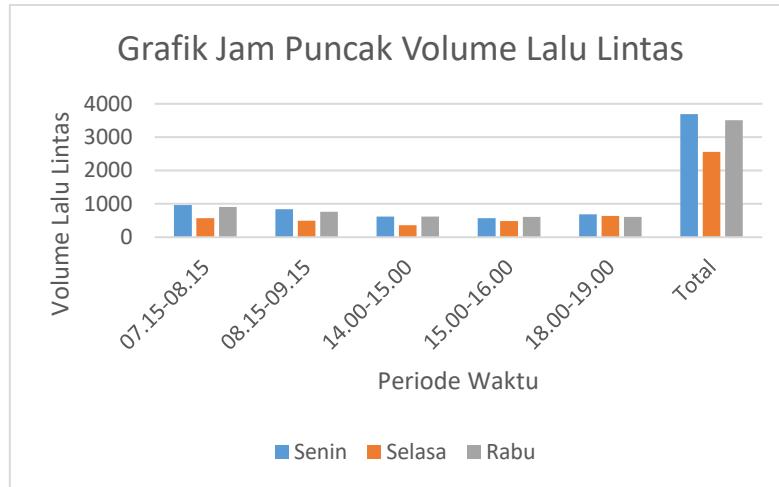
Data Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas dihitung berdasarkan survei selama tiga hari (25–27 November 2024) pada tiga rentang waktu (07.15–09.15, 14.00–16.00, 18.00–20.00). Data dikonversi ke satuan mobil penumpang (SMP) menggunakan nilai ekivalen:

- Kendaraan ringan (LV) = 1 SMP
- Sepeda motor (MC) = 0,25 SMP

Tabel.1 Data Jam Puncak Volume Lalu Lintas di Ruas Jalan Surdirman / 60 Menit Kedua Arah (Senin, Selasa, dan Rabu)

Periode	Senin	Hari Selasa	Rabu
07.15-08.15	965,75	575,5	905
08.15-09.15	844,5	496,25	766,25
14.00-15.00	619,75	358,75	615
15.00-16.00	571,75	482,75	607
18.00-19.00	686,25	642	611,75
Jumlah	3688	2555,25	3505



Gambar 1. Grafik jam puncak volume lalu lintas

Berdasarkan hasil survei, volume lalu lintas tertinggi terjadi pada hari Senin (25 November 2024) sebesar 3.688 SMP/jam. Jumlah volume jam puncak tahunan (LHRt) digunakan dalam perhitungan tingkat fatalitas kecelakaan.

Data Kecelakaan

Data kecelakaan diperoleh dari Kepolisian Resor Kabupaten Sikka (2019–2023) [6]. Karena tidak tersedia data khusus ruas Jalan Sudirman, maka digunakan pendekatan estimasi dari wawancara sebesar 30% dari total kecelakaan Kabupaten Sikka per tahun. Jumlah kecelakaan di ruas Jalan Sudirman selama lima tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Data Selra Kasus Laka Res Sikka Tahun 2019-2023

No	Tahun	Jumlah Laka	30%	Korban			
				MD	LB	LR	Material (Rp)
1	2019	93	28	46	6	135	141.850.000
2	2020	45	14	30	10	96	70.000.000
3	2021	66	20	30	7	97	171.600.000
4	2022	61	18	39	17	77	164.450.000
5	2023	69	21	37	59	70	76.750.000

Sumber: Polres Unit Laka Lantas Kabupaten Sikka, 2025

Tingkat Fatalitas Kecelakaan Lalu Lintas

Dengan menggunakan rumus tingkat fatalitas (Tf) (100JPKP), maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Data Jumlah Kecelakaan dan Tingkat Fatalitas

Tahun	Jumlah Kecelakaan (x)	Tingkat Fatalitas (y)
2019	28	20,1
2020	14	13,11
2021	20	13,11
2022	18	17,04
2023	21	16,17
Jumlah	100	79,53

Analisis Korelasi dan Regresi

Tabel 4. Penolong Perhitungan Korelasi dan Regresi

Tahun	x	y	xy	x ²	y ²
2019	28	20,1	560,79	778	404,01
2020	14	13,11	176,985	182	171,8721
2021	20	13,11	259,578	392	171,8721
2022	18	17,04	311,832	334,89	290,3616
2023	21	16,17	334,719	428,49	261,4689
Jumlah	100	79,53	1643,9	2116,08	1299,585

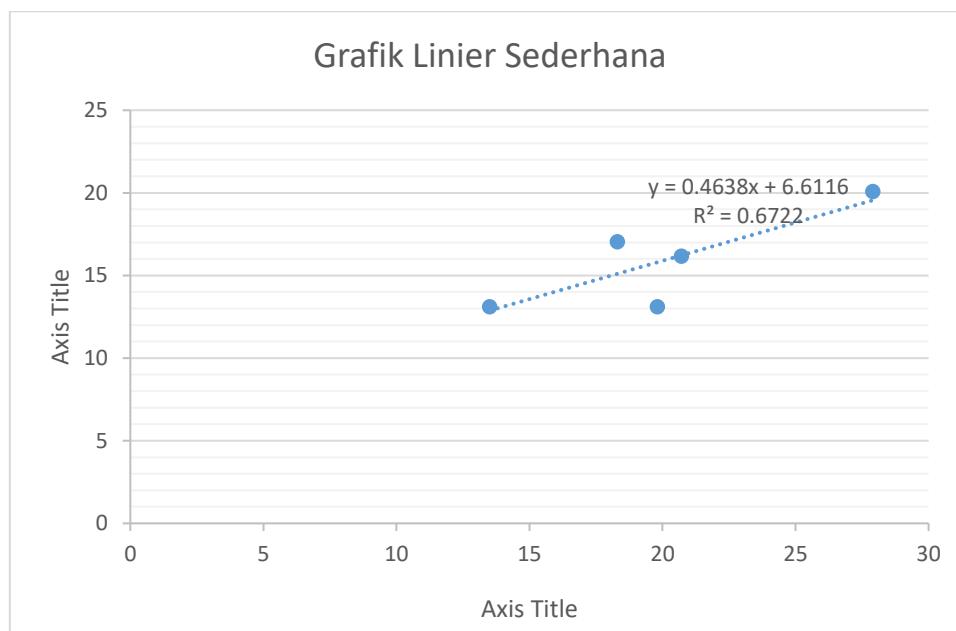
- Korelasi

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \\
 &= \frac{(5.2982,779) - ((100)(79,53))}{\sqrt{5(2116,08) - (100)^2} \sqrt{5(1299,5847) - (79,53)^2}} \\
 r^2 &= 0,672
 \end{aligned}$$

- Regresi Linier Sederhana

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \\
 &= \frac{(79,53)(2116,08) - (100)(1643,9)}{5.2116,08 - (100)^2} \\
 &= 6,611 \\
 b &= \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \\
 &= \frac{5 \times 1643,9 - (373,80)(39,44)}{5 \times 28148,382 - (373,80)^2} \\
 &= 0,463
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= a + bx \\
 y &= 6,611 + 0,463x
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Grafik Linier Sederhana

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif linier antara jumlah kecelakaan dan tingkat fatalitas di ruas Jalan Sudirman. Artinya, semakin banyak jumlah kecelakaan, semakin tinggi tingkat fatalitas. Hubungan ini cukup kuat dengan nilai R^2 sebesar 0,6722, yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kecelakaan cenderung diikuti oleh peningkatan tingkat fatalitas, hal ini menuntut perhatian terhadap keselamatan jalan, pengawasan kecepatan, dan peningkatan kesadaran pengemudi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan di ruas Jalan Sudirman dan pengolahan data primer maupun sekunder, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak Satlantas Kepolisian Resor Sikka diperoleh 3 faktor yang mempengaruhi hubungan kecepatan dengan kecelakaan lalu lintas di ruas Jalan Sudirman yaitu kebiasaan pengendara mengendarai kendaraan dengan kecepatan tinggi (ngebut), kelalaian pengendara dalam mengendarai kendaraan, dan pengendara mengendarai kendaraan dalam posisi mabuk minuman keras.
- Hasil pengolahan data umum kecelakaan lalu lintas di Kabupaten Sikka yang diperoleh dari Kapolres Sikka didapatkan nilai tingkat kecelakaan dan tingkat fatalitas di ruas Jalan Sudirman yaitu: tingkat kecelakaan tahun

2019 sebesar 12,23 kejadian kecelakaan (100JPKP), tahun 2020 sebesar 6,12 kejadian kecelakaan (100JPKP), tahun 2021 sebesar 8,74 kejadian kecelakaan (100JPKP), tahun 2022 sebesar 7,87 kejadian kecelakaan (100JPKP), tahun 2023 sebesar 9,18 kejadian kecelakaan (100JPKP), dan didapatkan juga nilai tingkat fatalitas tahun 2019 sebesar 20,10 kematian (100JPKP), tahun 2020 sebesar 13,11 kematian (100JPKP), tahun 2021 sebesar 13,11 kematian (100JPKP), tahun 2022 sebesar 17,04 kematian (100JPKP), tahun 2023 sebesar 16,17 kematian (100JPKP), jadi semakin tinggi jumlah kecelakaan semakin tinggi pula tingkat kecelakaan dan tingkat fatalitas.

- Dari Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif linier antara jumlah kecelakaan dan tingkat fatalitas di ruas Jalan Sudirman yang dibuktikan dengan nilai Uji Korelasi. Artinya, semakin banyak Jumlah kecelakaan, semakin tinggi tingkat fatalitas. Hubungan ini cukup kuat dengan nilai R^2 sebesar 0,6722, yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kecelakaan cenderung diikuti oleh peningkatan tingkat fatalitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. *World Health Organization (WHO)* 2023 “Road traffic injuries: Key facts.” <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. Diakses 17 November 2024
- [2]. Undang-undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Jakarta, 22 Juni 2009.
- [3]. PKJI (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia), 2023, “*Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan*”, Departemen Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [4]. *National Highway Traffic Safety Administration*, 2017. *Manual on Classification of Motor Vehicle Traffic Crashes: American National Standard ANSI D.16–2017*. Washington, DC: NHTSA.
- [5]. Sari, R. R., Budiarsi, K., & Maulana, M. S. (2018). Karakteristik kecelakaan jalan Soekarno Hatta Kota Bandung dengan pendekatan “5W+1H”. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, 20(2).
- [6]. Indriastuti, A. K., Fauziah, Y., & Priyanto, E. (2011). Karakteristik kecelakaan dan audit keselamatan jalan pada ruas Ahmad Yani Surabaya. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5 (1). Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- [7]. Kepolisian Resor Sikka, 2024, “*Jumlah Kecelakaan Lalu Lintas Di Kota Maumere Tahun 2019 Sampai Tahun 2023*”, Maumere, Kabupaten Sikka, NTT.

ANALISIS KERAPUHAN STRUKTUR GEDUNG GSL UNMER MADIUN DENGAN PUSHOVER ANALYSIS

***Rosyid Kholilur Rohman¹, Arif Afrianto², Rendi Gusta Wibowo³**

^{1, 2,3} Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Madiun, Kota Madiun

*) Email: rosyid@unmer-madiun.ac.id

ABSTRACT

This study examines the fragility curve of the GSL building of Merdeka University of Madiun which was built around 1995 with reference to the SNI 1726:1989 standard. This building is an educational building with a structure using reinforced concrete. Modeling and structural analysis using ETABS software. Loading refers to SNI 1727 2020 and SNI 1726 2019. The analysis was carried out using the pushover analysis method referring to ATC-40. The fragility curve developed describes the probability of damage at various levels of Spectral Displacement (S_d). From this study, the base shear due to earthquake force was 4214 kN. The maximum value of base shear was 7890 kN and the maximum displacement of 0.359 m. Based on the conversion results obtained S_d at performance point 0.082 m, the probability for slight damage limits is 95%, moderate 78%, extensive 70%, and complete 45%. This research provides a basis for structural retrofit planning to increase the structural capacity of buildings due to earthquake load.

Keyword: fragility curve, pushover analysis, earthquake load, SRPMK, building structure

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji kurva kerapuhan Gedung GSL Universitas Merdeka Madiun yang dibangun sekitar tahun 1995 dengan mengacu pada standar SNI 1726:1989. Gedung ini merupakan bangunan pendidikan dengan struktur menggunakan beton bertulang. Pemodelan dan analisis struktur menggunakan software ETABS. Pembebaan mengacu SNI 1727 2020 dan SNI 1726 2019. Analisis dilakukan menggunakan metode *pushover analysis* mengacu ATC-40. Kurva kerapuhan yang dikembangkan menggambarkan probabilitas terjadinya kerusakan pada berbagai tingkat *Spectral Displacement (S_d)*. Dari penelitian ini didapatkan base shear akibat gempa sebesar 4214 kN. Nilai maksimum gaya geser dasar sebesar 7890 kN dan displacement maksimumnya sebesar 0.359 m. Berdasar hasil konversi didapat S_d pada *performance point* 0.082 m maka diperoleh probabilitas untuk batas kerusakan *slight* 95%, *moderate* 78%, *extensive* 70%, dan *complete* sebesar 45%. Penelitian ini memberikan dasar untuk perencanaan *retrofit* struktur guna meningkatkan kapasitas struktur gedung akibat beban gempa.

Kata kunci: kurva kerapuhan, analisis *pushover*, beban gempa, SRPMK, struktur gedung

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik aktif. Ketiga lempeng tektonik tersebut yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Eurasia [1]. Posisi geografis ini menyebabkan wilayah Indonesia, termasuk Kota Madiun di Provinsi Jawa Timur, memiliki risiko tinggi terhadap bencana gempa bumi. Berdasarkan SNI 1726:2019, wilayah Madiun dan sekitarnya tergolong sebagai wilayah dengan risiko gempa sedang hingga tinggi [2].

Gedung Graha Samiarto Laksono (GSL) Unmer Madiun adalah salah satu gedung pendidikan yang dibangun sekitar tahun 1995. Gedung ini terletak di Jl. Serayu 79 Kota Madiun. GSL dirancang dengan mengacu pada standar teknis SNI 1726:1989 yang mengatur ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung di Indonesia. Gedung ini difungsikan untuk ruang kelas dan kantor. Sistem struktur menggunakan SRPMK. Dengan lokasi di wilayah Madiun yang memiliki potensi gempa menengah, ketahanan struktur terhadap beban gempa menjadi aspek krusial untuk menjamin keselamatan penghuni dan keberlanjutan fungsi bangunan selama umur layannya.

Pada saat pembangunan, desain struktur mengikuti SNI yang berlaku pada saat itu yaitu SNI 1726:1989. Dalam perkembangannya di Indonesia berlaku SNI 1726 2002 dan diperbarui dengan SNI 1726 2012. Pada tahun 2019 BSN menetapkan SNI 1726 2019 yang merujuk ASCE 7-16 [3]. Perkembangan standar gempa tersebut menuntut evaluasi ulang ketahanan bangunan lama dengan mengacu standar yang berlaku saat ini. Salah satu metode yang efektif untuk menilai performa struktur terhadap gempa adalah pengembangan kurva kerapuhan (*fragility curve*) [4], [5]. Kurva ini merepresentasikan hubungan probabilitas terjadinya kerusakan tingkat tertentu dengan parameter intensitas gempa [6].

Penelitian tentang Analisa kerapuhan struktur gedung telah dilakukan terhadap salah satu gedung 7 lantai di Makassar. Hasil penelitian menunjukkan kemungkinan struktur bangunan akan mengalami mencapai level kinerja *immediate occupancy (IO)* sebesar 4,02% (untuk arah x) dan 79,22% (untuk arah y) dengan pertimbangan percepatan tanah maksimum [7]. Penelitian lainnya dilakukan oleh Narwastu dkk dengan obyek Gedung Dinas Pertanian Kabupaten Pacitan. Hasil penelitian menunjukkan kurva kerapuhan dapat digunakan untuk memperkirakan probabilitas terjadinya kerusakan akibat gempa baik pada kategori ringan, sedang, *ekstensif*, dan

berat [3]. Penelitian lain terkait kurva kerapuhan menunjukkan efektifitas penggunaan kurva kerapuhan untuk menghitung probabilitas kerusakan bangunan gedung akibat gempa [8]–[12]. Kurva kerapuhan juga dapat digunakan pada struktur eksisting jembatan [13], [14].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan kurva kerapuhan pada gedung GSL Unmer Madiun dengan pendekatan simulasi numerik menggunakan metode *pushover analysis* dengan program bantu software analisis struktur ETABS. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengelola gedung dalam mitigasi risiko, perencanaan retrofit, dan pengambilan keputusan terkait pengelolaan gedung agar dapat lebih tahan terhadap gaya gempa.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif. Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 . Melakukan pengumpulan data, baik data primer maupun sekunder. Data primer berupa pengukuran di lapangan terhadap komponen struktur, survei terkait arsitektur bangunan, dan pengujian kuat tekan beton dengan *hammer test*.
- 2 . Menentukan metode yang digunakan yaitu *static non-linear pushover*.
- 3 . Membuat model struktur bangunan eksisting menggunakan software ETABS.
- 4 . Melakukan analisis struktur dengan input beban sesuai SNI yang berlaku. Analisis beban gravitasi merujuk SNI 1727 2020 [15] dan analisis beban gempa merujuk SNI 1726 2019 [3].
- 5 . Menentukan properti material yang digunakan, dan menentukan dimensi komponen struktur.
- 6 . Memasukkan beban-beban yang bekerja pada model struktur.
- 7 . Melakukan analisis static pushover dengan memanfaatkan *tool* yang disediakan ETABS. Langkah analisis didahului dengan penentuan sendi plastis pada balok dan kolom. Selanjutnya dilakukan pendefinisian static non-linear case dengan memasukan beban gempa [16].
- 8 . Menentukan batasan kurva kerapuhan menggunakan metode HAZUS ® MH MR4 [17].
- 9 . Membuat kurva kerapuhan dan merumuskan kesimpulan

Pemodelan Struktur

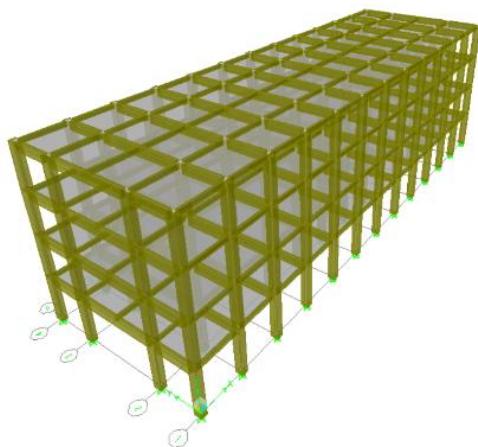
Obyek penelitian ini adalah gedung GSL yang fungsi utamanya sebagai kantor dan ruang kelas. Bangunan GSL merupakan bangunan 4 lantai dengan tinggi bangunan total 16,5 m. Lantai 1 memiliki tinggi 4,5 m, sedangkan lantai lainnya memiliki tinggi 4 meter. Bangunan GSL memiliki panjang 48 m, sedangkan lebarnya 16 meter. Jarak antar kolom pada arah x 4 m dan pada arah y memiliki bentang maksimum 8 m. Dimensi kolom eksisting K1 500x700. Balok terdiri dari 3 tipe yang diberi kode B1 (400×800 mm), B2 (300×600 mm), dan B3 (200×400 mm). Pada struktur gedung ini pelat lantai eksisting memiliki ketebalan 120 mm.

Konstruksi gedung menggunakan struktur beton bertulang dengan SRPMK. Pemodelan struktur eksisting bentuk portal 3 dimensi menggunakan program ETABS. Dalam analisis juga dilakukan analisis *static non-linear pushover*. Model struktur 3D diperlihatkan seperti pada Gambar 2, dan tipikal *floor plan* lantai 1 sampai 4 ditampilkan pada Gambar 3.

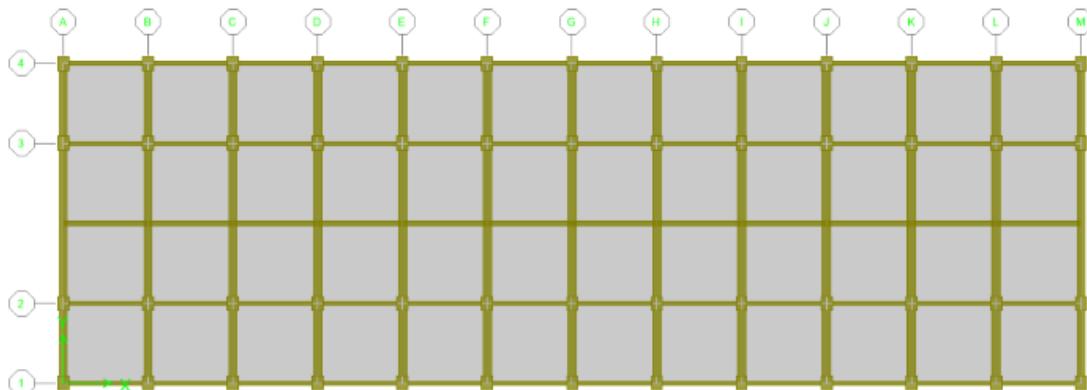
Properti Material

Properti material yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| - Mutu beton | = 25 MPa |
| - Berat per unit volume beton | = 24 KN/m ³ |
| - Modulus elastisitas beton | = 23500 MPa |
| - Mutu baja tulangan longitudinal | = 400 MPa |
| - Mutu baja tulangan geser | = 280 MPa |
| - Modulus elastisitas baja Es | = 2.10 ⁵ MPa |



Gambar 1. Model 3D struktur gedung



Gambar 2. Model tipikal *floor plan*

Analisis Pembebanan

Analisis beban mati dan hidup mengacu SNI 1727:2020. Berat sendiri balok, kolom dan plat dihitung otomatis oleh software ETABS. Beban mati tambahan (SIDL) pada pelat lantai sebesar 1.5 kN/m^2 , sedang SIDL pada pelat atap sebesar 1.0 kN/m^2 . Berat sendiri dinding 10 KN/m . Beban hidup untuk masing-masing ruang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Beban hidup masing-masing ruang

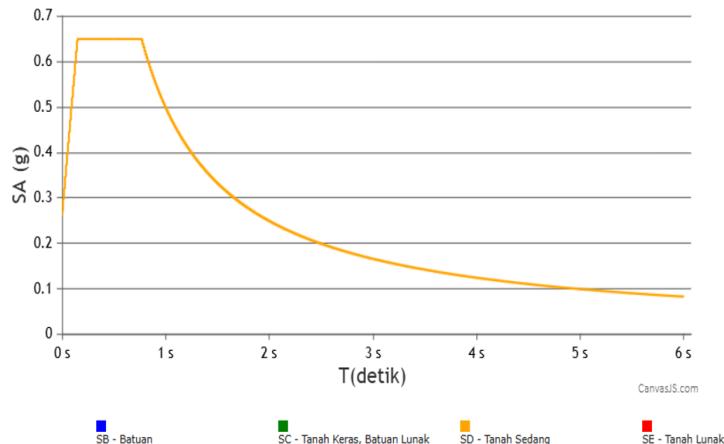
Ruang	Beban (KN/m^2)
Kelas	1,92
Kantor	2,40
Lobby	4,79
Rapat	4,79
Koridor	4,79

Berdasarkan [3], mengenai beban gempa, kategori risiko bangunan pendidikan termasuk dalam kategori IV, dengan faktor kepentingan seismik sebesar 1,5. Klasifikasi tanah berdasarkan data SPT adalah tanah sedang. *Spectrum response design* ditunjukkan pada Gambar 3. Analisis beban gempa dihitung berdasarkan respon spektra dari laman website rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021 sesuai koordinat lokasi bangunan $-7.616667, 111.533333$ dan diperoleh nilai:

- $S_s = 0,8159$
- $S_1 = 0,3801$
- $F_a = 1,177$
- $F_v = 1,539$
- $S_{ds} = 0,64$
- $S_{d1} = 0,49$

- Periode Panjang = 12 detik

Dari data di atas dapat diperoleh koefisien respon seismik $C_s = 0,12$. Jika berat total bangunan sebesar $W = 35116$ KN, maka akan diperoleh gaya geser dasar akibat beban gempa, $V = C_s \cdot W = 4214$ KN. Selanjutnya dibuat kombinasi beban dengan 18 kombinasi beban berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 1726:2019.

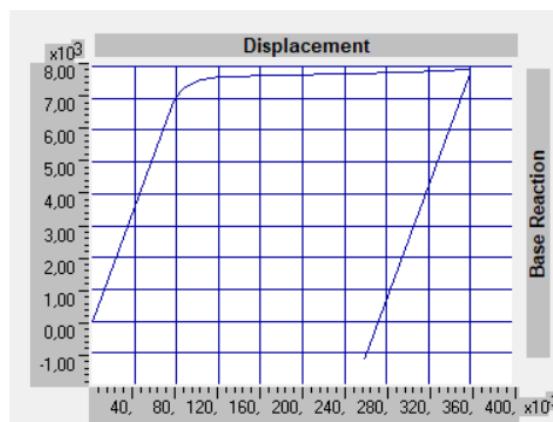


Gambar 3. Spectrum Response Design

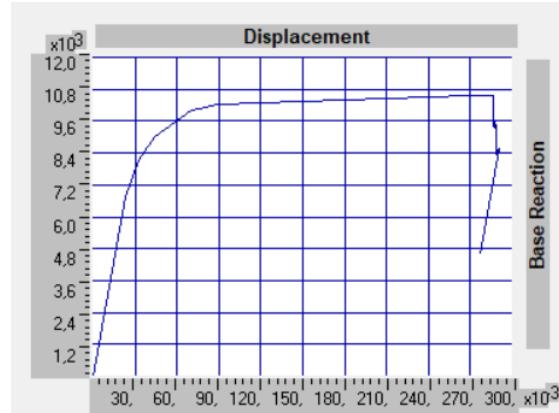
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Kapasitas

Analisa beban dorong (*pushover analysis*) adalah analisa beban dorong dengan beban statik yang bersifat non-linier yang bekerja pada gedung secara bertahap hingga struktur mencapai batas plastis dan beban terus ditingkatkan hingga gedung tersebut mengalami keruntuhan. Dari analisis *pushover* akan diperoleh kurva kapasitas yang menunjukkan kemampuan struktur untuk menahan gaya horizontal akibat beban seismik. Kinerja struktur untuk setiap pendekatan dibandingkan berdasarkan kurva kapasitas dan pola kerusakan global. Kurva ini diperoleh dengan menerapkan beban dorong lateral secara bertahap pada model struktur hingga mencapai kondisi keruntuhan. Kurva kapasitas ditampilkan pada Gambar 4 (arah X) dan Gambar 5 (arah Y). Dalam kedua kasus, kurva kapasitas menggambarkan respons non-linier struktur terhadap beban lateral. Gaya lateral maksimum pada arah X sebesar 7890 kN dengan *displacement* maksimum sebesar 0,359 m, sedangkan pada arah y gaya lateral maksimumnya 10572 KN dengan *displacement* sebesar 0,287 m.



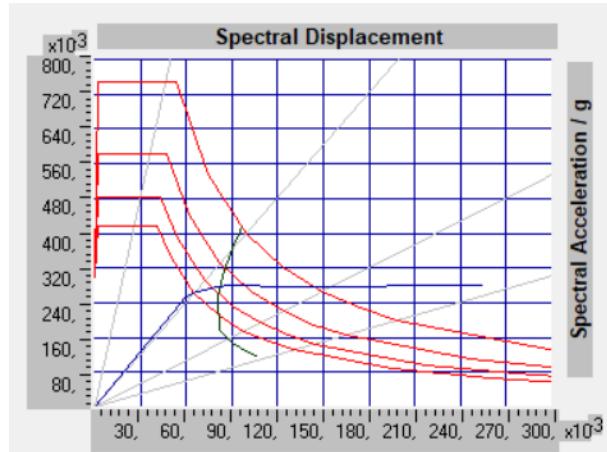
Gambar 4. Kurva Kapasitas (arah x)



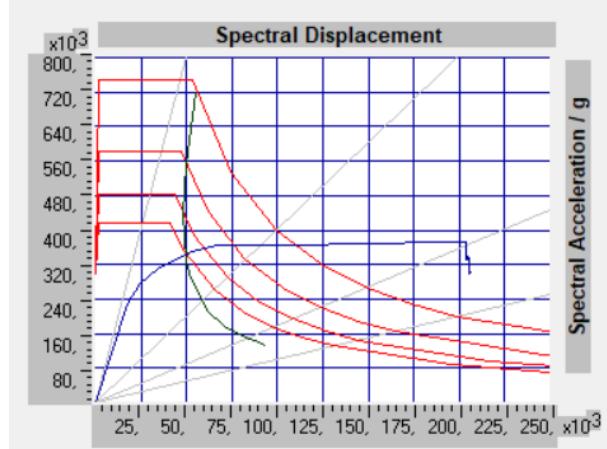
Gambar 5. Kurva Kapasitas (arah y)

Performance Point

Setelah mendapat kurva kapasitas pada analisis *pushover*, selanjutnya kurva tersebut diubah ke dalam format *Acceleration Displacement Spectrum Response (ADSR)*. Spektrum kapasitas pada arah x disajikan pada Gambar 6 dan untuk arah y disajikan pada Gambar 7. Pada Gambar 6 dan Gambar 7 tersebut dapat diketahui bahwa *Performance point* pada arah x didapat pada S_a 0,278 m dan S_d 0,082, sedang pada arah y didapat S_a sebesar 0,343 m dan S_d 0,049 m. Pada arah x diperoleh *performance point* pada nilai gaya lateral (Vx) sebesar 7652 kN dan displacement (Dx) sebesar 0,113 m, sedangkan pada arah y *performance point* pada Vy 9797 kN dan Dy 0,065 m.



Gambar 6. Performance point (arah x)

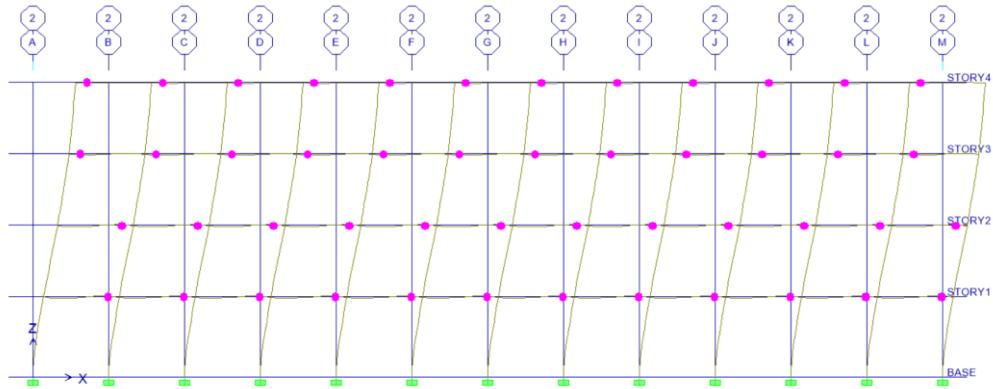


Gambar 7. Performance point (arah y)

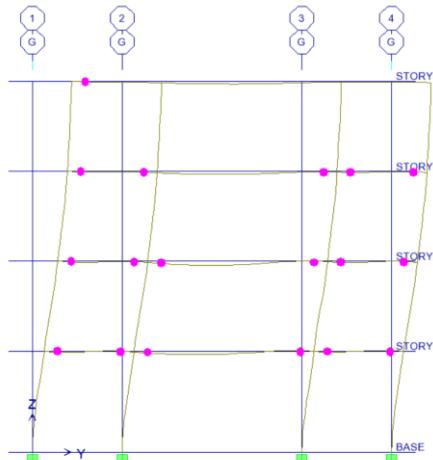
Distribusi Sendi Plastis

Analisis terbentuknya sendi plastis akan menghasilkan distribusi sendi plastis dan digambarkan dalam visualisasi 3D yang menginterpretasikan kondisi kerusakan maksimum struktur. Gambar 8 menunjukkan distribusi sendi plastis pada arah X (langkah ke-3), sedangkan pada Gambar 9 menunjukkan distribusi sendi plastis pada arah Y (langkah ke-3).

Baik pada arah x maupun y dapat dilihat bahwa terjadinya sendi plastis yang pertama kali pada balok lantai 2. Selanjutnya sendi plastis menjalar ke struktur balok lantai di atasnya. Pada step selanjutnya terbentuk sendi plastis pada kolom. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung GSL eksisting sudah sesuai dengan konsep perencanaan struktur kolom kuat-balok lemah.



Gambar 8. Distribusi sendi plastis (arah X)



Gambar 9. Distribusi sendi plastis (arah Y)

Kurva Kerapuhan

Kurva kerapuhan dibuat untuk mengetahui probabilitas kemungkinan kerusakan dengan menggunakan batasan kerusakan struktur yang dinyatakan dengan parameter spektral tertentu. Analisis kerapuhan seismik dilakukan untuk mendapatkan nilai probabilitas kerusakan gedung. Dalam penelitian digunakan parameter *Spectral Displacement (S_d)*. Probabilitas kegagalan struktur diukur dan dihitung untuk mendapatkan nilai probabilitas dan kategori ambang batas kerusakan (*damage state*). Nilai probabilitas kegagalan struktur dapat dihitung menurut persamaan berikut:

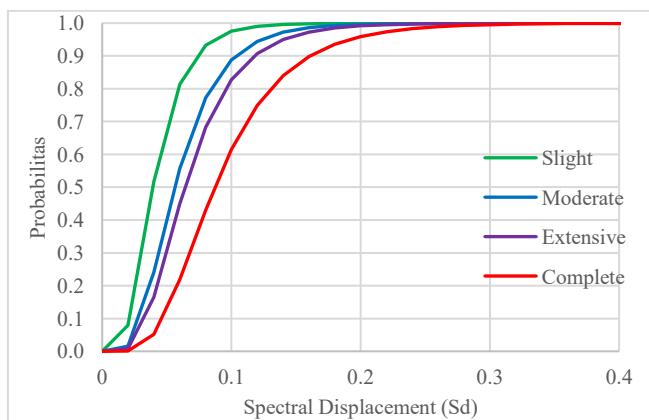
$$P(ds | S_d) = \Phi\left(\frac{1}{\beta_{ds}}\right) \ln(S_d, ds) \quad (1)$$

dengan $P(ds | S_d)$ adalah probabilitas kerusakan (%), β_{ds} adalah nilai simpangan baku, (S_d, ds) adalah nilai median S_d pada *damage state* dan Φ adalah nilai kumulatif fungsi distribusi normal standar.

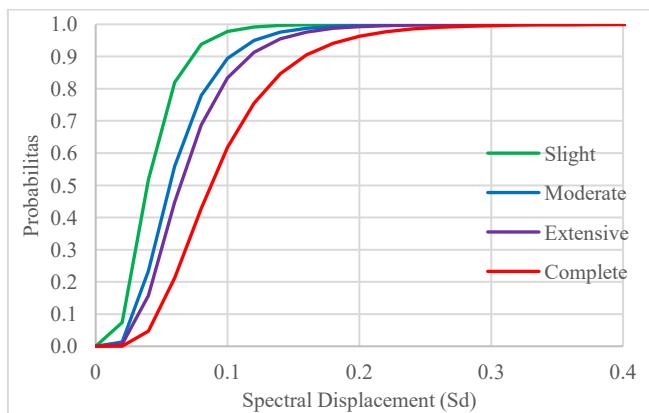
Nilai median S_d pada *damage state* untuk ambang batas ringan (*slight*) $S_{d,ds}=0,7D_y$, ambang batas sedang (*moderat*) $S_{d,ds}=D_y$, ambang batas ekstensif $S_{d,ds}=D_y+0,25.(D_u-D_y)$, dan ambang batas berat (*complete*) $S_{d,ds}=D_u$, dimana D_y adalah S_d pada kondisi leleh dan D_u adalah S_d pada kondisi ultimit. Nilai D_u dan D_y didapat dari hasil analisis

pushover dengan software ETABS. Nilai β_{ds} didapat sebesar 0,46. Berdasarkan hasil analisis, kurva kerapuhan seismik dengan 4 tipe kerusakan disajikan pada Gambar 10 untuk arah X dan Gambar 11 untuk arah Y.

Berdasar hasil konversi didapat S_d pada *performance point* 0,082 (arah X). Pada nilai S_d sebesar 0,082 diperoleh nilai *limit state slight* 95%, *limit state moderate* 78%, *limit state extensive* 70%, dan *limit state complete* 45%. Nilai S_d pada *performance point* arah Y sebesar 0,049. Pada nilai S_d 0,049 diperoleh nilai nilai *limit state slight* 68%, *limit state moderate* 40%, *limit state extensive* 30%, dan *limit state complete* 15%. Dari hasil analisis pada kedua arah terlihat bahwa probalitas kerusakan pada arah x lebih besar dari pada arah y.



Gambar 10. Kurva Kerapuhan (arah x)



Gambar 11. Kurva Kerapuhan (arah y)

4. KESIMPULAN

Berdasar analisis *pushover* yang telah dilakukan didapat *performance point* arah x pada nilai gaya lateral 7652 kN dan *displacement* 0,113 m, sedangkan pada arah y pada gaya lateral 9797 kN dan *displacement* 0,065 m. Dari analisis *pushover* juga diketahui distribusi sendi plastis yang terjadi. Sendi plastis pertama kali terjadi pada balok lantai 2, diikuti pada balok diatasnya dan selanjutnya pada kolom lantai dasar. Hal tersebut menunjukkan bahwa Gedung GSL memenuhi syarat kolom kuat-balok lemah sesuai kaidah SRPMK.

Penelitian ini berhasil mengembangkan kurva kerapuhan untuk Gedung GSL Unmer Madiun yang dibangun dengan acuan SNI 1726:1989. Gedung GSL memiliki kerentanan cukup signifikan terhadap gempa pada nilai *Spectral Displacement (Sd)* 0,082 dengan nilai probalitas kerusakan berat 45%, kerusakan ekstensif 70, kerusakan moderat 78%, dan kerusakan ringan 95%. Kurva kerapuhan ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam pekerjaan perkuatan struktur eksisting.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Riyadhi, W. Hasyim, and N. Suhana, “Perbandingan Respon Struktur Gedung Menggunakan Respon Spektra SNI 1726:2012 Dan SNI 1726:2019,” *J. Rekayasa Infrastruktur*, vol. 7, no. 1, pp. 6–15, 2021.

- [2] Siti Ayu Kumala and Wahyudi, "Analisis Nilai PGA (Peak Ground Acceleration) Untuk Seluruh Wilayah Kabupaten Dan Kota Di Jawa Timur," *INERSIA Informasi dan Eksposo Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 12, no. 1, pp. 37–43, 2016.
- [3] BSN, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung," Jakarta, 2019.
- [4] Arum Narwastu, Senot Sangadji, Rida Handiana Devi, and Hendramawat Aski Safarizki, "Analisis kerapuhan struktur gedung Dinas Pertanian Kabupaten Pacitan dengan static adaptive pushover," *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 13, no. 1, pp. 89–96, 2024.
- [5] M. Mouhine and E. Hilali, "Seismic vulnerability assessment of RC buildings with setback irregularity," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 13, no. 1, 2022.
- [6] N. D. Astuti, M. A. Alvita, S. Sangadji, A. P. Rahmadi, and E. Purwanto, "Rapid and in-depth analysis for seismic risk evaluation," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 909, no. 1, 2017.
- [7] R. Frans and Y. Arfiadi, "Analisis Fungsi Kerapuhan Struktur Dengan Menggunakan Analisis Riwayat Waktu," in *Prosiding Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan (RITEKTRA) X*, 2021, pp. 1–8.
- [8] A. N. Sari, S. Sangadji, and H. A. Saifullah, "Fragility and seismic risk of public building structures due to earthquake loads (Case study: Manahan Sports Building)," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1416, no. 1, 2024.
- [9] W. Hasyim, "ANALISIS KERAPUHAN SEISMIK STRUKTUR GEDUNG TAK BERATURAN DENGAN ANALISIS PUSHOVER," *J. "MITSU" Media Inf. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 119–130, 2025.
- [10] H. Sadraddin, "Fragility Assessment of High-Rise Reinforced Concrete Buildings," Western Michigan University, 2015.
- [11] Z. Irfan, Abdullah, and M. Afifuddin, "Development of fragility curve based on incremental dynamic analysis curve using ground motion Aceh earthquake," in *E3S Web of Conferences*, 2022, vol. 340, pp. 1–10.
- [12] A. Abdi, M. Hasan, and T. Saidi, "Studi Kerentanan Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi Akibat Gempa Di Kota Banda Aceh," *J. Civ. Eng. Student*, vol. 4, no. 1, pp. 22–28, 2022.
- [13] M. Mogheisi, H. Tavakoli, and E. Peyghaleh, "Fragility curve development of highway bridges using probabilistic evaluation (case study: Tehran City)," *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 24, no. 6, pp. 1783–1800, 2023.
- [14] V. C. Simanjuntak, I. Imran, and M. Moestopo, "The development of the seismic fragility curves of existing bridges in Indonesia (Case study: DKI Jakarta)," *Struct. Monit. Maint.*, vol. 10, no. 1, pp. 87–105, 2023.
- [15] BSN, "SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain," 2020.
- [16] R. G. Wibowo, R. K. Rohman, and S. D. Cahyono, "Seismic Evaluation of Existing Building Structures in the City of Madiun using Pushover Analysis," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1845, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [17] Federal Emergency Management Agency, "Hazus® MH M R4 Technical Manual," Washington DC, 2003.

ANALISIS BIAYA SIKLUS HIDUP BANGUNAN: STUDI KASUS BIAYA AWAL, OPERASIONAL, DAN PEMELIHARAAN PADA KANTOR DESA NDORUREA 1

*Triapriono Kaidu¹, Jimmy Chandra², Firnimus Konstatinus Bhara³ Anastasia M.N. Soludale⁴

^{1,2}Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Atma Jaya, Jakarta

^{3,4}Teknik, Nusa Nipa, Maumere

^{*}Email: kaidutriapriono@gmail.com

ABSTRACT

This study sets out to analyze the total Life Cycle Cost (LCC) involved in constructing the Ndorurea 1 Village Office located in Nangapanda District, Ende Regency. Using the LCC approach, the research evaluates all expenses incurred throughout the building's service life, which includes the initial construction costs, recurring annual operational costs, and scheduled maintenance costs over a span of 30 years. Data for this analysis were collected from the official Budget Plan (RAB), on-site observations, and interviews, and were processed using the Present Worth method. An inflation rate of 2.73% and a discount rate of 5.5% were applied to calculate the Future Value and convert it into Present Value. The findings reveal that the total LCC amounts to Rp 1,579,890,525.62, comprising an initial cost of Rp 784,461,207.31 (49.65%), operational costs of Rp 322,649,142.80 (20.42%), and maintenance costs of Rp 472,780,275.51 (28.92%). These results clearly show that more than half of the overall expenses are incurred after construction is completed. Hence, integrating the LCC approach from the initial planning stage is essential for ensuring cost efficiency, sustainability, and financial accountability in the development of village infrastructure.

Keyword: LCC, Initial_Cost, Operational_Cost, Maintenance_Cost, Village_Office

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis total biaya siklus hidup (Life CyceI Cost/LCC) dari pembangunan Kantor Desa Ndorurea 1 di Kecamatan Nangapanda, Kabupaten Ende. Pendekatan LCC digunakan untuk mengevaluasi seluruh biaya yang dikeluarkan selama umur layanan bangunan, meliputi biaya awal (initial cost), biaya operasional tahunan, dan biaya pemeliharaan berkala selama 30 tahun. Data diperoleh melalui dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB), observasi lapangan, dan wawancara, serta dianalisis menggunakan metode nilai kini (Present Worth). Tingkat inflasi sebesar 2,73% dan tingkat diskonto 5,5% digunakan untuk menghitung nilai masa depan (Future Value) dan konversi ke nilai sekarang. Hasil Analisis menunjukkan bahwa total LCC mencapai Rp 1.579.890.525,62, yang terdiri dari biaya awal sebesar Rp 784.461.207,31 (49,65%), biaya operasional sebesar Rp 322.649.142,80 (20,42%), dan biaya pemeliharaan sebesar Rp 472.780.275,51 (28,92%). Hasil ini menunjukkan bahwa lebih dari separuh biaya terjadi pasca-konstruksi. Oleh karena itu, penerapan pendekatan LCC sejak tahap perencanaan sangat penting untuk memastikan efisiensi biaya, keberlanjutan, dan akuntabilitas dalam pembangunan infrastruktur desa.

Kata kunci: LCC, Biaya_Awal, Biaya_Oprasional, Biaya_Pemeliharaan, Kantor_Des.

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur pemerintah seperti kantor Desa merupakan salah satu bentuk investasi jangka panjang yang sangat penting dalam mendukung pelayanan publik, tata kelola pemerintah, serta pembangunan berbasis masyarakat berbasis. Namun, sering kali perencanaan proyek konstruksi di tingkat desa hanya berfokus pada biaya awal (initial cost) seperti biaya perencanaan, pengadaan material, dan pelaksanaan konstruksi, tanpa memperhatikan biaya operasi, pemeliharaan, pergantian komponen, hingga pembongkaran. Padahal, biaya-biaya tersebut dapat mencapai persentase yang signifikan dari total Life Cycle Cost (LCC) bangunan [1], [2].

Dalam pengelolaan bangunan, biaya yang terjadi selama masa operasional dan pemeliharaan sering kali terlewatkan dan kurang diperhitungkan dalam tahap perencanaan awal. Sering terjadi alokasi anggaran besar pada investasi awal tanpa mengantisipasi biaya lanjutan yang terkadang mencapai porsi besar dari total LCC bangunan.

Life Cycle Cost (LCC) atau whole-life cost adalah analisis yang mempertimbangkan biaya sepanjang siklus hidup suatu aset termasuk perencanaan, konstruksi, operasional, pemeliharaan, hingga pembongkaran dengan menghitung dalam satuan nilai sekarang (Present Value). Menurut ISO 15686-5:2017, LCC adalah total biaya yang terjadi selama umur layanan bangunan, termasuk biaya perencanaan, pembangunan, pengoperasian, pemeliharaan, pergantian dan pembongkaran, yang dihitung dalam satuan nilai sekarang [3]. Penerapan LCC bermanfaat untuk menurunkan total biaya kepemilikan jangka panjang melalui pengambilan keputusan berdasarkan nilai kini (Present Worth) dari semua biaya [4].

Dalam konteks pemeliharaan, implementasi LCC memungkinkan strategi pemeliharaan yang lebih hemat melalui perencanaan yang sistematis dan berbasis prediksi, bukan reaktif terhadap kerusakan. Studi penerapan metode LCC dalam pemeliharaan gedung olahraga selama 20 tahun, menunjukkan bagaimana perencanaan biaya pemeliharaan arsitektural dapat diperiksa dan dioptimal untuk efisiensi anggaran [5]. Pendekatan activity-based costing juga mengidentifikasi aktivitas perawatan penting sehingga biaya dapat dikendalikan [6].

Beberapa studi di sektor bangunan universitas Taiwan menggunakan data historis perawatan 42 tahun, menunjukkan bahwa model prediksi biaya pemeliharaan (melalui regresi dan neural network) berhasil menentukan standar anggaran pemeliharaan yang optimal [6]. Sementara itu, di proyek pembangunan hijau, LCC mencakup unsur biaya awal, energi, pemeliharaan, hingga penggantian komponen, dengan pendekatan Present Worth untuk menentukan umur ekonomis bangunan [7].

Kantor Desa Ndorurea 1 Kecamatan Nagapanda merupakan fasilitas publik penting yang berfungsi sebagai pelayanan administrasi, pengambilan keputusan, serta tempat interaksi masyarakat desa. Lokasi wilayah yang berada di daerah pesisir dengan tingkat kelembapan yang tinggi dan paparan garam laut yang kuat, meningkatkan potensi degradasi material bangunan secara signifikan. Jika perencanaan tidak mempertimbangkan biaya jangka panjang, maka dikwatirkan pengelolaan bangunan akan membebani anggaran desa dengan biaya pemeliharaan yang tinggi atau bahkan kebutuhan renovasi dini. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi sangat penting untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai estimasi total biaya siklus hidup pembangunan kantor Desa Ndorurea 1 dengan pendekatan Life Cycle Cost. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi perencanaan infrastruktur desa berbasis biaya jangka panjang dan mendukung prinsip akuntabilitas keuangan dalam pengelolaan.

2. METODE

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menerapkan analisis Life Cycle Cost (LCC). Tujuan utama dari metode ini adalah untuk menghitung seluruh biaya yang terjadi selama masa umur bangunan Kantor Desa Ndorurea 1, khususnya yang berkaitan dengan biaya awal, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan. Penelitian ini berfokus pada konversi seluruh biaya menjadi nilai sekarang (Present Worth) agar dapat dilakukan analisis total biaya dalam satuan saat ini.

Data yang digunakan diperoleh melalui kombinasi data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap kondisi bangunan dan wawancara dengan pengelolaan kantor desa mengenai biaya operasional. Data sekunder berupa RAB pembangunan, serta data ekonomi seperti tingkat inflasi dan diskonto. Dalam penelitian ini diasumsikan umur bangunan 30 tahun, tingkat inflasi tahunan 2,73% didasarkan rata-rata inflasi lima tahun terakhir menurut data Bank Indonesia, sedangkan tingkat diskonto sebesar 5,5% mengacu pada data historis dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Bank Indonesia.

Langkah awal penelitian ini adalah mengidentifikasi seluruh komponen biaya yang relevan. Biaya awal meliputi biaya perencanaan dan pembangunan fisik. Biaya operasional meliputi pengeluaran rutin seperti listrik, air & gaji CS. Sementara itu biaya pemeliharaan mencakup aktivitas berkala seperti pengecatan ulang, perawatan atap dan lantai, serta penggantian komponen sistem utilitas bangunan.

Setelah semua komponen biaya diidentifikasi, dilakukan penyesuaian nilai masa depan (Future Value) untuk biaya yang terjadi beberapa tahun kemudian dengan rumus:

$$FV = P (1 + i)^n \quad (1)$$

Dengan, FV = Nilai masa depan, P = Biaya saat ini, i = Tingkat inflasi, n = jumlah tahun dari waktu sekarang ke waktu yang terjadinya biaya.

Nilai masa depan dari biaya-biaya tersebut kemudian dikonversikan menjadi nilai saat ini menggunakan rumus Present Worth (PW). Untuk biaya tunggal yang terjadi satu kali dimasa depan, rumus yang digunakan:

$$PW = \frac{FV}{(1+r)^n} \quad (2)$$

Dengan, PW = Nilai masa kini, r = tingkat diskonto, n = tahun ke-n dari sekarang

sedangkan untuk biaya rutin tahunan seperti biaya operasional, digunakan rumus anuitas sebagai berikut:

$$PW = A \frac{1-(1+r)^{-n}}{r} \quad (3)$$

Dengan A = Biaya tetap per tahun, r = Tingkat diskonto, n = tahun ke-n (tahun)

Setelah seluruh komponen biaya dikonversikan ke nilai sekarang, maka total biaya siklus hidup dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai sekarang dari masing-masing kategori biaya menggunakan persamaan:

$$LCC \text{ Total} = Pw \text{ initial} + PW \text{ operasional} + PW \text{ Pemeliharaan} \quad (4)$$

Hasil dari perhitungan ini disajikan dalam bentuk tabel dan diagram untuk menggambarkan proporsi biaya yang distribusinya sepanjang umur bangunan. Seluruh proses perhitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk memudahkan simulasi dan visualisasi. Analisis akhir digunakan untuk menilai efisiensi pengelolaan bangunan berdasarkan komposisi biaya dalam jangka panjang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan menganalisis siklus hidup (Life Cycle Cost) dari bangunan Kantor Ndorurea 1 yang terletak di Kecamatan Nangapanda, Kabupaten Ende. Fokus penelitian ini diarahkan pada tiga komponen utama biaya, yaitu biaya awal (initial cost), biaya operasional (operational cost), dan biaya pemeliharaan (maintenance cost) selama umur rencana bangunan selama 30 tahun.

Biaya Awal

Biaya awal merupakan biaya satu kali yang dikeluarkan pada tahap perencanaan dan pelaksanaan konstruksi bangunan. Dalam konteks Kantor Desa Ndorurea 1. Berdasarkan dokumen RAB pembangunan, total biaya awal proyek ini adalah sebesar RP 784.461.207,31. Karena biaya ini terjadi di tahun dasar 2024, maka nilainya tidak perlu dikonversi ke nilai sekarang. Meskipun biaya awalnya terlihat sebagai komponen biaya terbesar, LCC bertujuan untuk menguji apakah pengeluaran besar di awal akan diikuti oleh biaya rendah di tahap berikutnya, atau justru menimbulkan beban biaya tinggi akibat pemilihan material atau desain yang kurang efisien.

Biaya operasional (*Operational Cost*)

Biaya operasional merupakan pengeluaran rutin tahunan yang diperlukan mendukung keberlangsungan aktivitas sehari-hari Kantor Desa Ndorurea 1. Biaya ini mencakup berbagai komponen penting yang mendukung fungsi pelayanan administrasi dan kenyamanan kerja di lingkungan kantor. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak pengelola kantor desa, komponen biaya operasional terdiri dari:

- Tagihan listrik bulanan sebesar Rp 200.000
- Tagihan air bersih bulanan sebesar Rp 150.000
- Biaya jasa kebersihan (gaji tenaga cleaning service) sebesar Rp 1.500.000 per bulan

Jika dijumlahkan, total biaya operasional per bulan mencapai Rp 1.850.000. Dengan asumsi bahwa biaya ini bersifat tetap setiap bulan dan tidak mengalami kenaikan dan tidak mengalami kenaikan selama masa pakai bangunan, maka total pengeluaran operasional per tahun sebesar Rp 22.200.000, dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Biaya Operasional Kantor Desa Ndorurea 1

Item	Vol.	Sat.	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
CS	1	bln	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000,00
		Sub Jumlah 1		Rp 1.500.000,00
Listrik	1	bln	Rp 200.000	Rp 200.000,00
Air	1	bln	Rp 150.000	Rp 150.000,00
Sub Jumlah 2				Rp. 350.000,00
A. Total Per bulan (1+2)				Rp. 1.850.000,00
B.Total Per Tahun (A x 12)				Rp. 22.200.000,00

Dalam konteks analisis Life Cycle Cost (LCC), untuk mengetahui besarnya biaya operasional dalam nilai sekarang (Present Worth), dilakukan konversi dengan menggunakan rumus anuitas karena pengeluaran ini bersifat tetap dan berulang setiap tahun selama umur layanan bangunan, yaitu 30 tahun. Perhitungan Present Worth ini mempertimbangkan tingkat diskonto sebesar 5,5% sebagai refleksi dari nilai waktu uang (time value of money), yang mencerminkan tingkat pengembalian yang diharapkan atau biaya kesempatan dari sumber biaya yang digunakan. Pendekatan ini bertujuan agar total biaya operasional dapat direpresentasikan dalam nilai ekuivalen saat ini. Maka, perhitungan nilai kini (Present Worth) dari biaya operasional menggunakan rumus anuitas:

$$PW = 22.200.000 \frac{1 - (1 + 5,5\%) - 30}{5,5\%}$$

Artinya, total nilai sekarang dari biaya operasional selama 30 tahun adalah sekitar Rp 322.649.142,80 Analisis ini menunjukkan bahwa meskipun biaya per tahun tampak kecil, akumulasi nilainya menjadi signifikan dalam konteks nilai kini.

Biaya Pemeliharaan (*Maintenance Cost*)

Biaya pemeliharaan mencakupi kegiatan berkala yang bertujuan menjaga kondisi fisik bangunan agar tetap layak dan aman digunakan. Pendekatan life cycle cost digunakan memperkirakan total biaya pemeliharaan umur layanan bangunan kantor Desa Ndorurea 1, yaitu 30 tahun. Analisis diawali dengan menghitung Future Value (FV) atau nilai masa depan dari setiap item pekerjaan pemeliharaan. Nilai FV diperoleh dengan mempertimbangkan tingkat inflasi sebesar 2,73% per tahun, yang mencerminkan tren kenaikan harga berdasarkan data rerata lima tahun terakhir dari Bank Indonesia. Setiap komponen bangunan memiliki umur layanan teknis tertentu misalnya, penutup plafon gypsum memiliki umur layanan 10 tahun, sehingga selama 30 tahun masa pakai bangunan akan dilakukan 3 kali pergantian. Begitu pula dengan komponen lainnya, dihitung berdasarkan siklus umur pakainya masing-masing. Frekuensi penggantian ini menjadi dasar dalam menentukan berapa kali biaya pemeliharaan perlu dikeluarkan dalam horizon waktu 30 tahun. Setelah nilai FV masing-masing komponen diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung Present Worth (PW) untuk mengonversikan seluruh biaya biaya masa depan ke dalam nilai saat ini. PW dihitung menggunakan tingkat diskonto sebesar 5,50% yang merujuk pada BI-Rate per juni 2025 sebagai dasar perhitungan nilai waktu uang. Hasil perhitungan biaya pemeliharaan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Biaya Pemeliharaan Kantor Desa Ndorurea 1

Jenis Pekerjaan	Biaya FV (Rp)	PW (Rp)
Pek. Lantai	Rp 83.854.488,20	Rp 42.044.960,82
Pek. Kusen, Jendela, Daun, Kunci & penggantungan	Rp 165.530.246,25	Rp 40.785.226,61
Pek. Ralling Tangga Besi	Rp 17.334.129,30	Rp 5.940.908,16
Pek. Atap	Rp 64.452.452,63	Rp 18.529.748,82
Pek. Plafon	Rp 119.659.237,87	Rp 40.998.725,03
Pek. Listrik	Rp 132.778.326,19	Rp 46.801.908,15
Pek. Sanitasi	Rp 26.401.834,00	Rp 7.846.893,07
Pek. Pengecatan	Rp 682.722.466,25	Rp 289.683.521,13
Total	Rp 1.292.733.180,69	Rp 472.780.275,51

Berdasarkan perhitungan yang ditampilkan pada tabel 2 menunjukkan seluruh komponen pemeliharaan (lantai, plafon, atap, listrik, sanitasi, pengecatan, dan elemen arsitektur lainnya), diperoleh total nilai Future (FV) sebesar Rp 1.292.733.180,69, dan total Present Worth (PW) sebesar Rp 472.780.275,51. Nilai PW ini mencerminkan kebutuhan dana saat ini yang harus disiapkan untuk membiayai seluruh aktivitas pemeliharaan selama 30 tahun ke depan.

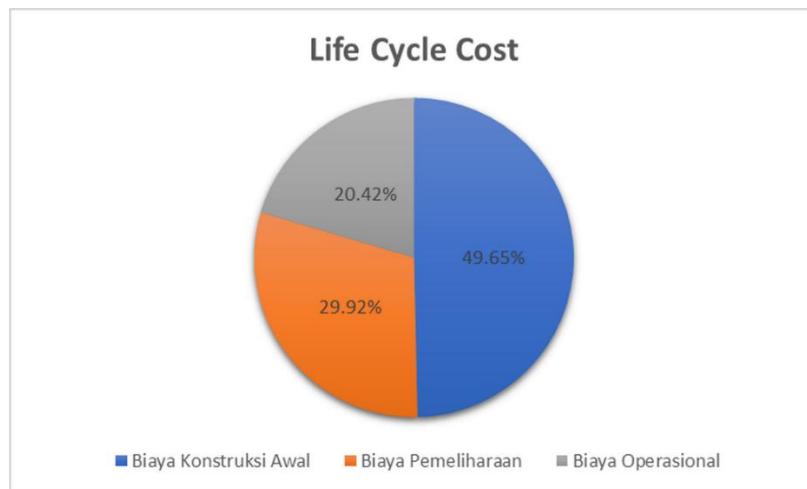
Life Cycle Cost (LCC)

Hasil analisis perhitungan Life Cycle Cost (LCC) dari proyek pembangunan Kantor Desa Ndorurea 1 di kecamatan Nangapanda menunjukkan bahwa beban keuangan yang harus ditanggung selama masa umur bangunan tidak hanya berasal dari biaya awal konstruksi, melainkan juga dari biaya operasional tahunan dan pemeliharaan berkala yang terjadi secara kontinu selama 30 tahun masa layanan bangunan. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, total Life Cycle Cost bangunan ini mencapai sebesar Rp 1.579.890.525,62, dihitung sebagai berikut:

$$LLC = Rp 784.461.207,31 + Rp 322.649.142,80 + Rp 472.780.275,51 = Rp 1.579.890.525,62$$

Yang diperoleh total nilai biaya dari tiga komponen utama, yaitu:

- biaya konstruksi awal sebesar Rp 784.461.207,31, yang mencerminkan biaya satu kali pada tahap awal proyek seperti pengadaan material, jasa pelaksanaan, serta perencanaan teknis dan administrasi;
- biaya operasional tahunan sebesar Rp 322.649.142,80, yang mencakup pengeluaran rutin untuk mendukung fungsi harian bangunan;
- biaya pemeliharaan berkala Rp 472.780.275,51 yang dihitung dalam satuan niali sekarang (Present Worth) dan mencakup penggantian komponen-komponen bangunan sesuai umur layanan



Gambar 1. *Life Cycle Cost* Kantor Desa Ndorurea 1

Hasil ini menunjukkan bahwa biaya pasca-konstruksi (pemeliharaan dan operasional) menyumbang 50,34% dari total biaya siklus hidup, sedangkan biaya awal hanya sekitar 49,65%. Temuan ini menekankan pentingnya mempertimbangkan seluruh komponen biaya sejak tahap awal perencanaan proyek agar pengelolaan bangunan lebih efisien.

4. KESIMPULAN

Penelitian menganalisis total biaya siklus hidup (Life Cycle Cost/LCC) pada proyek pembangunan Kantor Desa Ndorurea 1 di Kecamatan Nangapanda, Kabupaten Ende dengan mempertimbangkan biaya konstruksi awal, biaya Operasional, dan pemeliharaan selama umur layanan bangunan. Hasil perhitungan menunjukkan total LCC sebesar Rp 1.579.890.525,62, terdiri dari biaya awal sebesar Rp 784.461.207,31 (49,65%), biaya Operasional 322.649.142,80 (20,42%), dan biaya pemeliharaan Rp 472.780.275,51 (29,92%). Temuan ini menegaskan bahwa komponen biaya pasca-konstruksi (pemeliharaan dan operasional) menyumbang 50,34% dari total biaya siklus hidup memiliki proporsi signifikan dalam total biaya siklus hidup bangunan. Oleh karena itu, penerapan pendekatan Life Cycle Cost sangat penting diterapkan sejak tahap perencanaan untuk menghasilkan bangunan yang efisien secara ekonomi dan berkelanjutan, terutama dalam konteks pembangunan infrastruktur desa dengan keterbatasan anggaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cemex Ventures, 2024. *What is the true cost of a building?* [online] Available at: <https://www.cemexventures.com/blog/true-cost-of-a-building/> [Accessed 20 Mei. 2025].
- [2] SPM Assets, 2023. *What is Life Cycle Costing and why does it matter?* [online] Available at: <https://www.spmassets.com/blog/what-is-life-cycle-costing> [Accessed 20 Mei. 2025].
- [3] International Organization for Standardization (ISO), 2017. *ISO 15686-5:2017 - Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing*. Geneva: ISO.
- [4] Prasetyo, R. F., & Amanda, S. R. (2023). Analisis Life Cycle Cost (Lcc) Terhadap Keputusan Renovasi Atau Pembongkaran (Studi Kasus: Gedung X). *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 6(1), 33–40. <https://doi.org/10.25105/cesd.v6i1.17154>
- [5] Rosita, E., Yustiarini, D., & Nurasyih, S. (2023). Life Cycle Cost Analysis of Building Maintenance. *Jiptek*, 16(2), 121. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v16i2.67729>
- [6] Thanaraju, P., & Ali, H. M. (2015). Important activities in activity-based life cycle cost in building facilities maintenance: A case study. *Jurnal Teknologi*, 74(2), 79–85. <https://doi.org/10.11113/jt.v74.4526>
- [7] Kamaralo, M. K., Alhilman, J., & Atmaji, F. T. D. (2020). Life Cycle Cost Analysis in Construction of Green Building Concept, A Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012023>

ANALISIS DEBIT SUNGAI SAMBONG KABUPATEN BATANG DENGAN HEC-RAS

***Ikhwaudin¹, Farida Yudaningrum², Rifka Ahmida Adzkiannisa³**

^{1,2,3}JurusanTeknik Sipil, Universitas PGRI Semarang, Kota Semarang

^{*}) Email: ikhwan.menur12@gmail.com

ABSTRACT

The Sambong River is located in Batang District, with relatively flat topography and proximity to the sea, making it prone to frequent flooding. As observed in the past three years, the largest flood occurred on January 2, 2023, at 11 points in Batang District, which indirectly caused significant losses to the surrounding community. Therefore, a study is needed to determine the rise in water levels and the flood discharge volume of the Sambong River and to analyze its ability to accommodate such discharge. In this study, the flood discharge analysis for the planned Sambong River was calculated using the Nakayasu HSS method, and the river flow conditions were simulated using the HEC-RAS program with the unsteady flow method. Several data and parameters were based on the existing conditions of the river, resulting in the following discharge values: Q5 319.787 m³/s, Q10 381.146 m³/s, Q25 460.936 m³/s, Q50 521.907 m³/s, and Q100 584.437 m³/s. Based on the HEC-RAS simulation results from 66 STA observation points, it was found that for the Q5 and Q10 return periods, 88% of the STA locations flooded; for the Q25 return period, 91% of STA locations flooded; for the Q50 return period, 92% flooded; and for the Q100 return period, 95% of STA locations flooded, with varying flood heights. Therefore, it can be concluded that the Sambong River is no longer able to accommodate the planned flood discharge.

Keyword:Flood Analysis, HEC-RAS, Sambong River

ABSTRAK

Sungai Sambong merupakan sungai yang terletak di Kecamatan Batang dengan kondisi topografi relatif landai dan dekat dengan laut sehingga menjadi salah satu alasan sering terjadi banjir. Seperti yang terjadi pada 3 tahun terakhir, banjir terbesar tercatat pada 2 januari 2023 di 11 titik di Kecamatan Batang yang secara tidak langsung menyebabkan kerugian bagi masyarakat sekitar. Sehingga diperlukan kajian untuk mengetahui besar kenaikan muka air dan volume debit banjir sungai sambong serta menganalisa kondisi sungai sambong dalam menampung debit tersebut. Dalam kajian ini, analisis debit banjir rencana sungai sambong dihitung menggunakan metode HSS Nakayasu dan kondisi aliran sungai disimulasikan menggunakan program HEC-RAS metode unsteady flow, dengan beberapa data dan parameter yang diambil berdasarkan kondisi eksisting sungai menghasilkan debit pada Q5 319,787 m³/dt, Q10 381,146 m³/dt, Q25 460,936 m³/dt, Q50 521,907 m³/dt, Q100 584,437 m³/dt. Berdasarkan hasil simulasi dengan program HEC-RAS dari 66 titik STA pengamatan menghasilkan pada Q5 tahun dan Q10 tahun sebanyak 88% STA meluap, Q25 tahun sebanyak 91% STA meluap, Q50 tahun 92% STA meluap dan pada Q100 tahun sebanyak 95% STA meluap dengan ketinggian bervariasi. Sehingga disimpulkan sungai sambong sudah tidak dapat menampung debit banjir rencana.

Kata kunci: Analisis Banjir, HEC-RAS, Sungai Sambong

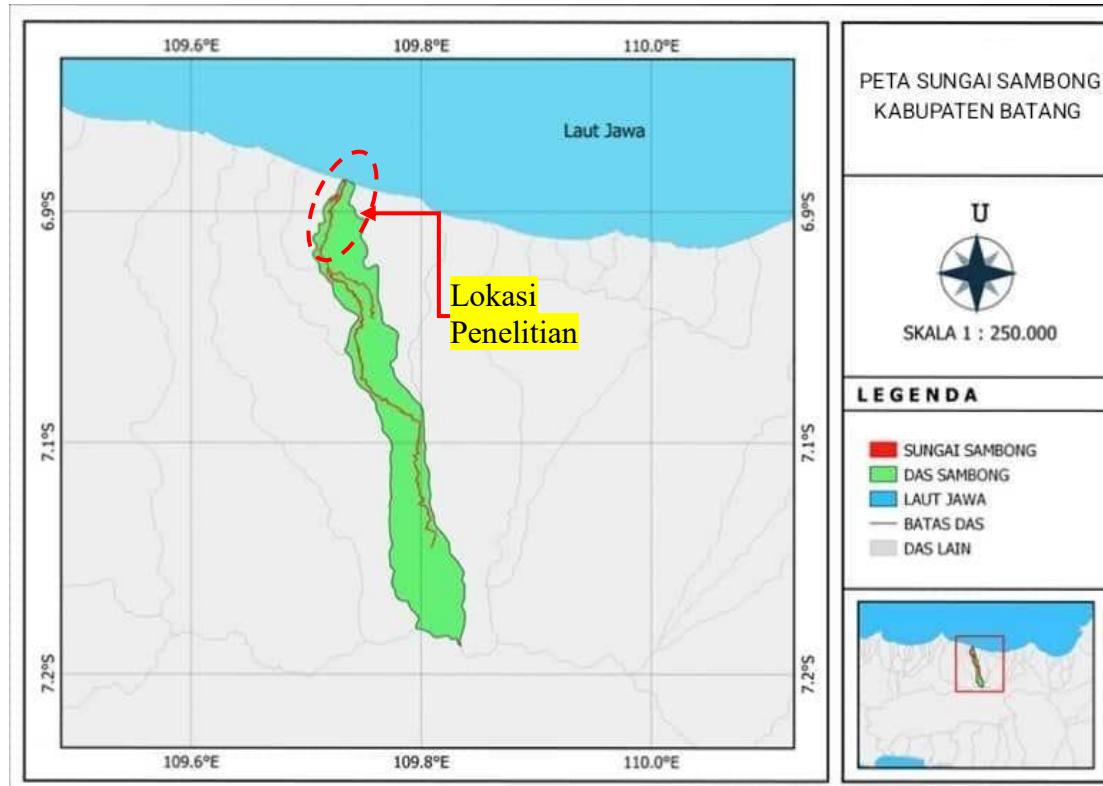
1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan saluran alami atau buatan di permukaan bumi yang menampung dan mengalirkan air hujan dari daerah tinggi ke daerah lebih rendah. Dalam aliran air tersebut juga terangkut material sedimen yang berasal dari proses erosi pada hulu, tubuh maupun hilir sungai, sehingga menyebabkan terjadinya pendangkalan. Ini merupakan salah satu hal yang membuat sungai tidak berfungsi secara optimal, sehingga memunculkan beberapa masalah seperti banjir. Walaupun terdapat juga beberapa faktor lain sebagai penyebab banjir seperti alih fungsi daerah tangkapan hujan, durasi dan intensitas hujan, kondisi topografi, perubahan iklim dan kapasitas jaringan saluran air (drainase)[1][2]. Masalah tersebut sudah tidak asing lagi, terutama di daerah pesisir dan wilayah yang terdapat aliran sungai yang besar seperti sungai Sambong yang terletak di kecamatan Batang, kabupaten Batang dengan kondisi topografi yang landai dan dekat dengan laut juga menjadi alasan sering terjadi banjir.[3][4]

Berdasarkan data yang dihimpun pada 3 tahun terakhir, hampir tiap tahun sungai Sambong mengalami bencana banjir ketika musim penghujan datang. Pada tahun 2021 tercatat banjir terjadi pada tanggal 18 Januari di Kelurahan Karangasem Kecamatan Batang. Pada tahun 2022 banjir terjadi pada tanggal 31 Desember yang di beberapa titik sekitar jalan Pantura Dan pada tahun 2023 juga banjir terjadi kembali berulang, pada tanggal 02 Januari di 11 titik Kecamatan Batang, 23 Februari di 3 titik kecamatan Batang dan pada tanggal 01 Maret di 9 kelurahan kecamatan Batang. Berdasarkan kejadian tersebut, peneliti melakukan analisa untuk mengetahui bagaimana kondisi sungai sambong dalam menampung debit banjir rencana kala ulang 5, 10, 25, 50, dan 100.[5][6][7] Agar nantinya dapat digunakan sebagai bahan informasi dan referensi dalam merencanakan pengendalian banjir.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di sungai Sambong bagian hilir, tepatnya sepanjang 6,47 km dari bendung Kedungdowo Kramat sampai dengan muara sungai Sambong di wilayah Klidang Lor.



Gambar 1. Lokasi Penelitian DAS Sambong

Sumber data pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer berupa dokumentasi eksisting sungai Sambong yang digunakan dalam penentuan besar kekasaran manning sungai. Data sekunder yaitu data yang diperoleh dari instansi terkait atau penelitian terdahulu seperti Peta RTRW Kabupaten Batang, peta batas DAS Sambong, data curah hujan stasiun Tulis dan Wonotunggal selama 20 tahun, peta DEMNAS Kabupaten Batang dan pasang surut air laut.

Pelaksanaan penelitian ini menggunakan 2 macam analisis yaitu analisis Hidrologi dan analisis Hidrolik. Analisis hidrologi dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk menghitung debit banjir rencana periode ulang 5,10,25, 50 dan 100 tahun. Perhitungan diawali dengan menghitung curah hujan rata-rata atau kawasan menggunakan metode Aljabar (Aritmatik), kemudian menghitung parameter statistik perhitungan nilai rata-rata (X), Deviasi standar (Sd), Koefisien kemiringan (Cs), Koefisien Kurtosis (Ck), dan Koefisien variasi (Cv). Hasil perhitungan parameter statistik digunakan untuk memilih salah satu distribusi frekuensi. Kemudian dilakukan pengujian distribusi frekuensi dengan Metode Chi-Kuadrat dan Metode Smirnov-Kolmogorov[8]. Hasil dari pengujian distribusi digunakan untuk menghitung curah hujan rencana periode ulang. Selanjutnya dilakukan perhitungan Waktu Konsentrasi (tc), Intensitas (I), dan perhitungan debit banjir rencana periode ulang menggunakan metode Rasional dan metode HSS Nakayasu.[9][10] Hasil dari perhitungan debit banjir rencana dibandingkan dan dipilih terbesar yang kemudian digunakan pada analisa hidrolik.

Analisis hidrolik pada penelitian ini dilaksanakan dengan bantuan program HEC-RAS. Langkah-langkah dalam memodelkan aliran sungai pada program HEC-RAS yang pertama yaitu mengatur sistem satuan yang digunakan yaitu Metric System (SI),[11] [2] langkah kedua yaitu memasukkan data geometri sungai, langkah ketiga membuat alur geometri sungai dan menentukan batas kondisi sungai, keempat memasukkan data hidrologi sungai sesuai analisis Hidrolik, terakhir Running model simulasi sungai dan cek hasil Output analisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan curah hujan rata-rata per tahun menghasilkan data pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Curah hujan rata-rata

Tahun	Rata-rata maksimal	Tahun	Rata-rata maksimal
2003	75,5	2013	105
2004	72	2014	251
2005	98	2015	174,5
2006	117	2016	127
2007	95,5	2017	105
2008	82	2018	123,5
2009	104	2019	227,5
2010	103,5	2020	141
2011	104	2021	151
2012	49	2022	150,5

Batasan dalam menentukan jenis sebaran dihitung dengan mendapatkan nilai rata-rata (\bar{X}), standar deviasi, koefisien varian (Cv), koefisien kemiringan (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck) **Tabel 2**.

Tabel 2. Pemilihan jenis distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Normal	$Cs \approx 0 \pm 0,3$ $Ck \approx 3$	1,266 4,990	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
2	Log Normal	$Cs \approx Cv^3 + 3Cv$ $Ck \approx Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	0,109 3,988	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
3	Gumbel	$Cs \leq 1,14$ $Ck \leq 5,4$	1,266 4,990	Tidak Memenuhi Memenuhi
4	Log Person III	Jika tidak ada yang memenuhi	0,109 3,988	Memenuhi Memenuhi

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dan dibandingkan dengan syarat distribusi frekuensi diperoleh distribusi Log Pearson III memenuhi syarat parameter tersebut.

Pengujian distribusi frekuensi dilakukan untuk mengetahui kebenaran hipotesa awal pemilihan distribusi frekuensi yang dipilih apakah diterima atau ditolak Berdasarkan hasil perhitungan uji distribusi disimpulkan bahwa pada uji Chi Kuadrat memenuhi syarat karena nilai X_h^2 hitung ($2,5 < X_{cr}^2$ kritis ($5,991$), dan pada uji Smirnov-Kolmogorov metode Log Pearson III nilai $D = 0,099 < D_o = 0,290$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa distribusi frekuensi Metode Log Pearson III memenuhi syarat.

Perhitungan curah hujan rencana kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun menggunakan metode Log Pearson III menghasilkan **Tabel 3**.

Tabel 3. Curah Hujan Rencana

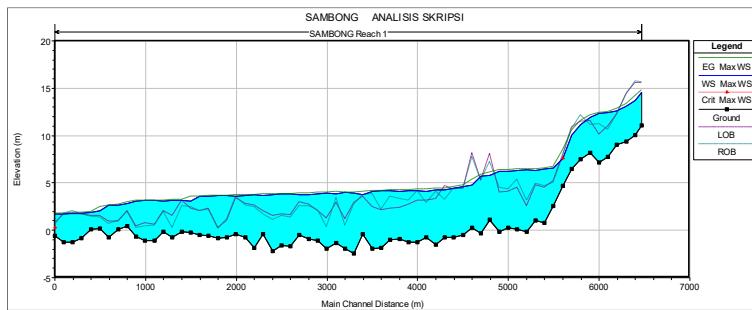
Kala Ulang (tahun)	Curah Hujan Rata-rata (Log \bar{X})	Standar Deviasi (S log \bar{X})	Variabel Reduksi (KT)	Log Curah Hujan Rencana (Log XT)	Curah Hujan Rencana (XT)
5	2,058	0,167	0,835	2,198	157,658
10	2,058	0,167	1,293	2,274	187,909
25	2,058	0,167	1,788	2,356	227,241
50	2,058	0,167	2,112	2,410	257,305
100	2,058	0,167	2,407	2,460	288,133

Perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode HSS Nakayasu menghasilkan debit Q5 tahun 319,787 m³/s, Q10 tahun 381,146 m³/s, Q25 tahun 460,926 m³/s, Q50 tahun 521,907 m³/s dan Q100 tahun 584,437 m³/s yang selanjutnya digunakan dalam analisa hidrologi.

Analisa hidrologi (simulasi banjir pada sungai) dilakukan menggunakan program HEC-RAS versi 6.4.1 berdasarkan data STA di lapangan dan beberapa parameter yang diinput. Dari hasil output HEC-RAS data yang diambil berupa tabel dan gambar, kemudian diolah agar menghasilkan pemetaan kondisi sungai

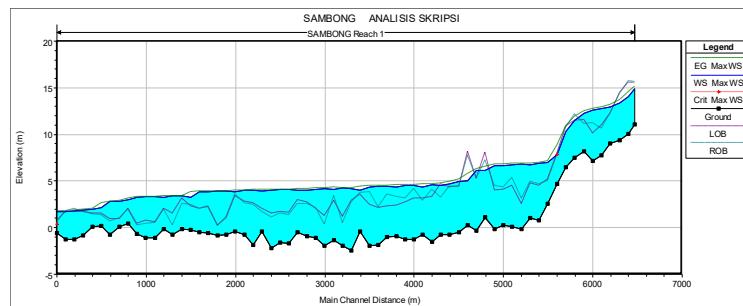
Sambong pada setiap STA yang mengalami banjir atau tidak. STA sungai bisa dikatakan banjir apabila tinggi muka air sungai lebih tinggi dari tinggi tanggul (bank lines).

Hasil simulasi Sungai Sambong Kala Ulang 5 Tahun kedalaman air limpasan tertinggi pada tanggul kiri jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,88 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 3,84 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,09 m. Pada tanggul kanan jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,96 m, Max Debit terjadi pada STA 30+00 dengan ketinggian air sebesar 3,57 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,18 m.



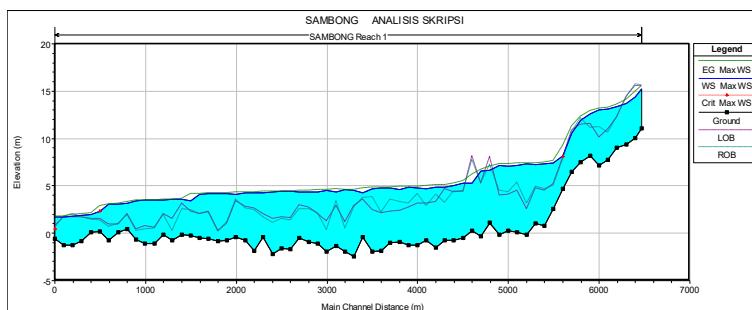
Gambar 2. Profil Memanjang Kala Ulang 5 Tahun Max Debit

Hasil simulasi Sungai Sambong Kala Ulang 10 Tahun kedalaman air limpasan tertinggi pada tanggul kiri jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,88 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 4,26 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,14 m. Pada tanggul kanan jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,96 m, Max Debit terjadi pada STA 30+00 dengan ketinggian air sebesar 3,84 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,22 m.



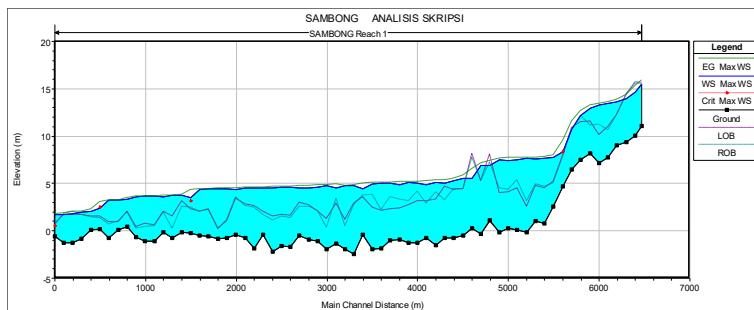
Gambar 3. Profil Memanjang Kala Ulang 10 Tahun Max Debit

Hasil simulasi Sungai Sambong Kala Ulang 25 Tahun kedalaman air limpasan tertinggi pada tanggul kiri jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,879 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 4,748 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,196 m. Pada tanggul kanan jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,961 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 4,168 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,278 m.



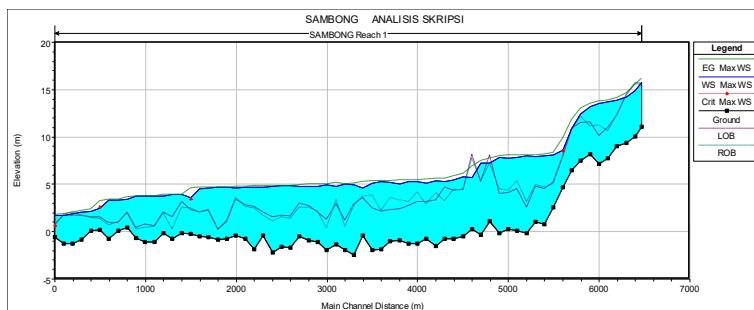
Gambar 4. Profil Memanjang Kala Ulang 25 Tahun Max Debit

Hasil simulasi Sungai Sambong Kala Ulang 50 Tahun kedalaman air limpasan tertinggi pada tanggul kiri jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,879 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 5,092 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,237 m. Pada tanggul kanan jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,961 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 4,512 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,319 m.



Gambar 5. Profil Memanjang Kala Ulang 50 Tahun Max Debit

Hasil simulasi Sungai Sambong Kala Ulang 100 Tahun kedalaman air limpasan tertinggi pada tanggul kiri jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,879 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 5,422 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,276 m. Pada tanggul kanan jam 00.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 0,961 m, Max Debit terjadi pada STA 52+00 dengan ketinggian air sebesar 4,842 m, jam 23.00 terjadi pada STA 18+00 dengan ketinggian air sebesar 1,358 m.



Gambar 4.1 Profil Memanjang Kala Ulang 100 Tahun Max Debit

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis debit banjir rencana kala ulang Sungai Sambong yang dihitung menggunakan metode HSS Nakayasu, debit maksimal terjadi pada jam ke 4:34 menghasilkan debit pada Q5 tahun sebesar 319,787 m³/s, Q10 tahun sebesar 381,146 m³/s, Q25 tahun sebesar 460,926 m³/s, Q50 tahun sebesar 521,907 m³/s dan Q100 tahun sebesar 584,437 m³/s.

Kondisi Sungai Sambong setelah dilakukan analisis menggunakan program HEC-RAS dengan debit banjir rencana :

- Pada jam ke 00.00 (awal waktu naik) debit kala ulang Q5, Q10, Q25, Q50, Q100 menghasilkan kondisi yang sama yaitu banjir terjadi sebesar 11 titik atau 17% dari total titik STA dengan ketinggian rata-rata 1,72 m.
- Pada jam ke 05.00 (max debit / puncak debit) menghasilkan titik banjir meningkat seiring berjalannya waktu dengan kondisi Q5 tahun banjir terjadi sebanyak 58 titik atau 88% dengan ketinggian air rata-rata 4,47 m, Q10 tahun banjir terjadi sebanyak 58 titik atau 88 % dengan ketinggian air rata-rata 4,73 m, Q25 tahun banjir terjadi 60 titik atau 91% dengan ketinggian air rata-rata 5,03 m, Q50 tahun banjir terjadi sebanyak 61 titik atau 92% dengan ketinggian rata-rata 5,25 m dan pada Q100 tahun banjir terjadi sebanyak 63 titik atau 95% dengan ketinggian air rata-rata 5,45 m.
- Pada jam ke 23.00 (waktu turun) menghasilkan titik banjir yang meningkat juga seiring berjalannya waktu dengan kondisi Q5 tahun banjir terjadi sebanyak 12 titik atau 18% dengan ketinggian air rata-rata 1,88 m, Q10 tahun banjir terjadi sebanyak 12 titik atau 18% dengan ketinggian air rata-rata 1,92 m, Q25 tahun

banjir terjadi sebanyak 12 titik atau 20% dengan ketinggian air rata-rata 1,98 m, Q50 tahun banjir terjadi sebanyak 13 titik atau 2,02 m dan pada Q100 tahun banjir terjadi sebanyak 13 titik atau 20% dengan ketinggian air rata-rata 2,06 m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Karya eta T. Sipil, «Pengendalian Banjir Sungai Bringin Semarang», *J. Karya Tek. Sipil*, libk. 6, zenb. 3, or. 161–171, 2017, [Sarean]. Available at: <http://ejurnal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- [2] N. A. Affandy eta N. Anwar, «PEMODELAN HUJAN-DEBIT MENGGUNAKAN MODEL HEC-HMS DI DAS SAMPEAN BARU Nur Azizah Affandy 1 dan Nadjadji Anwar 2 1», *Semin. Nas. VII 2011 Tek. Sipil ITS Surabaya Penanganan Kegagalan Pembang. dan Pemeliharaan Infrastruktur*, or. 51–60, 2011.
- [3] Ikhwanudin, F. Yudaningrum, eta I. Harjanto, «Flood Management in the Babon River Watershed, Semarang City», *KnE Soc. Sci.*, libk. 2024, or. 500–507, 2024, doi: 10.18502/kss.v9i6.15299.
- [4] E. F. Ramadhan, J. S. Fidari, eta D. Harisuseno, «Studi Pemetaan Banjir pada Sungai Rejoso dengan Menggunaan Hec-Ras». Malang, 2024(e)ko .
- [5] Ikhwanudin, F. Yudaningrum, eta A. Rossid, «Penanggulangan Banjir di Jl. Brigjen S. Sudiarto, Kota Semarang Sta 0.00–8.00», *Matriks Tek. Sipil*, libk. 10, zenb. 2, or. 168, 2022, doi: 10.20961/mateksi.v10i2.61219.
- [6] A. R. Ikhwanudin, F. Yudnangrum, N Hidayah, «Penanggulangan banjir di jalan brigjen s. sudiarto kota semarang sta. 0.00 – 8.00», libk. 10, zenb. 2, or. 168–174, 2022.
- [7] T. Irawan, Z. F. Haza, eta L. H. Widaryanto, «Analisis Genangan Banjir Menggunakan Sistem Aplikasi Hec-Ras 5.0.7 (Studi Kasus Sub-DAS Sungai Dengkeng)», *Tek. Sipil*, libk. 6, zenb. 1, or. 24–33, 2021.
- [8] M. Taufiq, H. P. Adi, eta S. I. Wahyudi, «Hydrological analysis of moveable weir planning for tidal flood handling in Cilacap, Central Java», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, libk. 930, zenb. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/930/1/012078.
- [9] Ikhwanudin, S. I. Wahyudi, eta Soedarsono, «Simulation of Catchment Area, Water Storage and Pump Capacity in Polder Drainage System», in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, eka. 2020, libk. 498, zenb. 1. doi: 10.1088/1755-1315/498/1/012073.
- [10] D. Makasaehe, L. A. Hendratta, eta J. S. . Sumarauw, «Kajian Pemetaan Banjir Dengan Hec–Georas Studi Kasus: Sungai Tondano», *J. Sipil Statik*, libk. 8, zenb. 3, or. 319–326, 2020.
- [11] H. P. Adi eta S. I. Wahyudi, «Tidal Flood Handling through Community Participation in Drainage Management System (A case study of the first water board in Indonesia)», libk. 10, or. 19–23, 2018.

KARAKTERISASI KUAT TEKAN BETON AGREGAT LOKAL DENGAN VARIASI SUPERPLASTICIZER PADA UMUR AWAL

*Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono¹, Paska Wijayanti², Erwin aji Prasetyo³, Rizal Kurniawan⁴, Wahyu Khoirudin⁵, Daffa Zaidan Alam Izzudin⁶

^{1,2,5,6}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta, Surakarta, Indonesia

^{3,4}PT. Sukses Karya Indoteknik, Jakarta, Indonesia

*) Email: kukuh.kurniawan@lecture.utp.ac.id

ABSTRACT

This study aims to characterize the effect of superplasticizer addition on local aggregate concrete workability and early-age compressive strength. The methodology involved the use of Portland Composite Cement, local fine and coarse aggregates, and Fosroc Auracast SP310 superplasticizer at dosages of 1%, 1.6%, and 2%. Four concrete mix designs were prepared: normal concrete (BN) and concrete with superplasticizer additions (BN-1%, BN-1.6%, BN-2%). Slump and compressive strength tests were conducted according to Indonesian standards to assess workability and strength at 7 and 14 days. Results indicate that superplasticizer addition significantly improves concrete workability with slump values ranging from 560 to 630 mm compared to 115 mm for the control. Compressive strength also increased markedly, with BN-2% showing the highest strength at 38.56 MPa at 7 days and 51.94 MPa at 14 days. The study concludes that superplasticizer effectively enhances both workability and compressive strength without increasing water demand, resulting in denser and stronger concrete at early curing ages.

Keyword: concrete, superplasticizer, workability, compressive strength

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi pengaruh penambahan superplasticizer pada beton agregat lokal terhadap workability dan kuat tekan beton pada umur awal. Metode yang digunakan meliputi penggunaan semen Portland Composite Cement, agregat halus dan kasar lokal, serta superplasticizer Fosroc Auracast SP310 dengan variasi 1%, 1,6%, dan 2%. Empat desain campuran beton disiapkan, yaitu beton normal (BN) dan beton dengan penambahan superplasticizer (BN-1%, BN-1,6%, BN-2%). Uji slump dan kuat tekan dilakukan sesuai SNI untuk mengetahui workability dan kekuatan beton pada umur 7 dan 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan superplasticizer secara signifikan meningkatkan workability beton dengan nilai slump mencapai 560-630 mm dibandingkan beton kontrol 115 mm. Kuat tekan juga meningkat secara signifikan, dengan beton BN-2% memiliki kuat tekan tertinggi 38,56 MPa pada umur 7 hari dan 51,94 MPa pada umur 14 hari. Kesimpulan dari penelitian ini adalah penggunaan superplasticizer efektif menaikkan workability dan kuat tekan beton tanpa meningkatkan kebutuhan air, memungkinkan struktur beton lebih padat dan kuat pada umur awal pengerasan.

Kata kunci: beton, superplasticizer, workability, kuat tekan

1. PENDAHULUAN

Air, agregat halus, agregat kasar, dan semen merupakan material yang umum digunakan pada konstruksi. Dalam pembuatan beton untuk sebagai material konstruksi, penggunaan sumber pada material-material tradisional seperti agregat biasa, agregat pecah dan bahan pengganti lainnya tergantung pada ketersediaan disekitar lokasi. Kualitas bahan seperti semen, agregat, dan air sangat penting dalam pengembangan kualitas fisik dan mekanis beton. Dalam memilih agregat untuk beton menjadi salah satu syarat untuk memperoleh sifat fisik yang direncanakan, kekuatan agregat sangat mempengaruhi. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh rasio air terhadap semen, rasio semen terhadap agregat, tingkat pemasatan, ikatan agregat terhadap mortar, kekuatan agregat, bentuk, dan ukuran. Kekuatan tekan beton sebagian besar ditentukan oleh jenis agregat yang dipakai [1], [2], [3].

Salah satu komponen terpenting yang memengaruhi kekuatan beton adalah agregat halus yang mengisi rongga yang ditinggalkan oleh agregat kasar selama pencampuran beton. Agregat memiliki dampak pada sifat mekanis beton berkinerja tinggi, seperti kekuatan dan daya tahan. Untuk mendapatkan campuran yang dapat direncanakan, parameter fisik agregat lainnya seperti bentuk, ukuran, tekstur, kadar air, berat jenis, dan berat satuan harus ditentukan dalam melakukan perencanaan campuran beton [4], [5]. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut, bersama dengan rasio air/semen, memungkinkan perencanaan campuran menjadi lebih baik dalam memperkirakan kekuatan, kemampuan kerja, dan daya tahan beton. Semua karakteristik ini berdampak pada kualitas beton.

Kehalusan dan kebulatan agregat dalam beton menentukan kemampuan kerjanya. Agregat yang kasar dan bentuknya tidak beraturan menghasilkan beton yang kurang dapat dikerjakan daripada agregat yang halus dan bulat [6]. Dalam campuran desain beton, kehalusan agregat halus, bentuk fisik, tekstur permukaan, dan sifat mekanik ditentukan karena sifat-sifat ini dapat meningkatkan konsumsi air selama pencampuran, yang sangat mempengaruhi kualitas. Selain itu, hidrasi dan rasio air/semen (w/c) menentukan sifat mekanik beton [7]. Selain itu, pemeliharaan beton yang baik memberikan kontribusi besar terhadap kekuatan tekan beton. Pemeliharaan atau

perawatan beton yang digunakan diantaranya adalah temperature ruangan, perendaman air, penyemprotan, penggunaan pelindung polietilen, perawatan dengan kain basah dan atau pemakaian goni, yang diaplikasikan hingga mencapai umur uji 3, 7, 14, 21, dan 28 hari sesuai dengan persyaratan yang ditentukan [8], [9].

Dalam upaya memperbaiki sifat mekanik beton, dapat dilakukan dengan penambahan zat *additive* atau bahan tambahan pada beton. Bahan tambahan didefinisikan sebagai bahan selain semen, air, dan agregat yang digunakan sebagai bahan baku beton dan ditambahkan ke dalam campuran segera sebelum atau selama pencampuran. Bahan tambahan diklasifikasikan menjadi dua jenis: bahan tambahan mineral dan bahan tambahan kimia. Bahan tambahan pengurang air merupakan bahan tambahan kimia yang memberikan keuntungan besar bagi beton dalam keadaan segar dan mengeras. Berbagai bahan tambahan pengurang air tersedia di pasaran; di antaranya, bahan tambahan pengurang air kelas atas yang juga dikenal sebagai *superplasticizer* [10], [11]. *Superplasticizer* merupakan bahan tambahan untuk beton yang ditambahkan untuk mengurangi kadar air dalam campuran atau memperlambat laju pengerasan beton sambil mempertahankan sifat alir campuran beton.

Studi ini melakukan pengujian kuat tekan beton dengan agregat lokal dari Kalimantan Tengah. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik kuat tekan pada umur awal (*early age*). Penambahan bahan *superplasticizer* pada beton dilakukan dengan beberapa variasi untuk mengetahui prosentase optimal. Kuat tekan beton direncanakan sebesar 25 MPa pada umur 28 hari.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1.1 Semen

Semen menggunakan Semen PCC atau *Portland Composite Cement* dari Tiga Roda.

2.1.2 Agregat Halus dan Kasar

Agregat halus pada penelitian ini digunakan pasir lokal dari Sungai Barito. Agregat kasar digunakan batu pecah lokal dari Kalimantan Tengah.

2.1.3 Air

Air yang digunakan berasal dari sumber dilokasi pekerjaan pengecoran.

2.1.4 Bahan Tambah

Superplasticizer yang digunakan untuk penelitian adalah Fosroc Auracast SP310. Dengan variasi sebesar 1%, 1,6% dan 2%.

2.2 Metode

2.2.1 Perencanaan campuran beton

Untuk mengetahui komposisi *superplasticizer* yang optimal. 4 (empat) komposisi campuran beton yang berbeda digunakan untuk mengetahui komposisi optimal. Tata cara pembuatan rencana campuran beton didasarkan SNI SNI 03-2834-2002 [12].

2.2.2 Pengujian bahan penyusun

- Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, pengujian untuk menentukan berat jenis dan daya serap air pada agregat kasar, yang merupakan bahan penyusun beton dilakukan berdasarkan SNI 1969:2008 [13].
- Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 1970-2008 [14].
- Kadar air total agregat, pengujian untuk menentukan persentase air yang terkandung dalam agregat berdasarkan SNI 1971:2011 [15].
- Keausan agregat, pengujian untuk menentukan ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles berdasarkan SNI 2417-2008 [16].

2.2.3 Pengujian benda uji

- Slump, prosedur dan peralatan yang digunakan untuk mengukur nilai slump pada beton dilakukan berdasarkan SNI 1972:2008 [17].
- Kuat tekan, pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dilakukan berdasarkan SNI 1974:2011 [18].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Dan Kebutuhan Material Beton

Hasil pengujian material agregat halus dan agregat kasar disajikan pada Tabel 1. Properti agregat halus dan agregat kasar ini menjadi dasar dalam perhitungan kebutuhan material beton. Tabel 2 Kebutuhan material per meter kubik ditunjukkan pada Tabel 1. Tiga mix design disiapkan diantaranya adalah beton normal sebagai control (BN), beton normal dengan penambahan 1% *superplasticizer* (BN-1%), beton normal dengan penambahan 1,6% *superplasticizer* (BN-1,6%) dan beton normal dengan penambahan 2% *superplasticizer* (BN-2%). Perencanaan kebutuhan material untuk setiap prosentase *superplasticizer* memungkinkan pengurangan jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton, yang bertujuan untuk mempertahankan atau meningkatkan kualitas beton tanpa mengorbankan *workability*.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar

No	Uraian	Metode Pengujian	Hasil
A	Agregat halus (Pasir)		
1	Gradasi Agregat		I
2	Berat Jenis (SSD)	SNI 1970 – 2008	2,618
3	Penyerapan	SNI 1970 – 2008	0,878 %
4	Kadar Air	SNI 1971 – 2011	3,465 %
B	Agregat Kasar (Batu Pecah)		
1	Ukuran max.		40 mm
2	Berat Jenis (SSD)	SNI 1969 – 2008	2,854
3	Penyerapan	SNI 1969 – 2008	0,206
4	Kadar Air	SNI 1971 – 2011	1,859 %
5	Nilai Abrasi	SNI 2417 – 2008	9,00 %

Tabel 2. Kebutuhan material beton per m³

Mix Desain	Kebutuhan material (kg)			
	Semen	Air	Pasir	Batu Pecah
BN	592,11	242,33	655,31	1.015,64
BN-1%	592,11	133,51	655,31	1.015,64
BN-1,6%	592,11	125,95	655,31	1.015,64
BN-2%	592,11	110,84	655,31	1.015,64

3.2 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* ditunjukkan pada Tabel 3. Rata-rata pengujian *slump test* pada beton normal adalah sebesar 115 mm. Beton dengan penambahan *superplasticizer* mengalami peningkatan *workability* berupa *slump flow*. Pada 1% penambahan *superplasticizer* tercatat *slump flow* mencapai rata-rata 560 mm. Untuk 1,6% penambahan *superplasticizer*, rata-rata pengujian *slump flow* mencapai 630 mm dan penambahan 2% *superplasticizer* mencapai 610 mm. Peningkatan *workability* pada adukan beton sangat penting dalam proses pengecoran, sehingga pelaksanaan pemanatan beton dapat dicapai dengan baik.

Tabel 3. Pengujian *slump test*

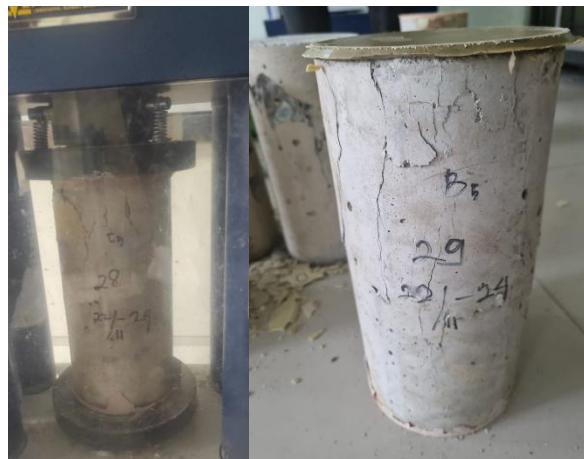
Mix Desain			
BN	115 mm	<i>Slump test</i>	
BN-1%	560 mm	<i>Slump flow</i>	
BN-1,6%	630 mm	<i>Slump flow</i>	
BN-2%	610 mm	<i>Slump flow</i>	

3.3 Pengujian Kuat Tekan

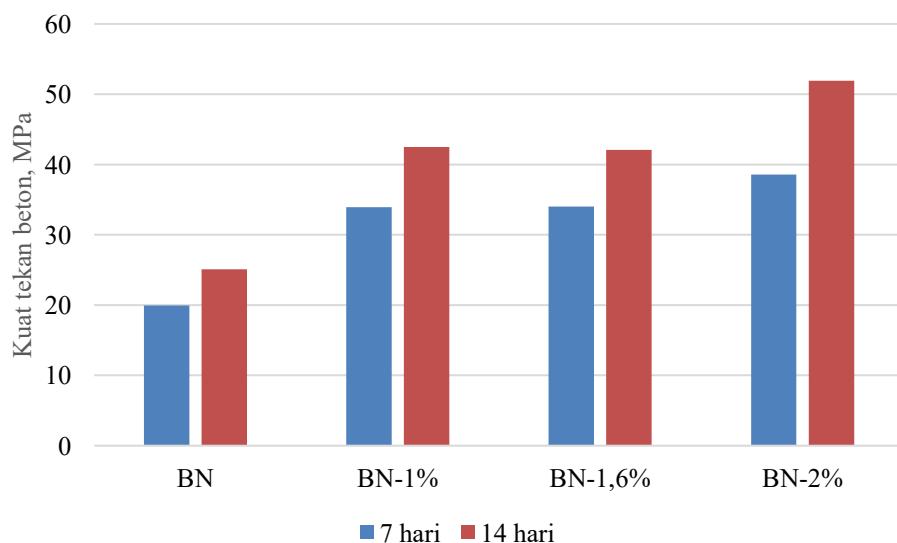
Benda uji silinder berukuran 150mmx300mm dibuat untuk pengujian kuat tekan. Perawatan beton dilakukan dengan melakukan perendaman pada air dan dilakukan pengujian kuat tekan sesuai dengan umur beton. Pengujian kuat tekan beton normal dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari. Sedangkan untuk beton dengan penambahan *superplasticizer* pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 14 hari. Pengujian kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 1. Dan kuat tekan beton rata-rata disajikan pada Tabel 4.

Tabel 7. Kuat tekan beton rata-rata

Mix Desain	Kuat tekan beton (MPa)		
	7 hari	14 hari	28 hari
BN	19,95	25,09	27,42
BN-1%	33,95	42,49	-
BN-1,6%	34,01	42,07	-
BN-2%	38,56	51,94	-



Gambar 1. Pengujian kuat tekan beton



Gambar 2. Grafik kuat tekan beton

Hasil penelitian yang disajikan menunjukkan pengaruh signifikan penambahan *superplasticizer* terhadap peningkatan kuat tekan beton pada umur 7 dan 14 hari. Beton normal tanpa penambahan *superplasticizer* (BN) memiliki kuat tekan sebesar 19,95 MPa pada 7 hari dan meningkat menjadi 25,09 MPa pada 14 hari. Penambahan *superplasticizer* pada kadar 1%, 1,6%, dan 2% secara berturut-turut menghasilkan peningkatan kuat tekan yang signifikan dibandingkan beton kontrol. Pada umur 7 hari, kuat tekan beton dengan penambahan 1% *superplasticizer* (BN-1%) meningkat mencapai 33,95 MPa, naik hampir 70% dibanding beton BN. Peningkatan serupa terlihat pada penambahan 1,6% *superplasticizer* (34,01 MPa) dan bahkan lebih tinggi pada penambahan 2% (38,56 MPa). Tren peningkatan ini juga berlanjut pada umur 14 hari, dengan kuat tekan beton BN-2% mencapai nilai tertinggi sebesar 51,94 MPa, yang merupakan lonjakan signifikan dari beton kontrol. Hal ini jelas mengindikasikan bahwa *superplasticizer* berperan positif dalam meningkatkan densifikasi campuran beton melalui pengurangan kebutuhan air sekaligus mempertahankan *workability* yang optimal. Dengan rasio air-semen

yang lebih rendah namun kelengketan tetap baik, pembentukan struktur mikro beton menjadi lebih optimal sehingga menghasilkan kekuatan tekan yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton dengan agregat lokal secara signifikan meningkatkan *workability* dan kuat tekan beton pada umur awal. Peningkatan *workability* ditandai dengan kenaikan nilai slump dari 115 mm pada beton kontrol menjadi 560–630 mm pada beton dengan *superplasticizer*. Kuat tekan beton juga mengalami peningkatan, di mana beton dengan 2% *superplasticizer* mencapai kuat tekan tertinggi yaitu 38,56 MPa pada umur 7 hari dan 51,94 MPa pada umur 14 hari. Penambahan *superplasticizer* memungkinkan penurunan kebutuhan air tanpa mengurangi kelenturan campuran, sehingga menghasilkan beton yang lebih padat dan kuat. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* Fosroc Auracast SP310 dengan dosis optimal dapat menjadi strategi efektif dalam perencanaan mix design beton untuk mencapai kualitas struktural yang lebih baik dan efisiensi pengerjaan yang tinggi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Tunas Pembangunan Surakarta yang telah memberikan pendanaan pada kegiatan penelitian ini sesuai dengan 006/PK-P/LPPM-UTP/XII/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. LeBow, *Effect of cement content on concrete performance*. University of Arkansas, 2018.
- [2] H. N. Ngugi, R. N. Mutuku, and Z. A. Gariy, “Effects of sand quality on bond strength of concrete: a case study in Nairobi city county and its environs, Kenya,” *Int. J. Civ. Struct. Eng. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 119–129, 2014.
- [3] K. K. D. Sungkono and T. Yuono, “Compression Strength of Geopolymer Lightweight Concrete of Rice Husk Ash With Foam Agent,” in *The 1st International Conference on Computer Science and Engineering Technology Universitas Muria Kudus*, 2018, pp. 760–766. doi: 10.4108/eai.24-10-2018.2280520.
- [4] F. Fauzan and H. Suciati, “Efek Penggunaan Limbah Terumbu Karang Pada Komposit Beton,” *Sigma Tek.*, vol. 5, no. 1, pp. 119–127, 2022.
- [5] M. T. Ir Bambang Sujatmiko, *Teknologi Beton dan Bahan Bangunan*. Media Sahabat Cendekia, 2019.
- [6] M. Abdullahi, “Effect of aggregate type on compressive strength of concrete,” *Int. J. Civ. Struct. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 791–800, 2012.
- [7] N. Kencanawati, S. Rawiana, A. Rofaida, and N. A. Febriyanti, “Identifikasi Karakteristik Fisik Berbagai Jenis Agregat Halus dan Korelasinya pada Sifat Beton Segar dan Beton Padat,” *REKONSTRUKSI TADULAKO Civ. Eng. J. Res. Dev.*, pp. 109–114, Sep. 2023, doi: 10.22487/renstra.v4i2.574.
- [8] L. Siekmann, M. Plötz, and C. Krischek, “Alternative Curing Methods,” *Curr. Clin. Microbiol. Reports*, vol. 8, no. 2, pp. 40–48, 2021, doi: 10.1007/s40588-021-00164-w.
- [9] A. A. Raheem, A. A. Soyingbe, and A. J. Emenike, “Effect of Curing Methods on Density and Compressive Strength of Concrete,” *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 55–64, 2013.
- [10] Y. Amran and Y. Daud, “Analisa penggunaan silicafume, superplastizicer serta penambahan serbuk kaca terhadap peningkatan mutu beton pada perencanaan beton mutu tinggi (K-600) menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI),” *TAPAK (Teknologi Apl. Konstr. J. Progr. Stud. Tek. Sipil)*, vol. 7, no. 2, pp. 150–162, 2018.
- [11] A. Faqihuddin, H. Hermansyah, and E. Kurniati, “Tinjauan Campuran Beton Normal dengan Penggunaan Superplasticizer Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0, 3%; 0, 5% Dan 0, 7% Berdasarkan Berat Semen,” *J. Civ. Eng. Plan.*, vol. 2, no. 1, pp. 34–45, 2021.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2834-2002 Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. 2002.
- [13] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat*

- Kasar. 2008.
- [14] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. 2008. [Online]. Available: <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195>
- [15] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1971:2011 Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan*. 2011.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2417-2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*. 2008. [Online]. Available: https://imsippoliban.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/5368_sni-2417_2008.pdf
- [17] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton*. 2008.
- [18] SNI 1974, “Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder,” *Badan Stand. Nas. Indones.*, p. 20, 2014.

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAJA BERASAL DARI LIMBAH BAN MOTOR YANG TERBAKAR DAN TIDAK TERBAKAR TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON

*Muhammad Taufik¹, Yudhia Pratidina Pestalozzi², Meilani Belladona³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, Bengkulu

^{*}Email: taufikmuhammad1704@gmail.com

ABSTRACT

Concrete has advantages and disadvantages, the disadvantage of concrete is that it cannot withstand tension. This disadvantage can be overcome by adding fiber to the concrete. The addition of fiber aims to increase the tensile strength of concrete. In this study, the mechanical properties studied were the compressive strength and flexural strength of concrete, while the fiber used was motorcycle tire steel fiber, both burned and unburned. The compressive strength test object was a cylinder with dimensions of 7.6 x 15 cm, the flexural strength test object was a beam with dimensions of 15 x 15 x 60 cm. The variation of steel fibers consisted of (2.5.5 and 7.5) with a volume of steel fiber of 1% used. The burnt and unburnt steel fibers were mixed into the concrete. The planned compressive strength of concrete is (fc) 25 MPa, testing was carried out after 28 days. Based on the results of the study, the addition of motorcycle tire steel fibers, both burned and unburned, decreased the compressive strength of concrete. This decrease was caused by several factors, such as changes in the mechanical properties of the fiber due to the combustion process. In addition, rubber residue or other materials attached to the fiber surface can interfere with the bond between the fibers. The presence of fibers in the concrete mixture tends to create micro cavities. These voids cause a decrease in the density of the concrete, which has a negative impact on the compressive strength. The addition of burned and unburned steel fibers can increase the flexural strength of concrete.

Keyword: Compressive strength, Flexural strength, Motorcycle tire steel fibers

ABSTRAK

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan, kekurangan beton tidak dapat menahan tarik. Kekurangan ini dapat diatasi dengan menambahkan serat kedalam beton. Penambahan serat bertujuan untuk meningkatkan kuat Tarik pada beton. Pada penelitian ini, sifat mekanik yang diteliti ialah kuat tekan dan kuat lentur beton, sedangkan serat yang digunakan yaitu serat baja ban motor baik yang terbakar dan tidak terbakar. Benda uji kuat tekan berupa slinder dengan dimensi 7,6 x 15 cm, benda uji kuat lentur berupa balok dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm. Variasi serat baja terdiri dari (2,5,5 dan 7,5) dengan volume serat baja yaitu 1% yang digunakan. Serat baja baik dibakar dan tidak bakar tersebut dicampurkan ke dalam beton. Kuat tekan beton rencana yaitu (fc) 25 MPa, pengujian dilakukan setelah 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian penambahan serat baja ban motor baik yang dibakar dan tidak dibakar menurunkan kuat tekan beton. Penurunan ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perubahan sifat mekanik serat akibat proses pembakaran. Selain itu, residu karet atau material lain yang menempel pada permukaan serat dapat mengganggu ikatan antara serat keberadaan serat dalam campuran beton yang cenderung menciptakan rongga mikro. Rongga-rongga ini menyebabkan penurunan kepadatan beton, yang berdampak negatif pada kekuatan tekan. Penambahan serat baja yang dibakar dan tidak dibakar dapat meningkatkan kuat lentur beton.

Kata kunci: Kuat tekan, Kuat lentur, Serat baja ban motor

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah limbah ban bekas, terutama di negara - negara berkembang, membutuhkan solusi inovatif untuk mengurangi dampaknya terhadap lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas bahan konstruksi. Salah satu solusi potensial adalah penggunaan serat baja dari limbah ban sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. (Puja, Agustriana and Irianti, 2020) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa beton memiliki sifat mekanik yang baik dalam hal kuat tekan, tetapi sering mengalami kelemahan dalam kuat tarik dan getas pada beton. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat tersebut, sekaligus mengatasi masalah lingkungan akibat meningkatnya limbah ban. sekaligus mengatasi masalah lingkungan akibat meningkatnya limbah ban. Penelitian tentang pengaruh penambahan serat baja dari limbah ban sepeda motor pada beton telah dilakukan sebelumnya oleh (Primasari, 2010) yang berjudul pengaruh penambahan serat baja ban bekas dan penggunaan agregat daur ulang terhadap susut kering pada beton precast selain itu, penelitian (Kusumawati, 2010) yang berjudul pengaruh pemakaian serat baja ban bekas pada beton dengan agregat daur ulang terhadap kuat tarik belah dan modulus of rupture, penelitian ini yang membedakan dengan penelitian terdahulu yaitu sifat mekanik serat baja ban motor yang terbakar dan tidak terbakar terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton dalam meningkatkan performa beton, memberikan perspektif baru tentang efektivitas penggunaan limbah dalam bidang konstruksi. Berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa penambahan serat baja dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur beton (Putra and Noorhidana, 2020) dalam penelitiannya penambahan serat baja ke dalam beton dapat meningkatkan kekuatan Tarik dan ketahanan terhadap retakan. (Primasari, 2010) juga menyebutkan bahwa penggunaan serat baja dapat membantu mengurangi retak pada beton. dengan mengganti sebagian agregat kasar dengan limbah ban bekas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat baja dari limbah ban sepeda ban motor yang

menggunakan SNI 03-2834-2000 baik yang sudah melalui proses pembakaran maupun yang tidak terbakar, terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Dengan memanfaatkan penambahan serat baja yang digunakan pada beton berbentuk silinder sepanjang 2,5, 5 dan 7,5 cm, sedangkan untuk balok digunakan serat baja sepanjang 2,5, 5 dan 7,5 cm dari limbah ban motor dengan volume serat baja yaitu 1% yang digunakan, penelitian ini berupaya untuk mengetahui sejauh mana material tersebut dapat mempengaruhi sifat mekanik beton. Temuan ini diharapkan tidak hanya membantu mengoptimalkan pemanfaatan limbah ban secara berkelanjutan, tetapi juga menghadirkan inovasi dalam teknologi bahan bangunan untuk menghasilkan beton dengan kualitas unggul.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh serat baja dari limbah ban sepeda motor yang terbakar terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton?
2. Bagaimana pengaruh serat baja dari limbah ban sepeda motor yang tidak terbakar terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton?
3. Bagaimana perbandingan pengaruh antara kedua jenis serat baja tersebut?

Batasan Masalah

1. Serat yang digunakan dalam penelitian adalah serat baja dari limbah ban motor yang SNI 06-0101-2002, baik yang sudah melalui proses pembakaran maupun yang belum terbakar dengan variasi panjang serat baja yang digunakan pada beton berbentuk silinder 2,5, 5 dan 7,5 cm, sedangkan untuk balok digunakan serat baja sepanjang 2,5, 5 dan 7,5 cm dengan volume serat baja yaitu 1% yang digunakan ke dalam campuran beton.
2. Penelitian ini membedakan antara serat baja yang melalui proses pembakaran maupun yang tidak terbakar, dengan tujuan untuk melihat perbedaan pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton
3. Jenis beton yang digunakan adalah beton normal f_c 25 dengan komposisi campuran standar yang meliputi semen, agragat halus, agregat kasar dan air dengan penambahan serat baja yang digunakan pada beton berbentuk silinder 2,5, 5 dan 7,5 cm, sedangkan untuk balok digunakan serat baja sepanjang 2,5, 5, dan 7,5 cm ke dalam campuran beton.
4. Fokus penelitian ini hanya pada pengujian kuat tekan beton dan kuat lentur beton yang dicampur dengan serat baja dari ban motor.
5. Benda uji akan dibuat sebanyak 18 silinder dengan dimensi 7,6 x 15 cm dan 18 buah sampel benda uji balok dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm.
6. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium UPTD, Laboratorium Pengujian Konstruksi dan Bangunan DPUPR Provinsi Bengkulu.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh serat baja dari limbah ban sepeda motor yang terbakar terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton.
2. Mengetahui pengaruh serat baja dari limbah ban sepeda motor yang tidak terbakar terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton.
3. Membandingkan pengaruh penambahan serat baja dari limbah ban sepeda motor terbakar dan tidak terbakar terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton.

2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental di UPTD Laboratorium Pengujian Konstruksi dan Bangunan DPUPR Provinsi Bengkulu untuk mendapatkan hasil penelitian pada kuat tekan dan kuat lentur dengan penambahan serat baja ban motor yang terbakar dan tidak terbakar pada campuran 1% beton. pada penelitian ini, serat baja ban motor dibedakan menjadi dua kategori yang dimana serat terbakar dengan (simbol B) dan tidak terbakar (simbol T) serat – serat tersebut memiliki bentuk lurus yang digunakan pada beton berbentuk silinder sepanjang 2,5, 5 dan 7,5 cm, sedangkan untuk balok digunakan serat baja sepanjang 2,5, 5, dan 7,5 cm dari limbah ban motor. Ada dua pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian untuk menentukan nilai kuat tekan dan nilai kuat lentur,pada kuat tekan menggunakan benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran 7,6 cm x 15 cm dan pengujian kuat lentur menggunakan benda uji berbentuk balok dengan dimensi 15 x 15 x 60, Pembuatan benda uji meliputi beton normal dengan penambahan serat baja berasal dari ban motor yang terbakar dan tidak terbakar.

Serat Baja Limbah Ban Motor

Serat baja limbah ban sepeda motor merupakan limbah padat yang berasal dari ban bekas kendaraan bermotor. Limbah ini sulit terurai secara alami karena terbuat dari campuran bahan-bahan seperti karet alam dan sintetis, serat teknis, baja, serta bahan kimia tambahan seperti karbon hitam dan sulfur. Sifat ini membuat limbah ban membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai secara alami. Dampak lingkungan limbah ban sepeda motor yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan berbagai masalah, antara lain:

1. Pencemaran Lingkungan: Senyawa kimia dari ban bekas dapat mencemari tanah dan air.
2. Risiko Kebakaran: Tumpukan ban bekas mudah terbakar
3. Tempat Berkembang Biak Nyamuk: Ban bekas yang menampung air dapat menjadi sarang nyamuk penyebab penyakit.

Pemanfaatan limbah baja ban motor dalam penelitian ini:

1. Pengurangan limbah: Dengan memanfaatkan limbah ban sebagai sumber serat baja, jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dapat dikurangi, sehingga membantu mengatasi masalah lingkungan.
2. Material ramah lingkungan: Serat baja dari ban motor merupakan bahan daur ulang yang mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Penggunaan material ini dapat mengurangi ketergantungan pada serat baja yang diproduksi secara konvensional.
3. Kekuatan mekanis yang baik: Serat baja dapat meningkatkan durabilitas dan mengurangi kerapuhan beton yang sangat efektif dalam meningkatkan performa mekanis beton, seperti kuat tekan dan kuat lentur.

Adapun metode yang digunakan untuk pemisahan serat baja dari ban motor:

1. Metode pembakaran: Dalam metode ini, ban motor dibakar untuk memisahkan komponen kawat baja dari material karet.
2. Metode mekanis: Metode ini menggunakan alat ramah lingkungan dengan menggunakan pisau, karter untuk memisahkan serat baja dari karet tanpa proses pembakaran. Meskipun memerlukan investasi awal yang lebih tinggi, metode ini lebih ramah lingkungan.

Salah satu cara pengelolaan limbah ban adalah dengan memanfaatkan serat baja yang terdapat didalam ban bekas. Serat baja dari ban memiliki sifat mekanis yang baik, seperti kekuatan tarik tinggi, dengan mengubah limbah menjadi material yang bermanfaat, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi inovatif dalam pengelolaan limbah ban.



Gambar 1. Limbah Ban Motor
Sumber: Lapangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dan benda uji dilaksanakan sesuai dengan tata cara dan standar pengujian yang terdapat pada SNI. Waktu pelaksanaan percobaan disesuaikan dengan jadwal penelitian dan ijin laboratorium bahan UPTD Laboratorium Pengujian Konstruksi dan Bangunan DPUPR Provinsi Bengkulu. Dalam bab ini akan disajikan hasil penelitian dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh.

Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat halus yaitu pasir, yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis peresapan gradasi agregat halus. Hasil dari pengujian-pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Berat jenis peresapan agregat halus.

No	Pengujian	A	B
1	Berat tempat	167	160
2	berat agregat kering permukaan jenuh (g) (Bj)	423	365
3	Berat picnometer + agregat (g)	590	524
4	Berat picnometer + air (g) (B)	665	657
5	Berat picnometer + agregat + air (g) (Bt)	933	889
6	Berat agregat kering oven (g) (Bk)	518	462
7	Berat jenis kering permukaan jenuh	2,74	2,74

No	Pengujian	A	B
8	$(SSD) \frac{Bj}{Bj-(Bt-B)}$ Berat jenis kering oven (Bulk) $\frac{Bk}{Bj-(Bt-B)}$	3,36	3,47
9	Berat jenis semu (Apparent) $\frac{Bk}{Bk-(Bt-B)}$	2,08	2,01
10	Penyerepan (Absorbsi) $\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$	422	364

Sumber: Pengolahan data 2025

Tabel 2. Material lolos saringan no.200 agregat halus

No	Pengujian	Sampel A	Sampel B
A	Berat contoh kering sebelum (g)	590,1	524,3
B	Berat contoh kering sesudah (g)	517,9	461,5
C	Lolos #200 C = (A-B)/A × 100 %	0,12	0,12
D	Rata - rata (%)	1108,12	985,92

Sumber: Pengolahan data 2025

Tabel 3. Gradasi agregat halus

Ukuran saringan	Berat masing - masing tertinggal (Gram)	Berat jumlah tertinggal (Gram)	Persen jumlah tertinggal (%)	Persen jumlah melalui (%)
No.4	128,0	128,0	9,32	90,68
No.8	189,0	317,0	23,09	76,91
No.16	223,0	540,0	39,33	60,67
No.30	275,0	815,0	59,36	40,64
No.50	444,0	1259,0	91,7	8,30
No.100	92,0	1351,0	98,4	1,60
No.200	17,0	1368,0	99,64	0,36
PAN	5,0	1373,0	100	0,00

Sumber: Pengolahan data 2025

Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar yaitu batu pecah 1/2, yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis peresapan, gradasi agregat kasar. Hasil dari pengujian-pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 4. Berat jenis peresapan agregat kasar

No	Pengujian	Sampel I	Sampel II
1	Berat contoh kering (A) (g)	3034	2973,3
2	Berat contoh JKP (B) (g)	3068,2	3014
3	Berat contoh dalam air (C) (g)	1910	1885
4	Berat jenis kering oven (bulk) $\frac{A}{B-C}$	2,62	2,64
5	Berat jenis kering jkp (Ssd) $\frac{B}{B-C}$	2,65	2,67
6	Berat jenis semu (Apparent) $\frac{A}{A-C}$	2,70	2,72
7	Peresapan air (Sw) $\frac{B-A}{A} \times 100\%$	1,13	1,16

Sumber: Pengolahan data 2025

Tabel 5. Analisa saringan agregat kasar

Ukuran Saringan	Berat Masing - Masing Tertinggal (Gram)	Berat Jumlah Tertinggal (Gram)	Persen Jumlah Tertinggal (%)	Persen Jumlah Melalui (%)
No.1"	22,4	22,4	0,71	99,29
No.3/4"	207,6	230	7,35	92,625
No.3/4"	2005,4	2235,4	71,45	28,55
No.3/4"	535	27704	88,5	11,5
No.3/4"	358,1	3128,5	100	0

Sumber: Pengolahan data 2025

Tabel 6. Analisa saringan agregat kasar.

Ukuran Saringan	Berat Masing - Masing Tertinggal (Gram)	Berat Jumlah Tertinggal (Gram)	Persen Jumlah Tertinggal (%)	Persen Jumlah Melalui (%)
No.1"	0	0	0	0
No.3/4"	290,4	290,4	8,81	91,19
No.1/2"	2199,7	2490,1	75,51	24,49
No.3/8"	568,8	3058,9	92,76	7,24
No. 4"	238,9	3297,8	100	0

Sumber: Pengolahan data 2025

Rencana Campuran (*Mix Design*)

Perhitungan rencana campuran adukan beton menggunakan SNI 03-2834-2000, dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan per 1 m³ untuk silinder dan balok:

Tabel 7. Proporsi campuran adukan beton setiap 1 m³

Nama bahan	Masa /volume kg/m3	Perbandingan
Semen	409,8	1
Aggregat halus	728,826	1,8
Aggregat kasar	1006,474	2,5
Air	204,9	0,5

Sumber: Pengolahan data 2025

Untuk satu kali adukan dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

Tabel 8. Proporsi campuran adukan beton untuk 18 sampel silinder

Material	Rumus	Kebutuhan
Air	18 x W Air x V silinder	2,5084 Liter
Semen	18 x W Semen x V silinder	5,0168 Kg
Aggregat Kasar	18 x WAK x V silinder	12,32 Kg
Aggregat Halus	18 x WAH x V silinder	8,922 Kg
Serat Baja 1%	5,0168 x 1% untuk 18 silinder	0,050 kg atau 50 gram

Sumber: Pengolahan data 2025

Tabel 9. Proporsi campuran adukan beton untuk sekali adukan 3 sampel balok

Material	Rumus	Kebutuhan
Air	3 x W Air x V balok	8 liter
Semen	3 x W Semen x V balok	16.5969 Kg
Aggregat Kasar	3 x WAK x V balok	41 Kg
Aggregat Halus	3 x WAH x V balok	30 Kg
Serat Baja 1%	18.04 x 1%	0,166 kg atau 166 gram

Sumber: Pengolahan data 2025

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dalam penelitian ini mengacu pada standar SNI 1974 - 2011 dan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Beton diuji merupakan beton dengan tambahan serat baja limbah ban motor yang diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu dimana serat terbakar dengan (simbol B) dan tidak terbakar (simbol T) serat – serat tersebut memiliki bentuk lurus yang digunakan pada beton berbentuk silinder sepanjang 2,5, 5 dan 7,5 cm dengan penambahan serat baja 1% dari jumlah semen yang dibutuhkan, pengujian ini menggunakan silinder berukuran 15 cm x 7,6 cm dari pengujian tegangan yang dilakukan dengan alat Compression Testing Machine didapatkan beban maksimum (P max), yaitu pada saat beton hancur.

Dari data pengujian kuat tekan dapat diperoleh kuat tekan beton sebagai contoh perhitungan kuat tekan diambil data benda uji bakar 7,5 (b.7,5) pada beton berumur 28 hari dari hasil pengujian didapat kuat tekan beton menurut persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\max} &= 91.429 \text{ KN} \\ &= 91429 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times 3,8^2 \\ &= 4536,460 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } f_c = \frac{91490}{4536,460} = 20.154 \text{ MPa}$$

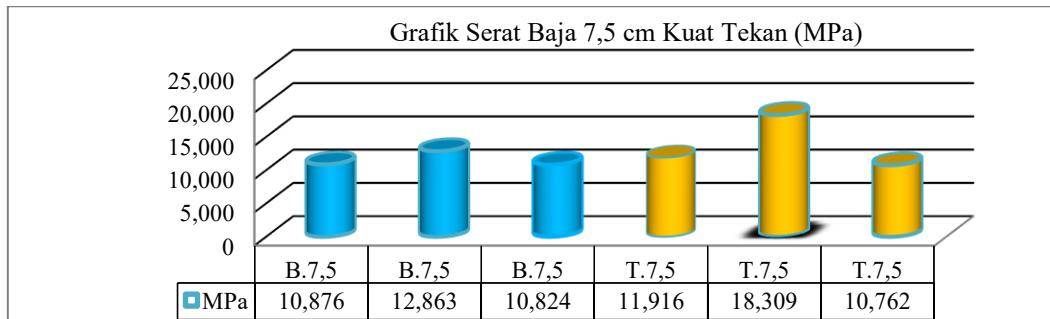
Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder dengan diameter 7,6 cm dan tinggi 15 cm pada umur 28 hari dan selengkapnya disajikan ditabel 4.10 berikut.

Tabel 10. Hasil pengujian kuat tekan

No	Kode benda	Tanggal		Umur benda uji (Hari)	Dimensi benda uji	Berat benda uji (kg)	Luas bidang (mm ²)	Berat isi (kg/cm ²)	Gaya tekan (kn)	Kuat tekan (mpa)
		Uji	Membuat							
1	B.7,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1494,5	4.536.460	2.195	49.339
2	B.7,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1513	4.536.460	2.223	58.354
3	B.7,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1509,1	4.536.460	2.217	48.824
4	T.7,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1508,6	4.536.460	2.216	54.057
5	T.7,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1507,3	4.536.460	2.214	83.057
6	T.7,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1492,3	4.536.460	2.192	48.824
7	B.5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1529,8	4.536.460	2.247	53.267
8	B.5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1526,1	4.536.460	2.242	59.311
9	B.5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1490,6	4.536.460	2.189	47.561
10	T.5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1508,7	4.536.460	2.216	75.449
11	T.5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1509,4	4.536.460	2.217	76.844
12	T.5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1579	4.536.460	2.247	52.081
13	B.2,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1489,7	4.536.460	2.188	38.200
14	B.2,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1523,1	4.536.460	2.238	61.737
15	B.2,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1557,7	4.536.460	2.288	65.529
16	T.2,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1509,7	4.536.460	2.217	81.646
17	T.2,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1425	4.536.460	2.09	84.826
18	T.2,5	25-Mar	21-Apr	28	15	7,6	1510,1	4.536.460	2.219	91.429
19	Nrml	25-MAR	21-apr	28	15	7,6	1557,7	4.536.460	2.288	114.88
										25.323

Sumber: Pengolahan data 2025

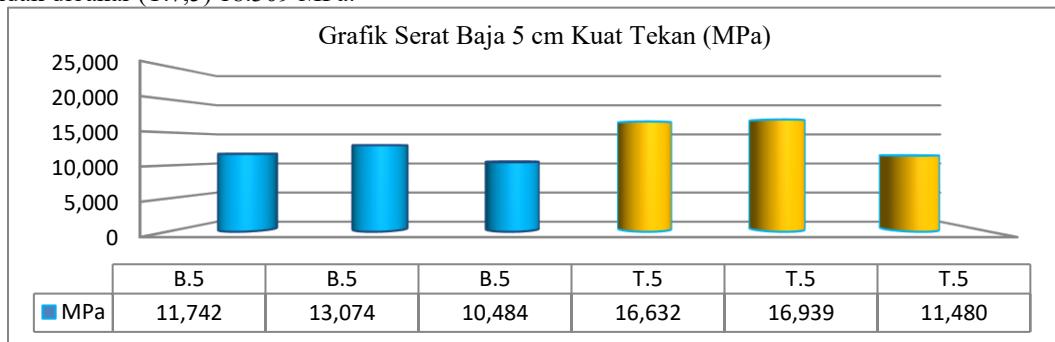
Dari tabel 10 diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh variasi penambahan serat baja ban bekas terhadap kuat tekan dan gambar pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada Gambar 2, 3, 4 dan 5 berikut:



Gambar 2. Grafik hubungan pengaruh variasi serat baja 7,5cm kuat tekan

Sumber: Pengolahan data 2025

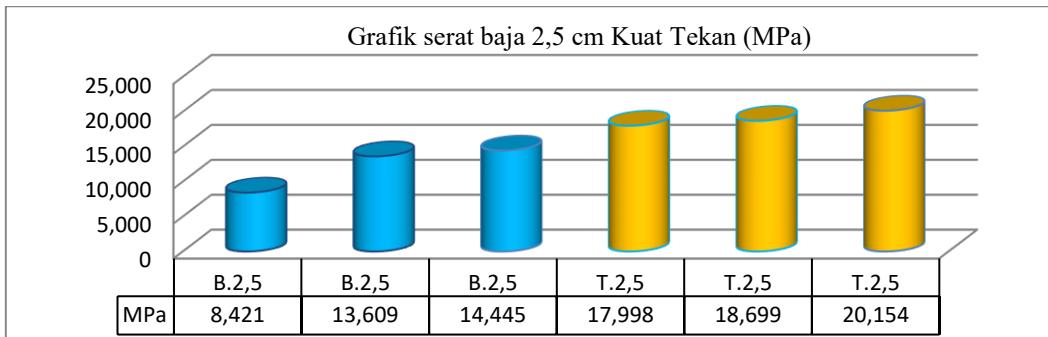
Dari hasil penelitian tersebut maka didapatkan kuat tekan tertinggi ada di serat terbakar (B.7,5) 12.863 MPa dan serat tidak dibakar (T.7,5) 18.309 MPa.



Gambar 3. Grafik hubungan pengaruh variasi serat baja 5 cm kuat tekan

Sumber: Pengolahan data 2025

Dari hasil penelitian tersebut maka didapatkan kuat tekan tertinggi di serat terbakar (B.5) 13.074 MPa dan serat tidak dibakar (T.5) 16.939 MPa.



Gambar 4. Grafik hubungan pengaruh variasi serat baja 2,5 cm kuat tekan
Sumber: Pengolahan data 2025

Dari hasil penelitian tersebut maka didapatkan kuat tekan tertinggi di serat terbakar (B.2,5) 14.45 MPa dan serat tidak dibakar (T.2,5) 20.154 MPa.



Gambar 5. Pengujian kuat tekan
Sumber: Lapangan 2025

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan perbandingan serat baja dari limbah ban motor yang terbakar dan tidak terbakar mengalami penurunan dibandingkan beton normal sebesar 25,323 MPa. Penurunan ini terlihat pada variasi kandungan serat 2,5, 5 dan 7,5 dengan campuran 1% serat baja menunjukkan penurunan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh perubahan sifat mekanis serat akibat proses pembakaran, yang mengakibatkan kerapuhan material dan kurangnya efektivitas antara serat dan matriks beton dan adanya residu karet atau material lain yang menempel pada permukaan serat, yang dapat mengganggu ikatan antara serat dan matriks beton. Selain itu, keberadaan serat dalam beton cenderung menciptakan rongga mikro yang mengurangi kepadatan beton dan berdampak negatif pada kekuatan tekan.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur dalam penelitian ini menggunakan dua beban (*third-point loading*) sesuai dengan prosedur ASTM C78, yaitu pada saat beton berumur 28 hari. Serat baja ban yang digunakan berasal dari limbah ban motor yang dibedakan menjadi dua kategori yang dimana serat terbakar dengan (simbol B) dan tidak terbakar (simbol T) serat – serat tersebut memiliki bentuk lurus yang digunakan pada beton berbentuk balok sepanjang 2,5, 5 dan 7,5 cm dengan penambahan serat baja 1% dari jumlah semen yang dibutuhkan. Dari pengujian tegangan yang dilakukan dengan alat matest, Pengujian dilakukan dengan memberikan beban secara menerus hingga balok mengalami keruntuhan Kuat lentur diteliti dengan membebani balok tiap 1/3 dari tumpuannya. Dari data pengujian kuat lentur dapat diperoleh kuat lentur beton sebagai contoh perhitungan kuat lentur diambil data benda uji bakar 7,5 (b.7,5) pada beton berumur 28 hari. Dari hasil pengujian didapat kuat tekan beton menurut persamaan sebagai berikut :

$$Fs = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

$$Fs = \frac{2345,33 \times 45}{15 \cdot 15^2} = \frac{105.539,85}{3,375} = 31,3 \text{ MPa}$$

Keterangan: Fs = Kuat lentur benda uji (MPa), P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (Ton), L = Jarak antara 2 (dua) garis perletakan (mm), b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm), dan h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm).

Hasil pengujian kuat lentur beton pada benda uji balok berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. pada umur 28 hari dan

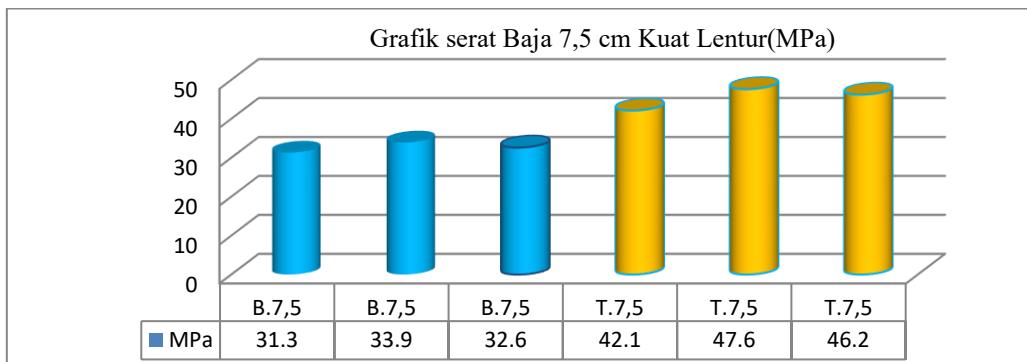
selengkapnya disajikan ditabel 11.

Tabel 11. Pengujian kuat lentur.

No	Tanggal	Umur	Berat	Isi	Berat isi	Luas	Campuran	Slump	Kuat lentur	Beban	Kuat lentur
	Dibuat	Ditest	Hari	(Gr)	(Cm ³)	(Gr/Cm ³)	(Cm ²)	Kode	(Cm)	(Kn)	(Mpa)
1	25-Mar	21-Apr	28	30.100	13.500	2,230	900	B.7,5	7	23	2345,333
2	25-Mar	21-Apr	28	30.300	13.500	2,244	900	B.7,5	7	25	2549,275
3	25-Mar	21-Apr	28	30.200	13.500	2,237	900	B.7,5	7	24	2447,304
4	25-Mar	21-Apr	28	30.300	13.500	2,244	900	T.7,5	7	31	3161,101
5	25-Mar	21-Apr	28	30.500	13.500	2,259	900	T.7,5	7	35	3568,985
6	25-Mar	21-Apr	28	30.100	13.500	2,230	900	T.7,5	7	34	3467,014
7	25-Mar	21-Apr	28	30.200	13.500	2,237	900	B.5	7	24	2447,304
8	25-Mar	21-Apr	28	30.100	13.500	2,230	900	B.5	7	23	2345,333
9	25-Mar	21-Apr	28	30.100	13.500	2,230	900	B.5	7	24	2447,304
10	25-Mar	21-Apr	28	30.300	13.500	2,244	900	T.5	7	30	3059,13
11	25-Mar	21-Apr	28	30.400	13.500	2,252	900	T.5	7	34	3467,014
12	25-Mar	21-Apr	28	30.200	13.500	2,237	900	T.5	7	31	3161,101
13	25-Mar	21-Apr	28	30.100	13.500	2,230	900	B.2,5	6	23	2345,333
14	25-Mar	21-Apr	28	30.300	13.500	2,244	900	B.2,5	6	29	2957,159
15	25-Mar	21-Apr	28	30.200	13.500	2,237	900	B.2,5	6	24	2447,304
16	25-Mar	21-Apr	28	30.200	13.500	2,237	900	T.2,5	6	34	3467,014
17	25-Mar	21-Apr	28	30.400	13.500	2,252	900	T.2,5	6	36	3670,956
18	25-Mar	21-Apr	28	30.100	13.500	2,230	900	T.2,5	6	34	3467,014

Sumber: Pengolahan data 2025

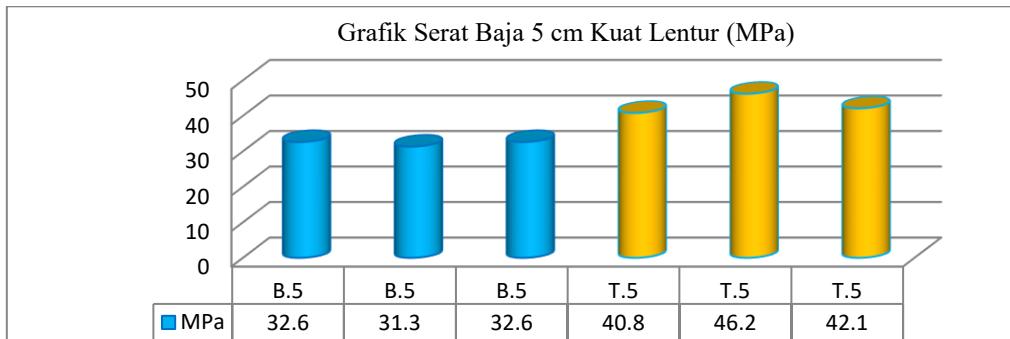
Dari Tabel 11. diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh variasi penambahan serat baja ban bekas terhadap kuat lentur dan gambar pengujian kuat lentur yang dapat dilihat Pada Gambar 6, 7, 8 dan 9 berikut:



Gambar 6. Grafik hubungan pengaruh variasi serat baja 7,5 cm kuat lentur

Sumber: Pengolahan data 2025

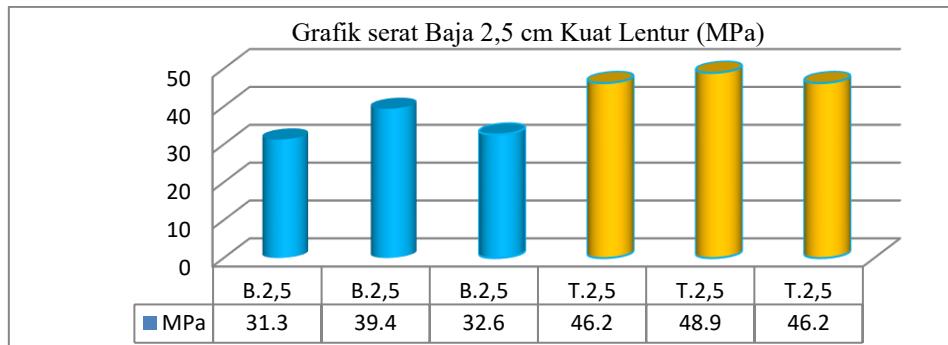
Dari hasil penelitian tersebut maka didapatkan kuat lentur tertinggi di serat terbakar (B.7,5) 33,9 MPa dan serat tidak dibakar (T.7,5) 47,6 MPa.



Gambar 7. Grafik hubungan pengaruh variasi serat baja 5 cm kuat lentur.

Sumber: Pengolahan data 2025

Dari hasil penelitian tersebut maka didapatkan kuat lentur tertinggi di serat terbakar (B.5) 32,6 MPa dan serat tidak dibakar (T.5) 46,2 MPa.



Gambar 8. Grafik hubungan pengaruh variasi serat baja 2,5 cm kuat lentur.

Sumber: Pengolahan data 2025

Dari hasil penelitian tersebut maka didapatkan kuat lentur tertinggi di serat terbakar (B.2,5) 39,4 MPa dan serat tidak dibakar (T.2,5) 48,9 MPa.



Gambar 9. Pengujian kuat lentur.

Sumber: lapangan 2025

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat lentur beton dengan serat baja dari limbah ban motor yang terbakar dan tidak terbakar mengalami peningkatan dibandingkan beton normal. Peningkatan ini terlihat pada variasi kandungan serat 2,5, 5 dan 7,5 dengan campuran 1% serat baja. Hal ini dapat dijelaskan oleh keberadaan komponen *steel belt* pada serat baja ban motor, yang memiliki sifat kuat tarik. Komponen ini berperan dalam meningkatkan daktilitas dan kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik, meskipun kontribusinya terhadap kekuatan tekan relatif terbatas. Dengan demikian, serat baja dari limbah ban motor lebih efektif meningkatkan sifat lentur beton daripada sifat tekan.

4. KESIMPULAN

1. Penambahan serat baja dari limbah ban motor yang terbakar pada campuran beton menurunkan kuat tekan beton secara signifikan jika dibandingkan dengan beton normal (25,323 MPa). Rata-rata kuat tekan tertinggi pada variasi panjang 2,5 cm hanya mencapai 14,45 MPa. Meskipun demikian, kuat lentur mengalami peningkatan, dengan nilai tertinggi pada panjang serat 2,5 cm sebesar 39,4 MPa. Penurunan kuat tekan disebabkan oleh berkurangnya kualitas mekanis serat akibat proses pembakaran.
2. Penambahan serat baja dari limbah ban motor yang tidak dibakar menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan serat terbakar, terutama dalam meningkatkan kuat lentur beton. Kuat lentur tertinggi dicapai pada panjang serat 2,5 cm sebesar 48,9 MPa, dan kuat tekan tertinggi pada panjang 2,5 sebesar 20,154 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa serat tidak terbakar mempertahankan integritas struktur baja yang lebih baik.
3. Secara umum, serat baja yang tidak terbakar lebih efektif dalam meningkatkan kuat lentur beton daripada serat yang terbakar. Namun, keduanya tetap menunjukkan penurunan kuat tekan dibandingkan beton normal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aryani, F.D. (2022) 'Pengaruh Penggunaan Serat Baja terhadap Kuat Tekan Beton ALWA', *Musamus Journal of Civil Engineering*, 4(02), pp. 51–55. Available at: <https://doi.org/10.35724/mjce.v4i02.4302>.
- [2] Johannes, D. et al. (2017) 'Pengaruh penambahan serat baja 4D dramix terhadap kuat tekan, tarik belah, dan lentur pada beton', *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 6(2), pp. 40–47.
- [3] Kusumawati, A. (2010) 'Pengaruh Pemakaian Serat Baja Ban Bekas Pada Beton dengan Agregat Daur Ulang Terhadap Kuat Tarik Belah dan Modulus of Rupture'.

- [4] Laila Indah, R. (2023) 'Analisis Kombinasi Campuran Serat Baja Dan Kawat Bendrat Pada Beton Konvensional', 11(3), pp. 571–584.
- [5] Mulyati, E. (2017) 'Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Muatan Lokal Pasir Siring Agung Dan Batu Pecah Malus', *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 3(1), pp. 8Mulyati, E. (2017) 'Pengujian Kuat Tekan Beton De. Available at: <https://doi.org/10.35449/teknika.v3i1.42>.
- [6] Primasari, A.P. (2010) 'Penggunaan Agregat Daur Ulang Terhadap Susut Kering (Drying Shrinkage) Pada Beton Precast Penggunaan Agregat Daur Ulang Terhadap Susut Kering (Drying Shrinkage) Pada Beton Precast'.
- [7] Puja, N., Agustriana, V. and Irianti, L. (2020) 'Pengaruh Penambahan Serat Baja dan Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton', *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 8(4), pp. 681–692.
- [8] Putra, A.M. and Noorhidana, V.A. (2020) '1366-6684-1-Pb', 8(2), pp. 367–384.
- [9] Studi, P. *et al.* (2024) 'NORMAL DENGAN BETON CAMPURAN BAN BEKAS'.
- [10] Sulthan, F. (2019) 'Pengaruh Tipe Bentuk Serat Baja Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Beton Berserat Baja Memadat Sendiri', *Cantilever*, 8(1), p. 29. Available at: <https://doi.org/10.35139/cantilever.v8i1.71>.
- [11] Syafpoetri, N.A., Djauhari, Z. and Olivia, M. (2018) 'Karakteristik Mortar Dengan Campuran Abu Kerang Lokan Dalam Rendaman NaCl', *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 14(1), p. 63. Available at: <https://doi.org/10.25077/jrs.14.1.63-72.2018>.
- [12] Trianziani, S. (2020) 'View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk', 4(November), pp. 274–282.
- [13] Wibisono, E.K. *et al.* (2018) 'Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Peningkatan Kuat Kokoh Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Kuat Lentur Murni Pada Beberapa Mutu Steel Fiber Reinforced Concrete', *Jurnal Dimensi Pratama Teknik*, 7 (1)(ISSN 2598-2397), pp. 1–8.

TATA RUANG RUMAH TRADISIONAL DI KECAMATAN BANYUBIRU, KABUPATEN SEMARANG

*Muhammad Agung Wahyudi¹, Baju Arie Wibawa²

^{1,2}Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI , Semarang

*)Email: agungwahyudi@upgris.ac.id

ABSTRACT

Banyubiru is one of the sub-districts in Semarang Regency which is located on the slopes of Mount Telomoyo. Traditional houses in this area especially in Sepakung village and its surroundings, are javanese houses with distinctive characteristics that are different from Javanese houses in other areas, namely a single mass with two or three roof forms extending to back. Inside the house there are still four sakaguru pillars under the main roof. This study aims to reveal the shape of the houses in Sepakung village and its surroundings. We will look at the spatial pattern of the house, to study the extent to which the Javanese house layout pattern is still being applied or not. The method used is descriptive-analytical, which is looking at existing phenomena and then analyzing them by comparing them with the original Javanese house layout. From the observations made, the shape of the traditional house around the village of Sepakung still shows a relationship with the form of a traditional Javanese house (joglo), only the shape is simplified into one mass. The spatial pattern itself shows differences from the original Javanese house layout due to its simplification, such as the phenomenon of senthong Tengah desacralization, positional shift and addition of senthong/bedroom as needed. Despite these differences, there are still characteristics of Javanese spatial planning that are still maintained, namely the construction of the saka guru with its rong-rongan.

Keyword: Javanese Architecture, Banyubiru, Traditional House, Sepakung, Spatial Planning,

ABSTRAK

Banyubiru adalah salah satu kecamatan di Kabupaten Semarang yang berada di lereng gunung Telomoyo. Rumah-rumah tradisional di daerah ini khususnya desa Sepakung dan sekitarnya adalah rumah jawa dengan karakteristik khas yang berbeda dengan rumah-rumah jawa di daerah lain yaitu bermassa tunggal dengan dua atau tiga bentuk atap memanjang ke belakang. Di dalam rumah masih terdapat empat *sakaguru* dibawah atap utama. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan pola tata ruang rumah-rumah tradisional di kecamatan Banyubiru tersebut untuk dikaji sejauh mana pola tata ruang rumah jawa masih diterapkan. Metode yang digunakan adalah deskriptif-analitis, yaitu melihat fenomena yang ada dan kemudian dianalisis dengan membandingkannya dengan tata ruang rumah Jawa asli. Dari pengamatan yang dilakukan, bentuk rumah tradisional di sekitar desa Sepakung ini ternyata masih menunjukkan keterkaitan dengan bentuk rumah jawa tradisional yaitu *joglo* yang lengkap, hanya bentuknya disederhanakan menjadi satu massa. Pola tata ruangnya sendiri menunjukkan perbedaan dengan tata ruang rumah jawa asli akibat adanya penyederhanaan tersebut, seperti adanya fenomena desakralisasi *senthong tengah*, pergeseran posisi maupun penambahan *senthong* sesuai kebutuhan penghuni. Walaupun ada beberapa perbedaan tersebut, masih ada ciri khas tata ruang rumah jawa yang masih terjaga, yaitu konstruksi *saka guru* dengan *rong-rongan*nya.

Kata kunci: Arsitektur Jawa, Banyubiru, Rumah Tradisional, Sepakung, Tata Ruang

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

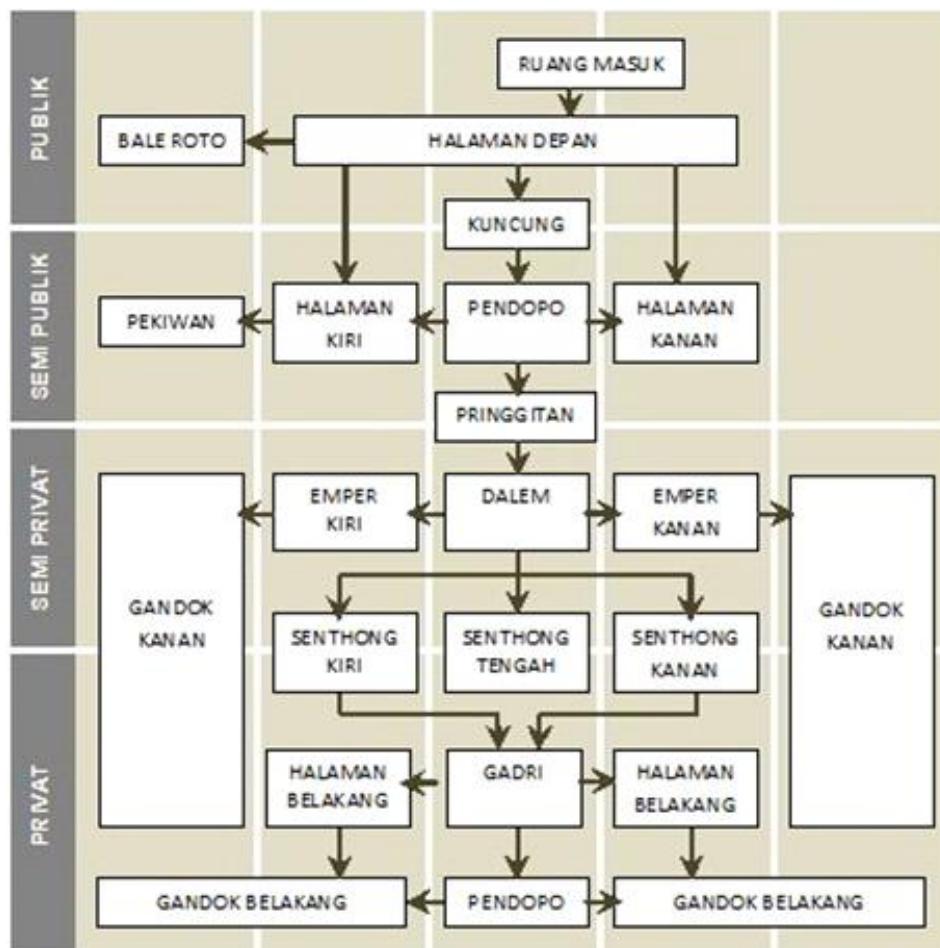
Jawa adalah salah satu kebudayaan tertua di Indonesia yang diwariskan secara turun temurun di wilayah Jawa Tengah dan Jawa Timur. Seringkali budaya Jawa dimaknai tunggal, namun sebenarnya terdapat perbedaan sikap dan perilaku masyarakatnya. Perbedaan ini muncul karena kondisi geografis yang membuat budaya Jawa terbagi menjadi beberapa wilayah kebudayaan. Setiap wilayah memiliki karakteristik khas dalam mengimplementasikan nilai-nilai budaya Jawa ke dalam kehidupan sehari-hari [1]. Meskipun Pulau Jawa lebih kecil dibandingkan pulau-pulau lain di Indonesia, pulau ini memiliki tingkat pertumbuhan dan perkembangan yang sangat tinggi dan signifikan [2].

Kecamatan Banyubiru terletak di dekat danau Rawapening, Ambarawa, sebagian wilayahnya berada di lereng gunung Telomoyo. Pemukiman di daerah ini sudah cukup tua dilihat dari adanya candi Dukuh pada masa Hindu-Budha di tepian Rawapening. Dari letaknya, wilayah ini termasuk dalam daerah kebudayaan *Negarigung* yang sudah berkebudayaan tinggi seperti juga Kraton Surakarta walaupun lokasinya sudah cukup jauh dari keraton [3]. Rumah tradisional seperti ini juga masih sangat eksis pada kawasan pedesaan walaupun jauh dari pusat pemerintahan atau Mancanegari [4]. Rumah tradisional di daerah lereng gunung Telomoyo ini mempunyai keunikan bentuk yang berbeda dengan rumah-rumah Jawa di daerah lain yang alamnya relatif datar seperti Pesisir Wetan seperti Demak, Kudus, Jepara [5].

Rumah tradisional mencitrakan status sosial pemilik yang juga berarti bahwa rumah tradisional memiliki makna simbolis dan kultural [6]. Penelitian tentang rumah tradisional, simbol dan budaya di pegunungan Jawa Tengah masih belum banyak. Hermawan mengungkapkan karakteristik rumah tradisional di berbagai pegunungan di Jawa Tengah dari kondisi termalnya [7]. Penelitian ini bermaksud mengungkapkan karakteristik bentuk dan pola tata ruang rumah tradisional Jawa di pegunungan Telomoyo khususnya di desa Sepakung dan sekitarnya. Karena Desa Sepakung kini sudah menjadi desa wisata, pengungkapan karakter rumah tradisional disana akan sangat penting dalam kaitannya perancangan dan pembuatan *homestay*.

Tinjauan Pustaka

Arsitektur rumah tradisional merupakan arsitektur lokal yang dikembangkan di suatu daerah tertentu dengan menggunakan bahan bangunan setempat dan tradisi membangun yang diwariskan secara turun-temurun [8]. Rumah Jawa yang lengkap terdiri dari beberapa massa bangunan dengan berbagai ruang [9]. Bagian depan sebagai ruang publik adalah Pendopo, kemudian Pringgitan, Rumah inti (*Dalem*) yang dikelilingi oleh *Gandok* di kiri-kanan (Ruang tidur anak laki-laki) serta *Pawon* (dapur) dan *Pekikan* (kamar mandi) di belakang [10].



source : Arya Ronald:1990

Gambar 1. Ruangan dalam Rumah Jawa

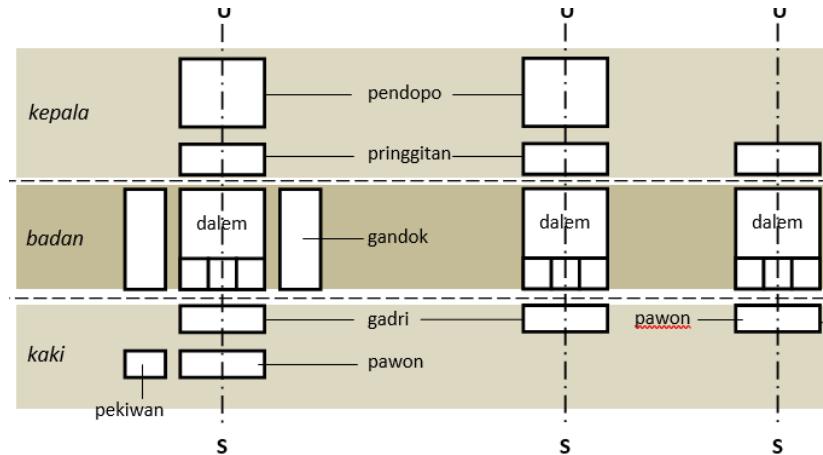


sumber Heinz Frick:1997

Gambar 2. Rumah Jawa yang lengkap terdiri dari beberapa massa dengan bentuk atap yang berbeda

Arsitektur memiliki peran penting sebagai penanda kekuatan, status, dan privasi sehubungan dengan keyakinan kosmologis. Kosmologi Jawa juga mencakup makna dikotomi, misalnya, sakral dan profan, pria dan wanita, depan dan belakang, dan privat dan publik [10].

Rakyat biasa yang tidak bisa membangun rumah Jawa secara lengkap, dianjurkan untuk menyesuaikan dengan cara menyederhanakan rumahnya baik dalam bentuk bangunan maupun ruang-ruangannya [11].



Sumber : Heinz Frick, 1997

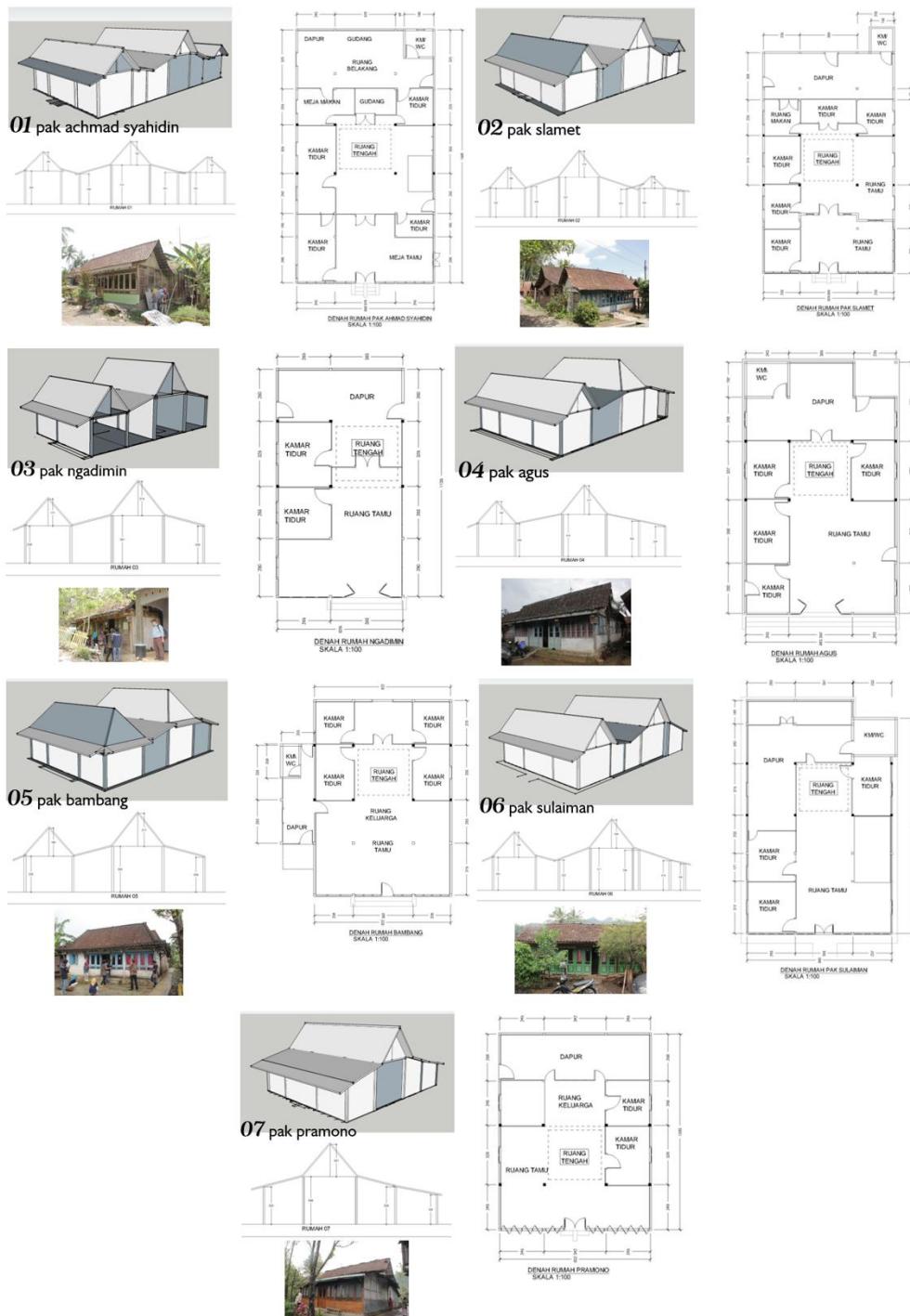
Gambar 3. Tata ruang rumah tradisional Jawa dari yang lengkap hingga rumah yang lebih kecil

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode kualitatif dalam menggali, mengkaji dan mengungkapkan permasalahan penelitian. Pemilihan obyek penelitian dilakukan dengan kriteria: (1) Berupa rumah tradisional jawa dengan material kayu, (2) Di bagian dalam rumah masih terdapat *sakaguru* di bawah bentuk atap utama [9]. Setelah dilakukan pendataan awal, didapatkan jumlah sampel obyek sebanyak tujuh rumah yang sebagian besar (lima rumah) berada di desa Sepakung dan dua rumah berada di desa sebelah.

Pengumpulan data menggunakan cara observasi langsung dengan mengunjungi obyek, kemudian merekam dan mendokumentasikannya dengan mencatat, mengukur, menggambar serta mengambil foto. Data kemudian diurutkan, digambar ulang dan diorganisasikan. Adapun parameter tinjauan obyek antara lain dengan menampilkan obyek dalam bentuk: (1) Denah, (2) Potongan samping, (3) Perspektif untuk menampilkan sosok bentuk atap rumah. agar bisa ditampilkan serta dibandingkan sehingga bisa ditarik kesamaan atau perbedaan.

Analisis dilakukan secara deskriptif-kualitatif, agar diperoleh gambaran obyek yang sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta-fakta, sifat-sifat serta hubungan antar fenomena yang diselidiki. Analisis data bersifat induktif, dan hasil penelitian kualitatif lebih menekankan makna daripada generalisasi. Oleh karena itu penggunaan pendekatan jenis kualitatif dalam pembahasannya atau ketika mencocokkan antara realita empirik dengan teori yang berlaku, dilakukan dengan metoda deskriptif.



sumber: Survey lapangan

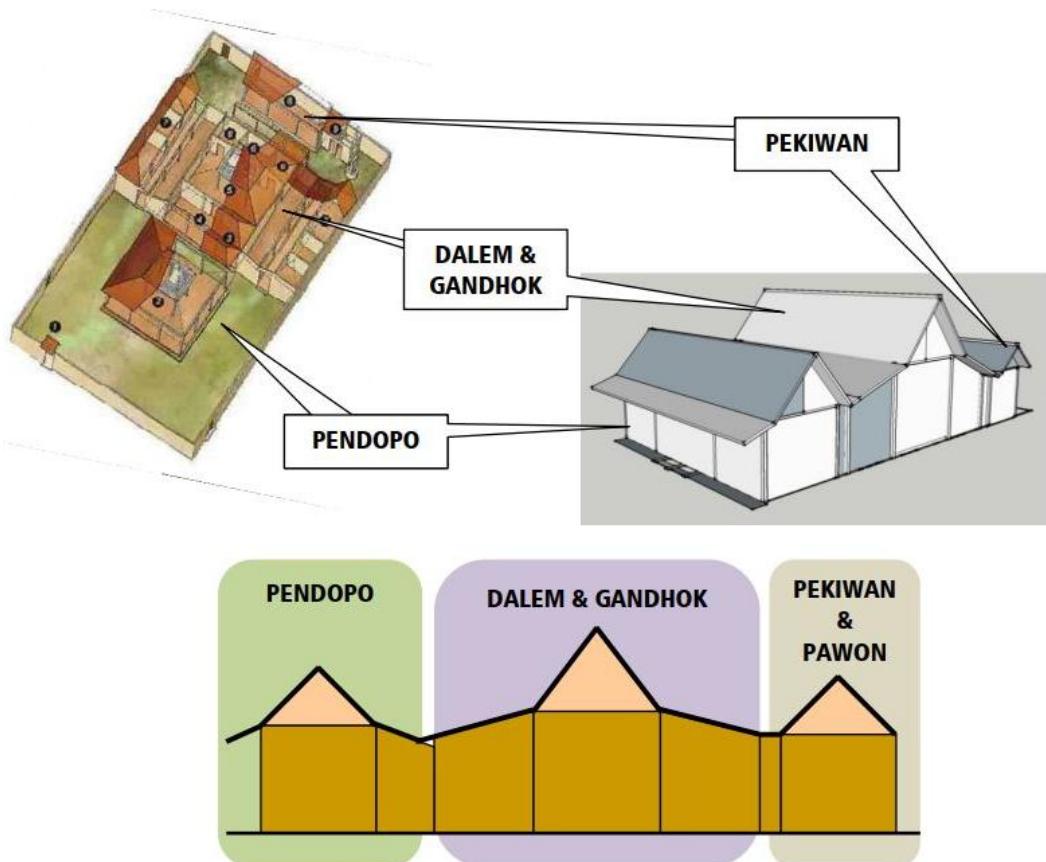
Gambar 4. Data rumah hasil pengamatan

a. Pembahasan

Dari ketujuh obyek amatan, ada dua rumah yang terdiri dari tiga bentuk atap pelana berderet ke belakang yaitu rumah Bp. Achmad Syahidin dan rumah Bp. Slamet. Jika dibandingkan dengan rumah Jawa yang lengkap, hal ini merupakan penyederhanaan massa *pendopo*, *dalem* dan *pekiwan*.

Empat rumah berikutnya mempunyai dua bentuk atap pelana yaitu rumah Bp. Ngadimin, Bp. Agus, Bp. Bambang dan Bp. Sulaiman. Dari ruang yang dinaunginya, kedua atap pelana tersebut merupakan penyederhanaan dari *pendopo* dan *dalem* (kecuali rumah Bp. Bambang yang bagian *dalem*-nya beratap limasan). Perbedaan dengan kedua rumah sebelumnya adalah bagian belakang (*pekiwan*) atapnya berupa atap miring.

Ada satu rumah yang hanya mempunyai satu bentuk atap pelana yaitu rumah Bp. Pramono. Rumah ini ukurannya paling kecil dibandingkan rumah-rumah lainnya sehingga bagian *pendopo* dan *pekiwan* atapnya berupa atap miring.

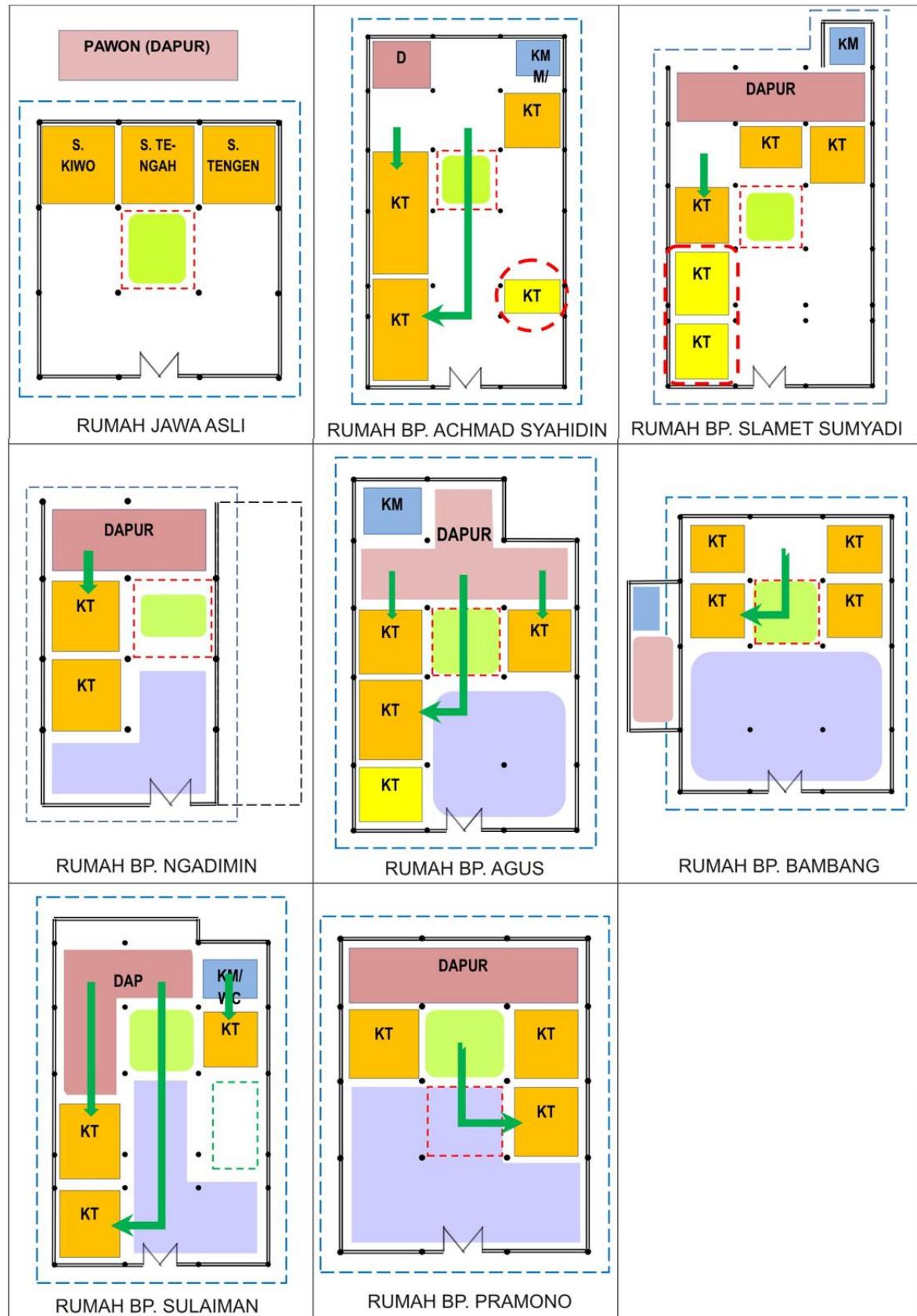


sumber: hasil analisis

Gambar 5. Penyederhanaan bentuk rumah jawa dalam rumah tradisional di Banyubiru

b. Pola Tata Ruang

Penyederhanaan rumah Jawa yang terdiri dari beberapa bentuk massa menjadi bentuk massa tunggal pada obyek amatan akan berpengaruh pada pola tata ruangnya. Pada rumah Jawa yang lengkap, kamar tidur anak terletak pada bangunan *gandok* kiri maupun *gandok* kanan, sedangkan dapur terletak di *pekiwan* yang posisinya di belakang rumah. Dengan menyatunya *gandok* kiri dan kanan serta *pekiwan* ke rumah induk, susunan ruang yaitu kamar (*senthong*) akan berubah.



sumber: hasil analisis

Gambar 6. Perbandingan tata ruang rumah Jawa dengan rumah obyek amatan di Banyubiru

Pada dua rumah pertama, perubahan tata ruangnya bisa dikatakan sama. Di rumah Bp. Achmad Syahidin, dapur berada di rumah bagian belakang beratap miring. *Senthong* kanan masih ada, tapi *senthong* kiri posisinya bergeser ke depan (samping *rong-rongan*). *Senthong* tengah ukurannya diperkecil dan digunakan sebagai Gudang, sementara area *senthong* kiri digunakan untuk ruang makan. Ada penambahan kamar di depan *senthong* kiri.

Di rumah Bp. Slamet Sumyadi, hal yang hampir sama terjadi. *Senthong* kanan dan tengah masih ada, sedangkan *senthong* kiri bergeser ke depan (samping *rong-rongan*). Area *senthong* kiri digunakan sebagai ruang makan. Bedanya, *senthong* tengah masih berfungsi sebagai kamar, kemudian penambahan kamar tidur di depan *senthong* kiri ada dua buah.

Rumah Bp. Ngadimin paling pendek ukuran ke belakangnya, luasannya juga sudah berkurang karena bagian kanan sudah diambil untuk pembuatan rumah anaknya, sehingga hanya ada *senthong* kiri dan Tengah. Kedua *senthong* tersebut sudah berubah posisi ke depan dan samping sedangkan Lokasi *senthong* kini menjadi dapur.

Rumah Bp. Agus dan Bp. Bambang posisinya bersebelahan, dan sama-sama terdiri dari dua bentuk atap namun bentuknya berbeda. Rumah pak Agus beratap pelana sedangkan pak Bambang atapnya limasan. Pada rumah pak Agus *senthong* kiri dan kanan maju ke sebelah *rong-rongan*, sedangkan *senthong* tengah maju ke depan *senthong* kiri. Kemudian ada penambahan satu kamar lagi didepan *senthong* tengah tersebut. Area *senthong* kini menjadi dapur yang cukup luas berdenah T terbalik.

Di rumah Bp. Bambang juga ada empat kamar tidur, namun dengan posisi simetris. *Senthong* kiri dan kanan tetap, sedangkan *senthong* tengah berpindah ke sebelah *rong-rongan* dan ditambah satu kamar tidur lagi mengapit *rong-rongan*. Berbeda dengan rumah-rumah lain, karena lahananya terbatas, letak dapur dan KM ada di bagian kanan di sebelah kamar tidur dengan pintu di ruang keluarga.

Tata ruang rumah pak Sulaiman mirip dengan rumah pak Agus, bedanya jumlah kamar tidurnya hanya tiga. Hanya ada satu *senthong* di sebelah *rong-rongan* yaitu di sisi kanan. *Senthong* kiri maju hingga depan *rong-rongan*. Area *senthong* kiri dan tengah beralih menjadi dapur sedangkan *senthong* kanan menjadi KM. Dapurnya memanjang sampai sisi *rong-rongan* dengan denah letter L terbalik. Di ruang tamu yang cukup luas itu terdapat *amben/bale-bale* di bagian kanan.

Rumah pak Pramono terhitung paling kecil, hanya mempunyai satu bentuk atap pelana dengan emperan yang memanjang di belakang. *Senthong* kiri dan kanan masih tetap, hanya *senthong* tengah beralih maju ke depan *senthong* kanan. Area *senthong* tengah menjadi ruang keluarga. Dapur menempati area dibelakang *senthong*.

Berbagai pola tata ruang rumah-rumah obyek amatan tersebut bisa diringkas dalam bentuk tabel berikut ini:

Tabel 1. Perubahan letak senthong obyek amatan dibandingkan senthong rumah Jawa asli

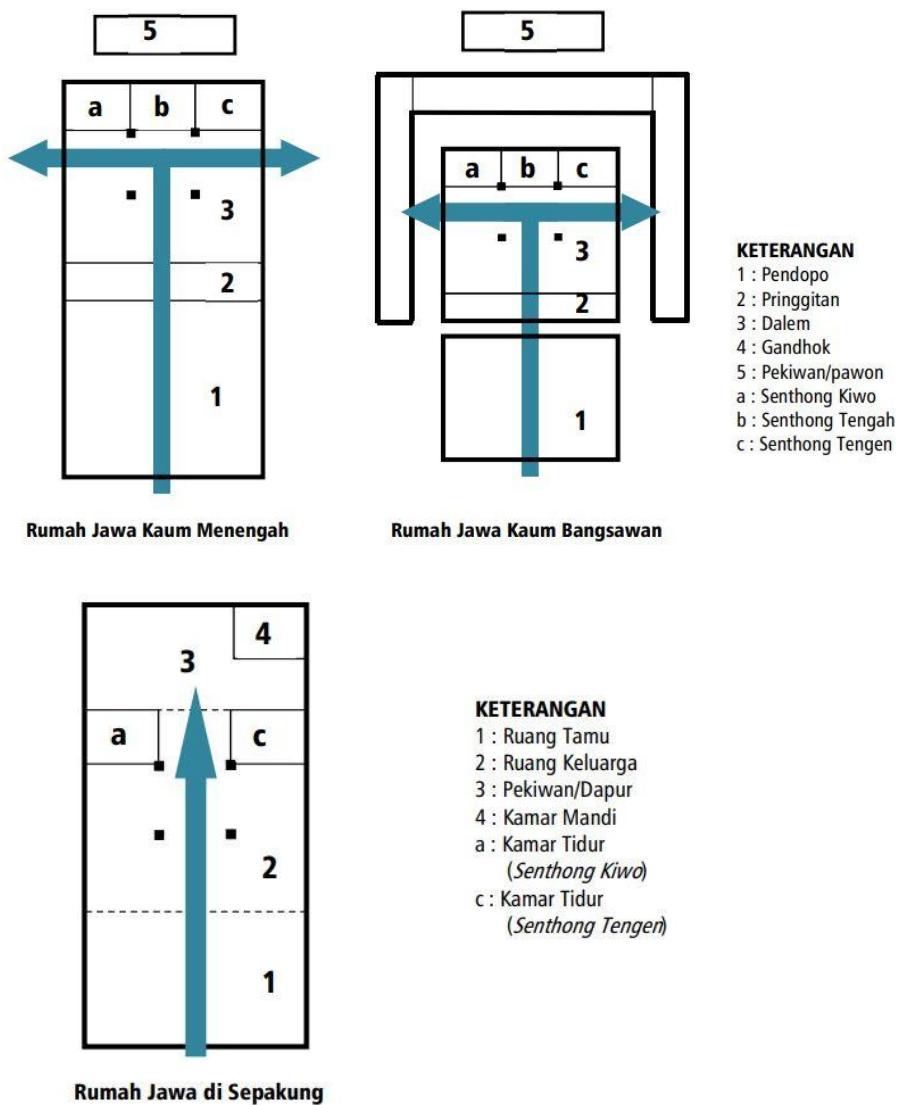
PEMILIK (JML K.TIDUR)	KIRI	TENGAH	SENTHONG KANAN	TAMBAHAN
Achmad Syahidin (4 KT)	▪Maju ke depan ▪Berubah jadi r.makan	Jadi gudang	Tetap	▪Di depan senthong kiri Di ruang tamu
Slamet Sumyadi (5 KT)	▪Maju ke depan ▪Berubah jadi r.makan	Tetap (ukuran mengecil)	Tetap	Di depan senthong kiri
Ngadimin (2 KT)	▪Maju ke depan ▪Berubah jadi dapur	Maju ke depan senthong kiri	-	-
Agus (4 KT)	▪Maju ke depan ▪Berubah jadi dapur	Maju ke depan senthong kiri	Maju ke depan	▪Di depan senthong kiri
Bambang (4 KT)	Tetap	Maju ke depan	Tetap	▪Di depan senthong kiri Di depan senthong kanan
Sulaiman (3 KT)	▪Maju ke depan ▪Berubah jadi dapur	Maju ke depan senthong kiri	▪ Maju ke depan ▪ Berubah jadi KM	Tidak ada
Pramono (3 KT)	Tetap	Maju ke depan senthong kanan	Tetap	Tidak ada

sumber: hasil analisis

Dengan menganggap rumah-rumah tradisional di Banyubiru sebagai miniatur rumah Joglo karena adanya kesamaan susunan ruang dan konstruksi *saka guru*, maka pola tata ruang rumah bisa dipahami dengan

membandingkannya dengan tata ruang rumah *joglo* lengkap. Hasilnya, ada perbedaan tata ruang pada rumah-rumah Banyubiru, seperti:

- 1) Bagian *pekiwan* pada obyek amatan menyatu dengan rumah, sedangkan *pekiwan* pada rumah *joglo* merupakan bangunan terpisah yang terletak di belakang, menyambung dengan *gandhok* di sisi kiri-kanan.
- 2) Rumah *joglo* asli memiliki tiga *senthong* (kamar tidur) di bagian belakang *dalem/saka guru*, yaitu *senthong kiwo*, *senthong tengah* dan *senthong tengen*. Pada rumah-rumah obyek amatan ini susunan kamar tidurnya berbeda, tidak lagi tiga berjajar di belakang *saka guru*. Perbedaan ini karena ada akses ke *pekiwan/dapur* di bagian belakang, sehingga ada *senthong* yang digeser ke depan.



sumber: hasil analisis

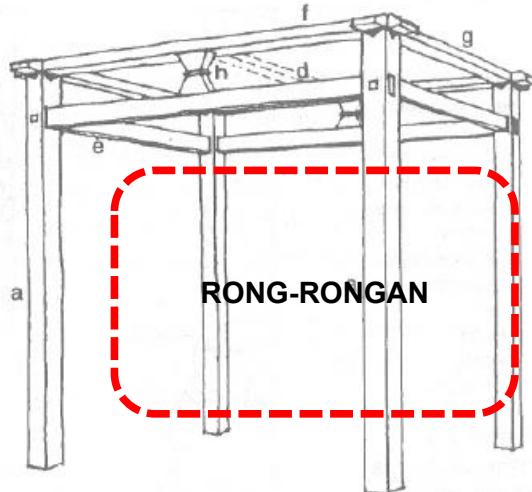
Gambar 7. Perbandingan pola sirkulasi rumah Jawa dengan rumah tradisional di Banyubiru

Selain itu di empat rumah ada penambahan kamar tidur sehingga jumlah kamarnya menjadi 4 atau 5. Jika diamati lebih jauh, posisi kamar tidur setelah pergeseran ini mayoritas berada di bagian kiri rumah. Perkecualian di rumah Bp. Bambang yang posisi empat kamar tidurnya simetris kiri-kanan dan rumah Bp. Pramono yang letak kamar tidurnya dominan di sisi kanan rumah.

c. Ciri Khas yang Masih Terjaga

Dari adanya pergeseran atau perubahan fungsi *senthong* tengah pada rumah-rumah di sekitar Banyubiru ini, bisa dikatakan telah terjadi desakralisasi *senthong* tengah. Walaupun ada penambahan kamar tidur, tidak ada kamar yang menggantikan atau berfungsi seperti *senthong* tengah. Namun meskipun ada perbedaan dan perubahan tata

ruangnya, rumah-rumah di Banyubiru ini masih mempertahankan ciri khas rumah Jawanya yaitu konstruksi *saka guru* yang membentuk *rong-rongan* di bawahnya. Ruang ini tetap berfungsi sebagai tempat berkumpul anggota keluarga, seperti ruang keluarga pada rumah modern. Dari semua rumah obyek amatan, tidak ada satupun rumah yang *rong-rongannya* digunakan untuk fungsi lain atau untuk kamar tidur. Ruang inti yang berada di tengah soko guru merupakan konsep ruang sakral yang penting dan tetap dijaga sesuai dengan konsep *Center and Duality* yang disampaikan oleh Gunawan Tjahyono [12].



Sumber : Heinz Frick, 1997

Gambar 8. Rong-rongan di rumah Jawa

3. KESIMPULAN

Dari hasil penelitianini terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rumah-rumah tradisional di Banyubiru sebagai rumah rakyat biasa merupakan penyederhanaan dari rumah joglo yang lengkap, terlihat dari adanya dua hingga tiga bentuk atap walaupun massa bangunannya tunggal, sehingga hal ini merupakan representasi dari *pendopo*, *dalem* dan *pekiwan*.
2. Ada perubahan tata ruang rumah di Banyubiru dibandingkan dengan tata ruang rumah Jawa, yaitu desakralisasi *senthong tengah* dan bertambahnya *senthong* (kamar tidur), karena perkembangan pemahaman religi dan tuntutan kebutuhan penghuni.
3. Sebagian besar *senthong* yang ada (hasil pergeseran) ditempatkan pada bagian kiri rumah (dilihat dari depan)
4. Walaupun tata ruangnya berubah, namun bagian inti rumah di Banyubiru ini masih sama seperti rumah jawa yaitu adanya *saka guru* dan *rong-rongan* di bagian bawah atap utama.

Selanjutnya sebagai saran perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pola perubahan tata ruang khususnya mengenai pertimbangan-pertimbangan dalam menentukan lokasi kamar tidur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. P. Gauthama, *Budaya Jawa dan Masyarakat Modern*. Jakarta: Pusat Pengkajian Kebijakan Teknologi Pengembangan Wilayah, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2003.
- [2] Koentjaraningrat, *Kebudayaan Jawa*, Seri Etnog. Jakarta, 1984.
- [3] Koentjaraningrat, *Kebudayaan Jawa*, Seri Etnog. Jakarta: Balai Pustaka, 1984.
- [4] B. A. Wibawa, “The existence of joglo houses owned by Javanese farmers: A case of Pondokrejo village, Rembang,” *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 402, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/402/1/012019.
- [5] T. Roesmanto, “A Study of Traditional House of Northern Central Java: A Case Study of Demak and Jepara,” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 219–226, 2002, doi: 10.3130/jaabe.1.2_219.
- [6] I. Cahyandari, “Tata Ruang Dan Elemen Arsitektur Pada Rumah Jawa Di Yogyakarta Sebagai Wujud Kategori Pola Aktivitas Dalam Rumah Tangga,” *Jurnal Arsitektur Komposisi*, vol. 10, 1997.

- [7] Hermawan, "Karakteristik Rumah Tinggal Tradisional di Daerah Pegunungan Jawa Tengah," *Jurnal PPKM UNSIQ*, vol. III, pp. 212–219, 2014.
- [8] J. Prijotomo, "GRIYA DAN OMAH Penelusuran Makna dan Signifikasi di Arsitektur Jawa," *Jurnal of Architecture and Built Environment, Dimensi*, vol. 27, 1999.
- [9] K. R. Ismunandar, *Joglo, Arsitektur rumah tradisional Jawa*. Semarang: Dahara Prize, 1986.
- [10] A. Ronald, *Ciri-ciri Karya Budaya di Balik Tabir Keagungan Rumah Jawa*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya, 1997.
- [11] H. Frick, *Pola Struktural dan Teknik Bangunan di Indonesia*. Semarang: Soegijapranata Univercity Press: Kanisius, 1997.
- [12] G. Tjahyono, "Cosmos Centre and duality in Javanese Architectural Tradition: the Symbolic Dimentions of House Shapes in Kota Gede and Surrounding," University of California, 1989.

ADAPTASI SPASIAL RUMAH PASCA-BENCANA DENGAN STRUKTUR FLEKSIBEL DAN STRUKTUR PERMANEN

*Akbar Preambudi¹, Annisa Oktareangga Dheany²

¹Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta

²Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

*) Email: akbar.preambudi@gmail.com

ABSTRACT

The Yogyakarta region and its surroundings were struck by a 6.3 magnitude earthquake in 2006, causing significant physical damage. Post-disaster housing reconstruction was carried out through various housing assistance programs. These programs produced diverse housing types that varied in architectural form, structural systems, and distribution mechanisms. Two notable examples of such housing are the dome houses in Ngelepen Village, Sleman, and the core houses in Tembi Village, Bantul. These two types of post-disaster dwellings reflect different structural approaches in terms of their capacity for spatial growth and transformation. Dome houses were designed with a fixed structural system, limiting future expansion, while core houses were built with a flexible structural concept, allowing for spatial modification and extension. Almost two decades after the earthquake, both housing types have undergone significant spatial adaptations in response to the evolving needs of their inhabitants. This study aims to evaluate how residents have spatially adapted to the design of these post-disaster homes and how such adaptations relate to their spatial cognition. The results indicate both shared and differing spatial adaptation patterns across the two housing models, emphasizing how the original structural design shapes later spatial changes. This study enhances our comprehension of post-disaster housing resilience and resident-driven spatial evolution over time.

Keyword: Spatial Adaptation, Post-Disaster Housing, Flexible Structure, Fixed Structure

ABSTRAK

Wilayah Yogyakarta yang pada tahun 2006 diguncang gempa bumi dengan kekuatan 6,3 skala richter (SR) telah menyebabkan kerusakan fisik yang cukup besar. Rekonstruksi kerusakan rumah pasca-bencana dilakukan melalui berbagai program bantuan perumahan. Rumah-rumah bantuan ini dibangun dengan beragam variasi, mencakup perbedaan dalam desain, struktur bangunan, serta mekanisme distribusinya. Dua contoh yang menonjol dari tipe rumah bantuan tersebut adalah *dome house* yang berada di Desa Ngelepen, Sleman, dan *core house* yang dibangun di Desa Tembi, Bantul. Kedua tipe hunian ini memiliki pendekatan struktur yang berbeda dalam hal potensi pengembangan. *Dome house* menerapkan struktur yang bersifat tetap (*fixed structure*), sementara *core house* dirancang dengan konsep struktur yang fleksibel (*flexible structure*), memungkinkan adanya pertumbuhan atau penyesuaian ruang. Setelah hampir dua dekade sejak bencana, kedua jenis hunian tersebut telah mengalami berbagai bentuk adaptasi dan perubahan secara spasial sebagai respons terhadap kebutuhan penghuninya. Studi ini dilakukan untuk menilai bagaimana warga menyesuaikan diri secara spasial terhadap desain rumah pasca gempa serta keterkaitannya dengan kognisi spasial mereka. Hasil penelitian menunjukkan adanya pola perbedaan maupun kesamaan dalam proses adaptasi spasial antara kedua model rumah tersebut, mencerminkan pengaruh dari struktur awal terhadap dinamika perubahan ruang yang terjadi.

Kata kunci: Adaptasi Spasial, Rumah Pasca-Bencana, Struktur Fleksibel, Struktur Permanen

1. PENDAHULUAN

Pada rekonstruksi kerusakan hunian pasca gempa di Yogyakarta dilakukan kegiatan rekonstruksi hunian dengan program-program bantuan hunian [15]. Penelitian sebelumnya [5] menyebutkan bahwa bantuan yang diberikan tersebut dibangun dengan beraneka variasi desain, struktur, dan manajemen penyalurannya berdasarkan latar belakang pemberi bantuan atau donatur. Sementara itu, rekonstruksi hunian yang dilakukan berdasarkan dari berbagai ide baik secara struktural, arsitektural, maupun ekonomi [7].

Dari beberapa jenis bantuan hunian pasca gempa, *dome house* menjadi suatu kasus yang berbeda karena menggunakan gaya arsitektur yang berbeda konsep dengan hunian lokal [15]. Penelitian terdahulu [13] menyebutkan bahwa konsep rumah *dome* tersebut mengalami berbagai adaptasi yang cukup berat, sehingga berakibat pada rendahnya tingkat. Pada rumah bantuan engan konsep *dome house*, terdapat perbedaan antara fungsi yang direncanakan dengan penggunaan yang sebenarnya terjadi di lapangan. Hal ini menunjukkan tidak adanya sensitifitas perencanaan dengan kebutuhan dan budaya warga. Oleh karena itu, penghuni harus menyesuaikan aspek fisik dengan perilaku untuk mempertahankan budaya dan gaya hidup pribadi, serta aspek sosial mereka sebelumnya [10].

Tipe rumah bantuan pasca gempa lain yang dibangun pasca gempa di Yogyakarta adalah *core house*. Menurut Ikaputra [7] *core house* yang dibangun memiliki potensi untuk diperluas melalui penerapan pola kerangka struktural modular yang menjadi acuan dalam perencanaan pengembangan.

Berdasar kemampuannya untuk tumbuh dan berkembang, *dome house* dan *core house* memiliki sistem struktur inti bangunan yang berbeda. *Dome house* menerapkan konsep *fixed structure*, sementara *core house* menerapkan konsep *flexible structure*. Setelah hampir dua dekade pasca gempa, kedua hunian dengan konsep berbeda ini telah banyak mengalami perubahan spasial yang merupakan wujud dari adaptasi penghuni. Penelitian ini penting dilakukan untuk mengevaluasi adaptasi spasial warga pada desain rumah pasca bencana, khususnya gempa di Yogyakarta, serta hubungannya dengan kognisi spasial mereka. Penelitian ini menekankan pada bagaimana ruang *domestik* disesuaikan, dikembangkan, dan dimanfaatkan oleh warga dengan dua kondisi struktur yang berbeda pada dua tipe hunian tersebut.

Adaptasi Spasial

Adaptasi dipahami sebagai perubahan bersifat kuantitatif dalam memberikan evaluasi atau respons afektif terhadap rangsangan yang secara berkelanjutan dialami individu [8]. Tujuan dari adaptasi perumahan adalah untuk mendukung penghuni agar dapat menjalani kehidupan secara mandiri di tempat tinggal mereka [16]. Apabila penyesuaian tersebut sesuai dengan kebutuhan individu, maka intervensi peningkatan dan modifikasi perumahan dapat memfasilitasi partisipasi yang lebih besar dalam keseharian hidup masyarakat.

Fokus adaptasional merupakan satu dari karakteristik pendekatan dalam ilmu psikologi lingkungan [4]. Penekanan utama dari pendekatan ini terletak pada dinamika adaptasi manusia dalam merespons kompleksitas kebutuhan terhadap lingkungan fisik. Proses psikologis manusia dalam menghadapi dan menyesuaikan diri dengan lingkungan fisik dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yakni persepsi terhadap lingkungan (*environmental perception*), kognisi lingkungan (*environmental cognition*), serta sikap terhadap lingkungan (*environmental attitudes*), yang mencerminkan preferensi atau ketidaksukaan individu terhadap karakteristik dan kondisi fisik suatu lingkungan.

Perkembangan usia pemilik atau penghuni turut memengaruhi terjadinya adaptasi spasial pada perumahan. Setiap individu yang melakukan penyesuaian terhadap hunian memiliki karakteristik usia dan tingkat fungsi kognitif yang beragam. Sejalan dengan pertambahan usia penghuni, kemampuan mereka dalam menjalankan aktivitas akan semakin menurun, sehingga kapasitas fungsional tidak lagi memadai untuk menghadapi berbagai hambatan dalam rumah, dan pada akhirnya menimbulkan ketergantungan terhadap bantuan orang lain [16].

Kognisi Spasial

Pilihan dalam proses perancangan sangat dipengaruhi oleh bagaimana perancang memersepsikan lingkungan sekitarnya [1]. Kognisi spasial mengacu pada proses interpretatif individu atau kelompok terhadap konfigurasi ruang, yang terbentuk melalui interaksi antara budaya, rasionalitas, dan pengalaman personal [6].

Psikologi lingkungan berfokus pada pemahaman mengenai cara individu merespons dinamika aktivitas sehari-hari yang kompleks [2]. Respons tersebut dipengaruhi oleh tingkat kesadaran, kemampuan adaptasi, serta selektivitas individu dalam menangkap dan memaknai berbagai fenomena yang terjadi di sekitarnya. Variasi persepsi lingkungan terjadi bergantung pada perbedaan pribadi dan budaya. Dalam hal ini orang seringkali melihat dan menafsirkan kejadian yang sama dengan cara berbeda.

Penelitian tentang kognisi spasial telah menunjukkan bahwa pengolahan informasi oleh manusia berbeda dengan proses pengolahan informasi pada mesin, walaupun secara umum dapat dikatakan efektif. Akan tetapi, kerja kognisi spasial yang biasa bekerja terkadang menyebabkan kesalahan. Teori kognisi spasial dimulai dari berbagai titik keberangkatan: pengaturan itu sendiri, perkembangan kognitif, dan fisiologi otak [2].

Paradigma adaptasi secara relevan dikaitkan dengan tradisi psikologi yang mencerminkan kerangka konseptual secara dominan dalam psikologi lingkungan. Dalam paradigma ini, lingkungan dipandang sebagai struktur peluang yang berkaitan erat dengan penekanan psikologis pada individu, melalui mediasi kognitif yang berorientasi pada tindakan. Sebaliknya, paradigma sosial struktural lebih mengarah pada kajian dan teori lintas disiplin, sebagaimana tercermin dalam inisiatif untuk mengintegrasikan berbagai pendekatan paradigma [12].

Transformasi

Fenomena transformasi hunian di suatu kawasan permukiman muncul sebagai akibat dari pengaruh signifikan dari perubahan dalam struktur budaya masyarakat. Proses inkulturasi, akulturasi, dialog antarbudaya, hingga terbentuknya sintesis budaya dalam kelompok sosial dapat mendorong terjadinya pergeseran atau evolusi nilai-nilai budaya serta pola interaksi sosial di dalam masyarakat tersebut [14].

Ciri transformasi adalah terjadi dengan cara perlahan, tidak terduga antara awal dan akhir, bersifat berkesinambungan secara kprehensif, serta selalu berkaitan erat dengan sistem nilai yang dianut masyarakat [14].

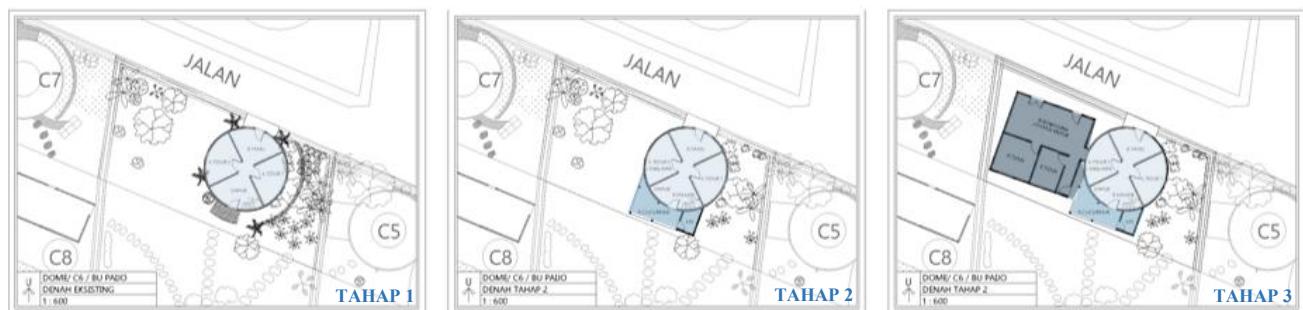
Perubahan bentuk hunian (transformasi) berlangsung secara bertahap beriringan dengan dinamika yang terjadi disana. Kekayaan akan kompleksitas yang terjadi berkembang dengan cara informal namun mampu bertahan dalam jangka waktu yang panjang. Evolusi lingkungan binaan ini berakar pada struktur-struktur implisit yang terbentuk dari kesepahaman kolektif masyarakat [3]. Sebagai sistem yang dinamis, lingkungan binaan memiliki kemampuan untuk berkembang, bertransformasi, dan bertahan dalam jangka waktu yang panjang, selaras dengan perubahan zaman. Komponen lingkungan binaan meliputi elemen fisik seperti bangunan, infrastruktur, dan ruang publik, serta elemen sosial masyarakat yang saling berinteraksi di dalamnya.

Elemen ruang berdasarkan perubahan yang terjadi dapat berupa elemen fix (*fixed feature*), elemen semi-fix (*semi-fix feature*), dan elemen non-fix (*non-fix feature*) [11]. Transformasi hunian dipengaruhi oleh dua parameter utama, yakni dinamika pertumbuhan dalam struktur penghuni, serta perubahan perkembangan profesi atau kondisi ekonomi dari penghuni. Di dalam konteks penyesuaian hunian (*housing adjustment*), perubahan dalam struktur rumah tangga penghuni sering menjadi faktor utama yang mendorong pemilik untuk melakukan pengembangan terhadap tempat tinggal mereka. Selain itu, perubahan profesi juga diperkirakan turut berperan dalam mendorong terjadinya transformasi hunian [9].

Indikator perubahan dalam transformasi arsitektur dapat dilihat dari tiga indikator, yaitu *movement* atau perpindahan, *addition* atau penambahan, dan *elimination* berupa pengurangan suatu elemen dalam suatu site [3]., Analisis transformasi rumah tinggal terjadi atas dasar konsep perubahan tatanan budaya (*cultural order*), sedangkan transformasi hunian secara lebih lanjut dapat dinilai atas dasar konsep perubahan tatanan budaya tersebut [14].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil lokus berupa dua permukiman pasca gempa di Yogyakarta. Area terpilih berdasarkan pada perbedaan struktur, yaitu *fixed dome structure* (*dome house* Ngelepen) dan *flexible core structure* (*core house* Tembi). Sampel penelitian diambil sebanyak masing-masing tujuh rumah dari masing-masing lokasi penelitian. Kriteria sampel penghuni merupakan penghuni asli (penghuni pertama) atau maksimal penghuni kedua dari rumah pasca gempa tersebut. Wawancara mendalam pada penghuni dan survey lapangan secara komprehensif dilakukan dalam pengambilan data fisik berupa perubahan fungsi, perluasan ukuran & jumlah ruang. Data lain terkait kognisi spasial pemilik rumah berupa pemahaman lokasi depan-belakang, ruang publik dan ruang privat, gradien penerimaan tamu, dan ruang domestik dilakukan dengan metode wawancara mendalam maupun kuesioner berbentuk *opened questions* maupun *closed question*. Data yang diperoleh kemudian dianalisa berdasarkan teori terkait. Denah hasil pengukuran dan wawancara diurutkan berdasarkan tiap tahap renovasi seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2, kemudian dilakukan pendataan luas ruang-ruangnya kedalam matriks.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 1. Denah Transformasi Dome House Ngelepen



Sumber: Penulis, 2025

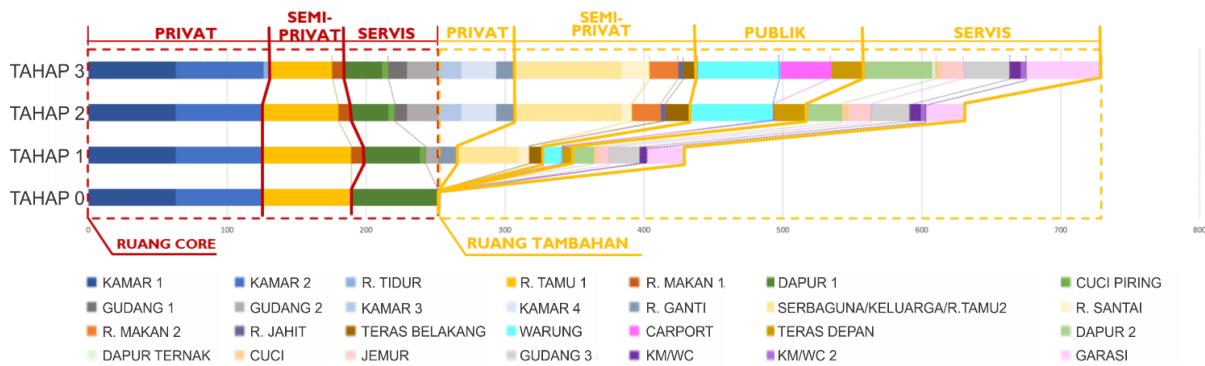
Gambar 2. Denah Transformasi *Core House* Tembi

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Perkembangan Fungsi dan Ukuran Ruang

Fungsi dan ukuran ruang privat cenderung tetap pada area ruang inti *dome house*. Hal ini dikarenakan sudah terdapat dua kamar tidur yang pada kebutuhan dasar telah dapat menampung kebutuhan anggota keluarga. Pada area semi privat, penghuni menambahkan fungsi ruang makan yang menggunakan sebagian eksisting ruang tamu atau sebagian eksisting dapur. Pada zona *core* tersebut terlihat kenaikan jumlah fungsi ruang servis karena pada bangunan asli *core house* tersebut sudah disediakan area dapur. Namun demikian, penghuni masih menambahkan fungsi ruang cuci dan gudang sebagai kebutuhan utama servis pada rumah inti tersebut.

Pada zona rumah tambahan, perluasan area sosial (semi privat & publik) dan perkembangan jumlah fungsi pada area ini tampak mendominasi. Sempitnya ruang tamu pada *core* menyebabkan penghuni rumah memilih membuat ruang sosial, baik berupa ruang serbaguna, ruang tamu, ataupun ruang keluarga pada zona rumah tambahan. Penambahan area privat berupa kamar atau ruang tidur juga masih dilakukan pada zona tambahan ini seiring perkembangan waktu yang mengakibatkan bertambahnya fungsi ini seperti jumlah anggota keluarga yang bertambah, ataupun anak yang semakin dewasa memerlukan area privasi tersendiri. Selain itu, perluasan area servis dan penambahan jumlah fungsi pada zona rumah tambahan ini juga masih terjadi secara kontinyu pada tiap tahapnya. Penambahan yang paling terlihat adalah penambahan kamar mandi dan WC yang hanya terjadi pada zona tambahan. Hal ini didebakkan karena struktur *core* yang berbentuk *dome* (*fixed-structure*) sangat sulit dimodifikasi untuk penambahan atau perubahan ruang servis berupa kamar mandi dan WC. Penambahan carport/garasi juga tampak terlihat pada setiap tahapnya pada zona tambahan ini seiring pertumbuhan ekonomi dan kebutuhan penghuni akan kendaraan pribadi. Beberapa unit sampel juga mengembangkan area tambahan sebagai area usaha berupa warung yang luasannya semakin bertambah pada tiap tahap perkembangan rumah. Gambar 3 menunjukkan penjelasan mengenai perubahan jumlah fungsi dan besaran ruang pada rumah pasca-bencana *dome house* Ngelepen.



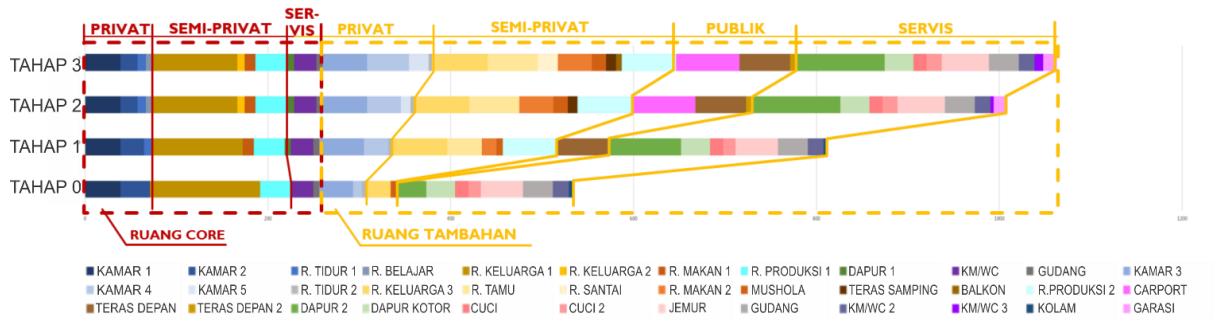
Sumber: Penulis, 2025

Gambar 3. Grafik Perkembangan Jumlah Fungsi dan Luas Ruang *Dome house* Ngelepen Per Tahap

Pada perubahan zona *core* rumah Tembi, jumlah fungsi dan luas area privat secara umum tetap. Hanya saja terjadi sedikit penambahan ruang dengan fungsi sama pada area tersebut dengan membuat sekat pada ruang. Namun, pada zona *core* ini terjadi penambahan fungsi area semi privat secara umum berupa ruang makan dan terdapat salah

satu objek yang menambahkan fungsi area produksi home industri pada area ini. Pada *core house* Tembi sendiri sudah disediakan kamar mandi/WC, sehingga pada zona *core* tidak ada penambahan fungsi kamar mandi/WC, hanya saja belum terdapat dapur, sehingga ditambahkan dapur di dalamnya.

Pada zona ruang tambahan, perluasan area sosial (semi privat & publik) paling banyak terjadi. Pada umumnya, terjadi penambahan fungsi berupa ruang keluarga dan ruang makan, juga pada objek dengan ruang produksi home industri juga mengalami perluasan area pada zona tambahan ini. Area privat juga masih ditambahkan pada zona tambahan karena perkembangan demografi keluarga. Area servis pada rumah tambahan juga mengalami pertambahan luasan pada tiap tahapnya. Penambahan fungsi dapur dan cuci/jemur terjadi pada semua objek penelitian pada rumah Tembi. Hal ini terjadi karena pada rumah inti asli belum disediakan fungsi dapur dan cuci/jemur. Perubahan fungsi dan ukuran ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. Grafik Perkembangan Jumlah Fungsi dan Luas Ruang *Core house* Tembi Per Tahap

Prioritas Ruang

Pada renovasi tahap 1 rumah *dome*, prioritas penambahan ruang yang terjadi dalam wujud ruang servis. Sementara pada renovasi tahap selanjutnya, dominasi prioritas peningkatan servis area masih terjadi, namun mulai terlihat peningkatan area privat dan juga publik. Pada renovasi tahap terakhir, dominasi peningkatan servis area kembali menjadi prioritas. Dominasi prioritas penambahan ruang servis yang terus terjadi pada setiap tahap renovasi ini disebabkan minimnya ruang servis yang disediakan pada *core house*, terutama kaitannya jengan jumlah fungsi yang disediakan. Tabel 1 menunjukkan prioritas penambahan fungsi ruang pada setiap tahap pembangunan rumah *dome house*.

Tabel 1. Prioritas Penambahan Ruang pada *Dome House*

TAHAP	KODE RUMAH	PRIVAT (CORE)			SEMI-PRIVAT (CORE)			SERVIS (CORE)			PRIVAT (TAMBAHAN)			SEMI-PRIVAT (TAMBAHAN)			PUBLIK (TAMBAHAN)			SERVIS (TAMBAHAN)									
		KAMAR 1	KAMAR 2	R. TIDUR	R. BELAJAR	R. KELUARGA 1	R. KELUARGA 2	R. MAKAN 1	R. PRODUKSI 1	DAPUR 1	GUDANG	KAMAR 3	R. TIDUR 2	R. KELUARGA 3	R. TAMU	R. SANTAI	R. MAKAN 2	MOSHOLA	TERAS SAMPING	BALKON	R. PRODUKSI 2	CARPORT	GUDANG	KM/WC 2	KM/WC 3	KOLAM	GARASI		
TAHAP 0	A8	1	1	1	1																								
	C6	1	1	1	1																								
	C8	1	1	1	1																								
	D10	1	1	1	1																								
	D11	1	1	1	1																								
	E6	1	1	1	1																								
	F3	1	1	1	1																								
TAHAP 1	A8																												
	C6																												
	C8																												
	D10																												
	D11																												
	E6																												
	F3																												
TAHAP 2	A8																												
	C6																												
	C8																												
	D10																												
	D11																												
	E6																												
	F3																												
TAHAP 3	C8																												
	D10																												
	E6																												

Sumber: Penulis, 2025

Pada renovasi tahap 1 *core house* Tembi, penambahan area sosial (semi privat & publik) paling banyak menjadi prioritas. Hal ini disebabkan karena kebutuhan dasar servis berupa kamar mandi / WC sudah disediakan pada *core house* dan kebutuhan fungsi servis lain seperti cuci, jemur, dan gudang dapat dilakukan pada area yang telah ada, mengingat rumah bantuan Tembi dibangun pada area bekas bencana (bukan relokasi) sehingga penghuni dapat memprioritaskan kebutuhan selanjutnya pada ruang publik dan semi privat. Pada tahap 2, terjadi kenaikan prioritas penambahan area servis yang bersifat tersier seperti penambahan dapur, kamar mandi/WC, area cuci/jemur, gudang, dan garasi. Sedangkan pada tahap 3 renovasi, penambahan area privat, servis, public relatif merata tergantung preferensi penghuni. Sebagian besar objek yang menjadi sampel penelitian *core house* Tembi melakukan renovasi sebanyak dua kali. Tabel 2 merupakan urutan prioritas penambahan fungsi ruang pada tahap pembangunan rumah *core house* Tembi.

Tabel 2. Prioritas Penambahan Ruang pada *Core House*

Sumber: Penulis, 2025

4. KESIMPULAN

Rumah pasca bencana dengan struktur fleksibel dan struktur permanen secara umum memiliki persamaan pada dominasi peningkatan ruang servis pada zona inti bangunan (*core*). Faktor penyebab terjadinya hal ini adalah pada kedua tipe rumah yang menjadi objek penelitian ini sangat minim area servis, sehingga pemilik rumah melakukan pengembangan jumlah fungsi ruang yang relatif sama. Area privat pada zona *core* atau bangunan inti kedua tipe rumah juga relatif sama, tidak mengalami perubahan luas. Namun demikian, tetap terjadi penambahan area privat pada zona tambahan seiring perkembangan demografi anggota keluarga.

Perbedaan prioritas ruang terlihat pada tahap pertama renovasi. Rumah *dome* lebih cenderung memprioritaskan penambahan area servis, sedangkan pada *core* tembi lebih pada ruang sosial. Perbedaan ini juga dipengaruhi perbedaan lokasi rumah bantuan *dome* house Ngelepen merupakan rumah relokasi, sedangkan rumah bantuan Tembi dibangun pada area bekas bencana (bukan relokasi) yang masih terdapat sedikit sisa bangunan lama yang tidak rusak total sehingga penghuni dapat memprioritaskan kebutuhan selanjutnya pada ruang publik dan semi privat.

Meskipun dibangun dengan struktur inti yang berbeda yaitu konsep *fixed structure* pada *dome house* Ngelepen dan *core house* Tembi dengan konsep *flexible structure*, kedua tipe hunian ini sama-sama mengalami adaptasi spasial yang erat kaitannya dengan kognisi spasial kedua kelompok masyarakat yang sama-sama berlatar belakang budaya jawa, khususnya yogyakarta. Oleh karena itu, transformasi ruang yang menjadi perwujudan dari adaptasi spasial yang terjadi pun sama-sama didominasi oleh kebutuhan ruang utama berupa privat (ruang tidur), ruang semi privat (ruang tamu dan ruang keluarga), serta ruang servis (dapur dan kamar mandi). Kemudian setelah itu,

penambahan ruang sosial pada zona rumah tambahan sama-sama mendominasi arah perkembangan rumah, terlepas dari penggunaan struktur inti yang berbeda. Perbedaan penggunaan struktur inti bangunan hanya mempengaruhi perbedaan bentuk fisik perubahan rumah saja, tanpa mempengaruhi kebutuhan fungsi ruang yang dibutuhkan penghuni.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Altman, A. Rapoport, and J. F. Wohlwill, Eds., **Human Behavior and Environment - Advances in Theory and Research Volume 4: Environment and Culture**. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 1980.
- [2] R. Gifford, L. Steg, and J. P. Reser, "Environmental psychology," in **IAAP Handbooks of Applied Psychology**, pp. 440–470, 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/9781444395150.ch18>
- [3] N. J. Habraken, **Transformations of the Site**. Awater Press, 1982.
- [4] D. L. Hadinugroho, "Psikologi Lingkungan – Human/Environmental Behavior – Setting fisik," **USU Digital Library**, pp. 1–15, 2002.
- [5] T. Handayani, "Model Rekonstruksi Rumah Pasca Gempa Di Yogyakarta Dan Klaten," **Jurnal Arsitektur Komposisi**, vol. 10, no. 1, 2012.
- [6] Haryadi and B. Setiawan, **Arsitektur, Lingkungan dan Perilaku: Pengantar ke Teori, Metodologi dan Aplikasi**. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2010.
- [7] Ikaputra, "Core house: A Structural Expandability for Living. Study Case of Yogyakarta Post Earthquake 2006," **DIMENSI (Jurnal Teknik Arsitektur)**, vol. 36, no. 1, pp. 5–10, 2008. [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/16969>
- [8] Z. Iskandar, **Psikologi Lingkungan**. Bandung: PT Refika Aditama, 2012.
- [9] R. T. Manalang, J. Munemoto, T. Yoshida, and C. Espina, "A Study on Residents' Self-built Improvements at MRB Dwelling Units in Metro Manila," **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, vol. 1, pp. 177–184, Nov. 2002. [Online]. Available: https://doi.org/10.3130/jaabe.1.2_177
- [10] S. R. Marcillia and R. Ohno, "Learning from Resident's Adjustments in Self-built and Donated Post Disaster Housing after Java Earthquake 2006," **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, vol. 36, pp. 61–69, 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.007>
- [11] A. Rapoport, **The Meaning of the Built Environment: A Nonverbal Communication Approach**, 5th ed., vol. 8. Arizona, USA: The University of Arizona Press, 1984. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/0197-3975\(84\)90014-6](https://doi.org/10.1016/0197-3975(84)90014-6)
- [12] S. Saegert and G. H. Winkel, "Environmental Psychology," **Annual Review of Psychology**, vol. 41, 1990. [Online]. Available: <https://doi.org/10.13140/2.1.3933.8560>
- [13] T. Saraswati, "Kontroversi Rumah Dome di Nglepen, Prambanan, D.I. Yogyakarta," **Dimensi Teknik Arsitektur**, vol. 35, no. 2, pp. 136–142, 2007.
- [14] M. Sesotyaningtyas, W. D. Pratiwi, and J. S. Setyono, "Transformasi Hunian Dengan Perspektif Spasial dan Tatanan Budaya: Komparasi Permukiman Kumuh Bang Bua, Thailand dan Kampung Naga, Indonesia," **Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning**, vol. 2, no. 2, pp. 116–123, 2015.
- [15] K. Sunoko, "Penggunaan Kembali (Reuse) Bahan Bangunan Reruntuhan dalam Arsitektur Tanpa Arsitek pada Pasca Gempa di Bantul," 2017.
- [16] B. Thordardottir, A. M. Fänge, C. Chiatti, and L. Ekstam, "Participation in Everyday Life Before and After a Housing Adaptation," **Journal of Housing for the Elderly**, vol. 0, no. 0, pp. 1–15, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/02763893.2018.1451800>

JTSA
Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

ISSN 2807-9418

