



VOLUME 30
No. 1 Januari 2025

ISSN : 2807 - 9418 (Print)

ISSN : 2598 - 2257 (Online)

JURNAL

TEKNIK SIPIL

DAN ARSITEKTUR

ANALISIS KONDISI JALAN BERDASARKAN NILAI IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX) (Studi Kasus: JL IR H Juanda – JL Anoa Kabupaten Tegal)

Zania Septiani Putri, Fiarentina Berlianindya, Taufik Ramadhan, Dawam Fahriza, Suprpto Hadi

PAVING BLOK K-200 UNTUK AREA PARKIR MOBIL RECYCLE LIMBAH PAVING LAMA

Teguh Yuono, Tri Hartanto, Gatot Nursetyo, Al Ibra Alif Widiyanto

OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PADA PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT BRONDONG-LAMONGAN

Muhammad Wahyu Suryadi, Antonius, Kartono Wibowo

THE SUSTAINABLE CONCEPT DESIGN CONCERNING THE IMPLEMENTATION OF LOW IMPACT DEVELOPMENT IN URBAN AREA

Stefanus, Robby Yussac Tallar

NORMALISASI LANSKAP KORIDOR SUNGAI MATI CITARUM DENGAN ANALISIS HIDROLOGI (Studi Kasus: Desa Rancamanyar, Kabupaten Bandung)

Husna Izzati, Iing Rustandi

ANALISIS TINGKAT KOMPONEN DALAM NEGERI (TKDN) PADA PROYEK RENOVASI RUMAH DINAS KANTOR PELAYAN PAJAK DI KABUPATEN SIKKA

Triapriano Kaidu, Anastasia M.N. Soludale

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG ASRAMA MAHASISWA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS 6 LANTAI DI PABELAN KABUPATEN SUKOHARJO PROVINSI JAWA TENGAH

Vitria Pancawati, Dian Arumningsih D.P., Kusdiman Joko P.

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG MONUMEN DAN MUSEUM REOG PONOROGO MENGGUNAKAN KOLOM BULAT

Ramadhani Nida Rahmatur, Aulia Rahman, Anisah Nur Fajarwati

EKOWISATA MANGROVE CUKU NYI-NYI SESUAI INDEKS KESESUAIAN WISATA DAN DAYA DUKUNG KAWASAN

Mas Achmad Arief R.K., Ahmad Herison, Devi Kurnia Sari, Yuda Romdania, Sefrinta S.M.

TIPOLOGI BENTUK DAN DENAH RUMAH JOGLO MILIK PETANI JAWA DI PEDESAAN

Baju Arie Wibawa, Atik Suprpti, Bambang Setioko

IMPLEMENTASI METODE EARNED VALUE DENGAN LIFE CYCLE COST (LCC) PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG PENDIDIKAN

Ni Komang Sintyawati, Wayan Gde Erick Triswandana, Putu Aryastana

PENGARUH LIGHT SHELF STATIS TERHADAP KINERJA PENCAHAYAAN ALAMI KANTOR OPEN-PLAN

Astrini Hadina Hasya, Ratna Andriani Nastiti, R. Ayu Firdausi N.R., Riza Septriani Dewi, Ihza Rangga Artito

Sistematic Literatur Review (SLR) : TINJAUAN REGULASI GLOBAL TERHADAP BAKU MUTU GETARAN AKIBAT AKTIVITAS TRANSPORTASI DI INDONESIA

Dewi Handayani, Amirotul Musthofiah HM, Septia Nur Triharningsih

KOMPARASI ANALISIS BANGUNAN PENGAMAN LERENG MENGGUNAKAN METODE LOAD RESISTANCE FACTOR DESIGN DAN ALLOWABLE STRESS DESIGN

Furqaan Harjanto, Dega Rofiyantama, Mentari Putri Maharani

PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN GETARAN MENGGUNAKAN ACCELEROMETER TYPE PIOZOELECTRIC CRYSTAL (PCB) DENGAN TYPE MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM (MEMS)

Firnimus Konstantinus Bhara

PERENCANAAN JARINGAN AIR BERSIH KELURAHAN TANJUNG MAS KECAMATAN SEMARANG UTARA

Ikhwanudin, Octavia Surya Ningtyas, Tasya Dyah Nov Riana, Farida Yudaningrum

TERAK NON-BESI SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEMEN PORTLAND PADA BETON STRUKTURAL

Sandy I. Yansiku, Yohanes G. G. L. Duran

ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG STEEL PIPE PILE BERDASARKAN DATA KALENDERING DAN PDA TEST (Studi Kasus: Project Strengthening Jetty 1 & Jetty 2 PLH Existing, Desa Paring Lahung, Kec. Montallat, Kab. Barito Utara, Kalimantan Tengah)

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Reki Arbianto, Paska Wijayanti, Erwin Aji Prasetyo, Rizal Kurniawan

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 : Agustine Tri Wulandari, S.E.
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

ANALISIS KONDISI JALAN BERDASARKAN NILAI IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX) (Studi Kasus: JL IR H Juanda – JL Anoa Kabupaten Tegal) Zania Septiani Putri, Fiarentina Berlianindya, Taufik Ramadhan, Dawam Fahriza, Suprpto Hadi	1-8
PAVING BLOK K-200 UNTUK AREA PARKIR MOBIL RECYCLE LIMBAH PAVING LAMA Teguh Yuono, Tri Hartanto, Gatot Nursetyo, Al Ibra Alif Widiyanto	9-16
OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PADA PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT BRONDONG-LAMONGAN Muhammad Wahyu Suryadi, Antonius, Kartono Wibowo	17-24
THE SUSTAINABLE CONCEPT DESIGN CONCERNING THE IMPLEMENTATION OF LOW IMPACT DEVELOPMENT IN URBAN AREA Stefanus, Robby Yussac Tallar	25-31
NORMALISASI LANSKAP KORIDOR SUNGAI MATI CITARUM DENGAN ANALISIS HIDROLOGI (Studi Kasus: Desa Rancamanyar, Kabupaten Bandung) Husna Izzati, Iing Rustandi	32-41
ANALISIS TINGKAT KOMPONEN DALAM NEGERI (TKDN) PADA PROYEK RENOVASI RUMAH DINAS KANTOR PELAYAN PAJAK DI KABUPATEN SIKKA Triapriyono Kaidu, Anastasia M.N. Soludale	42-48
PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG ASRAMA MAHASISWA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS 6 LANTAI DI PABELAN KABUPATEN SUKOHARJO PROVINSI JAWA TENGAH Vitria Pancawati, Dian Arumningsih D.P., Kusdiman Joko P.	49-58
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG MONUMEN DAN MUSEUM REOG PONOROGO MENGGUNAKAN KOLOM BULAT Ramadhani Nida Rahmatur, Aulia Rahman, Anisah Nur Fajarwati	59-67
EKOWISATA MANGROVE CUKU NYI-NYI SESUAI INDEKS KESESUAIAN WISATA DAN DAYA DUKUNG KAWASAN Mas Achmad Arief R.K., Ahmad Herison, Devi Kurnia Sari, Yuda Romdania, Sefrinta S.M.	68-78
TIPOLOGI BENTUK DAN DENAH RUMAH JOGLO MILIK PETANI JAWA DI PEDESAAN Baju Arie Wibawa, Atik Suprpti, Bambang Setioko	79-88
IMPLEMENTASI METODE EARNED VALUE DENGAN LIFE CYCLE COST (LCC) PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG PENDIDIKAN Ni Komang Sintyawati, Wayan Gde Erick Triswandana, Putu Aryastana	89-97
PENGARUH LIGHT SHELF STATIS TERHADAP KINERJA PENCAHAYAAN ALAMI KANTOR <i>OPEN-PLAN</i> Astrini Hadina Hasya, Ratna Andriani Nastiti, R. Ayu Firdausi N.R, Riza Septriani Dewi, Ihza Rangga Artito	98-106

Sistematic Literatur Review (SLR) : TINJAUAN REGULASI GLOBAL TERHADAP BAKU MUTU GETARAN AKIBAT AKTIVITAS TRANSPORTASI DI INDONESIA	107-114
Dewi Handayani, Amirotul Musthofiah HM, Septia Nur Triharningsih	
KOMPARASI ANALISIS BANGUNAN PENGAMAN LERENG MENGGUNAKAN METODE LOAD RESISTANCE FACTOR DESIGN DAN ALLOWABLE STRESS DESIGN	115-123
Furqaan Harjanto, Dega Rofiyantama, Mentari Putri Maharani	
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN GETARAN MENGGUNAKAN ACCELEROMETER TYPE PIOZOELECTRIC CRYSTAL (PCB) DENGAN TYPE MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM (MEMS)	124-129
Firnimus Konstantinus Bhara	
PERENCANAAN JARINGAN AIR BERSIH KELURAHAN TANJUNG MAS KECAMATAN SEMARANG UTARA	130-137
Ikhwanudin, Octavia Surya Ningtyas, Tasya Dyah Nov Riana, Farida Yudaningrum	
TERAK NON-BESI SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEMEN PORTLAND PADA BETON STRUKTURAL	138-149
Sandy I. Yansiku, Yohanes G. G. L. Duran	
ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG STEEL PIPE PILE BERDASARKAN DATA KALENDERING DAN PDA TEST (Studi Kasus: Project Strengthening Jetty 1 & Jetty 2 PLH Existing, Desa Paring Lahung, Kec. Montallat, Kab. Barito Utara, Kalimantan Tengah)	150-157
Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Reki Arbiyanto, Paska Wijayanti, Erwin Aji Prasetyo, Rizal Kurniawan	

ANALISIS KONDISI JALAN BERDASARKAN NILAI IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX)

(Studi Kasus: JL IR H Juanda – JL Anoa Kabupaten Tegal)

Zania Septiani Putri¹, Fiarentina Berlianindya², Taufik Ramadhan³, Dawam Fahriza⁴, *Suprpto Hadi⁵

^{1,2,3,4,5}Rekayasa Sistem Transportasi Jalan, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Kota Tegal

^{*)} Email: hadi@pktj.ac.id

ABSTRACT

Roads are transportation infrastructure that are used as traffic infrastructure. The better the condition of the roads in an area, it can be said that the area has a high level of prosperity, but the lack of information and data base on road conditions means that some damaged roads are not treated further. The aim of this research is to assess road conditions where the road condition values will later be used as a reference for determining the type of evaluation program that must be carried out, whether it is an improvement program, periodic maintenance or routine maintenance. The benefits that will be obtained from this research are that it can be used as reference material for the government and road managers in handling road damage and can also be used as a transportation study related to road damage for readers. The author conducted an analysis of road conditions using a Hawkeye 2000 car belonging to PKTJ Tegal on the Ir H Juanda to Anoa road section of 2.67 km, obtained an average IRI of 3.21% with a road length in the good category of 1990 on the south to north route and The average IRI is 2.5% with a road length in the good category of 1890 meters. The recommendation for appropriate handling based on the IRI value is to carry out routine and periodic maintenance in accordance with the technical age of the road so that serious damage does not occur which causes handling costs to increase.

Keyword: Hawkeye Cars, Roads, International Roughness Index, Road Flatness

ABSTRAK

Jalan merupakan infrastruktur bidang transportasi yang digunakan sebagai prasarana lalu lintas, semakin bagus kondisi jalan pada suatu wilayah maka dapat dikatakan wilayah tersebut mempunyai tingkat kesejahteraan yang tinggi namun kurangnya informasi dan data base kondisi jalan menjadikan beberapa ruas jalan yang rusak tidak dilakukan penanganan lebih lanjut. Tujuan penelitian ini adalah melakukan penilaian kondisi jalan dimana nilai kondisi jalan ini nantinya dijadikan acuan untuk menentukan jenis program evaluasi yang harus dilakukan, apakah itu program peningkatan, pemeliharaan berkala atau pemeliharaan rutin. Manfaat yang akan didapat pada penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai bahan acuan bagi pemerintah dan pihak pengelola jalan dalam melakukan penanganan kerusakan jalan dan juga dapat dijadikan sebagai kajian transportasi terkait kerusakan jalan bagi para pembaca. Penulis melakukan analisis kondisi jalan menggunakan mobil hawkeye 2000 milik PKTJ Tegal pada ruas jalan Ir H Juanda sampai ruas jalan Anoa sebesar 2,67 km didapatkan rata rata IRI sebesar 3,21% dengan panjang jalan dalam kategori baik sebesar 1990 pada jalur selatan ke utara dan rata rata IRI sebesar 2,5% dengan Panjang jalan dalam kategori baik sebesar 1890 meter. Rekomendasi penanganan yang tepat berdasarkan nilai IRI adalah dilakukan pemeliharaan secara rutin dan berkala yang sesuai dengan umur teknis jalan agar tidak terjadi kerusakan yang parah yang menyebabkan biaya penanganan akan semakin besar.

Keyword: Mobil Hawkeye, Jalan, International Roughness Index, Kerataan Jalan

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi yang diperlukan untuk menggerakkan kendaraan menuju suatu tempat tujuan [1]. Kondisi jalan sangat mempengaruhi jenis kegiatan yang memerlukan jalan sebagai perantaranya, seperti perdagangan, distribusi barang dan jasa, serta kegiatan sosial lainnya [2]. Kondisi jalan yang ada dapat digunakan untuk mengukur kesejahteraan masyarakat di suatu wilayah, sehingga semua kegiatan masyarakat dalam penelitian ini memerlukan prasarana jalan yang mendukung, yang dievaluasi berdasarkan kondisi permukaan jalan. Ketersediaan jalan yang baik dan stabil mempengaruhi arus lalu lintas, tetapi jalan yang tidak terawat dengan baik akan mengalami kerusakan dan menghambat arus lalu lintas [3]. Ketidakrataan atau kekasaran permukaan jalan merupakan salah satu kriteria kinerja perkerasan yang dapat diukur secara objektif yaitu menggunakan metode International Roughness Index (IRI) [4]. Secara teknis, kerusakan jalan menunjukkan kondisi jalan tersebut sudah tidak mampu memberikan layanan yang maksimal pada pengguna jalan. Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kabupaten Tegal kondisi jalan kabupaten tegal yang masuk ke dalam kategori rusak berat pada tahun 2023 mencapai 69,07 km sedangkan jalan kabupaten tegal dengan kategori rusak ringan mencapai 49,25 km dengan jumlah seluruh jalan kabupaten tegal sebesar 847,27 km [5].

Berdasarkan Badan Pusat Statistik Tahun 2023 Ruas Jalan Kabupaten Tegal masih mempunyai jalan dengan kategori rusak berat setidaknya 8% dari keseluruhan jalan yang ada, pemilihan bentuk penanganan yang dilakukan dalam hal ini adalah pemeliharaan jalan dilakukan dengan cara mengukur kondisi jalan dengan metode International Roughness Index (IRI) pada Mobil Hawkeye 2000 yang akan memberikan informasi kondisi jalan

terkait dengan kesesuaian dan ketidaksesuaian kondisi jalan tersebut. Alasan penulis melakukan penelitian terkait analisis kondisi jalan berdasarkan nilai IRI karena permasalahan umum yang sering dihadapi oleh dinas terkait adalah kurangnya informasi data base terkait kondisi jalan secara mendetail setiap tahunnya sehingga terdapat beberapa ruas jalan yang mengalami kondisi ruas jalan rusak berat karena kurangnya peninjauan dan pemeliharaan jalan secara berkala dari pihak setempat, dalam hal ini, penulis melakukan analisis kondisi jalan pada salah satu ruas Kabupaten Tegal tepatnya pada jalan Ir H Juanda sampai jalan Anoa Kabupaten Tegal menggunakan mobil hawkeye 2000. Ruas jalan tersebut merupakan jalan lokal primer dengan tipe jalan 4/2 D sebagai daerah pemukiman dan pemerintahan, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui indeks kerusakan permukaan jalan pada jalan tersebut berdasarkan nilai IRI yang kemudian dibandingkan pada pedoman yang ada.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap kondisi jalan, dengan menggunakan nilai kondisi jalan sebagai pedoman untuk kemudian memilih jenis program evaluasi yang harus dilaksanakan, seperti program perbaikan, pemeliharaan rutin, atau pemeliharaan berkala. Penelitian ini akan memiliki keuntungan karena dapat menjadi acuan bagi manajemen jalan dan pemerintah dalam melakukan penanganan kerusakan jalan dan juga dapat dijadikan sebagai kajian transportasi terkait kerusakan jalan bagi para pembaca.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jalan

Jalan merupakan prasarana transportasi yang mencakup semua bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapan yang diperuntukkan bagi lalu lintas, baik yang berada di atas tanah, di bawah tanah, maupun di air, dianggap sebagai bagian dari jaringan jalan menurut Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Republik Indonesia. [6] Menurut Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 Republik Indonesia tentang angkutan dan lalu lintas jalan, yang dimaksud dengan "jalan" tidak hanya permukaan jalan tetapi juga setiap bangunan pelengkap atau perlengkapan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum, baik yang berada di atas tanah, di bawah tanah, di air, maupun di atas air, kecuali jalan kereta api dan jalan kabel. Dalam pembangunan nasional, jalan memegang peranan yang sangat penting, terutama dalam memastikan bahwa berbagai wilayah mengalami pertumbuhan yang seimbang, bahwa hasil-hasil pembangunan didistribusikan secara merata, dan bahwa pertahanan dan keamanan nasional diperkuat.[7].

International Roughness Index (IRI)

Pemeliharaan jalan adalah segala jenis pekerjaan yang harus dilakukan untuk menjaga jalan dalam kondisi prima, termasuk perbaikan dan pemeliharaan, atau pekerjaan yang berhubungan dengan keduanya, untuk menghentikan terjadinya kerusakan atau penurunan kualitas jalan secara cepat [8]. Dalam penelitian ini, teknik evaluasi kondisi jalan yang digunakan adalah Internasional Roughness Index (IRI) menggunakan mobil hawkeye 2000.

Indeks Kekasaran Internasional (IRI) adalah parameter standar yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran atau ketidakrataan permukaan jalan. IRI menggambarkan seberapa halus atau kasar permukaan jalan berdasarkan perubahan vertikal yang terukur sepanjang jalan tertentu. Pengukuran dilakukan menggunakan alat khusus yang mengumpulkan data dari getaran roda kendaraan saat melewati jalan. Semakin tinggi nilai IRI, semakin kasar permukaan jalan tersebut, yang dapat mempengaruhi kenyamanan berkendara, keamanan, dan biaya perawatan kendaraan. Pemerintah dan otoritas jalan raya menggunakan nilai IRI untuk menentukan kebutuhan perbaikan jalan, perencanaan perawatan rutin, serta untuk mengevaluasi efektivitas program pemeliharaan jalan. Dengan memantau dan memperbaiki nilai IRI, mereka dapat meningkatkan kualitas dan keandalan infrastruktur jalan serta meningkatkan pengalaman pengguna jalan secara keseluruhan.

Tabel 1. Standar Nilai IRI

Kondisi Jalan	IRI (m/km)	Kebutuhan Penanganan
Baik	IRI rata rata ≤ 4	Pemeliharaan Rutin
Sedang	$4 < \text{IRI rata rata} \leq 8$	Pemeliharaan Berkala
Rusak Ringan	$8 < \text{IRI rata rata} \leq 12$	Peningkatan Jalan
Rusak Berat	IRI rata rata ≤ 12	Peningkatan Jalan

Sumber: Panduan Direktorat Jendral Bina Marga 2011

Mobil Hawkeye 2000

Mobil Hawkeye 2000 digunakan dalam rangka meningkatkan tingkat pelayanan jalan (IRAP) dengan cara mengidentifikasi titik rawan kecelakaan, mobil Hawkeye mengukur, menginventarisasi, dan mensurvei elemen geometrik jalan dan aset jalan. Mobil ini juga mengukur indeks kondisi perkerasan (PCI), Indeks Kekasaran Internasional (IRI), dan ketidakrataan pada suatu ruas jalan. Kampus Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan (PKTJ) di Kota Tegal, Provinsi Jawa Tengah, merupakan satu dari hanya lima unit di Indonesia yang diakuisisi

dengan memanfaatkan APBN untuk model Hawkeye. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia menyelenggarakan PKTJ, sebuah perguruan tinggi kepegawaian, sebagai salah satu satuan kerja (satker) di wilayah kerja KPKNL Tegal [9].

Untuk lebih rincinya penggunaan hawkeye dalam survey yang penulis lakukan adalah sebagai berikut

- Nyalakan mesin mobil dan posisikan hawkeye 100 meter sebelum titik awal ruas jalan/titik lokasi penelitian.
- Pastikan kendaraan dalam keadaan yang tidak miring, hal ini dapat dilihat pada derajat kemiringan mobil di layar komputer.
- Tekan f12 untuk memasukan nama kegiatan survei dan menentukan lokasi file penyimpanan hasil survei.
- Setelah lokasi penyimpanan dibuat maka tekan tombol start dan tunggu 10 detik sebelum mobil mulai berjalan.
- Melaju hingga titik yang sudah di tentukan dan patikan Jarak yang sudah di tempuh 100meter untuk sampai pada titik awal.
- Setelah tepat berada pada titik awal maka dengan cara menekan CTRL + Space untuk memasukan titik awal ruas dan nama jalan.
- Ketika mobil berjalan menelusuri ruas jalan maka otomatis alat sensor mendata data geometrik dan IRI untuk kerusakan jalan dilakukan dengan cara input manual pada komputer dengan menggunakan tombol F1-F9, dan F2+ctrl yang sudah diklasifikasikan sesuai dengan type kerusakan jalan yang ditemukan, khusus untuk data fasilitas perlengkapan jalan dapat ditelusuri pada data hasil rekaman CCTV setelah data di extract nantinya.

Adapun klasifikasi kerusakan jalan yang ditemukan yakni

f2 = retakan memanjang

f3 = retakan pinggir

f4 = retakan buaya

f5 = lubang

f6 = tambalan

f7 = rutting

f8 = keriting

f9 = kegemukan

f10 = amblas

CTRL + f2= perlepasan butiran

CTRL + f3= aus

CTRL + f4= flexible pavement

CTRL + f5= rigid pavement

CTRL + f6=jembatan awal

CTRL + f7= jembaran akhir

CTRL + f8=rusak parah iri > 12

CTRL + f9= rumble stip

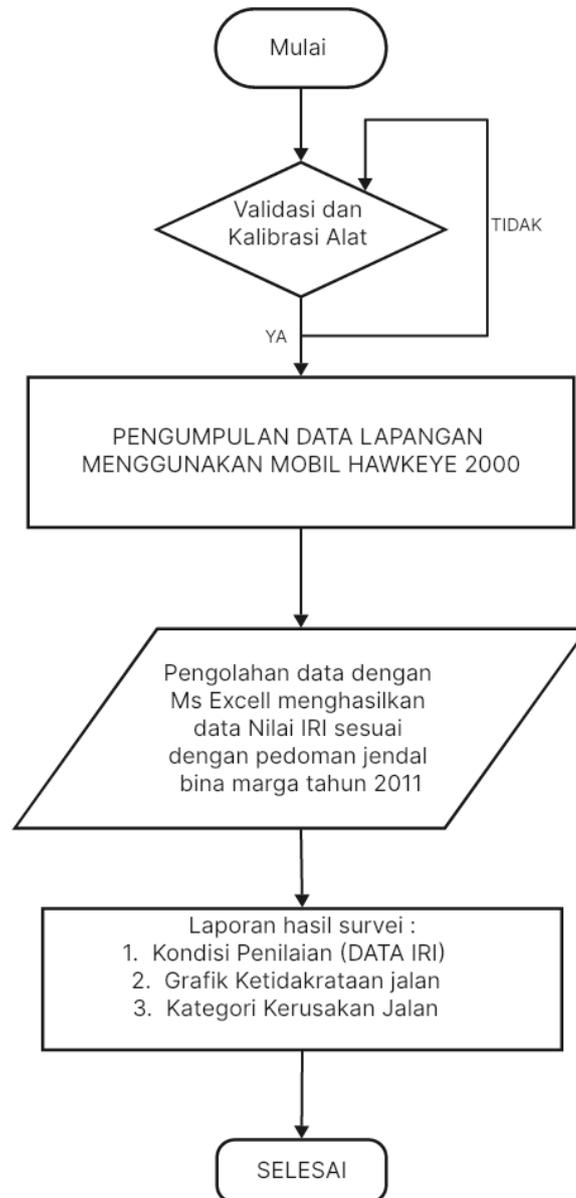
CTRL + f10 = ceceran tanah.



Gambar 1. Mobil Hawkeye 2000 milik PKTJ Tegal

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data



Gambar 2. Tahapan Pengumpulan Data Nilai IRI

Metode Analisis Data

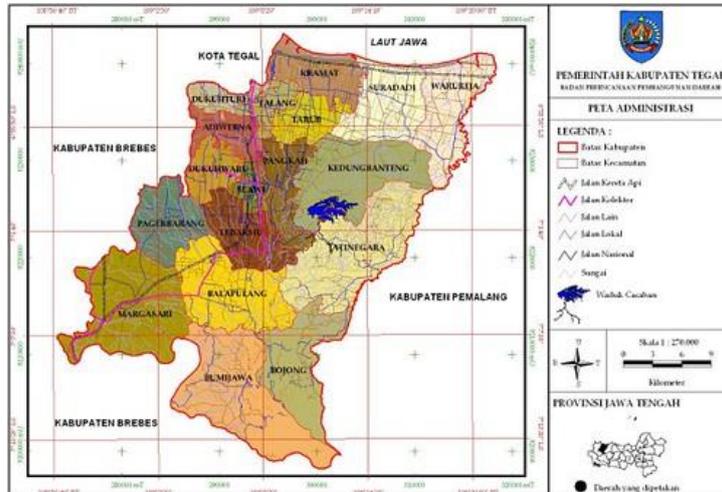
Analisis data yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah yang disajikan berdasarkan nilai IRI yang diperoleh adalah dalam tahapan pengumpulan data kemudian dilakukan analisis kondisi jalan dengan pengklasifikasian jalan yang masuk ke dalam kategori baik, sedang, rusak ringan dan rusak ringan beserta kebutuhan penanganannya.

Kondisi Jalan	IRI (m/km)	Kebutuhan Penanganan
Baik	IRI rata rata ≤ 4	Pemeliharaan Rutin
Sedang	$4 < \text{IRI rata rata} \leq 8$	Pemeliharaan Berkala
Rusak Ringan	$8 < \text{IRI rata rata} \leq 12$	Peningkatan Jalan
Rusak Berat	IRI rata rata ≤ 12	Peningkatan Jalan

Sumber: Panduan Direktorat Jendral Bina Marga 2011

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi Penelitian



Gambar 3. Peta Jaringan Jalan Kabupaten Tegal



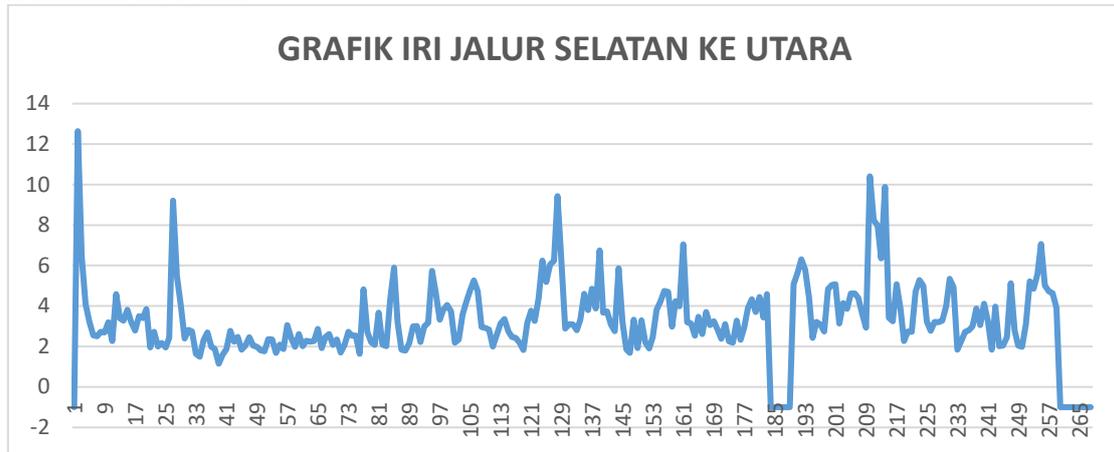
Gambar 4. Ruas Jalan Ir H Juanda Slawi Kabupaten Tegal

Lokasi penelitian berada di ruas jalan Ir H Juanda sampai jalan Anoa Slawi Kabupaten Tegal dengan status jalan Kota. Jalan tersebut mempunyai fungsi jalan lokal sekunder dengan tipe jalan 4/2 T, panjang jalan sebesar 2,67 km dengan lebar badan jalan sebesar 12 m dengan tipe lingkungan pemukiman dan pertokoan

Analisis Kondisi Jalan Dengan Metode IRI (International Roughness Index)

Dalam penelitian ini pengambilan data IRI menggunakan mobil hawkeye 2000 terbagi menjadi dua data IRI diantaranya adalah data IRI pada jalur utara ke selatan dan jalur selatan ke utara. Pengambilan data dilakukan per 10 meter sepanjang 2,7 km pada setiap jalur jalan Ir H Juanda sampai jalan Anoa dengan perkerasan lunak (aspal) didapatkan data sebagai berikut :

Jalur Selatan ke Utara



Grafik 1. Grafik Kondisi Jalan Dengan Metode *International Roughness Index (IRI)*

Grafik 1 menunjukkan kondisi ruas jalan Ir H Juanda pada jalur selatan ke utara sepanjang 2,65 km yang dibagi ke dalam per 10 meter, grafik menunjukkan nilai IRI terbesar adalah 12,4 pada chainage 20 km sedangkan nilai IRI terkecil sebesar -1 hal ini terjadi pada awal dan akhir ruas karena kendaraan dalam keadaan berhenti.

Tabel 2. Data IRI Ruas Jalan

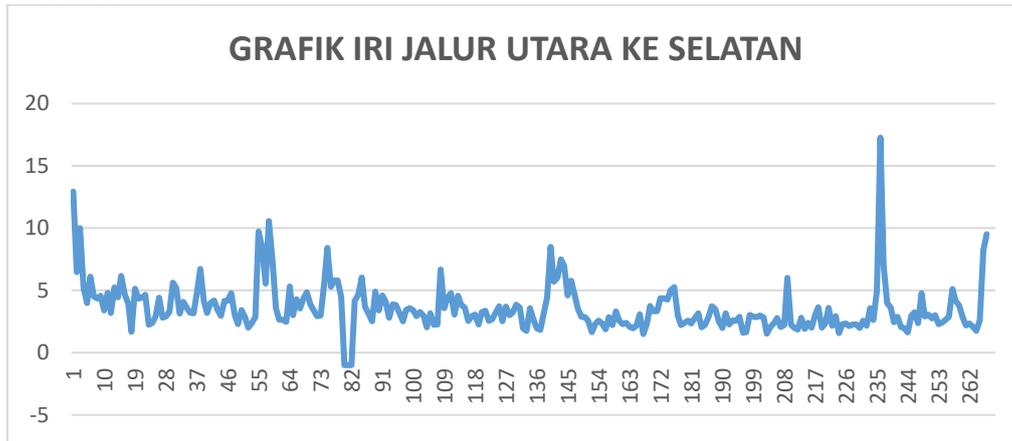
Kategori	Panjang Jalan (M)	Presentase
Baik	1990	74,81203008
Sedang	610	22,93233083
Rusak Ringan	50	1,879699248
Rusak Berat	10	0,37593985



Diagram 1. Presentase Kondisi Ruas Jalan Jalur Selatan ke Utara

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan pada tabel 2 dan diagram 1 dengan menggunakan mobil hawkeye 2000 didapatkan nilai rata-rata IRI adalah 3,21 % maka dapat disimpulkan bahwa pada lokasi ruas jalan Ir H Juanda lajur Selatan ke utara dalam kondisi baik akan tetapi tetap membutuhkan penanganan berupa pemeliharaan secara rutin. Dari tabel klasifikasi diatas juga dapat dilihat bahwa jalan Ir H Juanda arah selatan ke utara memiliki 1990 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang baik dengan presentase 74,8%, 610 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang sedang dengan presentase 22,93%, 50 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang rusak ringan dengan presentase 1,87%, dan 10 meter terdapat jalan yang rusak berat dengan presentase 0,37 % .

Jalur Utara ke Selatan



Grafik 2. Grafik Kondisi Jalan Dengan Metode *International Roughness Index (IRI)*

Grafik 2 menunjukkan kondisi ruas jalan Ir H Juanda pada jalur utara ke selatan sepanjang 2,62 km yang dibagi ke dalam per 10 meter, grafik menunjukkan nilai IRI terbesar adalah 17,27 pada chainage 5,2 km sedangkan nilai IRI terkecil sebesar -1.

Tabel 3. Data IRI Ruas Jalan

Kategori	Panjang Jalan (M)	Presentase
Baik	1890	71,32075472
Sedang	660	24,90566038
Rusak Ringan	80	3,018867925
Rusak Berat	20	0,754716981

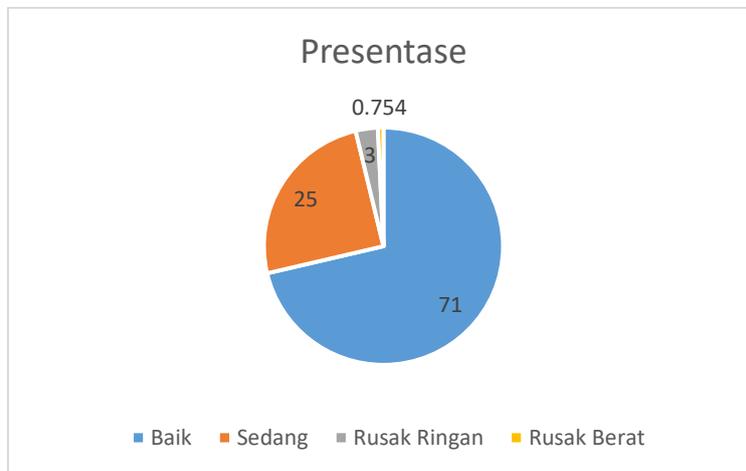


Diagram 2. Presentase Kondisi Ruas Jalan Jalur Utara Ke S

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan pada tabel 3 dan diagram 2 dengan menggunakan mobil hawkeye 2000 didapatkan nilai rata-rata IRI adalah 2,5 % maka dapat disimpulkan bahwa pada lokasi ruas jalan Ir H Juanda jalur utara ke selatan dalam kondisi baik akan tetapi tetap membutuhkan penanganan berupa pemeliharaan secara rutin. Dari tabel klasifikasi diatas juga dapat dilihat bahwa jalan Ir H Juanda arah utara ke selatan memiliki 1890 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang baik dengan presentase 71,32, 660 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang sedang dengan presentase 24,90%, 80 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang rusak ringan dengan presentase 3,02 dan 20 meter terdapat jalan yang rusak berat dengan presentase 0,75%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan Survey yang dilakukan kondisi jalan di ukur dari nilai IRI menggunakan mobil hawkeye adalah ruas jalan Ir H Juanda sampai jalan Anoa Kabupaten Tegal yang dibagi menjadi dua diantaranya jalur selatan ke utara dan jalur utara ke selatan didapatkan bahwa jalan selatan ke utara memiliki 1990 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang baik dengan presentase 74,8%, 610 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang sedang dengan presentase 22,93%, 50 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang rusak ringan dengan presentase 1,87%, dan 10 meter terdapat jalan yang rusak berat dengan presentase 0,37 %. Sedangkan pada jalur utara ke selatan memiliki 1890 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang baik dengan presentase 71,32, 660 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang sedang dengan presentase 24,90%, 80 meter dengan ketidakrataan permukaan jalan yang rusak ringan dengan presentase 3,02 dan 20 meter terdapat jalan yang rusak berat dengan presentase 0,75%. Rata rata nilai IRI keduanya memiliki kondisi rata rata yang baik, rekomendasi penanganan yang sesuai adalah dilakukannya pemeliharaan rutin untuk ruas jalan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Maulana, Rulhendri, and N. Chayati, "Analisis Kerusakan Permukaan Jalan Berdasarkan Penilaian Dengan Metode SDI Dan IRI," *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 34–41, Dec. 2023, doi: 10.52158/jaceit.v4i2.566.
- [2] A. Wahyuni, L. Basri Said, and M. Thahir Syarkawi, "Analisis Tingkat Kerusakan Permukaan Jalan dengan Metode International Roughness Index (IRI) dan Pavement Condition Index (PCI) Menggunakan Alat Mata Garuda (Studi Kasus Jalan Nasional Gatot Subroto Watampone)," *Jurnal Konstruksi*, vol. 1, no. 4, pp. 1–13, 2022.
- [3] E. Putra Pasha, N. Sebayang, and A. Ma'ruf, "Analisis Kerusakan Jalan Dengan Menggunakan Metode Pci (Pavement Condition Index), Sdi (Surface Distress Index) Dan Iri (International Roughness Index) (Studi Kasus Jl. Widuri Sukorejo, Kota Blitar)," *Student Journal Gelagar*, vol. 4, no. 2, 2022.
- [4] A. Yunus, L. B. Said, and A. Alifuddin, "Analisis Penentuan Penanganan Jalan Nasional Metode International Roughness Index (IRI) dan Pavement Condition Index (PCI) (Studi Kasus: Ruas Jalan Kalukku-Bts Kota Mamuju)," *Jurnal Konstruksi*, vol. 1, no. 1, pp. 10–21, 2022.
- [5] A. N. Fajar, A. Khamid, W. Diantoro, D. D. Aprilianp, and M. Yunus, "Analisis Tingkat Kerusakan pada Jalan Pagerbarang-Margasari Kabupaten Tegal," *Infratech Building Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 49–57, 2021, [Online]. Available: <https://docs.google.com/forms/d/1UU6tBEgTny2jx2nUoGkhSZeROq8FoZvn0jkuPIJcy3E/viewanalytics>
- [6] *Undang Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan*.
- [7] *Undang Undang Republik Indonesia No 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*.
- [8] U. Tho'atin, A. Setyawan, and M. Suprpto, "Penggunaan Metode International Roughness Index (Iri), Surface Distress Index (Sdi) Dan Pavement Condition Index (Pci) Untuk Penilaian Kondisi Jalan Di Kabupaten Wonogiri," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Nov. 2016.
- [9] "Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Mobil Hawkeye PKTJ Tegal," 2020. Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: <https://pktj.ac.id/berita/20200314-17-mobil-hawkeye-pktj-tegal>

PAVING BLOK K-200 UNTUK AREA PARKIR MOBIL RECYCLE LIMBAH PAVING LAMA

***Teguh Yuono¹, Tri Hartanto², Gatot Nursetyo³, Al Ibra Alif Widiyanto⁴**
^{1,2,3,4}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta
^{*)} Email: teguh.yuono@lecture.utp.ac.id

ABSTRACT

Students use private vehicles with the aim of making it easier to mobilize from their residence to the University Campus environment. This influences the intensity of motorists in the university area to be high, so quality road infrastructure is needed so that students can drive comfortably and safely. One way to develop quality road infrastructure is by installing paving blocks. Generally, apart from installation on university roads, paving blocks are installed on sidewalks, pedestrians, parking areas, even in hotel and factory areas. Apart from roads, parking areas also need to be planned using paving. The ease of installation and costs required are considered cheaper and meet the aesthetic aspect because they have various shapes, making the use of paving blocks increasingly popular. The use of paving blocks as road pavement and parking areas is also needed in the Tunas Pembangunan Surakarta University environment. The conventional method of making paving blocks is done using a block tool with a compaction load that affects the energy of the person doing the work. The materials used in making paving blocks are Portland Cement, sand (old/paving waste), and water. In this research, 6 samples were made, with a ratio of 1:3. After 14 days, a press test of the paving was carried out and it was discovered that the new paving (recycled) had a strength of more than K-200, so it could be used for roads and parking in the UTP Surakarta campus area..

Keyword: recycle paving, pressure test, old paving, K-200, parking

ABSTRAK

Para mahasiswa menggunakan kendaraan pribadi dengan tujuan untuk mempermudah mobilisasi dari tempat tinggal ke lingkungan Kampus Universitas untuk melakukan aktivitas. Hal ini mempengaruhi intensitas para pengendara di kawasan universitas menjadi tinggi, sehingga dibutuhkan prasarana jalan yang bermutu dan memadai agar mahasiswa bisa berkendara dengan nyaman dan aman. Mengembangkan prasarana jalan yang bermutu salah satunya yaitu dengan cara perkerasan jalan. Umumnya, selain pemasangan dilakukan di jalan kawasan universitas, paving blok di pasang pada trotoar di jalanan kota, pedestrian, area parkir, jalanan di perumahan, gang-gang kecil, halaman depan rumah, memeperindah taman, bahkan di area hotel, perusahaan, dan pabrik. Selain jalan, area parkir juga perlu direncanakan dengan menggunakan paving. Kemudahan dalam pemasangan dan biaya yang dibutuhkan dinilai lebih murah serta memenuhi aspek keindahan karena memiliki bentuk yang beragam membuat penggunaan paving block makin digemari. Penggunaan paving block sebagai perkerasan jalan dan area parkir juga diperlukan di lingkungan Universitas Tunas Pembangunan Surakarta (UTP). Metode pembuatan paving block cara konvensional dilakukan dengan menggunakan alat gablok dengan beban pemadatan yang berpengaruh terhadap tenaga orang yang mengerjakan. Material yang digunakan dalam pembuatan paving block adalah semen portland (PC), pasir (limbah paving/lama), dan air. Dalam penelitian ini membuat sampel berjumlah 6 buah, dengan perbandingan 1:3. Setelah 14 (empat belas) hari, kemudian dilakukan uji tekan paving diketahui paving baru (hasil recycle) kekuatannya lebih dari K-200, sehingga mampu digunakan untuk jalan dan parkir di area kampus UTP Surakarta.

Kata kunci: paving daur ulang, uji tekanan, K-200, parkir

1. PENDAHULUAN

Paving block merupakan produk turunan beton yang banyak memiliki fungsi dan sudah populer di masyarakat. Fungsi, kelebihan dan kekurangannya sudah banyak yang bahas, namun perlu kita ulas lebih mendalam karena masih banyak masyarakat yang bertanya tentang hal ini. Paving block atau yang disingkat PB sudah sangat populer bagi masyarakat kota maupun desa. Produk ini bisa kita temui di jalan, halaman rumah, jalan kampung maupun di taman. Paving block merupakan salah satu bahan bangunan yang berbahan baku dari campuran semen, pasir, air dan agregat yang dicetak dalam berbagai model [1]. Paving block adalah segmen-segmen kecil yang terbuat dari beton dengan bentuk segi empat atau segi banyak yang dipasang sedemikian rupa sehingga saling mengunci [2]. Seperti halnya pagar panel beton, pasir menempati urutan pertama komposisi paving block, hasil penelitian menunjukkan sekitar 65-70% material penyusun PB adalah pasir [3]. Untuk mendapatkan PB berkualitas, produsen paving block harus memilih pasir yang berkualitas pula. Salah dalam menentukan jenis pasir maka hasilnya bisa tidak maksimal. Fungsi utamanya adalah menutup permukaan tanah sedangkan fungsi sekundernya adalah memeperindah jalan, halaman dan taman [4]. Produk ini memiliki ragam bentuk dan warna sehingga sangat cocok untuk memeperindah taman, rumah maupun jalan.

Kelebihan Paving Block

Terdapat banyak sekali kelebihan paving block sehingga minat masyarakat untuk menggunakannya terus tumbuh dari dulu hingga sekarang. Berikut adalah beberapa kelebihan paving block yang telah kami rangkum.

1. Daya serap air lebih tinggi

Kelebihan paving block yang utama adalah memiliki daya serap air yang lebih tinggi jika kita bandingkan dengan aspal dan beton. Air lebih mudah terserap oleh tanah karena masih terdapat ruang antar satu block dengan block yang lain. Berdasarkan beberapa kajian ilmiah menunjukkan bahwa kurang lebih 60% air hujan dapat meresap ke tanah melalui celah antara susunan paving block [5].

2. Pemasangan mudah

Pemasangan lebih cepat dan lebih mudah karena tidak membutuhkan alat berat atau alat khusus. Hal ini berbeda dengan penggunaan aspal atau beton cor yang mengharuskan memakai alat khusus yang hanya dimiliki oleh perusahaan tertentu. Alat standar yang harus tersedia dalam pemasangan paving block yaitu water pass, stamper kodok, cangkul, palu, sikat ijuk, jidar (kayu) dan angkung. Alat-alat tersebut banyak tersedia di toko bangunan dekat rumahmu. Jika kamu tidak bisa memasangnya sendiri, jangan khawatir karena jasa pemasangan paving block relatif murah yakni Rp 20.000-40.000/m².

3. Harga lebih murah

Jika kita bandingkan dengan aspal atau beton cor maka paving block merupakan produk beton yang paling murah. Harganya berkisar antara Rp 60.000-120.000/m² untuk material saja. Harga beton cor atau readymix dari pabrik per m³ berkisar antara Rp 600.000-900.000/m³, sedang paving block secara all in (terima jadi) biayanya berkisar Rp 120.000- 130.000/m². Pihak pemborong biasanya sudah menyediakan alat, tenaga dan materialnya. Satu lagi kelebihanannya adalah tidak ada tambahan biaya ke tenaga yang mengerjakan pemasangan.

4. Perawatan lebih mudah

Kerusakan pada beberapa bagian paving block adalah hal yang wajar, sama halnya kerusakan pada lapisan aspal dan beton karena terkena air secara terus menerus. Umumnya paving block yang berumur 5 tahun setelah pemasangan akan terdapat beberapa bagian yang rusak. Ketika terjadi kerusakan, kamu tidak perlu takut atau khawatir, karena perbaikannya tergolong mudah yakni dengan mengganti bagian yang rusak tersebut dengan paving block yang baru. Proses penggantian tersebut sangat mudah dan cepat karena dapat dikerjakan sendiri. Berbeda dengan penggunaan aspal, butuh tenaga profesional dan biaya yang cukup tinggi untuk menambal bagian yang rusak. Penambalan bagian yang rusak tidak bisa di lakukan seketika karena pihak pemborong umumnya tidak mau mengerjakan perbaikan jika volumenya kecil.

5. Tahan terhadap cuaca

Paving block lebih tahan terhadap cuaca baik itu panas maupun hujan. Sangat jarang kita temui adanya lubang pada jalan yang menggunakan paving block. Berbeda dengan aspal dan beton, sering kita jumpai lubang pada jalan berbahan aspal maupun beton. Adanya celah antar susunan block memungkinkan air untuk meresap ke dalam tanah sehingga tidak mengikis permukaan paving block. Sedangkan pada aspal dan beton tidak memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah. Air hujan akan mengalir di atas permukaan jalan (*run off*) sehingga akan mengikis permukaan jalan. Jika ini berlangsung lama maka struktur jalan akan mengalami kerusakan.

6. Dapat di daur ulang (*recycle*)

Paving block berbahan pasir dan semen memiliki daya tahan terhadap tekanan lebih besar dibanding dengan paving block berbahan limbah plastik. Paving block yang terbuat dari limbah plastik memiliki potensi untuk didaur ulang, sehingga dapat berkontribusi dalam mengurangi jumlah limbah plastik, khususnya limbah plastik kresek HDPE (*High Density Polyethylene*) [6].

Kebaharuan dari penelitian ini adalah melakukan pemanfaatan limbah (paving lama) sebagai material untuk paving baru. Tidak perlu membeli bahan / material baru, sehingga lebih hemat. Kemudian juga tidak diperlukan pembuangan material lama, dimana juga membutuhkan biaya pembuangan. Selain pemanfaatan limbah, kebaruan dari penelitian ini adalah bentuk dan ukuran paving, yaitu : 20 x 20 x 6 cm. Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan material paving lama, menjadi material paving baru, sehingga bisa menghemat biaya. Juga tidak perlu membuang paving lama yang membutuhkan lahan dan biaya pembuangan, sehingga juga lebih menghemat lagi biaya produksi dan pembersihan lokasi. Paving inovasi baru ini akan digunakan untuk area parkir yang berada di kampus 2 UTP Surakarta, khususnya di Fakultas Teknik. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan akan memberikan manfaat, antara lain: a.Menghasilkan konsep/inovasi perbaikan paving tanpa membeli baru, dengan pemanfaatan limbah (paving lama) sebagai pembuatan paving baru. b.Menghasilkan temuan-temuan baru terkait material tambahan yang sangat dimungkinkan untuk pembuatan paving baru. Ditargetkan menghasilkan inovasi pembuatan model, bentuk baru, ukuran, komposisi paving dengan memanfaatkan limbah (paving lama).

2. METODE

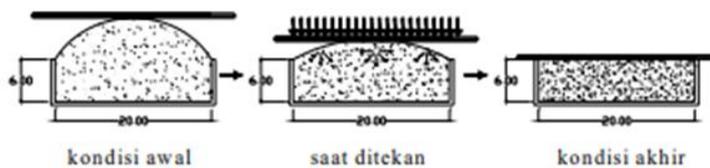
Metode pembuatan paving block di masyarakat yang biasa digunakan dapat diklasifikasikan menjadi dua metode [7], yaitu :

a. Metode Konvensional

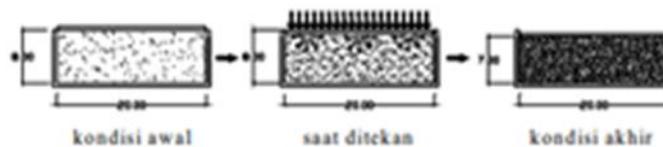
Metode ini adalah metode yang paling banyak digunakan oleh masyarakat kita dan lebih dikenal dengan metode gablokan. Pembuatan paving block cara konvensional dilakukan dengan menggunakan alat gablokan dengan beban pemadatan yang berpengaruh terhadap tenaga orang yang mengerjakan. Metode ini banyak digunakan oleh masyarakat sebagai industri rumah tangga karena selain alat yang digunakan sederhana, juga mudah dalam proses pembuatannya sehingga dapat dilakukan oleh siapa saja. Semakin kuat tenaga orang yang mengerjakan maka akan semakin padat dan kuat paving block yang dihasilkan. Cara pembuatan yang demikian akan mengakibatkan pekerja cepat kelelahan karena proses pemadatan dilakukan dengan menghantamkan alat pemadat pada adukan yang berada dalam cetakan.

b. Metode Mekanis

Metode mekanis didalam masyarakat biasa disebut metode press. Metode ini masih jarang digunakan karena untuk pembuatan paving block dengan metode mekanis membutuhkan alat yang harganya relatif mahal. Metode mekanis biasanya digunakan oleh pabrik dengan skala industri sedang atau besar. Pembuatan paving block cara mekanis dilakukan dengan menggunakan mesin (*compression apparatus*).



Gambar 1. Prinsip Kerja Metode Konvensional



Gambar 2. Prinsip Kerja Metode Mekanis



Alat gablokan



Alat *compression apparatus*

Gambar 3. Alat Cetak Paving Block

c. Variabel Penelitian.

Material yang digunakan dalam pembuatan paving block adalah semen portland (PC), pasir (limbah paving/paving lama), dan air. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing material recycle paving block:

1. Semen portland (PC); Jenis semen yang umumnya dapat dipakai harus memenuhi ketentuan dan syarat yang ditentukan dalam PBI 1971 NI-8 [8] [9].
2. Agregat Halus (Pasir)/material paving lama; Agregat halus dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu [10] [11]. Agregat halus harus memenuhi syarat-syarat sesuai PBI 1971 NI-2.
3. Air; Air diperlukan dalam proses pembuatan paving block untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan. Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan sesuai PBI 1971 NI-2.

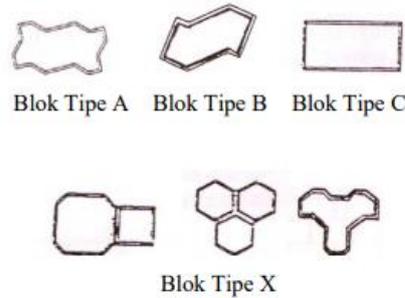
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi paving block (blok beton) didasarkan atas bentuk, tebal, kekuatan, dan warna [2]. Klasifikasi tersebut antara lain :

1. Klasifikasi berdasarkan bentuk

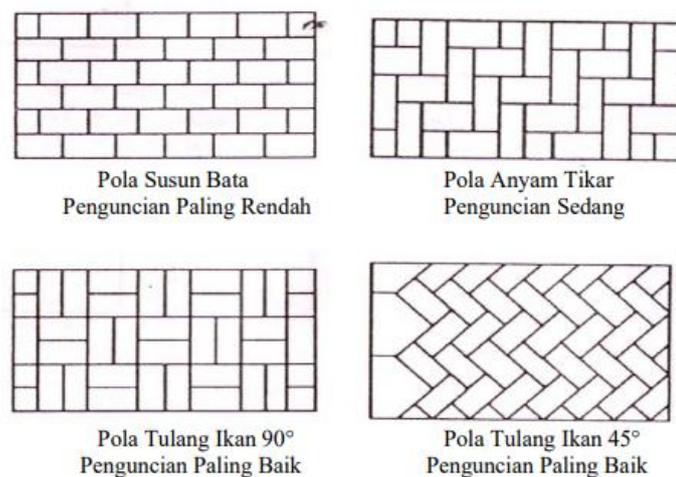
Bentuk paving block secara garis besar terbagi atas dua macam, yaitu :

- a. Paving block bentuk segi empat
- b. Paving block bentuk segi banyak



Gambar 4. Bentuk Paving Block

Pola pemasangan sebaiknya disesuaikan dengan tujuan penggunaannya. Pola yang umum dipergunakan ialah susun bata (*strecher*), anyaman tikar (*basket weave*), dan tulang ikan (*herring bone*). Pola untuk perkerasan jalan diutamakan pola tulang ikan karena mempunyai kuncian yang baik. Proses pemasangan paving block, paving harus berpinggul dan pada tepi susunan biasanya ditutup dengan pasak yang berbentuk topi uskup.



Gambar 5. Pola Pemasangan Paving Block



Gambar 6. Bentuk Pasak Topi Uskup

2. Klasifikasi berdasarkan ketebalan

Ketebalan paving block ada tiga macam [12], yaitu :

- a. Paving block dengan ketebalan 60 mm
- b. Paving block dengan ketebalan 80 mm
- c. Paving block dengan ketebalan 100 mm

Pemilihan bentuk dan ketebalan dalam pemakaian harus disesuaikan dengan rencana penggunaannya, sehingga kuat tekan paving block tersebut juga harus diperhatikan.

3. Klasifikasi berdasarkan kekuatan

Pembagian kelas paving block berdasarkan mutu betonnya [7] adalah :

- a. Paving block dengan mutu beton f_c' 37,35 Mpa
- b. Paving block dengan mutu beton f_c' 27,0 Mpa

4. Klasifikasi berdasarkan warna

Warna yang tersedia dipasaran antara lain abu-abu, hitam, dan merah. Paving block yang berwarna kecuali untuk menambah keindahan juga dapat digunakan untuk memberi batas pada perkerasan seperti tempat parkir, tali air, dan lain-lain.

Penelitian untuk mengetahui kekuatan paving hasil *recycle* dari paving lama, dilakukan sebagai pembuatan desain cetakan paving dengan cara konvensional.

Cetakan dibuat desain dengan bentuk segitiga sama sisi. Bentuk segitiga sama sisi dalam geometri adalah segitiga yang ketiga sisinya sama panjang. Segitiga sama sisi dalam geometri euklides juga merupakan equiangular, yaitu semua tiga sudut internal juga kongruen satu sama lain dan masing-masing 60° . Walaupun memiliki jumlah sisi yang sama, panjang sisi pada bangun segitiga sama kaki dan segitiga sama sisi berbeda. Bentuk segitiga sama kaki terdapat 2 buah sisi yang sama panjang. Sementara itu, pada segitiga sama sisi ada 3 sisi sama panjang. Desain penelitian ini dipilih cetakan paving berbentuk segitiga sama sisi.



Gambar 7. Cetakan paving segitiga sama sisi dan sampel paving baru.

Tabel 1. Hasil Tes Kuat Tekan Paving Lama

HASIL TES KUAT TEKAN PAVING						
DARI CONTOH LAPANGAN (PAVING LAMA)						
PROGRAM	: PENELITIAN					
LOKASI	: KAMPUS UTP SURAKARTA					
TYPE	: SEGI ENAM					
NO	TANGAL UJI	BERAT BENDA gr	TEKAN MAX PEMBACAAN Kn	UMUR HARI	TEGANGAN HANCUR (MPa)	KETERANGAN 28 HARI (MPa)
1	14-6-2024	4315	430	7	11.49	17.68
2	14-6-2024	4135	475	7	12.69	19.53

Tabel 2. Hasil Tes Kuat Tekan Paving Baru (Recycle Paving Lama)

HASIL TES KUAT TEKAN PAVING DARI CONTOH LABORATORIUM							
PROGRAM		: PENELITIAN					
LOKASI		: KAMPUS UTP SURAKARTA					
TYPE		: SEGI TIGA SAMA KAKI					
NO	TANGGAL BUAT	TANGGAL UJI	BERAT BENDA gr	TEKAN MAX PEMBACAAN Kn	UMUR HARI	TEGANGAN HANCUR (MPa)	KETERANGAN 28 HARI (MPa)
1	14-6-2024	21-6-2024	2510	220	7	13.58	20.89
2	14-6-2024	21-6-2024	2450	215	7	13.27	20.42
3	14-6-2024	21-6-2024	2380	225	7	13.89	21.37
4	14-6-2024	28-6-2024	2520	295	14	18.21	20.69
5	14-6-2024	28-6-2024	2480	300	14	18.52	21.04
6	14-6-2024	28-6-2024	2520	295	14	18.21	20.69



Gambar 8. Pengujian uji tekan beton di Laboratorium Teknik Sipil UTP Surakarta

Percobaan pembuatan paving dengan campuran 1 semen : 3 paving lama yang ditumbuk halus. Hasil percobaan uji tekan beton pada 3 sampel paving segitiga sama kaki didapatkan kekuatan paling rendah 13,27 Mpa untuk umur beton 7 hari. Percobaan uji tekan beton pada 3 sampel paving segitiga sama kaki umur 14 hari didapatkan kekuatan paling rendah 18,21 Mpa atau lebih dari K 200 (setara 16,9 Mpa). Paving baru hasil recycle dengan kekuatan K-200 mampu digunakan untuk area parkir mobil.

Proses pembuatan paving baru hasil recycle paving lama, dimulai dengan memanfaatkan paving lama yang sudah rusak. Kendala yang terjadi di lapangan/masyarakat adalah apabila mau mengganti paving kesulitan untuk membuang paving bekas, karena untuk pemasangan paving baru harus membongkar paving yang lama. Berawal dari kondisi inilah penulis mencoba membuat paving baru hasil dari recycle paving lama. Setelah dilakukan beberapa kali percobaan untuk mendapatkan paving dengan kekuatan \pm K-200, didapatkan komposisi campuran yang baik antara semen dengan butiran paving lama dengan perbandingan 1:3. Proses penelitian ini menggunakan metode sederhana, dimana paving lama (sudah rusak) ditumbuk/dipukul menjadi pecahan-pecahan dan ditumbuk hingga menjadi halus.



Gambar 9. Proses pembuatan paving baru dari *recycle* paving lama

4. KESIMPULAN

Paving block lebih tahan terhadap cuaca baik itu panas maupun hujan. Sangat jarang kita temui adanya lubang pada jalan yang menggunakan paving block. Berbeda dengan aspal dan beton, sering kita jumpai lubang pada jalan berbahan aspal maupun beton. Adanya celah antar susunan block memungkinkan air untuk meresap ke dalam tanah sehingga tidak mengikis permukaan paving block. Kebaharuan dari penelitian ini adalah melakukan pemanfaatan limbah (paving lama) sebagai material untuk paving baru, tidak perlu membeli bahan / material baru sehingga lebih hemat. Kemudian juga tidak diperlukan pembuangan material lama, dimana juga membutuhkan biaya pembuangan. Selain pemanfaatan limbah, kebaruan dari penelitian ini adalah bentuk dan ukuran paving Segitiga Sama Sisi, yaitu: 20 x 20 x 20 x 8 cm. Kemudahan dalam pemasangan dan biaya yang dibutuhkan dinilai lebih murah serta memenuhi aspek keindahan karena memiliki bentuk yang beragam dan adanya modifikasi bentuk resapan untuk air. Berdasarkan hasil penelitian ini, setelah dilakukan beberapa kali percobaan maka untuk mendapatkan paving blok dengan kekuatan K-200 dengan komposisi campuran 1: 3 (1 semen : 3 material paving lama). Paving K-200 bisa digunakan untuk perkerasan jalan dan perkerasan untuk area parkir mobil. Pembuatannya bisa dilakukan dengan cara konvensional dan mudah bisa dilakukan tanpa membutuhkan keterampilan khusus. Produksi yang lebih banyak diperlukan alat/mesin pemecah dan penumbuk paving lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (paving block)., Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 1996.
- [2] Badan Standarisasi Nasional, SNI T-04-1990-F tentang Standar Bata Beton Paving Block, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 1996.
- [3] Multicon Jaya Beton, "CV Multicon Jaya Beton," CV Multicon Jaya Beton, 2021. [Online]. Available: <https://multiconjayabeton.com/fungsi-kelebihan-dan-kekurangan-paving-block/#:~:text=Seperti%20halnya%20pagar%20panel%20beton,memilih%20pasir%20yang%20berkualitas%20pula.> [Accessed Januari 2025].
- [4] Anonim, "Mengenal Paving Block," Penelitian Pariwisata, Juni 2023. [Online]. Available: <https://penelitianpariwisata.id/mengenal-paving-block/>. [Accessed Januari 2025].
- [5] R. Mudiyo, Performance of concrete block pavement on sloped road section. Disertasi S3 Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia, 2006.
- [6] E. Azhari, A. Fahmi and J. Prasetyawan, "Pengaruh Limbah Kantong Plastik "Kantong Kresek" Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Paving Block," Jurnal HANDASAH. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Islam Al-Azhar, vol. 1, no. 2, pp. 33-38, 2021.

- [7] B. Pamungkas and S. Hairunnisa, "Komparasi Mutu Paving Block Antara Metode Mekanis Dan Konvensional Dengan Campuran Endapan Sampah (Studi Kasus TPA Banyu Urip, Magelang)," JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG , Semarang, 2007.
- [8] Dewan Normalisasi Indonesia (DNI) and Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan (LPMB), Peraturan Semen Portland Indonesia (NI-8) 1972, Jakarta: Dewan Normalisasi Indonesia (DNI) dan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan (LPMB)., 1972.
- [9] Badan Standarisasi Nasional, SNI-15-2049-2004 Tentang Semen Portland, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2004.
- [10] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, PBI 1971 NI-2 tentang Peraturan Beton Bertulang Indonesia, Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971.
- [11] Standar Nasional Indonesia Bidang Pengujian, SNI ASTM C136-2012 tentang metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2012.
- [12] S. Sebayang, I. W. Diana and A. Purba, "Perbandingan Mutu Paving Block Produksi Manual Dengan Produksi Masinal," Jurnal Rekayasa, vol. 15, no. 2, pp. 139-150, 2011.

OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PADA PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT BRONDONG - LAMONGAN

*Muhammad Wahyu Suryadi¹, Antonius², Kartono Wibowo³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

*) Email: msuryadiwahyu@gmail.com

ABSTRACT

Delays in project work can be anticipated by accelerating its implementation, but must still pay attention to cost and quality factors. The delay will certainly have an impact on increasing costs, so that additional costs incurred must be optimized so that they can be minimized and still pay attention to quality standards. The implementation of the construction of the Brondong House - Lamongan includes the construction of a two-story building using the Lamongan Regency APBD. Completion of the construction is expected to be completed on time with an implementation time of 150 (one hundred and fifty) calendar days or 3 months. This study aims to analyze the time and cost of the project using the crashing method with the addition of labor, the overlapping method, and a combined method between crashing with the addition of labor and overlapping, with the aim of analyzing the most optimal time and cost using the crashing, overlapping, and overlapping, crashing alternatives. The data needed in this study are in the form of S-curve data and time schedules, weekly project reports, Budget Plans (RAB). Then a discussion is carried out to determine the time and cost due to acceleration with the addition of labor, overlapping, and a combination of overlapping crashing. The acceleration calculation of the three alternatives can be concluded that the optimal time and cost due to acceleration is by using the combined method of crashing, adding labor and overlapping, obtaining a cost reduction of Rp. 291,484,666.67 from the total normal work cost of Rp. 25,313,105,854.21 to Rp. 25,021,621,187.54 or down 1.152% from the total normal work cost with a reduction in work duration of 49 days from the normal duration of 150 days to 101 days.

Keyword: Crashing Method, Overlapping Method, Combined Crashing Overlapping Method, Project Acceleration.

ABSTRAK

Keterlambatan pengerjaan proyek dapat diantisipasi dengan melakukan percepatan pelaksanaannya, namun tetap harus memperhatikan faktor biaya dan mutu. Keterlambatan tersebut tentunya akan berdampak pada peningkatan biaya, se hingga biaya tambahan yang dikeluarkan harus dioptimalkan agar dapat diminimalisir dan tetap memperhatikan standar mutu. Pelaksanaan pembangunan Rumah Brondong - Lamongan meliputi pembangunan gedung dua lantai dengan menggunakan APBD Kabupaten Lamongan. Penyelesaian pembangunan diharapkan dapat selesai tepat waktu dengan waktu pelaksanaan 150 (seratus lima puluh) hari kalender atau 3 bulan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis waktu dan biaya proyek dengan menggunakan metode *crashing* dengan penambahan tenaga kerja, metode *overlapping*, dan metode gabungan antara *crashing* dengan penambahan tenaga kerja dan *overlapping*, dengan tujuan menganalisis waktu dan biaya yang paling optimal dengan menggunakan alternatif *crashing*, *overlapping*, dan kombinasi *overlapping*, *crashing*. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data kurva S dan jadwal waktu, laporan mingguan proyek, Rencana Anggaran Biaya (RAB). Kemudian dilakukan pembahasan untuk menentukan waktu dan biaya akibat percepatan dengan penambahan tenaga kerja, *overlapping*, dan kombinasi *overlapping crashing*. Perhitungan percepatan dari ketiga alternatif tersebut dapat disimpulkan bahwa waktu dan biaya akibat percepatan yang optimal adalah dengan menggunakan metode gabungan *crashing*, penambahan tenaga kerja dan *overlapping*, diperoleh pengurangan biaya sebesar Rp. 291.484.666,67 dari total biaya pekerjaan normal sebesar Rp. 25.313.105.854,21 menjadi Rp. 25.021.621.187,54 atau turun 1,152% dari total biaya pekerjaan normal dengan pengurangan durasi pekerjaan 49 hari dari durasi normal 150 hari menjadi 101 hari.

Kata kunci: Metode *Crashing*, Metode *Overlapping*, Metode Gabungan *Crashing Overlapping*, Percepatan proyek.

1. PENDAHULUAN

Bertambahnya percepatan setiap kegiatan dalam suatu proyek konstruksi (*Crashing Project Time*) dari waktu normalnya, tentu akan menyebabkan waktu penyelesaian proyek menjadi lebih cepat. Akan tetapi, bertambahnya kecepatan waktu kegiatan-kegiatan tersebut juga akan mempengaruhi proyek dari segi biaya, khususnya untuk setiap kegiatan yang waktunya dipercepat menjadi lebih tinggi, sehingga total biaya proyek menjadi lebih besar daripada biaya normalnya [1].

Pelaksanaan pembangunan Rumah Brondong – Lamongan meliputi kegiatan pembangunan gedung dua lantai dengan menggunakan APBD Kabupaten Lamongan. Penyelesaian pembangunan diharapkan selesai tepat waktu dengan waktu pelaksanaan 150 (seratus lima puluh) hari kalender atau 3 bulan. Bangunan pelayanan masyarakat yang sifatnya segera difungsikan untuk umum maka diperlukan metode untuk menangani penyelesaian pembangunan dapat berjalan sesuai dengan target penyelesaian. Peneliti tertarik dengan permasalahan yang terdapat pada pembangunan Rumah Sakit Brondong - Lamongan untuk dilakukan percepatan.

Tinjauan Pustaka

Pada penelitian ini, melibatkan kajian penelitian terdahulu guna mengetahui bagaimana peneliti sebelumnya melakukan risetnya, mengangkat suatu masalah, metode yang diterapkan hingga memperoleh hasil penelitian sebagai landasan peneliti setelahnya.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

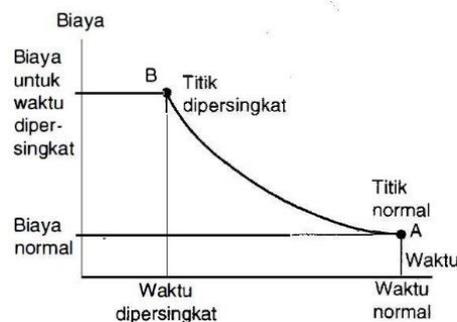
No	Judul	Tujuan	Kesimpulan
1	Analisis Percepatan Pelaksanaan Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung [2]	- Mengetahui durasi penyelesaian proyek Java Village Resort setelah dijadwal ulang atau <i>reschedule</i> . - Mengetahui besar <i>presentase</i> perubahan biaya dari pelaksanaan percepatan proyek.	- Waktu ideal percepatan ialah 130 hari dari sisa waktu 141 hari karena adanya keterlambatan, namun perpanjangan tetap di undur 24 hari dari rencana perpanjangan. - Perhitungan biaya percepatan dengan penambahan jam kerja sebesar 19,28 % atau Rp. 238.907.143. sedangkan waktu percepatan dengan penambahan jam kerja adalah menjadi 130 hari dari 141 hari jangka waktu percepatan.
2	Analisis Optimasi Penjadwalan Proyek dan Efisiensi Biaya Pada Proyek Pembangunan Gedung (Studi Kasus; Pembangunan RSUD Ketanggungan Kabupaten Brebes) [3]	Mengetahui penjadwalan yang optimal dan item pekerjaan yang perlu dipercepat dengan menentukan lintas kritis menggunakan PDM (<i>Precedence Diagram Method</i>) supaya mendapatkan biaya yang efisien	Percepatan menggunakan metode <i>Crashing</i> , metode <i>Overlapping</i> , dan metode <i>Combine</i> (<i>Crashing</i> dan <i>Overlapping</i>) dapat memperoleh hasil percepatan waktu/durasi 7 minggu (21 %) dan nilai optimasi biaya pelaksanaan sebesar Rp. 4.207.237.695,03 (7%), dari biaya pelaksanaan semula Rp. 58.557.390.571,00 menjadi Rp. 54.350.152.875,97.
3	Evaluasi Waktu dan Biaya Dengan Metode <i>Crashing</i> Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit UII [4]	Mengetahui waktu dan biaya proyek jika dilakukan percepatan dengan penambahan jam kerja, penambahan tenaga kerja, serta mengetahui perbandingan waktu dan biaya yang optimum dengan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja	Waktu yang ideal yang diperoleh akibat percepatan adalah menggunakan penambahan tenaga kerja dengan pengerjaan 281 hari dari waktu normal 320 hari dan biaya pekerjaan menjadi Rp. 9.217.956.594,13 atau turun 0,3% dari biaya normal Rp 9.295.727.416,59. Sedangkan dengan penambahan jam kerja diperoleh pengerjaan 299 hari dari waktu normal 320 hari dan biaya pekerjaan menjadi Rp 9.316.493.591,55 atau naik 0,2% dari biaya normal Rp 9.295.727.416,59.
4	Pengendalian Waktu dan Biaya Dengan Menggunakan Metode PDM Pada Pelaksanaan Gedung (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim Semarang T.A. 2022) [5]	Mengetahui performa pelaksanaan, menganalisis kinerja proyek berdasarkan konsep nilai hasil ditinjau dari waktu dan biaya, serta mengoptimalkan waktu dan biaya dengan <i>crashing</i> penambahan jam kerja (lembur).	Hasil penelitian didapatkan evaluasi pada pelaksanaan proyek minggu ke-25, mengalami keterlambatan dengan performa -3,070%. Penjadwalan ulang dimulai dari minggu ke-25 dengan metode <i>Precedence Diagram Method</i> (PDM) didapatkan waktu kritis 113 hari. Optimasi waktu serta biaya metode <i>crashing</i> dengan menambah jam lembur 3 jam (Lembur) dapat memperpendek durasi total sebanyak 28 hari dengan biaya Rp 68.333.458.223 selisih biaya Rp 270.630.006 dari BAC awal.
5	Optimalisasi Waktu Pelaksanaan Proyek Mark House Sebatu Dengan Metode <i>Least Cost Analysis</i> [6]	Mengetahui durasi dan biaya optimal dalam rangka menyelesaikan proyek yang mengalami keterlambatan dengan menggunakan metode <i>Least Cost Analysis</i>	Anggaran Total peningkatan kecepatan yang diperoleh sebesar Rp5.490.063.811 dari rata-rata yang diambil biaya sebesar Rp5.468.320.000 terdapat tambahan sebesar Rp21.743.811. Atau kenaikan biaya yang diambil sekitar 0,40% dari biaya normal, sedangkan waktu dan biaya yang diambil ideal dari usaha tersebut dapat dilakukan dengan melakukan tambahan waktu kerja selama 4 jam.

Manajemen Proyek

Manajemen proyek merupakan penerapan pengetahuan, keterampilan, alat, dan keterampilan untuk semua kegiatan usaha guna memenuhi semua tujuan. Manajemen usaha dilakukan dengan melaksanakan dan menghubungkan tahapan-tahapan persiapan manajemen proyek: pemikiran, perencanaan, pelaksanaan, pemeriksaan, pengendalian, dan akhirnya penyelesaian semua tahapan usaha. Perubahan pada satu atau lebih variabel tersebut mempengaruhi paling tidak satu faktor lainnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu wadah yang besar agar kombinasi dari ketiga variabel tersebut dapat berjalan dengan baik [7].

Metode Crashing

Metode *crashing* merupakan pereksdusian waktu penyelesaian proyek yang disengaja secara analitik dan sistematis dengan menguji dari keseluruhan kegiatan pada jalur kritis, maka lintasan jalur kritis pada *networking planning* harus sudah diketahui sebelum melakukan *crashing*, karena jalur tersebut menjadi penentu dalam proses mencari alternative percepatan durasi. [8]. Beberapa istilah yang digunakan dalam metode *crashing* yaitu biaya normal (*normal cost*), waktu normal (*normal duration*), waktu dipersingkat (*crashduration*) serta biaya untuk waktu dipersingkat (*crash cost*).



Gambar 1. Hubungan Waktu Dan Biaya Pada Keadaan Normal Dan Dipersingkat Pada Suatu Kegiatan [8]

Metode Overlapping

Beberapa analisis *network* dipaparkan bahwa aktifitas berikutnya hanya dapat dilakukan apabila aktifitas sebelumnya selesai dikerjakan. Metode *overlapping* mencakup dimulainya aktivitas lebih awal dari tanggal mulai yang direncanakan sehingga aktivitas tersebut dapat dimulai sebelum aktivitas pendahulunya selesai, yaitu dengan cara mengubah beberapa aktivitas berurutan menjadi aktivitas parallel [9]. Demikian pula hal ini memerlukan biaya tambahan karena pengerjaan ulang yang tidak bisa dihindari. Metode overlapping memberikan sebuah representasi proyek yang membentuk network yang lebih realistis dan memungkinkan menghasilkan durasi suatu proyek yang lebih pendek [8]. Hubungan antara aktivitas-aktivitas tersebut dapat disebut "hubungan tumpang tindih". Ada empat macam hubungan tumpang tindih yang dapat terjadi antara dua aktivitas, yaitu: *Start-to-start* (S/S), *Start-to-finish* (S/F), *Finish-to-start* (F/S), *Finish-to-finish* (F/F).

Cost Slope

Dengan memanfaatkan faktor waktu dan biaya pada waktu normal dan cepat, diperoleh biaya tambahan untuk mempercepat suatu tindakan per satuan waktu, yang disebut *cost slope*. Menggambarkan titik-titik pergerakan yang terkait dengan bagian-bagian garis yang dapat berfungsi untuk menganalisis aktivitas mana yang masih dapat diselesaikan. Strategi yang digunakan adalah meninjau *slope* setiap bagian garis yang dapat memberikan identifikasi yang dapat dikenali tentang dampak biaya terhadap pengurangan waktu penyelesaian suatu proyek.

2. METODE

Metode Crashing

Prinsip dasar perhitungan waktu metode *crashing*:

Normal Time / Waktu Normal, yaitu penyelesaian aktivitas dalam kondisi normal, dan *Crash Time* / Waktu Akselerasi, yaitu waktu terpendek yang paling mungkin untuk menyelesaikan aktivitas.

Prinsip dasar perhitungan biaya metode *crashing*:

Normal Cost / Biaya Normal, yaitu biaya langsung untuk menyelesaikan aktivitas pada kondisi normal. Kemudian, *Crash Cost* / Biaya Akselerasi, yaitu biaya langsung untuk menyelesaikan aktivitas pada kondisi waktu terpendek yang paling mungkin untuk menyelesaikan aktivitas. Dari dua komponen tersebut dapat diperoleh Total Biaya Akselerasi. Sedangkan, Biaya Akselerasi per Unit Waktu (*Slope*), yaitu biaya langsung untuk menyelesaikan aktivitas pada kondisi waktu terpendek dalam satuan waktu terkecil yang ditentukan.

Metode *Overlapping*

Metode *overlapping* merupakan metode percepatan waktu dengan merubah *relationship* supaya pekerjaan selesai lebih cepat dengan tidak merubah durasi, sehingga mencapai waktu yang diperlukan dengan memperhitungkan lead time pada 4 jenis hubungan, yaitu: *Start-to-Start (S/S)*, *Start-to-Finish (S/F)*, *Finish-to-Start (F/S)* dan *Finish-to-Finish (F/F)*

Metode Gabungan *Overlapping Crashing*

Metode gabungan *overlapping crashing* bisa menjadi metode perencanaan lanjutan yang menggabungkan metode *overlapping* dan *crashing* dengan memanfaatkan standar-standar penting dari masing-masing metode yang dijelaskan di atas, sehingga diperoleh waktu dan biaya yang paling ideal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lingkup Pekerjaan Proyek Rumah Sakit Brondong Lamongan

Lingkup pekerjaan utama pada pekerjaan Proyek Pembangunan Rumah Sakit Brondong Lamongan dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Lingkup Pekerjaan Proyek Pembangunan Rumah Sakit Brondong Lamongan

No	Uraian Pekerjaan	Harga	
1	Penerapan SMK3	Rp.	146.066.052,80
2	Pekerjaan Persiapan	Rp.	272.860.667,93
3	Pekerjaan Struktur	Rp.	7.347.274.663,48
4	Pekerjaan Arsitektur	Rp.	6.297.067.853,01
5	Pekerjaan Lansekap dan Bangunan Penunjang	Rp.	1.997.811.141,90
6	Pekerjaan MEP Lt. 1	Rp.	6.358.065.402,83
7	Pekerjaan MEP Lt. 2	Rp.	2.893.944.980,60
	Jumlah	Rp.	25.313.105.854,21
	PPN 11%	Rp.	2.784.441.643,96
	Jumlah Total	Rp.	28.097.547.498,17
	Pembulatan	Rp.	28.097.547.400,00

Metode *Crashing*

Analisis Percepatan Dengan Penambahan Tenaga Kerja

Dalam analisis percepatan dengan melakukan penambahan jumlah tenaga kerja, koefisien produktivitas akan menurun apabila terjadi kepadatan lokasi. Contoh perhitungan durasi crash pada Pekerjaan Balok B3 (30x60) cm mutu $f_c = 30$ Mpa meliputi pekerjaan beton, pekerjaan pembesian, dan pekerjaan bekisting.

$$\begin{aligned}
 DC &= \frac{V}{P} \\
 &= \frac{148,08}{\left(\frac{12x^2}{12} x 5,289 x 0,77\right)} \\
 &= 18,18 \text{ hari} \approx 19 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Durasi *Crash* Dengan Percepatan Penambahan Tenaga Kerja

No	Uraian Pekerjaan	Durasi Normal (Dn)	Durasi <i>Crash</i> (Dc)	Di = Dn-Dc
C	PEKERJAAN STRUKTUR			
1	Pengeboran Strauss Pile Ø 40 cm	21	14	7
2	Beton Strauss Pile Ø 40 cm mutu $f_c = 30$ Mpa	28	19	9
3	Pilecap - P1 (200-66x187x65) mutu $f_c = 30$ Mpa	14	10	4
4	Pilecap - P2 (200x70x65) mutu $f_c = 30$ Mpa	7	5	2
5	Pilecap - P3 (70x70x65) mutu $f_c = 30$ Mpa	14	10	4
6	Plat Wiremesh Lantai 1 mutu $f_c = 30$ Mpa	14	10	4
7	Kolom 1 /K1 (50x70) mutu $f_c = 30$ Mpa	7	5	2

No	Uraian Pekerjaan	Durasi Normal (Dn)	Durasi Crash (Dc)	Di = Dn-Dc
8	Kolom 2 /K2 (40x60) mutu f'c = 30 Mpa	7	5	2
9	Kolom 3 /K3 (40x40) mutu f'c = 30 Mpa	7	5	2
10	Kolom 4 /K4 (30x50) mutu f'c = 30 Mpa	7	5	2
11	Balok B1 (40x70) mutu f'c = 30 Mpa	28	19	9
12	Balok B2 (35x65) mutu f'c = 30 Mpa	28	19	9
13	Balok B3 (30x60) mutu f'c = 30 Mpa	28	19	9
14	Balok B4 (30x50) mutu f'c = 30 Mpa	28	19	9
15	Balok B5 (25x50) mutu f'c = 30 Mpa	28	19	9
16	Balok B6 (20x40) mutu f'c = 30 Mpa	28	19	9
17	Plat Lantai 2 t.15 cm mutu f'c = 30 Mpa	14	10	4
18	Plat Lantai 3 t.15 cm mutu f'c = 30 Mpa	14	10	4
D PEKERJAAN ARSITEKTUR				
1	Pasangan dinding bata camp. 1 PC : 6 PS	21	14	7
2	Plesteran bata camp. 1 PC : 6 PS	21	14	7
3	Pekerjaan acian dinding	14	10	4
4	Ornamen kayu (WPC) & rangka hollow	21	14	7
5	Pasangan Kanopi	14	10	4
6	Pemasangan ACP	21	14	7
7	Cat exterior	14	10	4

Analisis Biaya Langsung dan Tidak Langsung Metode *Crashing*

Pekerjaan Normal dan Biaya Normal

Pekerjaan normal merupakan pekerjaan yang sesuai dengan perencanaan dan data dilapangan. Untuk menentukan koefisien biaya langsung (*direct cost*) upah, bahan dan peralatan dibutuhkan data rencana anggaran biaya dari pekerjaan normal. Berikut contoh perhitungan pada Pekerjaan Bekisting Balok

$$\text{Koefisien biaya upah, bahan, dan alat} = \text{Rp. } 442.175,40 / \text{Rp. } 486.392,94 = 0,9091$$

$$\text{Koefisien biaya umum dan keuntungan} = \text{Rp. } 44.217,94 / \text{Rp. } 486.392,94 = 0,0909$$

$$\text{Biaya langsung (direct cost)} = 0,9091 \times \text{Rp. } 25.313.105.854,21 = \text{Rp. } 23.012.144.532,06$$

$$\text{Biaya tidak langsung (indirect cost)} = 9,09 \% \times \text{Rp. } 25.313.105.854,21 = \text{Rp. } 2.300.961.322,15$$

Pada perhitungan biaya keuntungan akan didapatkan dari pengurangan biaya umum dan keuntungan dikurangi total biaya umum. Pada penelitian ini, nilai keuntungan bersifat tetap baik pada normal maupun *crashing*.

$$\text{Biaya umum} = \text{Rp. } 892.300.000,00 \approx \text{Rp. } 5.948.666,67 \text{ per hari}$$

$$\text{Biaya keuntungan} = \text{Biaya umum dan keuntungan} - \text{Total biaya umum}$$

$$= \text{Rp. } 2.300.961.322,15 - \text{Rp. } 892.300.000,00$$

$$= \text{Rp. } 1.408.661.322,15$$

Pekerjaan *Crashing* dan Biaya *Crashing*

Perhitungan percepatan (*crashing*) dengan menambah tenaga kerja, lama pengerjaan adalah 129 hari, berbeda 21 hari dengan pekerjaan normal selama 150 hari.

$$\begin{aligned} \text{Biaya langsung (direct cost)} &= \text{Biaya langsung normal} + \text{Biaya langsung penambahan tenaga kerja} \\ &= \text{Rp. } 23.012.144.532,06 + 0 \\ &= \text{Rp. } 23.012.144.532,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya tidak langsung (indirect cost)} &= \text{Durasi} \times \text{Biaya umum per hari} \\ &= 129 \times \text{Rp. } 5.948.666,67 \\ &= \text{Rp. } 767.378.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya proyek normal} &= \text{Rp. } 23.012.144.532,06 + \text{Rp. } 892.300.000,00 + \text{Rp. } 1.408.661.322,15 \\ &= \text{Rp. } 25.313.105.854,21 \end{aligned}$$

Total biaya proyek setelah *crashing* = Rp. 23.012.144.532,06+Rp. 767.378.000,00+Rp. 1.408.661.322,15
 = Rp. 25.188.183.854,21

Untuk memberi gambaran yang jelas, berikut tabel 4 rekapitulasi waktu dan biaya dengan metode *crashing* penambahan tenaga kerja.

Tabel 4. Perbandingan Waktu Dan Biaya Normal Dan *Crashing*

Kegiatan	Durasi (Hari)	Biaya Langsung	Biaya Umum	Keuntungan	Total Biaya	Rasio
Normal	150	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 892.300.000,00	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.313.105.854,21	1,000
Tambah tenaga kerja	129	Rp. 22.781.795.268,79	Rp. 767.378.000,00	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.188.183.854,21	0,995

Metode Tumpang Tindih / *Overlapping*

Metode tumpang tindih / *overlapping* dapat berupa metode dimana pekerjaan diselesaikan lebih cepat tanpa mengubah waktu awal, tetapi mengubah hubungan dan waktu luang / *lag*. Berdasarkan data yang telah disusun, ada beberapa pekerjaan yang termasuk dalam jalur kritis. Hasil analisis metode *overlapping* dengan bantuan *Microsoft Project 2016* dimana terjadi perubahan *relationship* pada beberapa kegiatan pekerjaan setelah diolah dengan hasil durasi pelaksanaan menjadi 122 hari dari waktu normal 150 hari.

Pekerjaan *Overlapping* dan Biaya *Overlapping*

Biaya langsung (*direct cost*) = Rp. 23.012.144.532,06

Biaya tidak langsung (*indirect cost*) = Durasi x Biaya umum per hari
 = 122 x Rp. 5.948.666,67
 = Rp. 725.737.333,33

Total biaya proyek normal = Rp. 23.012.144.532,06+Rp. 892.300.000,00+Rp. 1.408.661.322,15
 = Rp. 25.313.105.854,21

Total biaya proyek setelah *overlapping* = Rp. 23.012.144.532,06+Rp. 725.737.333,33+Rp. 1.408.661.322,15
 = Rp. 25.146.543.187,54

Untuk memberi gambaran yang jelas, berikut tabel 5 rekapitulasi waktu dan biaya dengan metode *crashing* penambahan tenaga kerja.

Tabel 5. Perbandingan Waktu Dan Biaya Normal dan *Overlapping*

Kegiatan	Durasi (Hari)	Biaya Langsung	Biaya Umum	Keuntungan	Total Biaya	Rasio
Normal	150	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 892.300.000,00	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.313.105.854,21	1,000
Tambah tenaga kerja	122	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 725.737.333,33	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.188.183.854,21	0,993

Metode Gabungan *Overlapping Crashing*

Hasil simulasi perubahan waktu dan *relationship* metode *overlapping* dan *crashing* penambahan tenaga kerja dan alat pada hasil *Microsoft Project 2016* dengan percepatan waktu menjadi 101 hari dari durasi normal 150 hari.

Pekerjaan Gabungan dan Biaya Gabungan

Biaya langsung (*direct cost*) = Rp. 23.012.144.532,06

Biaya tidak langsung (*indirect cost*) = Durasi x Biaya umum per hari
 = 101 x Rp. 5.948.666,67
 = Rp. 600.815.333,33

Total biaya proyek normal = Rp. 23.012.144.532,06+Rp. 892.300.000,00+Rp. 1.408.661.322,15
 = Rp. 25.313.105.854,21

Total biaya proyek setelah gabungan = Rp. 23.012.144.532,06+ Rp. 600.815.333,33+Rp. 1.408.661.322,15
 = Rp. 25.021.621.187,54

Untuk memberi gambaran yang jelas, berikut tabel 6 rekapitulasi waktu dan biaya dengan metode *overlapping crashing*.

Tabel 6. Perbandingan Waktu Dan Biaya Normal Dan Gabungan

Kegiatan	Durasi (Hari)	Biaya Langsung	Biaya Umum	Keuntungan	Total Biaya	Rasio
Normal	150	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 892.300.000,00	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.313.105.854,21	1,000
Kombinasi <i>Crashing</i> tambah tenaga dan <i>Overlapping</i>	101	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 600.815.333,33	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.021.621.187,54	0,988

Pembahasan

Hasil perhitungan *crash program* yang dilakukan dengan menambah tenaga kerja, durasi perpanjangan dapat dipercepat menjadi 129 hari atau 21 hari lebih cepat dari pekerjaan biasa dengan durasi 150 hari. Dalam metode *overlapping*, durasi pekerjaan proyek dapat dipercepat menjadi 122 hari, 28 hari lebih cepat dari pekerjaan biasa yang berlangsung selama 150 hari. Dengan menggabungkan metode *overlapping* dan *crashing* penambahan tenaga kerja, durasi pekerjaan dapat dipercepat menjadi 101 hari, atau 49 hari lebih cepat dari waktu normal selama 150 hari

Pada metode *crashing* penambahan tenaga kerja tidak ada penambahan biaya langsung namun terdapat penurunan biaya tidak langsung yaitu dari biaya normal Rp. 25.313.105.854,21 turun menjadi Rp. 25.188.183.854,21 dengan selisih sebesar Rp. 124.922.000,00 atau 0,494%. Metode *overlapping* tidak ada penambahan biaya langsung namun terdapat penurunan biaya tidak langsung yaitu dari biaya normal Rp. 25.313.105.854,21 turun menjadi Rp. 25.146.543.187,54 dengan selisih sebesar Rp. 166.562.666,67 atau 0,658%. Sedangkan metode gabungan *crashing* penambahan tenaga kerja dan *overlapping* tidak ada penambahan biaya langsung namun terdapat penurunan biaya tidak langsung yaitu dari biaya normal Rp. 25.313.105.854,21 turun menjadi Rp. 25.021.621.187,54 dengan selisih sebesar Rp. 291.484.666,67 atau 1,152%. Berikut lebih jelasnya disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi perbandingan durasi pekerjaan dan biaya dibawah ini.

Tabel 7. Rekapitulasi Perbandingan Durasi dan Biaya

Kegiatan	Durasi (Hari)	Biaya Langsung	Biaya Tidak Langsung		Total Biaya	Rasio
			Biaya Umum	Keuntungan		
Normal	150	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 892.300.000,00	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.313.105.854,21	1,000
<i>Crashing</i> tambah tenaga kerja	129	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 767.378.000,00	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.188.183.854,21	0,995
<i>Overlapping</i> Kombinasi <i>Crashing</i> tambah tenaga kerja & <i>Overlapping</i>	122	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 725.737.333,33	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.146.543.187,54	0,993
	101	Rp. 23.012.144.532,06	Rp. 600.815.333,33	Rp. 1.408.661.322,15	Rp. 25.021.621.187,54	0,988

4. KESIMPULAN

- Hasil analisis dengan metode *crashing* penambahan tenaga kerja didapatkan waktu pelaksanaan selama 129 hari dari waktu normal 150 hari serta penurunan biaya menjadi Rp. 25.188.183.854,21 atau turun 0,494 % dari biaya normal sebesar Rp 25.313.105.854,21.
- Hasil analisis dengan metode *overlapping* / tumpang tindih didapatkan waktu pelaksanaan selama 122 hari dari waktu normal 150 hari serta penurunan biaya menjadi Rp. 25.146.543.187,54 atau turun 0,658 % dari biaya normal sebesar Rp 25.313.105.854,21.

- c. Hasil analisis dengan metode gabungan *overlapping crashing* didapatkan waktu pelaksanaan selama 101 hari dari waktu normal 150 hari serta penurunan biaya menjadi Rp. 25.021.621.187,54 atau turun 1,152 % dari biaya normal sebesar Rp 25.313.105.854,21.
- d. Hasil analisis ketiga alternatif di atas dapat disimpulkan bahwa waktu dan biaya akibat percepatan yang optimum adalah dengan menggunakan metode gabungan *crashing* penambahan tenaga kerja dan *overlapping*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwijono, D. (2017). "Optimalisasi Waktu Percepatan dan Biaya Kegiatan di Dalam Metode Jalur Kritis Dengan Pemrograman Linear", *Jurnal Terapan Teknologi Informatika*, 1-9.
- [2] Fibrilyanto, R. "Analisis Percepatan Pelaksanaan Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung", *Tugas Akhir*, Universitas Islam Indonesia, 2017.
- [3] Abidin, K. F., Pratikso, & Wibowo, K. (2022). "Optimalisasi Penjadwalan Dan Efisiensi Biaya Pada Proyek Pembangunan Gedung (Studi Kasus Pembangunan RSUD Ketanggungan Kabupaten Brebes)", *Jurnal Pondasi*, Vol. 27 No. 2.
- [4] Khiansih, A. P. "Evaluasi Waktu Dan Biaya Dengan Metoda *Crashing* Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit UII", *Thesis*, Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [5] Hakim, Z. S. B., & Sahid, M. N. "Pengendalian Waktu dan Biaya Dengan Menggunakan Metode PDM Pada Pelaksanaan Gedung (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim Semarang T.A. 2022)", *Tugas Akhir*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2022.
- [6] Indramanik, I. B. G. (2021). "Optimalisasi Waktu Pelaksanaan Proyek Mark House Sebatu Dengan Metode *Least Cost Analysis*". *Jurnal Teknik Gradien*, Vol. 13, No. 02, Hal. 37-48.
- [7] Santosa, B. (2013). "Manajemen Proyek: Konsep & Implementasi". Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [8] Umar. M. A. "Analisis Waktu dan Biaya Dengan Metode *Crashing*, *Overlapping*, dan Gabungan *Crashing Overlapping* (Studi Kasus Proyek Pembangunan Bendungan Bendo Lanjutan Di Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur)", *Thesis*, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2021.
- [9] Meier. C. B. T. (2015). "*The Cost of Speed: Work Policies for Crashing and Overlapping in Product Development Project*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 237-255.

THE SUSTAINABLE CONCEPT DESIGN CONCERNING THE IMPLEMENTATION OF LOW IMPACT DEVELOPMENT IN URBAN AREA

*Stefanus¹, Robby Yussac Tallar²

¹Mercubuana University, Dept. of Civil Engineering, Indonesia

¹Universitas Kristen Maranatha, Dept. of Civil Engineering, Indonesia

*)Email: robbiyussac@yahoo.com ; robbiy.t@eng.maranatha.edu

ABSTRACT

The relationship between water quantity and water quality status in the framework of water resources management was complex and likely to be site-specific, thus the cause-effect relationships between pollutant sources (affluents) and water quality condition remain unclear. The primary principle of Low Impact Development (LID) concept design is to detain and/or hold stormwater for as long as possible and to limit stormwater pollution before it enters major waterbodies. LID methods aim to preserve as much water on-site as feasible while also protecting water quality through the use of natural landscape elements. We also highlighted the results of preliminary data to design for the implementation of LID. The water quantity and water quality status relationship in the framework of water resources management was complex and likely to be site-specific, therefore the cause-effect relationships between pollutant sources (affluents) and water quality condition still need to be clearly quantified. The core concept of Low Impact Development (LID) is to detain and/or retain stormwater as long as possible and to reduce the stormwater runoff pollutions before flowing into main waterbodies. LID components seek to keep water onsite as much as possible and protect water quality using landscape natural features. Therefore, the main objective of this paper was to offer the opportunities of applying LID components in urban area. We also summarized the performances of LID components including the improvement of water quality from previous studies.

Keyword: Sustainable Design; LID components; Sustainable water resources management

1. INTRODUCTION

Nowadays, the paradigm of sustainable development is a significant topic that has gained global attention [1] The primary purpose of this paradigm is to develop better ways of doing things in the future and in the present, particularly in relation to environmental challenges. It can be interpreted in many different ways and implemented in many sectors of civil engineering products [2]. Nowadays, this paradigm has derived to similar terms such as green design, ecological sustainability or others [3]. The general focus of this concept is to improve the quality of environment through several appropriate technologies [4].

In the context of sustainable water resource management, there is also a need to implement sustainable components to increase the ecological aptitude in specific waterbodies and to resolve water problems that are becoming increasingly interconnected with other development-related issues such as social, economic, environmental, legal, and political factors at local and regional levels, and sometimes even at national and international levels. The unsustainability and degradation of water quality condition are an issue of growing concern around the world [5] [6] [7]. Rapid economic growth and the forces of urbanization and industrialization are considered as the main causes of increased water pollution [8] [9] [10] [11]. Thus, the water quantity and water quality status relationship was complex and likely to be site-specific, therefore the cause-effect relationships between pollutant sources (affluents) and water quality condition still need to be clearly quantified.

The concept of Low Impact Development (LID) was offered by several studies recently [12] [13] [14]. The core concept of Low Impact Development (LID) is to detain and/or retain stormwater as long as possible and to reduce the stormwater runoff pollutions before flowing into main waterbodies. The investigation of effectiveness of LID components and their implementation in many areas also have been disseminated by previous papers [15] [16]. However, few studies have been conducted the implementations of LID in urban area of Indonesia. Therefore, the main objective of this paper was to offer the opportunities of implementing LID components in urban area of Indonesia. We also summarized the performances of LID components including the improvement of water quality from previous studies.

2. THE CONCEPT OF LID

LID was initially established in 1999 by the Department of Environmental Resources in Prince George's County, Maryland, USA. LID provided an alternative method to conventional stormwater management by improving surface and ground water quality, preserving the integrity of aquatic life resources and ecosystems, and preserving the physical integrity of receiving streams. It is a land development (or redevelopment) method that works with nature to manage stormwater as close to its source as possible. It aims to keep as much water on-site as feasible

while also protecting water quality through the use of natural landscape elements. LID incorporates five concepts or key aspects, as seen in Figure 1. This method encompasses all components (conservation, small-scale controls, specialized site design, channeling runoff to natural areas and maintenance, pollution prevention, and education). The development in a specific area or watershed should be held accountable for the effluents and/or runoff from the incoming rainfall. By emulating natural hydrologic processes, the installation of LID components can reduce or eliminate the quantity of wastewater created from a site in the first place (Figure 2).

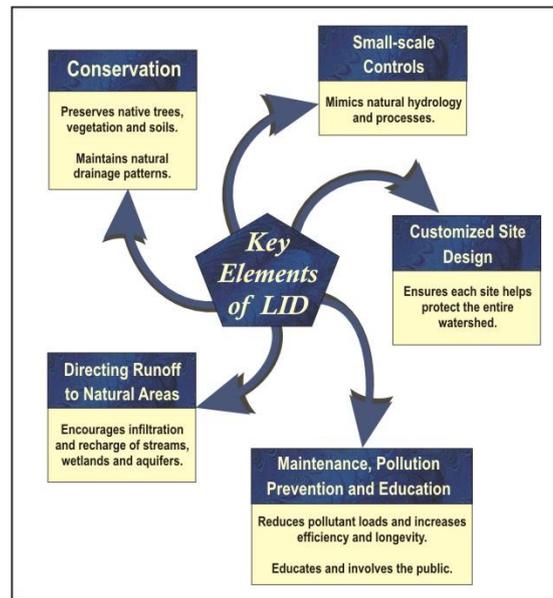


Figure 1. Key elements of LID
(Source: <http://www.lowimpactdevelopment.org>)

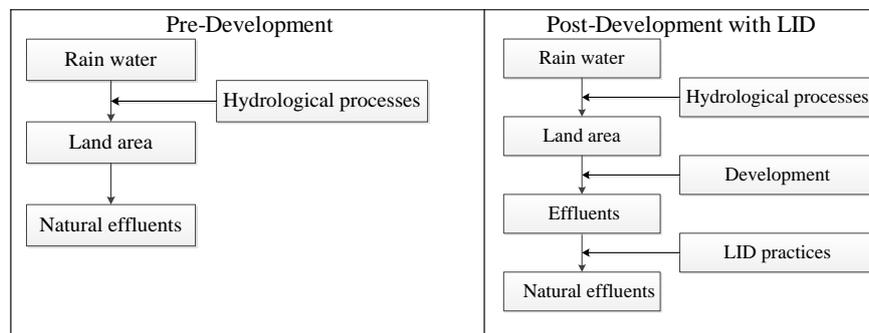


Figure 2. Basic concept of LID

LID Components

The examples of LID components are bioretention or rain garden, green roof, rain barrels or cisterns, infiltration wells and permeable pavement. Bioretention, or variations such as bioinfiltration and rain gardens, has become one of the most frequently used stormwater management tools in urbanized watersheds (Davies et al., 2009). Bioretention is a plant and soil-based component that removes pollutants and debris from stormwater runoff. Stormwater is collected and sent to a treatment area that includes a grass buffer strip, sand bed, ponding area, organic layer or mulch layer, planting soil, and plants.

Meanwhile, green roof is a planted roof top that provides advantages of water harvesting, stormwater management, pollutions control and aesthetic value. It varies in depth of growing media, types of plants, infrastructures and intended use. It is generally categorized into two types: extensive and intensive. Both bioretention and green roof are considered aesthetic value into its system as one of the advantages.

Rain barrels or cisterns, infiltration wells and permeable pavement are the most common and simple LID components to minimizing stormwater impacts and providing runoff storage measures in the watershed. Rain barrels are low-cost, effective, and easily maintainable retention devices applicable to target area. Infiltration wells are shallow wells which put water into a natural aquifer. They can be used to either drain a catchment area or

recharge groundwater. Meanwhile, permeable pavement, also known as porous pavement, is a range of sustainable materials with a base and sub-base that allow the movement of stormwater through the surface.

LID Components In Indonesia

Functions such as biopore, rain barrels or cisterns, infiltration wells and permeable pavement. Biopore is a derivative component of bioretention. Some studies also classified this component into rainwater harvesting technology. It is simpler in design compare than bioretention (Figure 3). It is a hole contained with organic waste such as dead-leaves that serves to trap the flowing water as a groundwater recharge. This component is simple and relatively cheap.

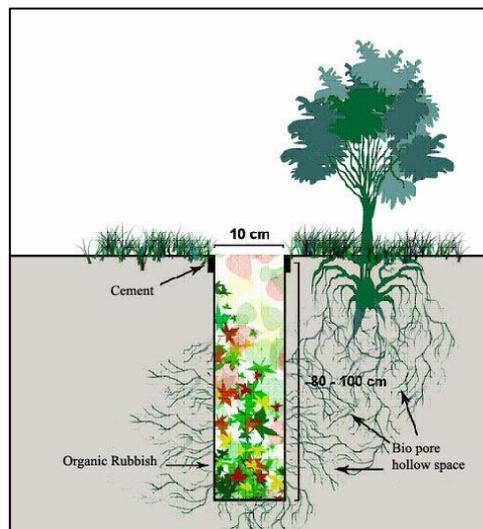


Figure 3. Typical design of biopore
(Source: <http://wctngcmfng.canalblog.com>)

Infiltration wells also the most common LID component in Indonesia. It is an excavated well that has been back-filled with stone to form a subsurface basin. Stormwater runoff is diverted into the well and is stored until it can be infiltrated into the soil, usually over a period of several days. Infiltration wells are very adaptable in Indonesia, and the availability of many practical configurations. The typical design of infiltration wells can be seen on Figure 4. Meanwhile, the typical design of permeable pavement can be seen on Figure 5.

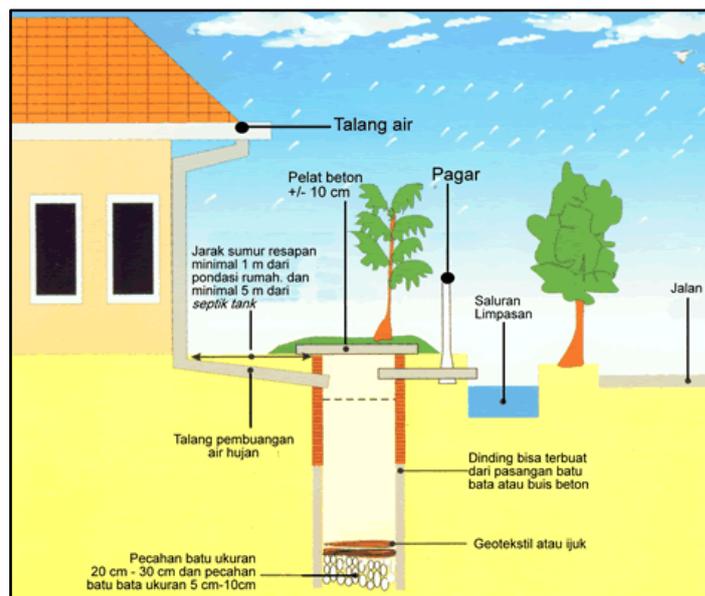


Figure 4. Typical design of biopore
(Source: Indonesia Ministry of Environment)

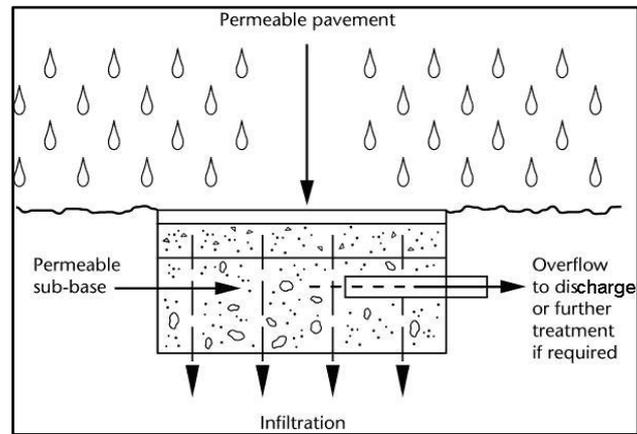


Figure 5. Typical design of permeable pavement
(Source: <http://www.millermicro.com/porpave.html>)

3. THE EXAMPLE OF CASE STUDY

Indonesia has a long history of water pollution in many waterbodies. In this study, we selected Depok Area, Indonesia as the example of case study. The location of study area can be seen on Figure 6. As a hinterland and buffer area of Jakarta City, Depok Area has designed by the central government to retain and/or detain the water flowing through Jakarta City.

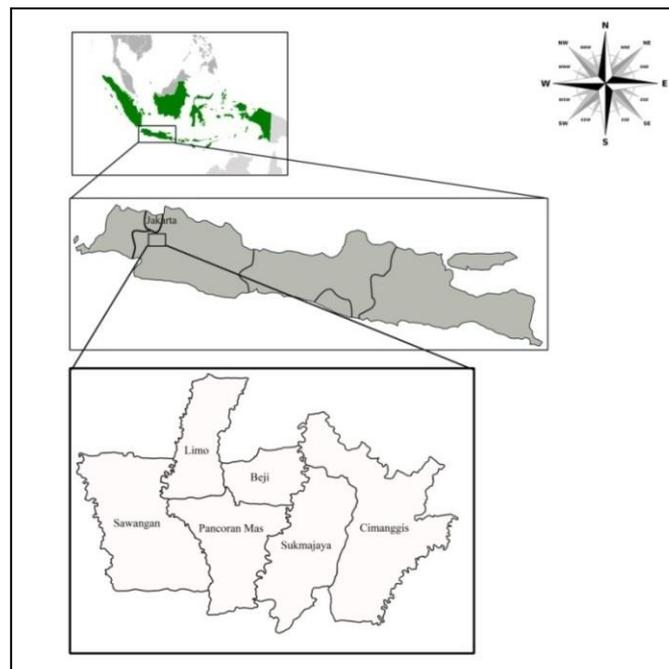


Figure 6. Location of study area

The review of water quality status

Status of waterbody especially rivers in study area are categorized as moderate to high polluted. There are some efforts from the central and local government through environmental agency in order to restore the water quality in several waterbodies.

The integrated adaptive LID components

Indonesia is facing the inundation problems due to increased direct runoff combined with water quality degradation. These facts were stirring up the efforts to implement the adaptive design of Low Impact Development (LID) components in the context of initiating the sustainable water resources. As described earlier, some of Low Impact Development (LID) components are already implement with slight different terms but similar functions

such as biopore, rain barrels or cisterns, infiltration wells and permeable pavement. The existing Low Impact Development (LID) components need to be combined each other to get maximize results. We offered the integrated adaptive design Low Impact Development (LID) components in types of areas, including in modest residential area (Figure 7). The other alternatives of adaptive design Low Impact Development (LID) components can be modified depend on their purposes.

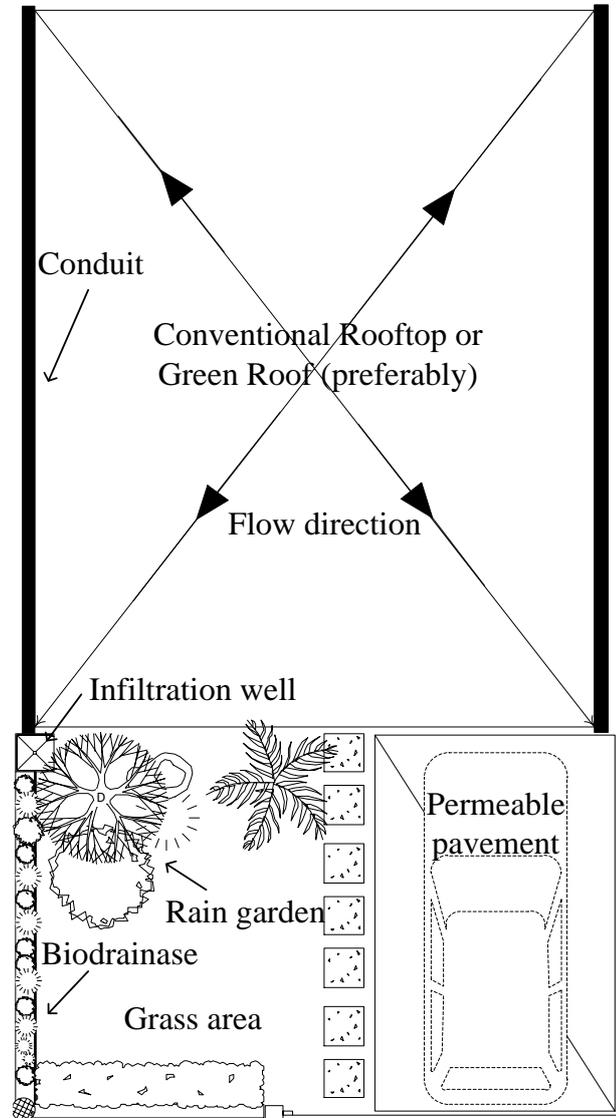


Figure 7 The typical design of sustainable design LID components for modest residential area (not in scale)

The fundamental hydrologic processes are considered throughout the site planning process in Low Impact Development (LID) concept design. By comparing pre- and post-development conditions, the preservation of the pre-development hydrology is assessed. The comparison is aided by taking four key measures into account: runoff volume, peak runoff rate, flow frequency/duration, and water quality. The runoff volume for a given storm grows as the impermeable area of the site increases. The runoff coefficient is the ratio of the associated runoff volume to the overall rainfall event. The runoff curve number (CN) will also be determined in order to complete a hydrologic study for a Low Impact Development (LID) site. Previous literature evaluations can provide more explanation.

4. DISCUSSION

Some catchment areas are categorized as areas with highly polluted status in waterbody. Understanding this fact, SWOT analysis was performed to provide some useful insights for further research (Table 1).

Table 1. The summary of SWOT analysis

SWOT components	Descriptions
Strengths	<ul style="list-style-type: none"> • There are some indexes to measure water status of waterbodies. • The public awareness about degradation of water status is increased recently.
Weaknesses	<ul style="list-style-type: none"> • A lack of detailed data on the quality and quantity of waterbodies in the Depok Area, including daily or monthly recorded data on water quality. • Due to an undefined water function in Depok Area waterbodies, the water purposes were mixed together. • Most bodies of water lacked precise blue print design planning, and rivers and lakes should have different and particular laws.
Opportunities	<ul style="list-style-type: none"> • Some of the water purposes of waterbodies in Depok Area were categorized into moderate level pollution. • Several parameters can affected the water quality index.
Threats	<ul style="list-style-type: none"> • Some parameters in Depok Area waterbodies, such as fecal coliform and total coliform, exceed prescribed limits. • Effluents from anthropogenic activities increase. • Monitoring and management programs are dependent on local government decisions and are inextricably linked to budget arrangements at all times. • A few waterbodies in the Depok Area have multiple local government agents with no defined authority (management issue).

According to the SWOT analysis, water consumption is intricately related to land use. This suggests that, more often than not, in order to handle water resource management issues correctly, land management issues must also be addressed. Changes in land use also affect watershed features, which have a significant impact on surface runoff, infiltration, and subsurface flows, and hence access and sustainability. Existing water resource management policies are deemed insufficient for conserving and improving the status of waterbodies in the research area. Land and water conservation regulations must be translated into local policies based on their own local characteristics. In other cases, more stringent criteria and policies are required to achieve long-term watershed and water resource management.

5. CONCLUSION

Water-related issues, particularly in metropolitan settings, have raised awareness of the significance of managing water resources holistically. Despite significant investment in the LID concept design, implementation appears to have been elusive and difficult because managing water resources crosses so many boundaries, such as the theory-component boundary, the ecological-societal boundary, and the administrative-hydrological boundary. This study provided the adaptive design of LID components for Indonesia.

LID is an ecological and sustainable technique that reduces or eliminates the amount of effluents/runoff produced by a site in the first place. Certain adaptive LID components have been investigated and the ecological water-purpose within has been underlined. By improving water quality of the waterbodies, it will certainly protect the aquatic life from undesirable contaminants. The supported policies are needed to guard the implementation of LID components.

REFERENCES

- [1] M. & A. R. Deakin, "Sustainable urban development: Use of the environmental assessment methods," *Sustainable Cities and Society*, vol. 10 (0), pp. pp. 39-48., 2014.
- [2] S. O. Oyedepo, "Towards achieving energy for sustainable development in Nigeria," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vols. 34 (0), , pp. pp. 255-272, 2014.
- [3] U. M. & Y. N. S. Diwekar, "Green process design, green energy, and sustainability: A systems analysis perspective," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 34 (9), pp. pp. 1348-1355, 2010.

- [4] C. P. M. G. Y. A. A. & K. D. Sianipar, "Community Empowerment through Appropriate Technology: Sustaining the Sustainable Development," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 17 (0), pp. pp. 1007-1016., 2013.
- [5] B. S. A. a. W. M. Oney, "Evolution of water quality around the Island of Borneo during the last 8-years," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 7(0), pp. 200-205., 2011.
- [6] B. F. R. P. Bezlepina I., "Impact assessment of land use policies: Introduction," *Land Use Policy* , vol. 104 (0), pp. pp. 101-113, 2014.
- [7] W. I. Davies P.J., "A review of policy, legal, land use and social change in the management of urban water resources in Sydney, Australia: A brief reflection of challenges and lessons from the last 200 years," *Land Use Policy* , vol. 36 (0), pp. pp. 450-460, 2014.
- [8] L. K. a. B. G. Sim, "Urbanization and Urban Water Problems in Southeast Asia - a Case of Unsustainable Development," *Journal of Environmental Management*, vol. 32 (3), pp. pp. 195-209, 1991.
- [9] Y. Tsuzuki, "An index directly indicates land-based pollutant load contributions of domestic wastewater to the water pollution and its application," *Science of the Total Environment*, Vols. 370(2-3), pp. pp. 425-440., 2006.
- [10] B. D. H. P. S. V. Keenleyside C., "International perspectives on future land use," *Land Use Policy* , vol. Supplement 1 (0), pp. pp. 14-29., 2009.
- [11] P. a. T. M. Wu, "Challenges for sustainable urbanization: a case study of water shortage and water environment changes in Shandong, China,," *Procedia Environmental Sciences*, Vols. 13(0), , pp. 919-927, 2012.
- [12] C. J. Dietz M.E., "Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision," *Journal of Environmental Management* , vol. 87 (4), pp. pp. 560-566., 2008.
- [13] T. J. T. J. K. J. C. J. Bowman T., "Multiple approaches to valuation of conservation design and low-impact development features in residential subdivisions," *Journal of Environtal Management*, vol. 104 (0), pp. pp. 101-113, 2012.
- [14] M. C. R. Gilroy K.L., "Spatio-temporal effects of low impact development components," *Journal Hydrology*, vol. 367 (3-4), pp. pp. 228-236, 2009.
- [15] L. Z. X. F. G. Qin H. P., "The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics," *Journal of Environmental Management* , vol. 129 (0), pp. pp. 577-585., 2013.
- [16] E. B. C. I. Ahiablame L., "Effectiveness of Low Impact Development Components: Literature Review and Suggestions for Future Research," *Water Air Soil Pollution* , vol. 223 (7), pp. pp. 4253-4273, 2012.

NORMALISASI LANSKAP KORIDOR SUNGAI MATI CITARUM DENGAN ANALISIS HIDROLOGI (Studi Kasus: Desa Rancamanyar, Kabupaten Bandung)

*Husna Izzati¹, Iing Rustandi²

¹Dosen Program Studi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Faletehan, Bandung

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Faletehan, Bandung

^{*)} Email: husnaizzati@uf.ac.id

ABSTRACT

The Citarum River is the main river in West Java and serves ecological, economic, and hydrological functions. Unfortunately, the river basin, which is located near residential and industrial areas such as households, agriculture, livestock, and textile industries, has been heavily impacted by pollution. The causes of this pollution include factory waste, sedimentation, garbage accumulation, riverbank clearing, and a lack of public awareness. Efforts to manage the river basin have involved straightening the river body to reduce pollutant accumulation, but this has led to the creation of old river bodies known as dead rivers or oxbows. Oxbows face problems such as waterlogging, poor sanitation, unauthorized land acquisition, and social conflicts. A study was conducted to identify hydrological problems in the oxbow landscape, particularly in Rancamanyar, Baleendah, Bandung Regency. The study used a combination of qualitative data obtained through observation and interviews, as well as quantitative data from rainfall, flow rate, and oxbow storage. Analysis of the data was carried out using descriptive methods, formulas, and software. The study found that the flow entering the oxbow and the level of rainfall affect the flood cycle in the area around the Rancamanyar Oxbow. By calculating estimated planned flood discharge, inflow and outflow discharge, and the maximum capacity of the oxbow, the study determined the ideal span shape of the oxbow cross-section, which serves as the basis for normalizing the landscape of Rancamanyar Oxbow.

Keywords: *normalization, oxbow, landscape, hydrology, the citarum river*

ABSTRAK

Sungai Citarum merupakan sungai utama di Jawa Barat yang memiliki fungsi ekologis, ekonomis, dan hidrologis. Posisi Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum yang dekat dengan pemukiman penduduk dan berbagai sektor industri (rumah tangga, pertanian, peternakan, dan industri tekstil), berakibat rusaknya ekosistem DAS Citarum. Limbah pabrik, sedimentasi, penumpukan sampah, pembukaan lahan tepi sungai, dan kurangnya kepedulian masyarakat, merupakan beberapa penyebab pencemaran DAS Citarum. Upaya penanggulangan DAS berupa pelurusan badan sungai untuk mengurangi penumpukan polutan, pernah dilakukan oleh Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum pada tahun 1994 dan 2011. Dampak dari kegiatan ini adalah munculnya badan sungai lama yang tidak teraliri, dikenal dengan istilah sungai mati atau oxbow. Permasalahan yang timbul pada oxbow di antaranya genangan air, buruknya sanitasi, pengambilalihan lahan tanpa izin, hingga kecenderungan konflik sosial. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan hidrologi lanskap oxbow khususnya di Rancamanyar, Baleendah, Kabupaten Bandung. Menggunakan metode campuran, data kualitatif didapatkan dengan teknik observasi dan wawancara, sedangkan data kuantitatif menggunakan data curah hujan, debit aliran, dan data tampungan oxbow. Analisis data dilakukan dengan metode deskriptif dan pengujian dengan menggunakan formula dan perangkat lunak. Hasil dari penelitian ditemukan bahwa sumber aliran yang masuk ke oxbow dan tingkat curah hujan berpengaruh terhadap siklus banjir di area sekitar Oxbow Rancamanyar. Dengan perhitungan perkiraan debit banjir rencana, perhitungan debit *inflow* dan *outflow*, dan daya tampung maksimal oxbow, didapatkan bentuk bentang ideal dari penampang oxbow yang digunakan sebagai dasar dalam normalisasi lanskap Oxbow Rancamanyar.

Kata kunci: normalisasi, oxbow, lanskap, hidrologi, sungai citarum

1. PENDAHULUAN

Citarum adalah sungai terbesar dan terpanjang di area Jawa bagian Barat, membentang sejauh 297 km. Sungai ini memiliki hulu Situ Cisanti, di kaki Gunung Wayang, dan bermuara di Laut Jawa, daerah Muara Gembong, di utara Bekasi. Menurut Kementerian PUPR [1] Sungai Citarum memiliki fungsi yang sangat vital, terutama untuk menjadi cadangan air baku, selain itu berfungsi mengairi irigasi untuk sawah-sawah berhektar-hektar di sekitarnya, dan juga merupakan sumber air bagi Waduk Saguling, Waduk Cirata dan Waduk Jatiluhur, di mana ketiganya adalah pembangkit Listrik bagi kawasan Jawa dan Bali. DAS Citarum memiliki luas ± 12.000 km², yang melewati dua belas daerah administratif kabupaten dan kota di Jawa Barat. Berbagai ancaman terhadap lingkungan, serta kerugian dari segala bidang (kesehatan, ekonomi, sosial, dan ekosistem) merupakan dampak yang timbul karena pencemaran berat dan rusaknya ekosistem DAS Citarum.

Green Cross Switzerland dan *Blaksmith Institute* yang mengadakan penelitian terhadap tempat-tempat tercemar khususnya karena kegiatan industri, pada tahun 2013 menyatakan bahwa Sungai Citarum merupakan sungai dengan tingkat pencemaran salah satu yang paling tinggi di dunia. Penelitian oleh *Greenpeace* Asia Tenggara dan Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (WALHI) tentang penyebab cemaran menunjukkan dominasi limbah pabrik

sebagai penyumbang utama cemaran pada DAS Citarum [2]. Selain itu, pendangkalan sungai, sampah rumah tangga, pembukaan lahan di area DAS, dan ketidakpedulian masyarakat dalam menjaga DAS, ikut memperparah pencemaran di Sungai Citarum. Sungai Citarum merupakan area utama bencana banjir di Cekungan Bandung dikarenakan curah hujan tinggi, peningkatan koefisien limpasan dan air hujan buangan selama 20 tahun terakhir, alih fungsi lahan tidak terkendali, pendangkalan dan penyempitan badan sungai, penurunan muka tanah (*land subsidence*) di Cekungan Bandung, dan kurangnya fasilitas penampungan dan pengelolaan sampah [1].

Berbagai upaya normalisasi sungai telah dilakukan oleh pemerintah mulai dari pusat hingga daerah. Salah satu lembaga pemerintah yang khusus menangani Das Citarum adalah Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum. Upaya ini dimulai pada tahun 1994 dengan melakukan perubahan fisik DAS berupa pelurusan (sudetan) sepanjang 68,8 km. Pelurusan ini telah menghasilkan beberapa badan sungai baru dan terbentuknya beberapa bekas aliran Sungai Citarum yang dikenal dengan sungai mati (*oxbow*). Pada wilayah Sungai Citarum terutama pada bagian hulu, terdapat beberapa lokasi sungai mati (*Oxbow*) yang areanya dapat dijadikan sebagai tampungan air jika terjadi banjir di sekitar aliran Sungai Citarum. Namun kondisi beberapa *oxbow* tersebut tidak luput dari masalah dikarenakan kurangnya perawatan, sehingga banyak terjadi pendangkalan badan sungai, pembuangan sampah dan limbah dari pihak- pihak yang tidak bertanggungjawab, hingga masalah pengambil alihan badan dan sempadan sungai. *Oxbow* hasil sudetan Sungai Citarum hingga tahun 2008, berjumlah 10 di sungai utama dan beberapa di anak sungai utama di antaranya Sungai Cisangkuy dan hulu Sungai Cikapundung [3].

Upaya normalisasi Sungai Citarum terus berkembang melibatkan pemerintah pusat (Kementerian dan Lembaga), Akademisi, Lembaga Swadaya Masyarakat, aparaturn pertahanan dan keamanan (TNI dan POLRI), hingga Kejaksaan Tinggi. Banyaknya pihak- pihak yang terlibat menunjukkan keseriusan pemerintah dalam menangani ragam permasalahan Di DAS Citarum, namun di sisi lain menunjukkan bahwa permasalahan yang ada di sekitar DAS sangat kompleks dan menyangkut banyak pihak. Dari hasil kajian, restorasi DAS Citarum memerlukan penanganan terpadu dari area Hulu hingga ke Hilir, yang dibagi atas tiga sub DAS (Citarum Hulu, Citarum Tengah, dan Citarum Hilir). Dari ketiga area sub DAS yang ada, Sub DAS Citarum Hulu merupakan area yang memiliki permasalahan paling kompleks di antaranya pertumbuhan penduduk dan permukiman yang tinggi di sekitar area, berdampak pada kebutuhan air meningkat, eksplorasi air tanah berlebih, erosi dan sedimentasi, penumpukan sampah, pencemaran sungai, hingga terjadi banjir [4] [5].



Sumber: Profil BBWS Citarum, Kemen PUPR, 2017

Gambar 1. Wilayah Sungai Citarum

Program terakhir yang berjalan adalah Program Citarum Harum, merupakan program yang dibentuk sebagai respon dari Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2018, berhubungan dengan upaya mengendalikan kerusakan dan pencemaran yang terjadi di area DAS Citarum. Dampak dari program ini sangat positif, dibuktikan dengan makin

berkurangnya tingkat cemaran air Sungai Citarum. Namun upaya untuk mempertahankan fungsi oxbow sebagai bagian dari Sungai Citarum, belum optimal dilakukan. Penelitian ini mengambil lokasi di Oxbow Rancamanyar, yang merupakan salah satu aliran sungai mati Citarum, yang melewati daerah Rancamanyar, di Kec. Baleendah, Kabupaten Bandung. Oxbow ini memiliki panjang ± 2.833 meter dengan pemukiman penduduk dan lahan budidaya yang cukup padat di sekitarnya. Oxbow ini tidak terawat dan mengalami pendangkalan, pencemaran berat, tumbuhan gulma, hingga perubahan aliran air yang tidak sesuai dengan lanskap alamnya. Perencanaan pada area Oxbow Rancamanyar diharapkan dapat meningkatkan kembali fungsi optimal Oxbow Rancamanyar sebagai pengendali banjir, di samping dapat memberi nilai sosial dan ekonomi bagi masyarakat sekitar, sebagai salah satu upaya menjaga keberlanjutan di area Oxbow Rancamanyar.

2. OXBOW SUNGAI CITARUM DAN PERMASALAHANNYA

Danau “Oxbow” adalah danau berbentuk U yang merupakan hasil yang dibentuk oleh sebuah kelokan lebar terputus dari sungai utama dan menjadi badan air tersendiri. Danau “Oxbow” terbentuk ketika pengalihan dibuat untuk meluruskan badan sungai. Namun, pengalihan ini menyebabkan beberapa bagian dari sungai menjadi sungai mati, karena tidak lagi dialiri oleh aliran utama. Terbentuknya oxbow- oxbow di bagian hulu Sungai Citarum dimulai dari permasalahan- permasalahan yang sudah merusak dan mencemari DAS Citarum beberapa dekade terakhir. Banjir yang berulang pada DAS Citarum menjadi tantangan tersendiri bagi pemerintah dan masyarakat sekitar setiap musim hujan datang. Rancaekek, Dayeuh Kolot, Gedebage, dan Margaasih merupakan beberapa area di sekitar DAS yang rawan banjir, sehingga memerlukan penanganan serius dan segera.

Sejak tahun 1994, BBWS Citarum telah melakukan proyek normalisasi berupa pelurusan sungai sepanjang 68,8 kilometer. Pelurusan sungai kembali dilakukan di tahun 2011 sepanjang 44,3 km. Kegiatan pelurusan ini telah membuat munculnya oxbow- oxbow di sepanjang DAS Citarum hulu.

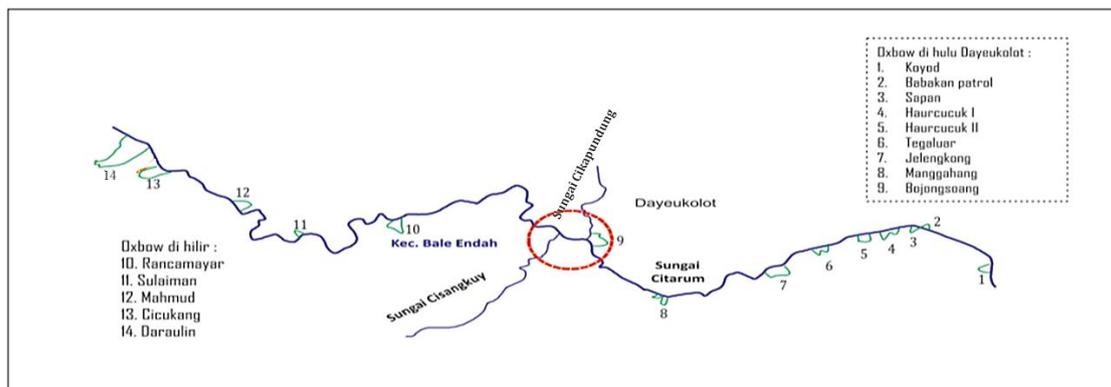
Tabel 1. Area Sungai Mati di bagian hulu Ci Tarum

No.	Sungai Mati (Oxbow)	Panjang Sungai Mati (m)
1.	Citarum Dy. Kolot	1.156
2.	Citarum 1	391
3.	Citarum 2	647
4.	Citarum 3	2.890
5.	Citarum 4	938
6.	Citarum 5	827
7.	Citarum 6	788
8.	Citarum 7	634
9.	Citarum 8	995
10.	Citarum 9	423

Sumber: peta RBI, 2010

Hingga tahun 2018, jumlah oxbow yang berada di Sungai Citarum hulu sudah bertambah hingga 14, dan mengalami perubahan nama sesuai dengan lokasi dimana oxbow tersebut berada [4]. Oxbow- oxbow tersebut membentang dari hulu ke hilir, melewati muara Sungai Cikapundung dan Sungai Cisangkuy.

Oxbow Rancamanyar terletak pada bagian hilir dari muara kedua anak Sungai Citarum tersebut. Keadaan fisik DAS Oxbow Rancamanyar yang sangat panjang, berkelok- kelok, dan dampak dari pendangkalan dan pengecilan badan sungai, membuat air di oxbow cenderung menggenang dan pada beberapa bagian mengalir berbalik arah menggerus tanah- tanah labil di area pinggir sungai. Permasalahan lain yang muncul di sekitar oxbow adalah buruknya sanitasi dan akuisisi lahan [3]. Gambar berikut memperlihatkan lokasi masing- masing oxbow di sub DAS Citarum Hulu, di mana salah satunya adalah Oxbow Rancamanyar.



Sumber: Putuhena, dkk., 2018

Gambar 2. Identifikasi oxbow di area Sub DAS Citarum Hulu

Lokasi di sekitar area oxbow merupakan area banjir tahunan, di mana banjir dalam kawasan DAS menunjukkan bahwa ekosistem sungai mengalami kerusakan. Kondisi aliran di kawasan hilir yang buruk disebabkan oleh kondisi hulu yang tidak baik, demikian juga sebaliknya [5].

3. METODE PENELITIAN

Jenis Dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed method research (MMR)* yang merupakan kombinasi antara pendekatan kuantitatif dan kualitatif secara bersamaan [6]. Adapun pendekatan kualitatif diuraikan secara deskriptif melalui pendalaman terhadap kasus studi yang diambil. Adapun hasil dari pendekatan deskriptif adalah tersajinya setting fenomena secara lengkap melalui eksplorasi dan klarifikasi dari kenyataan atau data yang ada di lokus penelitian. Hasil dari eksplorasi tersebut berupa data- data deskriptif baik secara tertulis maupun lisan, dari informan- informan terpilih sebagai bagian dari prosedur penelitian [7]. Penggunaan pendekatan deskriptif kualitatif dapat menggambarkan dan menghasilkan penafsiran secara detail mengenai situasi yang ada di lokus. Penelitian kualitatif didasarkan pada filosofi konstruktivisme, yang menyatakan bahwa realitas memiliki banyak segi, dibentuk melalui interaksi, dan terdiri dari pertukaran pengalaman sosial yang ditafsirkan secara unik oleh setiap individu. [8]. Penelitian ini menggunakan gabungan observasi, wawancara, dan dokumentasi sebagai metodologi utamanya. Informan yang terdiri dari individu-individu yang mengenal lingkungan penelitian dengan baik berperan penting dalam memberikan wawasan dan informasi yang berharga.

Pendekatan kuantitatif menggunakan pemodelan hidrologi meliputi analisis banjir dengan perhitungan debit banjir rencana. Pendekatan kuantitatif deskriptif diharapkan dapat mengungkap fenomena atau peristiwa alam yang berlangsung di lokasi penelitian [9]. Kecukupan pengukuran data tidak tetap tetapi relatif dan dapat berkembang secara dinamis berdasarkan karakteristik dan persyaratan spesifik penelitian yang dilakukan [10]. Analisis pada data kuantitatif melibatkan pelaksanaan analisis banjir rancangan menggunakan data curah hujan. Dalam hal ini termasuk menentukan curah hujan rancangan melalui analisis frekuensi dan mengidentifikasi curah hujan maksimum. Khusus untuk studi ini, penting untuk mengumpulkan data hidroklimatologi seperti curah hujan, debit, dan data AWLR dari stasiun di dalam dan sekitar daerah tangkapan air (*cathment area*). Ketersediaan dan kelengkapan data ini merupakan faktor penting yang memengaruhi keakuratan analisis hidrologi. Pada penelitian ini, data curah hujan dan data debit yang dikumpulkan minimal 10 tahun terakhir. Data Curah hujan di *cathment area* dan sekitarnya terdapat 3 (tiga) stasiun pengamatan dengan ketersediaan data sebagai berikut

Tabel 2. Area Sungai Mati di Citarum Hulu

No.	Sta	Koordinat	Kelengkapan Data
1.	Sta 25 Bojongsoang	-6.9890 LS 107.6312 BT	2012 – 2021
2.	Sta 26 Dayeuhkolot	-6.9847 LS 107.6161 BT	2012 – 2021
3.	Sta 22 Sapan	-6.9899 LS 107.6872 BT	2012 – 2021

Sumber:BBWS Citarum

Sedangkan posisi *water catchment area* dapat dilihat pada gambar berikut:



Sumber: peta rupa bumi

Gambar 3. Posisi *water catchment area* di sekitar Oxbow Rancamanyar

Analisis Data

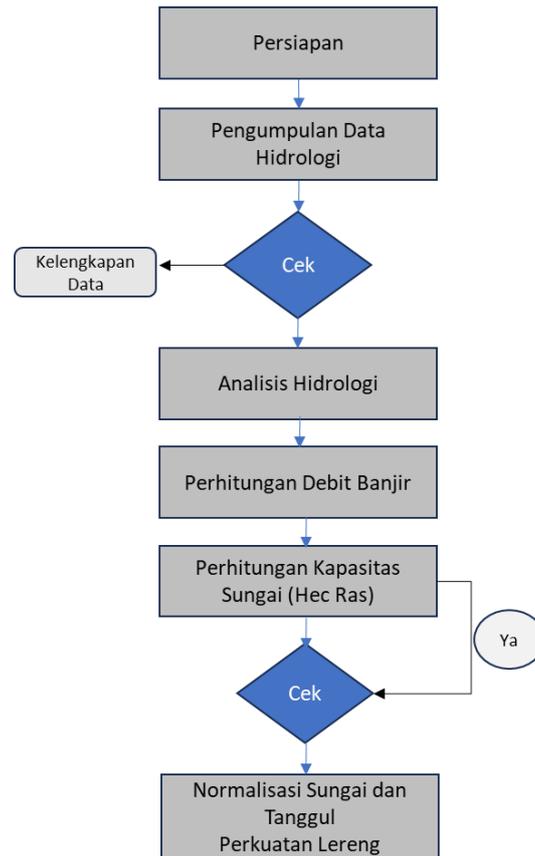
Pada bagian ini, akan dijelaskan proses komprehensif analisis banjir rancangan menggunakan data curah hujan. Dimulai dengan mengeksplorasi metode pendekatan dan kemudian beralih ke penentuan curah hujan rancangan, yang melibatkan pelaksanaan analisis frekuensi dan identifikasi kejadian curah hujan maksimum. Dalam analisis curah hujan, berikut langkah-langkah yang dilakukan:

- Manajemen data hujan melibatkan penyaringan atau pengecekan data secara manual dan statistik, serta pengisian data yang hilang.
- Metode poligon Thiessen digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata.
- Metode distribusi Normal, Gumbel, Log Normal dan Log Pearson tipe III, digunakan dalam menganalisis frekuensi curah hujan rata-rata.
- Menilai kesesuaian untuk pemilihan metode distribusi yang paling pas, dengan menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov dan Chi-Square.
- Menentukan koefisien reduksi dari kurva koefisien reduksi PSA 007.
- Hitung curah hujan cekungan dengan mengalikan hasil analisis frekuensi dengan koefisien reduksi. Curah hujan hasil ini merupakan curah hujan rancangan yang diinginkan.

Jumlah curah hujan yang diperkirakan terjadi satu kali dalam periode tertentu dapat diperkirakan secara statistik dengan menganalisis data jangka panjang (> 20 tahun) tentang curah hujan tahunan maksimum. Analisis ini melibatkan studi distribusi frekuensi data. Biasanya, curah hujan yang digunakan untuk tujuan desain dihitung untuk periode ulang 5, 10, 20, atau 25 tahun, tergantung pada studi perencanaan tertentu. Pada penelitian ini, periode yang digunakan adalah periode 5 dan 10 tahun.

Analisis frekuensi adalah metode yang digunakan untuk menentukan distribusi probabilitas yang paling sesuai dengan data yang diamati dari pengukuran curah hujan. Analisis ini dapat dilakukan dengan menggunakan kumpulan data curah hujan atau data debit untuk memahami frekuensi dan besarnya kejadian curah hujan. Dalam bidang hidrologi, para peneliti memanfaatkan beragam jenis distribusi frekuensi untuk menganalisis dan memodelkan data hidrologi. Distribusi-distribusi ini, yang meliputi distribusi normal, distribusi log normal, distribusi Gumbel, dan distribusi log Pearson tipe III, masing-masing memiliki tujuan unik dalam memahami kejadian dan probabilitas peristiwa hidrologi. Penerapannya penting untuk berbagai studi hidrologi, seperti menilai ketersediaan sumber daya air, menganalisis risiko banjir, dan merancang sistem rekayasa hidrolik.

Langkah-langkah analisis hidrologi dijelaskan pada gambar berikut:

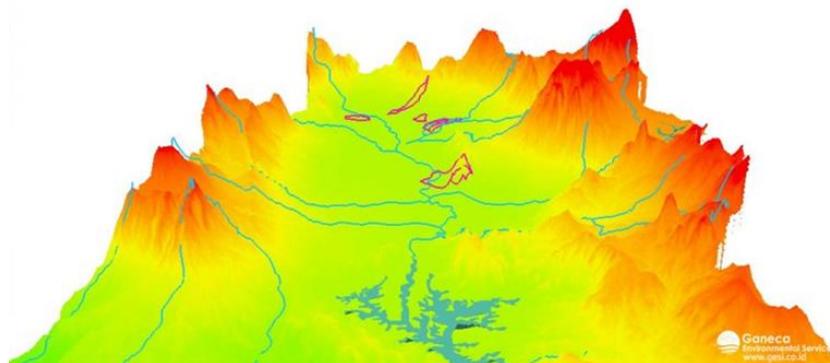


Gambar 4. Proses analisis data kuantitatif

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Morfologi Terhadap Area Genangan

Daerah banjir di Kabupaten Bandung berada di dalam wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum dengan kondisi morfologi yang berbeda. Daerah ini bukan berada pada daerah hulu dan hilir sungai, namun di antara cekungan pegunungan di sekitarnya (Gunung Burangrang dan Gunung Bukittinggul di sebelah utara, Gunung Malabar dan Gunung Patuha di sebelah selatan, serta Gunung Kerenceng di sebelah timur).



Sumber: <https://www.gesi.co.id>

Gambar 5. Daerah banjir di DAS Citarum Hulu dalam 3D

Peta tersebut menunjukkan bahwa jarak dari pegunungan, tempat air limpasan berasal, ke daerah banjir lebih pendek daripada jarak ke daerah hilir. Kombinasi jarak horizontal dan vertikal di hulu menciptakan gradien lereng yang signifikan. Kemiringan ini memengaruhi seberapa cepat air limpasan mengalir. Kemiringan DAS yang lebih curam menghasilkan aliran air limpasan yang lebih cepat, yang akhirnya mempercepat respons DAS terhadap curah hujan. [5]. Analisis pada riparian sungai dilakukan dengan melihat karakteristik dari lanskap aliran dan

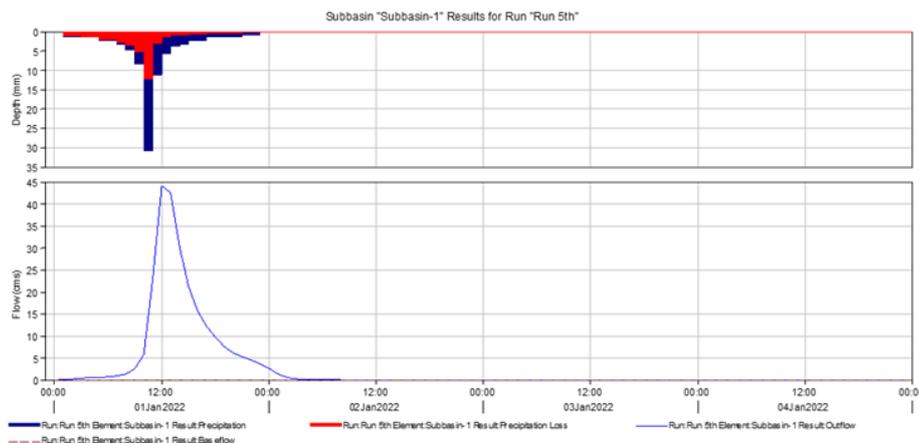
badan sungai, yang menurut Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 28 Tahun 2015 dapat dilihat berdasarkan aspek morfologi, aspek ekologi, dan aspek hidraulika aliran sungai [11].

Perkiraan Debit Banjir

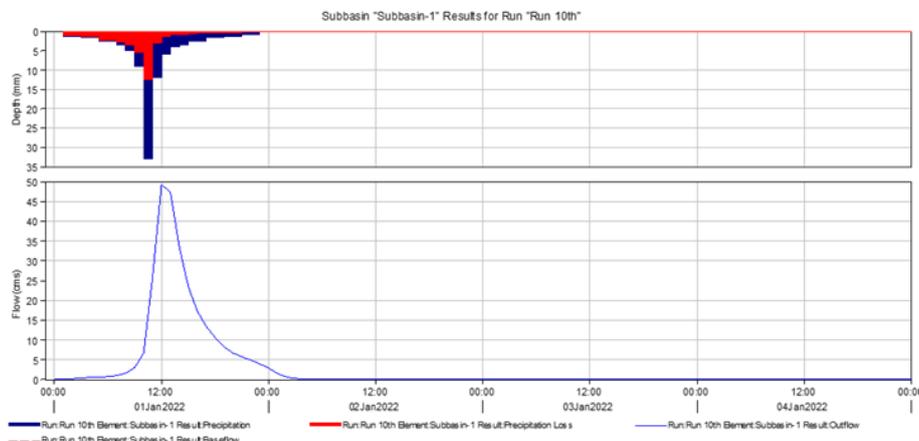
Dalam menganalisis debit rencana mengacu pada pedoman, aturan dan metode-metode yang berlaku yaitu SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana dijadikan acuan dalam menganalisis debit banjir rencana. Metode Horton digunakan untuk pengujian infiltrasi tanah. Menurut Horton, kapasitas infiltrasi menurun seiring waktu hingga mencapai nilai yang konstan. Penurunan kapasitas infiltrasi lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor di permukaan tanah daripada proses aliran dalam tanah. [12]. Ada beberapa faktor yang menyebabkan menurunnya laju infiltrasi, yaitu tertutupnya retakan tanah, tertutupnya retakan tanah oleh koloid tanah, terbentuknya kerak tanah, rusaknya struktur permukaan tanah, dan terbawanya partikel-partikel halus di permukaan tanah oleh butiran air hujan.

Dengan bantuan software HEC-HMS untuk membantu dalam menganalisis debit banjir rencana bermaksud membandingkan dengan metode-metode analisis debit banjir rencana Nakayatsu, ITB 1 dan 2 serta SCS. Pemodelan DAS sampai ke outlet oxbow dari hasil analisis data DEMNAS dengan software ArcGIS. Dalam pemodelan DAS hanya dibuat dalam 1 DAS saja. Oxbow dimodelkan dengan komponen reservoir, dengan masukan berupa data hubungan elevasi dan volume tampungan oxbowop 9, serta data elevasi dan debit outflow lewat pelimpah. Parameter DAS yang dibutuhkan adalah angka CN. Dihitung dengan Arcgis dengan overlay antara peta penutupan lahan, peta tekstur tanah, dan peta pembagian sub-DAS. Perhitungan dengan cara komposit per sub-DAS. Nilai CN masing-masing sub-DAS disajikan di tabel berikut:

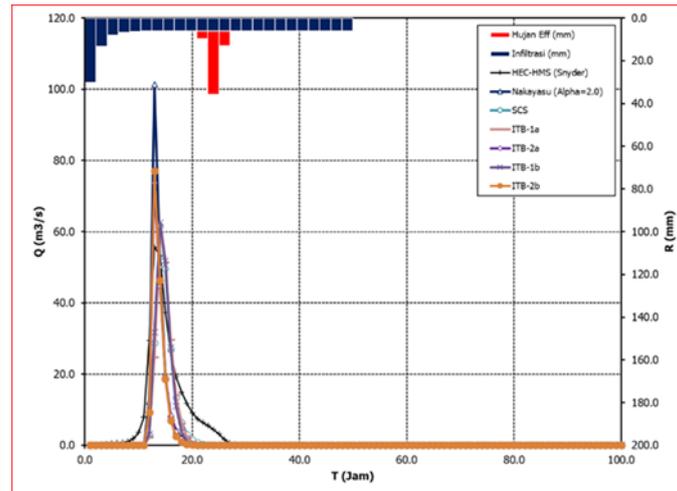
CN = 80
 Lamda = 0.2
 Ia = 9



Gambar 6. Analisis debit banjir HEC-HMS 5 tahunan



Gambar 7. Analisis debit banjir HEC-HMS 10 tahunan



Gambar 8. Rekapitulasi debit banjir

Kinerja Dan Kapasitas Oxbow

- a. Untuk menghitung debit air masuk ke oxbow (*inflow*)
 Terlebih dahulu menganalisis intensitas curah hujan dan kemudian menggunakan metode rasional untuk menentukan debit banjir yang direncanakan. Perhitungan didasarkan pada rumus berikut:

$$Q_t = 0.278 \times C \times I \times A$$

dengan Q_t adalah Debit banjir maksimum ($m^3/detik$), C adalah Koefisien Pengaliran, I adalah Intensitas hujan (mm/jam), dan A adalah Luas areal aliran (m^2)

- b. Sedangkan untuk menghitung debit air keluar dari oxbow (*outflow*)
 Rumus Bundaschu adalah metode yauntuk menghitung besar *outflow*, sebagaimana berikut:

$$Q = m \times b \times d \sqrt{g \times h}$$

$$H = h + k$$

$$d = 2/3 \times H$$

dengan Q adalah debit yang lewat (m^3/dt), b adalah lebar efektif saluran (m), h adalah tinggi saluran (m), k adalah tinggi energi kecepatan (m), g adalah percepatan gravitasi (m/dt), dan m adalah angka koefisien pengaliran

Setelah diperoleh debit air yang masuk (*inflow*) dan keluar (*outflow*) danau oxbow, maka dapat dihitung kapasitas oxbow dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Kapasitas daya tampung oxbow = aliran masuk (*inflow*) – aliran keluar (*outflow*).

Analisis Tampung Oxbow

Luas Genangan Oxbow S. Rancamanyar = 127153.620 m^2

Volume Tampungan Oxbow S. Rancamanyar = 115269.653 m^3

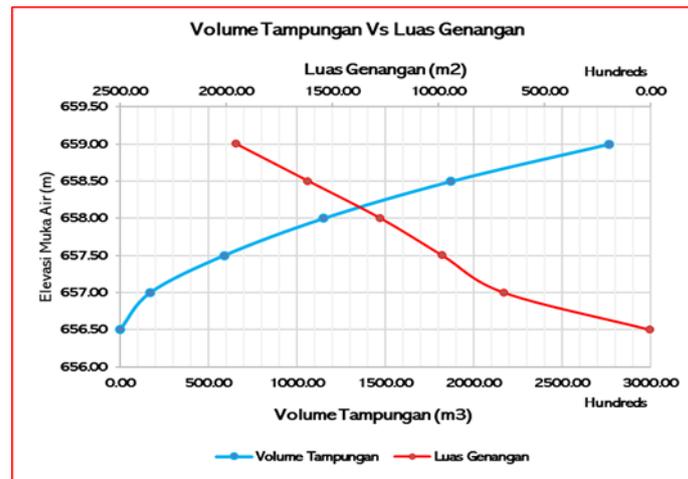
Elevasi = +658.00 m

Kedalaman oxbow = 2.5 m

Perhitungan rekapitulasi kapasitas tampungan dan genangan berdasarkan beda kontur. Hasil perhitungan dari tabel di bawah dapat menghasilkan kurva kapasitas. Kurva ini menggambarkan hubungan antara elevasi, area genangan, dan volume genangan kumulatif di daerah aliran sungai, seperti ditunjukkan pada tabel dan gambar berikut ini:

Tabel 3. Elevasi, Luas Genangan, dan Volume

Elevasi	Luas Genangan (m^2)	Volume Tampungan (m^3)
657.00	68923.790	17230.948
657.50	98038.705	58971.571
658.00	127153.620	115269.653
658.50	161191.855	187356.021
659.00	195230.090	276461.508

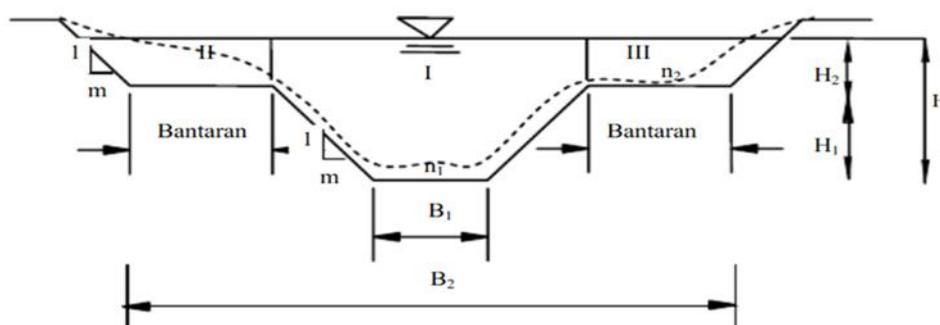


Gambar 9. Volume tampungungan vs luas genangan

Aplikasi Pada Normalisasi Oxbow

Normalisasi dirancang untuk mengalihkan kelebihan air banjir ke hilir, dengan menampung di area oxbow, untuk mencegah luapan. Pekerjaan yang dapat dilakukan dengan menerapkan hasil dari analisis hidrologi yang berhubungan dengan normalisasi badan oxbow, di antaranya:

- Memperbaiki bentuk dari penampang melintang oxbow.
- Menata penampang memanjang dari oxbow.
- Mengurangi tingkat kekasaran dinding pada badan oxbow.
- Membangun kembali bangunan yang tidak layak di sekitar oxbow, terutama yang menghambat aliran oxbow.
- Menstabilkan lereng dari badan oxbow.
- Membangun tanggul- tanggul banjir.
- Secara umum, pada alur oxbow pada bagian hilir, rasio tinggi air terhadap lebar oxbow (h/B) sangat kecil, dasar sungai memiliki kemiringan landau, dan kapasitas aliran rendah.
- Untuk meningkatkan kapasitas aliran saat banjir, dibuat penampang melintang ganda dengan menambah luas penampang basah melalui pemanfaatan tepian sungai.
- Agar mencapai penampang melintang yang stabil, penampang melintang bawah dari penampang melintang ganda harus dirancang dengan debit aliran yang dominan, khususnya debit pada periode berulang (5, 10,20,25) tahun



Gambar 10. Konsep river improvement pada DAS Oxbow Rancamanyar

5. KESIMPULAN

Dari analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa secara kuantitatif, proses normalisasi pada badan sungai mati/ oxbow dapat direncanakan dengan perhitungan untuk mendapatkan luas penampang dan daya tampung maksimal dari oxbow. Curah hujan maksimal yang berakibat terhadap naiknya debit air yang menjadi penyebab banjir tahunan, secara teknis dapat dihitung. Namun, di satu sisi permasalahan sampah dan limbah yang tidak bisa diprediksi volumenya menjadi temuan pengganggu meskipun sudah dilakukan perhitungan secara teknis terhadap penampang oxbow. Diperlukan teknik lain dalam mengatasi permasalahan lanskap koridor Oxbow Citarum diantaranya penanggulangan sampah dengan sistem trap-trap yang dapat dikelola

oleh RT/ RW setempat. Permasalahan oxbow tidak hanya masalah teknis, namun juga menyangkut masalah sosial karena DAS oxbow yang langsung bersinggungan dengan pemukiman warga. Untuk mencegah konflik sosial, diperlukan pendekatan secara persuasif dari berbagai pihak yang berkepentingan, terutama pemerintah setempat dan jajaran hingga ke skala RT dan RW. Masyarakat perlu dilibatkan dalam pengambilan keputusan, dan perlu merasakan langsung manfaat dari sisi ekonomis dan ekologis, sehingga dengan kesadaran sendiri ikut memelihara DAS oxbow tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kemen PUPR, “Penanganan Banjir di WS Citarum,” 2017.
- [2] A. P. Daulay, “Sungai Citarum, Predikat Sungai Tercemar di Dunia. Bagaimana solusinya?,” Konservasi DAS Universitas Gadjah Mada <https://konservasidas.fkt.ugm.ac.id/2020/06/20/sungai-citarum-predikat-sungai-tercemar-di-dunia-bagaimana-solusinya/>.
- [3] D. Rohmat, “Solusi Aspiratif Penanganan Masalah Sungai Mati (Kasus: Desa Andir Kecamatan Bale Endah Kabupaten Bandung),” *Jurnal Geografi Gea*, vol. 9, no. 1, 2009.
- [4] W. M. Putuhena, N. F. Kifli, M. B. Hadimoeljono, D. Sumadilaga, and E. W. Irianto, *Restorasi Citarum Hulu Mewujudkan Sungai Citarum yang Sehat untuk Kesejahteraan Masyarakat*, 1st ed., vol. 1. Bandung: ITB Press dan Puslitbang Sumber Daya Air Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- [5] T. Tonanga, “Menelusuri Banjir di Kabupaten Bandung,” Ganeca Environmental Service.
- [6] J. W. Creswell, *A Concise Introduction to Mixed Methods Research*. SAGE Publications, 2014. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=51UXBAAAQBAJ>
- [7] N. Burzan, “Continuities and discontinuities. A methodological reflection on sociological analyses of time in multigenerational family interviews,” *Forum Qualitative Sozialforschung*, vol. 21, no. 2, 2020, doi: 10.17169/fqs-21.2.3427.
- [8] M. Ningtyas, “Bab III - Metode Penelitian Metode Penelitian,” *Metode Penelitian*, no. 2016, pp. 32–41, 2016.
- [9] R. D. F. Yani and D. R. S. Sumunar, “Pemodelan Estimasi Banjir untuk Mitigasi Bencana di DAS Cibeurem Kabupaten Cilacap,” Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2019.
- [10] S. Arifianto, “Implementasi Metode Penelitian Studi Kasus Dengan Pendekatan Kualitatif,” *Yogyakarta: Aswaja Presindo*, 2016.
- [11] T. U. Z. Noviandi, R. L. Kaswanto, and H. S. Arifin, “Riparian landscape management in the midstream of Ciliwung River as supporting Water Sensitive Cities program with priority of productive landscape,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2017. doi: 10.1088/1755-1315/91/1/012033.
- [12] N. A. Prijanto, D. Harisuseno, and J. S. Fidari, “Studi Perbandingan Model Horton dan Model Kostiaikov Terhadap Laju Infiltrasi,” *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 1, no. 2, pp. 53–66, 2021.

ANALISIS TINGKAT KOMPONEN DALAM NEGERI (TKDN) PADA PROYEK RENOVASI RUMAH DINAS KANTOR PELAYAN PAJAK DI KABUPATEN SIKKA

*Triapriono Kaidu¹, Anastasia M.N. Soludale²

^{1,2}Teknik, Nusa Nipa, Maumere

^{*)} Email: kaidutriapriono@gmail.com,

ABSTRACT

The main objective of this study is to analyze the domestic components in the renovation project of the KPP Pratama Maumere official residence. Domestic components are a strategic government policy based on several perspectives. Specifically, this policy is implemented to encourage demand for domestic products and labor, as well as to strengthen the local economic base. This study uses a quantitative descriptive approach to evaluate quantitative data related to the components of materials, labor, and services used in this project. The results of the study show that the final Domestic Component Level (TKDN) value in the renovation project of the KPP Pratama Maumere official residence, impacted by the use of local materials, reached 70.40%. This means that the project has met the minimum TKDN threshold of 35%. Therefore, there is no need for evaluation or financial sanctions, which are only applied if the project fails to meet the established minimum TKDN threshold. The results indicate that the material components have the most significant influence on the final TKDN value in this project. This emphasizes the importance of utilizing local resources in construction projects.

Keyword: TKDN, Renovation project, Materials, Labor, Sikka Regency

ABSTRAK

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis komponen dalam negeri dalam proyek renovasi rumah dinas KPP Pratama Maumere. Komponen dalam negeri merupakan kebijakan strategis pemerintah yang didasarkan pada beberapa perspektif. Secara spesifik, kebijakan ini diimplementasikan untuk mendorong permintaan terhadap produk dan tenaga kerja dalam negeri serta memperkuat basis ekonomi lokal. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi data kuantitatif terkait komponen material, tenaga kerja, dan jasa yang digunakan dalam proyek ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase nilai akhir TKDN pada proyek renovasi Rumah Dinas KPP Pratama Maumere memiliki dampak dari material lokal yang digunakan mencapai sebesar 70,40%, yang berarti proyek tersebut telah memenuhi batas minimum TKDN sebesar 35%. Dengan demikian, tidak perlukan evaluasi atau sanksi finansial, yang hanya diterapkan jika proyek gagal memenuhi batas minimum TKDN yang telah ditetapkan. Dari hasil penelitian, komponen bahan material terbukti memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap nilai akhir TKDN pada proyek ini. Hal ini menekankan pentingnya pemanfaatan sumber daya lokal dalam proyek konstruksi.

Kata kunci: TKDN, Proyek renovasi, Material, Tenaga kerja, Kabupaten Sikka

1. PENDAHULUAN

Salah satu upaya untuk mempercepat pembangunan serta penguatan industri dalam negeri, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan peraturan tentang Tingkat Komponen Dalam Negeri atau TKDN. Kebijakan TKDN diatur dalam Peraturan Menteri Perindustrian No. 16 Tahun 2011 yang menguraikan tentang perhitungan dan pokok-pokok peraturan teknis [1]. Kebijakan TKDN bertujuan untuk mendorong pemanfaatan produk lokal dalam proyek-proyek pemerintah, dengan harapan dapat memperkuat industri dalam negeri, membuka peluang kerja, dan mengurangi ketergantungan pada produk impor [2]. Menurut Susanti [3] tujuan dari TKDN antara lain untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi, mengurangi ketergantungan terhadap impor, serta meningkatkan daya saing industri lokal. Pada sektor konstruksi, penerapan TKDN menjadi hal yang sangat penting. Sektor ini menjadi salah satu pendorong utama pertumbuhan ekonomi. Sumber Data Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa kontribusi sektor konstruksi diperkirakan hampir 10,65% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional pada 2023 [4]. Dalam sektor konstruksi, penerapan TKDN (Tingkat Komponen Dalam Negeri) seringkali menjadi tantangan, terutama pada proyek-proyek renovasi yang melibatkan berbagai elemen seperti bahan bangunan, peralatan, dan tenaga kerja. Salah satu contoh yang menarik untuk dianalisis adalah proyek renovasi rumah dinas Kantor Pelayanan Pajak di Kabupaten Sikka. Proyek ini tidak hanya berfokus pada renovasi fisik bangunan, tetapi juga memberikan ruang bagi integrasi berbagai komponen lokal dalam pelaksanaannya. Dalam hal ini, bahan bangunan yang digunakan, jasa konstruksi, dan teknologi pendukung semuanya melibatkan elemen-elemen yang berasal dari dalam negeri, mendukung kebijakan TKDN dengan cara yang aplikatif dan efektif. Hal ini tidak hanya memperkuat perekonomian lokal, tetapi juga memberikan kesempatan bagi pengembangan sektor konstruksi di daerah tersebut.

Kabupaten Sikka tertetak di provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) memiliki sumber daya alam yang melimpah seperti pasir, batu dan juga tenaga kerja. Namun, tingkat pemanfaatannya dalam proyek-proyek konstruksi seringkali belum maksimal. Proyek renovasi rumah KPP di Kabupaten Sikka menjadikan analisis mengenai seberapa jauh potensi lokal dapat dipadukan dalam kegiatan pembangunan, dan pada saat yang sama, mendukung kebijakan nasional yang berkaitan dengan TKDN.

Renovasi rumah negara KPP di Kabupaten Sikka merupakan salah satu rehab yang diharapkan dapat menyerap semaksimal mungkin penggunaan TKDN. Renovasi ini akan dilakukan guna peningkatan fasilitas negara yang mendukung pegawai pemerintah, terutama di bidang perpajakan. "Proyek pemerintah wajib menggunakan produk dalam negeri apabila terdapat produk lokal yang memenuhi syarat kualitas dan harga yang kompetitif," bunyi Pasal 64 ayat 4 Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 [5] tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. Hal ini menunjukkan adanya komitmen kuat dari pemerintah untuk mendukung produk lokal dalam setiap proyek strategis, termasuk proyek konstruksi.

Namun, pelaksanaan TKDN dalam proyek pembangunan sering tersendat kendala. Salah satu sumber utama adalah ketidakterersediaan bahan lokal yang sesuai dengan standar kualitas tertentu. Berbagai studi terdahulu yang dilakukan Hidayat et al.[6] kebijakan TKDN memiliki potensi besar untuk meningkatkan industri lokal, tetapi banyak tantangan yang menghalanginya untuk dilaksanakan. Dibutuhkan peningkatan kapasitas dan kualitas produk domestik, serta pelatihan dan sosialisasi yang lebih intensif kepada pelaku pengadaan. Namun, pelaku pengadaan kurang memahami dan mematuhi peraturan TKDN, yang dapat menghambat keberhasilan kebijakan [7].

Kabupaten Sikka, lokasi proyek renovasi rumah negara, menyimpan potensi besar untuk mendukung penerapan TKDN. Daerah ini kaya akan sumber daya alam sebagai bahan bangunan seperti pasir, batu, kayu dan lainnya. Selain itu, Kabupaten Sikka juga memiliki banyak tenaga kerja lokal yang akan diberdayakan untuk mendukung pelaksanaan proyek. "Pemberdayaan sumber daya lokal dalam proyek-proyek pemerintah tidak hanya menambah angka kontribusi terhadap TKDN namun juga berimbas langsung kepada masyarakat", ujar Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Sikka dalam laporan tahunan 2023[8].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis seberapa besar tingkat TKDN pada proyek renovasi rumah negara Kantor Pelayanan Pajak di Kabupaten Sikka. Penelitian ini berfokus pada identifikasi komponen lokal yang digunakan, proporsi kontribusi komponen lokal terhadap keseluruhan proyek

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif untuk menganalisis Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) pada proyek renovasi rumah Dinas KPP di kabupaten Sikka. Fokus utama dalam penelitian ini adalah menghitung persentase tingkat komponen yang digunakan secara lokal. Berikut metode penelitian dijelaskan secara rinci:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dokumen rencana kerja dan syarat (RKS), dokumen *detail engineering desain* (DED), yang berisi rancangan mencakup informasi tenaga kerja dan bahan proyek serta harga satuan pekerjaan yang digunakan & juga rencana anggaran biaya (RAB) sebagai perhitungan biaya keseluruhan.
2. Mengidentifikasi komponen-komponen penting dalam analisis Tingkat komponen Dalam Negeri (TKDN), terdapat beberapa aspek utama, yaitu bahan material, tenaga kerja, dan alat kerja yang digunakan. Ketiga komponen ini dianalisis secara rinci sesuai dengan item pekerjaan yang tercantum dalam pelaksanaan proyek renovasi rumah Dinas KPP di Kabupaten Sikka.
 - a. Bahan material yang digunakan, dengan memastikan proposi bahan lokal sesuai dengan standar TKDN. Pengidentifikasi mencakup jenis bahan, sumber pengadaan dan kontribusi terhadap komponen lokal.
 - b. Analisis Tenaga kerja mencakup jumlah, kualifikasi, dan asal tenaga kerja yang terlibat dalam proyek, dengan keterlibatan tenaga kerja lokal sebagai bagian dari upaya pemberdayaan masyarakat sekitar.
 - c. Peninjauan alat kerja mencakup jenis peralatan yang digunakan, alat produksinya, serta kontribusinya terhadap nilai TKDN. Hal ini penting untuk memastikan penggunaan alat mendukung capaian target komponen lokal.
3. Proses identifikasi Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) mencakup semua komponen utama yang berkontribusi terhadap pelaksanaan proyek. Komponen-komponen ini meliputi tenaga material, tenaga kerja, dan alat kerja yang masing-masingnya dianalisis berdasarkan pedoman dan peraturan yang berlaku.

- a. Semua bahan material digunakan dalam proyek diidentifikasi dengan mengacu pada daftar inventarisasi Kementerian perindustrian. Daftar ini mencantumkan jenis bahan material yang memenuhi syarat sebagai produk lokal, termasuk tingkat kandungan lokal dan persentase kontribusi terhadap nilai TKDN.
 - b. Identifikasi tenaga kerja dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah, kualifikasi, dan proposi tenaga kerja lokal yang terlibat. Penilaian ini mengacu pada Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 16/M-IND/PER/2/2011, yang mengatur metode perhitungan dan proposi tenaga kerja dalam nilai TKDN.
 - c. Analisis alat kerja melibatkan pengkajian asal dan jenis peralatan yang digunakan, termasuk apakah alat tersebut merupakan produk lokal atau impor. Perhitungan kontribusi alat kerja terhadap TKDN juga dilakukan berdasarkan pedoman yang tercantum dalam Peraturan Menteri Perindustrian RI No. 16/M-IND/PER/2/2011.
4. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) setiap item pekerjaan dilakukan untuk menghitung biaya rincian yang diperlukan dalam pelaksanaan proyek, dengan mempertimbangkan koefisien pengali dengan nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) pada proyek renovasi rumah dinas KPP di Kabupaten Sikka.
 5. Rekapitulasi nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) dilakukan untuk menghitung nilai akhir TKDN pada proyek Renovasi Rumah Dinas KPP di Kabupaten Sikka. Proses ini mencakup pengumpulan dan perhitungan seluruh nilai TKDN dari setiap item pekerjaan dalam proyek. Setiap item pekerjaan dianalisis berdasarkan proposi bahan material, tenaga kerja, dan alat kerja lokal yang digunakan. Nilai TKDN masing-masing item kemudian dijumlahkan dengan mempertimbangkan bobot atau kontribusinya terhadap total pekerjaan. Hasil akhir rekapitulasi ini menjadi nilai TKDN keseluruhan proyek, yang mencerminkan sejauh mana proyek memenuhi ketentuan penggunaan komponen lokal sesuai dengan regulasi yang berlaku.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan perhitungan nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) pada sebuah proyek, terdapat komponen penting seperti bahan material, tenaga kerja dan alat kerja, yang masing-masing memiliki peran krusial dalam menentukan kontribusi terhadap nilai TKDN. selain itu, untuk memperoleh estimasi yang lebih baik, perlu dilakukan analisis mendalam terhadap harga satuan pekerjaan (AHPS) untuk setiap item pekerjaan yang terlibat, yang akan mencakup perhitungan biaya bahan, tenaga kerja, serta penggunaan alat kerja yang digunakan dalam proyek renovasi rumah dinas KPP di Kabupaten Sikka analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) untuk masing-masing item pekerjaan dalam proyek renovasi rumah Dinas KPP di kabupaten Sikka.

Perhitungan Tingkat Komponen Dalam Negeri

Sebelum menghitung TKDN (Tingkat Komponen Dalam Negeri) bahan material, langkah pertama adalah mengidentifikasi daftar bahan material yang akan digunakan dalam proyek renovasi rumah Dinas KPP di Kabupaten Sikka. Selanjutnya, nilai TKDN dari masing-masing bahan material perlu ditentukan. Perhitungan nilai TKDN dapat dilakukan menggunakan persamaan atau merujuk pada daftar inventarisasi yang disediakan oleh menteri perindustrian, termasuk informasi yang tersedia di situs web resmi kementerian <https://tkdn.kemenperin.go.id/>.

Tabel 1. Contoh perhitungan bahan material Cat Tembok

No	Uraian	Satuan Produk (%)		Total
		KDN	KLN	
I	Tenaga Kerja			
	Pekerja	100	-	100
	Tukang Cat	100	-	100
	Kepala tukang	100	-	100
	Mandor	100	-	100
II	Bahan material			
	Plamir Tembok	62.34	37.66	100
	Cat Tembok/ Cat Dasar	70.28	29.72	100
	Cat Penutup Tembok	70.28	29.72	100
III	Alat Kerja			
	-	-	-	-
	Persentase Produksi	602,90	59,44	700
	%TKDN Bahan Material		86.13	

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2024)

Contoh perhitungan TKDN material cat tembok dijelaskan pada tabel diatas. Seluruh tenaga kerja yang digunakan merupakan komponen dalam negeri (KDN). Artinya, 100% pekerja, tukang cat, kepala tukang, dan mandor berasal dari dalam negeri. Tidak ada keterlibatan komponen luar negeri (KLN) dalam aspek tenaga kerja. Untuk bahan material ada pemerataan KDN dan KLN. Untuk plamir tembok, kontribusi KDN 62,34%, sedangkan KLN 37,66%. Cat tembok atau cat dasar, lebih tinggi lagi ada pada KDN, yaitu 70,28%, dari KLN sebesar 29,72%. Cat penutup tembok menunjukkan pola yang sama seperti cat dasar, yaitu 70,28% dari KDN dan 29,72% dari KLN. Dengan kata lain, ini merujuk pada ketergantungan tertentu pada bahan impor meskipun bahan material utama sebagian besar berasal dari dalam negeri. Total 700%. Penghitungan ini memperlihatkan besaran kontribusi dalam tenaga kerja dan bahan material terhadap proses produksi. Selain itu, TKDN dalam bahan material diklaim 86,13%, menjadikan porsi yang paling banyak dalam pemakaian bahan material dari dalam negeri.

$$\begin{aligned} \% \text{ TKDN} &= \frac{\text{Komponen Dalam Negeri}}{\text{Total Komponen}} \times 100\% & (1) \\ &= \frac{602,90}{700} \times 100\% \\ &= 86,13\% \end{aligned}$$

Perhitungan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) Dengan AHPS

Perhitungan TKDN Proyek renovasi rumah Dinas KPP di Kabupaten Sikka dimulai dengan menentukan komponen-komponen utama nilai TKDN. Komponen-komponen tersebut meliputi seperti material bahan, tenaga kerja, dan alat kerja. Proses identifikasi ini bertujuan untuk menentukan sejauh mana setiap elemen pekerjaan mendukung lokalisasi input guna menghasilkan kualitas TKDN yang terukur. Renovasi rumah Dinas KPP di kabupaten Sikka merupakan salah satu contoh konstruksi yang dapat dibagi menjadi subpekerjaan dengan kebutuhan dan karakteristik yang berbeda. Setiap subpekerjaan memerlukan analisis kasus per kasus terhadap bahan, tenaga kerja, dan peralatan yang digunakan. Beberapa subpekerjaan dari proyek ini meliputi:

1. SMKK & Pekerjaan Persiapan
2. Pekerjaan Galian Tanah
3. Pekerjaan Kusen Pintu dan Jendela
4. Pekerjaan Atap & Plafon
5. Pekerjaan Penutup Lantai & Dinding
6. Pekerjaan Pengecatan
7. Pekerjaan Penggantung & Pengunci
8. Pekerjaan Listrik
9. Pekerjaan Instalasi air & Sanitasi

Setiap item pekerjaan dilakukan analisis harga satuan pekerjaan untuk mendapatkan harga satuan pekerjaan (HPS). AHPS terdiri dari beberapa komponen, seperti material bahan, tenaga kerja, dan alat yang digunakan. Nilai TKDN masing-masing dari masing-masing komponen tersebut akan digunakan menghitung biaya komponen dalam negeri (KDN) dari semua item pekerjaan.

Tabel 2. Contoh perhitungan analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) dengan TKDN

No	Uraian	Koef.	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	TKDN (%)	Biaya KDN (Rp)
	A	B	C	d = b x c	e	f = d x e
A	TENAGA KERJA					
	Pekerja	0,2500	70.000,00	17.500	100	17.500,00
	Tukang	0,0833	100.000,00	8.330	100	8.330,00
	Kepala Tukang	0,0083	110.000,00	913	100	913,00
	Mandor	0,0028	120.000,00	336	100	336,00
	Jumlah Harga (Rp)			27.079,00		27.079,00
B	BAHAN					
	Keramik 60 x60	2,9170	27.895,00	81.370,00	70,40	57.284,28
	Semen Portland	13,6320	1.733,00	23.671,00	83,74	19.777,24
	Pasir Pasang	0,0270	209.160,00	5.647,00	100	5.647,32
	Semen Warna	1,5000	17.955,00	26.933,00	52,75	14.206,89
	Jumlah Harga		137.567,00			96.915,74

No	Uraian	Koef.	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	TKDN (%)	Biaya KDN (Rp)
C	ALAT KERJA	-	-	-	-	-
	Jumlah Total			164.646,00		123.994,74
	Overheat & Profit 13%			21.404,00		16.119,32
	Harga Satuan Pekerjaan			186.050,00		140.114,05
	TKDN (%)				75,31	

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2024)

Berdasarkan tabel 2 diatas menjelaskan biaya tenaga kerja dihitung berdasarkan jumlah pekerja yang dipakai, upah per hari, dan kontribusi tenaga kerja dalam negeri (TKDN). ada empat jenis tenaga kerjayang dihitung yaitu: pekerja, tukang, kepala tukang dan mandor. Semua kontribusi (TKDN) untuk tenaga kerja adalah 100%, yang berarti seluruh biaya tenaga kerja berasal dari dalam negeri. Total biaya tenaga kerja sebesar Rp. 27.079,00, dengan biaya TKDN yang sama yaitu Rp. 27.079,00.

Sedangkan untuk bahan yang digunakan meliputi keramik 60 x60, semen portland, pasir pasang, dan semen warna. Setiap bahan memiliki TKDN yang berbeda, seperti:

1. Keramik 60 x 60 nilai yang memiliki nilai TKDN terdapat pada *website* Kementerian Perindustrian sebesar 70,40% dengan biaya KDN Rp. 57.284,28 dari Rp. 81.370,00.
2. Semen portlan nilai TKDN terdapat pada *website* Kementerian Perindustrian sebesar 83,74% dengan biaya KDN Rp. 19.777,24 dari Rp. 23.671,00.
3. Pasir pasang nilai TKDN terdapat pada *website* Kementerian Perindustrian sebesar 100% dengan biaya KDN Rp. 5.647,32
4. Semen warna nilai TKDN terdapat pada *website* Kementerian Perindustrian sebesar 52,75% dengan biaya KDN Rp. 14.206,89 dari Rp. 26.933,00.

Total biaya bahan adalah Rp. 137.567,00 dengan biaya TKDN sebesar Rp. 96.915,74. Total biaya keseluruhan pekerjaan (enaga kerja dan bahan) adalah sebesar Rp. 164.646,00. Setelah ditambahkan biaya *overheat* dan profit 13% atau sebesar Rp. 21.404,00, harga satuan pekerjaan pemasangan 1 m² keramik 60 x 60 menjadi Rp. 186.050,00. Dari total biaya tersebut, kontribusi TKDN adalah Rp. 140.114,05, dengan persentase TKDN 75,31%

$$\begin{aligned} \% \text{ TKDN} &= \frac{\text{Biaya Komponen Dalam Negeri}}{\text{Biaya Total Komponen}} \times 100\% & (2) \\ &= \frac{140.114,05}{186.050,00} \times 100\% \\ &= 75,31\% \end{aligned}$$

Rekapitulasi Nilai TKDN

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai TKDN Proyek Renovasi Rumah Dinas KPP di Kabupaten Sikka

No	Uraian	Jumlah Harga (Rp)	Biaya KDN	TKDN (%)
1	SMKK & Pekerjaan Persiapan	64.025.418,54	60.706.455,06	94,82
2	Pekerjaan Galian Tanah	390.166,40	390.166,40	100,00
3	Pekerjaan Kusen Pintu dan Jendela	50.982.478,13	30.947.816,96	60,70
4	Pekerjaan Atap & Plafon	145.826.981,01	84.948.559,26	58,25
5	Pekerjaan Penutup Lantai & Dinding	39.662.712,06	31.304.290,14	78,93
6	Pengerjaan Pengecatan	35.945.921,29	24.797.816,56	68,99
7	Pekerjaan Penggantung & Pengunci	12.257.699,86	10.585.103,01	86,35
8	Pekerjaan Listrik	15.082.588,67	11.078.802,89	73,45
9	Pekerjaan Instalasi air & Sanitasi	50.700.470,63	37.308.025,73	73,59
	TKDN Proyek	414.874.436,58	292.067.036,01	70,40

Sumber: hasil pengolahan data (2024)

Berdasarkan tabel 3 yang disajikan, dapat dilihat bahwa proyek renovasi rumah dinas KPP di Kabupaten Sikka memiliki komponen yang sebagian besar menggunakan bahan dan jasa lokal, sebagaimana tercermin pada tingkat TKDN (Tingkat Komponen Dalam Negeri) yang cukup tinggi. Proyek ini menunjukkan dominasi komponen dalam negeri dengan rata-rata TKDN sebesar 70,40%, yang berarti lebih dari setengah biaya proyek berasal dari produk dan tenaga kerja lokal. Beberapa item pekerjaan memiliki persentase yang sangat tinggi, seperti pekerjaan

galian tanah yang mencapai 100%, menunjukkan bahwa seluruh biaya pekerjaan berasal dari sumber dalam negeri. hal ini mencerminkan ketergantungan penuh pada material dan jasa lokal untuk pekerjaan ini.

Selain itu, pekerjaan SMKK dan persiapan juga menunjukkan tingkat TKDN yang sangat tinggi, yaitu 94,84%, mengindikasikan bahwa hampir seluruh biaya untuk pekerjaan ini menggunakan komponen lokal. Pekerjaan lainnya seperti pekerjaan penggantung dan pengunci dan penutup lantai dan dinding memiliki tingkat TKDN yang cukup tinggi, masing-masing 86,35% dan 78,93%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar biaya berasal dari produk lokal.

Namun, beberapa pekerjaan tertentu seperti pekerjaan atap dan plafon dan pekerjaan kusen pintu dan jendela menunjukkan persentase TKDN yang lebih rendah, masing-masing 58,25% dan 60,70%. Hal ini menunjukkan ketergantungan pada impor dalam kategori pekerjaan tersebut, meskipun sebagian besar biaya masih berasal dari komponen dalam negeri.

Pekerjaan listrik dan instalasi air dan sanitasi memiliki TKDN yang relatif baik, yakni masing-masing 73,45% dan 73,59%, yang berarti sebagian besar bahan dan tenaga kerja yang digunakan berasal dari dalam negeri, namun masih ada sedikit ketergantungan pada produk impor.

Secara keseluruhan, proyek ini berhasil mencapai 70,40% TKDN, yang menunjukkan bahwa proyek ini cukup komitmen dalam menggunakan komponen dalam negeri. hal ini tentu saja memberikan dampak positif terhadap perekonomian lokal, karena sebagian besar biaya proyek beredar dalam negeri, mendukung industri dan tenaga kerja lokal.

Batas Minimum Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN)

Pemerintah telah menetapkan beberapa peraturan terkait tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN), salah satu melalui keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 602/KPTS/M/2023 [9] mengenai batas minimum nilai TKDN untuk jasa konstruksi. Dalam keputusan tersebut, ditetapkan bahwa proyek konstruksi untuk pembangunan, rehabilitasi, dan renovasi sarana prasarana harus memenuhi batas minimum TKDN sebesar 35%. Pada studi kasus proyek renovasi Rumah Dinas KPP di Kabupaten Sikka, nilai TKDN sebesar 70,40%, yang berarti proyek tersebut telah memenuhi syarat minimum TKDN dan tidak memerlukan evaluasi lebih lanjut atau sanksi finansial. Evaluasi dan sanksi finansial hanya diberlakukan apabila suatu proyek gagal memenuhi batas minimum TKDN yang ditetapkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap proyek Rumah Dinas KPP di Kabupaten Sikka, dapat disimpulkan bahwa proyek ini berhasil memenuhi persyaratan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) yang ditetapkan pemerintah. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 602/KPTS/M/2023 menetapkan batas minimum TKDN sebesar 35% untuk proyek konstruksi pembangunan, rehabilitasi, dan rekonstruksi sarana infrastruktur. Proyek ini berhasil mencapai nilai TKDN sebesar 70,40%, yang tidak hanya memenuhi syarat minimum, tetapi juga memberikan dampak positif yang signifikan terhadap perekonomian setempat. Ini tercermin dari penggunaan bahan dan tenaga kerja dalam negeri yang cukup besar. Meskipun beberapa bagian pekerjaan, seperti atap dan plafon, memiliki TKDN yang lebih rendah, secara keseluruhan proyek ini berhasil meningkatkan penggunaan komponen dalam negeri.

Saran

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka dapat diberi beberapa saran, yaitu:

1. Penelitian lanjutan dapat mengidentifikasi lebih dalam faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan material lokal hingga mencapai persentase signifikan (70,40%). Ini dapat mencakup analisis ketersediaan material lokal, harga kualitas, serta kebijakan pengadaan.
2. Untuk pemerintah Kabupaten Sikka perlu konsisten dalam meningkatkan penggunaan material lokal dalam pembangunan sarana prasarana maupun pembangunan infrastruktur

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perindustrian. (2011). *Peraturan Menteri Perindustrian No. 16 Tahun 2011 tentang Ketentuan dan Tata Cara Penghitungan TKDN*. Jakarta: Kemenperin.

- [2] Nurliyanti, V., Anggono, T., Romandhi, Q., Astrini, N., & Irsyad, M. I. Al. (2022). Survey-based Policies to Integrate Local Lamp Manufacturer Interests and Energy Efficiency in Indonesia. *IEEE Xplore*, 11(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/EPEC56903.2022.10000131>
- [3] Susanti, I. (2016). Evaluasi Kualitas Layanan Jasa Sertifikasi Tingkat Komponen dalam Negeri (TKDN) di PT. Sucofindo (Persero). *Jurnal PASTI*, 10(1), 87–97.
- [4] Badan Pusat Statistik. (2023). *Kontribusi Sektor Konstruksi Terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Nasional*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- [5] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/73586/perpres-no-16-tahun-2018>
- [6] Hidayat, T., Putera, R. E., & Koeswara, H. (2024). Analisis Kebijakan Penerapan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) dalam Pengadaan Barang dan Jasa di Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi : Studi Kasus di Biro Umum dan Pengadaan. *Jurnal Ilmu Administrasi Negara (Asian)*, 12(1), 85–94
- [7] Anindya, J. P., Hafid Aditya Pradesa, Adhika Bergi Nugroho, & Wijayant, R. (2023). Formulasi Strategi Pengembangan Bisnis Vaksin Virus (Studi Kasus di PT. Bio Farma Bandung). *Management Studies and Entrepreneurship Journal*, 4(5), 5324–5337. <https://doi.org/https://doi.org/10.37385/msej.v4i5.2567>
- [8] Laporan Tahunan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Sikka. (2023). *Pemberdayaan Sumber Daya Lokal di Kabupaten Sikka*.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No.602/KPTS/M/2023 tentang Batasan Minimum Nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri Jasa Konstruksi.

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG ASRAMA MAHASISWA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS 6 LANTAI DI PABELAN KABUPATEN SUKOHARJO PROVINSI JAWA TENGAH

*Vitria Pancawati¹, Dian Arumningsih D.P.², Kusdiman Joko P.³

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

*) Email: vitriapancawati2@gmail.com

ABSTRACT

Many students at the Muhammadiyah University of Surakarta come from outside the city and even abroad and need supporting facilities to support learning at the Muhammadiyah University of Surakarta, so it is necessary to have supporting facilities in the form of temporary housing in the form of student dormitories. This plan aims to analyze the load and determine the dimensions and requirements for the reinforcement used. The planning of the Student Dormitory Building is included in Seismic Design Category D. So it is planned using the Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) method based on SNI 2847:2019 utilizing the help of the SAP2000 V.22 program. The roof plate is 100 mm thick with support reinforcement in the x and y directions $\varnothing 10-150$ mm and field reinforcement in the x and y directions $\varnothing 10-200$ mm. The floor plate is 120 mm thick with support reinforcement in the x and y directions $\varnothing 10-140$ mm and field reinforcement in the x and y directions $\varnothing 10-180$ mm. Beam 1 dimension 250x400mm with top support reinforcement 4D16mm, middle 2 $\varnothing 13$, bottom 3D16mm, shear 3 $\varnothing 10-80$ mm and field reinforcement top 3D16mm, middle 2 $\varnothing 13$, bottom 3D16mm, shear 3 $\varnothing 10-100$ mm. 2-dimensional beam 250x350mm with top support reinforcement 4D16mm, middle 2 $\varnothing 13$, bottom 3D16mm, shear 3 $\varnothing 10-70$ mm and field reinforcement top 3D16mm, middle 2 $\varnothing 13$, bottom 3D16mm, shear 3 $\varnothing 10-100$ mm. Column 1 dimensions 500 x500 mm with longitudinal reinforcement 16D16mm and shear reinforcement $\varnothing 10-90$ mm. Column 2 dimensions 450 x 450 mm with longitudinal reinforcement 16D16mm and shear reinforcement $\varnothing 10-90$ mm. 150mm thick shear wall with 2 $\varnothing 16-300$ mm horizontal and vertical reinforcement. Drilled pile foundation with a depth of 8000 mm, pile diameter 800mm with 16D22 shear reinforcement $\varnothing 10-180$ mm, and pile cape dimensions Lx and Ly 4000 mm, thickness 800 mm with reinforcement in the x and y directions D13-100 mm.

Keyword: Planning Student Dormitory, SRPMK, SAP 2000 V.22.

ABSTRAK

Banyaknya mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta yang berasal dari luar kota bahkan luar negeri yang membutuhkan fasilitas pendukung untuk menunjang pembelajaran di Universitas Muhammadiyah Surakarta, maka perlu adanya fasilitas pendukung berupa tempat tinggal sementara berupa asrama mahasiswa. Perencanaan ini bertujuan untuk menganalisis beban dan mengetahui ukuran dimensi serta kebutuhan tulangan yang digunakan. Perencanaan Gedung Asrama Mahasiswa termasuk dalam kategori desain Seismik D, sehingga direncanakan dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 2847:2019 dengan menggunakan bantuan program SAP2000 V.22. Pelat atap tebal 100 mm dengan tulangan tumpuan arah x dan y $\varnothing 10-150$ mm dan tulangan lapangan arah x dan y $\varnothing 10-200$ mm. Pelat lantai tebal 120 mm dengan tulangan tumpuan arah x dan y $\varnothing 10-140$ mm dan tulangan lapangan arah x dan y $\varnothing 10-180$ mm. Balok 1 dimensi 250x400 mm dengan tulangan tumpuan atas 4D16 mm, tengah 2 $\varnothing 13$, bawah 3D16 mm, geser 3 $\varnothing 10-80$ mm dan tulangan lapangan atas 3D16 mm, tengah 2 $\varnothing 13$, bawah 3D16 mm, geser 3 $\varnothing 10-100$ mm. Balok 2 dimensi 250x350 mm dengan tulangan tumpuan atas 4D16 mm, tengah 2 $\varnothing 13$, bawah 3D16 mm, geser 3 $\varnothing 10-70$ mm dan tulangan lapangan atas 3D16 mm, tengah 2 $\varnothing 13$, bawah 3D16 mm, geser 3 $\varnothing 10-100$ mm. Kolom 1 dimensi 500x500 mm dengan tulangan memanjang 16D16 mm dan tulangan geser $\varnothing 10-90$ mm. Kolom 2 dimensi 450x450 mm dengan tulangan memanjang 16D16 mm dan tulangan geser $\varnothing 10-90$ mm. Dinding geser tebal 150 mm dengan tulangan horizontal dan vertikal 2 $\varnothing 16-300$ mm. Pondasi bor pile dengan kedalaman 8000mm diameter tiang 800 mm dengan tulangan 16D22 geser $\varnothing 10-180$ mm dan pilecape dimensi Lx dan Ly 4000 mm, tebal 800 mm dengan tulangan arah x dan y D13-100 mm.

Kata kunci: Perencanaan Asrama Mahasiswa, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, SAP2000 V.22.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Sukoharjo merupakan salah satu kabupaten yang ada di Jawa Tengah dengan luas 466,66 km² yang terbagi dari 12 kecamatan, yakni: Baki, Bendosari, Bulu, Gatak, Grogol, Kartasura, Mojolaban, Nguter, Polokarto, Sukoharjo, Tawang Sari, Weru. Di Sukoharjo memiliki fasilitas pendidikan antara lain 4 Akademi, 2 Institut, 5 Sekolah Tinggi, 1 Politeknik, dan 3 Universitas. Diantara fasilitas pendidikan, di Kartasura memiliki 1 Universitas swasta terbaik nomer satu se-Indonesia, yaitu Universitas Muhammadiyah Surakarta. Kartasura merupakan kecamatan yang berlokasi di jalur penghubung Surakarta, Jogja dan Semarang.

Dengan banyaknya mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta yang berasal dari luar desa Pabelan kecamatan Kartasura dan luar kota bahkan luar negeri banyak yang membutuhkan fasilitas pendukung untuk menunjang Pembelajaran di Universitas Muhammadiyah Surakarta, maka perlu adanya fasilitas pendukung berupa tempat tinggal sementara berupa asrama mahasiswa.

Berdasarkan dari uraian di atas, maka dibutuhkan perancangan fasilitas tempat tinggal sementara yaitu asrama mahasiswa bagi mahasiswa pendatang yang membutuhkan fasilitas pendidikan. Perencanaan asrama mahasiswa ini didirikan di titik bujur 110.770863°, lintang -7.559508° Jl. A. Yani Solo-Yogyakarta, Desa Pabelan Kecamatan Kartasura Kabupaten Sukoharjo.

Untuk memenuhi persyaratan studi pada program strata satu (S-1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta, mahasiswa diminta menyusun laporan akhir dengan judul “Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Asrama Mahasiswa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus 6 Lantai di Pabelan Kabupaten Sukoharjo Provinsi Jawa Tengah”. Dari pembangunan asrama mahasiswa di Pabelan Kartasura Sukoharjo diharapkan dapat memberikan fasilitas pendukung tempat tinggal sementara bagi mahasiswa dalam menempuh Pendidikan di Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang diatas, rumusan permasalahan yang diambil adalah :

1. Bagaimana menganalisis beban mati, beban hidup dan beban gempa yang terjadi pada struktur Gedung Asrama Mahasiswa Sistem rangka Pemikul Momen Khusus 6 lantai di Pabelan Kabupaten Sukoharjo Provinsi Jawa Tengah?
2. Berapakah ukuran dimensi struktur yang dibutuhkan agar mampu memikul beban-beban tersebut?
3. Berapakah jumlah tulangan yang diperlukan agar mampu memikul beban yang bekerja?

Adapun batasan masalah pada perencanaan struktur bangunan gedung asrama Mahasiswa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus 6 lantai di Pabelan Kabupaten Sukoharjo Provinsi Jawa Tengah yaitu sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur yang dibahas adalah struktur gedung asrama mahasiswa 6 lantai yang berada di Pabelan Kecamatan Kartasura Kabupaten Sukoharjo
2. Sistem Rangka untuk struktur bangunan gedung asrama mahasiswa 6 lantai ini adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
3. Peraturan - peraturan yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:
 - a. Perhitungan struktur menggunakan SNI 1727:2020 Tentang Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
 - b. Perhitungan struktur menggunakan SNI 2847:2019 Tentang Persyaratan Beton Struktur Untuk Bangunan Gedung.
 - c. Perhitungan beban gempa menggunakan SNI 1726:2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur bangunan Gedung dan Non Gedung
4. Perhitungan struktur penelitian ini menggunakan bantuan program aplikasi komputer yaitu SAP2000 v.22
5. Perhitungan pembebanan dengan beban terfaktor yang meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake*).
6. Perencanaan desain struktur meliputi: Struktur atas yang terdiri dari Kolom, Balok, Pelat lantai, Pelat atap serta Dinding Geser dan Struktur bawah yang meliputi Pondasi

Tujuan dari perencanaan struktur gedung asrama mahasiswa 6 lantai ini adalah:

1. Dapat menentukan Sistem Rangka yang tepat untuk asrama mahasiswa dalam menerima beban mati, beban hidup, dan beban gempa pada wilayah kota Surakarta.
2. Dapat mendesain ukuran pelat, balok, sloof, kolom, dinding geser dan pondasi yang diperlukan memikul beban yang bekerja.
3. Dapat menentukan jumlah tulangan yang diperlukan pada pelat, balok, sloof, kolom, dinding geser dan pondasi agar bisa bangunan kokoh dan tahan terhadap gempa

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Asrama mahasiswa merupakan tempat penginapan yang dapat disewa oleh mahasiswa dalam jarak waktu yang disetujui oleh pemilik dan calon sewa atau mahasiswa. Karena asrama mahasiswa biasanya disewa oleh mahasiswa sebagai tempat tinggal sementara selama belajar dalam waktu sewa 1 hari, 1 bulan bahkan 1 tahun atau lebih. Asrama mahasiswa berfungsi sebagai rumah sementara, tempat belajar, dan tempat beristirahat. Selain itu, berdasarkan penelitian mengenai lingkungan asrama mahasiswa, asrama mahasiswa mempunyai peran penting dalam memotivasi belajar mahasiswa berdasarkan fasilitas dan lingkungan yang dimiliki asrama mahasiswa.

Sistem Rangka Pemikul Momen

Berdasarkan SNI 1726:2019 [1] pasal 3.50.4 sistem struktur rangka elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme yang dibagi menjadi 3, yaitu: Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah suatu sistem struktur yang didesain dan diberi

detailing yang cukup guna menahan beban gempa bumi. Komponen Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) terdiri dari komponen lentur (Balok), komponen pemikul lentur dan gaya aksial (Kolom), serta hubungan balok-kolom (HBK) [2].

Elemen Struktur

Pada suatu struktur beton bertulang dikenal beberapa jenis elemen yang sering digunakan [2] yaitu:

1. Pelat Lantai
Pelat lantai adalah suatu elemen horizontal utama yang berfungsi untuk menyalurkan beban hidup, baik yang bergerak maupun statis ke elemen pemikul beban vertikal, yaitu balok, kolom, maupun dinding.
2. Balok
Balok adalah elemen horizontal ataupun miring yang panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas. Balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat. Pada umumnya balok dicetak secara monolit dengan pelat lantai, sehingga akan membentuk balok penampang T pada balok interior dan balok penampang L pada balok tepi.
3. Kolom
Kolom merupakan elemen penting yang memikul beban dari balok dan pelat. Kolom dapat memikul beban aksial saja, namun lebih sering kolom direncanakan sebagai pemikul beban kombinasi aksial dan lentur. Selain beban gravitasi, kolom juga dapat direncanakan sebagai pemikul beban lateral yang berasal dari beban gempa atau beban angin.
4. Dinding Geser atau *Shearwall*
Dinding merupakan elemen pelat vertikal yang dapat memikul beban gravitasi maupun beban lateral seperti dinding pada lantai *basement*, atau dapat pula direncanakan memikul beban lateral gempa bumi yang sering dikenal dengan sebutan dinding geser (*Shear wall*).

Pondasi

Pondasi dalam istilah ilmu Teknik Sipil dapat didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah. Elemen pondasi adalah elemen transisi antara tanah atau batuan dengan struktur atas (*upper-structure*) [3]. Dalam pemilihan jenis pondasi pada dasarnya tergantung pada letak kedalaman dari tanah keras. Pada umumnya jenis pondasi dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu pondasi dangkal (yang memiliki dasar pondasi pada kedalaman maksimal 2 m dari muka tanah asli) serta pondasi dalam (yang memiliki kedalaman tanah keras dari 2 meter) [4].

SAP2000 V.22

SAP2000 V.22 merupakan salah satu program analisis struktur yang lengkap dan akurat. Prinsip utama penggunaan program ini adalah pemodelan struktur, eksekusi analisis, dan pemeriksaan optimasi desain, yang semuanya dilakukan dalam satu langkah atau satu tampilan. Tampilan berupa model secara real time sehingga memudahkan penggunaan untuk melakukan pemodelan secara menyeluruh dalam waktu singkat dan hasil yang tepat [5].

Pembebanan

Jenis beban yang akan dipakai dalam perencanaan struktur bangunan antara lain :

1. Beban Mati (*Dead Load*)
Beban mati adalah beban yang berasal dari material yang digunakan pada struktur dan beban mati tambahan yang bekerja pada struktur. Pada perhitungan struktur menggunakan bantuan *Software* SAP 2000 yang mana berat mati dari material dihitung secara otomatis berdasarkan *input* data material dan dimensi material yang digunakan [5].
2. Beban Hidup (LL)
Didalam peraturan pembebanan telah ditetapkan bahwa fungsi suatu ruangan di dalam gedung akan membuat beban yang berbeda, misalnya beban untuk asrama mahasiswa tentu berbeda dengan beban gedung lainnya [6].
3. Beban gempa (E)
Tata cara menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2% [1].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Perencanaan

Perencanaan berlokasi di Jl. A. Yani Solo-Yogyakarta-Semarang Desa Pabelan Kecamatan Kartasura Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah. Dengan titik koordinat lintang -7.559508° dan bujur 110.770863°

Data Struktur Bangunan

Data teknis struktur bangunan gedung asrama mahasiswa sistem rangka pemikul momen khusus 6 lantai di Pabelan Kabupaten Sukoharjo Provinsi Jawa Tengah diuraikan sebagai berikut ini:

- Jumlah Tingkat : 6 Lantai
- Kategori gedung : Rumah Tinggal Sementara/ Asrama mahasiswa
- Panjang Bangunan : 30 m
- Lebar bangunan : 17 m
- Mutu Bahan f'_c : 35 MPa
Fy : 400 MPa
- Kolom I : 50 x 50 cm
- Kolom II : 45 x 45 cm
- Balok Induk I : 25 x 40 cm
- Balok Induk II : 25 x 35 cm
- Shearwall : 15 cm
- Tebal plat atap : 10 cm
- Tebal Plat Lantai : 12 cm

Metode Perencanaan dan Alur Perencanaan

Metode dan alur perencanaan struktur bangunan gedung asrama mahasiswa sistem rangka pemikul momen khusus 6 lantai di Pabelan Kabupaten Sukoharjo Provinsi Jawa Tengah diuraikan sebagai berikut ini:

- a. Mengumpulkan Data
- b. Pendesain Bentuk bangunan
- c. Pendesainan struktur
- d. Pemodelan struktur
- e. Analisis Struktur
- f. Desain Tulangan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Beban Tetap

Analisis beban tetap pada penelitian ini terdiri dari beban mati dan beban hidup, hasil perhitungannya sebagai berikut:

1. Beban Mati
 - a. Pelat Lantai = 2,3 kN/m²
 - b. Pelat Atap = 0,58kN/m²
 - c. Dinding = 8,75kN/m²
2. Beban Hidup
 - a. Pelat Lantai 1-3 = 4,79 kN/m²
 - b. Pelat Lantai 4-6 = 4,79 kN/m²
 - c. Pelat Atap = 0,10 kN/m²

Pemodelan Struktur

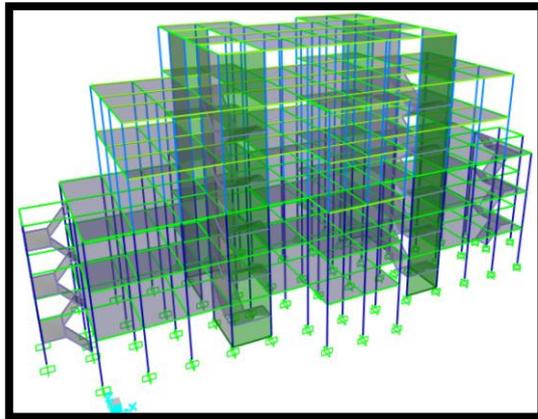
Pemodelan struktur menggunakan program SAP2000V.22 dan dianalisa secara 3 dimensi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Input Beban Tetap

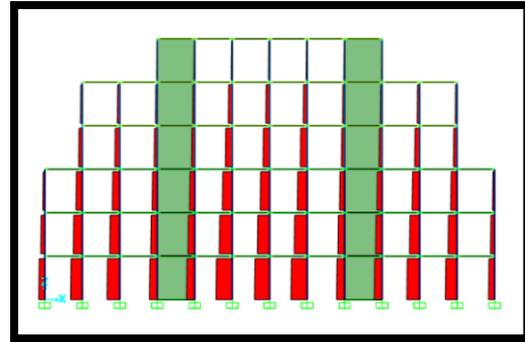
Beban Tetap diberikan pada struktur balok yaitu berupa beban mati dinding dan pelat lantai atau pelat atap yang diberi beban mati dan beban hidup.

Analisis Model Beban Mati

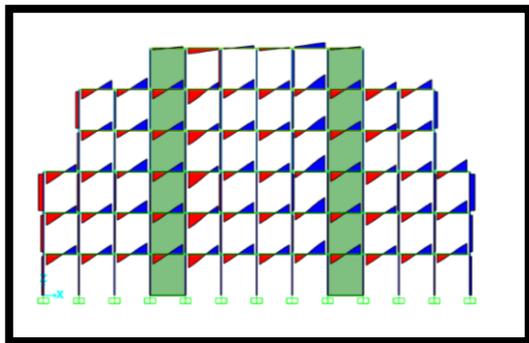
Perhitungan model dengan program SAP2000V.22 dianalisa secara 3 dimensi. Hasil perhitungannya berupa bidang normal/aksial beban mati, bidang Q beban mati, dan bidang momen beban mati, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



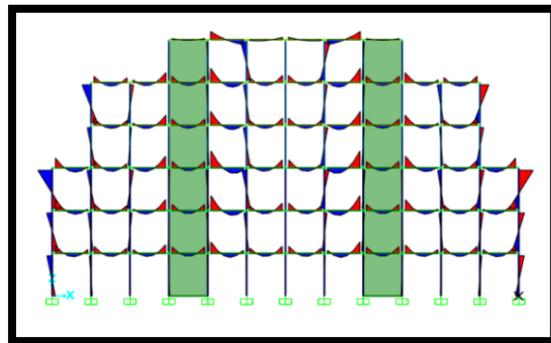
Gambar 1. Pemodelan Tiga Dimensi



Gambar 2. Bidang Normal/ Aksial Beban Mati



Gambar 3. Bidang Q Beban Mati

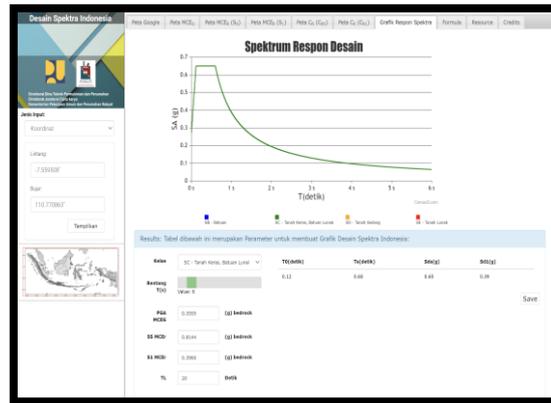


Gambar 4. Bidang Momen Beban Mati

Parameter Beban Gempa

Parameter beban gempa diuraikan sebagai berikut:

1. Menentukan faktor Keutamaan Gempa
Menurut SNI 1726:2019 [1] Pasal 4.1 Tabel 3 perencanaan struktur bangunan gedung asrama mahasiswa ini termasuk dalam jenis pemanfaatan rumah tinggal dengan kategori resiko II. Pada SNI 1726:2019 tabel 4 kategori resiko II untuk faktor keutamaan gempa adalah 1.
2. Menentukan Klasifikasi Situs
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 5.3 tabel 5 Klasifikasi tanah, nilai N lebih dari 50 maka termasuk dalam kategori kelas situs **SC Tanah Keras**
3. Menentukan Parameter Percepatan Gempa
Dalam menentukan periode pendek 0.2 detik (S_s) dan periode 1 detik (S_1) dengan menggunakan peta gempa, yang dapat dilihat di <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> [7]. Grafik dan nilai S_{ds} dan S_{d1} seperti Gambar 5 didapat nilai S_{ds} 0.65 dan S_{d1} 0.39.



Gambar 5. Parameter Percepatan gempa di Lokasi Perencanaan

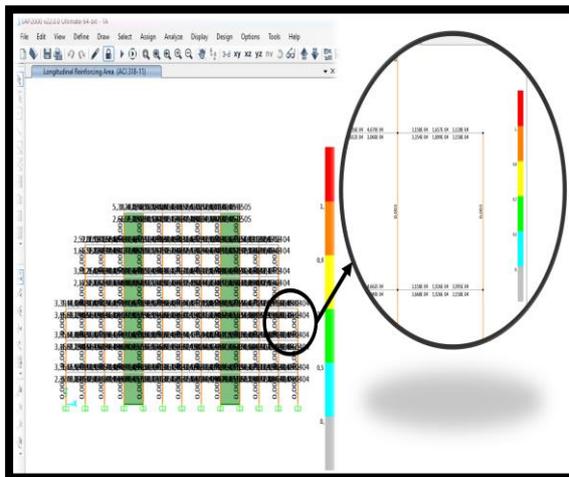
4. Menentukan Kategori Desain Seismik
Perencanaan struktur bangunan gedung asrama mahasiswa ini merupakan kategori desain seismik D dan termasuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.
5. Menentukan Sistem Struktur dan Parameter Struktur
Perencanaan ini menggunakan dinding geser/ *Shear Wall* maka nilai R , Ω_0 , Ω_d pada dinding geser beton bertulang khusus yaitu sebesar Koefisien modifikasi respon $R=7$, Faktor kuat lebih sistem $\Omega_0 = 2\frac{1}{2}$, Faktor pembesaran defleksi $C_d = 5\frac{1}{2}$

Input Beban Sementara

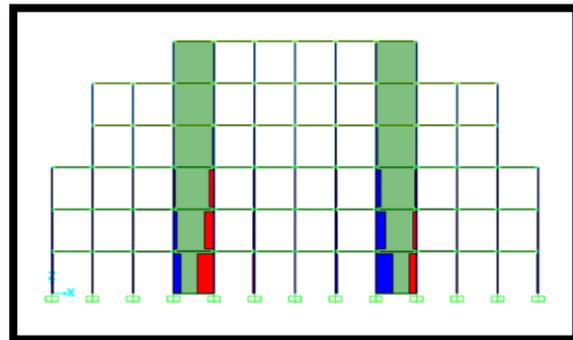
Beban Sementara diberikan pada struktur berupa gempa statis dan dinamis

Analisis Model Beban Sementara

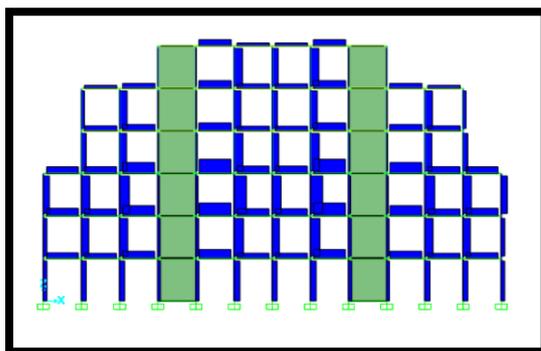
Perhitungan model dengan program SAP2000V.22 dianalisa secara 3 dimensi



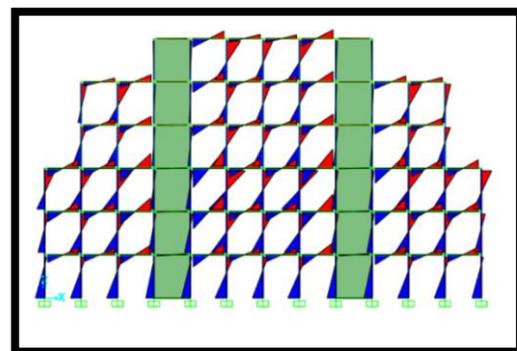
Gambar 6. Check of structure



Gambar 7. Bidang Normal/Aksial statis



Gambar 8. Bidang Q Statis



Gambar 9. Bidang M Statis

Kontrol Analisa Gempa

Kontrol hasil analisa gempa diuraikan sebagai berikut:

1. Menghitung waktu getar struktur

Kontrol batas waktu getar

$$T_c = 0.4832 \text{ detik}$$

$$T_a = 0,7217 \text{ detik}$$

$$T_{maks} = 0,4832 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas dimana $T_c < T_a$. $C_u < T_{maks}$, maka T yang digunakan adalah

$$T = 0.7217 \text{ detik}$$

2. Menentukan *Koefisien Respon Seismik*

Nilai C_s tidak kurang dari C_s

$$C_s = 0.044 \times SDS \times I \geq 0.01$$

$$C_s = 0.044 \times 0.65 \times 1 \geq 0.01$$

$$C_s = 0.0287 \geq 0.01 \rightarrow (\text{OK})$$

3. Perhitungan Gaya Geser Dasar

a. Tinjauan arah X

$$V_D > 0.85 V_D$$

$$374261,78 > 161873 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

b. Tinjauan arah Y

$$V_D > 0.85 V_D$$

$$376310,37 > 161873 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

4. Kontrol Partisipasi *Massa*

Hasil perhitungan Selisih Periode (ΔT) Setiap mode ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Selisih Periode (ΔT) Setiap mode

Mode	Period (T)	ΔT
1.	0,483223	16,16
2.	0,405158	14,97
3.	0,344518	57,88
4.	0,14512	10,04
5.	0,130551	4,42
6.	0,124781	17,01
7.	0,103557	20,92
8.	0,081893	9,25
9.	0,074318	16,16
10.	0,06231	24,93
11.	0,046778	27,15
12.	0,034077	3,41

5. Kontrol Kinerja Batas Struktur

Hasil kontrol kinerja batas struktur akibat beban gempa dinamis respon spektrum arah X ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan arah Y ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Dinamis Respon Spektrum Arah X

Lantai	Δx (mm)	Δs (ijin) (mm)	Keterangan
Atap	8,012	54	AMAN
6.	8,513	54	AMAN
5.	8,688	54	AMAN
4.	7,881	54	AMAN
3.	6,570	54	AMAN
2.	3,499	54	AMAN
1.	0,000	54	AMAN

Tabel 3. Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Dinamis Respon Spektrum Arah Y

Lantai	Δx (mm)	Δs (ijin) (mm)	Keterangan
Atap	5,155	54	AMAN
6.	5,610	54	AMAN

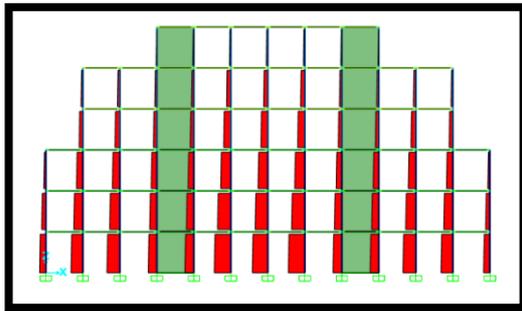
5.	5,888	54	AMAN
4.	5,565	54	AMAN
3.	4,626	54	AMAN
2.	2,502	54	AMAN
1.	0,000	54	AMAN

Kombinasi Beban

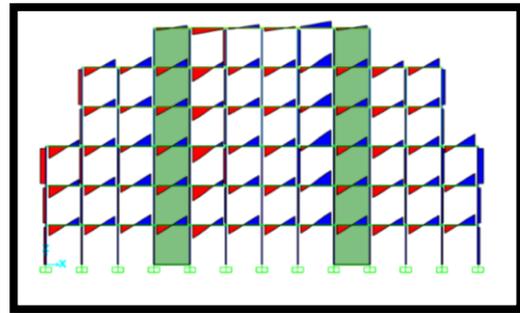
Kombinasi beban yang digunakan dalam perencanaan ini yaitu kombinasi beban struktur yang terdiri dari 10 kombinasi (SNI 1727:2020 [8]) dan 2 kombinasi beban yang digunakan pada pondasi.

Input Kombinasi beban

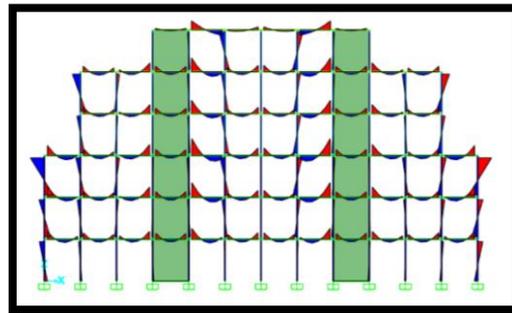
Beban Kombinasi diberikan pada struktur yang berdiri dari 12 kombinasi, yang terdiri dari 10 kombinasi struktur dan 2 kombinasi untuk pondasi



Gambar 10. Bidang Normal/Aksial Beban Kombinasi



Gambar 11. Bidang Q Beban Kombinasi



Gambar 12. Bidang M Beban Kombinasi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Asrama Mahasiswa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus 6 Lantai Di Pabelan, Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah yang telah dilakukan dalam penyusunan penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan :

- a. Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Asrama Mahasiswa ini termasuk dalam Kategori Desain Seismik D. Sehingga dapat direncanakan dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 2847:2019 dengan menggunakan bantuan program SAP2000 V.22, Dimana bangunan ini menggunakan dinding geser beton bertulang khusus dengan nilai koefisien modifikasi $R=7$ dan faktor pembesaran defleksi $C_d=5,5$
- b. Dari keseluruhan pembahasan, diperoleh hasil Struktur Atas sebagai berikut :
 - 1). Lantai 6 terdiri dari struktur Pelat Atap dengan Tebal 10cm dan kebutuhan tulangan sebagai berikut :
 - Tulangan tumpuan arah X = ϕ 10-150 mm
 - Tulangan tumpuan arah Y = ϕ 10-150 mm
 - Tulangan lapangan arah X = ϕ 10-200 mm
 - Tulangan lapangan arah Y = ϕ 10-200 mm
 - 2). Lantai 4-5 terdiri dari struktur :
 - a). Pelat Lantai dengan tebal 12cm dan kebutuhan tulang sebagai berikut:
 - Tulangan tumpuan arah X= ϕ 10-140mm
 - Tulangan tumpuan arah Y= ϕ 10-140mm

- Tulangan lapangan arah $X=\phi 10-180\text{mm}$
- Tulangan lapangan arah $Y=\phi 10-180\text{mm}$
- b). Balok Balok 2 dengan ukuran 250x350 dan kebutuhan tulang sebagai berikut :
 - Tulangan Atas Tumpuan 4D16
 - Tulangan Atas Lapangan 3D16
 - Tulangan Tengah Tumpuan 2D13
 - Tulangan Tengah Lapangan 2D13
 - Tulangan Bawah Tumpuan 3D16
 - Tulangan Bawah Lapangan 3D16
 - Tulangan Geser Tumpuan $\phi 10-70$
 - Tulangan Geser Lapangan $\phi 10-100$
- c). Kolom 2 dengan ukuran 45cmx45cm dan membutuhkan tulangan memanjang dengan 16D16 dengan tulangan Geser $\phi 10-90$
- d). Dinding Geser yang direncanakan dengan tebal 15cm dengan kebutuhan tulangan vertical dan horizontal dinding geser 2 $\phi 16 - 300\text{ mm}$
- 3). Lantai 1-3 terdiri dari struktur :
 - a). Pelat Lantai dengan tebal 12cm dan kebutuhan tulang sebagai berikut:
 - Tulangan tumpuan arah $X=\phi 10-140\text{mm}$
 - Tulangan tumpuan arah $Y=\phi 10-140\text{ mm}$
 - Tulangan lapangan arah $X=\phi 10-180\text{ mm}$
 - Tulangan lapangan arah $Y=\phi 10-180\text{mm}$
 - b). Balok 1 (250x400)
 - Tulangan Atas Tumpuan 4D16
 - Tulangan Atas Lapangan 3D16
 - Tulangan Tengah Tumpuan 2D13
 - Tulangan Tengah Lapangan 2D13
 - Tulangan Bawah Tumpuan 3D16
 - Tulangan Bawah Lapangan 3D16
 - Tulangan Geser Tumpuan 2 $\phi 10-80$
 - Tulangan Geser Lapangan 2 $\phi 10-100$
 - c). Kolom 2 dengan ukuran 50cmx50cm dan membutuhkan tulangan memanjang 16D16 dengan tulangan Geser $\phi 10-90$
 - d). Dinding Geser yang direncanakan dengan tebal 15cm dengan kebutuhan tulangan vertical dan horizontal dinding geser 2 $\phi 16 - 400\text{ mm}$
- c. Struktur bawah yaitu pondasi yang direncanakan menggunakan pondasi bor yang membutuhkan 4 buah tiang bor berdiameter 80cm dengan kedalaman 8m dan kebutuhan tulangan sebagai berikut :
 - Tulangan Utama Tiang *Bored Pile* 16D22
 - Tulangan sengkang Tiang *Bored Pile* $\phi 10 - 180\text{ mm}$
 - Dimensi Pilecap Lx 4000mm Tebal Pilecap 800mm
 - Dimensi Pilecap Ly 4000mm Tebal Pilecap 800mm
 - Penulangan Arah $x=\phi 13-100$
 - Penulangan Arah $y=\phi 13-100$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. N. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019 .
- [2] A. Setiawan, Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2013, Jakarta : Erlangga, 2016.
- [3] R. Evendy, (Tugas Akhir) Perencanaan Struktur Bangunan Rusunawa lima (5) lantai dan Rencana Anggaran Biaya di karanganyar, Surakarta: Universitas Tunas Pembangunan Surakarta, 2023.
- [4] I. Imran and F. Hendrik, Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang, Bandung: ITB Press, 2016.
- [5] B. Ismail, Modul Pelatihan SAP 2000 Versi 20, 2018.
- [6] A. Pamungkas and E. Harianti, Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa, Jakarta: Andi, 2018.
- [7] K. P. "Desain Spektra Indonesia," Direktorat Bina Teknik Pemukiman dan perumahan. Direktorat Jendral Cipta Karya. Kementerian PUPR., 2024. [Online]. Available: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. [Accessed 2024].

- [8] B. S. N. SNI 1727:2020 Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lainnya, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [9] Y. H. Andrianto, (Tugas Akhir) Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Brayat Minulya 14 (Empat Belas) lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus DI Jalan DR. Setiabudii 106 Kota Surakarta, Surakarta: Universitas Tunas Pembangunan Surakarta, 2021.
- [10] J. C. McCormac, Desain beton bertulang Edisi Kelima Jilid 2, Jakarta: Erlangga, 2004.
- [11] S. Mahadik and S. Bhagat, "Earthquake Resisting Elements and Technique in High Rise Buildings," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, pp. 2928-2932, 2020.
- [12] B. S. N. SNI 1727:2020 Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lainnya, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2020.
- [13] B. S. N. SNI 2052:2017 Baja tulangan Beton, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2017.

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG MONUMEN DAN MUSEUM REOG PONOROGO MENGGUNAKAN KOLOM BULAT

*Ramadhani Nida Rahmatu¹, Aulia Rahman², Anisah Nur Fajarwati³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

*) Email: rahmaturnida@gmail.com

ABSTRACT

High-rise buildings with a statue Reog Ponorogo weighing 1800 tons above the buildings are particularly susceptible to earthquake that threaten the lives of the building's residents or users. Therefore, to plan that multi-story building, the structure must be designed well and correctly so that failure does not occur an earthquake. This modification includes beams, plates, stairs, and column. With the change of the shape of the square column to a circle column. To maximize the function of the space and usability of the building, floor slabs were added on the 4th and 8th - 12th floors. The calculations for reinforced concrete structure use SNI 2847:2019 and load system use SNI 1727:2020. This building is redesign using a method of Special Momen Bearing Frame System (SRPMK) to obtain a high-rise structure that is strong and safe. Structural statics analysis using the Autodesk Robot Structural Analysis Student Version 2021 software. The calculation result are obtained as follows: Beams 350/700 obtained 8D29 tensile reinforcement, 4D29 compression reinforcement, D19-100 bearing transverse reinforcement, and D19-200 field transverse reinforcement. Beams 250/300 obtained 5D22 tensile reinforcement, 3D22 compression reinforcement, D13-50 bearing transverse reinforcement, and D13-100 field transverse reinforcement. Floor slabs are 120 mm thick, reinforcement in the X direction is D13-150, the Y direction is D13-150 and dividing reinforcement is D13-300. Stair slabs 130 mm thick with D16-100 reinforcement. Column diameter 1000 mm with main reinforcement 18D22, bearing transverse reinforcement D16-100, and field transverse reinforcement D16-100. A bored pile foundation with a diameter of 1000 mm is used with a single pile carrying capacity of 8,313kN. Pile cap reinforcement is produced as much as D22 – 60.

Keyword: SRPMK, bottom structure, upper structure, circle column, high rise building

ABSTRAK

Bangunan tinggi dengan patung Reog seberat 1800 ton di atas gedung sangat riskan terhadap gempa bumi yang mengancam jiwa pengguna gedung. Oleh karena itu, untuk merencanakan bangunan bertingkat tersebut, struktur harus didesain dengan baik dan benar agar tidak terjadi kegagalan saat terjadi gempa. Modifikasi ini meliputi balok, pelat, tangga, dan kolom. Dengan perubahan bentuk kolom persegi menjadi kolom lingkaran. Untuk memaksimalkan fungsi ruang serta kegunaan gedung dilakukan penambahan pelat lantai di lantai 4 dan 8 – 12. Perhitungan struktur beton bertulang menggunakan peraturan SNI 2847:2019 dan pembebanan menggunakan peraturan SNI 1727:2020. Metode yang digunakan dalam modifikasi ini adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk mendapatkan struktur bangunan bertingkat tinggi yang kuat dan aman. Analisis statika struktur menggunakan perangkat lunak Autodesk Robot Structural Analysis (RSAP) Student Version 2021. Diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut: Balok 350/700 dengan tulangan longitudinal tarik 8 D29, tulangan tekan 4 D29, tulangan transversal tumpuan D19-100, dan tulangan transversal lapangan D19-200. Balok anak 250/300 dengan tulangan longitudinal tarik 5 D22, tulangan tekan 3 D22, tulangan transversal tumpuan D13-50, dan tulangan transversal lapangan D13-100. Pelat lantai tebal 120 mm, tulangan arah X D13-150, arah Y sebesar D13-150 dan tulangan bagi D13-300. Pelat tangga tebal 130 mm dengan tulangan D16-100. Kolom diameter 1000 mm dengan tulangan utama 18D22, tulangan transversal tumpuan D16-100, dan tulangan transversal lapangan D16-100. Digunakan pondasi *bored pile* dengan diameter 1000 mm dengan daya dukung tiang tunggal dihasilkan 8.313kN. Tulangan *pile cap* dihasilkan sebesar D22 – 60.

Kata kunci: SRPMK, struktur bawah, struktur atas, kolom bulat, bangunan tingkat tinggi

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Ponorogo adalah salah satu wilayah yang dikenal sebagai kota budaya di Indonesia dengan julukan 'Bumi Reog' karena menjadi asal muasal dari kesenian Reog [1]. Julukan tersebut menjadi ciri khas dari Kabupaten Ponorogo. Agar tidak kehilangan identitas dan upaya untuk terus melestarikan budaya yang telah ada, maka untuk mewujudkan tujuan tersebut dibangunlah Monumen dan Museum Reog Ponorogo. Gedung ini terletak di Pegunungan Kapur Putih, Desa Sampung, Kecamatan Sampung, Kabupaten Ponorogo.

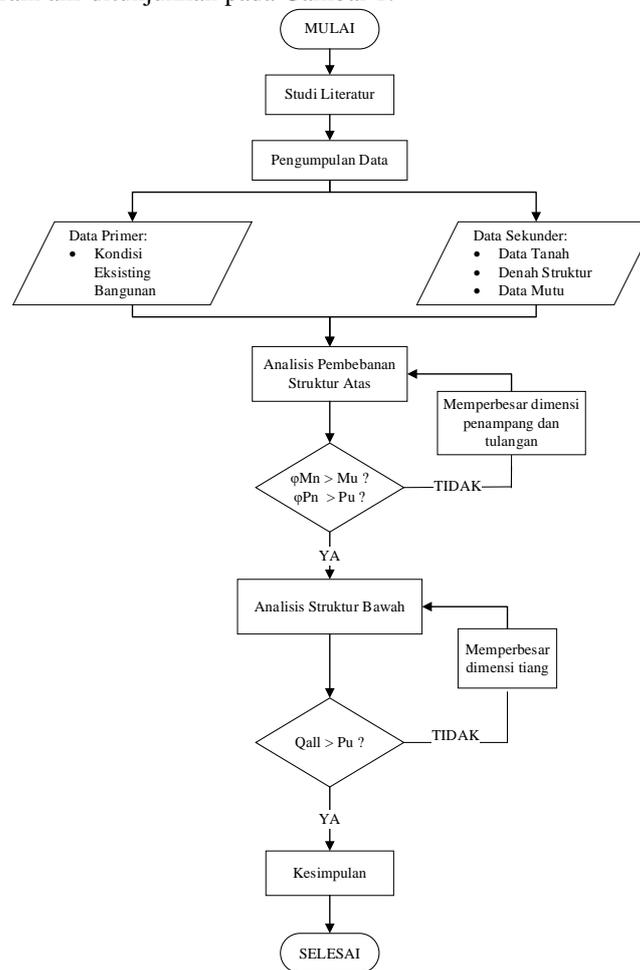
Di sisi lain, Kabupaten Ponorogo dikategorikan sebagai zona menengah untuk kawasan rawan bencana gempa bumi dengan skala intensitas antara VII-VIII MMI (*Modified Mercally Intensity*) berdasar portal Mitigasi Bencana Geologi Indonesia. Beban gravitasi yang besar dari patung yang terletak di atas lantai 14 dapat mempengaruhi stabilitas bangunan dan meningkatkan risiko gempa bumi. Oleh karena itu, perencanaan struktur bangunan harus mempertimbangkan beban gravitasi dan beban gempa secara bersamaan.

Dalam rangka menjamin kekuatan struktur dan memaksimalkan fungsi ruang serta kegunaan Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo perlu dilakukan evaluasi elemen struktur untuk efektifitas kegunaan bangunan gedung yang lebih optimal sesuai peraturan yang berlaku [2]-[5]. Maka dari itu, perlu dilakukan modifikasi

struktur atas gedung dengan menambahkan pelat pada lantai 4 dan 8 – 12 yang sebelumnya tidak ada. Selain itu, modifikasi juga dilakukan pada kolom yang semula berbentuk kotak, menjadi lingkaran. Kolom bulat memiliki performa yang lebih baik dalam menahan beban seismik, dibanding bentuk kotak maupun belah ketupat, dengan perbandingan kekuatan yang sama [6]. Menurut Japan Society of Civil Engineering (JSCE), kapasitas kolom bulat bisa ditentukan dengan mengonversinya menjadi luasan segiempat ekuivalen. [7] Namun, ketika dibandingkan lebih akurat, kolom lingkaran menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam menjaga agar defleksi struktur tetap dalam rentang yang diijinkan. [8] Sehingga, semua kolom dalam gedung Museum Reog Ponorogo dirubah menjadi lingkaran dengan luasan yang dipertimbangkan sesuai *preliminary design* yang akan dibahas selanjutnya.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam modifikasi struktur Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo adalah metode kuantitatif dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Diagram alir penelitian modifikasi Struktur Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo dimulai dengan studi literatur dahulu untuk mencari state of the art penelitian. Kemudian dilakukan pengumpulan data lalu analisis struktur. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan. Dengan diagram alir ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Disain

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preliminary Design Struktur

1. Dimensi balok induk (B1)

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi B1} &= \frac{1}{21} \\
 &= \frac{1}{21} \times 5000 \\
 &= \frac{5000}{21} \\
 &= 238.095 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar B1} &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{300}{2} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Dimensi balok anak (BA)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi B1} &= \frac{l}{18,5} \\ &= \frac{5000}{18,5} \\ &= 270,27 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar B1} &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{300}{2} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Dimensi pelat

$$\begin{aligned} h \text{ min} &= \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{4700 \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9,1} \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi digunakan pelat lantai dengan ketebalan 120 mm.

4. Dimensi kolom

Beban yang diterima kolom

Beban mati

$$\begin{aligned} \text{Pelat} &= 0,12 \times 5 \times 5 \times 24 \times 14 \\ &= 1008 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok (B1)} &= 0,3 \times 0,5 \times 10 \times 24 \times 14 \\ &= 504 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom} &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times 5 \times 24 \times 14 \\ &= 1318 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total} &= 1008 + 504 + 1318 \\ &= 2830 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{Perkantoran} &= 5 \times 5 \times 4,79 \times 14 \\ &= 1.676,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (2830) + 1,6 (1.676,5) \\ &= 6079,36 \text{ kN} \\ &= 6.079.360 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimensi kolom

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{P_u}{0,3 \times f_c'} \\ &= \frac{6.079.360}{0,3 \times 30} \\ &= 675.484,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

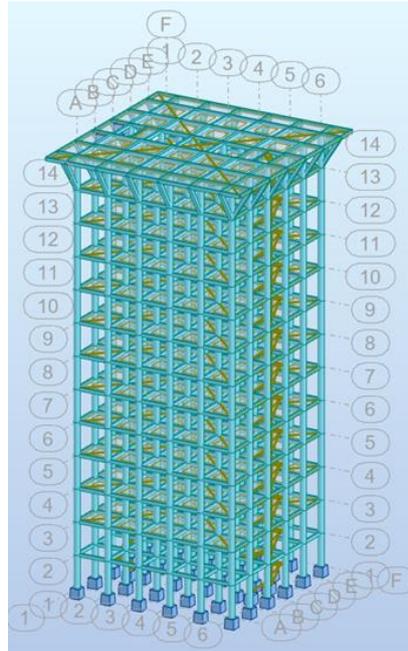
Dari luas kotor tersebut dapat dihitung dimensi kolom

$$\begin{aligned} A_g &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ 675.484,44 &= 0,25 \times 3,14 \times d^2 \\ 860.489,73 &= d^2 \\ d &= 927,62 \approx 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi dimensi kolom yang digunakan adalah diameter 1000 mm.

Pemodelan Dan Pembebanan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan *software* Robot Structure Analysis. Pemodelan yang sudah dilakukan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo

Pembebanan struktur menggunakan SNI 1727:2020 tentang Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung. Beban-beban yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut:

1. Beban mati

Beban mati ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 1. Beban Mati Struktur

Jenis Beban Mati	Komponen Gedung	Tebal/Tinggi (m)	Berat Jenis (kg/m^3)	Beban Mati (kN/m^2)
DL1	Semua elemen struktur			Didapat dari aplikasi
DL2 (Beban Lantai)	Keramik + Mortar			0.2
	Saluran Mekanikal			0.05
	Rangka plafon			0.1
	Plafon	12	0.008	0.096
	Total			0.446
DL2 (Beban Atap Dak)	Berat spesi			0.22
	Lapisan Waterproof			0.002
	Saluran Mekanikal			0.2
	Sistem sprinkler			0.3
	Rangka plafon			0.1
	Plafon	12	0.008	0.096
	Total			0.918

2. Beban hidup

Beban Hidup ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 2. Beban Hidup Struktur

Hunian atau Penggunaan	Merata (kN/m^2)	Izin Reduksi
Ruang Kantor	2,4	Ya
Tempat Rekreasi (Museum)	3,59	Tidak
Hotel	4,79	Tidak
Tangga	4,79	Ya

3. Beban angin

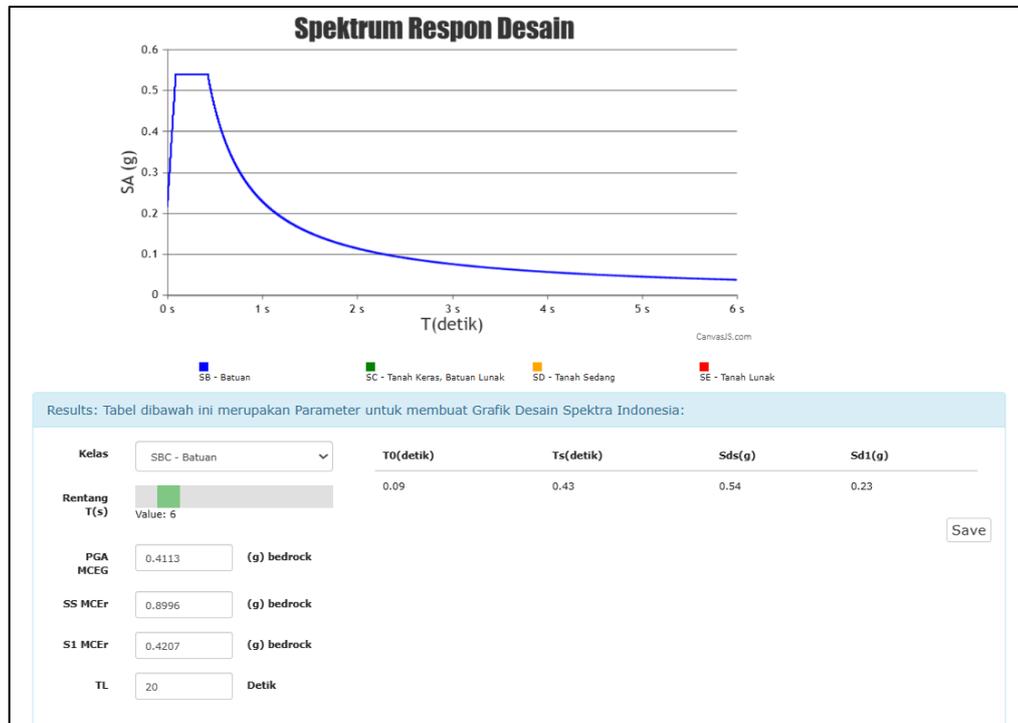
Beban angin dapat dihitung secara otomatis oleh *software* Robot Structure Analysis versi 2021 dengan menginput data kecepatan angin dasar dan arah datangnya angin.

4. Beban air hujan

$$\begin{aligned}
 R &= 0,0098 (d_s + d_h) \\
 &= 0,0098 (30+20) \\
 &= 0,49 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

5. Beban gempa

Beban gempa juga dapat dihitung secara otomatis oleh *software* Robot Structure Analysis versi 2021 dengan memasukan data parameter gempa bumi. Parameter gempa untuk Kabupaten Ponorogo bisa dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Nilai Parameter Gempa Kabupaten Ponorogo

Pengecekan Struktur

1. Evaluasi jumlah ragam

Berdasarkan software Robot Structure Analysis 2021 jumlah ragam sudah melebihi 90% jadi sudah memenuhi syarat. Evaluasi jumlah ragam mengacu seberapa besar massa dari seluruh struktur yang berkontribusi terhadap respons gempa.

2. Evaluasi simpangan antar tingkat

Simpangan izin:

$$\begin{aligned}
 \Delta_a &= 0,010 \times h_{sx} \\
 &= 0,010 \times 5000 \\
 &= 50 \text{ mm} \\
 &= 50 / (\rho = 1,3) \\
 &= 38,46
 \end{aligned}$$

Nilai Balok B1 dibesarkan (350 x 700)

Tabel 3. Simpangan Antar Tingkat

Lantai	Tinggi (mm)	Perpindahan (mm)		Perpindahan elastik (mm)		Story Drift (mm)		Cek Simpangan > Simpangan izin	
		x	y	x	y	x	y	x	y
13	5000	169	167	338	334	14	14	OK	OK
12	5000	162	160	324	320	18	18	OK	OK
11	5000	153	151	306	302	22	22	OK	OK
10	5000	142	140	284	280	26	26	OK	OK
9	5000	129	127	258	254	28	26	OK	OK
8	5000	115	114	230	228	28	30	OK	OK

Lantai	Tinggi (mm)	Perpindahan (mm)		Perpindahan elastik (mm)		Story Drift (mm)		Cek Simpangan > Simpangan izin	
		x	y	x	y	x	y	x	y
7	5000	101	99	202	198	32	30	OK	OK
6	5000	85	84	170	168	32	32	OK	OK
5	5000	69	68	138	136	32	30	OK	OK
4	5000	53	53	106	106	32	32	OK	OK
3	5000	37	37	74	74	30	32	OK	OK
2	5000	22	21	44	42	28	26	OK	OK
1	5000	8	8	16	16	16	16	OK	OK

3. Analisa pengaruh P-delta

$$\Theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta cd} \leq 0,25$$

$$= \frac{0,5}{1 \times 3} \leq 0,25$$

$$= 0,1667 \leq 0,25$$

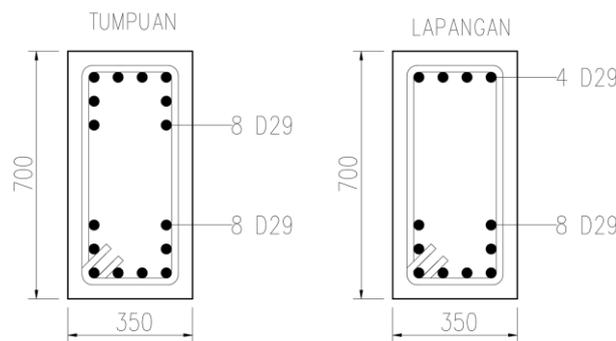
Dari hasil perhitungan diperoleh nilai koefisien stabilitas kurang dari 0,1 dan tidak melebihi koefisien stabilitas maksimal, sehingga pengaruh P Delta dapat diabaikan.

Desain Struktur Beton Bertulang

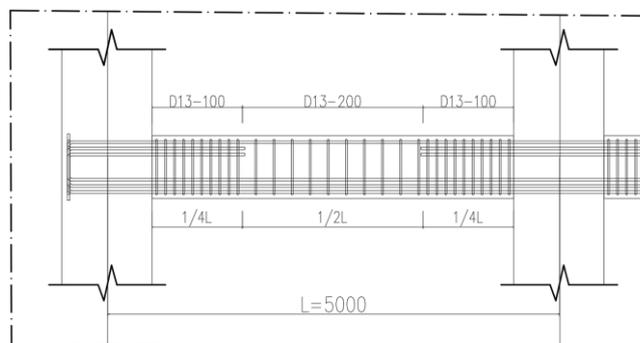
Pada modifikasi struktur Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo digunakan bantuan software Robot Struktur Analysis versi 2021 dengan perhitungan kebutuhan tulangan dihitung secara manual berdasarkan SNI 2847:2019.

1. Desain struktur balok induk (B1)

Hasil dari perhitungan struktur balok di dapatkan jumlah tulangan tumpuan atas 8 D29, tulangan tumpuan bawah 8 D29, tulangan lapangan atas 4 D29, tulangan lapangan bawah 8 D29, tulangan sengkang tumpuan D19-100, dan tulangan sengkang lapangan D19-200.



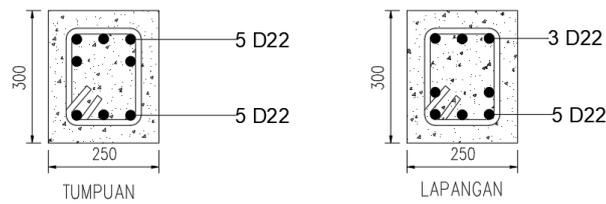
Gambar 4. Detail Penulangan Balok (B1)



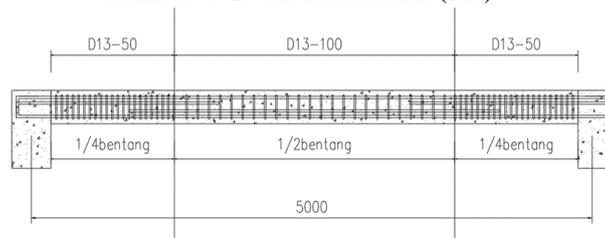
Gambar 5. Detail Penulangan Balok B1

2. Desain struktur balok anak (BA)

Hasil dari perhitungan struktur balok di dapatkan jumlah tulangan tumpuan atas 5 D22, tulangan tumpuan bawah 3 D22, tulangan lapangan atas 3 D22, tulangan lapangan bawah 5 D22, tulangan sengkang tumpuan D13-50, dan tulangan sengkang lapangan D13-100.



Gambar 6. Detail Balok Anak (BA)



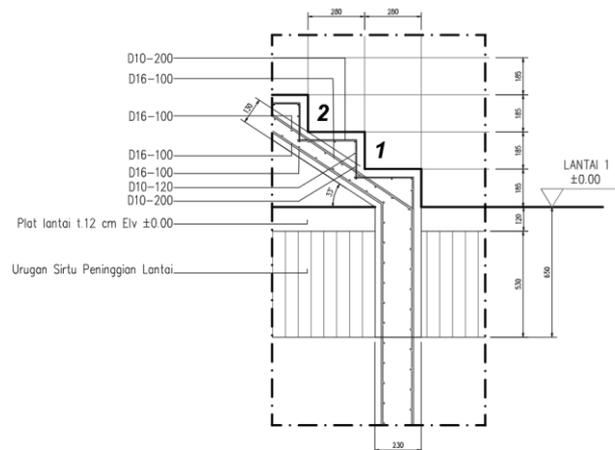
Gambar 7. Detail Balok Anak (BA)

3. Desain struktur pelat lantai

Hasil dari penulangan pelat lantai didapatkan tulangan tumpuan arah X D13-150, tulangan lapangan arah X D13-150, tulangan tumpuan arah Y D13-150, tulangan lapangan arah Y D13-150, dan tulangan bagi D13-300.

4. Desain struktur pelat tangga

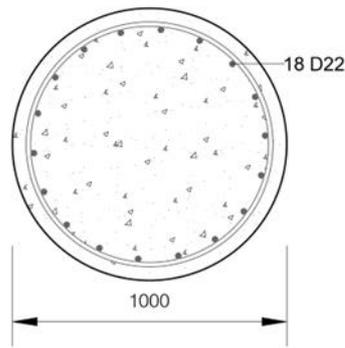
Hasil penulangan pelat tangga utama dari hasil perhitungan didapatkan yaitu D16-100 dan untuk pelat bordes didapatkan D16-100.



Gambar 8. Detail Penulangan Tangga

5. Desain struktur kolom

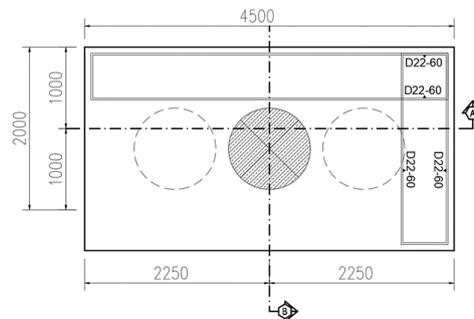
Hasil dari perhitungan struktur kolom didapatkan jumlah tulangan longitudinal kolom 18 D22, tulangan sengkang tumpuan dipasang D16-100, dan tulangan sengkang lapangan D16-100.



Gambar 9. Detail Penulangan Kolom

6. Desain struktur pondasi

Hasil modifikasi struktur pondasi Monumen dan Museum Reog Ponorogo adalah menggunakan pondasi *bored pile* diameter 1000 mm dengan panjang 19 m menghasilkan daya dukung tiang tunggal 8.313 kN serta daya dukung tiang kelompok sebesar 16.590 kN. Untuk struktur *pilecap* memiliki dimensi lebar 2500 mm, panjang 4500, dan tinggi 1500 mm digunakan tulangan diameter 22 mm jarak 60 mm.



Gambar 10. Detail Penulangan Pondasi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan desain elemen struktur Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo pada pembahasan sebelumnya, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Preliminary design pada modifikasi struktur Gedung Monumen dan Museum reog ponorogo dihasilkan sebagai berikut:
 - Dimensi penampang balok induk yaitu 300/500 mm
 - Penampang balok anak yaitu 250/300 mm
 - Penampang kolom bulat dengan diameter 1000 mm dengan tinggi kolom 5 m
 - Ketebalan pelat lantai adalah 120 mm
2. Analisis pembebanan pada modifikasi struktur Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo terdiri dari:
 - Beban mati struktur meliputi berat sendiri struktur, beban pelat lantai sebesar 0,446kN/m, beban atap dak sebesar 0,918 kN/m, beban mati dinding 11,75 kN/m, dan beban rangka patung sebesar 1.8432 kN.
 - Beban hidup pada pelat lantai dan pelat tangga diambil sebesar 4,79 kN/m²
 - Beban angin diambil dari tekanan angin diambil paling besar, yaitu 0,0169 kN/m².
 - Beban air hujan dari perhitungan didapatkan sebesar 0,49 kN/m².
 - Beban gempa digunakan analisis dinamik melalui spektrum respon desain.
3. Desain elemen struktur Gedung Monumen dan Museum Reog Ponorogo menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sebagai berikut:
 - Struktur Balok Induk (B1)
Balok Induk (B1) memiliki dimensi 350x700 mm, mutu beton 30 MPa, mutu baja 420 MPa, di daerah tumpuan didesain sebagai balok tulangan rangkap dengan jumlah tulangan atas 8 buah diameter 29 mm

serta tulangan bawah sebanyak 8 buah diameter 29 mm. Kemudian di daerah lapangan didesain sebagai balok tulangan rangkap dengan jumlah tulangan atas sebanyak 4 buah diameter 29 mm dan tulangan bawah 8 buah diameter 29 mm. Untuk tulangan transversal balok di daerah tumpuan menggunakan tulangan diameter 13 mm dengan jarak 100 mm, sedangkan pada daerah lapangan digunakan tulangan diameter 13 mm dengan jarak 200 mm.

– Struktur Balok Anak (BA)

Struktur Balok Anak (BA) memiliki dimensi 250x 300, mutu beton 30 MPa, mutu baja 420 MPa, di daerah tumpuan didesain sebagai balok tulangan rangkap dengan jumlah tulangan atas 5 buah diameter 22 mm serta tulangan bawah sebanyak 3 buah diameter 22 mm. Kemudian di daerah lapangan didesain sebagai balok tulangan rangkap dengan jumlah tulangan atas sebanyak 3 buah diameter 22 mm dan tulangan bawah 5 buah diameter 22 mm. Untuk tulangan transversal balok di daerah tumpuan menggunakan tulangan diameter 13 mm dengan jarak 50 mm, sedangkan pada daerah lapangan digunakan tulangan diameter 13 mm dengan jarak 100 mm.

– Struktur Kolom

Kolom Bulat memiliki dimensi 1000 mm, mutu beton 30 MPa, mutu baja 420 MPa, didesain menggunakan tulangan utama sebanyak 18 buah diameter 22 mm. Untuk tulangan sengkang menggunakan Sengkang spiral di daerah tumpuan kolom menggunakan diameter 16 mm dengan jarak 100 mm serta di daerah lapangan menggunakan diameter 16 mm dengan jarak 100 mm.

– Struktur Pelat lantai (S1)

Pelat lantai (S1) memiliki mutu beton 30 MPa, dan mutu baja 420 MPa menggunakan tulangan utama diameter 13 mm dengan jarak 150 mm arah X serta menggunakan tulangan bagi diameter 13 mm dengan jarak 300 mm. Kemudian tulangan arah Y menggunakan diameter 13 mm jarak 150 di tulangan utama serta diameter 13 mm jarak 300 mm di tulangan bagi.

Struktur tangga berupa bordes dan pelat tangga, mutu beton 30 MPa, dan mutu baja 420 MPa menggunakan penulangan diameter 16 mm jarak 100 mm untuk arah X serta penulangan diameter 16 mm dengan jarak 100 mm untuk arah Y.

4. Hasil perhitungan struktur pondasi Monumen dan Museum Reog Ponorogo adalah menggunakan pondasi *bored pile* diameter 1000 mm dengan panjang 19 m menghasilkan daya dukung tiang tunggal 8.313 kN serta daya dukung tiang kelompok sebesar 16.590 kN. Untuk struktur *pilecap* memiliki dimensi lebar 2500 mm, panjang 4500, dan tinggi 1500 mm digunakan tulangan diameter 22 mm jarak 60 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sari, S. (2023). *Naskah Akademik Rancangan Peraturan Daerah Kabupaten Ponorogo Tentang Pengendalian dan Pengawasan Terhadap Peredaran Minuman Beralkohol Perspektif Maqāsid Shari'ah* (Doctoral dissertation, IAIN Ponorogo).
- [2] Badan Standarisasi Nasional. (2019a). SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2019b). SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. (2020a). SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- [5] Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 8900:2020 Panduan Desain Sederhana Untuk Bangunan Beton Bertulang.
- [6] Xiao, J., & Zhang, C. (2008). Seismic behavior of RC columns with circular, square and diamond sections. *Construction and Building Materials*, 22(5), 801-810.
- [7] JSCE, JSCE Guidelines for Concrete: Standard Specifications for Concrete Structures, 15th ed. Japan Society of Civil Engineers, (2007)
- [8] Ali Ahmed, Ahmed Mohammed Youssef Mohammed, Koichi Maekawa. (2021). Performance Comparison of High Strength Reinforced Concrete Circular and Square Columns Subjected to Flexural Controlled Cyclic Loading. *Civil Engineering Journal*. (E-ISSN: 2476-3055; ISSN: 2676-6957). Vol. 7, No. 01, January, 2021

EKOWISATA MANGROVE CUKU NYI-NYI SESUAI INDEKS KESESUAIAN WISATA DAN DAYA DUKUNG KAWASAN

Mas Achmad Arief R.K¹, *Ahmad Herison², Devi Kurnia Sari³, Yuda Romdania⁴, Sefrinta SM⁵

¹Mahasiswa Departemen Sarjana Teknik Sipil, Jurusan Teknik, Universitas Lampung

^{2,3,4}Dosen di Departemen Teknik Sipil, Jurusan Teknik, Universitas Lampung

⁵Mahasiswa Departemen Magister Teknik Sipil, Jurusan Teknik, Universitas Lampung

^{*}Email: ahmadherison@gmail.com

ABSTRACT

Cuku Nyi-Nyi mangrove ecotourism is a sustainable ecotourism, but does not yet have an assessment related to tourism suitability and masterplan. The purpose of the study was to analyze spatially, the Tourism Suitability Index (IKW), Area Supportability (DDK), and supporting infrastructure masterplan in Cuku-Nyi-Nyi mangrove ecotourism. The methods used include analyzing the suitability of mangrove ecotourism using the path transect method, spatial analysis with spatial analysis software, and analyzing the suitability of supporting infrastructure master plans using the supply and demand method. The results showed transect data of rhizophora apiculata vegetation with an Important Value Index (INP) of 249.744 and rhizophora stylosa with an Important Value Index (INP) of 50.255. This area has a Tourism Suitability Index (IKW) value of 2.1 and an Area Support Capacity (DDK) value of 91 people per day. In addition, this study also produced a recommended supporting infrastructure masterplan, namely electricity resources, educational shelters, docks, concrete roads, prayer rooms, and food kiosks. The conclusion is that the Cuku Nyi-Nyi ecotourism area has an IKW value that is in the appropriate category (S2) and DDK which is in the safe category per day, and produces a master plan and DED of supporting infrastructure.

Keyword: mangrove vegetation, quadrat transect, spatial analysis, rhizophora apiculata, importance index.

ABSTRAK

Ekowisata mangrove Cuku Nyi-Nyi adalah ekowisata yang berkelanjutan, namun belum memiliki penilaian terkait kesesuaian wisata dan masterplan. Tujuan penelitian adalah menganalisis secara spasial, Indeks Kesesuaian Wisata (IKW), Daya Dukung Kawasan (DDK), dan masterplan infrastruktur pendukung di ekowisata mangrove Cuku-Nyi-Nyi. Metode yang digunakan meliputi analisis kesesuaian ekowisata mangrove menggunakan metode transek jalur, analisis spasial dengan perangkat lunak analisis spasial, serta analisis kesesuaian masterplan infrastruktur pendukung menggunakan metode *supply and demand*. Hasil penelitian menunjukkan data transek vegetasi *rhizophora apiculata* dengan Indeks Nilai Penting (INP) sebesar 249,744 dan *rhizophora stylosa* dengan Indeks Nilai Penting (INP) sebesar 50,255. Kawasan ini memiliki nilai Indeks Kesesuaian Wisata (IKW) sebesar 2,1 dan nilai Daya Dukung Kawasan (DDK) sebesar 91 orang per hari. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan masterplan infrastruktur pendukung yang direkomendasikan, yaitu sumber daya listrik, selter edukasi, dermaga, jalan beton, musholla, dan kios makanan. Kesimpulannya adalah wilayah ekowisata Cuku Nyi-Nyi memiliki nilai IKW yang masuk dalam kategori sesuai (S2) dan DDK yang masuk dalam kategori aman per hari, serta menghasilkan masterplan dan DED Infrastruktur pendukung.

Kata kunci: vegetasi mangrove, transek kuadrat, analisis spasial, *rhizophora apiculata*, indeks nilai penting.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan ekowisata mangrove adalah salah satu cara untuk memanfaatkan jasa lingkungan di wilayah pesisir secara berkelanjutan [1] [2]. Kegiatan ini dianggap berkelanjutan jika dapat mendorong pertumbuhan ekonomi sekaligus mempertahankan ekosistem [3]. Ekosistem khas, seperti hutan mangrove, terumbu karang, dan estuaria, meningkatkan potensi sumber daya di daerah pesisir [4]. Salah satu destinasi ekowisata yang memiliki potensi dan sedang berkembang pesat di Provinsi Lampung adalah Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi. Ekowisata mangrove merupakan jenis wisata khas yang ditemukan di wilayah tropis maupun subtropis. Mangrove itu sendiri tumbuh di muara sungai dan di pesisir pantai dan terpengaruh oleh pasang surut air laut [5]. Ekowisata mangrove memiliki dampak yang krusial, yaitu mengurangi dampak gelombang laut dan menangani bencana, berfungsi sebagai penghalang abrasi, dan melindungi lingkungan pesisir di sekitarnya [6] [7]. Memperhatikan pertumbuhan dan pemanfaatan hutan mangrove secara optimal sangat memengaruhi infrastruktur ekowisata mangrove Cuku Nyi-Nyi. Infrastruktur adalah bagian penting dari pembangunan suatu tempat wisata [8] [1]. Penilaian melalui observasi dan pendataan sarana prasarana pendukung sangat penting untuk pengembangan kawasan wisata secara akurat, efektif, berkelanjutan dan kesesuaian wisata.

Penilaian yang tidak menyeluruh terkait Indeks Kesesuaian Wisata (IKW), Daya Dukung Kawasan (DDK) dan ketiadaan masterplan menjadi masalah yang memerlukan analisis mendalam untuk memastikan bahwa pengembangan kawasan tersebut dilakukan secara berkelanjutan, dengan mempertimbangkan kapasitas lingkungan dan kebutuhan infrastruktur yang mendukung aktivitas wisata tanpa merusak ekosistem yang ada, serta

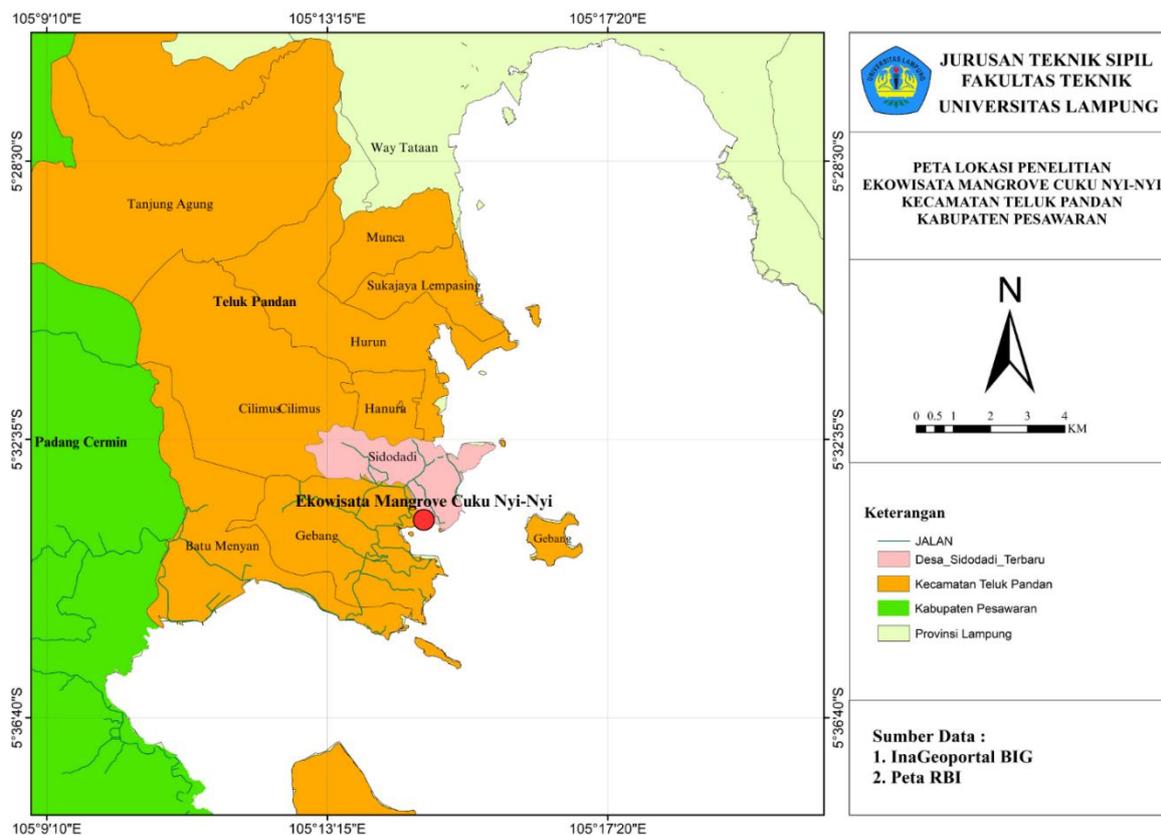
menjadi dasar bagi penyusunan masterplan infrastruktur pendukung yang berkelanjutan. Mungkin penilaian tersebut telah dilakukan di beberapa wisata mangrove tetapi di Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi pengumpulan data mengenai indeks kesesuaian wisata dan daya dukung kawasan serta masterplan infrastruktur pendukung belum dilakukan sehingga diperlukan penelitian penilaian hal tersebut yang terarah dan menjamin keberlanjutan ekowisata di kawasan ini.

Tujuan penelitian adalah menganalisis secara spasial, Indeks Kesesuaian Wisata (IKW), Daya Dukung Kawasan (DDK), dan masterplan infrastruktur pendukung di ekowisata mangrove Cuku-Nyi-Nyi. Penelitian diharapkan dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai kesesuaian, masterplan dan pengembangan infrastruktur pendukung wisata. Sehingga akan didapatkan temuan baru agar ekowisata mangrove Cuku Nyi-Nyi bisa dimanfaatkan dengan baik dan tidak merusak lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Studi ini dilakukan di Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi, yang terletak di Desa Sidodadi, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian ekowisata mangrove cuku nyi-nyi.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan meliputi:

1. Meteran, tali, dan pemberat digunakan untuk menentukan kedalaman air.
2. Meteran gulung digunakan untuk mengukur lebar pantai dan menarik garis transek.
3. *GPS (Global Positioning System)* diperlukan untuk mengetahui posisi atau koordinat, yang menjadi lokasi penelitian.
4. Kamera digunakan untuk mengambil data penelitian, yang berbentuk video dan gambar.
5. Laptop digunakan untuk melakukan pengolahan data yang sudah diambil.
6. Alat tulis digunakan untuk mengumpulkan hasil pengamatan di lapangan yang berupa tulisan langsung.
7. Program analisis spasial yang digunakan untuk menghasilkan data spasial pada lokasi penelitian.

Metode Pengambilan Data Lapangan

Data primer adalah informasi yang dikumpulkan langsung dari lokasi penelitian, melibatkan pengukuran dan observasi langsung. Dalam penelitian data primer mencakup pembuatan peta sketsa kawasan mangrove, observasi terhadap kesesuaian wisata mangrove berdasarkan faktor-faktor seperti pasang surut, kerapatan, objek biota, ketebalan, dan jenis mangrove, serta perhitungan dan analisis Indeks Kesesuaian Wisata (IKW). Selain itu, dilakukan observasi daya dukung kawasan untuk memastikan potensi ekowisata mangrove dapat dimanfaatkan secara optimal. Data untuk masterplan infrastruktur pendukung ekowisata Cuku Nyi-Nyi dikumpulkan menggunakan metode *supply and demand* yang mencakup analisis permintaan dengan mengidentifikasi target wisatawan dan preferensi mereka, pencatatan penawaran seperti jenis mangrove dan kapasitas pengunjung, penyesuaian penawaran dengan mengembangkan produk wisata dan menerapkan konservasi, serta promosi melalui media sosial dan agen perjalanan. Monitoring dilakukan dengan mengumpulkan umpan balik dan memantau kondisi mangrove untuk memastikan keberlanjutan, mendukung pengembangan ekowisata yang menarik dan berkelanjutan.

Transek Kuadrat

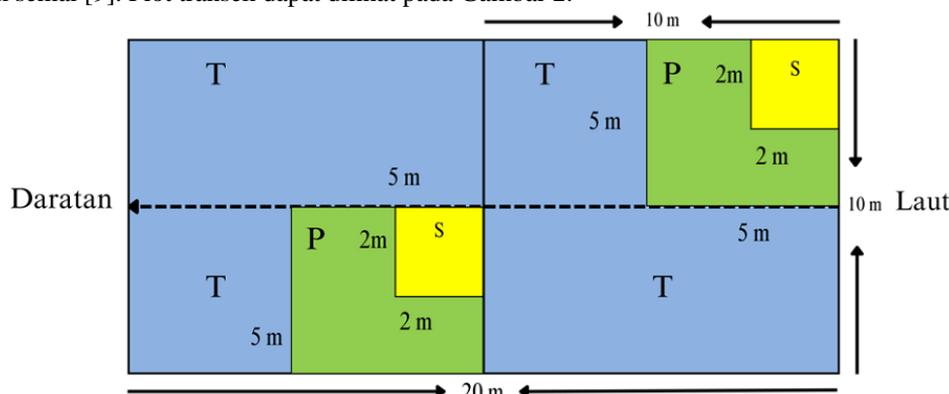
Metode transek bertujuan untuk mengetahui hubungan perubahan vegetasi dan perubahan lingkungan serta untuk mengetahui hubungan vegetasi yang ada disuatu lahan secara cepat. Berikut adalah proses menganalisis dan menghitung data kesesuaian ekowisata mangrove menggunakan metode transek kuadrat:

1. Penentuan lokasi penelitian

Dengan menggunakan aplikasi *Google Earth* untuk pengamatan visual tidak langsung dan survei dan observasi langsung di lokasi penelitian, peneliti memilih lokasi berdasarkan kondisi letak geografis dan ketebalan vegetasi.

2. Pembuatan plot transek

Plot transek terdiri dari beberapa ukuran, yaitu plot $10 \times 10 \text{ m}^2$ = mangrove kelompok pohon, plot $5 \times 5 \text{ m}^2$ = mangrove kelompok tiang, plot $2 \times 2 \text{ m}^2$ = mangrove kelompok pancang, dan plot $1 \times 1 \text{ m}^2$ = mangrove kelompok semai [9]. Plot transek dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Yasri, 2010

Gambar 2. Plot transek.

3. Pengambilan data

Studi ini mengumpulkan data tentang berbagai hal, termasuk pengukuran diameter batang, pengukuran jumlah tegakan, penentuan titik koordinat, dan identifikasi jenis mangrove.

4. Analisa data

Setelah peneliti melakukan pengambilan data, jadi yang dihasilkan mencakup status kondisi komunitas mangrove, indeks keanekaragaman, dan indeks nilai penting (INP).

Dari metode di atas, diperoleh nilai dari jalur transek yang kemudian dimasukkan ke dalam tabel parameter matriks kesesuaian. Dengan menggunakan metode ini, akan dihasilkan nilai IKW.

Indeks Kesesuaian Wisata

Metode ilmiah untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian suatu tempat wisata berdasarkan karakteristik ilmiah disebut indeks kesesuaian wisata. Keadaan yang tepat untuk pengembangan wisata adalah Penilaian dampak lingkungan, serta pengelolaan dan pengendalian lingkungan yang efektif, dengan demikian tujuan wisata serta tingkat kesesuaiannya terpenuhi [10] [11]. Persamaan yang digunakan yakni persamaan 1 [12].

$$IKW = \sum_{i=1}^n (B_i \times S_i) \quad (1)$$

dengan IKW = Indeks Kesesuaian Wisata, B_i = Bobot parameter ke- i dan S_i = Skor parameter ke- i .

Indeks Kesesuaian Wisata (IKW) dikategorikan sebagai berikut: Sangat sesuai (S1), jika IKW lebih dari 2,5. Sesuai (S2), jika IKW berada antara 2,0 hingga 2,5. Sesuai bersyarat (S3), jika IKW berada antara 1 hingga 2,0. Tidak sesuai (N), jika IKW kurang dari 1.

Daya Dukung Kawasan Wisata

Daya Dukung Kawasan (DDK) ekowisata adalah jumlah wisatawan maksimum yang dapat ditampung oleh sarana dan prasarana yang tersedia. Dengan memanfaatkan prinsip daya dukung kawasan, yang mengacu pada jumlah wisatawan yang dapat diterima secara fisik di lokasi tertentu tanpa merusak lingkungan sekitarnya, daya dukung ekowisata dianalisis [13] [11]. Parameter daya dukung mangrove dihitung menggunakan formula yang digunakan [14]. Persamaan yang digunakan yakni persamaan 2 [13].

$$DDK = K \times \frac{L_p}{L_t} \times \frac{W_t}{W_p} \quad (2)$$

dengan DDK = Daya Dukung Kawasan, K = Potensi ekologis pengunjung per satuan unit area, L_p = Luas area/panjang area yang dapat dimanfaatkan, L_t = Unit area untuk kategori tertentu, W_t = Waktu yang disediakan kawasan untuk kegiatan wisata per hari, W_p = Waktu yang dihabiskan oleh pengunjung untuk kegiatan tertentu.

Analisis Spasial

Dalam analisis spasial, berbagai ukuran dapat diambil, seperti jarak, luas, keliling, *centroid*, dan kedekatan. Hasil dari analisis ini dapat membantu dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur pendukung seperti perencanaan instalasi listrik, jalan beton, musholla, dermaga, dan selter edukasi, serta memastikan bahwa pengembangan ini dilakukan secara berkelanjutan dan tidak merusak lingkungan setempat.

Masterplan Ekowisata

Metode Masterplan Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-nyii dirancang sebagai panduan strategis yang mengintegrasikan konservasi, pemberdayaan masyarakat, dan pertumbuhan ekonomi lokal [15] [16]. Metode *supply and demand* dapat menjadi alat yang efektif dalam pembuatan masterplan ekowisata untuk Mangrove Cuku Nyi-Nyi di Provinsi Lampung. Berikut adalah cara menerapkan pendekatan ini [17]:

1. Analisis *Demand* (Permintaan)

Menentukan target utama, yaitu wisatawan lokal dan nasional, serta memahami preferensi mereka terhadap wisata alam dan edukasi.

2. Analisis *Supply* (Penawaran)

Mencatat jenis mangrove, satwa, dan keindahan alam sebagai daya tarik wisata, serta menentukan infrastruktur dan kapasitas maksimal pengunjung berdasarkan hasil DDK untuk menjaga kelestarian ekosistem.

3. Penyelarasan *Supply and Demand*

Mengembangkan produk wisata seperti tur edukasi atau pengalaman lokal sesuai permintaan pasar, menerapkan upaya konservasi dan rehabilitasi untuk menjaga keseimbangan ekosistem, serta mempromosikan keunikan Cuku Nyi-Nyi melalui media sosial dan kerja sama dengan agen perjalanan.

4. Monitoring dan Evaluasi

Kumpulkan dan analisis umpan balik untuk meningkatkan layanan, serta lakukan pemantauan rutin terhadap kondisi mangrove guna memastikan keberlanjutan

Dengan pendekatan ini, Cuku Nyi-Nyi dapat dikembangkan menjadi destinasi ekowisata yang menarik dan berkelanjutan.

Infrastruktur Pendukung Ekowisata

Pengembangan pariwisata membutuhkan produk dan infrastruktur yang kuat untuk mendukung semua kegiatan [18]. Karena infrastruktur ekowisata dapat meningkatkan nilai dan daya tarik sebuah tempat, sektor pariwisata harus mempertimbangkan jumlah wisatawan yang datang dan jumlah pelanggan yang ingin mengunjunginya [19].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Transek Kuadrat Mangrove

Hasil yang didapatkan dari metode transek yaitu jenis vegetasi mangrove yang didapatkan dari tiga plot pengamatan terdiri atas 2 jenis vegetasi yaitu, *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora Stylosa*. Hasil dari ketiga transek kuadrat mangrove tersebut tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Analisis vegetasi

Jenis	Jumlah Individual											
	Pohon			Tiang			Pancang			Semai		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Rhizophora Apiculata</i>	4	3	3	4	4	5	0	2	5	0	1	0
<i>Rhizophora Stylosa</i>	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0
Jumlah	6	3	3	4	4	5	2	2	5	2	1	0

Tabel 1 menyajikan analisis vegetasi, dengan jumlah terbanyak pada *rhizophora apiculata* di plot 1 untuk pohon, plot 3 untuk tiang dan pancang, serta pada *rhizophora stylosa* di plot 1 untuk semai.

Perhitungan Indeks Kesesuaian Wisata Mangrove (IKW)

Pengukuran IKW mangrove terdapat 5 parameter yaitu kerapatan, ketebalan, jenis mangrove, objek biota, dan pasang surut [12]. Hasil perhitungan indeks kesesuaian wisata dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan indeks kesesuaian kategori wisata mangrove cuku nyi-nyi.

No	Parameter	Bobot	Hasil pengukuran	Skor	Ni(B x S)
1	Ketebalan mangrove (m)	0,38	260	2	0,76
2	Kerapatan mangrove (100 m ²)	0,25	37	3	0,75
3	Jenis mangrove	0,15	2	1	0,15
4	Pasang surut (m)	0,12	1,75	2	0,24
5	Obyek biota	0,1	4	2	0,2
Jumlah		13			2,1
IKW					
Kategori					Sesuai

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan Indeks Kesesuaian Wisata (IKW) mangrove di Cuku Nyi-Nyi. Dari lima parameter yang dianalisis ketebalan mangrove, kerapatan mangrove, jenis mangrove, pasang surut, dan objek biota diperoleh nilai IKW total sebesar 2,1, yang menempatkan kawasan ini dalam kategori sesuai untuk pengembangan wisata mangrove.

Perhitungan Daya Dukung Kawasan

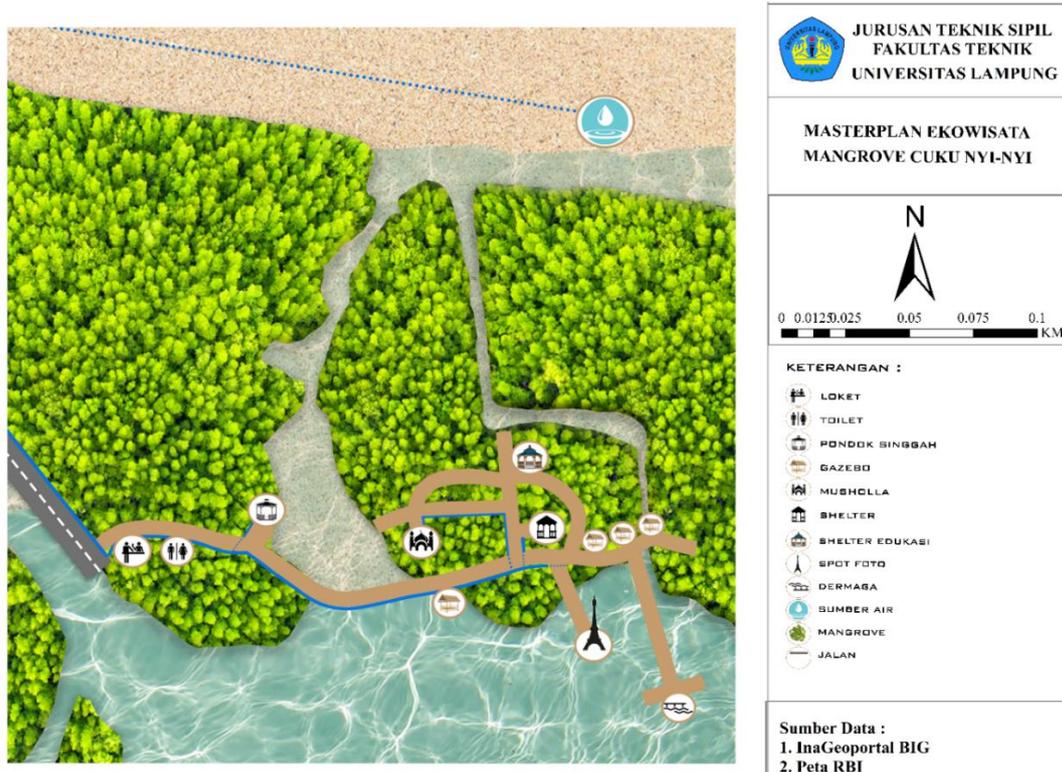
Perhitungan DDK digunakan untuk menentukan kapasitas maksimum lokasi wisata dalam menampung wisatawan, dengan tetap mempertahankan keberlanjutan objek wisata dan kenyamanan pengunjung. Untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan yang terkait dengan pariwisata, nilai maksimum jumlah wisatawan yang dapat menikmati keindahan Ekowisata Cuku Nyi-Nyi merupakan hasil dari analisis ini. Hasil perhitungan daya dukung kawasan hutan mangrove Cuku Nyi-Nyi sebesar 91 orang/hari, dengan pengunjung (K) = 1, panjang area (Lp) = 570m, unit area (Lt) = per orang sepanjang 25 m, Wp = 2 jam, dan Wt = 8 jam.

Nilai untuk area tracking 570 m diperoleh melalui survei lapangan dan wawancara. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Hutan Mangrove Cuku Nyi-Nyi dapat menampung 91 pengunjung per hari, berdasarkan 8 jam operasi kawasan wisata.

Masterplan Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi

Pembuatan masterplan Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-nyi dimulai dengan pengumpulan data permintaan (*demand*) melalui survei pengunjung, wawancara dengan pemangku kepentingan, dan analisis tren wisata untuk mengidentifikasi target wisatawan serta preferensi mereka. Selanjutnya, dilakukan pencatatan penawaran (*supply*) dengan inventarisasi sumber daya alam melalui survei ekologi mangrove dan pemetaan lokasi, serta evaluasi kapasitas infrastruktur melalui audit sarana dan prasarana yang ada. Penyelarasan penawaran dilakukan dengan mengembangkan produk wisata, seperti merancang rute wisata edukatif dan merancang infrastruktur pendukung

ramah lingkungan, serta menerapkan langkah-langkah konservasi melalui penetapan zona perlindungan dan program rehabilitasi mangrove. Promosi dan pemasaran difokuskan pada pengembangan konten digital untuk media sosial dan kemitraan dengan agen perjalanan, serta edukasi publik melalui lokakarya. Monitoring dan evaluasi dilakukan dengan mengumpulkan umpan balik pengunjung, melakukan survei berkala terhadap kondisi lingkungan, dan meninjau kinerja infrastruktur secara berkala untuk memastikan keberlanjutan ekowisata. Berdasarkan hasil monitoring, penyesuaian masterplan dilakukan untuk mengatasi masalah yang muncul dan menjaga keberlanjutan jangka panjang. Hasil dari perencanaan masterplan ekowisata mangrove Cuku Nyi-Nyi dengan metode *supply and demand* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Masterplan ekowisata mangrove cuku nyi-nyi.

Infrastruktur Pendukung di Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi

Infrastruktur pariwisata menjadi salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan [20]. Dalam Kawasan Ekowisata Hutan Mangrove, efisiensi dan daya dukung sistem struktur harus dipertimbangkan saat merancang infrastruktur. Infrastruktur berdampak pada industri pariwisata dan perkembangan daerah. Prasarana (infrastruktur) mencakup semua fasilitas yang mendukung kelancaran proses perekonomian, sehingga mempermudah manusia dalam memenuhi kebutuhannya [21]. Di Ekowisata mangrove Cuku Nyi-Nyi sendiri telah terdapat beberapa infrastruktur pendukung yaitu, gazebo, toilet, loket, dan spot foto. Beberapa infrastruktur tersebut memiliki kualitas yang tidak sebanding dengan jumlah maksimum daya tampung wisatawan, dan juga pembangunannya belum merata. Infrastruktur yang disarankan dengan skala prioritas dapat mendukung kegiatan pariwisata mangrove Cuku Nyi-Nyi. Skala prioritas berdasarkan kebutuhan infrastruktur dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Skala prioritas berdasarkan kebutuhan infrastruktur

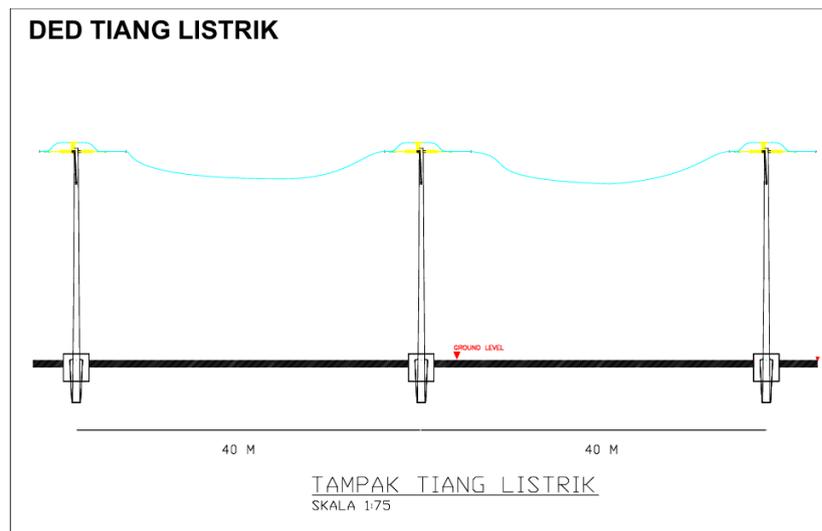
Skala Prioritas	Kebutuhan Infrastruktur	Urgensi
1	Perencanaan Instalasi Listrik	Tidak tersedia, perlu segera mengajukan permohonan kepada PLN agar dapat memasok listrik segera.
2	Jalan	Mendesak, karena kondisi jalan yang tidak memadai dan licin.
3	Musholla	Penting untuk mendukung kegiatan ibadah wisatawan.
4	Dermaga	Perlu perbaikan untuk keamanan, namun masih bisa digunakan.
5	Selter Edukasi	Penting untuk edukasi, tetapi bisa ditunda dibandingkan lainnya.

Berdasarkan Tabel 3, perencanaan instalasi listrik menempati prioritas tertinggi karena kebutuhan listrik sangat mendesak untuk mendukung operasional dan kenyamanan wisatawan, serta memfasilitasi pembangunan infrastruktur lainnya. Selanjutnya, perbaikan jalan menjadi prioritas kedua, karena kondisi jalan yang tidak memadai dapat menghambat akses dan menurunkan jumlah kunjungan wisatawan, terutama saat musim hujan. Pembangunan musholla berada pada prioritas ketiga untuk memenuhi kebutuhan ibadah wisatawan, sedangkan dermaga yang ada memerlukan perbaikan dan pembangunan ulang demi meningkatkan keamanan dan kenyamanan, sehingga ditempatkan pada prioritas keempat. Terakhir, pembangunan selter edukasi ditempatkan pada prioritas kelima sebagai fasilitas taman baca yang dirancang untuk mengedukasi wisatawan tentang ekosistem mangrove, yang dapat dilakukan setelah infrastruktur dasar lainnya selesai diperbaiki atau dibangun. Dengan mengikuti skala prioritas ini, diharapkan pembangunan infrastruktur di kawasan Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi dapat berjalan efektif, berkelanjutan, serta meningkatkan daya tarik dan kenyamanan wisatawan.

Dalam merancang infrastruktur di kawasan ekowisata mangrove Cuku Nyi-Nyi, penerapan standar nasional Indonesia (SNI) sangat penting untuk memastikan kualitas, keselamatan, dan keberlanjutan proyek. Mengacu pada peraturan SNI, penggunaan material dan ukuran yang tepat harus memenuhi ketentuan teknis yang telah ditetapkan.

1. Perencanaan instalasi listrik .

Instalasi listrik di ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi harus dirancang dengan memperhatikan standar keamanan dan keberlanjutan lingkungan, seperti yang diatur dalam SNI 04-0225-2000 tentang Instalasi Listrik untuk bangunan. Sistem ini harus memenuhi persyaratan teknis yang ketat untuk memastikan pasokan listrik yang aman dan andal, yang meliputi instalasi pada fasilitas seperti jembatan, selter, dan area edukasi. Perencanaan instalasi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.

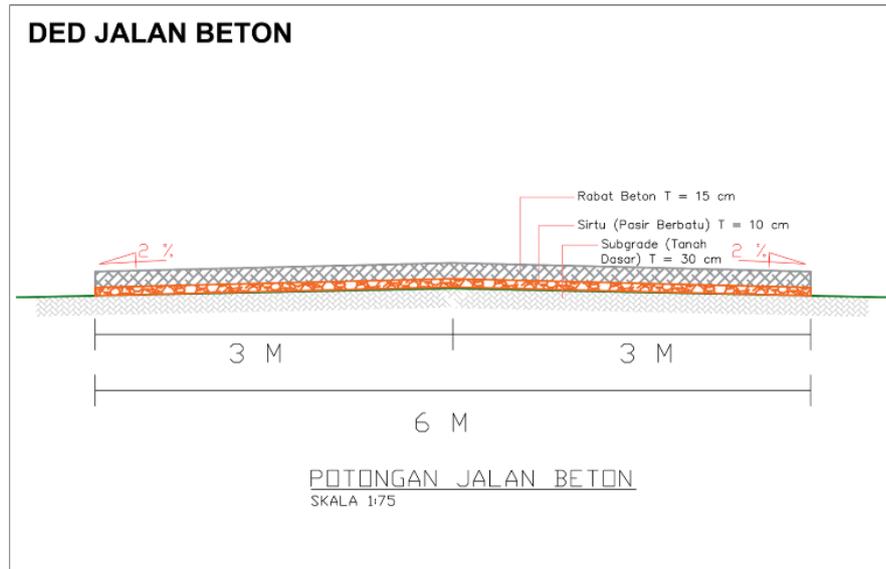


Gambar 4. Tampak tiang listrik

Berdasarkan Gambar 4 perencanaan listrik di Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi dimulai dengan studi kelayakan untuk menentukan kebutuhan energi, perencanaan anggaran, dan desain sistem distribusi listrik yang efisien. Setelah itu, permohonan sambungan listrik diajukan ke PLN Jaga Hanura dengan melampirkan dokumen penting seperti surat permohonan, denah lokasi, dan rincian kebutuhan daya. PLN akan melakukan survei lapangan untuk menentukan titik sambungan. Persiapan infrastruktur melibatkan pemasangan tiang, jaringan distribusi, panel, dan KWH meter. Instalasi sistem listrik mencakup pemasangan kabel dan peralatan kelistrikan serta pengujian untuk memastikan keamanan. Tahap akhir meliputi pelatihan staf, pemantauan rutin, dan pengelolaan energi untuk efisiensi. Dengan perencanaan yang tepat, ekowisata ini akan memiliki sistem listrik yang andal dan mendukung kenyamanan wisatawan.

2. Akses jalan beton

SNI 03-1734-1989 tentang perencanaan konstruksi beton, untuk jalan beton memberikan panduan dalam memilih material dan metode konstruksi yang dapat menahan beban lalu lintas dan kondisi cuaca ekstrem. Penerapan standar ini memastikan jalan yang dibangun memiliki daya tahan dan stabilitas yang memadai untuk penggunaan jangka panjang. Akses jalan beton dapat dilihat pada Gambar 5.

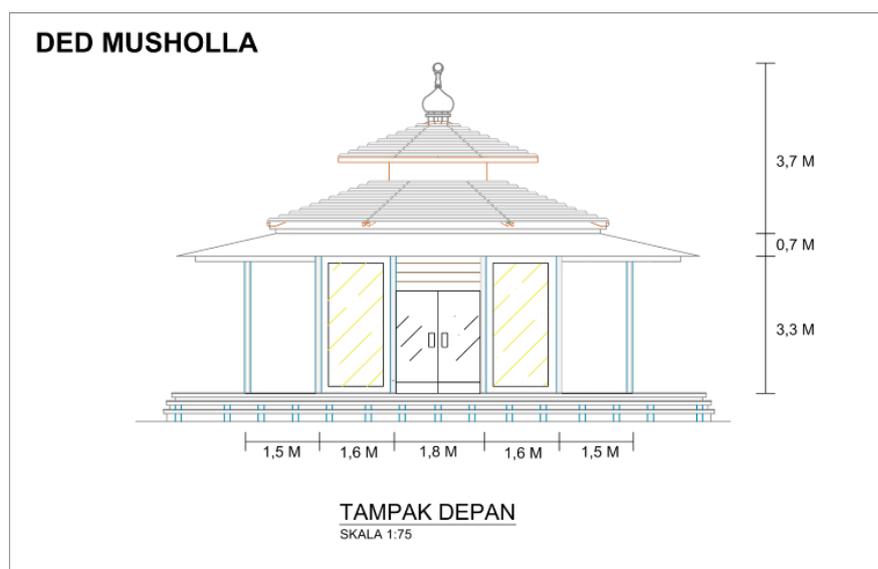


Gambar 5. Potongan jalan beton

Berdasarkan Gambar 5 perencanaan jalan beton di Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi akan mengikuti standar nasional untuk memastikan jalan kuat dan aman. Pertama, dilakukan studi kelayakan untuk menentukan kebutuhan, termasuk jumlah pengunjung dan jenis kendaraan. Desain jalan mencakup panjang 100 meter, lebar 6 meter, dan terdiri dari lapisan tanah dasar, lapisan batu, dan lapisan beton setebal 15 cm. Material yang digunakan harus berkualitas tinggi, seperti tanah yang dipadatkan, pasir batu, dan beton sesuai standar. Proses konstruksi dimulai dengan mempersiapkan lahan, memasang lapisan dasar, lalu melapisi dengan beton. Sambungan pada jalan dibuat setiap beberapa meter untuk mengatasi ekspansi dan kontraksi. Perawatan rutin, seperti pembersihan dan pengecekan sambungan, dilakukan untuk menjaga jalan tetap dalam kondisi baik dan aman digunakan. Dengan cara ini, jalan beton di ekowisata akan kokoh, tahan lama, dan mendukung kenyamanan wisatawan.

3. Perencanaan musholla

Konstruksi Kayu. Standar ini mengatur spesifikasi teknis dan prosedur konstruksi untuk memastikan kekuatan, daya tahan, dan keamanan bangunan kayu. Dengan mematuhi SNI ini, musholla yang dibangun akan mampu menghadapi berbagai kondisi lingkungan sambil tetap mempertahankan estetika tradisional dan fungsinya. Perencanaan musholla dapat dilihat pada Gambar 6.

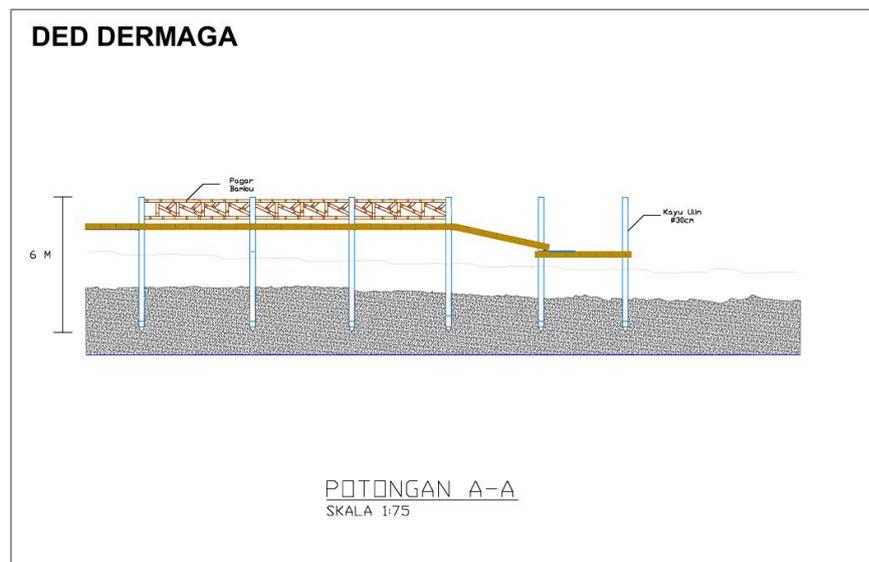


Gambar 6. Tampak musholla

Berdasarkan Gambar 6 musholla ini direncanakan sesuai SNI 03-1733-2004, berukuran 5x5 meter untuk menampung 19 orang dengan luas area sholat 19 m². Konstruksi menggunakan bahan kayu dengan fondasi tiang pancang kayu ulin. Struktur utama terdiri dari balok kayu, dinding papan kayu, dan atap sirap kayu. Lantai juga dari papan kayu dengan pelapis tahan air dan anti rayap. Proses konstruksi mencakup persiapan lahan, pemasangan fondasi, struktur utama, dinding, atap, dan *finishing*. Pemeliharaan meliputi pembersihan rutin dan inspeksi visual untuk memastikan musholla tetap aman dan nyaman.

4. Perencanaan dermaga

Perencanaan dermaga di ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi harus dilakukan dengan cermat untuk memastikan integritas struktural, keamanan, dan dampak lingkungan yang minimal. Dermaga harus mematuhi peraturan dan standar yang relevan, seperti SNI 03-1733-2004 tentang Struktur Kayu, yang mengatur spesifikasi teknis untuk kekuatan dan daya tahan bahan bangunan kayu. Perencanaan dermaga dapat dilihat pada Gambar 7.

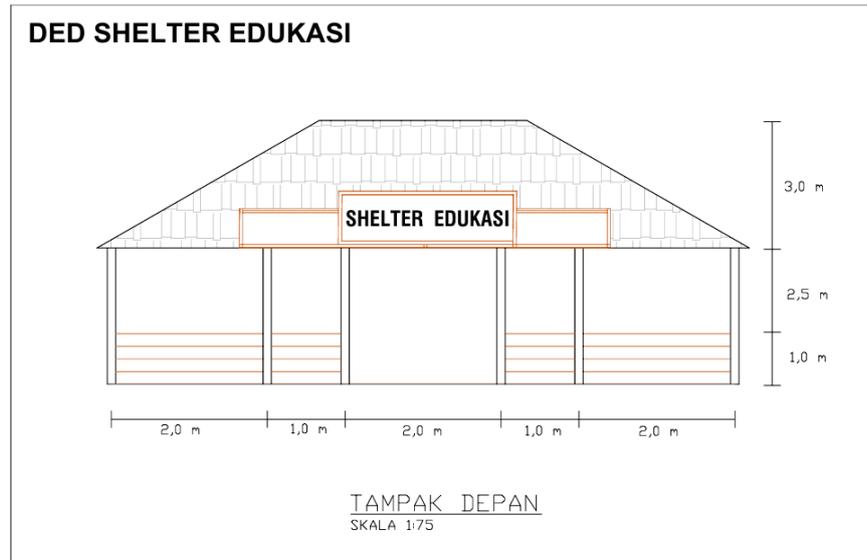


Gambar 7. Perencanaan dermaga

Berdasarkan Gambar 7 perencanaan pembangunan dermaga mencakup aspek pemilihan lokasi, analisis geoteknik, desain struktural, dan pemilihan material serta metode konstruksi yang sesuai SNI 03-2834-2000, desain dermaga sepanjang 12,8 meter, lebar 2,5 meter, dengan tiang pancang kayu ulin berdiameter 30 cm yang menembus dasar laut minimal 1,5 meter. Balok utama, balok lantai, dan *decking* juga menggunakan kayu ulin, dengan pengikat *stainless steel* atau galvanis, serta pelapisan kayu dengan vernis dan pengawet sesuai SNI 7973:2013. Proses konstruksi mencakup persiapan lahan, pemasangan tiang pancang, balok, *decking*, dan pelapisan akhir untuk memastikan dermaga yang kokoh dan tahan lama.

5. Perencanaan selter edukasi

Perencanaan selter edukasi di ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi harus memperhatikan desain yang ramah lingkungan serta mematuhi peraturan yang relevan untuk memastikan keberlanjutan dan keselamatan. Selter harus mengikuti standar SNI 03-2847-2013 tentang Konstruksi Kayu untuk menjamin kekuatan dan daya tahan bahan bangunan. Perencanaan selter edukasi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perencanaan selter edukasi

Berdasarkan Gambar 8 perencanaan selter edukasi di Ekowisata Mangrove Cuku Nyi-Nyi akan dibangun sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk menjamin kualitas dan daya tahan. Lokasi yang strategis akan dipilih dengan mempertimbangkan kelestarian lingkungan mangrove. Desain bangunan menggunakan kayu, dengan ventilasi dan pencahayaan alami, mengikuti SNI 7973:2013 untuk struktur bangunan. Proses pembangunan meliputi persiapan lahan, fondasi, struktur utama, dan pemasangan utilitas sesuai standar SNI. Pemeliharaan rutin akan dilakukan untuk menjaga kebersihan dan keamanan. Proyek ini mengikuti semua peraturan dan menerapkan prinsip keberlanjutan lingkungan, menjadikan taman baca sebagai fasilitas edukatif yang aman dan nyaman bagi pengunjung.

4. KESIMPULAN

Kesimpulannya adalah wilayah ekowisata Cuku Nyi-Nyi memiliki nilai IKW yang masuk dalam kategori sesuai (S2) dan DDK yang masuk dalam kategori aman per hari, serta menghasilkan masterplan dan DED Infrastruktur pendukung. Ini menunjukkan bahwa daerah itu memiliki potensi untuk menjadi destinasi wisata mangrove. Hasil transek yang didapatkan yaitu vegetasi *rhizophora apiculata* dengan indeks nilai penting 249,744 dan *rhizophora Stylosa* dengan nilai Indeks penting 50,255. Luas area kawasan ini adalah 570 meter persegi dan masterplan yang dihasilkan memberikan panduan strategis dan tujuan untuk pengembangan infrastruktur pendukung, infrastruktur pendukung yang direkomendasikan untuk pengembangan termasuk perencanaan instalasi listrik, jalan beton, musholla, dermaga, dan selter edukasi. Sehingga, wisata mangrove Cuku Nyi-Nyi dapat dimanfaatkan untuk menjadi daerah ekowisata mangrove yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mukhlisi. (2017). "Potensi pengembangan ekowisata mangrove di Kampung Tanjung Batu, Kecamatan Pulau Derawan, Kabupaten Berau". *J. Manusia & Lingkungan*, 24(1), 23-30. <https://doi.org/10.22146/jml.22939>
- [2] Nugraha, B., Sukri Banuwa, I., & Widagdo, S. (2015). "Perencanaan Lanskap Ekowisata Hutan Mangrove Di Pantai Sari Ringgung Desa Sidodadi Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran". *Jurnal Sylva Lestari*, 3(2), 53-66. <https://doi.org/10.23960/jsl2353-66>
- [3] Herison, A., Romdania, Y., Wijaya, I. N., & Zakaria, A. (2021). "Terumbu karang dengan kesesuaian infrastruktur menjadikan Green Belt ekowisata bahari di Pulau Tegal Kabupaten Pesawaran". *Jurnal Pariwisata dan Budaya*, 12(2), 1-12. <https://doi.org/10.31294/khi.v12i2.9698>
- [4] Faturrohman, S., dan Marjuki, B. (2017). "Identifikasi Dinamika Spasial Sumberdaya Mangrove di Wilayah Pesisir Kabupaten Demak Jawa Tengah". *Majalah Geografi Indonesia*, 31 Maret 2017. <https://jurnal.ugm.ac.id/mgi>

- [5] Demotekay., P.G., Pakasi., C.B.D. Tengkere., E.G. (2022). “Persepsi masyarakat terhadap wisata hutan mangrove di Desa Budo Kecamatan Wori Kabupaten Minahasa Utara”. *Jurnal Transdisiplin Pertanian*, 18(2), 495-504. <https://doi.org/10.35791/agrsosek.v18i2.55219>
- [6] Kusaeri, Putro, S.P., dan Wasiq, J. (2015). “Potensi Sumberdaya Alam Hayati Kawasan Mangrove Pasar Banggi Kabupaten Rembang Sebagai Objek Ekowisata”. *Biosaintifika*, 2(5), 120-127. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v7i2.3955>
- [7] Tanjung, M., Patumona, S. dan Pinem, Y.S.N. (2022). “Restorasi hutan mangrove di Kecamatan Teluk Mengkudu Kabupaten Serdang Bedagai Sumatera Utara (Studi Kasus)”. *Jurnal Pengelolaan dan Teknologi Lingkungan*, 1(1), 25-36. <https://doi.org/10.31258/jptl.1.1.%25p>
- [8] Kamaruddin. (2019). “Analisis Daya Saing Pariwisata Kecamatan Labuhan Badas Kabupaten Sumbawa Untuk Meningkatkan Ekonomi Daerah”. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 16(3), 271-280. <https://doi.org/10.58406/jeb.v7i3.544>
- [9] Bengen, DG. (2002). Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Buku Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Bogor.
- [10] Mutmainah, H., Kusumah, G., Altanto, T., & Ondara, K. (2016). “Kajian kesesuaian lingkungan untuk pengembangan wisata di Pantai Ganting, Pulau Simeulue, Provinsi Aceh”. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 5(1), 19- 23. <https://doi.org/10.13170/DEPIK.5.1.3844>
- [11] Domo, A. M., Zulkarnaini, Z., & Yoswaty, D. (2017). “Analisis Kesesuaian dan Daya Dukung Kawasan Wisata Pantai (Studi Pantai Indah Sergang Laut di Pulau Singkep)”. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 4(2), 109- 116. <https://doi.org/10.31258/dli.4.2.p.109-116>
- [12] Yulianda, F. (2019). Ekowisata Perairan Suatu Konsep Kesesuaian dan Daya Dukung Wisata Bahari dan Wisata Air Tawar. Institut Pertanian Bogor Press, Bogor.
- [13] Maldonado, E., and Montagnini, F. (2005). “Carrying Capacity of La Tigra National Park, Honduras”. *Journal of Sustainable Forestry*, Vol 19(4), 29–48. https://doi.org/10.1300/J091v19n04_03
- [14] Yulianda, F. (2007). Ekowisata bahari sebagai alternatif pemanfaatan sumberdaya pesisir berbasis konservasi. Makalah Seminar Sains pada Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.
- [15] Mentayani, Ira, Bani Noor Muchamad, M. Ibnu Saud, dan Naimatul Aufa. (2021).”Penyusunan Masterplan Desa Berbasis Mandiri-Wisata pada Desa Batulicin Irigasi, Kalimantan Selatan.” *Jurnal Pengabdian Inovasi Lahan Basah Unggul*, 1(2), 89-99. <https://doi.org/10.20527/ilung.v1i2.4059>
- [16] Panjaitan , T. W. S. ., Masruchin , F. R. ., Al Muallif , M. D. ., Murtadho, A. ., Putri, A. ., Daputra , M. Y. ., & Sadullah, M. D. (2022). “Perencanaan Masterplan Desa Wisata Simoketawang – Sidoarjo”. Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat, Sidoarjo, 28 November 2022, 2(1), 420–429. <https://doi.org/10.33086/snpm.v2i1.992>
- [17] Wahab, S. (1992). Manajemen Kepariwisataan. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [18] Tondang, B. (2021). “Pengembangan Infrastruktur Komersil Pelabuhan Penyebrangan Ajibata di Kabupaten Toba Samosir Sumatera Utara”. *Jurnal Akademi Pariwisata Medan*, 9(1), 80-89. <https://doi.org/10.36983/japm.v9i1.123>
- [19] Herison, A. (2024). “An Assesment Of Spatial Suitability And Infrastructure Support Of Coral Reef In Promoting Ecotourim In The Pahawang Island”. *Journal of the Malaysian Insutute of Planners*, 22(2), 517-532. <https://doi.org/10.21837/pm.v22i31.1486>
- [20] Kaidu, T., Bhara, F. K., dan Kabupung, A. S. (2024). “Analisis Infrastruktur Pendukung Pariwisata di Labuan Bajo, Kabupaten Manggarai Barat dan Kabupaten Ende”. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 29(2), 202-214. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i2.3492>
- [21] Agusbushro, R., Makarau, V. H. And Sembel, A. (2007). “Analisis Kebutuhan Prasarana Dan Sarana Pariwisata Di Kawasan Taman Nasional Bunaken Kecamatan Bunaken Kepulauan Kota Manado”, 2(2), pp. 122–131. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/spasial/article/view/9094>.

TIPOLOGI BENTUK DAN DENAH RUMAH JOGLO MILIK PETANI JAWA DI PEDESAAN

*Baju Arie Wibawa¹, Atik Suprapti², Bambang Setioko³

¹Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang, Kota Semarang

^{2,3}Program Doktor Ilmu Arsitektur dan Perkotaan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^{*)} Email: bajuaw@upgris.ac.id

ABSTRACT

Pondokrejo Joglo Village is a traditional Javanese settlement with many joglo houses that are preserved both in terms of physical and socio-cultural aspects. This research was conducted to find a typology of roof shapes and house plans in Pondokrejo Village, Rembang. This research uses a descriptive method, with qualitative-descriptive analysis, and a typological approach through data collection in the field. This typology categorizes types based on the similarity of roof shapes and floor plan configurations used in each house. The results show that there are several types of house forms, namely Joglo, Wedhok (Bekuk Lulang), Paris (Limasan), and Sinom. The Tajug form is only used for mosques, and the Panggang Pe form is only for warehouses, bathrooms, stalls, huts, and others. The plan configuration varies from one building to three buildings. There is one similarity between the buildings, which is that the Joglo house is always at the front, however, there is an exception for the Sinom house, which is an embodiment of the 'pacekan Joglo' that functions as a pendopo-like building in the Javanese house concept. The "sinom" and "wedhok" house forms are building forms that already have a "soko guru" that can later be upgraded or transformed into a joglo.

Keyword: joglo, farmhouse, sinom, traditional house, typology

ABSTRAK

Kampung Joglo Pondokrejo merupakan pemukiman tradisional Jawa dengan banyaknya rumah joglo yang lestari baik dari segi fisik maupun sosial budayanya. Penelitian ini dilakukan untuk menemukan tipologi bentuk atap dan denah rumah-rumah di Desa Pondokrejo, Rembang. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif, dengan analisis kualitatif-deskriptif, dan pendekatan tipologi melalui pengambilan data di lapangan. Tipologi ini mengelompokkan tipe-tipe berdasarkan kemiripan bentuk atap dan konfigurasi denah yang digunakan pada setiap rumah. Hasil penelitian menunjukkan terdapat beberapa tipe bentuk rumah yaitu Joglo, Wedhok (Bekuk Lulang), Paris (Limasan), dan Sinom. Bentuk Tajug hanya digunakan untuk masjid, dan bentuk Panggang Pe hanya untuk gudang, kamar mandi, warung, gubug, dan lain-lain. Bentuk konfigurasi denah bervariasi dari satu bangunan hingga tiga bangunan. Ada satu kesamaan di antara bangunan-bangunan tersebut, yaitu rumah Joglo selalu berada di bagian depan, meskipun demikian, ada pengecualian untuk rumah Sinom, yang merupakan perwujudan dari 'pacekan Joglo' yang berfungsi sebagai bangunan mirip pendopo dalam konsep rumah Jawa. Bentuk rumah "sinom" dan "wedhok" merupakan bentuk bangunan yang sudah memiliki "soko guru" yang kelak dapat ditingkatkan atau ditransformasikan menjadi joglo.

Kata kunci: joglo, rumah petani, sinom, rumah tradisional, tipologi

1. PENDAHULUAN

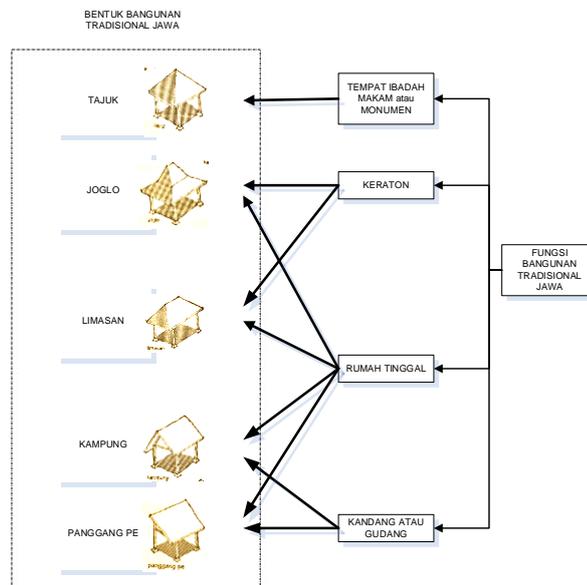
Rumah Joglo telah diakui, baik secara umum maupun internasional, sebagai representasi arsitektur tradisional Jawa. Dalam konsepsi Jawa, rumah Joglo mencerminkan sikap, wawasan, status sosial, finansial, dan budaya. Oleh karena itu, rumah tidak dapat dipisahkan dari gaya hidup seseorang. [1] Fenomena yang umum terjadi mengenai pertumbuhan keberadaan rumah Joglo yang tidak mengalami peningkatan (atau bahkan; penurunan) tidak berlaku pada rumah tinggal Joglo di Desa Pondokrejo, Bulu, Rembang. Ada sebuah anomali yang menunjukkan bagaimana rumah Joglo tetap bertahan dari tahun ke tahun, dan bahkan selalu bertambah. Menurut data pertumbuhan Desa Pondokrejo, pada tahun 2009 terdapat 200 rumah Joglo, kemudian, pada tahun 2017, jumlahnya bertambah menjadi 229 unit. [2] Rumah Joglo yang dilambangkan dengan nilai sosial yang tinggi ini biasanya dimiliki oleh para bangsawan dan ningrat dari kalangan masyarakat perkotaan. [3] Namun, di Desa Pondokrejo, rumah Joglo umumnya dimiliki oleh masyarakat petani. [4] Oleh karena itu, fenomena ini dianggap menarik untuk diteliti lebih lanjut. Tahap eksplorasi ini untuk menemukan tipologi bentuk atap dan denah rumah-rumah di Desa Joglo tradisional. Banyak orang yang telah melakukan penelitian tentang rumah Joglo milik orang kaya yang dimiliki oleh para saudagar dan bangsawan, baik dari negarigung maupun pesisir. Saat ini asih sedikit penelitian yang berfokus pada rumah-rumah Joglo milik para petani desa. [5] Harapannya penelitian ini dapat membuka jalan untuk melihat lebih jauh mengenai konsep dan makna rumah Joglo yang berada di desa-desa.

Dalam arsitektur terdapat hubungan yang saling mempengaruhi antara bentuk, fungsi dan makna. [6] Kondisi yang terus berubah inilah yang menjadikan bentuk arsitektur selalu berbeda untuk setiap lokasi dan budaya yang berbeda-beda. [7] Masing-masing lokasi, sosial dan budaya akan memiliki perbedaan bentuk arsitektur dengan masing-masing tipologinya. Dengan adanya tipologi pada sebuah objek arsitektur, perubahan yang berkaitan

dengan struktur dasar, sifat elemen, dan perkembangan bangunan utama dapat dianalisis. Tipologi juga dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan suatu tipe karena suatu tipe memiliki ciri-ciri khusus yang membedakannya dengan tipe lainnya. Dengan kata lain, tipologi adalah ilmu yang mempelajari klasifikasi tipe, yaitu dengan mempelajari ciri-ciri yang lebih spesifik dari suatu bangunan. Dengan demikian, tipologi tidak hanya dibedakan dari bentuknya saja, tetapi lebih kepada karakter bangunannya. [8] Dalam penelitian ini, studi tipologi digunakan untuk melihat tipe-tipe yang ada pada aspek geometri, terutama bentuk atap dan susunan konfigurasi dari rumah-rumah petani di desa tersebut.

Hingga saat ini masih banyak bangunan-bangunan Jawa dan lingkungan huniannya yang memiliki nilai arsitektur tinggi. Melihat bangunan-bangunan tersebut tidak bisa sebagai benda mati tetapi harus dilihat dari tiga aspek, yaitu artefak, sikap/perilaku, dan pola pikir orang atau masyarakat yang bersangkutan. [9] Tipe dasar arsitektur tradisional Jawa terdiri dari Joglo, Limasan, Kampung, dan Panggang Pe. [3] Masing-masing tipe ini memiliki konfigurasi pengembangan yang berbeda-beda. Sedangkan bentuk-bentuknya juga memiliki konsep dan fungsi yang berbeda, tergantung dari keaslian tradisinya. Tajuk adalah gaya yang digunakan untuk tempat ibadah dan pemakaman. Joglo, di sisi lain, sering diaplikasikan pada bangunan megah untuk Keraton dan rumah-rumah bangsawan. Limasan dan Kampung digunakan untuk rumah tinggal. Sementara itu, Panggang Pe, yang paling sederhana di antara semuanya, sering digunakan untuk warung, loteng, atau gudang.

Setiap rumah tradisional yang berfungsi sebagai tempat tinggal memiliki korelasi yang kuat dengan gaya hidup pemiliknya. Oleh karena itu, untuk melakukan studi tentang rumah itu sendiri, penting juga untuk memahami hubungan penghuni dengan tempat tinggal yang telah disebutkan di atas. Selain mengamati Joglo sebagai rumah tradisional Jawa, kita juga harus menyelami keajaiban dan budaya masyarakat Jawa. Masyarakat Jawa terbagi menjadi dua, yang terdiri dari kaum bangsawan (pewaris gelar), dan rakyat jelata (tidak berhubungan dengan bangsawan). [10] Selanjutnya, hal ini mengakibatkan adanya penambahan satu tipe lagi, yaitu pedagang. Dalam masyarakat, tipe pedagang mendapat tempat di antara bangsawan dan rakyat jelata karena kekayaan dan kemakmuran mereka. Masing-masing tipe masyarakat Jawa memiliki perbedaan yang jelas dalam gaya hidup hunian mereka, sehingga mereka semua memiliki jenis rumah yang berbeda. Bagi para bangsawan, mereka cenderung menyukai rumah Joglo. Alasan dibalik hal ini adalah karena pada saat itu, rumah Joglo melambangkan kekayaan dan status sosial, sehingga menjadi sesuatu yang tidak dimiliki oleh rakyat jelata. Kerumitan dalam pembuatan Joglo, serta material berkualitas tinggi yang dibutuhkan dalam pembangunannya, meningkatkan nilai rumah Joglo. Itulah bagaimana Joglo mendapat reputasi sebagai rumah yang tidak semua orang mampu membelinya, dibandingkan dengan rumah biasa lainnya. [11] Masyarakat Jawa di masa lalu percaya bahwa rumah Joglo tidak boleh dimiliki oleh orang biasa; hanya kaum bangsawan, istana raja, pangeran, serta orang-orang yang dihormati oleh masyarakat yang diizinkan memilikinya. [12].



Gambar 13. Bentuk rumah Jawa dan kepemilikannya

Biasanya, hanya masyarakat yang lebih kaya yang memiliki rumah tipe Joglo. Seperti yang dikatakan di atas, untuk membangun rumah ini, dibutuhkan lebih banyak bahan bangunan dibandingkan dengan jenis rumah tradisional lainnya, dan hal ini membuat harganya menjadi lebih mahal. Bahkan di masa lalu, masyarakat Jawa percaya bahwa hanya orang-orang terhormat yang berhak memiliki rumah Joglo. [3] Keluarga tipe menengah (pedagang) dan tipe atas (bangsawan) hidup dalam unit-unitnya, yang disatukan dalam bentuk lingkungan yang nyata (alam, sosial,

dan spasial), bahkan dalam bentuk yang abstrak (mistik dan spiritual), dan juga telah digambarkan sejak jaman dahulu. Keberadaan lingkungan budaya Jawa dan rumah joglo memiliki akar lingkungan yang kuat dan tidak dapat dimanipulasi dengan mudah. Tipe Joglo, dibandingkan dengan tipe lain seperti Panggang Pe, Kampung, dan Limasan, ternyata memiliki kenyamanan dan daya tahan yang lebih baik. [11] Dahulu, masyarakat memandang bahwa mereka yang memiliki rumah Kampung adalah orang miskin. Dari sini, terciptalah klasifikasi status sosial atas tipe rumah. Status sosial terendah yang dimiliki oleh masyarakat desa (umumnya juga dianggap sebagai orang yang kurang mampu) cenderung memiliki tipe rumah Panggang Pe dan Kampung. Sementara itu, untuk status kelas sosial yang lebih tinggi, mereka memiliki tipe rumah Joglo. Tipe Joglo biasa dimiliki oleh para saudagar kaya dan bangsawan, baik yang berasal dari negarigung maupun pesisir. [3] Fenomena yang sering terjadi adalah hanya masyarakat yang bergelar atau masyarakat kelas sosial yang lebih tinggi yang memiliki akses untuk memiliki rumah Joglo. Namun, di Pondokrejo, desa petani, Joglo menjadi tipe rumah yang hampir dimiliki oleh setiap keluarga. Meskipun kemampuan finansial mereka berada di bawah para pedagang dan bangsawan, mereka tetap berminat untuk memiliki rumah Joglo. Kontradiksi ini menjadi topik yang menarik untuk diteliti lebih lanjut. Bagaimana tipologi rumah Joglo di Desa Pondokrejo? Penelitian ini menganalisis pertanyaan tersebut dengan mengamati tipologi bentuk atap dan denah rumah Joglo di desa petani tersebut.



Gambar 14. Pemandangan dengan lansekap rumah joglo di Pondokrejo

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif, dengan analisis kualitatif-deskriptif, dan pendekatan tipologi. [13] Sampel dikumpulkan melalui purposive sampling, dengan menggunakan bentuk rumah sebagai unit analisis (atap, dinding, dan struktur). Ke-32 sampel rumah tersebut memiliki bentuk dan jumlah bangunan yang bervariasi. Sementara itu, sampel untuk analisis tipologi disebarkan secara keseluruhan kepada 422 keluarga dan 814 bangunan yang ada di desa tersebut. Kemudian sampel untuk analisis konfigurasi denah rumah dipilih secara acak di 10 RT. [5] Terakhir, untuk mempertahankan tujuan purposive sampling, sampel diubah menjadi hanya rumah-rumah yang masih memiliki bentuk asli dan tidak terlalu banyak menggunakan material modern.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

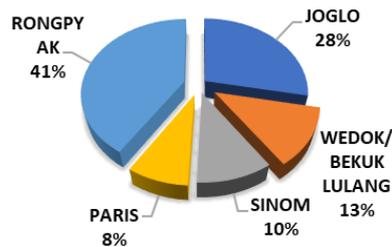
Hunian tradisional yang terletak di Desa Pondokrejo ini terdiri dari sebuah komunitas yang masih memegang teguh gaya rumah Joglo yang lestari. Kampung ini berada di Desa Pondokrejo, Bulu, Rembang, Jawa Tengah. Data desa menyebutkan bahwa terdapat 1.322 jiwa dalam 484 Kartu Keluarga pada tahun 2017. Sebagian besar dari mereka bekerja di bidang pertanian untuk mencari nafkah. Terdapat 825 petani dan 60 buruh tani. Persentase penduduk desa yang bekerja di sektor pertanian mencapai 84,3% atau 885 orang. Data ini menunjukkan bahwa pertanian telah menjadi karakter dan budaya penduduk desa. Pekerjaan utama penduduk Desa Pondokrejo adalah bertani. Hal ini tercermin dari kondisi alam desa yang berada di dataran rendah dengan pemanfaatan lahan sawah yang mendominasi. Pertanian telah menjadi bagian dari tradisi masyarakat desa. Oleh karena itu, masyarakat sangat menghormati alam dan berusaha untuk menjalankan tradisi nenek moyang mereka. Masyarakat di desa ini cenderung memiliki gaya hidup yang sederhana dan sederhana, aktivitas sehari-hari mereka terutama berkisar pada pergi ke sawah dari pagi hingga sore hari.

Tipologi Bentuk Atap

Tabel berikut ini menunjukkan data jumlah bangunan menurut bentuknya di setiap kelurahan:

Tabel 4. Jumlah bangunan menurut bentuk atapnya

RT	JENIS RUMAH					JUMLAH
	JOGLO	WEDOK/ BEKUK LULANG	SINOM	PARIS	RONGPYAK	
1	25	8	4	9	26	72
2	35	12	18	9	49	123
3	10	4	3	4	18	39
4	36	21	24	10	73	164
5	35	21	12	7	52	127
6	29	13	4	8	32	86
7	16	9	4	8	19	56
8	7	6	6	5	15	39
9	14	4	5	2	23	48
10	22	3	3	5	27	60
	229	101	83	67	334	814



Gambar 15. Prosentase bentuk atap yang digunakan

Grafik menunjukkan bahwa bentuk atap yang paling banyak digunakan adalah Rongpyak atau Pelana/Kampung dengan jumlah 334 unit atau 41%. Bentuk Joglo menyusul di urutan kedua dengan 229 unit atau sekitar 28% dari keseluruhan bangunan. Data keseluruhan bangunan di lokasi menghasilkan tipologi bentuk atap sebagai berikut: [4]

a. Joglo

Pada umumnya, rumah tinggal paling banyak menggunakan tipe ini. Bentuk Joglo memiliki ciri khas tersendiri, yaitu kemiringan yang curam dan tinggi yang seolah-olah membelah atap menjadi dua. Ciri khas lain yang membuat bangunan ini dianggap sebagai tipe Joglo adalah soko guru di bagian tengah bangunan, bersama dengan tumpangsari. Ketinggian atap Joglo yang tinggi memiliki tujuan tersendiri, yaitu agar terlihat menarik perhatian dari kejauhan. Jumlah genteng yang digunakan pada lereng yang curam menunjukkan ukuran tinggi atap, apakah itu 16, 17, 18 buah, dan seterusnya. Semakin tinggi atap berdiri, semakin tinggi pula status sosial pemiliknya. Semua rumah Joglo memiliki soko guru dengan diameter kolom 12, 16, 18, 20, 24, atau lebih besar. Semakin lebar kolomnya, semakin mahal harganya. Oleh karena itu, lebar kolom juga mencerminkan kemakmuran dan kemakmuran pemiliknya. Hal yang sama juga berlaku untuk tumpang sari. Jumlah tumpang sari yang digunakan sama dengan ukuran rumah. Semakin banyak tumpang sari yang digunakan, maka semakin besar rumah tersebut, dan semakin tinggi pula status sosialnya. Penerapan tumpang sari juga berbeda dalam jumlah dan ukuran yang digunakan. Kualitas ini juga sejalan dengan kuantitasnya; semakin penting soko guru, semakin besar kayu tumpangsari yang dibutuhkan, semakin besar pula harga yang harus dikeluarkan. Tidak semua orang mampu membeli gaya tumpangsari yang megah, sehingga hal ini juga mencerminkan kemampuan finansial pemiliknya. Meskipun gaya Joglo hanya merupakan tipe kedua yang paling banyak digunakan di desa ini, namun rasa hormat dan kehormatan yang dimiliki masyarakat terhadap tipe ini masih menonjol. Atap Joglo yang tinggi tampak menonjol dari kejauhan dan melengkapi pemandangan lanskap alam desa. Setelah dianalisa lebih lanjut, di desa Pondokrejo yang masyarakatnya didominasi oleh masyarakat dengan status sosial menengah ke bawah, terdapat banyak rumah Joglo dengan ukuran soko guru yang lebih kecil dan jumlah tumpangsari yang lebih sedikit. Seperti yang dikatakan di atas, kedua faktor tersebut sama dengan ukuran bangunan secara keseluruhan. Jadi, rumah Joglo di desa ini juga cenderung memiliki ukuran yang lebih kecil daripada rumah Joglo dari daerah lain.



Gambar 16. Bangunan bentuk Joglo

Hasil wawancara dengan penduduk setempat menunjukkan betapa masyarakat desa Pondokrejo sangat menghormati jenis rumah ini; Joglo memiliki makna tersendiri bagi budaya mereka. Meskipun tidak semua orang di desa ini sudah memiliki rumah tipe ini, namun memiliki rumah tipe ini masih menjadi bagian dari tujuan hidup mereka ketika mereka sudah mampu secara finansial untuk membangunnya.

b. Paris (Limasan)

Tipe Paris adalah tipe rumah Jawa yang juga dikenal dengan sebutan Limasan. Berdiri sebagai bangunan utama, Limasan juga menjadi alternatif bagi masyarakat yang tidak mampu membeli rumah tipe Joglo. Dibandingkan dengan Joglo, tipe Limasan memiliki bentuk yang lebih sederhana dan tidak terlalu rumit seperti soko guru dan tumpangsari. Itulah mengapa biaya pembangunan tipe ini jauh lebih murah dibandingkan dengan Joglo. Ciri khas yang dimiliki tipe Limasan adalah tinggi atapnya yang lebih rendah, namun lebih luas. Ada dua jenis Limasan, yaitu Bekuk lulang dan Wedhok. Yang membedakan antara satu jenis dengan jenis lainnya adalah penempatan ventilasi.



Gambar 17. Bangunan bentuk Paris/Limasan

Tipe Limasan memiliki jumlah paling sedikit di desa ini, sekitar 67 rumah secara keseluruhan (8%). Menurut klasifikasi status rumah tradisional Jawa, tipe Limasan berada di urutan kedua setelah Joglo dalam hal kemampuan finansial pemiliknya. Alasannya adalah karena penduduk desa sering memilih untuk membangun rumah Joglo yang lebih kecil dari tipe ini. Ketika pemilik rumah masih belum mampu membangun Joglo, beberapa orang biasanya membuat Limasan terlebih dahulu di area depan rumah mereka. Namun demikian, setelah mereka mampu membangun Joglo, Limasan harus mundur ke belakang; pemiliknya akan pindah. Limasan memiliki kelas yang lebih tinggi daripada Panggang Pe, sehingga gaya ini tidak cocok untuk bangunan yang berorientasi pada pelayanan seperti gudang.

c. Bekuk Lulang or Wedhok (Kampung)

Di Desa Pondokrejo, warga menyebut Beluk Lulang sebagai Wedhok. Bentuk atapnya khas tipe Kampung, dengan ventilasi di sepanjang bagian horizontal. Nama wedhok berasal dari tradisi, biasanya dimiliki oleh pihak keluarga istri ketika mereka masih belum mampu membeli Joglo. Nama ini juga berbeda dengan tipe Lanang, yang diberikan untuk bangunan dengan tipe Joglo.



Gambar 18. Bangunan bentuk Wedhok / Beluk Lulang

Bentuk atap yang memiliki bukaan pada bagian horizontal, baik pada sayap kiri maupun kanan, memungkinkan asupan sirkulasi udara yang lebih baik di sekitar rumah, termasuk penanganan pembuangan asap perapian yang lebih baik. Bukaan samping juga berguna untuk asupan pencahayaan alami untuk bagian interior tengah.

d. Sinom

Gaya Sinom memperindah keunikan di wilayah desa Pondokrejo. Dalam tipologi arsitektur Jawa, Sinom adalah versi pengembangan dari bentuk utama Joglo. Bentuk ini memiliki soko guru, namun bagian atap tengahnya tidak ditinggikan. Yang membedakan Sinom dengan Joglo adalah jumlah tumpangsari. Selain itu, Joglo memiliki ruang ekstra di sekitar kolom soko guru di keempat sudutnya; sementara itu, Sinom tidak memilikinya (Sinom hanya memiliki atap yang menjorok ke dalam).



Gambar 19. Bangunan bentuk Sinom

Berdasarkan konfigurasi penempatannya, Sinom selalu berada di depan Joglo. Menurut para sesepuh, Sinom adalah fondasi utama untuk berkembang menjadi bangunan Joglo seutuhnya nanti. Ketika pemilik akhirnya dapat menutupi biaya material, mereka dapat meningkatkan rumah Sinom menjadi Joglo dengan meninggikan soko guru pusat, mengangkat atap. Tujuan menempatkan Sinom di bagian depan adalah karena fungsinya, gazebo terbuka (pendopo), dan teras rumah.

e. Rongpyak

Gaya Rongpyak adalah bentuk bangunan kampung dalam arsitektur Jawa. Pada dasarnya, rumah ini berbentuk empat persegi panjang. Pada sisi atapnya, ditutupi dengan penutup kayu. Bagi penduduk kampung yang belum mampu membangun rumah tipe lain, Rongpyak biasanya menjadi pilihan. Tipe ini juga berfungsi sebagai unit rumah kedua atau ketiga untuk kebutuhan servis (baik dapur atau gudang) di bagian belakang. Tipe Rongpyak menempati posisi pertama dalam data survei sebagai tipe yang paling banyak digunakan oleh penduduk desa Pondokrejo. Hal ini dikarenakan tipe Rongpyak/Kampung ditemukan lebih awal dibandingkan dengan tipe lainnya, Limasan dan Joglo. Jadi, tipe ini telah berdiri lebih lama dalam budaya warga, sehingga mendapatkan reputasi sebagai rumah tua.



Gambar 20. Bangunan bentuk Rongpyak

f. Panggang Pe

Panggang Pe mendapat predikat sebagai rumah yang paling sederhana (dalam hal kerumitan) dalam sejarah arsitektur Jawa. Rumah ini berbentuk bangunan kecil dengan satu empyak (atap) dan empat tiang atau lebih, yang pada awalnya difungsikan sebagai tempat menjemur pakaian. Sejauh yang diketahui, Panggang Pe menyandang predikat sebagai tipe rumah Jawa tertua yang pernah ditemukan, karena kesederhanaannya, mudah dibangun, murah dalam biaya pembangunan, dan risiko kerusakan/ penuaan yang lebih kecil.



Gambar 21. Bangunan bentuk Panggang Pe

Di desa Pondokrejo, tipe Panggang Pe biasanya menjadi tambahan pada unit rumah induk yang sudah ada, tidak berdiri sendiri. Di sisi lain, tipe ini jarang sekali difungsikan sebagai rumah tinggal, kecuali jika pemiliknya sudah sangat miskin. Sebaliknya, tipe ini cocok untuk dijadikan lapak-lapak untuk berdagang, warung, atau kios-kios kecil, dan gubug kecil di tengah sawah (gubug).

g. Tajug

Tajug adalah jenis yang digunakan untuk tempat ibadah seperti masjid atau mushola, dan tidak cocok untuk rumah. Hal ini sejalan dengan budaya arsitektur Jawa yang mengatakan bahwa Tajug tidak digunakan untuk jenis bangunan lain selain masjid. Di Desa Pondokrejo, beberapa mushola dan masjid menggunakan gaya Tajug dengan denah persegi Panjang.



Gambar 22. Bangunan bentuk Tajug

Tipologi Jumlah Bangunan Dalam Rumah

Dari 422 sampel rumah yang diambil di lokasi Desa Pondokrejo, terdapat beberapa jenis konfigurasi rumah, yaitu rumah dengan 1, 2, 3, 4, dan 5 unit bangunan. Rumah dengan dua unit bangunan memiliki jumlah tertinggi dengan total 58,8%, diikuti oleh rumah dengan satu unit bangunan dengan 25,4%, rumah dengan tiga unit bangunan dengan 13,7%, rumah dengan empat unit bangunan dengan 1,9%, dan yang terakhir adalah rumah dengan lima unit bangunan dengan 0,2%. Untuk dua tempat terakhir, yaitu 4-5 unit bangunan, rendahnya angka ini disebabkan oleh perubahan tujuan penggunaan rumah tinggal secara umum. Saat ini, pemilik rumah juga menggabungkan rumah mereka untuk keperluan bisnis, yang tidak dianalisa lebih lanjut dalam penelitian ini.

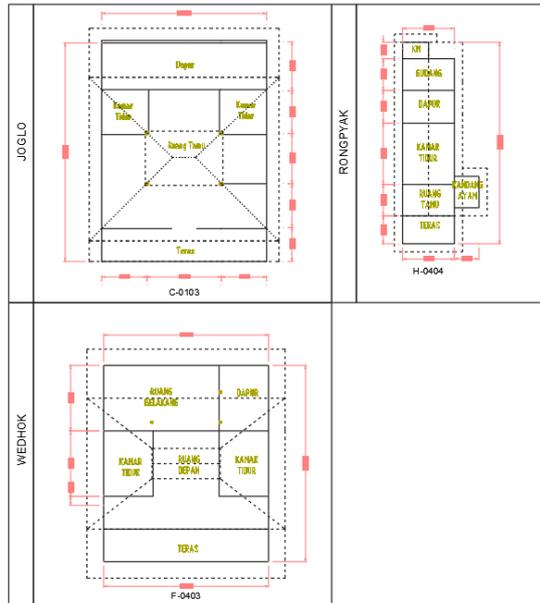
a. Rumah dengan Satu Bangunan

Bagi keluarga yang memiliki kemampuan finansial yang memadai, biasanya mereka membangun rumah Joglo tunggal sebagai rumah utama. Joglo tunggal juga menjadi Joglo pertama yang dibangun oleh orang tua istri dalam rumah tangga. Sebagai unit rumah utama, umumnya rumah ini cocok untuk keluarga kecil/baru. Wedhok, jenis rumah tradisional lainnya, merupakan alternatif bagi keluarga yang tidak mampu membayar biaya pembangunan rumah Joglo. Rongpyak, di Desa Pondokrejo, hanya ada satu jenis unit rumah, yaitu Rongpyak. Tipe rumah ini merupakan tipe rumah yang paling murah dan sederhana, yang dimiliki oleh warga dengan kemampuan finansial yang rendah. Sementara itu, ada beberapa tipe yang tidak ada di Desa Pondokrejo. Tipe-tipe tersebut adalah Limasan (Paris), Panggang Pe, dan Tajug. Ada pengecualian untuk tipe Panggang Pe, di mana tipe ini tidak sepenuhnya tidak ada. Masyarakat di desa ini masih membangun tipe ini sebagai tambahan dari bangunan utama mereka, yang digunakan sebagai kandang hewan atau dapur. Untuk Tajug, seperti yang sudah dibahas sebelumnya, hanya berfungsi untuk masjid dan mushola. Fungsi tersebut membuat tipe Tajug tidak cocok untuk dijadikan rumah tinggal.

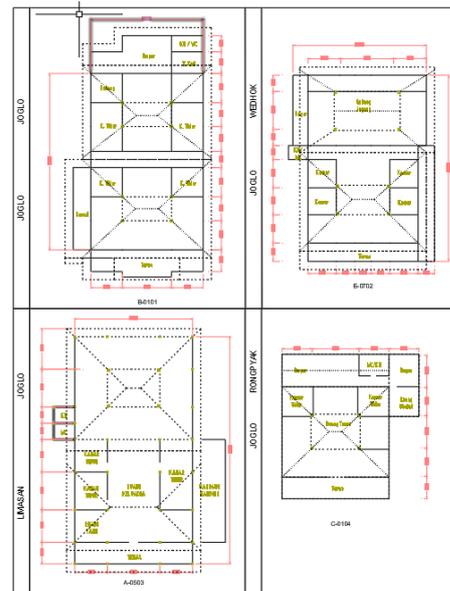
b. Rumah dengan Dua Bangunan

Di antara konfigurasi dua unit bangunan lainnya, kombinasi Joglo-Joglo pada akhirnya menjadi yang termahal dalam konstruksi, karena mencerminkan kemakmuran pemiliknya. Kombinasi Joglo-Wedhok adalah konfigurasi yang paling banyak digunakan untuk tipe dua unit bangunan. Pada konfigurasi ini, rumah Wedhok biasanya ditempatkan di belakang Joglo. Sesuai dengan namanya, Wedhok adalah orang tua atau kerabat dari pihak istri yang akan membangun rumah tersebut jika mereka masih belum mampu membeli Joglo. Tipe berikutnya adalah Joglo-Ropyak, kombinasi antara tipe yang paling mahal (Joglo) dan tipe yang paling murah (Rongpyak, selain Panggang Pe). Unit rumah kedua berfungsi sebagai loteng hewan atau gudang. Kombinasi terakhir, Limasan-Joglo, adalah konfigurasi di mana Joglo berdiri di belakang. Dari akuisisi data di lapangan, didapatkan fakta bahwa rumah Joglo pada tipe ini belum sepenuhnya selesai dibangun, masih belum tertutup tembok, dan tampak masih baru. Dalam hal ini, rumah Limasan dibangun terlebih dahulu sebelum Joglo, sehingga rumah kedua sengaja ditempatkan di belakang. Setelah wawancara lebih lanjut dengan pemiliknya, mereka mengungkapkan pemikiran mereka untuk membangun rumah Joglo yang berukuran lebih besar untuk menggantikan rumah Limasan mereka saat ini.

Sementara itu, tipe kombinasi lain yang tidak termasuk Joglo mencerminkan status ekonomi pemiliknya karena biayanya yang tinggi. Ada kemungkinan pemilik rumah ini akan meng-upgrade rumah non-Joglo mereka menjadi rumah Joglo setelah mereka menabung. Entah itu untuk memperbaiki rumah Limasan yang sudah ada atau membangun rumah Joglo baru di depan rumah yang sudah ada. Ada juga fenomena dimana meskipun orang tua masih belum memiliki rumah Joglo, mereka lebih memprioritaskan membangun rumah Joglo untuk anak perempuannya daripada anak laki-laki.



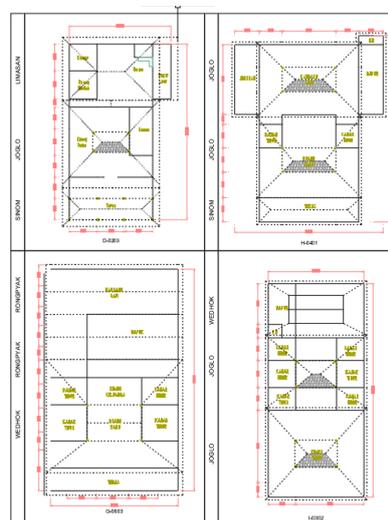
Gambar 23. Denah rumah dengan satu bangunan



Gambar 24. Denah rumah dengan dua bangunan

c. Rumah dengan Tiga Bangunan

Penelitian menunjukkan bahwa keluarga mapan menggunakan ketiga tipe unit bangunan ini dengan beberapa anak dan lebih banyak kerabat. Dengan menambahkan lebih banyak unit, mereka memiliki lebih banyak ruang untuk ditinggali. Ada beberapa konfigurasi untuk tipe ini. Pertama, Joglo-Joglo-Wedhok/Paris, dengan bangunan Joglo memenuhi area depan lahan. Tujuan dari konfigurasi pemblokiran ini adalah untuk melambungkan Joglo sebagai yang tertinggi, status sosial, dan nilai biaya. Kemudian bangunan ketiga berfungsi sebagai dapur, gudang, atau loteng. Ketika pemilik rumah dapat membangun tipe ini, maka mereka dianggap mampu secara finansial. Oleh karena itu, mereka tidak lagi membangun tipe yang paling murah, Rongpyak. Sebagai gantinya, mereka menggunakan tipe Wedhok untuk fungsi jasa.



Gambar 25. Denah rumah dengan tiga bangunan

Seperti tipe sebelumnya, konfigurasi Joglo-Rongpyak-Rongpyak juga mengutamakan Joglo dengan menempatkannya di bagian depan. Sebagai tipe bangunan yang paling murah, unit Rongpyak memiliki peluang besar untuk di-upgrade menjadi Wedhok atau Joglo. Sementara itu, Sinom-Joglo-Joglo/Rongpyak memiliki bangunan Sinom di bagian depan. Ada perbedaan yang hanya dimiliki oleh Sinom dalam tiga tipe unit bangunan: konstruksi unik dari tiang-tiang soko guru. Hal ini ditempatkan sedemikian rupa sehingga memungkinkan untuk dikembangkan dalam peningkatan rumah lebih lanjut. Menurut penduduk setempat, mereka akan merenovasi bangunan Sinom dengan meninggikan bagian tengah atap. Tipe konfigurasi terakhir untuk tipe tiga bangunan adalah kombinasi apapun yang tidak termasuk Joglo atau Sinom. Melihat kemungkinan pengembangan di masa

depan, bangunan yang berada di depan tidak lagi berfungsi sebagai gazebo, tetapi mungkin juga berfungsi sebagai garasi.

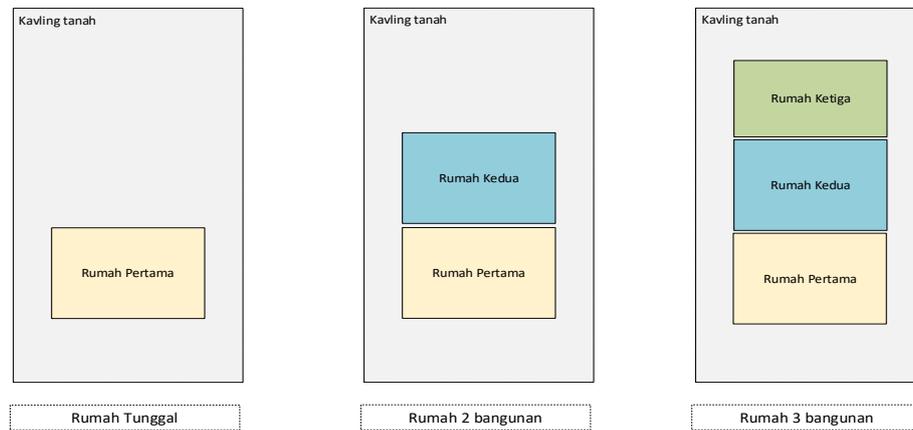
Tata Masa Bangunan Rumah Yang Memanjang Depan-Belakang

Identifikasi dan analisis tata dan bentuk bangunan yang ada di Pondokrejo berdasarkan hasil identifikasi bentuk-bentuk denahnya dapat diklasifikasikan menjadi tipe 1, 2, 3,4 dan 5 bangunan. Dari data yang ditemukan di lapangan, maka rumah dengan dengan 2 bangunan merupakan tipe terbesar disusul bangunan dengan tipe tunggal. Rumah dengan tipe 4 dan 5 bangunan adalah sangat jarang dan ditemukan dengan kondisi yang lebih modern dan fungsi keluarga yang tidak berbasis pada petani lagi. Fungsinya sudah banyak menjadi campuran dengan fungsi-fungsi tambahan usaha dan kegiatan modern lainnya.

Dalam pembahasan konsep tata masa bangunan rumah tinggal asli di Pondokrejo terdiri dari beberapa masa bangunan (antara 1 sampai 3) yang dapat beragam dari 5 bentuk bangunan untuk rumah yang ada (Joglo, Paris, Bekuk Lulang atau Wedhok dan Rongpyak). Dari hasil pengamatan dan wawancara dengan para informan, maka diperoleh informasi bahwa letak dari masing-masing bentuk bangunan memiliki ketentuan dan aturan yang berbeda-beda.

Tata bangunan rumah-rumah di Desa Pondokrejo merupakan rumah dengan jumlah masa bangunan 1 sampai 3 yang tersusun secara “memanjang” dari depan ke belakang. Konfigurasi tata masa memanjang ke belakang ini berlaku untuk semua rumah-rumah yang ada. Dari pengamatan dan wawancara yang telah dilakukan, maka konsep tata bangunan dan pengembangan rumah di Pondokrejo dapat dideskripsikan sebagai berikut:

- Rumah Pertama atau rumah inti merupakan rumah pertama yang dibangun untuk suatu keluarga. Bagi keluarga baru atau warga yang kurang mampu, maka mereka akan membuat satu bangunan sebagai rumah induk (inti). Letaknya bila merupakan bentuk joglo akan ditempatkan di bagian terdepan dari kavling atau “kampung”, namun bila bukan bentuk joglo, maka mereka akan membangun di bagiak yang lebih belakang sehingga suatu saat bila mampu membangun joglo akan ditempatkan di depannya. Rumah tunggal ini akan berfungsi sebagai rumah inti yang akan mewadahi semua fungsi dan aktivitas keluarga.
- Rumah kedua di mana tahap pembangunan kedua biasanya berupa rumah kedua, penambahan bangunan dapat di depan atau di belakang rumah pertama. Fungsi bangunan untuk fungsi service sudah mulai dipisahkan pada rumah ini
- Rumah ketiga di mana pada rumah ini sudah lengkap dipisahkan antar fungsi-fungsi ruang utama, kedua dan service-nya.



Gambar 26. Konsep tata bangunan memanjang

Dalam konsep tata masa ini terlihat adanya konsistensi pada teori *center and duality*, di mana terdapat pencerminan antara sis kanan dan kiri masa bangunan dengan fungsinya. [14]. Pusat (*center*) yang terbentuk di bangunan ini adalah pada rumah joglo yang biasanya terletak di bagian terdepan

4. KESIMPULAN

Tipologi berdasarkan bentuk atap yang digunakan untuk rumah tradisional Jawa diklasifikasikan menjadi Joglo, Wedhok (Beluk Lulang), Paris (Limasan), dan Sinom. Tipe yang digunakan untuk ibadah, seperti masjid, adalah Tajug. Kemudian Panggang Pe hanya merupakan bangunan tambahan untuk rumah utama yang sudah ada. Di Desa Pondokrejo, tipe Sinom memiliki keunikan tersendiri. Sinom dianggap sebagai embrio Joglo, yang berarti di

masa depan dapat ditingkatkan menjadi Joglo dengan mengubah ketinggian atap tengahnya. Selain itu, Sinom juga berfungsi sebagai bangunan mirip gazebo (pendopo). Pada kebanyakan kasus yang ditemukan di desa, masyarakat memiliki satu hingga tiga unit bangunan dengan konfigurasi yang bervariasi. Namun, pada umumnya, mereka berdiri dengan satu bangunan utama di bagian depan, kemudian ditambah 1-2 bangunan di belakangnya. Konfigurasi ini selalu berdiri secara linier, baik ke depan maupun ke belakang. Meski demikian, tipe Joglo tetap menjadi tipe rumah yang paling banyak diminati oleh masyarakat. Bangunan Joglo selalu berada di bagian terdepan, bila memiliki 2 bangunan joglo maka joglo yang lebih besar dan lebih baik akan berada di depan. Bangunan Sinom sebagai “*bakalan*” joglo bisa berada di depan joglo dengan fungsi sebagai “pendopo” yang bersifat terbuka untuk menerima tamu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryanto Sastroatmodjo, *Citra diri orang Jawa*, 1st ed. Yogyakarta: Yogyakarta Narasi, 2006.
- [2] 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.
- [3] Hamzuri, *Rumah Tradisional Jawa*. Jakarta: Proyek Pengembangan Permuseuman DKI Jakarta, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1985.
- [4] B. A. Wibawa, “Pondokrejo, Kampung Joglo yang Lestari.” Semarang, p. 14, Dec. 23, 2018. [Online]. Available: <http://epaper.suaramerdeka.com/epaper/detail/2018/12/23/14>
- [5] B. A. Wibawa, “‘Jangkeping Urip’ sebagai Basis Bentuk Rumah Joglo,” Semarang, 2024.
- [6] P. Salura and B. Fauzy, “The Ever-rotating Aspects of Function-Form-Meaning in Architecture,” *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, vol. 2, no. 7, pp. 7086–7090, 2012, [Online]. Available: www.textroad.com
- [7] Clifford Geertz, *The Interpretation Of Cultures*. New York: BasicBookInc., 1973.
- [8] Spiro Kostof, Greg Castill, and Richard, *A History of Architecture*. New York: Oxford University Press, 1995.
- [9] A. Ronald, *Nilai-Nilai Arsitektur Rumah Tradisional Jawa*, 1st ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2005.
- [10] Clifford Geertz, “The Religion of Java,” 1961. doi: 10.1525/aa.1961.63.3.02a00220.
- [11] A. Ronald, *Pengembangan Arsitektur Rumah Jawa*. Yogyakarta: Cahaya Atma Pustaka, 2012.
- [12] Hamah Sangrim, “Perkembangan Rumah Jawa,” pp. 1–32, 2011.
- [13] J. W. Cresswell, *Qualitative Inquiry & Research design, Choosing Among Five Approach*. Thousand Oak: Sage publication, 2007.
- [14] G. Tjahyono, “Cosmos Centre and duality in Javanese Architectural Tradition: the Symbolic Dimension of House Shapes in Kota Gede and Surrounding,” University of California, 1989.

IMPLEMENTASI METODE *EARNED VALUE* DENGAN *LIFE CYCLE COST* (LCC) PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG PENDIDIKAN

Ni Komang Sintyawati¹, Wayan Gde Erick Triswandana², *Putu Aryastana³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Denpasar

³Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Warmadewa, Denpasar

^{*)}Email: aryastanaputu@warmadewa.ac.id

ABSTRACT

Construction projects are a series of activities that are typically one-time and short-term. Ongoing projects often experience delays, both in terms of completion time exceeding the plan and implementation costs being higher than those projected in the Implementation Budget Plan (RAP). Deviations from the plan must be continuously measured to control costs and time. Ineffective project management is marked by significant deviations in costs and time. The purpose of this research is to evaluate the performance of the Warmadewa University Educational Building construction in terms of cost and time using the Earned Value Method, and to identify solutions to address delays. Additionally, to determine the economic value of a building based on its operational costs throughout its lifespan, Life Cycle Cost (LCC) is used in this study. This research employs a descriptive method with a quantitative approach, utilizing necessary data such as plan drawings, RAB, time schedules, and weekly reports. The performance analysis results show an SPI value of 0.81, indicating that the project is delayed from the planned schedule. Meanwhile, the CPI value is 1, meaning that the work is in line with the planned budget. If project performance remains stable until completion, the estimated total cost (EAC) will match the plan at IDR 23,948,882,427.62. The estimated project time (EAS) is longer than the initial plan, from 380 days to 428 days, indicating an extension of 48 days. Using LCC calculations for the Warmadewa University Educational Building project, the total maintenance cost for wall, floor, and ceiling work is IDR 19,403,342.58.

Keyword: Project cost, completion time, earned value method, and life cycle cost

ABSTRAK

Proyek konstruksi merupakan serangkaian aktivitas yang biasanya bersifat satu kali dan berjangka pendek. Proyek yang berlangsung sering mengalami keterlambatan, baik dari segi waktu penyelesaian yang melampaui rencana dan biaya pengeluaran pelaksanaan yang lebih tinggi dari yang diproyeksikan dalam Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP), penyimpangan dari rencana harus diukur secara berkelanjutan untuk mengendalikan biaya dan waktu. Pengelolaan proyek yang tidak efektif ditandai dengan penyimpangan besar dalam biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja Pembangunan Gedung Pendidikan Universitas Warmadewa dalam hal biaya dan waktu. Pada pelaporan minggu ke-25, progres proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Universitas Warmadewa seharusnya mencapai 42,601%, namun realisasi dilapangan hanya mencapai 34,467% yang menunjukkan adanya keterlambatan sebesar 8,134%. Oleh karena itu, metode nilai hasil (earned value method) digunakan untuk mengevaluasi keterlambatan dan memastikan proyek berjalan sesuai jadwal. Selain itu, untuk menentukan nilai ekonomis sebuah bangunan berdasarkan biaya operasional sepanjang umur hidupnya pada penelitian ini dilakukan menggunakan LCC. Dalam penelitian ini, digunakan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif, menggunakan data yang dibutuhkan termasuk seperti gambar rencana, RAB, time schedule, dan laporan mingguan. Hasil Analisis kinerja nilai SPI sebesar 0,81 yang menunjukkan bahwa pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan dari waktu yang direncanakan. Sedangkan nilai CPI adalah 1 yang berarti bahwa pekerjaan sesuai dengan anggaran yang direncanakan. Jika kinerja proyek tetap stabil hingga selesai, perkiraan total biaya EAC akan sama dengan rencana sebesar Rp. 23.948.882.427,62. Estimasi waktu proyek Estimate EAS lebih lama dari rencana awal, yakni 380 hari menjadi 428 hari, hal ini menunjukkan bahwa adanya penambahan waktu pelaksanaan sebesar 48 hari. Dengan menggunakan perhitungan LCC proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Universitas Warmadewa, untuk masa perawatan pekerjaan dinding, lantai, serta plafon didapat total biaya sebesar Rp. 19.403.342,58. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan metode nilai hasil (earned value) dan LCC dapat meningkatkan akurasi prediksi biaya dan waktu pada proyek konstruksi, serta membantu membuat keputusan pengelolaan proyek.

Kata kunci: Biaya proyek, waktu penyelesaian, *earned value method*, *Life Cycle Cost*

1. PENDAHULUAN

Di zaman sekarang, infrastruktur semakin berkembang dengan cepat, sehingga orang yang bekerja di bidang konstruksi harus lebih cerdas untuk menyelesaikan proyek secara efisien. Dalam proyek konstruksi di Indonesia, pengelolaan biaya dan waktu sering menjadi masalah, yang sering menyebabkan anggaran menjadi lebih besar dan proyek tertunda. Dalam situasi seperti ini, penerapan *Life Cycle Cost* (LCC) dan *Earned Value Method* (EVM) menjadi sangat penting untuk meningkatkan akurasi perencanaan dan pengawasan proyek serta memastikan efisiensi biaya dalam jangka panjang. Metode baru untuk menyelesaikan proyek konstruksi semakin berkembang dengan cepat. Setiap proyek memiliki fitur yang berbeda, yang berarti ada masalah yang sama tetapi dengan solusi yang berbeda [1]. Proyek konstruksi adalah serangkaian aktivitas yang dilakukan satu kali dan biasanya berjangka pendek [2]. Proyek yang sedang dibangun sering mengalami keterlambatan, baik dari segi waktu penyelesaian

yang melebihi rencana, maupun biaya pelaksanaan yang lebih tinggi daripada yang diproyeksikan dalam Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP). Penyimpangan dari rencana harus di ukur secara berkelanjutan untuk mengendalikan biaya dan waktu. Penyimpangan biaya dan waktu yang signifikan menunjukkan manajemen proyek yang buruk. Salah satu metode yang diterapkan dalam mengelola biaya dan waktu, yaitu metode nilai hasil (*earned value method*) [3]. Kemudian, salah satu metode tambahan untuk mengukur nilai ekonomis dari bangunan adalah *Life Cycle Cost* (LCC).

Metode nilai hasil (*earned value method*) merupakan metode untuk menghitung biaya yang sesuai dengan anggaran dan sesuai dengan pekerjaan yang telah dilakukan serta berdasarkan anggaran yang telah dialokasikan. Metode ini menilai jumlah unit pekerjaan yang telah diselesaikan pada suatu waktu, berdasarkan anggaran yang telah dialokasikan [4]. Perhitungan ini memungkinkan untuk mengetahui hubungan antara jumlah dana yang dikeluarkan dan pencapaian fisik yang sebenarnya [5]. Konsep Nilai Hasil adalah konsep pengelolaan proyek yang menggabungkan biaya dan waktu. Ini terdiri dari tiga indikator penting, yaitu BCWS, BCWP, dan ACWP [6].

Pembangunan sering menggunakan bahan berkualitas rendah, hal ini dikarenakan untuk mengurangi biaya awal dan meningkatkan keuntungan. Namun, bangunan akan menjadi cepat rusak dan memerlukan pemeliharaan rutin, yang sering meningkatkan biaya keseluruhan proyek. Oleh karena itu, metode *Life Cycle Cost* (LCC), yang menghitung biaya operasional sepanjang umur bangunan dan menentukan nilai ekonomisnya [7], [8].

Proyek Pembangunan Gedung G2 Universitas Warmadewa di Jl. Terompong No.24, Sumerta Kelod, Kec. Denpasar Timur, Kota Denpasar mengalami keterlambatan. Pada minggu ke-25, proyek terlambat 8,134% pada pekerjaan atap karena pemindahan SDA dari Rumah Sakit Sidan, Warmadewa Collage (WC), dan *Warma Independent Shining* (WISH). Proyek ini dijadwalkan selesai dalam 380 hari kalender, dari 8 Agustus 2023 sampai 23 September 2024 dengan anggaran Rp. 23.948882.427,62. Keterlambatan ini menyebabkan penambahan biaya dan waktu kontrak. Jarang ada proyek yang berjalan sesuai rencana. Keberhasilan proyek diukur dari waktu penyelesaian dan biaya yang dikeluarkan tanpa mengurangi mutu.

Berdasarkan tiga penelitian terdahulu mengenai metode *earned value* dapat disimpulkan bahwa metode ini penting untuk mengelola dan mengontrol biaya serta waktu dalam proyek konstruksi. Semua ini menyebabkan biaya meningkat dan keterlambatan dari rencana, menunjukkan betapa pentingnya perencanaan dan pengawasan yang ketat untuk mengurangi resiko dan memastikan proyek berjalan dengan baik. Evaluasi ini memeberikan wawasan yang berharga bagi manajer proyek untuk mengambil tindakan korektif dan mengoptimalkan kinerja proyek di masa mendatang [9], [10], [5].

Berdasarkan dua penelitian terdahulu mengenai LCC dapat disimpulkan bahwa menggunakan *Life Cycle Cost* (LCC) sangat penting dalam perencanaan dan manajemen biaya pemeliharaan gedung. LCC membantu menetapkan anggaran pemeliharaan yang efisien selama masa operasional bangunan dengan memahami biaya pemeliharaan yang efisien selama masa operasional bangunan dengan memahami biaya pemeliharaan komponen seperti dinding, lantai, dan plafon. Ini penting untuk mengoptimalkan pengeluaran dan memastikan keberlanjutan finansial jangka panjang. Hasil penelitian memeberikan ladasan kuat bagi keputusan terkait pemeliharaan, renovasi, dan pengembangan infrastruktur gedung untuk memaksimalkan nilai investasi selama siklus hidupnya. [7], [8].

Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai kinerja pelaksanaan proyek dalam hal biaya dan waktu berdasarkan metode nilai hasil (*earned value method*), mengevaluasi estimasi waktu dan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek, dan menemukan solusi yang dilakukan kontraktor dalam mengatasi kesalahan atau keterlambatan [3]. Kemudian, salah satu untuk tujuan dari menghitung *Life Cycle Cost* (LCC) adalah metode untuk mengevaluasi nilai ekonomis sebuah bangunan dengan memperhitungkan biaya pengoperasian sepanjang umur hidupnya [8].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Metode ini merupakan riset kuantitatif yang dideskripsikan dalam bentuk angka atau statistik. Dalam penyusunan pengendalian Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Universitas Warmadewa, penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari SATKER pembangunan gedung pendidikan. Data ini termasuk gambar rencana, RAB, *time schedule*, dan laporan mingguan.

Dalam proyek pembangunan gedung Pendidikan Universitas Warmadewa, pengendalian dengan metode nilai hasil (*earned value method*) ini berfungsi sebagai alat untuk mengukur kinerja dan menggabungkan elemen waktu dan biaya. Ini dapat dilakukan dengan langkah berikut [11] :

1. Dalam metode nilai hasil terdapat terdapat tiga indikator yang dapat digunakan untuk mengontrol waktu dan biaya proyek [12]. Berdasarkan data RAB dan *time schedule*, akan diolah menjadi ketiga indikator tersebut yaitu [5]:

1) BCWS (*Budgeted Cost Of Work Schedule*)

adalah rencana biaya yang berfungsi sebagai tolak ukur kinerja waktu proyek dan didasarkan pada jadwal proyek .

$$BCWS = \% (\text{bobot rencana}) \times \text{nilai kontrak (RAB)} \quad (1)$$

2) BCWP (*Budgeted Cost Of Work Performance*)

adalah nilai yang diterima dari jumlah pekerjaan yang telah diselesaikan dalam jangka waktu tertentu, yang dihitung dari total pekerjaan yang telah diselesaikan.

$$BCWP = \% (\text{bobot realisasi}) \times \text{nilai kontrak (RAB)} \quad (2)$$

3) ACWP (*Actual Cost Of Performance*)

adalah total biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan pekerjaan dalam jangka waktu tertentu.

$$ACWP = \text{Biaya langsung} + \text{Biaya tidak langsung} \quad (3)$$

Dimana :

Evaluasi Biaya :

ACWP > BCWP : melebihi anggaran

ACWP < BCWP : terjadi *delay* anggaran

Evaluasi Waktu :

ACWP < BCWS : terjadi keterlambatan pada proyek

BCWP > BCWS : lebih cepat dari rencana

2. Indikator BCWS, BCWP, dan ACWP dapat digunakan untuk menghitung beberapa komponen yang menunjukkan kemajuan kinerja proyek. Dengan melakukan analisis kinerja pelaksanaan proyek sebagai berikut [13], [14]:

1) Penyimpangan Jadwal

a) SV (*Schedule Variance*) = BCWP – BCWS (4)

Dimana:

SV < 0 : Pekerjaan tidak selesai sesuai dengan rencana

SV = 0 : Pekerjaan selesai sesuai jadwal

SV > 0 : Pekerjaan diselesaikan lebih cepat dari yang direncanakan

b) SPI (*Schedule Performance Index*) = $\frac{BCWP}{BCWS}$ (5)

Dimana :

SPI = 1 : Pekerjaan proyek selesai sesuai jadwal yang di rencanakan

SPI > 1 : Pekerjaan proyek selesai lebih cepat dari yang di rencanakan

SPI < 1 : Pekerjaan proyek selesai terlambat dari yang di rencanakan

2) Penyimpangan Biaya

c) CV (*Cost Variance*) = BCWP – ACWP (6)

Dimana :

CV < 0 : Pekerjaan berjalan dengan biaya melebihi anggaran rencana

CV = 0 : Pekerjaan berjalan dengan biaya sesuai anggaran rencana

CV > 0 : Pekerjaan berjalan dengan biaya lebih hemat dari anggaran rencana

d) CPI (*Cost Performance Index*) = $\frac{BCWP}{ACWP}$ (7)

Dimana :

CPI = 1 : Biaya sesuai dengan anggaran yang ditetapkan.

CPI > 1 : Biaya akan lebih hemat dari anggaran rencana.

CPI < 1 : Biaya akan lebih boros dari anggaran rencana.

3. Tiga indikator pelaporan akan digunakan untuk menghitung biaya proyek atau jadwal penyelesaiannya. Indikator ini akan memberikan indikasi total biaya pada akhir proyek (*Estimasi At Completion / EAC*) dan estimasi penyelesaian (*Estimasi All Schedule / EAS*) [15].

1) Perkiraan Waktu Penyelesaian

a) ETS = $\frac{\text{Sisa Waktu}}{SPI}$ (8)

b) $EAS = \text{Sisa Waktu} + ETS$ (9)

2) Perkiraan Biaya Penyelesaian

a) $ETC = \frac{\text{Anggaran} - BCWP}{CPI}$ (10)

b) $EAC = ACWP + ETC$ (11)

4. Setelah mendapatkan hasil tersebut, dilanjutkan dengan analisis LCC yang merupakan jumlah pengeluaran yang dihabiskan untuk suatu item dari saat dirancang hingga saat item tersebut tidak lagi digunakan, dengan tujuan untuk mengestimasi biaya total selama siklus hidup proyek [8].

1) Analisis LCC = Biaya Awal + Biaya Perawatan Biaya (12)

Keterangan :

Biaya Awal : Biaya perencanaan dan pelaksanaan bangunan

Biaya Perawatan : Biaya perawatan untuk komponen – komponen selama umur rencana bangunan

2) Analisis nilai biaya LCC, biaya pemeliharaan tahunan, $F = P(1 + i)^n$ (13)

Keterangan :

F : harga yang akan datang (biaya pemeliharaan yang akan datang)

P : harga saat ini (biaya awal)

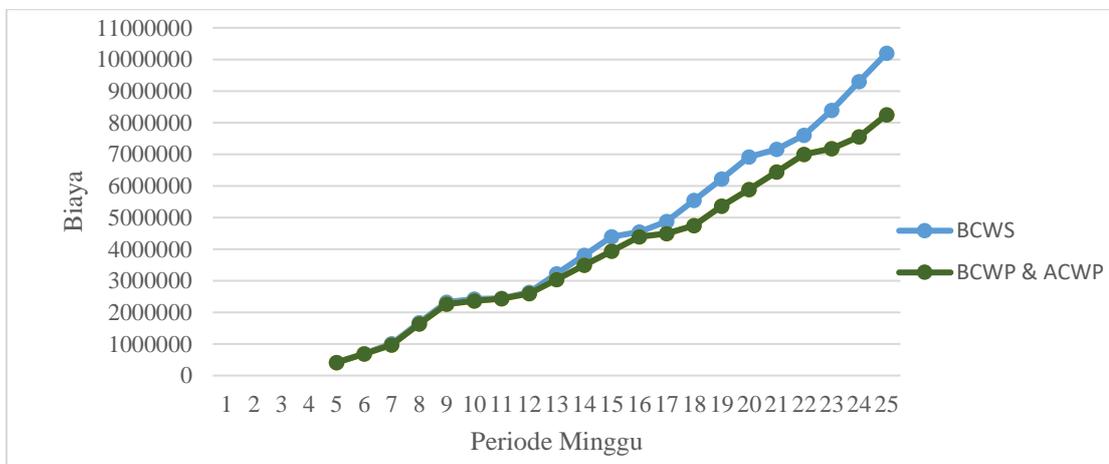
I : suku bunga (%)

n : periode waktu (tahun)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Analisis Data Menggunakan Konsep Nilai Hasil

Berikut ini merupakan hasil analisis kinerja proyek dari minggu ke – 5 hingga minggu ke – 25 yang disajikan dalam grafik.



Sumber : Peneliti, 2024

Gambar 3. Grafik Hasil BCWS, BCWP, dan ACWP

Berdasarkan Gambar 1, grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai BCWS dari minggu ke-5 hingga minggu ke-25 meningkat setiap minggu, seperti yang direncanakan pada awalnya. Namun, nilai kurva BCWP dan ACWP berada di bawah nilai yang direncanakan BCWS, yang menunjukkan bahwa proyek mengalami keterlambatan atau kinerjanya tidak sesuai dengan rencana awal.

2) Analisis Kinerja Waktu Proyek

a) Varian Jadwal (*Schedule Variance / SV*)

Besarnya SV dihitung dengan menggunakan persamaan 4. Perhitungan SV dari minggu ke 5 hingga minggu ke-25 dengan nilai SV yang negatif, yang menunjukkan pekerjaan selesai lebih lambat dari direncanakan. Hasil perhitungan SV ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 3. Nilai SV Setiap Minggu

Periode Minggu	Nilai BCWP (Rp.)	Nilai BCWS (Rp.)	Schedule Variance (SV) (Rp.)
1	2	3	4 = 2-3
5	413.925.886,95	415.588.310,87	- 1.662.423,92
6	683.007.413,10	699.620.610,54	- 16.613.197,44
7	971.294.057,62	1.008.848.401,33	- 37.554.343,71
8	1.636.932.342,66	1.674.218.000,68	- 37.285.658,01
9	2.264.151.831,83	2.326.915.583,40	- 62.763.751,58
10	2.361.994.633,16	2.420.018.535,72	- 58.023.902,56
11	2.429.700.928,90	2.442.469.179,25	- 12.768.250,35
12	2.593.090.742,05	2.630.746.132,75	- 37.655.390,70
13	3.043.045.591,86	3.218.134.135,60	- 175.088.543,74
14	3.493.000.441,67	3.805.522.138,45	- 312.521.696,78
15	3.942.955.291,48	4.392.910.141,30	- 449.954.849,81
16	4.392.910.141,30	4.539.069.014,46	- 146.158.873,17
17	4.492.419.178,04	4.873.504.841,13	- 381.085.663,09
18	4.742.549.777,58	5.547.818.489,16	- 805.268.711,58
19	5.360.449.954,24	6.222.132.137,19	- 861.682.182,95
20	5.885.050.458,05	6.919.611.529,19	- 1.034.561.071,14
21	6.446.373.403,29	7.162.592.442,06	- 716.219.038,76
22	6.995.248.051,28	7.604.984.908,42	- 609.736.857,14
23	7.175.759.896,91	8.390.575.250,61	- 1.214.815.353,69
24	7.555.087.627,44	9.304.566.065,78	- 1.749.478.438,35
25	8.254.544.328,28	10.202.657.465,63	- 1.948.113.137,34

Sumber : Peneliti, 2024

b) Indeks Kinerja Jadwal (*Schedule Perfomance Index / SPI*)

Besarnya SV dihitung dengan menggunakan persamaan 5. Hasil perhitungan SPI dari minggu ke - 5 hingga minggu ke-25 dengan SPI yang menunjukkan angka 1 berarti pekerjaan tepat waktu sesuai dengan rencana awal, sedangkan nilai SPI kurang dari 1 yang berarti bahwa, pekerjaan selesai lebih lambat dari rencana awal. Hasil perhitungan SPI dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 4. Nilai SPI Setiap Minggu

Periode Minggu	Nilai BCWP (Rp.)	Nilai BCWS (Rp.)	SPI
1	2	3	5 = 2/3
5	413.925.886,95	415.588.310,87	1,00
6	683.007.413,10	699.620.610,54	0,98
7	971.294.057,62	1.008.848.401,33	0,96
8	1.636.932.342,66	1.674.218.000,68	0,98
9	2.264.151.831,83	2.326.915.583,40	0,97
10	2.361.994.633,16	2.420.018.535,72	0,98
11	2.429.700.928,90	2.442.469.179,25	0,99
12	2.593.090.742,05	2.630.746.132,75	0,99
13	3.043.045.591,86	3.218.134.135,60	0,95
14	3.493.000.441,67	3.805.522.138,45	0,92
15	3.942.955.291,48	4.392.910.141,30	0,90
16	4.392.910.141,30	4.539.069.014,46	0,97
17	4.492.419.178,04	4.873.504.841,13	0,92
18	4.742.549.777,58	5.547.818.489,16	0,85
19	5.360.449.954,24	6.222.132.137,19	0,86
20	5.885.050.458,05	6.919.611.529,19	0,85
21	6.446.373.403,29	7.162.592.442,06	0,90
22	6.995.248.051,28	7.604.984.908,42	0,92
23	7.175.759.896,91	8.390.575.250,61	0,86
24	7.555.087.627,44	9.304.566.065,78	0,81
25	8.254.544.328,28	10.202.657.465,63	0,81

Sumber : Peneliti, 2024

c) Perkiraan Waktu Pada Pekerjaan Tersisa (*Estimate Temporary Schedule / ETS*)

Besarnya nilai ETS dapat dihitung menggunakan persamaan 8. Tabel 3 menunjukkan hasil analisis ETS.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil ETS

Periode Minggu	BCWS Komulatif (Rp)	BCWP Komulatif (Rp)	SPI	Waktu Rencana (Hari)	Waktu Selesai (Hari)	Sisa Waktu (Hari)	ETS (Hari)
1	2	3	4	5	6	7=5-6	8=7/4
5	415.588.310,87	415.588.310,87	1,00	380	35	345	346
6	699.620.610,54	699.620.610,54	0,98	380	42	338	346
7	1.008.848.401,33	1.008.848.401,33	0,96	380	49	331	344
8	1.674.218.000,68	1.674.218.000,68	0,98	380	56	324	331
9	2.326.915.583,40	2.326.915.583,40	0,97	380	63	317	326
10	2.420.018.535,72	2.420.018.535,72	0,98	380	70	310	318
11	2.442.469.179,25	2.442.469.179,25	0,99	380	77	303	305
12	2.630.746.132,75	2.630.746.132,75	0,99	380	84	296	300
13	3.218.134.135,60	3.218.134.135,60	0,95	380	91	289	306
14	3.805.522.138,45	3.805.522.138,45	0,92	380	98	282	307
15	4.392.910.141,30	4.392.910.141,30	0,90	380	105	275	306
16	4.539.069.014,46	4.539.069.014,46	0,97	380	112	268	277
17	4.873.504.841,13	4.873.504.841,13	0,92	380	119	261	283
18	5.547.818.489,16	5.547.818.489,16	0,85	380	126	254	297
19	6.222.132.137,19	6.222.132.137,19	0,86	380	133	247	287
20	6.919.611.529,19	6.919.611.529,19	0,85	380	140	240	282
21	7.162.592.442,06	7.162.592.442,06	0,90	380	147	233	259
22	7.604.984.908,42	7.604.984.908,42	0,92	380	154	226	246
23	8.390.575.250,61	8.390.575.250,61	0,86	380	161	219	256
24	9.304.566.065,78	9.304.566.065,78	0,81	380	168	212	261
25	10.202.657.465,63	10.202.657.465,63	0,81	380	175	205	253

(Sumber : Peneliti, 2024)

d) Perkiraan Total Waktu Pada Proyek (*Estimate All Schedule / EAS*)

Besarnya nilai EAS dapat dihitung menggunakan persamaan 9. Tabel 4 berikut menunjukkan hasil analisis EAS.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Analisis EAS

Periode Minggu	SPI	Waktu Rencana (Hari)	Waktu Selesai (Hari)	Sisa Waktu (Hari)	ETS (Hari)	EAS (Hari)	Selisih Waktu (Hari)
1	2	3	4	5	6	7 = 4+6	8 = 3 - 7
5	1,00	380	35	345	346	381	-1
6	0,98	380	42	338	346	388	-8
7	0,96	380	49	331	344	393	-13
8	0,98	380	56	324	331	387	-7
9	0,97	380	63	317	326	389	-9
10	0,98	380	70	310	318	388	-8
11	0,99	380	77	303	305	382	-2
12	0,99	380	84	296	300	384	-4
13	0,95	380	91	289	306	397	-17
14	0,92	380	98	282	307	405	-25
15	0,90	380	105	275	306	411	-31
16	0,97	380	112	268	277	389	-9
17	0,92	380	119	261	283	402	-22
18	0,85	380	126	254	297	423	-43
19	0,86	380	133	247	287	420	-40
20	0,85	380	140	240	282	422	-42
21	0,90	380	147	233	259	406	-26
22	0,92	380	154	226	246	400	-20
23	0,86	380	161	219	256	417	-37
24	0,81	380	168	212	261	429	-49
25	0,81	380	175	205	253	428	-48

(Sumber : Peneliti, 2024)

3) Analisis Kinerja Biaya Proyek

a) Varian Biaya (*Cost Variance / CV*)

Besarnya CV dari minggu ke-5 hingga minggu ke-25 dihitung menggunakan persamaan 6. Hasil perhitungan nilai CV adalah 0,00 menunjukkan bahwa tidak ada selisih antara biaya yang direncanakan (BCWS) dan biaya yang sebenarnya dikeluarkan (ACWP). Dengan kata lain, biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan selama periode tersebut sepenuhnya sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan, berarti bahwa proyek berjalan tepat sesuai dengan perencanaan biaya tanpa ada pemborosan atau penghematan yang signifikan.

b) Indeks Kinerja Biaya (*Cost Performance Index / CPI*)

Besarnya CPI dari minggu ke-5 hingga minggu ke-25 dihitung menggunakan persamaan 7. Hasil perhitungan nilai CPI 1,00 menunjukkan bahwa proyek telah menghabiskan biaya sesuai dengan rencana awal. Dengan kata lain, nilai pekerjaan yang sebenarnya dilakukan (BCWP) dan biaya yang dikeluarkan (ACWP) sama sekali tidak ada perbedaan, yang menunjukkan efisiensi dalam pengelolaan proyek.

c) Perkiraan Biaya Pada Pekerjaan Tersisa (*Estimate Temporary Cost / ETC*)

Untuk menentukan estimasi biaya untuk menyelesaikan proyek (ETC) untuk perhitungan menggunakan persamaan 10. Hasil perhitungan ETC dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini, yang menunjukkan estimasi tambahan yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek sesuai anggaran.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Analisis ETC

Periode Minggu	BAC (Rp)	BCWP Kumulatif (Rp)	CPI	ETC (Rp)
1	2	3	4	5 = (2 - 3) / 4
5	23.948.882.427,62	413.925.886,95	1,00	23.534.956.540,67
6	23.948.882.427,62	683.007.413,10	1,00	23.265.875.014,52
7	23.948.882.427,62	971.294.057,62	1,00	22.977.588.370,01
8	23.948.882.427,62	1.636.932.342,66	1,00	22.311.950.084,96
9	23.948.882.427,62	2.264.151.831,83	1,00	21.684.730.595,80
10	23.948.882.427,62	2.361.994.633,16	1,00	21.586.887.794,46
11	23.948.882.427,62	2.429.700.928,90	1,00	21.519.181.498,73
12	23.948.882.427,62	2.593.090.742,05	1,00	21.355.791.685,58
13	23.948.882.427,62	3.043.045.591,86	1,00	20.905.836.835,76
14	23.948.882.427,62	3.493.000.441,67	1,00	20.455.881.985,95
15	23.948.882.427,62	3.942.955.291,48	1,00	20.005.927.136,14
16	23.948.882.427,62	4.392.910.141,30	1,00	19.555.972.286,33
17	23.948.882.427,62	4.492.419.178,04	1,00	19.456.463.249,58
18	23.948.882.427,62	4.742.549.777,58	1,00	19.206.332.650,04
19	23.948.882.427,62	5.360.449.954,24	1,00	18.588.432.473,38
20	23.948.882.427,62	5.885.050.458,05	1,00	18.063.831.969,58
21	23.948.882.427,62	6.446.373.403,29	1,00	17.502.509.024,33
22	23.948.882.427,62	6.995.248.051,28	1,00	16.953.634.376,34
23	23.948.882.427,62	7.175.759.896,91	1,00	16.773.122.530,71
24	23.948.882.427,62	7.555.087.627,44	1,00	16.393.794.800,18
25	23.948.882.427,62	8.254.544.328,28	1,00	15.694.338.099,34

Sumber : Peneliti, 2024

d) Perkiraan Total Biaya Pada Proyek (*Estimate All Cost / EAC*)

Besarnya nilai EAC dihitung menggunakan persamaan 11. Hasil perhitungan EAC sebesar Rp. 23.948.882.427,62 menunjukkan bahwa perkiraan biaya total untuk menyelesaikan proyek sejauh ini sesuai dengan rencana awal. Dengan kata lain, tidak diperlukan biaya tambahan yang signifikan untuk menyelesaikan sisa pekerjaan proyek, dan proyek diharapkan akan berakhir sesuai dengan perkiraan biaya yang telah ditetapkan sejak awal.

4) Analisis Life Cycle Cost (LCC)

Penelitian ini menggunakan LCC untuk gedung Pendidikan Universitas Warmadewa, fokus pada elemen dinding, lantai, dan plafon. Mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005, estimasi umur rencana gedung adalah 50 tahun. Suku bunga majemuk (i) yang digunakan adalah 8% dan inflasi tahunan rata – rata 3,75% untuk periode 2014-2024. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 24/PRT/M/2008 tanggal 30 Desember 2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung, pemeliharaan dinding, lantai, dan plafon umumnya dilakukan setiap 2 - 10 tahun. Berikut ini adalah analisis perhitungan LCC untuk pekerjaan dinding, lantai, dan plafon menggunakan persamaan 12 dan 13. Tabel 6, 7, dan 8 berikut menunjukkan hasil analisis LCC untuk pekerjaan dinding, lantai dan plafon.

Tabel 8. Hasil Analisis LCC Pekerjaan Dinding

No	Uraian Pekerjaan	Total Maintenance Cost (Rp)	Total Biaya LCC (Rp)	Total Biaya LCC Per Tahun (Rp)
1	Pengecatan Dinding Luar Waterproofing	6.154.537,80	41.777.483,80	852.601,71
2	Pengecatan Dinding Dalam ex Spotlees	43.820.935,37	165.962.435,37	3.319.248,71
Total LCC Dinding Per Tahun :				4.171.850,42

Sumber : Peneliti, 2024

Tabel 9. Hasil Analisis LCC Pekerjaan Lantai

No	Uraian Pekerjaan	Total Maintenance Cost (Rp)	Total Biaya LCC (Rp)	Total Biaya LCC Per Tahun (Rp)
1	Pekerjaan Floor Hardener	16.763.752,69	233.798.752,69	4.870.807,35
2	Pasangan Granite tile lantai	26.824.235,00	364.434.235,00	7.288.684,70
3	Pasangan Granit tile toilet	9.298.428,33	124.498.428,33	2.489.968,57
Total LCC Lantai Per Tahun :				12.159.492,05

Sumber : Peneliti, 2024

Tabel 10. Hasil Analisis LCC Plafon

No	Uraian Pekerjaan	Total Maintenance Cost (Rp)	Total Biaya LCC (Rp)	Total Biaya LCC Per Tahun (Rp)
1	Pas. Plafond Gypsum Koridor	6.895.459,64	73.850.459,64	1.538.551,24
2	Pas. Drop Plafond Gypsum Koridor	5.726.443,55	76.672.443,55	1.533.448,87
3	Pengecatan dak, balok dan plafond	126.026.133,70	477.297.070,31	9.545.941,41
Total LCC Lantai Per Tahun :				3.072.000,11

Sumber : Peneliti, 2024

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil analisis LCC pada pekerjaan dinding, lantai dan plafon yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Analisis LCC Per Tahun

No	Uraian Pekerjaan	Total Biaya LCC Per Tahun
1	Pekerjaan Dinding	4.171.850,42
2	Pekerjaan Lantai	12.159.492,05
3	Pekerjaan Plafond	3.072.000,11
Total Biaya LCC Per Tahun :		19.403.342,58

Sumber : Peneliti, 2024

Dari Tabel 9, analisis LCC untuk pekerjaan dinding, lantai, dan plafon pada proyek ini menunjukkan biaya total sebesar Rp. 19.403.342,58. Analisis ini mencakup semua biaya dari awal hingga operasional, perawatan rutin, dan penggantian material selama umur proyek. Hasil perhitungan LCC memungkinkan prioritas pemilihan material dan metode konstruksi yang tidak hanya mengurangi biaya awal tetapi juga mengoptimalkan penghematan jangka panjang.

Hasil menunjukkan bahwa metode nilai hasil (*earned value method*) dan *lyfe cycle cost* (LCC) adalah alat yang saling melengkapi dalam pengelolaan biaya dan kinerja proyek. *Earned value method* memberikan kontrol jangka pendek dan pengawasan yang lebih mendalam tentang apakah proyek memenuhi anggaran dan jadwal, sementara LCC memberikan gambaran jangka panjang tentang bagaimana biaya total proyek akan meningkat selama siklus hidupnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Universitas Warmadewa dan hasil dari analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa analisis kinerja yang dilakukan menggunakan metode nilai hasil (*earned value method*). Berdasarkan evaluasi dari minggu ke-25, keterlambatan proyek mulai terjadi sejak minggu ke-5 dengan persentase 0,007%. Pada minggu yang di evaluasi pada minggu ke-25 dengan hasil indeks kinerja jadwal (SPI) 0,81 menunjukkan bahwa proyek mengalami keterlambatan, sedangkan hasil indeks kinerja biaya (CPI) sebesar 1 menunjukkan proyek berjalan sesuai rencana biaya. Berdasarkan analisis kinerja ini, dapat diperkirakan bahwa jika kinerja pada laporan minggu ke-25 berlanjut hingga proyek selesai, akan terjadi keterlambatan

sebanyak 48 hari sehingga waktu akhir penyelesaian pekerjaan proyek (EAS) menjadi 428 hari dari 380 hari. Selain itu, proyek Pembangunan Gedung pendidikan Universitas Warmadewa menghabiskan total Rp. 19.403.342,5 Life untuk pekerjaan dinding, lantai, dan plafon berdasarkan perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Atmaja and Y. P. Wijaya, "Pada Proyek Konstruksi Dengan Konsep Earned Value (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jembatan Beringin – Kota Padang)," vol. XIII, no. April, pp. 23–30, 2016.
- [2] I. K. Nudja, "Penjadwalan kembali waktu pelaksanaan proyek konstruksi pada pembangunan bangunan atas jembatan beton," vol. 7, pp. 196–209, 2018.
- [3] R. A. N, D. R. S, and F. Kistiani, "Pengendalian Biaya Dan Waktu Proyek Dengan Metode Konsep Nilai Hasil (Earned Value)," vol. 6, pp. 460–470, 2017.
- [4] A. Bakhtiar, "Proyek Peningkatan Jalan Menggunakan Metode Earned Value," vol. 8, no. 2, pp. 401–408, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v8i2.172>.
- [5] C. G. B. Ma'rifatul Muniroh, Meidy Kempa, "Jurnal simetrik vol 11, no. 1, juni 2021," vol. 11, no. 1, pp. 404–410, 2021.
- [6] W. J. Tri Rahmanto, "1 2 1,2," pp. 16–27.
- [7] P. A. K. Yellih Kristi Wongkar, Jermmias Tjakra and Pratisis, "Analisis Life Cycle Cost Pada Pembangunan Gedung (Studi Kasus : Sekolah St . URSULA Kotamobagu)," vol. 4, no. 4, 2016.
- [8] G. Y. M. Rudy A.H.F. Buyung, Pingkan A.K.Pratisis and Lingkas, "*Life Cycle Cost (LCC)* Pada Proyek Pembangunan Gedung Akuntansi Universitas Negeri Manado," vol. 7, no. 11, 2019.
- [9] N. Khairunnisa, R. Widayati, and M. Jamal, "Konstruksi Dengan Metode Earned Value (Studi Kasus : Proyek Perumahan Penajam Paser Utara)," vol. 4, pp. 9–19, 2020.
- [10] I. K. N. S., "Proyeksi jadwal dan biaya pada pelaksanaan proyek pembangunan bangunan atas jembatan beton," vol. 7, pp. 31–40, 2018.
- [11] D. Kartikasari, "Pengendalian Biaya Dan Waktu Dengan Metode Earned Value (Studi Kasus : Proyek Struktur dan Arsitektur Production Hall-02 Pandaan) Dwi Kartikasari," vol. 7, no. 2, pp. 107–114, 2014.
- [12] M. I. M. dan retno Indryani, "Metode Earned Value untuk Analisa Kinerja Biaya dan Waktu Pelaksanaan pada Proyek Pembangunan Condotel De Vasa Surabaya," vol. 4, no. 1, 2015.
- [13] T. T. Arsjad, G. Y. Malingkas, F. Teknik, J. T. Sipil, and U. S. Ratulangi, "Pembangunan Ruko Di Area Perumahan Kharisma Koka," vol. 8, no. 1, 2020.
- [14] N. Ramsi, S. Azis, and I. G. Sarya, "Pelebaran Jalan Ruas Palantaran-Kasongan-Tangkiling," vol. 8, pp. 8–21, 2017.
- [15] W. N. Chir, Grace Maria Chistya, Veronika Happy Puspasari, "View of Analisis Pengendalian Biaya dan Waktu Dengan Metode Nilai Hasil Pada Pembangunan Jalan Simpang Empat Gedung Baru Universitas Pa.pdf."

PENGARUH *LIGHT SHELF* STATIS TERHADAP KINERJA PENCAHAYAAN ALAMI KANTOR *OPEN-PLAN*

*Astrini Hadina Hasya¹, Ratna Andriani Nastiti², R. Ayu Firdausi N.R³, Riza Septriana Dewi⁴, Ihza Rangga Artito⁵

^{1,2,3,5}Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

⁴Institut Seni Indonesia Yogyakarta

^{*}Email: astrini.hadina.di@upnjatim.ac.id

ABSTRACT

An office with an open-plan system is a popular building today with the complexity of activities and user needs. The advantages of saving space and making a spacious impression make open-plan offices popular. The main activity of the office as a place to work requires optimal daylighting to accommodate all its main activities during office hours. This study is a quasi-experimental research evaluating natural lighting performance in office buildings. The consideration of office building was chosen based on the general open-plan office criteria. The problem of uneven daylighting in the office space demands a system to increase daylighting performance. The use of lightshelf as a natural shading system is proposed as an alternative to increase daylighting performance, which is computationally simulated using Ecotect with the Radiance plug-in. Data collection techniques are carried out through computer simulation modeling and literature studies. It is hoped that the results of this study can add insight and be used as an alternative to daylight shading systems.

Keyword: *Shading Device, Daylighting, Simulation*

ABSTRAK

Kantor dengan sistem open-plan merupakan bangunan yang populer saat ini dengan kompleksitas aktivitas dan kebutuhan pengguna. Keuntungannya yang hemat tempat dan membuat kesan luas menjadikan kantor open-plan digemari. Aktivitas utama kantor sebagai tempat bekerja membutuhkan pencahayaan alami yang optimal dalam mengakomodir seluruh kegiatan utamanya pada jam kantor di siang hari. Penelitian ini merupakan penelitian kuasi experimental dengan mengevaluasi kinerja pencahayaan alami bangunan kantor. Pertimbangan bangunan kantor yang dipilih yakni berdasarkan kriteria kantor open-plan pada umumnya. Permasalahan pencahayaan alami yang tidak merata ke dalam ruang kantor menuntut kebutuhan sistem untuk peningkatan kinerja pencahayaan alami. Penggunaan lightshelf sebagai sistem pembayang alami diusulkan sebagai salah satu alternatif peningkatan kinerja pencahayaan alami yang di simulasikan secara komputasi menggunakan Ecotect dengan plug-in Radiance. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui permodelan simulasi komputer dan studi literatur. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menambah wawasan dan digunakan sebagai alternatif sistem pembayang matahari.

Kata kunci: Sistem Pembayang, Pencahayaan Alami, Simulasi

1. PENDAHULUAN

Kehadiran daylight dalam ruangan meningkatkan kesehatan manusia, kesejahteraan, dan juga produktivitas [1]. Pada konteks desain bangunan, daylight atau penerangan alami menjadi suatu komponen yang penting dan perlu dipertimbangkan serius untuk penghematan energi dan keberlanjutan [2] [3]. *Daylight* merupakan sumber cahaya berkelanjutan, utamanya pada bangunan kantor yang beroperasi pada siang hari [4]. Sejumlah literatur menunjukkan bahwa tempat kerja utamanya memerlukan akses penerangan alami dan view yang mengarahkan mereka untuk produktivitas, pengurangan stress, menciptakan kenyamanan dan kepuasan karyawan [5] [6]. Orang dewasa lintas budaya mayoritas menghabiskan waktu mereka dalam ruang/indoor [7] [8], sehingga perlu mengoptimalkan tempat kerja, dan pentingnya pencahayaan alami dalam bangunan khususnya pada kantor.

Daylight merupakan sumber daya yang sangat potensial dimanfaatkan sebaik mungkin pada daerah Tropis karena mendapat sinar matahari sepanjang hari [9]. Ketersediaan daylight pada area outdoor yang melimpah sangat potensial untuk memenuhi kriteria standar pencahayaan ruang kerja yaitu 300 lux berdasarkan SNI 6197-2011. Dalam pendekatan desain bangunan berkelanjutan, konsep kantor open-plan semakin populer, karena potensi penghematan area tanah dan lantai, khususnya pada kota yang sangat padat penduduk. Sebagian besar kantor open-plan sekarang dirancang untuk mematuhi arsitektur hijau atau persyaratan bangunan berkelanjutan. Khususnya dalam hal persyaratan pencahayaan alami, penyediaan perangkat naungan surya atau control silau yang diperlukan untuk memastikan kepuasan kriteria kenyamanan visual menanggapi kondisi langit. Di daerah Tropis kebutuhan dan tujuan naungan seperti light shelf menjadi jelas, karena karakteristik daerahnya yang mendapat sinar matahari tinggi dan lamanya penyinaran yang sepanjang hari [10].

Light shelf adalah salah satu sistem yang membutuhkan ruang yang relatif kecil, dan merupakan perangkat yang khusus dirancang untuk mengarahkan sinar matahari ke bagian dalam ruangan, sementara juga berfungsi sebagai perangkat pembayang dalam menghalangi sinar matahari langsung. Light Shelf biasanya berbentuk horizontal atau

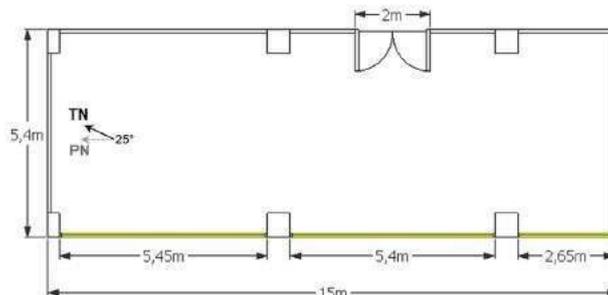
miring di bawah jendela clerestory, dan diatas jendela “normal” atau view window [11]. Salah satu bagian yang paling penting dalam mendesain light shelf adalah menentukan parameter yang optimal untuk memastikan kinerja yang optimum. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya mengevaluasi nilai-nilai yang relevan menggunakan faktor desain, atau satu desain untuk satu waktu (bangunan) itu saja [12]. Alternatif lain yakni penggunaan kurva referensi telah dipromosikan oleh Kurtay dan Esen pada tahun 2017 [13] bernama CUN-OKAY light shelf, untuk berbagai lokasi berdasarkan garis lintang yang dipilih, namun juga terdapat beberapa derajat ketidakpastian. Penelitian sekarang ini meneliti bangunan kantor tiga lantai di Bandung, Indonesia. Penelitian ini menggunakan tipe light shelf CUN-OKAY, karena dirasa yang paling objektif untuk meninjau lebih lanjut mengenai pengaruh fungsi light shelf terhadap pencahayaan alami pada bangunan kantor open-plan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode simulasi komputer Ecotect untuk bereksperimen dengan kinerja pencahayaan alami di ruang kerja (kantor). Adapun prosedur simulasi dimulai dengan langkah memodelkan ruang dalam Ecotect dan melaporkan faktor daylight dalam ruang tersebut melalui software plug-in Radiance yang ada di dalam Ecotect, serta menetapkan sifat material yang memadai dan menjalankan simulasi faktor pencahayaan alami. Untuk kelemahan dari Ecotect ini sendiri yaitu tidak menghitung reflektansi dari semua sisi ruang, hanya mengambil dari lantai dan plafon saja. Adapun untuk modifikasi 4 sub variabel bangunan yang berbeda (dalam hal ini memodifikasi peletakan/konfigurasi light shelf) dengan menggunakan tipe light shelf CUN-OKAY dan disesuaikan dengan ketinggian interior kantor sebagai studi kasus.

Deskripsi Bangunan

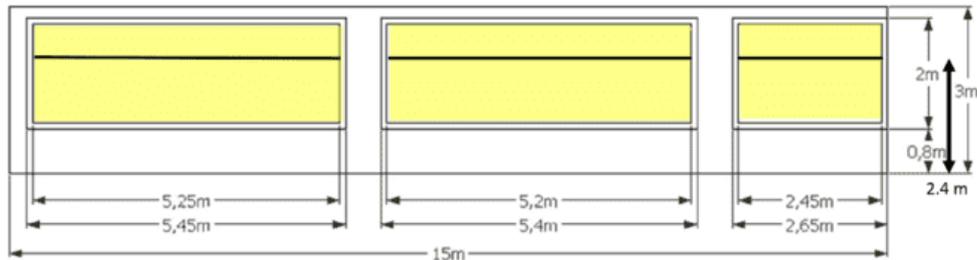
Bangunan ruang kerja pada kantor yang digunakan sebagai eksisting berdasarkan tipologi ruang kerja pada umumnya, yakni kantor open-plan yang terletak di lantai tiga di Gedung Layanan Perpustakaan dan Arsip Kota Kota Bandung, Indonesia (6.93° S(latitude), 107.61° E(longitude)). Bangunan itu terletak di distrik bisnis dan pemerintahan Kota Bandung dan dikelilingi oleh beberapa bangunan komersial dan pemerintah lainnya [10]. Ruang kantor yang diamati berukuran $15\text{m} \times 5,4\text{m} \times 3\text{m}$. Denah dan ketinggian ruang masing-masing ditampilkan pada Gambar 1. dan Gambar 2. Dan keterangan jendela ada pada Gambar 3. Dibawah ini :



Gambar 1. Denah Eksisting, jendela ada pada sisi Barat Daya atau yang berwarna kuning
Sumber : Mangkuto dkk, 2019

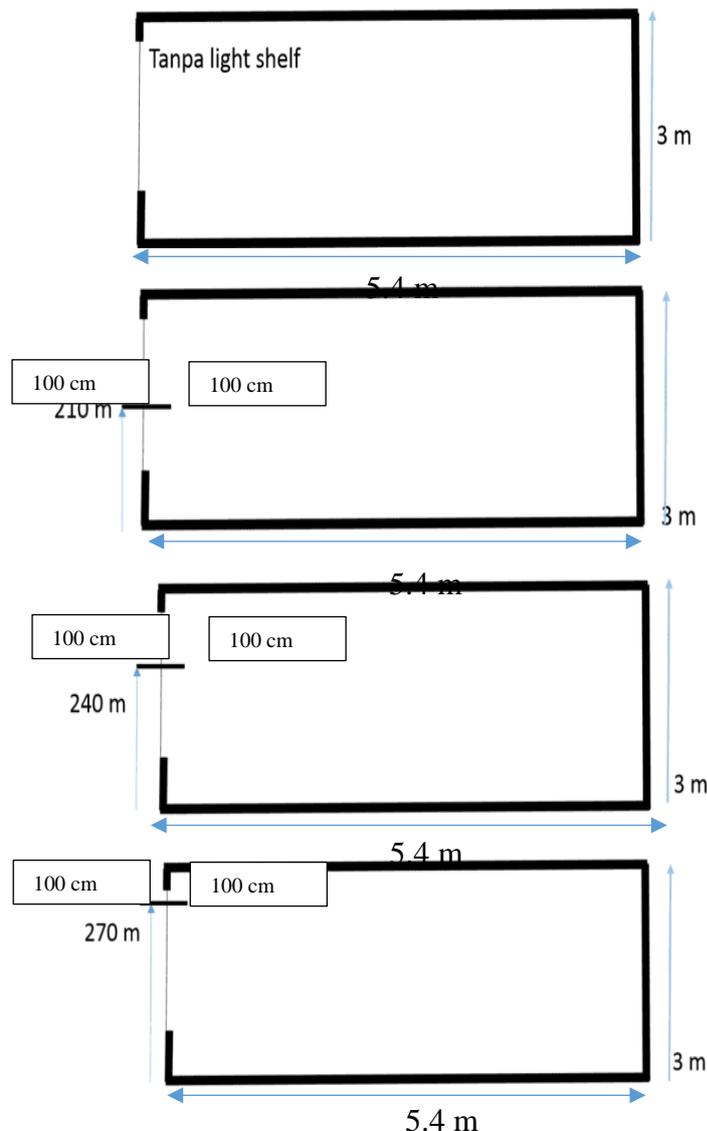


Gambar 2. Interior Kantor
Sumber : Mangkuto dkk, 2019



Gambar 3. Keterangan Jendela
Sumber : Mangkuto dkk, 2019

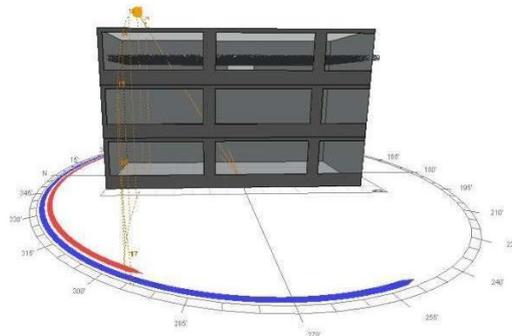
Analisis parametrik telah dilakukan pada langit overcast (10000 lux) pada ketinggian 10.2 meter (bidang kerja) di sepanjang sumbu kontrol ruang. Adapun untuk 4 modifikasi variabel yang berbeda pada light shelf, memiliki perbedaan konfigurasi ketinggian yang berbeda yang akan disimulasikan. Adapun konfigurasi ketinggian light shelf yang akan diteliti adalah 210cm dari lantai, 240cm dari lantai, 270cm dari lantai, dan tanpa light shelf sebagai pembanding. Keseluruhan ketentuan ini beserta interval tiap light shelf (beda 30cm) sesuai dengan ketentuan CUN-OKAY light shelf [13]. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4. Berikut :



Gambar 4. Variasi variabel simulasi, konfigurasi Light shelf (tanpa lightshelf, 210cm, 240cm, dan 270 cm dari lantai) dari potongan A-A'
Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

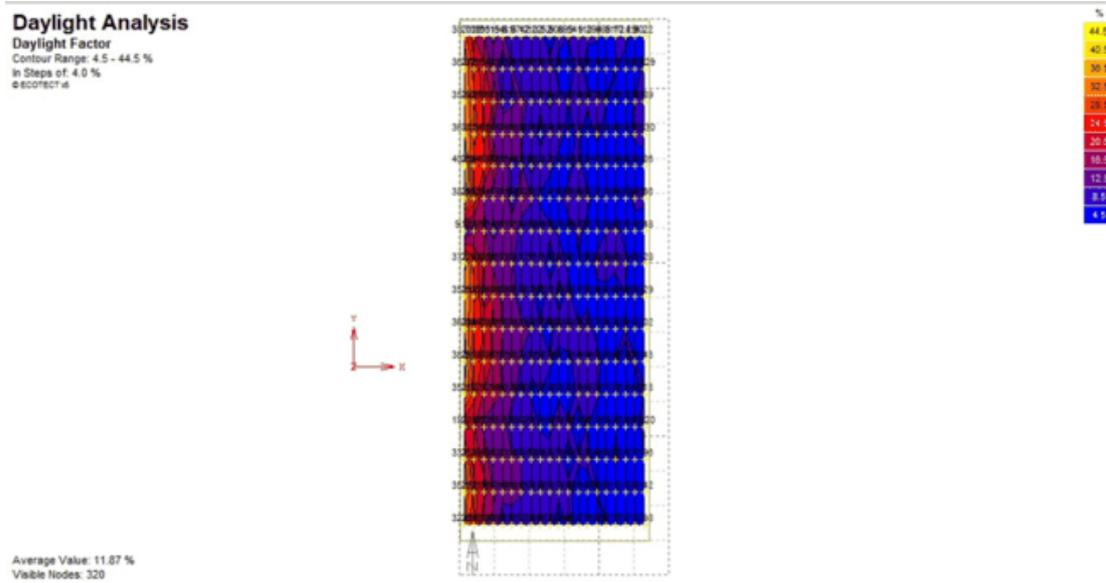
Prosedur Simulasi

Simulasi dilakukan melalui software Ecotect dengan menginput data iklim. Selanjutnya memasukkan orientasi yakni pada studi kasus ini menghadap Barat dan masukkan waktu pengukuran simulasi, yakni 21 Juni (karena dianggap bulan dan tanggal terpanas) dan pukul 12.00 siang (saat terpanas, matahari tepat di atas bangunan) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan dilakukan permodelan dengan membangun/menggambar bangunan di Ecotect, dalam hal ini kantor tiga lantai, masing-masing lantai tingginya 3m dan simulasi dilakukan pada lantai tiga sebagai lantai terpanas pada interior kantor.



Gambar 5. Sunpath pada pukul 12.00 siang
Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

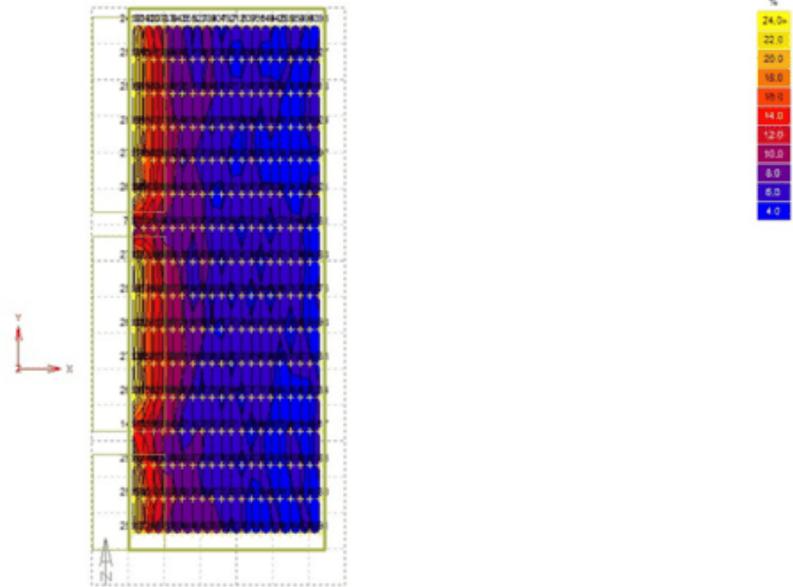
Setelah input data dan membuat model, kemudian dilakukan simulasi pada masing-masing variabel menggunakan bantuan Radiance sebagai plug-in dalam Ecotect, dimana mendapat hasil rata-rata daylight factor, jumlah total grid titik pengukuran, *daylight factor* di tiap titik pengukuran, serta kontur cahaya yang dapat dilihat pada Gambar 6a-6d.



(a)

Daylight Analysis

Daylight Factor
Contour Range: 4.0 - 24.0 %
In Steps of: 2.0 %
eScoltect v6

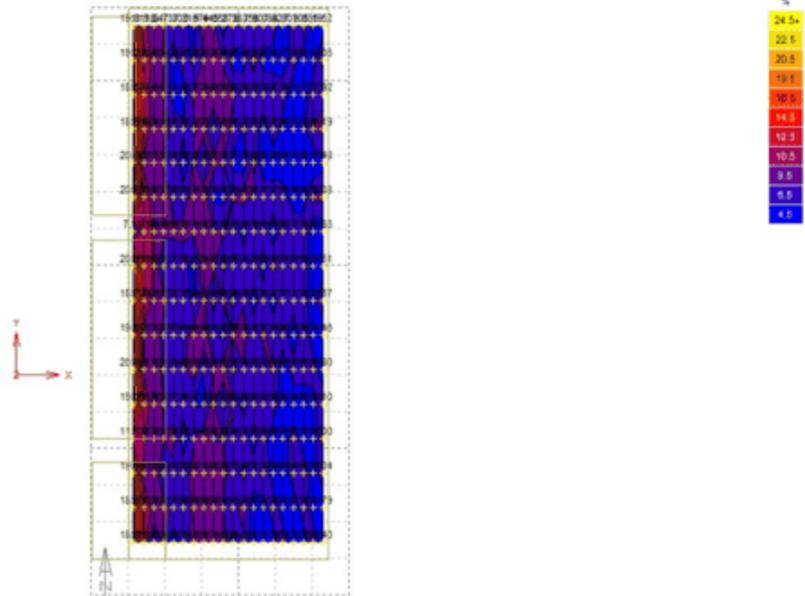


Average Value: 8.84 %
Visible Nodes: 320

(b)

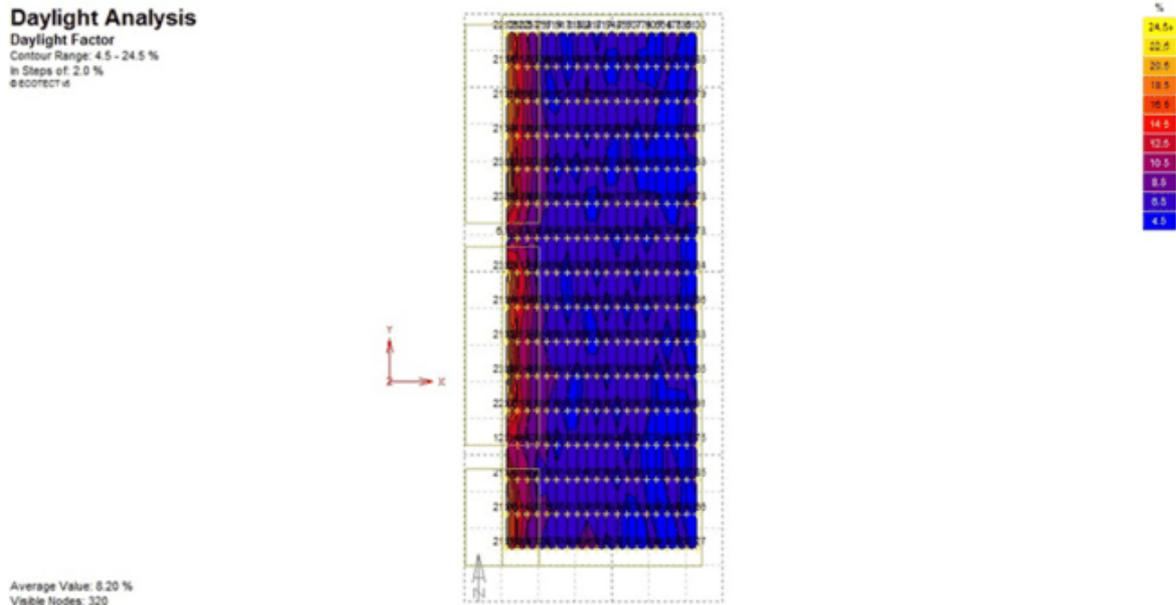
Daylight Analysis

Daylight Factor
Contour Range: 4.5 - 24.5 %
In Steps of: 2.0 %
eScoltect v6



Average Value: 8.18 %
Visible Nodes: 320

(c)



(d)

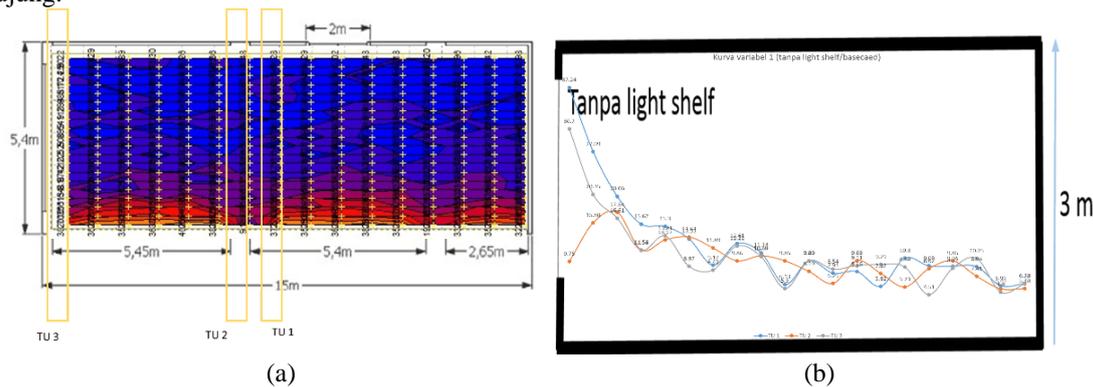
Gambar 6. (a) Average DF 11.87% variabel 1, (b) Average DF 8.84% variabel 2, (c) Average DF 8.18% variabel 3, (d) Average DF 8.20% variabel 4.

Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi daylight factor ini dilakukan pada variabel 1 eksisting tanpa light shelf. Dapat dilihat pada Gambar 7a. bahwa kontur cahaya menunjukkan bahwa cahaya masuk tidak merata. Pada area yang dekat jendela daylight factor sangat besar mencapai 37.24%, sedangkan mengalami penurunan yang sangat drastis pada area yang jauh dari jendela atau daylight factor sangat kecil. Adapun rata-rata daylight factor pada variabel 1 ini yaitu 11.87%, dengan total grid (visible nodes) 320.

Pada Gambar 7b. menunjukkan kurva yang diukur dari tiga titik pengukuran, dengan pertimbangan TU 1 adalah center/midpoint, TU 2 adalah area yang tergelap atau tidak terkena jendela pada sisi baratnya, dan TU 3 adalah area ujung.



(a)

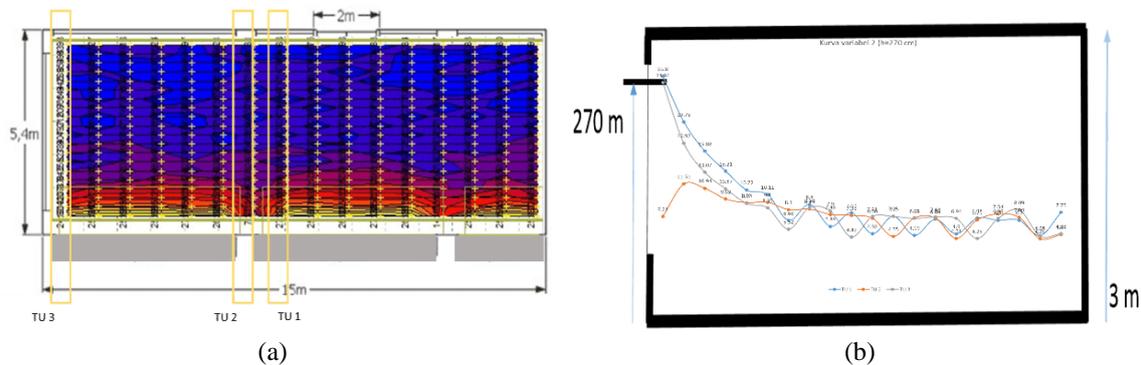
(b)

Gambar 7. Variabel 1 (eksisting) (a) Kontur cahaya, (b) Kurva pada 3 TU

Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

Selanjutnya, simulasi daylight factor ini dilakukan pada variabel 2 yakni menggunakan light shelf middle masing-masing 100cm ke dalam dan keluar (total 200cm) sesuai ketentuan tipe lightshelf CUN-OKAY [13]. Ketinggian lightshelf yakni 270 cm dari lantai dipilih juga berdasarkan hasil penelitian tersebut dimana di ketinggian ini *lightshelf* bekerja paling optimal sesuai dengan ketinggian kantor (3 m) dan latitude Kota studi kasus. Dapat dilihat pada Gambar 8a. bahwa kontur cahaya menunjukkan bahwa cahaya masuk lebih jauh ke dalam ruang dengan baik dan merata. Pada area yang dekat jendela *daylight factor* besar, namun perlahan turun tetapi tidak drastis/anjlok. Adapun rata-rata daylight factor pada variabel 2 ini yaitu 8.84%, dengan total grid (*visible nodes*) 320.

Pada Gambar 8b. menunjukkan kurva yang diukur dari tiga titik pengukuran, dengan pertimbangan TU 1 adalah center/midpoint, TU 2 adalah area yang tergelap atau tidak terkena jendela pada sisi baratnya, dan TU 3 adalah area ujung. Berdasarkan kurva tersebut, dapat dilihat bahwa penurunan *daylight factor* tidak drastis dan cenderung landai.

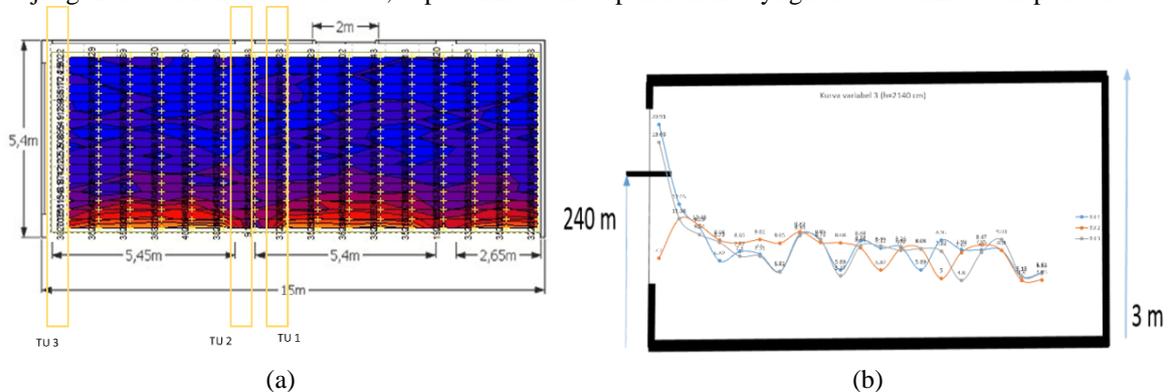


Gambar 8. Variabel 2 (h=270 cm) (a) Kontur cahaya, (b) Kurva pada 3 TU

Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

Kemudian dilanjutkan dengan simulasi *daylight factor* ini dilakukan pada variabel 3 yakni menggunakan light shelf middle masing-masing 100cm ke dalam dan keluar (total 200cm) sesuai ketentuan tipe lightshelf CUN-OKAY dimana mencoba konfigurasi light shelf dengan interval 30 cm tiap variabel. Dapat dilihat pada Gambar 9a. bahwa kontur cahaya menunjukkan bahwa cahaya masuk masih kurang merata. Pada area yang dekat jendela *daylight factor* besar, namun perlahan turun cukup drastis. Adapun rata-rata *daylight factor* pada variabel 3 ini yaitu 8.18%, dengan total grid (visible nodes) 320.

Pada Gambar 9b. menunjukkan kurva yang diukur dari tiga titik pengukuran, dengan pertimbangan TU 1 adalah center/midpoint, TU 2 adalah area yang tergelap atau tidak terkena jendela pada sisi baratnya, dan TU 3 adalah area ujung. Berdasarkan kurva tersebut, dapat dilihat bahwa penurunan *daylight factor* terlihat cukup drastis.

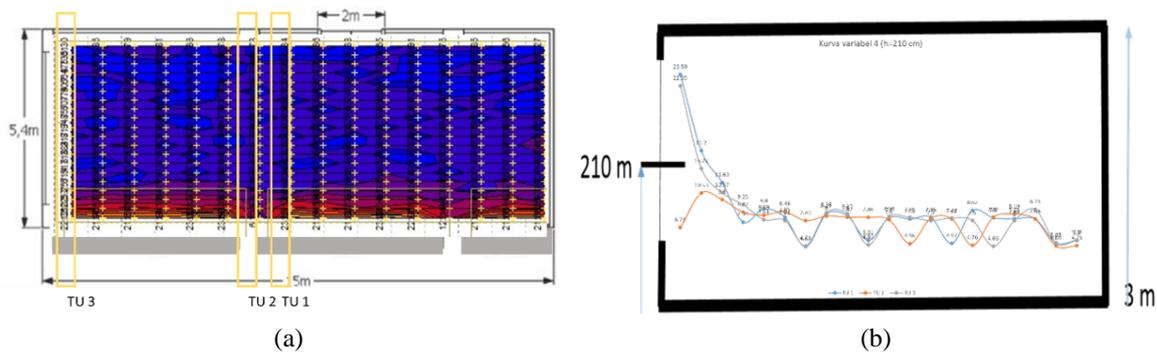


Gambar 9. Variabel 3 (h=240 cm) (a) Kontur cahaya, (b) Kurva pada 3 TU

Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

Terakhir yakni simulasi *daylight factor* yang dilakukan pada variabel 4 menggunakan light shelf middle masing-masing 100cm ke dalam dan keluar (total 200cm) sesuai ketentuan tipe lightshelf CUN-OKAY. Dapat dilihat pada Gambar 10a. bahwa kontur cahaya menunjukkan bahwa cahaya masuk masih kurang merata dan cenderung lebih buruk dibandingkan dengan variabel 2 (h=240 cm). Pada area yang dekat jendela *daylight factor* besar, namun perlahan turun cukup drastis. Adapun rata-rata *daylight factor* pada variabel 3 ini yaitu 8.20%, dengan total grid (visible nodes) 320.

Pada Gambar 10b. menunjukkan kurva yang diukur dari tiga titik pengukuran, dengan pertimbangan TU 1 adalah center/midpoint, TU 2 adalah area yang tergelap atau tidak terkena jendela pada sisi baratnya, dan TU 3 adalah area ujung. Berdasarkan kurva tersebut, dapat dilihat bahwa penurunan *daylight factor* terlihat cukup drastis juga dan lebih buruk dibandingkan dengan variabel 2 (h=240 cm).

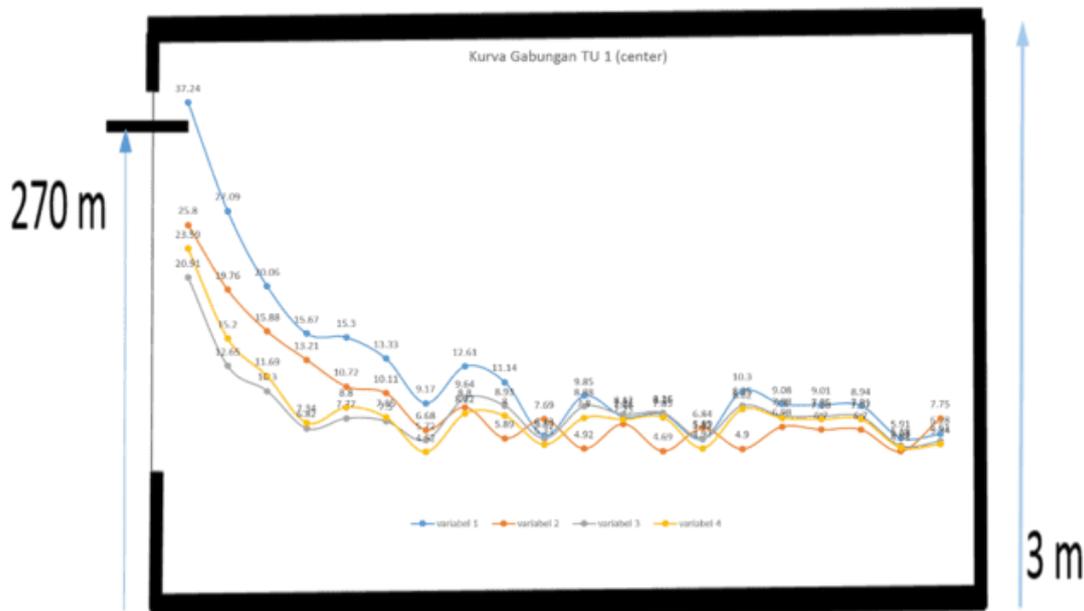


Gambar 10. Variabel 4 (h=210 cm) {a} Kontur cahaya, {b} Kurva pada 3 TU

Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

Setelah menganalisa keseluruhan data pada keempat sub variabel yakni : 1. Tanpa lightshelf/basecased, 2. Lightshelf di ketinggian 270cm dari lantai, 3. Lightshelf di ketinggian 240cm dari lantai, dan 4. Lightshelf di ketinggian 210cm dari lantai, selanjutnya diinterpretasikan berupa mengkaji hubungan antar variabel dengan kurva gabungan yang dapat dilihat pada Gambar 11. Secara keseluruhan rata-rata daylight factor (DF) pada seluruh variabel masih cenderung tinggi diatas SNI. Namun, perlu diperhatikan bahwa tujuan utamanya adalah memberi pemerataan dalam ruang, dimana distribusi cahaya masuk merata dari sumber cahaya pada jendela hingga ruang terdalam yang jauh dari cahaya. Sehingga variabel dengan kurva yang landai menunjukkan masukan cahaya tidak drastis berbeda dan cahaya masuk merata.

Pada kurva ini, hubungan antar variabel diambil dengan sampel pada TU 1 yang merupakan center/midpoint di bangunan. Dapat dilihat bahwa variabel 1 (tanpa lightshelf/basecased) terlihat sangat berbeda. Hal ini dikarenakan pencahayaan masuk tidak merata dan cenderung silau, sehingga menunjukkan bahwa penggunaan lightshelf mempengaruhi kualitas pencahayaan alami dalam ruang. Selanjutnya variabel 2 (h=270 cm) merupakan konfigurasi lightshelf yang paling optimal, dimana pencahayaan terlihat merata masuk ke dalam ruang dengan kurva yang landai. Selanjutnya pada variabel 3 (h=240cm) dan variabel 4 (h=210cm) terlihat kurva cukup serupa. Perbedaan adalah pada nilai daylight factor yang lebih tinggi pada variabel 3, dan pencahayaan lebih merata pada variabel 3 dibanding dengan variabel 4, namun tidak lebih baik dari variabel 2.



Gambar 11. Kurva gabungan 4 sub variabel di TU 1 (center)

Sumber : Dokumentasi penulis, 2024

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan interpretasi hasil, maka didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan *light shelf* mempengaruhi pencahayaan alami pada kantor. Penggunaan *light shelf* lebih baik dibandingkan dengan tidak menggunakan *light shelf* (variabel 1). Kemudian variabel 2, yakni penggunaan *light shelf middle* 200cm di ketinggian 270 cm dari lantai merupakan yang paling optimal dimana memberi distribusi pencahayaan yang lebih merata ke dalam ruangan tanpa perbedaan masukan cahaya secara drastis yang membuat silau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Turan, A. Chegut, D. Fink, and C. Reinhart, "The value of daylight in office spaces," *Build. Environ.*, vol. 168, p. 106503, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106503.
- [2] E. O. Assem and A. A. Al-Mumin, "Code compliance of fully glazed tall office buildings in hot climate," *Energy Build.*, vol. 42, no. 7, pp. 1100–1105, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.02.001.
- [3] F. Hammad and B. Abu-Hijleh, "The energy savings potential of using dynamic external louvers in an office building," *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1888–1895, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.024.
- [4] G. D. Ander, *Daylighting Performance and Design*. John Wiley and Sons, 2003.
- [5] Y. Al Horr, M. Arif, A. Kaushik, A. Mazroei, M. Katafygiotou, and E. Elsarrag, "Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature," *Build. Environ.*, vol. 105, pp. 369–389, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.06.001.
- [6] R. P. Leslie, "Capturing the daylight dividend in buildings: why and how?."
- [7] I. Khajehzadeh and B. Vale, "How New Zealanders distribute their daily time between home indoors, home outdoors and out of home," *Kōtuitui N. Z. J. Soc. Sci. Online*, vol. 12, no. 1, pp. 17–31, Jan. 2017, doi: 10.1080/1177083X.2016.1187636.
- [8] J. A. Leech, W. C. Nelson, R. T. Burnett, S. Aaron, and M. E. Raizenne, "It's about time: A comparison of Canadian and American time–activity patterns," *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 12, no. 6, pp. 427–432, Nov. 2002, doi: 10.1038/sj.jea.7500244.
- [9] S. Fairuz Syed Fadzil and S.-J. Sia, "Sunlight control and daylight distribution analysis: the KOMTAR case study," *Build. Environ.*, vol. 39, no. 6, pp. 713–717, Jun. 2004, doi: 10.1016/j.buildenv.2003.12.009.
- [10] R. A. Mangkuto, D. K. Dewi, A. A. Herwandani, M. D. Koerniawan, and Faridah, "Design optimisation of internal shading device in multiple scenarios: Case study in Bandung, Indonesia," *J. Build. Eng.*, vol. 24, p. 100745, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.job.2019.100745.
- [11] P. Xue, C. M. Mak, and H. D. Cheung, "New static lightshelf system design of clerestory windows for Hong Kong," *Build. Environ.*, vol. 72, pp. 368–376, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.11.017.
- [12] R. A. Mangkuto, F. Feradi, R. E. Putra, R. T. Atmodipoero, and F. Favero, "Optimisation of daylight admission based on modifications of light shelf design parameters," *J. Build. Eng.*, vol. 18, pp. 195–209, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.job.2018.03.007.
- [13] D. C. Kurtay, "A New Method for Light Shelf Design According To Latitudes_ CUN-OKAY Light Shelf Curves".

Sistematic Literatur Review (SLR) : TINJAUAN REGULASI GLOBAL TERHADAP BAKU MUTU GETARAN AKIBAT AKTIVITAS TRANSPORTASI DI INDONESIA

***Dewi Handayani¹, Amirotul Musthofiah HM², Septia Nur Triharningsih³**

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

^{*)} Email: dewi@ft.uns.ac.id

ABSTRACT

Transportation modes, whether land, sea, or air, can cause significant vibration impacts that can disturb the surrounding environment. The vibrations caused by the three modes of transportation are ground vibrations that impact people in the environment around the transportation mode. Vibration impacts from these modes of transportation must be controlled through strict regulations for human comfort and health and to maintain the integrity of building structures around the operating area. Indonesia has regulations regarding vibration quality standards regulated in KepMenLH No. 49 of 1996 concerning vibration levels due to facilities and infrastructure for human activities. Various countries also have updated regulations for transportation vibration levels such as Japan, Germany, Australia, and others. The latest transportation vibration quality standard regulations are more comprehensive, making it possible to control vibration impacts more effectively. This research aims to review the regulation of vibration quality standards in Indonesia due to transportation activities with global regulations at both national and international levels. Through comparative descriptive analysis, this research will identify shortcomings in Indonesian regulations and provide recommendations for improvement. The result of this research is that Indonesia's regulations require updating to ensure that the standards used remain relevant and effective in facing future vibration challenges. However, as the majority of countries in the world still use the vibration parameters used in KepMenLH No. 49, these parameters are still sufficient.

Keyword: Regulations, Transportation, Vibration

ABSTRAK

Moda transportasi, baik darat, laut, maupun udara, dapat menimbulkan dampak berupa getaran, yang signifikan dapat mengganggu lingkungan sekitar. Pada dasarnya, getaran yang diakibatkan oleh ketiga moda transportasi merupakan getaran tanah yang berdampak bagi masyarakat yang ada di lingkungan sekitar moda transportasi. Dampak getaran dari moda transportasi ini perlu dikendalikan melalui regulasi yang ketat untuk kenyamanan dan kesehatan manusia serta menjaga integritas struktur bangunan di sekitar area operasi. Indonesia memiliki regulasi mengenai baku mutu getaran diatur dalam KepMenLH No. 49 Tahun 1996 tentang tingkat getaran akibat adanya sarana dan prasarana kegiatan manusia. Berbagai negara juga telah memiliki regulasi baku tingkat getaran transportasi yang terbaru seperti Jepang, Jerman, Australia dan lain-lain. Regulasi baku mutu getaran transportasi yang terbaru lebih komprehensif sehingga memungkinkan untuk mengendalikan dampak getaran dengan lebih efektif. Penelitian ini bertujuan mengulas regulasi baku mutu getaran di Indonesia akibat aktivitas moda transportasi dengan regulasi global baik tingkat nasional maupun internasional. Melalui analisis deskriptif komparatif, penelitian ini akan mengidentifikasi kekurangan dalam regulasi di Indonesia dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan. Hasil dari penelitian ini adalah regulasi di Indonesia pada dasarnya memerlukan pembaruan untuk memastikan bahwa standar yang digunakan tetap relevan dan efektif dalam menghadapi tantangan getaran di masa depan. Namun, karena mayoritas negara di dunia masih menggunakan parameter getaran yang digunakan dalam KepMenLH No. 49, parameter ini masih cukup memadai.

Kata kunci: Getaran, Regulasi, Transportasi

1. PENDAHULUAN

Transportasi adalah sarana untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain yang timbul akibat adanya kebutuhan ekonomi [1]. Moda transportasi terbagi menjadi tiga jenis utama, yaitu darat, laut, dan udara [2]. Namun, setiap moda transportasi, baik darat, laut, maupun udara, dapat menimbulkan dampak berupa getaran yang signifikan dapat mengganggu lingkungan sekitar [3]. Dampak getaran dari moda transportasi darat, seperti kereta api, bus, dan truk sangat signifikan terutama di daerah perkotaan yang padat penduduk [4]. Getaran ini dihasilkan dari interaksi antara roda dengan permukaan jalan atau rel yang dapat merambat melalui tanah dan struktur bangunan di sekitarnya [5]. Sementara itu, moda transportasi udara juga tidak terlepas dari masalah ini; getaran dihasilkan oleh pesawat di sisi darat; yakni ketika pesawat lepas landas dan ketika mendarat dapat menimbulkan gangguan bagi lingkungan sekitar [6]. Getaran ini dihasilkan dari getaran udara atau kebisingan yang menghasilkan getaran struktural dan/atau gemerincing benda di dalam rumah [5]. Begitu pula dengan moda transportasi laut, dimana kapal besar dan aktivitas pelabuhan dapat menghasilkan getaran yang merambat melalui air dan tanah [7]. Pada dasarnya, getaran yang diakibatkan oleh ketiga moda transportasi diatas merupakan getaran tanah yang berdampak masyarakat yang ada di lingkungan sekitar moda transportasi. Dampak getaran yang dirasakan oleh masyarakat disekitar moda transportasi yaitu pada umumnya seperti stres, gangguan tidur, dan potensi masalah kesehatan lainnya [8][9].

Getaran pada tanah adalah gelombang yang merambat melalui tanah karena adanya sumber energi [10], sumber getaran alami seperti gempa bumi dan sumber getaran buatan akibat aktivitas manusia [11]. Getaran ini terjadi pada lapisan elastis tanah, di mana partikel tanah mengalami tekanan di bawah batas kekuatannya, sehingga hanya menyebabkan deformasi dan perubahan volume sementara [11]. Besarnya getaran yang merambat pada tanah akan melemah seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber energi [12]. Getaran yang merambat berbentuk gelombang tekan (gelombang P), gelombang geser (gelombang S), dan gelombang permukaan (gelombang Reylegh) [13]. Distribusi getaran secara heterogen antara lain, 7% berupa gelombang tekan, 26% gelombang geser, dan 67% berupa gelombang permukaan [14].

Dampak getaran dari moda transportasi ini perlu dikendalikan melalui regulasi yang ketat untuk kenyamanan dan kesehatan manusia, serta menjaga integritas struktur bangunan di sekitar area operasi. Di Indonesia, regulasi mengenai baku mutu getaran diatur dalam KepMenLH No. 49 Tahun 1996 tentang tingkat getaran akibat adanya sarana dan prasarana kegiatan manusia [12][15][16]. Namun, mengingat peraturan ini sudah berumur lebih dari dua dekade, ada kebutuhan mendesak untuk memperbaruinya agar sesuai dengan kemajuan teknologi transportasi dan standar internasional yang terus berubah. Peraturan tentang batas getaran yang disebabkan oleh alat transportasi merupakan bidang yang sangat kompleks dan dinamis; oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus terhadap beberapa faktor penting seperti sumber getaran, teknik pengukuran, serta nilai ambang batas [4]. Oleh karena itu, peraturan yang ada harus selalu dievaluasi dan disesuaikan agar tetap efektif dalam melindungi manusia dan lingkungan sekitarnya.

Berbagai negara telah menetapkan pedoman untuk mengukur dan menganalisis getaran transportasi yang terbaru [17]. Beberapa negara juga memiliki regulasi baku mutu getaran transportasi yang lebih komprehensif sehingga memungkinkan untuk mengendalikan dampak getaran dengan lebih efektif [4]. Dengan adanya regulasi yang ketat, pemerintah dapat mengurangi resiko kerusakan struktural pada bangunan, mengurangi gangguan kenyamanan pada masyarakat sekitar, dan melindungi ekosistem dari dampak negatif getaran. Regulasi ini menjadi penting dalam konteks urbanisasi dan perkembangan infrastruktur transportasi hijau di banyak negara [18].

Penelitian ini bertujuan untuk mengulas posisi regulasi baku mutu getaran akibat aktivitas moda transportasi darat, laut, dan udara di Indonesia dengan regulasi yang ada di beberapa negara baik tingkat nasional maupun internasional. Melalui analisis deskriptif komparatif, penelitian ini akan mengidentifikasi kekurangan dalam regulasi di Indonesia dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru bagi pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan dalam upaya meningkatkan efektivitas regulasi baku mutu getaran di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi untuk penelitian ini melibatkan pendekatan *Systematic Literatur Review* (SLR), SLR adalah proses yang dilakukan penulis untuk mencari berbagai sumber yang berhubungan dengan topik tertentu yang berupa jurnal, buku, artikel, atau dokumen yang relevan [19]. Metode SLR memungkinkan penulis untuk secara sistematis mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, dan menafsirkan atas semua hasil penelitian sebelumnya yang diperoleh [20]. Tujuan penggunaan metode ini adalah untuk mengetahui regulasi yang digunakan oleh para peneliti dalam mengevaluasi getaran akibat moda transportasi. Proses ini didasarkan pada konsep dasar dari alur kerja *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) [21]. Langkah kerja PRISMA terdiri dari beberapa tahapan utama, yang masing-masing memiliki peran penting dalam proses tinjauan sistematis [22], sebagai berikut.

Perumusan masalah : Rumusan masalah dalam artikel tinjauan ini adalah “Apakah regulasi baku mutu getaran di Indonesia masih bisa digunakan dalam penelitian terkait getaran akibat transportasi?”

Pencarian literatur : Pencarian literatur sistematis dilakukan dengan menggunakan database online yaitu Scopus dan Google Scholar. Istilah-istilah pencarian berikut ini digunakan: “transportasi”, “regulasi”, dan “getaran”.

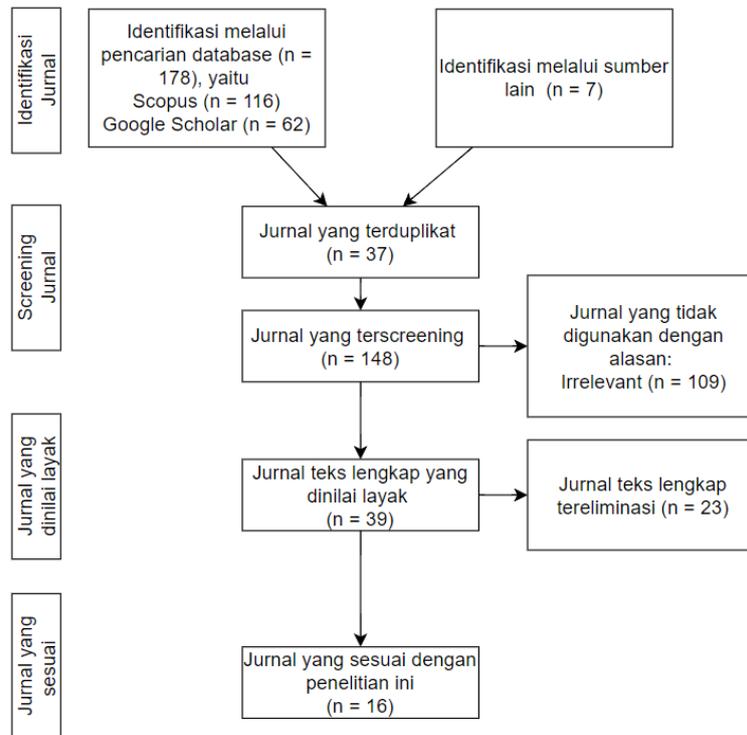
Pemilihan artikel : Artikel-artikel yang didapatkan akan disaring berdasarkan judul dan abstraknya, kemudian file dalam bentuk teks lengkap diperoleh untuk analisis lebih lanjut. Kriteria literatur yang digunakan adalah studi yang berfokus pada pengukuran dan analisis getaran transportasi, termasuk regulasi yang digunakan sebagai parameter getaran. Sedangkan kriteria literatur yang tidak digunakan adalah penelitian yang tidak relevan dengan topik, seperti penelitian terkait getaran pada pasien selama pemindahan antar rumah sakit.

Ekstraksi dan sintesis data : Data dipisahkan dan dikumpulkan dari artikel-artikel yang dipilih, termasuk informasi mengenai regulasi-regulasi baku mutu getaran global dan Indonesia agar mudah dipahami, diperbandingkan, dan dianalisis.

Analisis dan interpretasi : Data yang diperoleh dianalisis dan diinterpretasikan untuk mengidentifikasi tema dan pola umum. Rekomendasi untuk penelitian dan pengembangan di masa depan juga dibuat berdasarkan temuan-temuan tersebut.

Penulisan dan publikasi : Temuan-temuan tersebut disintesis ke dalam artikel tinjauan sistematis, yang ditulis sesuai dengan pedoman tinjauan sistematis. Makalah ini ditinjau dan direvisi oleh semua penulis untuk memastikan keakuratan dan kelengkapannya. Kemudian, artikel dipublikasikan melalui jurnal yang telah ditelaah oleh rekan sejawat.

Berikut merupakan diagram alir proses pencarian literatur, dengan 16 jurnal dipilih dari total 185 jurnal yang teridentifikasi sebagai berikut.

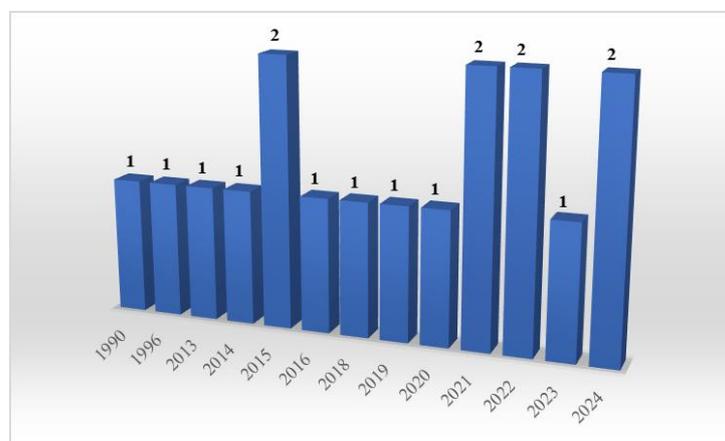


Gambar 27. Diagram Alir Proses Pencarian Literatur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

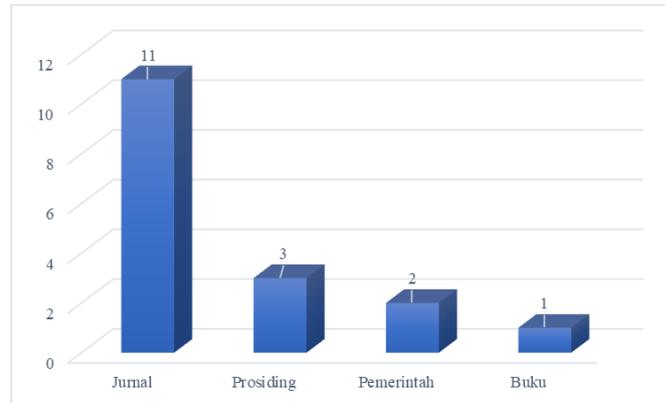
Deskripsi Tinjauan Literatur

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dipaparkan sebelumnya, bagian ini akan membahas temuan-temuan yang menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian. Pada **Gambar 2**. Literatur Berdasarkan Tahun Publikasi menunjukkan distribusi literatur berdasarkan tahun publikasi yang digunakan serta sesuai dengan penelitian ini. Gambar tersebut menunjukkan bahwa, sebesar 52,94% literatur tentang pokok bahasan diterbitkan dalam 5 tahun terakhir yaitu rentang tahun antara 2019 hingga 2024. Sedangkan sebesar 29,41% literatur diterbitkan dalam rentang tahun antara 2014 hingga 2018, dan 17,65% sisanya diterbitkan pada tahun 2013, 1996, dan 1990.



Gambar 28. Literatur Berdasarkan Tahun Publikasi

Gambar 3. Literatur Berdasarkan Sumber Publikasi menunjukkan distribusi literatur berdasarkan sumber kutipan publikasi yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar tersebut menunjukkan bahwa sumber publikasi mayoritas berasal dari jurnal, dengan rincian 64,71% jurnal, 17,65% prosiding, 11,76% peraturan pemerintah, dan 5,88% buku.



Gambar 29. Literatur Berdasarkan Sumber Publikasi

Regulasi Baku Mutu Getaran Global Dan Indonesia

Getaran transportasi merupakan faktor signifikan yang memengaruhi lingkungan, infrastruktur, dan kesehatan manusia. Banyak negara telah menerapkan peraturan dan pedoman untuk mengatur dan meminimalkan dampak getaran transportasi. Regulasi tentang pengukuran dan analisis getaran transportasi berbeda-beda di setiap negara dan didasarkan pada standar tertentu. Artikel ini memberikan gambaran umum tentang standar yang digunakan di beberapa negara untuk mengukur dan menganalisis getaran transportasi. Berikut merupakan regulasi dari beberapa negara tentang getaran akibat transportasi pada **Tabel 1**.

Tabel 2. Regulasi Baku Mutu Getaran Global dan Indonesia

No.	Negara	Objek Riset	Tahun Standar	Standar
1.	Indonesia	Semua moda transportasi	1996	KepMenLH No. 49 [23]
2.	Turki	Kereta	2005	Turkish Environmental Noise Regulation [24]
3.	Jerman	Kereta	2016	DIN 4150-2/3 ; Human Exposure to Vibration in Bulding/Effect of Vibration on Structures [25]
4.	Italia	Kereta	2017	Ente Nazionale Italiano di Unificazione UNI 9916 [26]
5.	Brazil	Truk	2014	Lampiran 8 dari NR-15 Regulatory Standard dan NHO-09 (Occupation Hygiene Standard) [27]
6.	China	Kereta Api Perkotaan	2008	Technical Specification for Protection of Historic Building Against Man-Made Vibration GB/T50452-2008 [28]
7.	Jepang	Semua moda transportasi	2016	JIS A 4652-1 ; Japanese Standard Association [17]
8.	Australia	Semua moda transportasi	1990	Australian Standard AS 2670.2 [29]
9.	Malaysia	Light Rapid Transit	1997	ISO 2631 (1997) standar untuk getaran yang dapat diterima oleh manusia [30]
10.	Swiss	Kereta	1992	Swiss Standard SN 640-312 A Standar getaran pada bangunan [31][32]
11.	Inggris	Semua moda transportasi	1987	British Standard BS 6841 [33]
12.	Spanyol	Kereta	2007	Real Decreto 1307 [34]
13.	Austria	Kereta	2010	ÖNORM S 9012 [34]

Regulasi mengenai baku tingkat getaran telah mengalami perkembangan seiring dengan meningkatnya kesadaran akan dampak getaran terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. **Tabel 1**. menunjukkan bahwa berbagai negara

di dunia sudah memiliki standar mengenai baku tingkat getaran. Regulasi pada beberapa negara didasarkan pada standar internasional yaitu International Organization for Standardization (ISO) mengenai standar untuk getaran yang dapat diterima oleh manusia [4][27]. Seiring dengan berkembangnya bidang pengukuran dan analisis getaran, diantisipasi bahwa pedoman dan standar baru pada ISO akan dikembangkan dengan mempertimbangkan hasil penelitian terbaru dan kemajuan teknologi [4].

Ditinjau dari kajian literatur yang sudah dilakukan, terlihat bahwa objek yang paling banyak diteliti dalam konteks regulasi getaran adalah kereta api. Hal ini disebabkan oleh pengaruh signifikan yang ditimbulkan oleh aktivitas kereta api terhadap lingkungan sekitar [35], termasuk terhadap struktur bangunan dan kenyamanan masyarakat [36]. Penelitian mengenai getaran akibat kereta api menjadi penting karena tingginya intensitas dan frekuensi getaran yang dihasilkan, terutama di daerah perkotaan dengan kepadatan penduduk yang tinggi.

Jika ditinjau dari sisi regulasi, terdapat perbedaan tingkat pembaruan regulasi di berbagai negara. Sebagai contoh, lima negara yaitu Jepang, Australia, Malaysia, Swiss, dan Inggris tidak melakukan pembaruan regulasi dalam beberapa dekade, sama halnya dengan regulasi di Indonesia. Australia, dengan standar AS 2670 tahun 1990, belum mengalami pembaruan, namun dalam regulasi ini sudah mengatur batasan getaran yang dapat diterima oleh manusia ditentukan dengan posisi berdiri, duduk, ataupun berbaring serta memberikan panduan tentang evaluasi getaran di tempat kerja dan lingkungan perumahan [29]. AS 2670 juga mengatur batasan getaran yang ditimbulkan oleh moda transportasi yang berbeda-beda [17]. Namun di sisi lain, regulasi di delapan negara seperti Turki, Jerman, Italia, Brazil, China, Spanyol, dan Austria telah mengalami pembaruan untuk menyesuaikan dengan perkembangan teknologi dan meningkatkan pemahaman akan dampak getaran. Jerman dengan standar DIN 4150 tahun 1999 yang tidak hanya mengatur tingkat getaran pada bangunan tetapi juga memasukkan pedoman khusus untuk perlindungan manusia [25]. DIN 4150 telah mengalami tiga kali pembaruan, yaitu yang pertama pada tahun 1986, kedua pada tahun 1999, dan terakhir pada tahun 2016 [15]. Demikian pula, Jepang memiliki standar JIS A 4652-1 (Japanese Industrial Standards) tahun 2016 yang mencakup pengukuran dan analisis getaran secara detail serta mempertimbangkan dampak kumulatif dari getaran [37][17]. Regulasi-regulasi yang lebih baru cenderung lebih komprehensif, mencakup berbagai aspek seperti perlindungan struktur bangunan, lingkungan, serta kenyamanan manusia.

Salah satu regulasi pertama di Indonesia yang berfokus pada pengendalian getaran adalah KepMenLH No. 49 tahun 1996 tentang baku tingkat getaran. Regulasi ini menetapkan batasan untuk tingkat getaran yang diizinkan pada bangunan dan lingkungan, dengan kategori yang didasarkan pada jenis bangunan dan tujuan penggunaannya [23]. Namun, sejak diterbitkan pada tahun 1996, KepMenLH No. 49 belum mengalami pembaruan mengingat ada perbedaan rentang frekuensi dominan bagi beberapa jenis pengukuran tingkat getaran [15]. KepMenLH No. 49 juga kurang dalam memberikan panduan teknis yang rinci tentang metode pengukuran getaran [15]. Dilihat dari tingkat pembaruan regulasi, pada dasarnya regulasi di Indonesia memerlukan pembaruan untuk memastikan bahwa standar yang digunakan tetap relevan dan efektif dalam menghadapi tantangan getaran di masa depan.

Standar Frekuensi Getaran Global Dan Indonesia

Setiap regulasi baku mutu getaran Regulasi disusun untuk memastikan bahwa getaran yang dihasilkan dari berbagai sumber, seperti aktivitas industri atau transportasi, tidak melebihi batas aman bagi manusia dan lingkungan. **Tabel 2.** menunjukkan standar frekuensi getaran yang diizinkan di berbagai negara sesuai dengan regulasi masing-masing.

Tabel 3. Standar Frekuensi Getaran Global dan Indonesia

No.	Sitasi	Negara	Tahun Standar	Parameter getaran	Standar Frekuensi Getaran
1.	[23]	Indonesia	1996	Kecepatan getaran	10 mm/s
2.	[33]	Inggris	1987	Percepatan getaran	0,09 m/s ² (pada 100 Hz)
3.	[38]	Slovenia	1986	Kecepatan getaran	26 mm/s
4.	[17]	Jepang	2016	Kecepatan getaran	10 m m/s
5.	[39]	Jerman	2016	Kecepatan getaran	15 mm/s
6.	[26]	Italia	2017	Kecepatan getaran	20 mm/s (pada 15 Hz)
7.	[40]	Amerika	1981	Kecepatan getaran	0,2 – 0,3 inch/s
8.	[40]	Swiss	1992	Kecepatan getaran	0,7 inch/s
9.	[17]	Australia	1990	Kecepatan getaran	5 mm/s
10.	[41]	Kazakhstan	2021	Kecepatan getaran	0,18 m/s

Regulasi getaran jika ditinjau dari parameter yang digunakan pada **Tabel 2.** mayoritas menggunakan kecepatan getaran dengan satuan mm/s, m/s, atau inch/s. Sedangkan parameter regulasi getaran yang digunakan oleh Inggris yaitu percepatan getaran. Percepatan getaran biasa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi secara kontinu atau tidak terputus selama periode waktu tertentu atau getaran dengan perbedaan intensitas yang tinggi [29].

Sedangkan getaran akibat transportasi seperti kereta merupakan getaran yang terputus-putus (*intermitten*) [29], sehingga regulasi tentang getaran akibat aktivitas transportasi di beberapa negara akan lebih tepat jika diukur dalam parameter kecepatan getaran. Parameter kecepatan getaran yang digunakan Indonesia pada KepmenLH No. 49 masih cukup memadai karena parameter ini juga masih digunakan oleh mayoritas negara di dunia.

Standar frekuensi getaran yang ditetapkan dalam setiap regulasi baku mutu getaran di berbagai negara memiliki perbedaan jangkauan. Hal tersebut membuktikan bahwa terdapat pengaruh lain yang dapat memengaruhi kerusakan struktur bangunan dan kenyamanan manusia. Penetapan standar frekuensi getaran di setiap negara dipengaruhi oleh adanya kondisi geologi serta kebutuhan suatu negara yang berbeda-beda [15].

4. KESIMPULAN

KepMenLH No. 49 tahun 1996 merupakan langkah awal yang penting dalam pengelolaan getaran di Indonesia. Pada dasarnya regulasi di Indonesia memerlukan pembaruan untuk memastikan bahwa standar yang digunakan tetap relevan dan efektif dalam menghadapi tantangan getaran di masa depan. Namun, karena mayoritas negara di dunia masih menggunakan parameter getaran yang digunakan dalam KepMenLH No. 49, parameter ini masih cukup memadai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Handayani, U. Ubaidillah, Dan W. F. Adzim, "Pengaruh Timbunan Jalan Rel Terhadap Tingkat Kebisingan Aktivitas Kereta Api," *Matriks Tek. Sipil*, Vol. 11, No. 4, Hal. 449, 2024, Doi: 10.20961/Mateksi.V11i4.76330.
- [2] Y. Kurnia Dan E. Aristriyana, "Pemilihan Moda Transportasi Untuk Meminimalisasikan Biaya Kirim Produk Pada Ikm Kerupuk Idaman Di Handapherang Kabupaten Ciamis," *J. Media Teknol.*, Vol. 9, No. 1, Hal. 105–115, 2022, Doi: 10.25157/Jmt.V9i1.2790.
- [3] B. Sarasati, U. Bhayangkara, Dan J. Raya, *Sektor Sosial Dan Budaya Pengaruh Aksesibilitas Pada Perubahan Sosial Di Daerah Marginal Kampung Sungai Labuh*, No. November 2021. 2022.
- [4] D. Khan Dan R. Burdzik, "Measurement And Analysis Of Transport Noise And Vibration: A Review Of Techniques, Case Studies, And Future Directions," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, Vol. 220, No. April, 2023, Doi: 10.1016/J.Measurement.2023.113354.
- [5] O. Hunaidi, "Traffic Vibrations In Buildings," *Constr. Technol. Updat.*, Vol. 39, No. Figure 2, Hal. 1–6, 2000, [Daring]. Tersedia Pada: https://www.Nrc-Cnrc.Gc.Ca/Ctu-Sc/Files/Doc/Ctu-Sc/Ctu-N39_Eng.Pdf.
- [6] R. Cawthorn, J. Dempsey, T. And Deloach, "Human Response To Aircraft-Noise-Induced Bulding Vibration," No. Aircraft Noise Induced Building Vibration, Hal. 479–491, 1978.
- [7] A. S. Alamoush, F. Ballini, Dan A. I. Ölçer, *Revisiting Port Sustainability As A Foundation For The Implementation Of The United Nations Sustainable Development Goals (Un Sdgs)*, Vol. 6, No. 1. Springer Singapore, 2021.
- [8] F. A. Alfira, K. Khambali, S. Suprijandani, Dan E. Sari, "Analysis Of Train Vibration And Noise On Population Subjective Complaints," *J. Kesehat. Masy.*, Vol. 11, No. 1, Hal. 96–101, 2023, Doi: 10.14710/Jkm.V11i1.36204.
- [9] L. Maclachlan, M. Ögren, E. Van Kempen, L. Hussain-Alkhateeb, Dan K. P. Waye, "Annoyance In Response To Vibrations From Railways," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol. 15, No. 9, 2018, Doi: 10.3390/Ijerp15091887.
- [10] S. Cahyadi, R., Toha, T., And Komar, "Analisis Korelasi Scaled Distance Terhadap Getaran Tanah Pada Operasi Peledakan Batu Kapur Pt. Semen Baturaja (Persero)," *J. Tek. Patra Akad.*, Vol. 08, No. 02, Hal. 26–38, 2020, [Daring]. Tersedia Pada: [File:///C:/Users/Asus/Appdata/Local/Packages/Microsoft.Microsoftedge_8wekyb3d8bbwe/Tempstate/Downloads/51-Article Text-69-1-10-20180831 \(2\).Pdf](File:///C:/Users/Asus/Appdata/Local/Packages/Microsoft.Microsoftedge_8wekyb3d8bbwe/Tempstate/Downloads/51-Article Text-69-1-10-20180831 (2).Pdf).
- [11] R. Maryura, M. Toha, Dan D. Sudarmono, "Kajian Pengurangan Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level) Pada Operasi Peledakan Interburden B2-C Tambang Batubara Air Laya Pt. Bukit Asam (Persero), Tbk Tanjung Enim," *J. Ilmu Tek. Sriwij.*, Vol. 2, No. 1, Hal. 103329, 2014.
- [12] L. S. Adhidhuto, R. Muhammad, J. Kurniawan, P. Santosa, Dan A. Priyanto, "Lintas Response Of Mendut Temple Structure To Traffic Vibration Landasan Teori," Vol. 15, Hal. 35–51, 2021.
- [13] H. Xia, Y. Cao, R. De Guido, Dan D. Geert, "Environmental Problems Of Vibrations Induced By Railway Traffic," *Front. Archit. Civ. Eng. China*, Vol. 1, No. 2, Hal. 142–152, 2007, Doi: 10.1007/S11709-007-0015-1.
- [14] J. Cardona, J. Romeu, R. Arcos, Dan A. Balastegui, "A Ground-Borne Vibration Assessment Model For Rail Systems At-Grade," *39th Int. Congr. Noise Control Eng. 2010, Inter-Noise 2010*, Vol. 4, Hal. 3154–3163, 2010.

- [15] B. Purwanto, , Zulfachmi Zulfachmi, Dan P. Budi Purwaka, “Pengukuran Getaran Mekanik Berdasarkan Jenis Bangunan,” *J. Ecolab*, Vol. 16, No. 1, Hal. 31–38, 2022, Doi: 10.20886/Jklh.2022.16.1.31-38.
- [16] A. Sunandar Dan S. Y. Mulyani, “Evaluasi Pengaruh Getaran Kendaraan Truk Dan Variasi Jarak Terhadap Kerusakan Bangunan,” *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, Vol. 14, No. 2, Hal. 11–19, 2017, Doi: 10.30630/Jirs.14.2.102.
- [17] D. Khan Dan R. Burdzik, “A Review On Different Regulation For The Measurement Of Transport Noise And Vibration,” *J. Meas. Eng.*, Vol. 11, No. 2, Hal. 196–213, 2023, Doi: 10.21595/Jme.2023.23279.
- [18] S. Rizky Juda Putra Hidayat, “Perencanaan Pembangunan Infrastruktur Yang Berkelanjutan Sebuah Kajian Pustaka Terstruktur (Systematic Literature Review) Yang Didorong Dengan Inovasi . Kualitas Infrastruktur Yang Buruk Berarti Akan Memerlukan Kompromi Dari Generasi Yang Akan Datang Me,” *Kybernan J. Stud. Kepemerintahan*, Vol. 4, No. 2, Hal. 110–128, 2021.
- [19] R. Suryaningsih Dan Usiono, “Slr : Efektivitas Edukasi Cuci Tangan Pakai Sabun Pada Anak Sekolah Dasar,” *J. Pendidik. Tambusai*, Vol. 7, No. 3, Hal. 27690–27696, 2023.
- [20] Raden Soebartika Dan Ida Rindaningsih, “Systematic Literature Review (Slr): Implementasi Sistim Kompensasi Dan Penghargaan Terhadap Kinerja Guru Sd Muhammadiyah Sidoarjo,” *Mamen J. Manaj.*, Vol. 2, No. 1, Hal. 171–185, 2023, Doi: 10.55123/Mamen.V2i1.1630.
- [21] M. J. Page *Et Al.*, “The Prisma 2020 Statement: An Updated Guideline For Reporting Systematic Reviews,” *Bmj*, Vol. 372, 2021, Doi: 10.1136/Bmj.N71.
- [22] E. Suhartono, “Systematic Literatur Review (Slr): Metode , Manfaat , Dan Tantangan Learning Analytics Dengan Metode Data Mining Di Dunia Pendidikan Tinggi,” *J. Ilm. Infokam*, Vol. 13, No. 1, Hal. 73–86, 2017, [Daring]. Tersedia Pada: [Http://Amikjtc.Com/Jurnal/Index.Php/Jurnal/Article/View/123](http://Amikjtc.Com/Jurnal/Index.Php/Jurnal/Article/View/123).
- [23] P. L. No.49, “Baku Mutu Tingkat Getaran,” *Program*, No. 15, 1996.
- [24] S. Alan Dan M. Caliskan, “Prediction And Assessment Of Environmental Vibrations From Railway Operations On Marmaray,” *Proc. Meet. Acoust.*, Vol. 21, No. 1, 2014, Doi: 10.1121/1.4884780.
- [25] S. Ates, E. Celebi, O. Kirtel, A. C. Zulfikar, Dan F. Goktepe, “Measurement Of Vibrations Generated By High Speed Railway Traffic And Evaluation According To International Norms,” *Iop Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, Vol. 800, No. 1, 2020, Doi: 10.1088/1757-899x/800/1/012005.
- [26] R. M. Azzara, S. Galassi, S. Garuglieri, M. Paradiso, Dan M. Tanganelli, “Analysis Of Vibrations Recorded Inside The Cemetery Area Of Incisa, Central Italy,” *Case Stud. Constr. Mater.*, Vol. 15, No. June, Hal. E00623, 2021, Doi: 10.1016/J.Cscm.2021.E00623.
- [27] J. G. Picoral Filho, M. Fedatto Neto, J. P. R. Quintas, Dan H. M. Gomes, “Case Study On Vibration Health Risk And Comfort Levels In Loading Crane Trucks,” *Int. J. Health Plann. Manage.*, Vol. 34, No. 4, Hal. E1448–E1463, 2019, Doi: 10.1002/Hpm.2808.
- [28] W. Liu, M. Ma, W. Liu, X. Sun, Dan F. Sun, “Overview On Current Research Of Environmental Vibration Influence Induced By Urban Mass Transit In China,” *Zhongguo Kexue Jishu Kexue/Scientia Sin. Technol.*, Vol. 46, No. 6, Hal. 547–559, 2016, Doi: 10.1360/N092015-00334.
- [29] “Australian Standard ® Evaluation Of Human Exposure To Whole-Body Vibration Part 2 : Continuous And Shock- Induced Vibration In Buildings,” 1990.
- [30] J. Azlis-Sani *Et Al.*, “Evaluation Of Whole Body Vibration And Back Pain Problem Among Light Rapid Transit (Lrt) Drivers,” *Appl. Mech. Mater.*, Vol. 773–774, Hal. 845–849, 2015, Doi: 10.4028/Www.Scientific.Net/Amm.773-774.845.
- [31] S. Ouakka, O. Verlinden, Dan G. Kouroussis, “Railway Ground Vibration And Mitigation Measures: Benchmarking Of Best Practices,” *Railw. Eng. Sci.*, Vol. 30, No. 1, 2022, Doi: 10.1007/S40534-021-00264-9.
- [32] G. Kouroussis, J. Florentin, C. Conti, O. Verlinden, Dan D. P. Connolly, “Building Vibrations Induced By Railways: An Analysis Of Commonly Used Evaluation Standards,” *21st Int. Congr. Sound Vib. 2014, Icsv 2014*, Vol. 1, Hal. 375–382, 2014.
- [33] A. Trollé, C. Marquis-Favre, Dan É. Parizet, “Perception And Annoyance Due To Vibrations In Dwellings Generated From Ground Transportation: A Review,” *J. Low Freq. Noise Vib. Act. Control*, Vol. 34, No. 4, Hal. 413–458, 2015, Doi: 10.1260/0263-0923.34.4.413.
- [34] M. Vasheghani, J. Sadeghi, Dan A. Khajehdezfuly, “Legal Consequences Of Train-Induced Structure Borne Noise And Vibration In Residential Buildings,” *Noise Mapp.*, Vol. 9, No. 1, Hal. 170–188, 2022, Doi: 10.1515/Noise-2022-0156.
- [35] I. Tobing, F. Alami, Dan A. Siregar, “Pengaruh Getaran Kereta Api Terhadap Bangunan Sekitar Jalur Rel Kereta Api Natar-Panjang Di Bandar Lampung,” Vol. 26, No. 2, Hal. 1–5, 2023, Doi: [Https://Doi.Org/10.23960/Rekrjits.V27i3.83](https://doi.org/10.23960/Rekrjits.V27i3.83).
- [36] A. Margiantono Dan H. S. Pudjiharjo, “Tingkat Getaran Yang Disebabkan Kereta Api Pada Saat Melintas Di Daerah Sekitar Jalan Kereta Api,” *Pros. Semin. Nas. Masif Iti*, Hal. 201–206, 2016.
- [37] T. Morihara, S. Yokoshima, Dan Y. Matsumoto, “Effects Of Noise And Vibration Due To The Hokuriku Shinkansen Railway On The Living Environment: A Socio-Acoustic Survey One Year After The Opening,”

- Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol. 18, No. 15, 2021, Doi: 10.3390/Ijerph18157794.
- [38] V. Jovičić, B. Volk, Dan J. Logar, “Conditions For The Sustainable Development Of Underground Transport In The Ljubljana Basin,” *Sustain.*, Vol. 10, No. 9, 2018, Doi: 10.3390/Su10092971.
- [39] E. Çelebi *Et Al.*, “High-Speed Train Induced Environmental Vibrations: Experimental Study On Isolation Efficiency Of Recyclable In-Filling Materials For Thin-Walled Hollow Wave Barrier,” *Eng. Struct.*, Vol. 312, No. April, 2024, Doi: 10.1016/J.Engstruct.2024.118207.
- [40] W. L. Andrews, Jim.; Buehler, David.; Gill, Harjodh.; Bender, “Transportation And Construction Vibration Guidance Manual,” *Calif. Calif. Dep. Transp.*, Vol. 415, No. September, Hal. 29–79, 2013.
- [41] T. Sergey, A. Shamil, I. Aizhan, Dan B. Lalita, “Analysis Of Regulative Documents In The Field Of Human Vibration Safety,” Hal. 53–59, 2024, Doi: 10.21595/Vp.2024.23950.

KOMPARASI ANALISIS BANGUNAN PENGAMAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *LOAD RESISTANCE FACTOR DESIGN* DAN *ALLOWABLE STRESS DESIGN*

*Furqaan Harjanto¹, Dega Rofiyantama², Mentari Putri Maharani³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta

*) Email: fh884@ums.ac.id

ABSTRACT

Retaining walls are important structures in civil construction used to resist soil and water pressure. Two common methods used for retaining wall analysis are the Load and Resistance Factor Design (LRFD) and Allowable Stress Design (ASD) methods. LRFD is based on the principle of probabilistic balance and considers an explicit safety factor to ensure that the capacity of the structure is greater than the loads that may occur, while ASD is based on the principle that the stresses acting on the structure should not exceed the allowable stresses for the material and is simpler than the LRFD method, but does not consider the safety factor explicitly and does not account for uncertainties in materials, loads and analysis. With the different approaches in LRFD and ASD analysis, this study aims to compare the analysis results with LRFD and ASD approaches in the case of a secant pile-type retaining wall on the slope of river X where the initial analysis used the ASD approach. Secondary data in the form of soil data and river slope cross sections were obtained from the previous planning consultant, then the analysis was carried out with GEO5 software. The initial model was created first with the same parameters as the previous planning in order to provide the same penetration, displacement and internal force requirements as the planning consultant. The same model in the analysis results will be used as an analysis model for the LRFD approach and the analysis results in the LRFD model will be compared with the analysis model in the ASD approach. Based on the results of the LRFD analysis on the Strength boundary condition, it was found that the LRFD method gave a penetration depth 21.7% greater than ASD, moment force 40% greater than ASD and shear force 7.8% greater than ASD. A more detailed approach needs to be carried out on other boundary conditions such as Service and Extreme in order to provide more optimal comparison results.

Keyword: *Earth Retaining Structure, Load Resistance Factor Design (LRFD), Allowable Stress Design (ASD), GEO5*

ABSTRAK

Dinding penahan tanah merupakan struktur penting dalam konstruksi sipil yang digunakan untuk menahan tekanan tanah dan air. Dua metode umum yang digunakan untuk analisis dinding penahan tanah adalah metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dan *Allowable Stress Design* (ASD). LRFD didasarkan pada prinsip keseimbangan probabilistik dan mempertimbangkan faktor keamanan yang eksplisit untuk memastikan bahwa kapasitas struktur lebih besar dari beban yang mungkin terjadi, sedangkan ASD didasarkan pada prinsip bahwa tegangan yang bekerja pada struktur tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan untuk material dan lebih sederhana daripada metode LRFD, tetapi tidak mempertimbangkan faktor keamanan secara eksplisit dan tidak memperhitungkan ketidakpastian dalam material, beban, dan analisis. Dengan adanya perbedaan pendekatan dalam analisis LRFD dan ASD, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil analisis dengan pendekatan LRFD dan ASD pada kasus dinding penahan tanah tipe secant pile pada lereng sungai X yang dimana analisis awal menggunakan pendekatan ASD. Data sekunder berupa data tanah dan potongan melintang lereng sungai didapatkan dari konsultan perencanaan sebelumnya, lalu analisis dilakukan dengan *software* GEO5. Model awal dibuat terlebih dahulu dengan parameter yang sama dengan perencanaan sebelumnya agar memberikan hasil kebutuhan penetrasi, *displacement* dan gaya dalam yang sama dengan perencanaan dari konsultan perencanaan. Model yang telah sama dalam hasil analisis tersebut akan digunakan sebagai model analisis untuk pendekatan LRFD dan hasil analisis pada model LRFD tersebut akan dibandingkan dengan model analisis pada pendekatan ASD. Berdasarkan dari hasil analisis LRFD pada kondisi batas Kuat, didapatkan metode LRFD memberikan kedalaman penetrasi 21.7% lebih besar daripada ASD, gaya moment 40% lebih besar dari ASD dan gaya geser 7.8% lebih besar dari ASD. Pendekatan lebih detail perlu dilakukan pada kondisi batas lain seperti Layan dan Ekstrem agar dapat memberikan hasil perbandingan yang lebih optimal.

Kata kunci: *Dinding Penahan Tanah, Load Resistance Factor Design (LRFD), Allowable Stress Design (ASD), GEO5*

1. PENDAHULUAN

Dinding penahan tanah merupakan struktur penting dalam konstruksi sipil yang digunakan untuk menahan tekanan tanah dan air. Dua metode umum yang digunakan untuk analisis dinding penahan tanah adalah metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dan *Allowable Stress Design* (ASD). Metode LRFD didasarkan pada prinsip keseimbangan probabilistik dan mempertimbangkan faktor keamanan yang eksplisit untuk memastikan bahwa kapasitas struktur lebih besar dari beban yang mungkin terjadi. Metode ini menggunakan kombinasi beban yang lebih realistis dan memperhitungkan ketidakpastian dalam material, beban, dan analisis. Metode ASD didasarkan pada prinsip bahwa tegangan yang bekerja pada struktur tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan untuk material. Metode ini lebih sederhana daripada metode LRFD, tetapi tidak mempertimbangkan faktor keamanan secara eksplisit dan tidak memperhitungkan ketidakpastian dalam material, beban, dan analisis. *Allowable stress*

design (ASD) merupakan pendekatan desain dinding penahan tanah yang paling umum digunakan [1] [2]. Dalam metode ASD, faktor keamanan yang digunakan tidak mempertimbangkan kepastian prediksi beban yang bekerja, hal tersebut dikarenakan oleh pengalaman dan penilaian individu merupakan faktor yang sangat menentukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada pendekatan ASD. Metode ASD memberikan hasil yang tidak konsisten serta tidak mengikuti filosofi desain dan pengetahuan yang terbaru [3]. Berdasarkan dari penjelasan tersebut, maka *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) mengembangkan pendekatan baru berupa *load resistance factor design* (LRFD) yang merupakan pengembangan dari faktor ASD, yang dimana untuk mendapatkan nilai keamanan yang seragam, statistik aktual digunakan untuk menentukan nilai faktor tahanan dan faktor beban dari LRFD [4]. Standar yang digunakan di Indonesia dalam desain dinding penahan tanah adalah SNI 8460:2017, dimana standar tersebut juga menggunakan pendekatan ASD [5]. Sehingga berdasarkan dari hal tersebut, perlu dilakukan analisis terkait penggunaan metode LRFD dalam desain dinding penahan tanah, mengingat metode ASD telah mulai ditinggalkan dalam beberapa standar perencanaan.

Desain dari dinding penahan tanah umumnya dilakukan dengan menggunakan pendekatan dari *allowable stress design* (ASD) dengan adanya satu nilai faktor keamanan untuk mengakomodir ketidakpastian dalam beban dan kekuatan material [6] [7]. Hasil analisis menggunakan metode ASD memberikan hasil yang tidak mengikuti filosofi desain dan pengetahuan yang terbaru serta cenderung memberikan hasil yang tidak konsisten, sehingga dikembangkan metode *load resistance factor design* (LRFD) [3]. Terdapat dua koefisien berupa koefisien modifikasi beban (faktor beban) dan koefisien reduksi kekuatan (faktor tahanan) [8]. Faktor beban berupa koefisien dengan nilai lebih dari satu yang menunjukkan adanya peningkatan beban, sedangkan untuk faktor tahanan ditunjukkan dengan koefisien kurang dari satu yang menunjukkan adanya reduksi beban.

Secara umum, desain LRFD mengharuskan bahwa kekuatan material yang telah dikalikan dengan faktor reduksi, harus lebih besar daripada beban bekerja yang telah dikalikan dengan faktor beban [4], dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (1)$$

Dengan:

Q : beban terfaktor

Q_i : gaya yang bekerja

η_i : faktor modifikasi beban

γ_i : faktor beban

R_r : tahanan terfaktor

R_n : tahanan nominal (contoh: kapasitas ultimit)

ϕ : faktor tahanan

Persamaan (1) dapat berlaku untuk lebih dari satu jenis kombinasi beban yang disebut sebagai kondisi batas.

Kombinasi Beban

Faktor beban yang digunakan dalam analisis pendekatan LRFD berdasarkan pada *American Association of State Highway and Transportation Officials* dapat dilihat pada Tabel 1 [4]. Dalam desain dinding penahan tanah, hanya kombinasi Kuat 1 (*Strength 1*), Kuat 4 (*Strength 4*), Layan 1 (*Service 1*) dan Ekstrim 1 (*Extreme 1*) yang digunakan dalam desain [9]. Khusus untuk kombinasi kuat 4, hanya digunakan ketika beban mati dinding penahan tanah sangat besar, contohnya seperti dinding penahan tanah tipe gravitasi, oleh karenanya hanya digunakan kombinasi kuat 1 untuk dinding secant pile. Dalam proses desain, kombinasi beban yang paling berpengaruh hanyalah kuat 1 dan ekstrim 1 [10]. Pada kombinasi beban kuat 1, terdapat faktor beban maksimum dan minimum yang ditunjukkan dengan kode 1-a dan kuat 1-b, faktor maksimum akan memberikan tekanan tanah yang terbesar, sedangkan faktor minimum akan memberikan nilai eksentrisitas terbesar.

Faktor Tahanan

American Association of State Highway and Transportation Officials memberikan faktor tahanan untuk beberapa kondisi seperti pada Tabel 2 [4].

Tabel 5. Kombinasi beban dan faktor beban LRFD

Load Combination Limit State	DC	DD	DW	EH	EV	LL	ES	IM	EL	CE	PS	BR	CR	PL	SH	LS	WA	WS	WL	FR	Min	Max	EQ	BL	IC	CT	CV
	Note : Use Only One of These Load Types at a Time																										
Strength I	γ_p	1.75	1	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength II	γ_p	1.35	1	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength III	γ_p	-	1	1	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength IV	γ_p	-	1	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength V	γ_p	1.35	1	1	1	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Extreme Event I	1	γ_{EQ}	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Extreme Event II	1	0.5	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1	1
Service I	1	1	1	1	1	1	1	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.2	-	-	-	-	-	

Tabel 6. Faktor tahanan untuk dinding penahan tanah

Wall-Type and Condition	Resistance Factor	
Non Gravity Cantilevered and Anchored Walls		
Axial compressive resistance of vertical elements	Article 10.5 applies	
Passive resistance of vertical elements	0.75	
Pullout resistance of anchors	Cohesionless (granular) soils	0.65
	Cohesive soils	0.7
Tensile resistance of anchor tendon	Rock	0.5
	Where proof tests are conducted	1
Flexural capacity of vertical elements	Mild steel (e.g., ASTM A615 Bars)	0.9
	High Strength Steel (e.g., ASTM A722)	0.8
Flexural capacity of vertical elements	0.9	
Mechanically Stabilized Earth Walls, Gravity Walls and Semigravity Walls		
Bearing resistance	Gravity and semigravity walls	0.55
	MSE walls	0.65
Sliding	Strip reinforcements	1
	• Static loading	0.75
Tensile resistance of metallic reinforcement and connectors	Grid reinforcements	0.65
	• Static loading	0.65
Tensile resistance of geosynthetic reinforcement and connectors	Static loading	0.9
Pullout resistance of tensile reinforcement	Static loading	0.9

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan studi kasus pada lereng sungai X yang dimana analisis dinding penahan tanah pada lokasi tersebut menggunakan pendekatan ASD. Data penelitian yang digunakan dalam analisis adalah data potongan melintang lereng kondisi eksisting dan data penyelidikan tanah. Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dari pihak terkait berupa uji *standard penetration test* (SPT) dan pengujian

laboratorium pada beberapa kedalaman pengambilan sampel tanah. Data potongan eksisting didapatkan dari dokumen *review drawing* oleh konsultan perencana terkait dan data tanah didapatkan dari dokumen laporan *review desain* oleh konsultan perencana. Dalam penelitian ini, analisis menggunakan *software* GEO5 dikarenakan dimungkinkannya analisis pendekatan metode LRFD pada beberapa kombinasi beban dan juga analisis menggunakan pendekatan ASD.

Tahapan pada penelitian ini dibagi menjadi tahap awal dan tahap analisis :

Tahap Awal

Pada tahap ini, studi literatur yang berkaitan dengan analisis stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan metode LRFD dilakukan. pada tahap ini akan didapatkan penjelasan terkait dengan seperti apa konsep analisis menggunakan LRFD jika dibandingkan dengan metode konvensional ASD. Pada tahap awal juga merupakan tahap untuk pengumpulan data yang meliputi data potongan melintang dan data penyelidikan tanah. Potongan yang digunakan merupakan potongan pada titik P.07, hal ini dikarenakan pada potongan tersebut merupakan lereng yang paling tinggi jika dibandingkan dengan potongan lainnya. Untuk data tanah, data yang digunakan merupakan data hasil pengeboran pada titik BH 24 dikarenakan titik tersebut merupakan titik yang paling dekat dengan potongan P.07. Setelah studi literatur dan pengumpulan data analisis, langkah selanjutnya adalah mempelajari desain konstruksi dinding penahan tanah kondisi eksisting. Dengan mempelajari desain dinding penahan tanah eksisting, maka didapatkan jenis dinding penahan tanah dan dimensi yang digunakan. Desain dinding penahan tanah eksisting juga digunakan sebagai acuan penentuan dimensi awal perencanaan.

Tahap Analisis

Pada tahap analisis, analisis menggunakan bantuan *software* GEO5 dalam perhitungan stabilitas dinding penahan tanah tipe non gravitasi menggunakan metode LRFD. Kombinasi beban beserta dengan faktor reduksi disesuaikan dengan panduan pada *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* tahun 2012 untuk nantinya dijadikan input pada *software* GEO5. Jenis dinding penahan tanah beserta dimensi yang digunakan disesuaikan dengan kondisi eksisting dan hasil analisis konsultan perencana sebelumnya, dengan lapisan tanah beserta parameter tanah sesuai dengan hasil pengujian laboratorium pada BH 24 yang ada pada analisis konsultan perencana sebelumnya. Setelah didapatkan kombinasi beban dan faktor reduksi yang sesuai berdasarkan LRFD, potongan melintang P.07 disederhanakan untuk memudahkan proses analisis pada *software*. Model yang digunakan dalam analisis akan dianalisis menggunakan pendekatan ASD terlebih dahulu, lalu dengan model yang sama, dilanjutkan analisis menggunakan pendekatan LRFD. Langkah selanjutnya adalah menelaah hasil analisis, lalu dibandingkan hasil analisis berupa dimensi dinding penahan tanah dan gaya dalam yang terjadi menggunakan metode LRFD, dibandingkan dengan desain menggunakan metode ASD. Seberapa besar perbedaan hasil analisis terhadap kedalaman penetrasi dan gaya dalam pada metode LRFD dibandingkan ASD dapat diketahui dari hasil perbandingan tersebut.

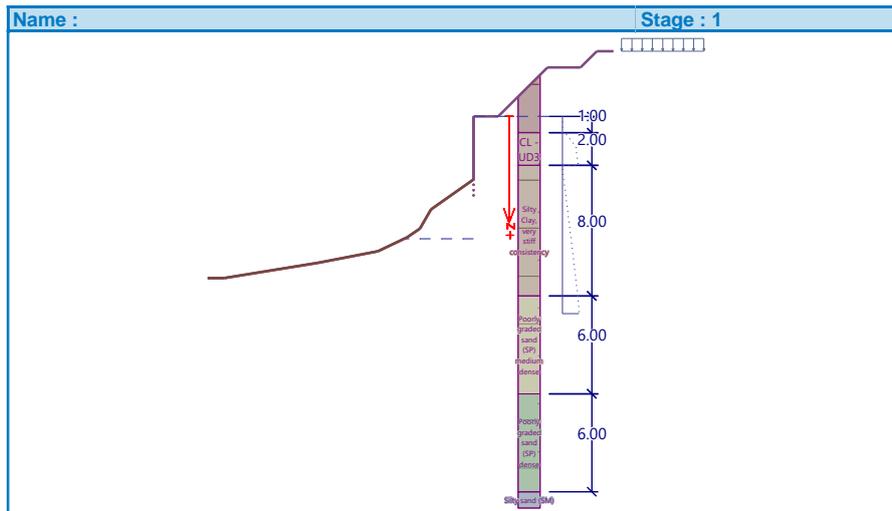
3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data dan parameter tanah yang digunakan merupakan data dari konsultan perencana sebelumnya berdasarkan hasil pengujian lab dari sampel bor BH -24 seperti pada Tabel 1. Pada beberapa kedalaman yang tidak terdapat data hasil pengujian laboratorium, dilakukan korelasi parameter berdasarkan penelitian lain yang sesuai dengan jenis tanahnya [11].

Tabel 7. Hasil korelasi parameter tanah

No	Nama	Kedalaman (m)	ϕ efektif (°)	C efektif (Kpa)	γ (kN/m ³)	γ_{su} (kN/m ³)	δ (°)
1	CL – UD2	0.00 – 1.00	11.60	13.73	14.42	4.71	6.90
2	CL – UD3	1.00 – 3.00	8.70	8.83	16.77	6.87	4.00
3	Silty Clay	3.00 – 11.00	21.00	28.00	21.00	12.00	14.00
4	Medium dense sand	11.00 – 17.00	33.50	0.00	18.50	10.00	23.33
5	Dense sand	17.00 – 23.00	37.00	0.00	18.50	11.00	24.67
6	Silty sand	23.00 -	29.00	10.00	18.00	11.00	19.33

Profil tanah berdasarkan dari data Tabel 1 akan digunakan sebagai input pada *software* Geo5 seperti pada Gambar 1. Beban merata yang bekerja pada sisi atas lereng disesuaikan dengan beban yang ada pada laporan konsultan perencana, yaitu sebesar 24 kN/m².



Gambar 4. Profil tanah

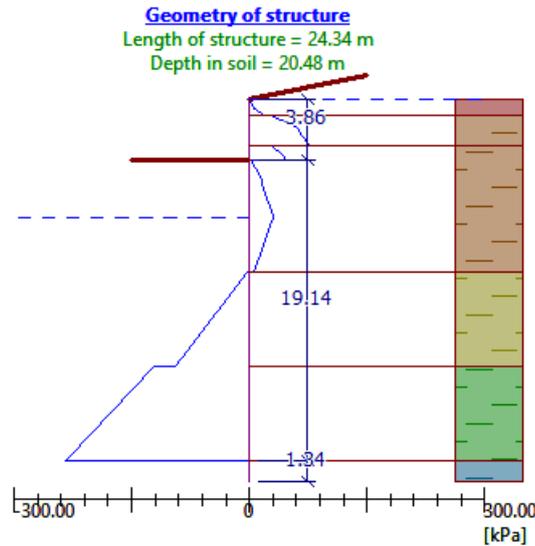
Hasil Analisis Pendekatan *Allowable Stress Design* (ASD)

Desain dari struktur fondasi, dinding penahan tanah dan beberapa struktur lain secara umum menggunakan pendekatan ASD [6]. Standar yang digunakan dalam SNI 8460:2017 untuk desain dinding penahan tanah merupakan standar yang mengacu pada pendekatan ASD, hal ini ditunjukkan dengan adanya penggunaan nilai *safety factor* (SF) [5]. Nilai faktor keamanan ASD tidak mempertimbangkan kepastian prediksi beban yang bekerja karena didasarkan pada pengalaman dan penilaian individu. Oleh karena itu, desain pendekatan ASD bergantung pada pembatasan tegangan yang bekerja agar lebih kecil dari nilai tegangan izin yang dibagi dengan angka keamanan. Penggunaan metode ASD dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil analisis untuk kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan ASD dapat dilihat pada Gambar 3 dengan hasil kedalaman penetrasi yang dibutuhkan adalah 20.48 meter, dengan total panjang struktur adalah 24.34 meter. Untuk hasil *shear force* dan *bending bending moment* dapat dilihat pada Gambar 4.

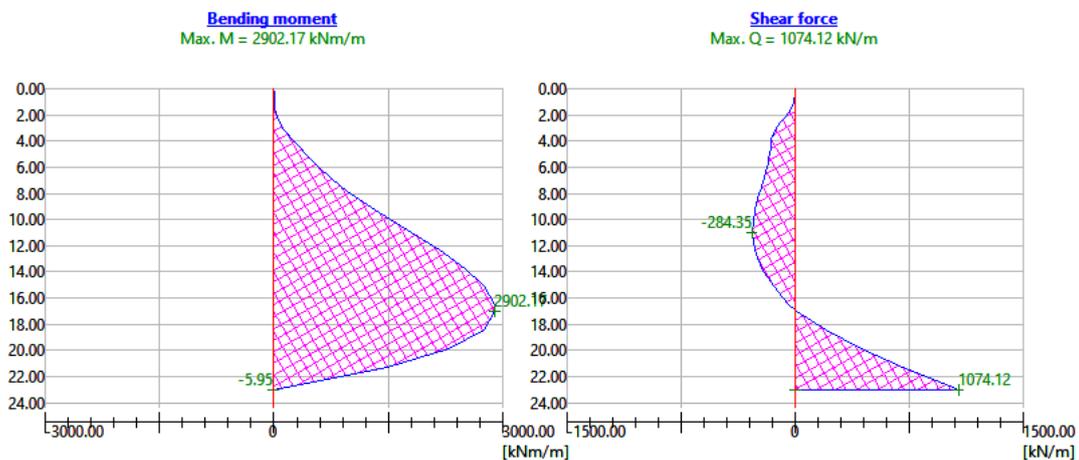
The screenshot shows the 'Pressure analysis' tab in a software interface. The 'Verification methodology' dropdown is highlighted with a red box and set to 'Safety factors (ASD)'. Below this, the 'Safety factors' section is expanded, showing the following values:

- Safety factor for internal stability of anchors: $SF_a = 1.50$ [-]
- Safety factor for failure by heave: $SF_h = 1.20$ [-]
- Safety factor for failure by piping: $SF_p = 1.50$ [-]

Gambar 5. Penggunaan metode ASD dalam analisis



Gambar 6. Kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan ASD



Gambar 7. Bending moment dan shear force pendekatan ASD

Hasil Analisis Pendekatan *Load Resistance Factor Design (LRFD)*

Pendekatan yang digunakan dalam desain metode LRFD adalah dengan melakukan evaluasi terhadap potensi kegagalan dengan cara mempertimbangkan ketidakpastian beban dan kekuatan material. Terdapat dua jenis koefisien dalam analisis melalui pendekatan LRFD, yaitu koefisien untuk modifikasi nilai beban (faktor beban) dengan nilai lebih dari satu dan koefisien untuk reduksi kekuatan (faktor tahanan) dengan nilai kurang dari satu [8] [12].

American Association of State Highway and Transportation Officials memberikan kondisi batas yang digunakan dalam desain LRFD, yaitu terdiri dari kondisi batas Kuat, Layan, Ekstrim dan Fatik [4]. Kondisi batas Kuat merupakan kondisi batas yang digunakan untuk menentukan dimensi dari struktur, sehingga analisis akan dilakukan pada kondisi batas Kuat dengan nilai faktor pengali untuk beban tekanan tanah adalah 1.5, sedangkan faktor pengali untuk beban hidup adalah 1.75. Nilai faktor reduksi yang digunakan untuk tekanan pasir adalah 0.75. Penggunaan metode LRFD dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil analisis untuk kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan LRFD dapat dilihat pada Gambar 6 dengan hasil kedalaman penetrasi yang dibutuhkan adalah 24.94 meter, dengan total panjang struktur adalah 28.80 meter. Untuk hasil *shear force* dan *bending moment* dapat dilihat pada Gambar 7.

Active earth pressure calculation : Coulomb
 Passive earth pressure calculation : Mazindrani (Rankine)
 Analysis method : dependent pressures
 Earthquake analysis : Mononobe-Okabe
 Modulus of subsoil reaction : standard
 Consider reduction of the modulus of subsoil reaction for a braced sheeting
 Input different structure/soil friction angles for active and passive pressures.
 Verification methodology : according to LRFD

Strength | Service | Extreme |

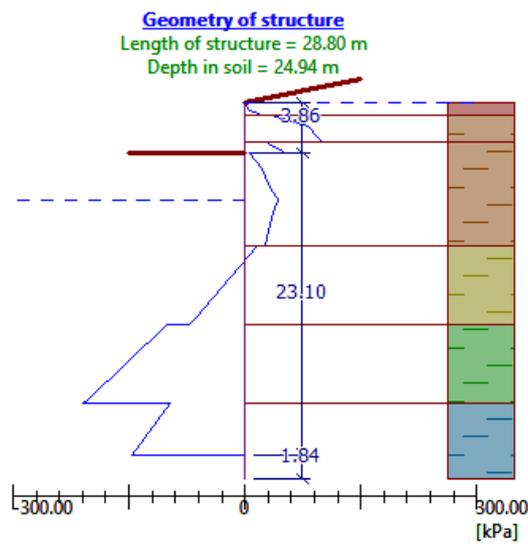
— Load factors —

	Minimum	Maximum
Dead load of structural components : DC =	0.90 [-]	1.25 [-]
Dead load of wearing surfaces : DW =	0.65 [-]	1.50 [-]
Earth pressure - active : EHA =	0.90 [-]	1.50 [-]
Earth pressure - at rest : EHR =	0.90 [-]	1.35 [-]
Earth surcharge load (permanent) : ES =	0.75 [-]	1.50 [-]
Vertical pressure of earth fill : EV =	1.00 [-]	1.35 [-]
Live load surcharge : LL =	0.00 [-]	1.75 [-]
Water load : WA =	1.00 [-]	1.00 [-]

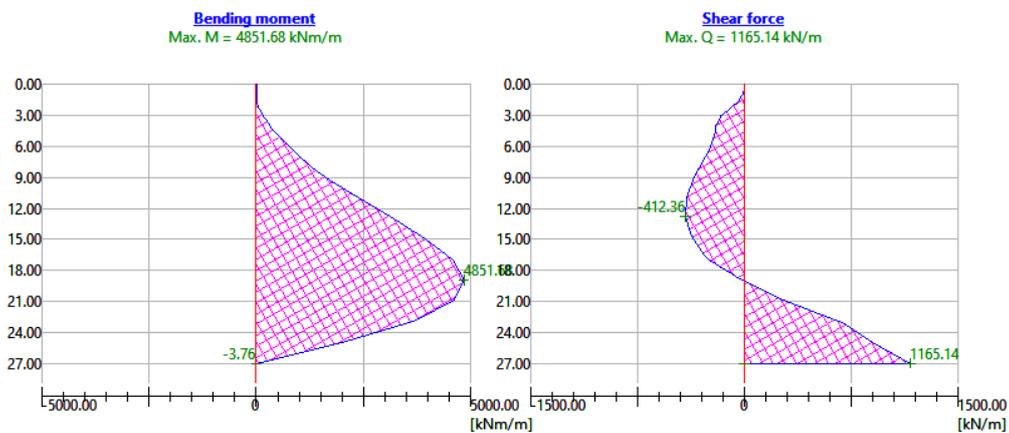
— Resistance factors —

Resistance factor on passive pressure : ϕ_{VE} =	0.75 [-]
Resistance factor on pullout of anchor : ϕ_{PR} =	0.50 [-]
Resistance factor on failure by heave : ϕ_{UP} =	0.80 [-]

Gambar 8. Penggunaa metode LRFD dalam analisis



Gambar 9. Kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan LRFD



Gambar 10. Bending moment dan shear force pendekatan LRFD

Pembahasan Hasil

Berdasarkan dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa analisis menggunakan pendekatan ASD memberikan hasil nilai penetrasi dan gaya dalam yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan pendekatan LRFD. Pendekatan LRFD memberikan nilai penetrasi 21.7% lebih besar ketimbang pendekatan ASD, sedangkan untuk gaya dalam, LRFD memberikan nilai gaya dalam moment yang lebih besar 40%, sedangkan untuk geser memberikan nilai 7.8% lebih besar dari pendekatan ASD. Berdasarkan dari hasil tersebut, sekilas pendekatan ASD memberikan nilai yang lebih efisien jika dibandingkan dengan pendekatan LRFD, dibuktikan dengan kebutuhan desain metode ASD yang lebih kecil jika dibandingkan dengan metode LRFD, namun perlu menjadi catatan bahwa analisis yang dilakukan hanya terbatas pada kedalaman penetrasi dan gaya dalam, sedangkan dalam desain suatu struktur penahan tanah, terdapat pula tinjauan dalam hal deformasi. Pada pendekatan ASD, tidak terdapat nilai faktor keamanan khusus untuk tinjauan tersebut, tetap menggunakan faktor keamanan yang sama seperti pada saat desain kedalaman penetrasi yang dibutuhkan, sedangkan dalam pendekatan metode LRFD, untuk analisis terhadap deformasi, kondisi batas yang digunakan bukan lagi kondisi batas Kuat, namun menggunakan kondisi batas Layan. Kondisi batas Kuat dan Layan memiliki nilai faktor pengali beban seperti pada Tabel 2 dan faktor reduksi kekuatan untuk kondisi batas Kuat adalah 0.75, sedangkan kondisi batas Layan adalah 1. Batas Kuat merupakan kombinasi beban yang paling berpengaruh terhadap proses desain, namun tinjauan desain tetap perlu dilakukan pada kondisi batas lain [10]. Elemen struktur harus dievaluasi terhadap 11 kondisi batas, namun untuk dinding penahan tanah, hanya digunakan kondisi batas Kuat, Layan dan Ekstrim [9].

Tabel 8. Komparasi faktor pengali beban kombinasi untuk kondisi batas LRFD

Komponen	Kuat		Layan	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Earth pressure – active	0.9	1.5	1	1
Earth surcharge load	0.75	1.5	1	1
Vertical pressure of earth fill	1	1.35	1	1
Live load surcharge	0	1.75	1	1
Water load	1	1	1	1

Berdasarkan dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa pada kondisi batas Kuat, kekuatan dari struktur direduksi sebesar 25%, sedangkan beban yang bekerja dinaikkan variatif tergantung jenis bebannya, dengan nilai kenaikan antar 35 – 75%, sehingga pada tinjauan kedalaman penetrasi dan gaya dalam, pendekatan LRFD akan memberikan hasil yang besar jika dibandingkan dengan pendekatan ASD dikarenakan adanya reduksi kekuatan dan penambahan beban, namun apabila diambil terhadap tinjauan pada kondisi batas Layan (tinjauan deformasi), maka hasil yang diberikan dapat berbeda dikarenakan tidak adanya faktor pengali maupun faktor reduksi. Dalam desain menggunakan pendekatan LRFD, terdapat beberapa jenis kondisi batas yang disesuaikan dengan tinjauan desain yang dilakukan, yaitu kondisi batas Kuat, Layan, Ekstrem dan Fatik, namun untuk desain dari dinding penahan tanah, kondisi batas Fatik tidak digunakan. Untuk kondisi batas Ekstrem digunakan ketika tinjauan dilakukan terhadap adanya faktor gempa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis yang dilakukan, pada contoh kasus dinding penahan tanah tipe non gravitasi dengan data tanah yang telah dilampirkan, untuk tinjauan terhadap kedalaman penetrasi turap dan gaya dalam, penggunaan metode ASD memberikan nilai penetrasi dan gaya dalam yang lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan metode LRFD pada kondisi batas Kuat, hal ini ditunjukkan dengan LRFD yang menghasilkan nilai penetrasi 21.7% lebih besar daripada ASD. Tinjauan gaya dalam seperti moment dan geser juga memberikan nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan ASD, yaitu 40% untuk moment dan 7.8% lebih besar untuk geser. Pada kondisi batas Kuat, desain menggunakan pendekatan LRFD akan lebih boros, namun tinjauan pada kondisi batas lain seperti Layan untuk deformasi dan Ekstrem untuk gempa perlu dilakukan, mengingat kondisi batas yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap faktor pengali beban maupun faktor reduksi beban yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Harjanto, A. D. Adi, and H. C. Hardiyatmo, "Evaluasi Bangunan Pengaman Lereng Sungai Ciliwung Ruas Kalibata Dengan Menggunakan Analisis Berdasarkan Load Resistance Factor Design," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 29, no. 2, pp. 55–64, Jul. 2024, doi: 10.36728/jtsa.v29i2.3748.
- [2] SCOT Geotechnical Design Manual, *Geotechnical Design Manual*. 2022.
- [3] S. G. . Paikowsky, *Load and resistance factor design (LRFD) for deep foundations*. Transportation Research Board, 2004.
- [4] American Association of State Highway and Transportation Officials., *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, "Badan Standardisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan Perancangan Geoteknik," 2017, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [6] M. S. Aggour, "LRFD Resistance Factors for Maryland Retaining Walls," 2004.
- [7] European Committee For Standardization, "EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules," 2004.
- [8] Fine Ltd., "GEO5 - User's Guide," 2018.
- [9] E. F. Tawfik, T. B. Hamid, and M. Sherif Aggour, "Design of Cantilever Retaining Walls in Unsaturated Soils Using AASHTO Load and Resistance Factor Design (LRFD) Method," 2007.
- [10] M. Kalateh-Ahani and A. Sarani, "Performance-based optimal design of cantilever retaining walls," *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, vol. 63, no. 2, pp. 660–673, May 2019, doi: 10.3311/PPci.13201.
- [11] B. Look, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables (2nd Edition)*. 2014.
- [12] A. Shamsabadi, A. Dasmeh, and E. Taciroglu, "Guidelines for Analysis and LRFD-based Design of Earth Retaining Structures," 2018.

PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN GETARAN MENGGUNAKAN ACCELEROMETER TYPE *PIZO-ELECTRIC CRYSTAL (PCB)* DENGAN TYPE *MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM (MEMS)*

*Firmimus Konstantinus Bhara¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Nusa Nipa

*) Email: ferrybhara@gmail.com

ABSTRACT

The periodic vibration parameters are deviation, velocity, and acceleration, and the measuring instruments for the three parameters are called displacement pickups, velocity pickups, and accelerometers respectively. Recently, many other materials have been discovered for measuring vibrations called MEMS (Micro Electro Mechanical System) which provide an output in the form of a voltage so that it does not require an amplifier/charge amplifier. This MEMS technology accelerometer will replace the piezoelectric crystal (PCB) technology accelerometer. This research aims to determine the comparison of vibration measurement results from the two types of accelerometers. Both types of accelerometers are placed at the end of a metal plate which is clamped at the other end. The iron plate is vibrated by providing an impact and the vibration response is recorded by Dewesoft, the vibration response is also recorded in ambient conditions. From the results of vibration measurements in ambient conditions and given impact forces, these two types of accelerometers produce the same natural frequency values, while the amplitude values in the form of acceleration values have a difference of 4.75% for impact forces and 11.35% for ambient conditions.

Keyword: *Vibration, Accelerometer, Impact Force, Ambient*

ABSTRAK

Parameter getaran periodik adalah simpangan, kecepatan dan percepatan dimana alat ukur untuk ketiga parameter berturut-turut disebut displacement pickups, velocity pick up dan accelerometer. Akhir-akhir ini, banyak menemukan bahan lain untuk mengukur getaran yang disebut MEMS (Micro Electro Mechanical System) yang memberi keluaran berbentuk tegangan sehingga tidak memerlukan amplifier/charge amplifier. Accelerometer berteknologi MEMS ini akan menggantikan accelerometer berteknologi piezoelectric crystal (PCB). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil pengukuran getaran dari kedua type accelerometer tersebut. Kedua type accelerometer tersebut diletakkan di ujung besi pelat yang dijepit pada ujung lainnya. Besi pelat digetarkan dengan memberikan impact dan respon getaran direkam oleh dewesoft, respon getaran juga direkam dalam kondisi ambient. Dari hasil pengukuran getaran dalam kondisi ambient dan diberi gaya impact, kedua type accelerometer ini menghasilkan nilai frekuensi alami yang sama sedangkan nilai amplitudonya berupa nilai percepatan terdapat perbedaan sebesar 4,75% untuk gaya impact dan 11,35% untuk kondisi ambient.

Kata kunci: getaran, accelerometer, gaya impact, ambient

1. PENDAHULUAN

Seperti diketahui bahwa parameter getaran periodik adalah simpangan, kecepatan dan percepatan dimana alat ukur untuk ketiga parameter berturut-turut disebut *displacement pickups*, *velocity pick up* dan *accelerometer* [1]. Hal yang menjadi pertimbangan dalam pengaturannya, diantaranya adalah rentang frekuensinya. *Accelerometer* memiliki rentang frekuensi yang lebih rendah hingga mampu mengukur getaran mulai dari 0,1 Hz. Selain itu, sensitivitas dan maksimum amplitudo juga perlu dipertimbangkan. Sensitivitas yang baik akan memberikan amplitudo yang lebih benar [2]. Misalnya, *accelerometer* dengan sensitivitas 10 V/g pasti akan memberikan hasil jauh lebih baik, tetapi juga jauh lebih mahal dibandingkan *accelerometer* dengan sensitivitas 0,5 V/g. Dengan *accelerometer* yang lebih sensitif maka getaran-getaran yang sangat halus (*micro-vibration/microtremor*) dapat direkam [3].

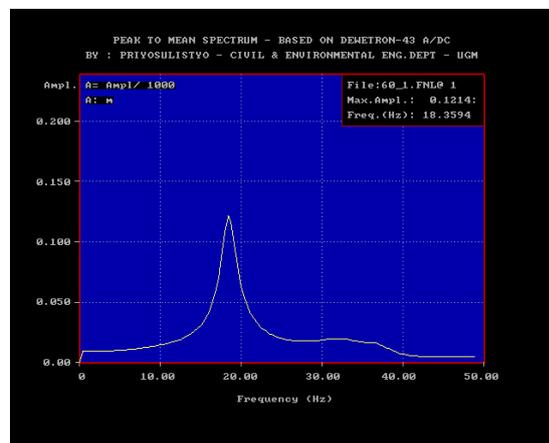
Akhir-akhir ini, banyak menemukan bahan lain untuk mengukur getaran yang disebut MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) yang memberi keluaran berbentuk tegangan sehingga tidak memerlukan *amplifier/charge amplifier*. *Accelerometer* berteknologi MEMS ini akan menggantikan *accelerometer berteknologi piezoelectric crystal (PCB)* karena lebih sederhana, lebih murah, lebih ringan, dan lebih tahan terhadap kejut/*shock vibration*, walaupun sensitivitasnya saat ini belum bisa menyamai teknologi *piezoelectric crystal (PCB)* [4]. Model *accelerometer* berbasis *piezoelectric crystal (PCB)* dan MEMS dapat dilihat pada gambar 1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil pengukuran getaran dari kedua *type accelerometer* tersebut.



Gambar 1. Accelerometer: (a) Piezoelectric crystal-PCB (b). MEMS

Dalam bidang ilmu teknik, getaran harmonik dari partikel atau benda (*rigid body*) didefinisikan sebagai gerakan benda yang simpangannya merupakan fungsi waktu secara terus menerus [5]. Getaran dapat dinyatakan sebagai gerak bolak-balik benda melalui suatu titik seimbang yang terus berulang dengan interval waktu tertentu [6].

Analisa frekuensi dan percepatan berdasarkan FFT *based on averaging method* [7]. Selain menggunakan program dewesoft 7 [8], data digital getaran juga diolah menggunakan *software FFT based on averaging method*. Tujuan dari analisis ini adalah meminimalkan adanya *noise* yang tidak diperlukan dengan cara membagi sinyal getaran yang telah difilter menjadi beberapa segmen [9]. Hasil dari tiap segmen dirata-rata sehingga mendapatkan frekuensi dan perpindahan maksimum yang mewakili getaran pada suatu titik dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Analisis FFT *based on averaging method* dengan program FFTDW05D

2. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Peralatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Peralatan yang digunakan adalah: accelerometer type Piezoelectric crystal dan accelerometer type MEMS untuk menjemput signal getaran, Dewetron untuk menangkap signal getaran dari accelerometer kemudian diteruskan ke komputer untuk ditampilkan, komputer yang telah terinstal Aplikasi Dewesoft untuk menampilkan sinyal getaran.

Setting Pengujian

Kedua type accelerometer tersebut diletakkan di ujung besi pelat yang dijepit pada ujung lainnya (Gambar 3). Besi pelat digetarkan dengan memberikan impact dan respon getaran direkam oleh dewesoft, respon getaran juga direkam dalam kondisi ambient atau kondisi diam, tanpa diberi gaya apapun. Data hasil rekaman diolah oleh program FFTDW05D.



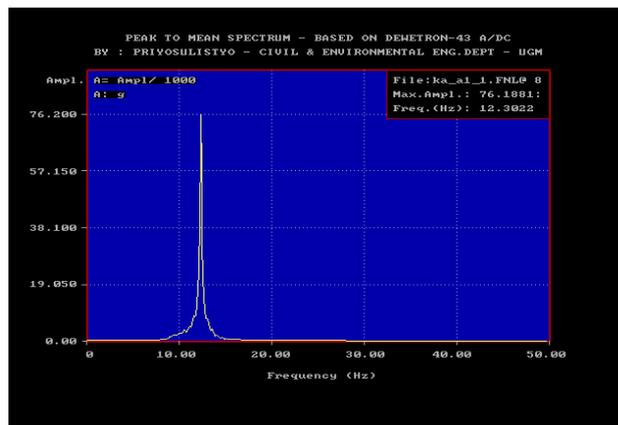
Gambar 3. Setting pengujian kalibrasi *accelerometer*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

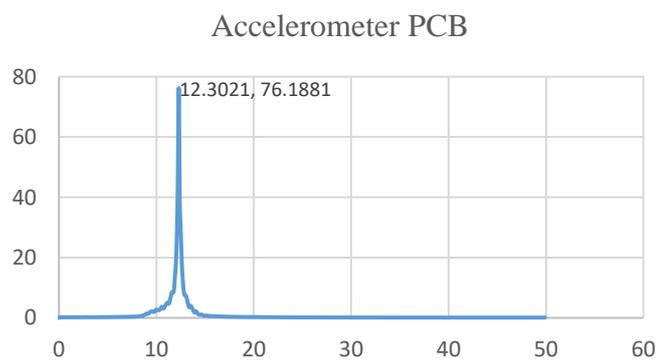
Respon Spectra dari hasil pengukuran menggunakan kedua *accelerometer* tersebut dapat dilihat pada gambar 4 sampai gambar 11 sebagai berikut:

Dengan Memberikan Gaya *Impact*:

A. *Type* PCB

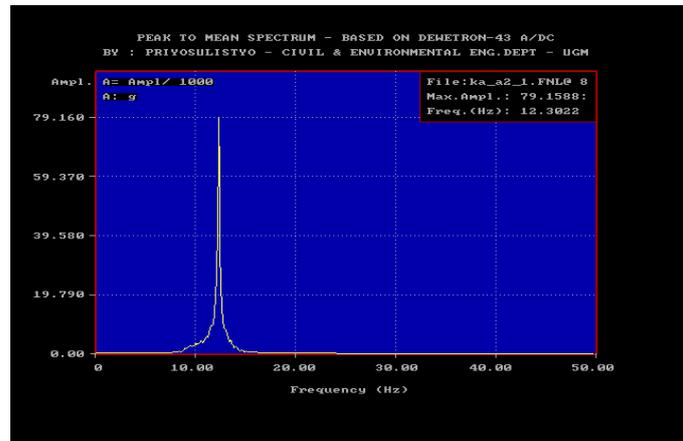


Gambar 4. Spektra respon accelerometer type PCB dengan impact

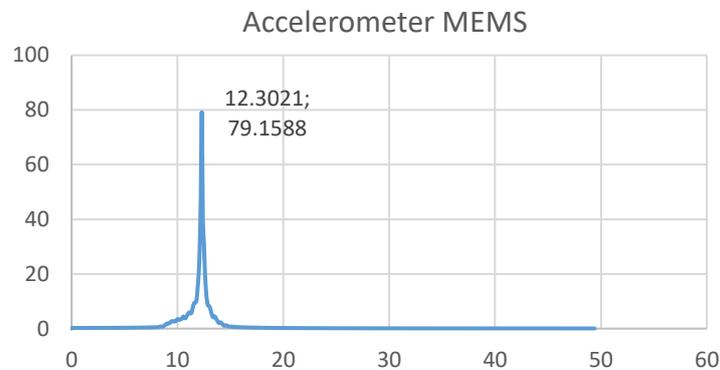


Gambar 5. Grafik data final eksperimen kalibrasi accelerometer PCB dengan impact

B. Type MEMS



Gambar 6. Spektra respon accelerometer type MEMS dengan impact

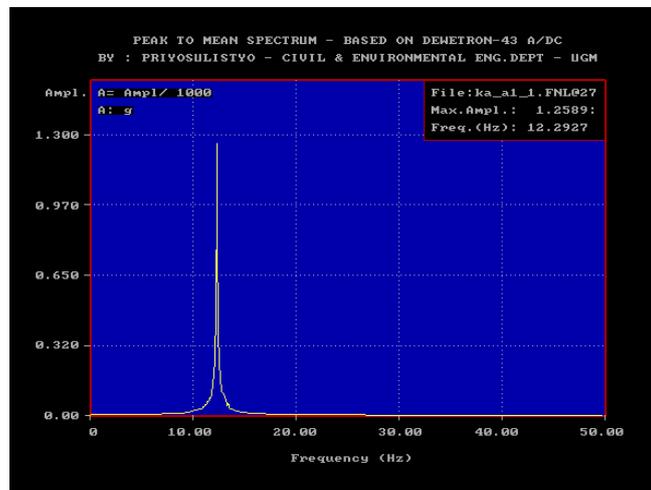


Gambar 7. Grafik data final eksperimen accelerometer MEMS dengan impact

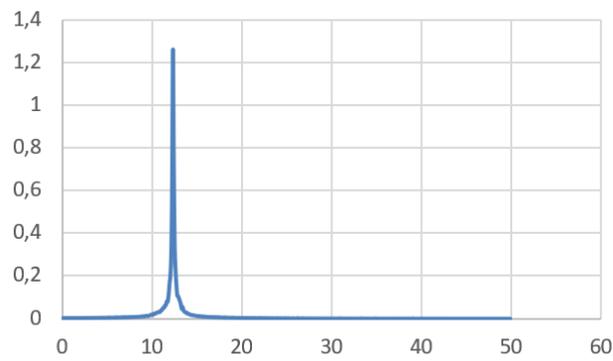
Dari pengolahan data eksperimen dengan beban *impact* diperoleh nilai frekuensi alami untuk kedua *accelerometer* sama yaitu: 12,30 Hz sedangkan nilai amplitudo percepatan untuk accelerometer type PCB adalah 76,19 m/s² dan accelerometer type MEMS adalah 79,16 76,19 m/s². Akurasinya adalah 96,25%.

Tanpa Memberikan Gaya *Impact* Pada Pelat Baja/Kondisi *Ambient*

A. Type PCB

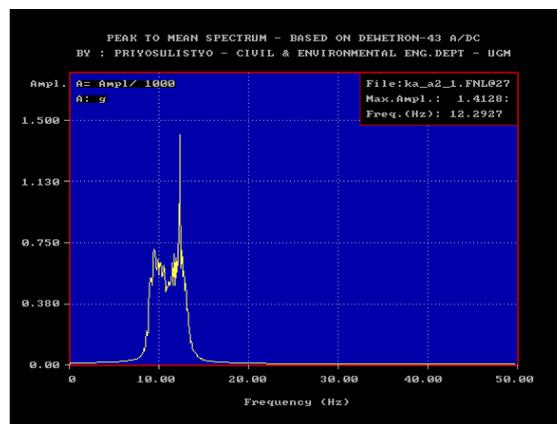


Gambar 8. Spektra respon accelerometer type PCB kondisi ambient

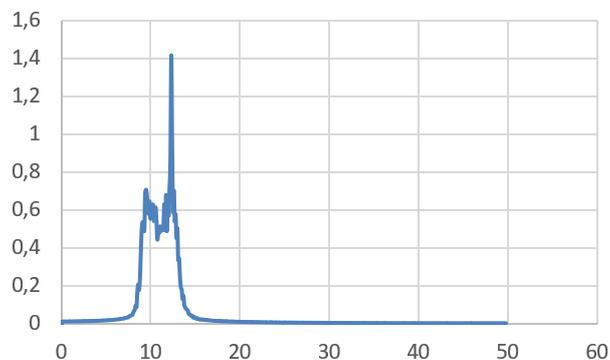


Gambar 9. Grafik data final kalibrasi *accelerometer* PCB kondisi *ambient*

B. Type MEMS



Gambar 10. spektra respon *accelerometer* type MEMS kondisi *ambient*



Gambar 11. Grafik data final eksperimen *accelerometer* MEINSIC kondisi *ambient*

Dari pengolahan data eksperimen dalam kondisi *ambient* diperoleh nilai frekuensi alami untuk kedua *accelerometer* sama yaitu: 12,29 Hz sedangkan nilai amplitudo percepatan untuk *accelerometer* type PCB adalah $1,25 \text{ m/s}^2$ dan *accelerometer* type MEINSIC adalah $1,41 \text{ m/s}^2$. Akurasinya adalah 88,65%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran getaran dalam kondisi *ambient* dan diberi gaya *impact*, kedua *type accelerometer* ini menghasilkan nilai frekuensi alami yang sama sedangkan nilai amplitudonya berupa nilai percepatan terdapat perbedaan sebesar 4,75% untuk gaya *impact* dan 11,35% untuk kondisi *ambient*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Samnur, Jaya, I., Mahande, R, D., "Analisis Hubungan Getaran dengan Temperatur Kerja pada Mesin Mill

- Fan 412 di PT. Semen Tonasa”, Teknologi, PP. 173-180, April. 2010.
- [2] Mardastuti, Y., Asmedi, A., Gofir, A., “Diabetic Neuropathy Symptom-Indonesian version and Diabetic Neuropathy Examination-Indonesian version as score diagnostic”, Berkala Neurosains, PP. 55-65, Juni. 2016.
- [3] Setiawan, I., Sutiyono, B., Susilo, T. B., “Hasil Uji Kalibrasi Sensor Accelerometer ADXL335”, TRANSMISI, Jurnal Teknik Elektro, PP. 118-122, September. 2009.
- [4] Priyosulistyo, H., Analisa Dinamika Struktur dan Aplikasinya di Bidang Teknik Sipil. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2022.
- [5] Rahmatullah, S., Arman, Y., Apriansyah., “Simulasi Gerak Osilasi Model Pegas Bergandeng Menggunakan Metode Range-Kutta”, Prisma Fisika, PP. 180-184, Desember. 2020.
- [6] Pawirodikromo, W., Analisis Dinamik Struktur. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2017.
- [7] Fatah, A., Ungkawa, U., Barwami, M. M., “Implementasi Algoritma Fast Fourier Transformasi Pada Monitor Getaran Untuk Analisis Kesehatan Jembatan”, Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan, PP. 70 – 82, Desember. 2020.
- [8] Dewesoft v7.0., “Data acquisition, processing, analyzing and storage software”, Dewesoft Tutorials, 2019.
- [9] Analisa Dinamik Struktur, 2018, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

PERENCANAAN JARINGAN AIR BERSIH KELURAHAN TANJUNG MAS KECAMATAN SEMARANG UTARA

*Ikhwanudin¹, Octavia Surya Ningtyas², Tasya Dyah Nov Riana³, Farida Yudaningrum⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Universitas PGRI Semarang, Kota Semarang

*Email: ikhwan.menur12@gmail.com

ABSTRACT

Water is a source of necessity that is needed by living things, especially humans. Usually water is used for daily needs, means of transportation, and as hydropower. Tanjung Mas Village is one of the coastal areas in Semarang City. The growth of cities in coastal areas causes several problems in the community, especially the need for clean water. Inadequate springs and clean water distribution networks are suspected to be the main factors. Tanjung Mas is dominated by artesian water at 83%. The decreasing population due to annual migration also affects the use of clean water. With this, it is necessary to develop a distribution network system with the help of the Epanet 2.2 application. This research uses quantitative methods. Based on the results of the study, the installed discharge capacity of 14.59 liters / second can still meet customers. The amount of clean water demand in the 2023 existing condition is 6.2 liters/second with a total of 2,976 SR customers. The phenomenon of decreasing population in Tanjung Mas Village made this study create a new design by changing the flow from Gajah Mungkur water treatment plant to Kudu water treatment plant.

Keywords: Clean Water Distribution, Epanet 2.2, Tanjung Mas

ABSTRAK

Air merupakan salah satu sumber pokok kebutuhan yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup terutama manusia. Biasanya air digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, sarana transportasi, maupun kebutuhan untuk keberlangsungan industri. Kelurahan Tanjung Mas menjadi salah satu daerah pesisir di Kota Semarang. Pertumbuhan kota-kota di wilayah pesisir menyebabkan beberapa permasalahan di masyarakat, terutama kebutuhan air bersih. Sumber mata air dan jaringan pendistribusian air bersih yang kurang memadai disinyalir sebagai faktor utamanya. Tanjung Mas didominasi dari air artesis sebesar 83%. Jumlah penduduk yang juga semakin menurun akibat dari migrasi tiap tahunnya juga mempengaruhi penggunaan air bersih. Dengan adanya hal tersebut, perlu adanya pengembangan sistem jaringan distribusi dengan bantuan aplikasi *Epanet 2.2*. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Berdasarkan hasil penelitian, kapasitas debit terpasang 14,59 liter/detik masih dapat memenuhi pelanggan. Jumlah kebutuhan air bersih pada kondisi eksisting 2023 yaitu sebesar 6,2 liter/detik dengan jumlah pelanggan sebesar 2.976 SR. Fenomena penurunan jumlah penduduk di Kelurahan Tanjung Mas membuat penelitian ini membuat desain baru dengan mengubah aliran dari IPA Gajah Mungkur ke IPA Kudu.

Kata kunci: Distribusi Air Bersih, *Epanet 2.2*, Tanjung Mas

1. PENDAHULUAN

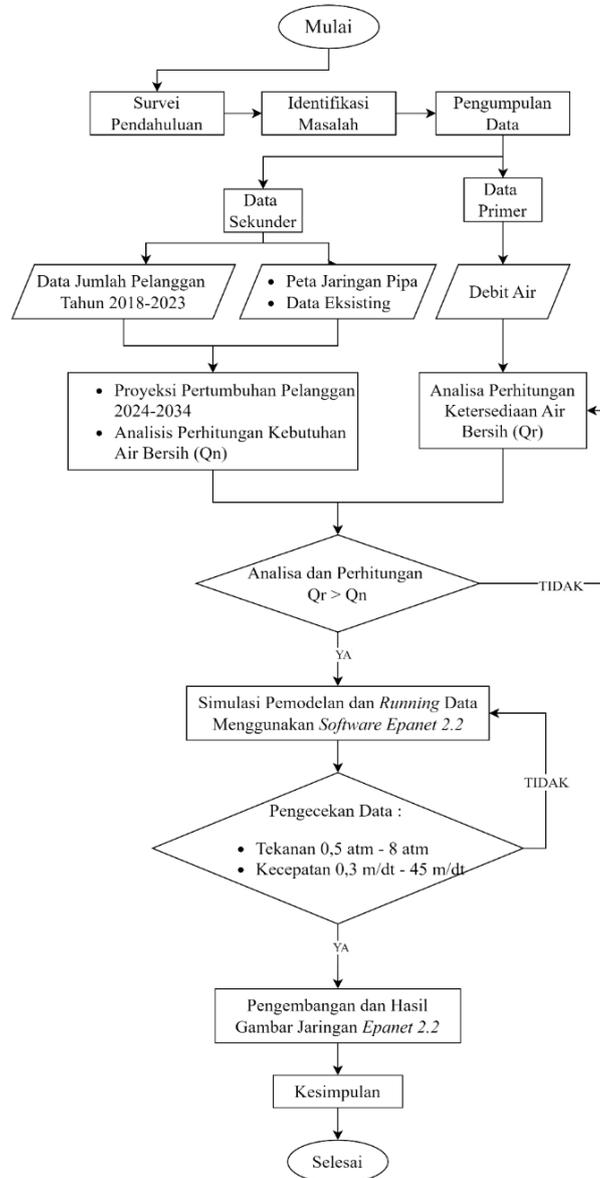
Air merupakan sumber kebutuhan yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup terutama manusia. Biasanya air digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, sarana transportasi, maupun sebagai PLTA. Namun saat ini, Indonesia mengalami persoalan ketersediaan air bersih. Kebutuhan air bersih akan terus meningkat setiap tahunnya, hal ini dibarengi dengan pertumbuhan penduduk di suatu wilayah. Seiring adanya pertumbuhan jumlah penduduk maka semakin bertambahnya kebutuhan air bersih setiap tahun akan mengalami perubahan, sehingga pengembangan sistem jaringan distribusi air bersih perlu diberlakukan untuk memenuhi standar kebutuhan air minum bagi Masyarakat.[1][2]

Semarang merupakan kota pesisir dan ibu kota Provinsi Jawa Tengah, yang memiliki Bandara Ahmad Yani dan Pelabuhan Tanjung Mas sebagai pintu gerbang perekonomian utama Jawa Tengah. Pertumbuhan kota-kota di wilayah pesisir menyebabkan beberapa permasalahan di masyarakat, terutama kebutuhan air bersih[3].[4]

Sebagian besar masyarakat Kelurahan Tanjung Mas, bekerja sebagai nelayan. Hal ini didukung lokasi tempat tinggal mereka yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Namun lokasi tersebut tidak mendukung kebutuhan air bersih masyarakat di sana. Sumber mata air dan jaringan pendistribusian air bersih yang kurang memadai disinyalir sebagai faktor utamanya. Jumlah penduduk yang juga semakin menurun akibat dari migrasi tiap tahunnya juga mempengaruhi penggunaan air bersih. Bahkan pada kondisi musim hujan maupun musim kemarau, kebutuhan air bersih masyarakat belum juga terpenuhi.[5] Pemenuhan sumber air bersih di Tanjung Mas didominasi dari air artesis sebesar 83% yang menandakan bahwa mayoritas penduduknya menggunakan artesis daripada PDAM (Nugroho, 2021). PDAM pada Kelurahan Tanjung Mas sebenarnya sudah masuk ke wilayah tersebut, akan tetapi masih ada kendala terkait dengan jaringan tersebut belum bisa ditarik ke setiap rumah tangga dikarenakan pemasangan PDAM pada tiap rumah yang cukup sulit dan lama. Dengan kondisi tersebut di atas Kelurahan Tanjung Mas sampai saat ini akses tentang penyediaan sistem air bersih masih ada persoalan sehingga

permasalahan tentang kebutuhan air bersih di tanjung mas merupakan permasalahan sistem penyediaan air bersih yang layak dan aman bagi seluruh masyarakat. Adapun tujuan dari peneliti adalah untuk merencanakan pengembangan jaringan distribusi air bersih dengan menggunakan aplikasi Epanet 2 [6]

2. METODE PENELITIAN



Gambar 11. Rancangan Penelitian
(Sumber : Peneliti, 2024)

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan jenis penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang menggunakan banyak angka mulai dari pengumpulan data hingga penafsirannya. Penelitian ini dibuat secara sistematis dari persiapan penelitian, pengolahan data hidrologi, analisis hidrolika dengan Epanet 2.2.

Tabel 1. Pengumpulan Data

No	Data Sekunder	Sumber Data
1.	Peta wilayah Kelurahan Tanjung Mas	Google Earth
2.	Data penduduk Kelurahan Tanjung Mas selama 5 tahun (2018-2023)	BPS dan Kelurahan
3.	Data kebutuhan air bersihbersih selama 5 tahun terakhir (2018-2023)	PDAM
4.	Peta jaringan distribusi pipa	PDAM
5.	Data Eksisting	PDAM dan Kelurahan

Teknik pengumpulan data yang dilakukan penulis dalam memperoleh data-data yang dibutuhkan dalam penelitian:

1. Dari data jumlah penduduk untuk daerah layanan yang telah diketahui, dilakukan perhitungan proyeksi jumlah penduduk dengan 3(tiga) metode :
 - a. Metode Matematik, dengan rumus : $P_n = P_0(1+r.n)$
 - b. Metode Geometrik, dengan rumus : $P_n = P_0(1+r)^n$
 - c. Metode Eksponensial, dengan rumus : $P_n = P_0.e^{r.n}$

Dari ketiga metode tersebut, dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi, metode perhitungan proyeksi yang paling tepat adalah metode yang memberikan harga standar deviasi kecil.

2. Mengevaluasi ketersediaan dan kebutuhan air bersih dengan cara membandingkan kebutuhan air bersih selama 10 tahun mendatang dengan ketersediaan air dan kapasitas produksi air bersih, untuk menentukan standar kebutuhan air bersih digunakan ketentuan dari Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Cipta Karya. Bila kebutuhan air lebih besar dari kapasitas produksi sumber maka perlu tambahan air dari sumber air lainnya[7]
3. Merencanakan pengembangan distribusi air bersih dengan evaluasi rencana pengembangan jaringan distribusi air bersih dengan menggunakan program Epanet 2.2. Rencana pengembangan jaringan distribusi air bersih dikatakan baik apabila tekanan tidak melebihi batas tekanan maksimum pipa yaitu 100m.
4. Mengoptimasi pengembangan sistem jaringan distribusi air bersih.
5. Pembuatan kesimpulan dan saran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Kondisi Eksisting 2023

1) Tingkat Pelayanan

Data dari PDAM di Kelurahan Tanjung Mas menunjukkan bahwa pada tahun 2023, terdapat 2.976 sambungan rumah (SR) domestik dimana satu SR melayani satu kepala Keluarga (KK). Jumlah KK di wilayah Kelurahan Tanjung Mas pada tahun 2023 sebanyak 10.825 KK. Jumlah penduduk di Kelurahan Tanjung Mas secara keseluruhan pada tahun 2023 sebanyak 31.190 jiwa. Dengan membandingkan jumlah KK dan jumlah penduduk di Kelurahan Tanjung Mas, diperoleh rasio jumlah penduduk per KK. Perhitungan rasio jumlah penduduk per KK sebagai berikut :

$$\text{Rasio orang / KK} = \frac{\text{Jumlah Penduduk Kelurahan Tj.Mas}}{\text{Jumlah KK Kelurahan Tj.Mas}} = \frac{31.190}{10.825} = 3 \text{ orang/KK}$$

Jadi, rasio jumlah penduduk per KK Kelurahan tanjung Mas pada tahun 2023 sebesar 3 orang/KK. Rasio tersebut dianggap konstan untuk tahun-tahun selanjutnya. Persentase tingkat pelayanan PDAM Kelurahan Tanjung Mas dihitung sebagai berikut :

$$n \text{ Penduduk Terlayani} = \text{Jumlah SR} \times \text{Rasio n Penduduk per KK} = 2.976 \text{ SR} \times 3 \text{ jiwa} = 8.928 \text{ jiwa}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Pelayanan} &= \frac{\text{Jumlah Pelanggan}}{\text{Jumlah Penduduk}} \times 100\% \\ &= \frac{8.928}{31.190} \times 100\% = 29\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diketahui bahwa pelayanan PDAM di Kelurahan Tanjung Mas sebesar 29 %. Nilai tersebut kurang dari target pemerintah pelayanan penyediaan air perpipaan kategori Kota Besar 100% yang ditargetkan hingga 2025 [8]. Untuk itu diperlukan peningkatan dan pengembangan sistem distribusi air bersih. Dalam perhitungan selanjutnya tingkat pelayanan untuk tiap kelurahan yang telah terlayani yakni terlayani sebanyak 29 %.

2) Pemakaian Air Eksisting 2023

Jumlah pelanggan SR domestik sebesar 2.976 dengan rata-rata pemakaian sebulan sebesar 13 m³/unit/bulan (PDAM, 2023). Maka debit kebutuhan air domestik dalam satuan liter/detik dihitung sPebagai berikut,

$$\begin{aligned} Q &= \text{Jumlah Pelanggan} \times \text{Rata-rata Pemakaian} \\ &= 2.976 \times 13 \\ &= 38.688 \text{ m}^3/\text{bulan} \end{aligned}$$

Apabila dianggap dalam satu bulan terdapat 30 hari, maka kebutuhan air menjadi :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{Q \text{ dalam m}^3/\text{bulan}}{\text{Jumlah per bulan} \times 86.400\text{dt}} \times 1000 \\ &= \frac{38.688 \text{ m}^3/\text{bln}}{(30 \times 86.400\text{dt})} \times 1000 \text{ lt/m}^3 \\ &= 14,93 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

$$\text{Debit per Unit} = \frac{\text{Rata-rata pemakaian perbulan} \times 1000 \text{ lt/m}^3}{n \text{ hr/bln} \times \text{jumlah orang/SR}} = \frac{13 \text{ m}^3/\text{unit/bln} \times 1000 \text{ lt/m}^3}{30 \text{ hr/bln} \times 3 \text{ org/SR}} = 144 \text{ lt/org/hr}$$

Jadi kebutuhan air domestik adalah sebesar 144 lt/org/hr. Nilai tersebut lebih kecil dibanding kebutuhan air minimal untuk kategori Kota Besar yakni 150 lt/org/hr. Maka masih diperlukan penambahan kapasitas air jumlah pelanggan.

3) Volume Kehilangan Air

Diketahui :

$$\sum \text{air distribusi} = 2.062.653 \text{ m}^3/\text{tahun (PDAM, 2023)}$$

$$\sum \text{air terjual} = 1.078.771 \text{ (PDAM, 2023)}$$

Maka,

$$\text{Jumlah kehilangan} = \sum \text{air distribusi} - \sum \text{air terjual} = 2.062.653 - 1.078.771 = 983.882 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Kehilangan Air (\%)} &= \frac{\text{kehilangan air}}{\text{air distribusi}} \times 100\% \\ &= \frac{983.882 \text{ m}^3/\text{tahun}}{2.062.653 \text{ m}^3/\text{tahun}} \times 100\% \\ &= 47,69\% (>45\%, \text{ maka perlu penurunan}) \end{aligned}$$

b. Proyeksi Penduduk

1) Proyeksi Jumlah Penduduk

$$\begin{aligned} r &= \text{jumlah penduduk (2020)} - \text{jumlah penduduk (2019)} \\ &= 32.377 - 32.322 = 55 \text{ jiwa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r (\%) &= r/\text{jumlah penduduk 2019} \\ &= 55 / 32.322 = 0\% \end{aligned}$$

Tabel 2. Proyeksi Penduduk

No.	Tahun	Jumlah Jiwa	Selisih	%
1	2019	32.322	-	-
2	2020	32.377	55	0%
3	2021	31,795	-582	-2%
4	2022	31.382	-413	-1%
5	2023	31.190	-192	-1%
Rata-rata				-1%

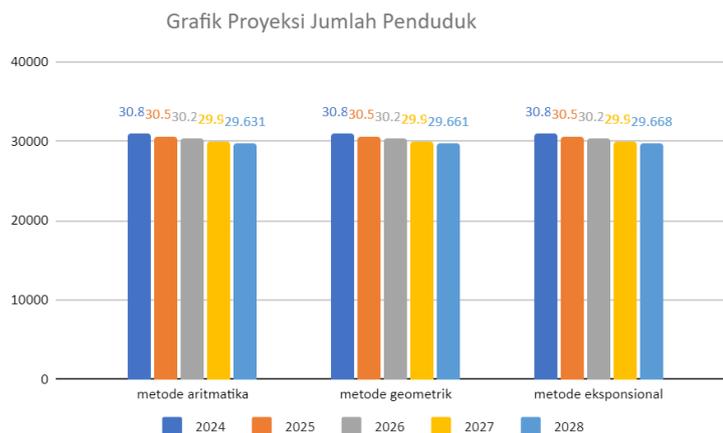
Perhitungan pertumbuhan penduduk Kelurahan Tanjung Mas, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang tahun 2024:

$$P_0 = 31.190 \text{ (tahun 2023)}$$

$$n = 1 \text{ (proyeksi tahun ke-n)}$$

$$r = -1\% \text{ (rata-rata tingkat pertumbuhan penduduk).}$$

Menggunakan rumus aritmatik, geometrik, dan eksponensial, diperoleh hasil proyeksi sebagai berikut :



Gambar 2. Proyeksi Jumlah Penduduk
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2024)

2) Uji Kesesuaian Proyeksi

Menghitung uji kesesuaian dari 3 metode menggunakan rumus,

S $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$, Diperoleh hasil sebagai berikut :

Uji Kesesuaian	Metode Proyeksi		
	Aritmatika	Geometrik	Ekspensial
Standar Deviasi	511	504	501

(Sumber : Peneliti, 2024)

Berdasarkan perhitungan standar deviasi di atas, diketahui metode proyeksi yang memiliki standar deviasi terkecil adalah Metode Ekspensial dengan hasil 501. Maka ditarik kesimpulan perhitungan yang digunakan pada perhitungan selanjutnya adalah perhitungan dengan **Metode Ekspensial**.

1) Kebutuhan Air Bersih

Proyeksi kebutuhan air di Kelurahan Tanjung Mas mencakup beberapa kebutuhan air yang perhitungannya meliputi beberapa aspek di bawah ini, yaitu:

- a) Perhitungan kebutuhan air domestik pada proyeksi jumlah penduduk, dapat dikategorikan Kota Besar dengan kebutuhan air bersih 150 liter/org/hr (Departemen Pekerjaan Umum (Public Works), Ditjen Cipta Karya, 2007)
- b) Perhitungan kebutuhan air non domestik sebesar 20% dari kebutuhan domestik.
- c) Tingkat pelayanan sambungan rumah (SR) untuk tahun 2033 di Kelurahan Tanjung Mas direncanakan mencapai 80%.
- d) Faktor harian maksimum 1,15% dan besarnya faktor jam puncaknya 1,5 (Sumber : SNI Tahun 2000 Tentang Pemakaian Air Domestik).
- e) Kehilangan air direncanakan 45%.

Rumus yang digunakan yaitu :

- (1) Kebutuhan Domestik(Qd)
 $Q_d = Y \times S_d = 2.976 \times 150 \text{ lt/org/hr}$
- (2) Kebuthan Non domestik (Qn)
 $Q_n = Q_d \times S_n = Q_d \times 20\%$
- (3) Total Kebutuhan Air (Qt)
 $Q_t = Q_d + Q_n$
- (4) Kehilangan air (Qa)
 $Q_a = Q_t \times r_a$
- (5) Kebutuhan rata-rata (Qr)
 $Q_r = Q_t + Q_a$
- (6) Kebutuhan Air Harian Maksimum (Qm)
 $Q_m = F_{hm} \times Q_r = 1,15 \times Q_r$
- (7) Kebutuhan Air Jam Puncak (Qp)
 $Q_p = F_{jp} \times Q_m = 1,5 \times Q_m$

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan

		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Jmlh Pndd	Jiwa	31.190	30.879	30.572	30.268	29.966	29.668	29.373	29.080	28.791	28.504	28.220
SR	Jiwa	2.976	2.946	2.917	2.888	2.859	2.831	2.803	2.775	2.747	2.720	2.693
Jmlh layan	%	29,00	34,10	39,20	44,30	49,40	54,50	59,60	64,70	69,80	74,90	80,00
Jmlh orang/ SR	Jiwa	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
tiap l org/hr	lt/org/hr	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Qd	lt/dtk	5,1667	5,1152	5,0643	5,0139	4,9640	4,9145	4,8656	4,8172	4,7692	4,7217	4,6747
Qn	lt/dtk	1,0333	1,0230	1,0129	1,0028	0,9928	0,9829	0,9731	0,9634	0,9538	0,9443	0,9349
Qt	lt/dtk	6,2	6,1383	6,0772	6,0166	5,9567	5,8974	5,8387	5,7806	5,7230	5,6661	5,6096
Qr	lt/dtk	8,99	8,9005	8,8119	8,7241	8,6373	8,5513	8,4661	8,3818	8,2984	8,2158	8,1340
Qm	lt/dtk	10,3385	10,2356	10,1337	10,032	9,9329	9,8340	9,7361	9,6391	9,5432	9,4481	9,3541
Qp	lt/dtk	15,5077	15,3533	15,2005	15,049	14,8993	14,751	14,6041	14,4587	14,3147	14,1722	14,0311
Qa	lt/dtk	2,79	2,7622	2,7347	2,7075	2,6805	2,6538	2,6274	2,6013	2,5754	2,5497	2,5243
Kebutuhan Air Total	lt/dtk	7,9567	7,8774	7,7990	7,7214	7,6445	7,5684	7,4930	7,4184	7,3446	7,2714	7,1990

(Sumber : Peneliti, 2024)

2) Diameter Pipa

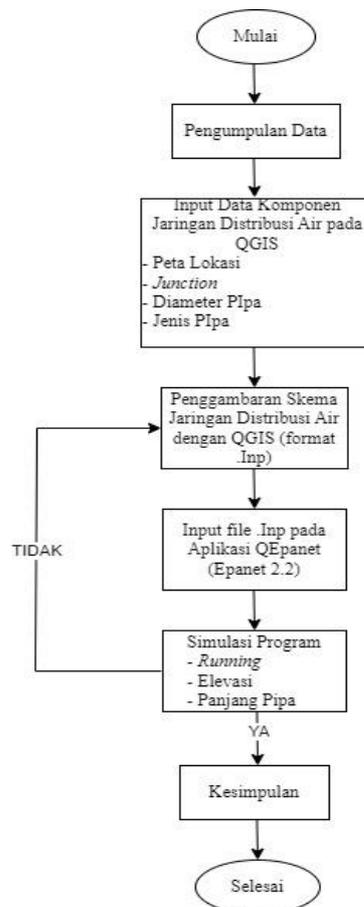
Q rata-rata harian (Qr)= 8,9900 lt/dtk (Hasil Perhitungan, 2024).

Kecepatan Aliran (V)= diasumsikan 0,4 m2/s

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa (D)} &= \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 0,00899}{3,14 \times 0,4}} \\ &= 169 \text{ mm } (\text{Ø } 6'') \end{aligned}$$

Dalam proses penyesuaian dengan diameter pipa steel yang ada di pasaran, perlu adanya perencanaan menggunakan pipa dengan diameter 165 mm (Ø 6'') yang memiliki ketebalan dinding 4,80 mm.

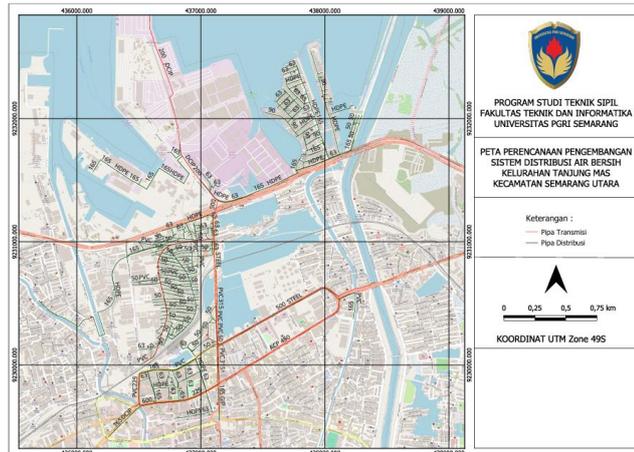
c. Aplikasi Epanet 2.2



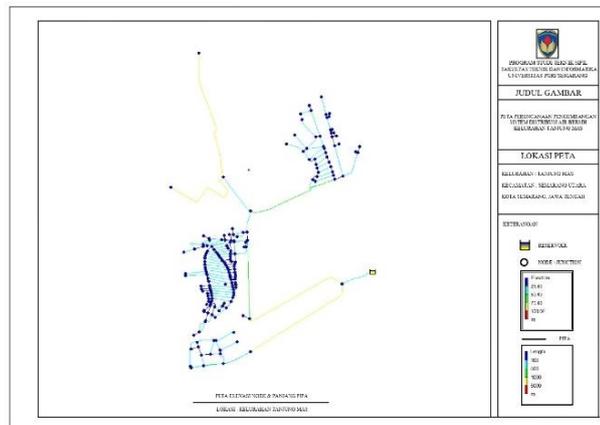
Gambar 3. Diagram Alir Pengerjaan Aplikasi
(Sumber : Peneliti, 2024)

Pada hasil aplikasi, dapat dilihat bahwa jaringan pipa distribusi air bersih Kelurahan Tanjung Mas tahap pengembangan 2033 memiliki kecepatan aliran sebesar 0,01- 0,25, ini dikarenakan debit yang mengalir di pipa terlalu kecil. Kondisi tersebut masih dapat mengidentifikasikam pipa jaringan air bersih mengalir dengan baik. kebutuhan yang tertinggi pada jam puncak menyebabkan kehilangan energi secara besar. Pada tabel di atas, kehilangan tinggi tekanan pad ajaringan tersebut telah memenuhi ketentuan maksimum sebesar 10 m/km. Roughness yang didapatkan yaitu 110-140. Diameter pipa yang dipakai yaitu 165mm, 200mm, 225mm 500mm, dan 600mm. Dari hasil perhitungan simulasi tersebut menunjukkan bahwa sistem jaringan distribusi di Kelurahan Tanjung Mas pada kondisi pengembangan 2033 telah memenuhi kriteria prinsip kontinuitas, sehingga dapat diimplementasikan untuk tahun rencana.

Berikut adalah gambar hasil pengembangan sistem jaringan distribusi Kelurahan Tanjung Mas, Kecamatan Semarang Utara:



Gambar 4. Peta Jaringan dengan QGIS
(Sumber : Peneliti, 2024)



Gambar 4. Jaringan Distribusi Air dengan Epanet 2.2
(Sumber : Analisis Peneliti, 2024)

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Kondisi eksisting jaringan distribusi air bersih di Kelurahan Tanjung Mas kapasitas debit terpasang 14,59 liter/detik masih dapat memenuhi pelanggan. Jumlah kebutuhan air bersih pada kondisi eksisting 2023 yaitu sebesar 6,2 liter/detik dengan jumlah pelanggan sebesar 2.976 SR.
- b. Proyeksi jumlah pelanggan di daerah pelayanan distribusi air bersih di Kelurahan Tanjung Mas pada tahun 2033 mengalami penurunan 5.1% tiap tahunnya hingga sebesar 2.693 jiwa. Penurunan ini diakibatkan oleh besarnya migrasi penduduk. Pada studi kasus penelitian ini terjadi keistimewaan para perhitungan fluktuatif jumlah penduduk di Kelurahan Tanjung Mas, yaitu tidak adanya kenaikan penduduk dan mengalami penurunan tiap tahunnya.
- c. Berdasarkan simulasi menggunakan aplikasi Epanet 2.2, peneliti menggunakan desain baru dimana sumber air diubah dari Instalasi Pengolahan Air (IPA) Gajah Mungkur menjadi Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kudu. Hal yang mendasari adalah jumlah debit air bersih dari IPA Gajah Mungkur untuk wilayah Semarang Utara hanya sebesar 48 liter/detik dimana debit tersebut tidak bisa mencukupi seluruh Semarang Utara (Direktur Utama IPA Gajah Mungkur, 2024). Sedangkan debit sumber untuk Semarang Utara dari IPA Kudu sebesar 70 liter/detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Wago, «Perencanaan Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Di Desa Lekogoko-Ngada», *J. Tek. Sipil*, libk. 10, zenb. 2, or. 163–172, 2021.
- [2] R. Aditya Permana, A. Aprilyansah Program Studi Teknik Lingkungan, eta A. Teknik Tirta Wiyata, «Perencanaan Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Di Desa Singamerta PDAM Kabupaten Banjarnegara dengan Simulasi Epanet 2.0», libk. 8, zenb. 2, or. 156–164, 2023, [Sarean]. Available at:

- <https://journals.unihaz.ac.id/index.php/georafflesia>
- [3] R. D. Finanda, S. N. Huda, A. Kadir, eta D. He, «PERENCANAAN JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH PERUMNAS BANYUMANIK KOTA SEMARANG konsumen melalui peningkatan operasional Dalam pengembangan jaringan distribusi penyediaan air , membuat metodologi penyusunan sebagai berikut »:, or. 1–6.
 - [4] R. A. Prasasti eta G. Samudro, «Analisis Fluktuasi Pemakaian Air Pdam Tirta Moedal Kota Semarang Wilayah Studi Dma Tejosari Dan Mega Bukit Mas», *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, libk. 15, zenb. 2, or. 106, 2018, doi: 10.14710/presipitasi.v15i2.106-113.
 - [5] R. Z. Singal eta N. A. Jamal, «Perencanaan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih (Studi Kasus Desa Panca Agung Kabupaten Bulungan)», *Selodang Mayang J. Ilm. Badan Perenc. Pembang. Drh. Kabupaten Indragiri Hilir*, libk. 8, zenb. 2, or. 108–119, 2022, doi: 10.47521/selodangmayang.v8i2.262.
 - [6] M. F. Ferial, I. W. Mundra, eta Hirijanto, «Perencanaan Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih di Kecamatan Pagak Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur», *J. Sondir*, libk. 1, or. 22–33, 2020.
 - [7] A. R. Fadilla, R. Yanidar, eta W. Winarni, «Perencanaan Pengembangan Jaringan Distribusi Pipa Induk Air Minum di Kabupaten Bekasi sampai dengan Tahun 2037 (Design of Distribution Network Development of Water Main Pipe In Bekasi Regency, West Java, Up to Year 2037)», *Semin. Nas. Kota Berkelanjutan*, or. 110–123, 2018, doi: 10.25105/psnkb.v1i1.2895.
 - [8] D. Krisnayanti, I. Udiana, eta H. Benu, «Studi Perencanaan Pengembangan Penyediaan Air Bersih di Kecamatan Kupang Timur Kabupaten Kupang», *J. Tek. Sipil*, libk. 2, zenb. 1, or. 71–86, 2013.
 - [9] Pekerjaan Umum (Public Works), «Penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum», 2007.

TERAK NON-BESI SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEMEN PORTLAND PADA BETON STRUKTURAL

*Sandy I. Yansiku¹, Yohanes G. G. L. Duran²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Nipa Indonesia, Jln. Kesehatan No.3, Maumere, 86111, Indonesia

^{*)} Email: sandyansiku@gmail.com

ABSTRACT

The degradation in environmental grade and generating concrete with low level of ordinary Portland cement have emerged intention for researchers to produce concrete with slag-based substitutional material. The utilization of slag as a partial substitution of cementitious material in concrete has encountered the need of more sustainable materials in the concrete technology. In contrast, the application of non-ferrous slag (NFS) as substitution of the ordinary Portland cement is not well focused despite the largely global slag deposit and the application in concrete technology. Worldwidel immense deposit of various non-ferrous slag from mining and manufacturing process can be used in generating high performance concrete. On that account, this paper provides a critical review of recent studies concerning the non-ferrous based slag as the substitution of regular Portland cement. Production techniques, properties and the applications of non-ferrous slag for high strength concrete are also examined. Cement with nickel and copper slag addition with high silica content has the potential to increase concrete durability with proper curing method due to better hydration process and low porosity. The maximum 15% non-ferrous slag addition in total cement weight at high water cement ratio increases concrete compressive strength by up to 30%. Substitution of non-ferrous slag for the ordinary Portland cement in concrete has great potential to overcome stock waste issues, to reduce carbon dioxide emission and consequently reduce global energy consumption as an environmentally friendly approach.

Keywords: Sustainable, non-ferrous slag, waste, concrete, substitutions, strength.

ABSTRAK

Penurunan kualitas lingkungan dan minimalisasi produksi semen telah memunculkan ide untuk penelitian pembuatan beton dengan bahan substitusi menggunakan terak. Pemanfaatan terak sebagai bahan tambahan pada semen dalam beton telah meningkat tajam dan telah menemukan teknologi terbaru dalam dekade terakhir untuk menjawab kebutuhan material ramah lingkungan/green material. Sebaliknya, penerapan terak non-besi/non-ferrous slag (NFS) sebagai pengganti sebagian komponen semen dalam beton belum berkembang dengan baik meskipun stok terak ini berada dalam jumlah besar disertai dengan kemungkinannya untuk dicampur dalam beton. Stok bahan limbah yang sangat besar di seluruh dunia seperti terak non-besi dari pertambangan dan manufaktur dalam bentuk tembaga, nikel, seng, timah dan fosfor dapat dimanfaatkan dalam memproduksi beton mutu tinggi. Oleh karena itu, artikel ini menyajikan tinjauan kritis terhadap studi dan pengembangan terak non-besi sebagai pengganti semen dalam beton. Metode pemrosesan, sifat fisik dan mekanis NFS dan penerapannya untuk mendapatkan beton mutu tinggi juga dibahas dalam makalah ini. Tinjauan ini menemukan bahwa beton dengan terak dapat mengurangi hingga separuh emisi CO₂ dan menghemat energi sampai dengan 40%. Semen dengan tambahan terak nikel dan tembaga dengan kandungan silika tinggi berpotensi mempertinggi ketahanan beton dengan metode curing yang tepat akibat proses hidrasi yang lebih baik dan porositas rendah. Rasio penambahan optimal sebesar 15% dari berat semen pada faktor air semen tinggi meningkatkan kuat tekan beton hingga 30%. Substitusi terak non-besi pada porsi berat semen dalam beton sangat berpotensi mengatasi masalah penumpukan limbah, mengurangi emisi karbondioksida sehingga mengurangi konsumsi energi global sebagai suatu pendekatan yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Berkelanjutan, terak non-besi, limbah, beton, substitusi, kekuatan.

1. PENDAHULUAN

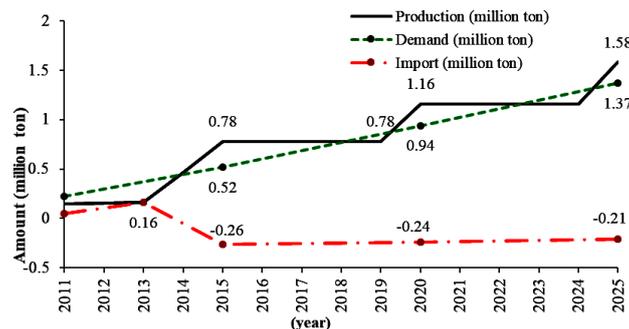
Badan pemerintah di sebagian besar negara yang berurusan dengan lingkungan secara intensif melakukan pengawasan ketat terhadap produksi semen. Dampak pemanfaatan semen dalam produksi dan aplikasi terhadap keberlanjutan lingkungan baru-baru ini ditetapkan sebagai masalah serius karena emisi karbondioksida yang berbahaya sekitar 0,7 kg per kg semen Portland [1]. Pendekatan yang lebih ramah lingkungan secara teknis dipromosikan untuk mengatasi masalah tersebut. Berbagai teknik untuk mengganti semen menunjukkan kinerja yang tidak memuaskan dalam produksi beton karena ikatan permukaan yang buruk antara semen dan pengantinya [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Bubuk kaca, ban karet bekas [2] dari kendaraan bermotor dan agregat lainnya untuk menggantikan sebagian bahan beton konvensional telah dianalisis. Campuran beton ini melibatkan material semen alternatif/*supplementary cementitious material* (SCM), yang merupakan produk sampingan dari proses tertentu, selain komposisi semen dalam mortar. Jenis umum SCM adalah terak besi [5], [8], [9], [10], [11], terak/slag tembaga, abu terbang [5], [8], [9] dan metakaolin. Investigasi telah dilakukan untuk mengamati penggunaan SCM, tetapi masih sangat terbatas studi yang meneliti penggunaan terak *non-ferrous* (NFS) [12], [13]. Industri logam non-besi terus berkontribusi terhadap penurunan dan penggunaan kembali limbah berbahaya. Pemanfaatan terak menguntungkan bagi teknologi beton karena proses terak membutuhkan lebih sedikit energi dan bahan baku dalam siklus produksi beton sementara kualitas beton mungkin dapat ditingkatkan. Pemanfaatan kandungan terak yang

tepat dalam komposisi beton juga dapat melindungi beton terhadap korosi. Selain manfaat ini, beton berbasis terak memiliki kelemahan seperti tingkat hidrasi yang relatif lebih rendah daripada beton konvensional yang mengekspresikan proses karbonat saat terkena udara pada usia awal beton. Namun, kekurangan dan penyimpangan dalam praktik sering diabaikan sebagai perbedaan yang tidak signifikan. Penggunaan terak besi sebagai SCM merupakan praktik umum dalam produksi beton. Di sisi lain, menggabungkan NFS dalam beton tidak diizinkan dalam standar internasional karena stok NFS yang besar dan dampaknya yang merusak lingkungan. Namun, jenis terak ini memiliki sifat seperti semen yang mungkin meningkatkan kekuatan akhir dan kemampuan kerja beton. Penggunaan terak sebagai SCM dapat mengurangi aplikasi semen Portland sebagai pendekatan yang ramah lingkungan [14], [15]. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah studi literatur pada berbagai sumber yang relevan tentang terak non-besi dan kontribusinya terhadap kekuatan beton serta dampaknya terhadap lingkungan.

2. TERAK SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA MATERIAL SEMEN

Terak/slag

Terak merupakan limbah yang diolah dari kegiatan penambangan dan sebagai residu dari proses ekstraksi dan pemurnian material di pabrik pertambangan. Terak didominasi oleh silikat dan oksida yang berasal dari peleburan bijih logam yang kemudian didinginkan untuk dapat digunakan. Terak memiliki banyak kegunaan dalam hal pengendalian suhu selama peleburan dan meminimalkan produk cair akhir sebelum logam cair dipindahkan dari tungku. Terak juga digunakan dalam industri beton [4]. World Economy Outlook melaporkan bahwa pada tahun 2024 produksi nikel dan tembaga dunia masing-masing sebesar 3.7 juta ton dan 26 juta ton [16] sedangkan estimasi potensi mineral bijih nikel di Indonesia sebesar 1,5 miliar ton dan bijih tembaga sebesar 23,8 miliar ton [17]. Jumlah produksi dan permintaan tembaga di Indonesia disajikan pada Gambar 1. Terlihat bahwa potensi produksi produk sampingan berbasis NFS di pabrik-pabrik seperti nikel dan tembaga di Indonesia akan terus meningkat hingga tahun 2025. Stok produk sampingan terak dalam jumlah besar telah memperlihatkan dampaknya terhadap lingkungan.

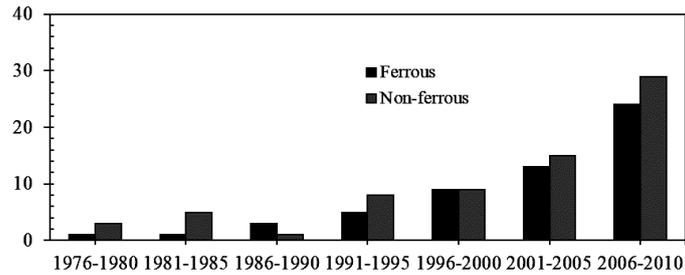


Gambar 1. Estimasi pasokan-permintaan-impor produksi tembaga Indonesia

Kehadiran seng dan tembaga setelah tahap pencucian terak normal menawarkan target potensial ekstra untuk daur ulang terak. Produksi semen terak dimulai di Jerman pada tahun 1888. Antara tahun 1919 dan 1930 semen terak digunakan untuk membangun kanal Laut Utara di IJmuiden, Belanda dan penelitian menunjukkan ketahanannya yang menjanjikan terhadap air laut [8]. Produksi terak dan kemungkinan dampaknya terhadap lingkungan telah mendorong para peneliti untuk mengeksplorasi penggunaan terak secara teknis dan ramah lingkungan dalam proyek konstruksi [18], [19]. Sebagai bahan substitusi semen konvensional, terak dibagi menjadi terak besi/*ferrous* dan terak non-besi/*non-ferrous*. Penelitian tentang terak yang secara umum dimulai pada tahun 1990 lebih berfokus pada terak besi dalam perspektif proyek sipil. Studi perbandingan terak dalam dua kategori tersebut digambarkan pada **Gambar 2**.

Terak Non-besi (NFS)

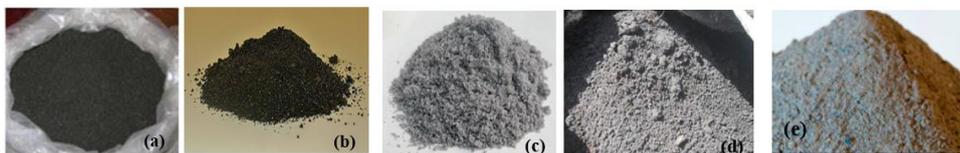
Terak adalah produk sampingan cair dari proses suhu tinggi yang terutama digunakan untuk memisahkan unsur logam dan non-logam dalam bijih bahan mentah dalam jumlah besar. Ketika didinginkan, terak cair berubah menjadi material berbatu atau granular [20]. Jenis terak utama dihasilkan dari produksi utama bijih besi yang memproduksi besi dan baja dan dari bijih non-besi yang memulihkan dan memproses logam *non-ferrous*. Potensi terak daur ulang memiliki total produksi NFS global dalam metrik ton sekitar 23, 14, 11 dan 60 untuk tembaga, seng, timah dan aluminium dalam urutan tersebut [21]. Sekitar 4 juta ton terak tembaga diproduksi setiap tahunnya di Amerika Serikat serta terak fosfor, sementara produksi jenis NFS lainnya yang mengandung terak nikel, timbal dan seng diperkirakan di bawah 1 juta ton [20].



Gambar 2. Penelitian tentang terak

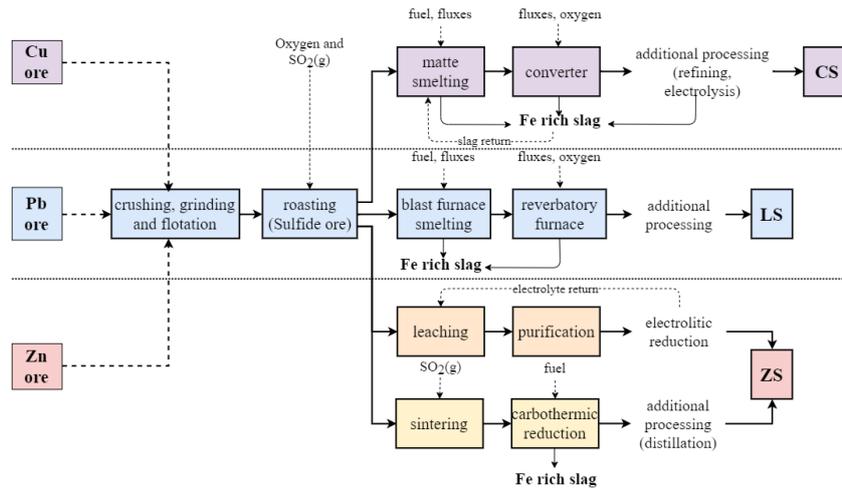
Tipe dan Proses Terak Non-besi

Terdapat tiga kategori terak non-besi (NFS): terak tembaga dan nikel, terak timah/seng, dan terak fosfor sebagai hasil dari batu atau produk sampingan yang tergranulasi [22]. Bentuk visual NFS ditunjukkan pada **Gambar 3** [15]. Terak tembaga/*chopper slag* (CS) dan terak nikel/*nickle slag* (NS) dihasilkan dari proses pembakaran, peleburan, dan konversi. Dalam proses pembakaran, kandungan sulfur dihilangkan sebagai sulfur dioksida (SO_2). Proses peleburan mencairkan produk yang terbakar dalam aliran yang mengandung silika dan logam direduksi. Cairan tersebut didesulfurisasi dengan aliran kapur, bijih besi, atau terak dasar dalam proses konversi dan kemudian oksigen dialirkan untuk menghilangkan kotoran atau bahan lain yang tidak terpakai. CS yang diperoleh dari peleburan tembaga di perapian disebut terak tembaga reverberatory [20]. Laju pendinginan sangat mempengaruhi struktur butiran internal dan kandungan mineral terak, yang selanjutnya mempengaruhi sifat fisik [22]. Dalam proses produksi terak nikel [23], terak dipindahkan dari tungku bertegangan dan suhu tinggi dan dialirkan ke penampungan berisi air kemudian digranulasi menjadi bongkahan dengan ukuran maksimal 50-100 mm. Terak timbal/*lead slag* (LS), terak timbal-seng/*lead-zink slag* (LZS) dan terak seng/*zink slag* (ZS) dihasilkan selama perlakuan pirometalurgi bijih sulfida. Proses ini mencakup tiga operasi yang mirip dengan produksi NS dan CS, yaitu pembakaran, peleburan, dan konversi. Terak fosfor/*phosphorous slag* (PS) merupakan produk sampingan dari proses pemurnian senyawa fosfor. Elemen fosfor dipisahkan dari batuan pembawa fosfat dalam tanur busur listrik, dengan silika dan karbon ditambahkan sebagai pengalih untuk menghilangkan kotoran selama proses produksi terak. Besi, yang ditambahkan ke tanur, bercampur dengan fosfor untuk membentuk ferofosfor. Terak yang tersisa setelah penghilangan fosfor dan/atau ferofosfor, juga disadap. Proses pemurnian logam *non-ferrous* dengan produk samping berupa NFS ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 3. Jenis terak non-besi: (a) tembaga, (b) nikel, (c) fosfor, (d) timbal dan (e) seng [15]

Jenis tungku atau tanur yang digunakan untuk melebur bijih non-besi meliputi tanur sembur, tanur reverberatory, tanur busur listrik, dan tanur kilat oksigen. Berbeda dengan tanur yang bahan bakar dan materialnya dicampur dalam satu ruang, tanur reverberatory biasanya memisahkan material yang diolah dari gas bersuhu tinggi, tetapi tidak dari gas hasil pembakaran. Bijih tembaga dan nikel umumnya dilebur dalam tanur *reverberatory*. Tanur sembur digunakan untuk mencampur bijih tembaga (Cu/Tembaga), timbal (Pb/Plumbum), timah (Sn/Stannum), dan seng (Zn) [18], [20] dan tanur kilat oksigen untuk mengolah bijih tembaga [24]. Selanjutnya, bijih Zn biasanya diolah dalam tabung kimia yang secara bersamaan melakukan penyulingan dan penyulingan Zn. Dalam jenis tanur ini, bahan bakar dan semua produk pembakaran dipisahkan satu sama lain. NFS biasanya dikeluarkan dari tungku dan didinginkan perlahan dalam kondisi atmosfer sehingga menghasilkan material berpori kristal [18]. Ada tiga metode untuk mengkarakterisasi terak [18] yaitu metode empiris dengan pendekatan kimia, mineralogi dan uji pelindian dan metode teoritis dengan pendekatan model geokimia. Uji pencucian yang populer untuk menentukan dampak jangka panjang terak terhadap lingkungan adalah karakteristik toksikologi dan prosedur pelindian presipitasi sintesis yang dikembangkan oleh badan lingkungan USEPA. Metode lain adalah teknik flotasi [25][24] yang menghasilkan limbah pengapungan terak tembaga.



Gambar. 4. Produksi terak non-besi [18], [20]

3. KARAKTERISTIK TERAK NON-BESI

Sifat Fisik dan Kimia

Sifat fisik NFS bergantung pada jenis terak, metode produksi, jenis tungku dan prosedur pendinginan yang terkait dengan proses produksi. Tabel 1 mengilustrasikan sifat fisik terak non-besi. Kandungan terak timah dan seng hampir sama dengan terak timah lainnya dengan jumlah oksida masing-masing 4,1% dan 9,5% berat [26]. NFS bereaksi dengan air untuk membentuk kalsium silikat yang stabil, seperti semen, dan terhidrasi. Reaksi tersebut bergantung positif pada kehalusan butiran terak, komposisi kimia, dan kandungan kaca dalam terak. Tabel 2 menggambarkan sifat kimia dari terak non-besi berdasarkan beberapa temuan penelitian. Kandungan besi yang tinggi (pada dasarnya terak silikat besi) dalam terak ini tampaknya membatasi hidrolisis dan menghambat proses penggilingan [14].

Tabel 1. Sifat fisik dan teknis terak non-besi

Sifat	(NS)	(CS)	(PS)	(LZS)
Tampilan	Coklat kemerahan – coklat kehitaman, masif, bersudut, tekstur amorf	Hitam, berkilau, lebih vesikular saat tergranulasi	Hitam ke abu-abu gelap, datar dan memanjang, granulasi seragam, bersudut	Partikel hitam ke merah, berkaca, bersudut tajam (kubikal)
Berat unit, (kg/m ³)	3500 2335 [23]	2800 – 3800 2835-3858[27] 3900 [25] 3530[1]	Air-cooled: 1360 – 1440 Expanded: 880 to 100	< 2500 - 3600 3880[28]
Ukuran butir (mm)	2 – 0,150	4,75 – 0,075	4,75 – 0,075	4,75 – 0,075
LA Abrasion, (% Loss)	24,1	22,1	< 30	-
Absorption (%)	0,37 1,151[27]	0,13[25] 0,2[1]	1,0 – 1,5	5,0 0,2[28]

Sumber: [14], [20].

Dampak Terhadap Lingkungan

Terak non-besi memerlukan pemanfaatan yang lebih efisien dan optimal dalam bentuk produk yang ramah lingkungan. Perusahaan nikel di Indonesia, PT. Vale Indonesia Tbk. Operation Soroako melaporkan produksi limbah terak tanur listrik berupa terak nikel pada tahun 2017 sebanyak 4.180.479 ton [29] yang dikategorikan oleh perusahaan sebagai limbah padat. Tambang Operasional PT. Aneka Pomalaa pada tahun 2015 menghasilkan sebanyak 714.779 ton terak nikel [23] sedangkan PT. Smelting Gresik Smelter and Refinery memproduksi limbah terak tembaga sebanyak 655.000 ton per tahun [30]. Perbandingan global jumlah tambang logam non-besi terhadap terak yang diproduksi adalah 0,33-0,45 untuk tembaga [31], 0,32 (tembaga) dan 0,096 (nikel). Terak hasil pelindian logam bukan besi seperti tembaga, nikel, timbal, dan seng mengandung logam berat yang mengancam kehidupan manusia [32]. Ditemukan bahwa penggantian pasir sebanyak 10% dengan terak tembaga secara massal akan meningkatkan energi yang terkandung dan potensi pemanasan global/efek rumah kaca [31]. Pemanfaatan terak tembaga sebanyak 1000 mg dalam konstruksi menghasilkan energi antara 6,314 hingga 9,127 MJ, dengan potensi pemanasan global ekuivalen 0,971 hingga 1,486 [31].

Tabel 2. Kandungan kimia dalam terak non-besi

Unsur	Reverberatory CS (%)	NS (%)	PS (%)	LS (%)	LZS (%)
SiO ₂	36,30-38[30] 26[33] 30,60[25] [26]	29.0 42,8[23] 41,47[27] (3)	41.3	35.0 21,39[26]	17.6 25,2[25] 18,89[28]
Al ₂ O ₃	8.1 1-5[30][1] 3,3[33] 2,9[25] [26]	Trace 2,99[23] 2,58[27]	8.8 2,5-5[3]	3,56[26]	6.1 11,5[25] 8,52[28]
Fe ₂ O ₃	55[33] 59[25] [26] 48,78[1]	53.06 30,44[27] 6,69[23]	0,2-2,5[3]	28,10[26]	39,15[28]
CaO	2.0 3-7[30] 2[33] 0,66[25] [26] 4,89[1]	3.96 5,28[23]	44.1[3]	22.2 23,11[26]	19.5 19,9[25] 13,92[28]
MgO	2,7[33] 0,92[25] [26] 1,23	1.56 22,75[27] 27,6[23]	0,5-3[3]	5,44[26]	1.3 1,6[25] 2,05[28]
FeO	35.3 45-55[30]	-	-	28.7	33,8[25] 39,66[28]
K ₂ O	0,6[33] 0,48[25] [26] 0,87[1]	-	1.2	0,26[26]	0,57[28]
F	0,30[25]	-	2.8 0-2,5[3]	-	-
Pb	-	-	-	-	0,7[25] 0,61[28]
PbO	0,29[25] [26]	-	-	4,06[26]	0.8 1,37[28]

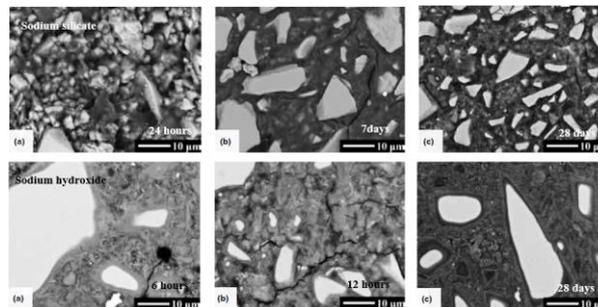
CS = terak tembaga, NS = terak nikel, PS = terak fosfor, LS = terak timbal, LZS = terak timbal/seng.

Inggris mengklasifikasikan terak dari produksi seng primer dan sekunder sebagai limbah berbahaya. Uji lindi pada inti dan kubus yang disiapkan di lokasi (7 hari) menunjukkan bahwa massa logam berat berada di bawah standar normatif dan mirip dengan sampel kontrol. Kadar timbal juga di bawah batas deteksi, kadar arsenik dapat diabaikan, dan kadar seng lebih tinggi dalam sampel inti terak seng, tetapi mirip dengan hasil kubus dan di bawah batas yang dapat diterima [22]. Risiko kontaminasi timbal pada lingkungan merupakan masalah serius, terutama di daerah yang dekat dengan tempat pembuangan limbah pabrik logam *non-ferrous*. Pelindian logam dari terak metalurgi mengandung sejumlah besar unsur beracun dan berbahaya, seperti timbal (Pb), arsenik (As), dan seng (Zn) [34]. Oleh karena itu, penting untuk menilai kandungan dan mobilitas unsur-unsur ini di tambang bahan limbah. Terak timbal primer yang dibuang di dekat peleburan dan digunakan sebagai bahan konstruksi, dianggap sebagai reservoir utama unsur-unsur dengan potensi racun yang dilepaskan secara konstan ke permukaan dan air tanah [26]. Konsentrasi seng dan kadmium (Cd) dalam terak melebihi standar kehidupan akuatik yang disyaratkan, sedangkan standar untuk tembaga dan timah hanya dilampaui secara lokal. Komposisi air permukaan dan air tanah melebihi pedoman air minum dan pedoman kehidupan air untuk kedua unsur tersebut [20]. Weston Solutions, Inc. dalam [18], [35] menyatakan bahwa lahan perumahan di kota-kota yang berdekatan dengan lokasi peleburan seng mengandung konsentrasi Co, Cu, Fe, dan Pb yang melebihi standar USEPA. Konsentrasi besar unsur-unsur ini secara rutin ditemukan di tanah jalan perumahan. Limbah akhir dan limbah padat lainnya langsung digunakan untuk menimbun dan akibatnya rentan terhadap oksidasi dan pelepasan ion selama hujan, panas, dan tekanan alam lainnya. Zat beracun dan ion logam berat juga dapat mencemari lingkungan [38]. Hasil analisis dan pemantauan data tanah dan air di sekitar tambang tembaga Oman Mine Company selama 12 tahun [39] menunjukkan penurunan nilai pH di sekitar air bawah tanah. Dengan memanfaatkan bahan-bahan berbahaya ini sebagai bahan semen, logam berat dan zat berbahaya lainnya tidak terlepas ke lingkungan yang dapat menghilangkan bahaya polusi tersembunyi. Di Cina dan Rusia, PS yang dihasilkan memiliki tingkat radiasi rendah dan banyak digunakan sebagai aditif semen [36].

4. KARAKTERISTIK TERAK NON-BESI SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN SEMEN

Menurut ASTM C618-17a, material dengan kandungan kimia tertentu di atas 70%, dapat berperan sebagai zat tambah. **Gambar 5** menunjukkan semen terak yang diaktifkan dengan natrium silikat dan natrium hidroksida untuk berbagai durasi hidrasi. Semen Portland bersifat hidrolik dalam proses hidrasi dengan air, sedangkan pada semen terak proses hidrasi ini hanya laten sehingga proses hidrasi lanjutan pada beton dengan terak dibatasi oleh pembentukan cangkang kedap air yang cepat dan dini pada segmen eksterior partikel hidrat. Ketika terak

diaplikasikan sebagai substitusi parsial untuk semen Portland, batasan ini diatasi oleh alkalinitas yang sangat tinggi dari larutan pori, yang pada gilirannya meningkatkan hidrasi terak yang diakibatkannya [37]. Alkalinitas yang dibutuhkan dalam campuran karena kurangnya kandungan semen Portland disediakan oleh aktivator seperti natrium hidroksida. Beton terak terbukti tahan terhadap penetrasi klorida, serangan kimia dan perubahan siklus pengerasan yang ekstrem [38]. Meskipun demikian, dua masalah daya tahan, proses karbonasi dan reaksi alkali-silika, tetap menjadi perhatian serius dalam penggunaan beton karena jumlah kalsium hidroksida yang mudah dikarbonasi sangat terbatas dalam beton. Beton dengan terak yang diaktifkan oleh alkali adalah alternatif ramah lingkungan yang menjanjikan untuk teknologi beton yang mengurangi 8% hingga 50% emisi CO₂ dan mengurangi penggunaan energi hingga 40% [37], [39]. Peningkatan kekuatan beton yang mengandung SCM seperti bubuk terak dan abu terbang dalam kondisi udara dingin merupakan kendala teknis yang paling sering dilaporkan terkait penggunaan material ini dalam beton [6]. Selain kuantifikasi sifat posolanik atau hidrolik, faktor stabilitas dan durabilitas untuk berbagai rasio substitusi semen-terak memerlukan perhatian khusus [19], [39]. Semen yang mengandung terak dapat meningkatkan durabilitas beton, tetapi nilai durabilitas tersebut juga harus didukung oleh penempatan dan perawatan beton yang tepat [28], [38]. Peningkatan kekuatan lentur dari sampel campuran ini tampaknya disebabkan oleh peningkatan ikatan antara agregat dan pasta yang dihasilkan oleh *tailing* tembaga. Beton dengan durabilitas tinggi mampu bertahan lama sehingga sejalan dengan konsep berkelanjutan. Koefisien distribusi klorida akan menurun seiring dengan bertambahnya usia beton. Namun, hal ini bergantung pada material semen dan perawatan awal. Oleh karena itu, terak cenderung dianggap sebagai material yang berpotensi efektif.



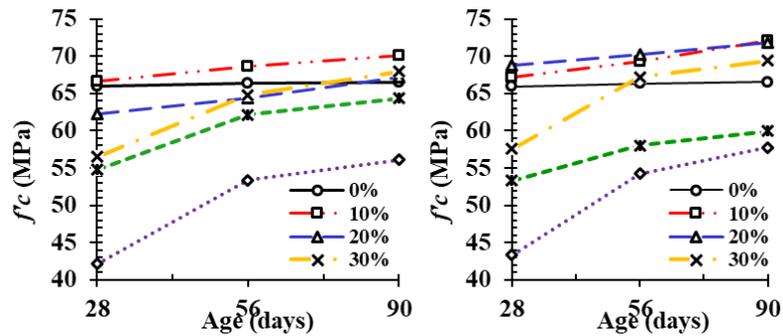
Gambar 5. Karakteristik mikrostruktural semen terak teraktivasi sodium [37]

Terak Nikel dan Terak Fosfor

Salah satu perkembangan positif adalah penggunaan NS berpendingin udara dalam jumlah besar pada rekonstruksi dan pelebaran Jalan Raya Duarte di Republik Dominika sekitar 140 kilometer [19]. Terak nikel juga digunakan untuk pembuatan konstruksi jalan tiang pancang untuk proyek perkerasan jalan [23]. Kandungan silikat di dalam NS mampu merehabilitasi ikatan antarmuka butiran dalam mortar [40]. Tingginya porsi silika menyempurnakan antarmuka akibat proses hidrasi yang baik dan mengurangi potensi kerusakan. Akibatnya, kerusakan beton mungkin tidak terjadi pada antarmuka atau membutuhkan energi yang lebih tinggi untuk menimbulkan kerusakan antarmuka [27]. Beton bermutu tinggi dengan substitusi parsial NS memiliki kuat tekan dan tarik dan modulus elastisitas yang lebih superior dengan tingkat susut lebih rendah daripada beton standar.

Komposisi campuran optimum sebesar 10% beton NS dengan luas permukaan spesifik 284 m²/kg dan 20% untuk 306 m²/kg menghasilkan kuat tekan maksimum. Observasi visual sampel beton menunjukkan minimnya pori-pori kapiler dibandingkan mortar berbahan dasar lain. Selain itu, level kepadatan tinggi berdasarkan pola kegagalan juga merupakan aspek penting dalam perbaikan kekuatan. Pola kegagalan beton NS dengan permukaan spesifik adalah pola kegagalan terbelah sedangkan beton konvensional adalah pola kegagalan geser. Secara umum, substitusi bubuk terak nikel 20% untuk bahan semen memperbaiki sifat mekanik dan daya tahan beton [27].

Gambar 6 merangkum hasil kinerja tekan beton NFS dari berbagai referensi. Terak fosfor (PS) dari alat pendingin udara tidak menunjukkan sifat-sifat semen sedangkan PS yang diperoleh dari proses pelindian memiliki sifat-sifat semen, tetapi kurang reaktif karena kandungan Al₂O₃ yang lebih rendah. Standar penggunaan PS dalam semen mensyaratkan kadar P₂O₅ maksimum di bawah 2,5%. Karena PS kurang reaktif, beton yang mengandung PS biasanya menunjukkan waktu pengerasan yang lebih lama dan kekuatan awal yang lebih rendah, meskipun secara bertahap akan meningkat seiring bertambahnya umur beton. Substitusi gipsium dengan Na₂SO₄ atau NaOH dapat mengaktifkan potensi PS dan meningkatkan kekuatan awal semen Portland secara signifikan sedangkan penggunaan aktivator Na₂SiO₃ dapat meningkatkan kekuatan beton 28 hari secara optimal [36]. Sensitivitas terak fosfor terhadap alkali dalam mortar semen diilustrasikan pada **Gambar 7**. **Gambar 8** merangkum hasil kinerja tekan beton NFS dari berbagai referensi.



Gambar 6. Kuat tekan beton berbasis terak nikel (NS) [27]

Terak Tembaga

Semen terak tembaga yang diperoleh dari proses pengapungan/*flotation* yang disebut FWCS (*Flotation Waste Chopper Slag*) dapat digunakan untuk menghasilkan sampel mortar dengan kinerja mekanis yang mirip dengan yang saat ini diproduksi menggunakan bijih besi di pabrik semen. Limbah FWCS akan mengurangi masalah lingkungan yang terkait dengan pembuangan dan memungkinkan pengurangan biaya operasi penambangan dan pemrosesan bahan baku untuk produksi semen [31], [40]. Penggunaan CS dalam bahan semen menunjukkan peningkatan kuat tekan dan kuat tarik beton yang signifikan hingga rasio substitusi 15% karena reaksi antara CS dan kalsium hidroksida. Penggunaan kapur sebagai aktivator hidrasi [1], [41] sebesar 1,5% [41], [42] menunjukkan peningkatan kekuatan karena partikel aktivator ini mengurangi porositas dan meningkatkan kinerja beton. Dibandingkan dengan beton normal, peningkatan jumlah CS dari 5% menjadi 15% umumnya meningkatkan kinerja lentur sampel beton dan peningkatan kadar CS lebih dari 15% menunjukkan penurunan kekuatan lentur [1], [33]. Kepadatan beton yang sudah mengeras meningkat dengan penambahan terak tembaga karena residu menunjukkan berat jenis yang lebih tinggi daripada semen Portland. Peningkatan 2,4% diamati pada beton dengan 20% CS jika dibandingkan dengan beton referensi [33]. Penelitian lain mengungkapkan bahwa penambahan sejumlah kecil CS ke semen mungkin meningkatkan daya tahannya [33], [43]. Kekuatan tekan beton meningkat dengan penerapan campuran CS pada rasio w/c yang lebih besar. Pada rasio 0,40, 0,5 dan 0,6, urutan peningkatan kapasitas dukung aksial beton CS setelah 28 hari adalah 2,3%, 23,8% dan 30,4% [40]. Dengan demikian, kuat tarik belah meningkat dengan terak tembaga campuran untuk semua rasio w/c. Namun, peningkatan kuat tarik lebih rendah dari kuat tekan dan lebih tinggi pada rasio w/c yang lebih rendah. Peningkatan kuat tarik sekitar 17,6% untuk w/c = 0,40, sedangkan untuk w/c = 0,60 peningkatan kuat tarik mencapai 8,5% [33]. Kepadatan beton meningkat dengan penambahan CS karena berat unit beton yang dihasilkan lebih tinggi dari beton konvensional. Peningkatan mencapai sekitar 2,4% pada sampel dengan CS 20% dibandingkan dengan beton tanpa CS. Partikel CS yang lebih kecil menghasilkan aktivitas posolanik dan menghasilkan efek pengisi. Kedua fenomena tersebut menyebabkan pori-pori mikrostruktur beton dengan CS terisi penuh sehingga menyebabkan pengurangan pori-pori dan peningkatan kualitas beton. Pengurangan penyerapan air sebesar 13,5% ditemukan pada beton dengan kandungan CS 20% [33], [44].

Kandungan CS sebesar 5% menghasilkan kekuatan yang sama dibandingkan dengan beton konvensional, terutama dalam rasio air-pengikat (w/b) yang rendah (0,5 dan 0,6). Pada rasio substitusi yang lebih tinggi, kandungan CS 13,5% menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah. Terak tembaga dianggap memiliki sifat dan karakteristik mekanis yang unggul dan variasi komposisi yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan konvensional [1], [33]. Penelitian laboratorium [44] mengevaluasi pemanfaatan CS dengan rasio 1/3 antara semen dan terak. Karakteristik kekuatan kubus beton pada usia tiga dan tujuh hari menunjukkan bahwa beton yang dimodifikasi memiliki kuat tekan yang secara signifikan lebih tinggi daripada beton normal. Kuat tekan beton CS adalah 28,8 MPa dan beton normal adalah 13,7 MPa dalam 3 hari dan meningkat menjadi 35,7 MPa dan 22,5 MPa masing-masing pada hari ke tujuh. Konsistensi beton pemadatan manual meningkat dengan penambahan terak. Pemanfaatan *ground copper slag* (GCS) dalam penggantian semen menghasilkan kekuatan yang setara dengan beton normal dan jika hanya 5% kandungan GCS sebagai campuran, kuat tekan beton mencapai nilai tertinggi pada semua umur beton yang diuji [1]. Peningkatan kandungan GCS sebesar 15% yang menyebabkan terbentuknya senyawa C-S-H dari reaksi pozzolan antara GCS (SiO_2) dan Ca(OH)_2 menyebabkan penetrasi air ke dalam beton menjadi lebih pendek. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pozzolan yang terjadi pada beton GCS mempengaruhi pengurangan penetrasi air ke dalam beton [1]. Reaksi alkali dan silika yang meningkat dalam uji balok dari campuran dengan GCS setara dengan campuran konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa GCS tidak menimbulkan risiko ASR yang lebih tinggi daripada semen Portland dalam beton [1], [44]. Beton dengan kandungan CS sebagai SCM menunjukkan peningkatan kinerja mekanis karena dua faktor utama yaitu reaksi kimia antara CS dan kalsium hidroksida dan efek pengisi pada butiran CS. Partikel berukuran mikron rata-rata 27,2 μm yang diperoleh dari penggilingan selama 60 menit menunjukkan dampak positif pada matriks dan desinfeksi antarmuka, sehingga mengurangi

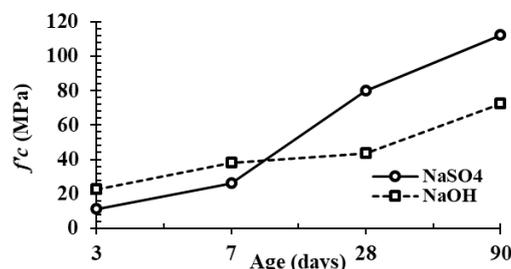
porositas dan meningkatkan kualitas beton [33], [36]. Partikel CS umumnya mengandung kadar CaO rendah yang menentukan sifat pozolaniknya. Ketika kadar CaO meningkat, partikel CS menunjukkan sifat semen yang nyata. Deja dan Malolepszy menyatakan bahwa CS yang mengandung 19% CaO menunjukkan sifat semen yang lebih baik dengan aktivator NaOH karena kekuatan beton yang dihasilkan melebihi beton konvensional [36].

Terak Seng dan Terak Timbal-Seng

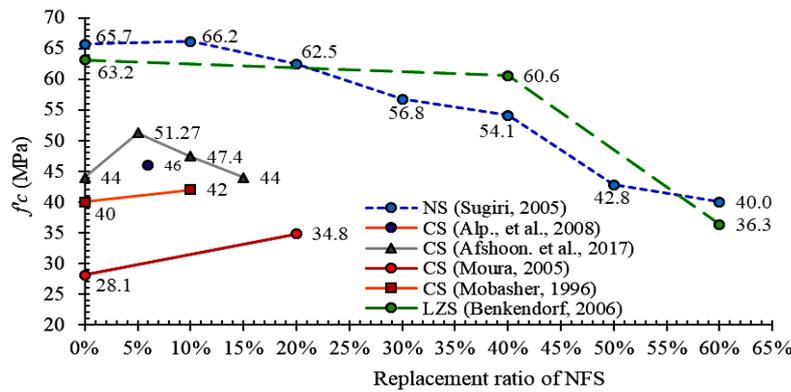
Terak seng telah digunakan untuk menghasilkan keramik dan sebagai agregat aspal. Pengujian beton yang mengandung semen dengan LZS di Newcastle menunjukkan kuat tekan beton terak yang sebanding dengan beton normal. Terak yang digunakan mengandung konsentrasi kaca/silika yang sangat tinggi sekitar 95% sebagai indikator aktivitas hidrolik atau posolanik yang tinggi. Namun, terdapat penurunan waktu pembentukan dan kekuatan awal beton dalam campuran dengan kandungan ZS tinggi [45]. Kekuatan material menurun dengan penambahan ZS dan LZS yang mencegah peningkatan sifat mekanik SCM [46]. Penelitian tentang kuat tekan beton dengan 50% ZS sebagai pengganti semen menunjukkan pencapaian yang memuaskan dan hampir semua sampel memenuhi persyaratan beton 35 MPa. Investigasi visual awal mengidentifikasi adanya sejumlah kecil rangkai/*creep* dan penyusutan beton. Penyelidikan pada bulan ke-30 menunjukkan kesamaan kuat tekan beton dan elemen beton dalam kondisi baik meskipun terdapat sedikit penetrasi klorida sebagai akibat dari pelepasan unsur karbohidrat di musim dingin [22]. Produksi samping dari *imperial smelting furnace slags* (ISFs) pada proses peleburan bijih seng hanya memperlambat onset proses hidrasi. Proses hidrasi awal ini berdampak pada pembentukan kekuatan awal beton terutama pada 3 hari pertama dan tidak berpengaruh buruk pada kekuatan pada umur beton di atas 3 hari. Sehingga, kuat tekan beton ZS lebih optimal daripada beton konvensional pada umur 28 hari [28]. Namun, hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa timah dan seng menghambat kekuatan awal beton pada persentase substitusi slag yang lebih tinggi [10].

Reaksi Alkali-Silika (ASR)

Reaksi alkali-silika merupakan faktor penting dalam penggunaan material pengganti semen Portland untuk produksi beton. Reaksi ini bergantung pada jenis, ukuran butiran, dan proporsi substitusi SCM yang digunakan dalam mortar. Jika ukuran partikel material sangat halus, ASR akan berlangsung cepat sehingga memengaruhi karakteristik campuran semen selama proses hidrasi dan berfungsi sebagai pozzolan [2]. Semakin halus partikel, semakin sedikit retakan mikro yang mereduksi ASR. Hal ini kemudian akan membentuk ikatan antarmuka yang lebih kuat antara material, meningkatkan kekuatan beton dan mengurangi retak. Sebaliknya, ukuran partikel yang lebih besar akan memperlambat ASR [47] sehingga reaksi tidak akan terjadi hingga beton mengeras. Reaksi yang melambat ini membentuk pasta dengan kandungan kalsium rendah yang tidak dapat bereaksi dalam struktur mikro beton. Efek ini menyebabkan adanya retakan ekspansif dan kerusakan pada beton. Diamati bahwa terak tembaga giling dalam mortar semen meningkatkan ekspansi ASR. Setelah 6 minggu perawatan, permukaan semua batang mortar tetap cukup halus tanpa retakan [1]. Tingkat alkali yang diizinkan dalam beton perlu dikurangi dengan memastikan tingkat kelembaban relatif lingkungan yang berdekatan (<75%) dan memilih bahan non-reaktif untuk mencegah ASR menghasilkan efek kegagalan pada beton. Penambahan beberapa jenis aditif diyakini dapat mencegah ekspansi ASR yang merusak. Misalnya, penambahan garam litium akan membentuk litium silikat yang tidak larut dan tidak menyerap air, atau dengan penambahan 25%-30% abu terbang menggantikan semen Portland [28]. Perilaku reaktif beton dengan SCM juga dapat dikaitkan dengan perawatan/*curing* beton. Perawatan curing uap in-situ pada beton selama 180 menit sehari [48] dapat meningkatkan sifat mekanis sampel SCM.



Gambar 7. Peningkatan kekuatan tekan mortar granulasi terak fosfor (PS) teraktivasi alkali [49]



Gambar 8. Kuat tekan beton berbasis terak non-besi

Slag Non-besi dan Korosi Beton

Korosi merupakan faktor kunci dalam pengembangan struktur beton. Beton dengan permeabilitas rendah dapat mengurangi potensi korosi pada batang tulangan struktural [1]. Pencampuran semen dengan NFS menunjukkan hasil yang berbeda dalam beberapa penelitian. Beton yang diproduksi dari semen dan terak melepaskan lebih banyak resistivitas listrik dan lebih sedikit korosi daripada beton normal dengan kondisi klorida dan kelembaban yang sama [8]. Resistivitas listrik yang lebih tinggi dari beton semen terak berkorelasi dengan koefisien difusi klorida yang lebih rendah. Dalam kisaran rasio air/pengikat 0,40 - 0,55 migrasi klorida dalam beton dengan terak sebagai SCM jauh lebih rendah daripada beton normal. Perhatian serius terhadap penetrasi klorida perlu dilakukan pada usia awal beton (7 hari) karena tingkat difusi klorida dalam beton berbasis terak sangat tinggi pada usia ini [9]. Dalam penyelidikan serupa, ditemukan bahwa tingkat korosi beton bertulang dengan terak sebagai SCM lebih kecil daripada struktur beton bertulang konvensional. Kekuatan beton dengan aktivator CS dan NaOH meningkat sedikit seiring waktu baik direndam dalam air atau dalam larutan korosif. Sebaliknya, kekuatan beton konvensional hanya meningkat ketika direndam dalam air dan menurun ketika direndam dalam larutan korosif [36]. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi CS teraktivasi NaOH dalam campuran beton mampu menghambat dampak korosi secara lebih sempurna daripada campuran beton normal.

Slag Non-besi dan Serangan Sulfat

Beton yang bersentuhan dengan tanah, air garam atau air limbah dapat rusak oleh sulfat (SO_4) [38]. Sulfat yang larut dalam air bereaksi dengan produk hidrasi C_3A dan kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$. Dengan meningkatnya jumlah terak dalam sampel, kristal $Ca(OH)_2$ meningkat, kalsium silikat hidrat menurun dan strukturnya lebih longgar sehingga ada pengurangan yang stabil dalam kekuatan tekan sampel [43], [50], [51]. Terak dapat dimanfaatkan untuk mengurangi potensi serangan sulfat karena semen terak bebas dari C_3A . Serangan sulfat dapat menyebabkan kerusakan parah pada struktur beton dan mungkin terjadi dalam beberapa bentuk seperti serangan fisik garam sulfat (physical sulfate attack/PSA) dan serangan sulfat kimia. Metode pengujian standar seperti ASTM C452-15 dan ASTM C1012-15 berorientasi untuk menguji ketahanan bahan semen dari serangan kimia dan sulfat menggunakan laju ekspansi batang mortar untuk mengukur kerusakan [50]. Portland Cement Association menyatakan bahwa PSA menyebabkan kerusakan lebih parah daripada serangan kimianya. Peningkatan karbonasi pada usia dini beton dengan SCM yang tidak dirawat dengan benar dapat menyebabkan penurunan ketahanan beton terhadap PSA. Terak dengan kandungan alumina 11% lebih tinggi dapat meningkatkan reaksi alumina dengan kalsium sulfat dibandingkan dengan semen Portland. Reaksi ini menyebabkan kekurangan sulfat pada campuran beton. Hal ini mungkin mengurangi ketahanan beton segar terhadap sulfat [50], [52].

5. KESIMPULAN

Terak nikel dan tembaga dengan kandungan silika tinggi sebagai bahan tambah campuran beton berpotensi mempertinggi ketahanan beton akibat proses hidrasi yang lebih baik dan porositas rendah pada metode curing yang sesuai. Substitusi optimal sebesar 15% terak tembaga dan nikel dari total berat semen pada faktor air semen tinggi meningkatkan kuat tekan beton hingga 30%. Pemanfaatan terak non-besi sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton sangat memungkinkan sebagai praktik berkelanjutan dan ramah lingkungan karena SCM berpotensi mengurangi penggunaan semen sehingga mengurangi energi yang dibutuhkan untuk memproduksi semen Portland. Biaya siklus yang lebih rendah dari beton berbasis NFS menawarkan keuntungan ekonomi bagi industri beton sekaligus berpotensi memberikan kekuatan dan ketahanan beton yang menjanjikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Afshoon and Y. Sharifi, "Use of Copper Slag Microparticles in Self-Consolidating Concrete," *ACI Mater. J.*, vol. 114, no. 5, pp. 691–699, 2017, doi: 10.14359/51700887.
- [2] S. I. Yansiku, "Characteristic of Concrete Containing Glass and Tyre Particles as Replacement of Fine Aggregate," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 4, p. 1055, Aug. 2018, doi: 10.18517/ijaseit.8.4.4274.
- [3] M. Albitar, P. Visintin, M. Ali, and M. Drechsler, *Assessing Behaviour of Fresh and Hardened Geopolymer Concrete Mixed with Class-F Fly Ash*, vol. 19. 2014. doi: 10.1007/s12205-014-1254-z.
- [4] R. Barnard, "Mechanical Properties of Fly Ash/Slag Based Geopolymer Concrete With the Addition of Macro Fibres," Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa, 2014. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10019.1/95866>
- [5] J. Bijen, "Durability of Reinforced Concrete Structures Benefits of slag and fly ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 10, no. 5, pp. 309–314, 1996, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00014-3](http://dx.doi.org/10.1016/0950-0618(95)00014-3).
- [6] N. Bouzoubaâ and B. Fournier, "Current situation with the production and use of supplementary cementitious materials (SCMs) in concrete construction in Canada," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 32, no. 1, pp. 129–143, 2005, doi: 10.1139/L04-109.
- [7] G. J. Osborne, "Durability of Portland blast-furnace slag cement concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 21, no. 1, pp. 11–21, 1999, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00032-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00032-8).
- [8] R. B. Polder, "Effects of Slag and Fly Ash on Reinforcement Corrosion in Concrete in Chloride Environment," *Heron*, vol. 57, no. 3, pp. 197–210, 2012.
- [9] H. Toutanji, N. Delatte, S. Aggoun, R. Duval, and A. Danson, "Effect of supplementary cementitious materials on the compressive strength and durability of short-term cured concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 34, no. 2, pp. 311–319, 2004, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.017>.
- [10] B. Tripathi, A. Misra, and S. Chaudhary, "Strength and Abrasion Characteristics of ISF Slag Concrete," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 25, no. 11, pp. 1611–1618, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000709.
- [11] F. Bellmann and J. Stark, "Activation of blast furnace slag by a new method," *Cem. Concr. Res.*, vol. 39, no. 8, pp. 644–650, 2009, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.05.012>.
- [12] M. Albitar, M. S. Mohamed Ali, and P. Visintin, "Engineering Properties of Slag-based Geopolymer Concrete," 2014. doi: 10.3233/978-1-61499-466-4-503.
- [13] B. Gorai, R. K. Jana, and Premchand, "Characteristics and utilisation of copper slag—a review," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 39, no. 4, pp. 299–313, 2003, doi: 10.1016/S0921-3449(02)00171-4.
- [14] R. J. Collins and S. K. Ciesielski, *Recycling and Use of Waste Materials and Byproducts in Highway Construction*, vol. 199. Washington, DC: Nat'L Academy Press, 1994. [Online]. Available: <https://trid.trb.org/view/408316>
- [15] M. K. Dash, S. K. Patro, and A. K. Rath, "Sustainable use of industrial-waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete – A review," *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 5, no. 2, pp. 484–516, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2016.04.006>.
- [16] IMF, "World Economic Outlook: Policy Pivot, Rising Threats," International Monetary Fund, Washington, 2024.
- [17] ILMATE, "Hilirisasi Pembangunan Industri Berbasis Mineral Tambang," 2016, *Kementerian Perindustrian RI, Jakarta*. [Online]. Available: <http://rocana.kemenperin.go.id/index.php/download/category/43-2016?download=491%3A4.-ilmate-hilirisasi-pembangunan-industri-berbasis-mineral-tambang>
- [18] N. Piatak, M. Parsons, and R. R. S. Ii, *Characteristics and Environmental Aspects of Slag: A Review*, vol. 57. Elsevier Ltd., 2015. doi: 10.1016/j.apgeochem.2014.04.009.
- [19] G. Wang and J. Emery, "Technology of Slag Utilization in Highway Construction," in *Annual Conference of Transportation Association of Canada, 2004 Annual Conference*, Québec City, Canada: John Emery Geotechnical Engineering Limited, 2004, pp. 1–9.
- [20] FHART, U. S. D. of Transportation, and U. S. D. of Transportation, "User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction," Federal Highway Administration Research and Technology, Washington DC, 2016.
- [21] C. Pichler, "Potential of slags from the nonferrous metallurgy," in *11th Global Slag Conference*, London, UK, 2016.
- [22] NCHRP, "Slag Byproducts, A Synthesis of Highway Practice," in *Recycled Materials and Byproducts in Highway Applications*, vol. 5, Washington, D.C.: The National Academic Press, 2013, ch. 4, pp. 19–22. doi: 10.17226/22548.
- [23] E. Bakri, "Pengelolaan Limbah Tambang Pada PT. Aneka Tambang, Tbk.," ITB, Bandung, 2014. [Online]. Available: <https://id.scribd.com/document/285507361/PENGLOLAAN-LIMBAH-PERTAMBANGAN-PADA-pdf>

- [24] T. S. Naidu, L. D. Van Dyk, C. M. Sheridan, and D. G. Grubb, "Sugar and Steel By-Product Utilization in Acid Mine Drainage Remediation," *J. Hazardous, Toxic, Radioact. Waste*, vol. 24, no. 1, p. 4019028, Jan. 2020, doi: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000472.
- [25] İ. Alp, H. Deveci, and H. Süngün, "Utilization of flotation wastes of copper slag as raw material in cement production," *J. Hazard. Mater.*, vol. 159, no. 2, pp. 390–395, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.056>.
- [26] L. Andrade L. and L. Bernardez, "Evaluation of the chemical stability of a landfilled primary lead smelting slag," *Environ. Earth Sci.*, vol. 68, no. 4, pp. 1033–1040, 2013, doi: 10.1007/s12665-012-1805-x.
- [27] S. Sugiri, "Penggunaan Terak Nikel sebagai Agragat dan Campuran Semen untuk Beton Mutu Tinggi," *J. Infrastruktur dan Lingkungan. Binaan*, vol. 1, no. 1, p. 8, 2005.
- [28] C. Morrison, "Improving construction sustainability by using glassy secondary materials as aggregate in concrete," Sheffield Universit, 2005.
- [29] G. Vinyaman, V. Indonesia, and C. and E. Affairs, "Sustained Commitment," PT. Vale Indonesia Tbk., Jakarta, 2017. [Online]. Available: <http://www.vale.com/indonesia/EN/aboutvale/sustainability/Pdfs/2017-Sustainability-Report-PT-Vale-Indonesia-Tbk.pdf>
- [30] SGSR, "By Product: Copper Slag MSDS." [Online]. Available: <http://www.ptsmelting.com/copperslagsds.htm>
- [31] H. W. Kua, "The Consequences of Substituting Sand with Used Copper Slag in Construction," *J. Ind. Ecol.*, vol. 17, no. 6, pp. 869–879, 2013, doi: 10.1111/jiec.12059.
- [32] PPRI, *PP Nomor 101 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*. Indonesia: Pemerintah Republik Indonesia, 2014.
- [33] W. A. Moura, J. P. Gonçalves, and M. B. L. Lima, "Copper slag waste as a supplementary cementing material to concrete," *J. Mater. Sci.*, vol. 42, no. 7, pp. 2226–2230, 2007, doi: 10.1007/s10853-006-0997-4.
- [34] S. Reetu *et al.*, "Heavy Metal Pollution in Surface Soil of Korba Basin, India," *J. Hazardous, Toxic, Radioact. Waste*, vol. 23, no. 4, p. 5019004, Oct. 2019, doi: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000460.
- [35] N. Piatak, M. Parsons, and R. R. Seal II, *Characteristics and Environmental Aspects of Slag: A Review*, vol. 57. 2014. doi: 10.1016/j.apgeochem.2014.04.009.
- [36] C. Shi and J. Qian, "High performance cementing materials from industrial slags — a review," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 29, no. 3, pp. 195–207, 2000, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449\(99\)00060-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00060-9).
- [37] R. J. Thomas, Y. Hailong, A. Radlińska, and S. Peethamparan, "Alkali-Activated Slag Cement Concrete," *Concr. Int.*, vol. 38, no. 1, pp. 33–38, 2016.
- [38] Z. Lei and C. Bing, "Hydration and Properties of Slag Cement Activated by Alkali and Sulfate," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 29, no. 9, p. 4017091, Sep. 2017, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001879.
- [39] B. Raphael, N. T. R. Santos, A. S. C., Q. V. A., and C. M. Alba, "Dehydration and Rehydration of Blast Furnace Slag Cement," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 31, no. 8, p. 4019132, Aug. 2019, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002725.
- [40] İ. Alp, H. Deveci, and H. Süngün, "Utilization of flotation wastes of copper slag as raw material in cement production," *J. Hazard. Mater.*, vol. 159, no. 2–3, pp. 390–395, 2008, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.056>.
- [41] B. Mobasher, R. Devaguptapu, and A. M. Arino, "Effect of Copper Slag on the Hydration of Blended Cementitious Mixtures," in *The 1996 4th Materials Engineering Conference*, K. P. Chong, Ed., ASCE, 1996, pp. 1677–1686. doi: 10.1016/S0008-8846(97)00166-X.
- [42] R. Tixier, R. Devaguptapu, and B. Mobasher, "The effect of copper slag on the hydration and mechanical properties of cementitious mixtures," *Cem. Concr. Res.*, vol. 27, no. 10, pp. 1569–1580, 1997, doi: 10.1016/S0008-8846(97)00166-X.
- [43] O. Onuaguluchi and Ö. Eren, "Cement mixtures containing copper tailings as an additive: durability properties," *Mater. Res.*, vol. 5, no. 6, pp. 1029–1036, 2012, doi: 10.1590/S1516-14392012005000129.
- [44] O. Pavez, F. Rohas, J. Palacios, and A. Nazer, "Pozzolanic Activity of Copper Slag, Chile," in *Proceedings of the VI International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry*, F. P. M. Sanchez, F. Vergara, S.H. Castro, Ed., Chile: University of Concepción, 2004.
- [45] P. N. Benkendorff, "Potential of lead/zinc slag for use in cemented mine backfill," *Miner. Process. Extr. Metall.*, vol. 115, no. 3, pp. 171–173, 2006, doi: 10.1179/174328506X109149.
- [46] D. Zhang, S. Shi, C. Wang, X. Yang, L. Guo, and S. Xue, "Preparation of Cementitious Material Using Smelting Slag and Tailings and the Solidification and Leaching of Pb 2+," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2015, pp. 1–7, 2015, doi: 10.1155/2015/352567.
- [47] S. I. Yansiku, "Karakteristik Kekuatan Beton dengan Glass Powder, Fly Ash dan GBFS Sebagai Material Pengganti Semen," *SIARTEK*, vol. 2, no. 2, p. 5, 2016.
- [48] I. Bali and W. Kurnia, "The Curing Method Influence on Mechanical Behavior of Reactive Powder Concrete," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. Vol. 8 No. 5*, vol. 8, no. 5, pp. 1976–1983, 2018, doi:

- 10.18517/ijaseit.8.5.4197.
- [49] L. Y. Shi C, Tang X, “Studies on the Activation of Phosphorus Slag,” in *Third International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Norway: American Concrete Institute SP-114, 1989, pp. 657– 666.
- [50] S. Zhutovsky and R. D. Hooton, “Effect of Supplementary Cementitious Materials on the Resistance of Mortar to Physical Sulfate Salt Attack,” London: Resilient Infrastructure, 2016, p. 11.
- [51] M. Sean and S. Yixin, “Carbonation Curing of Slag-Cement Concrete for Binding CO₂ and Improving Performance,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 296–304, Apr. 2010, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000018.
- [52] R. Douglas Hooton, “Current developments and future needs in standards for cementitious materials,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 78, pp. 165–177, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.022>.

ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG STEEL PIPE PILE BERDASARKAN DATA KALENDERING DAN PDA TEST (Studi Kasus: Project Strengthening Jetty 1 & Jetty 2 PLH Existing, Desa Paring Lahung, Kec. Montallat, Kab. Barito Utara, Kalimantan Tengah)

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono¹, *Reki Arbianto², Paska Wijayanti³, Erwin Aji Prasetyo⁴, Rizal Kurniawan⁵

^{1,2,3,5}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta, Surakarta, Indonesia

⁴PT. Sukses Karya Indoteknik, Jakarta, Indonesia

^{*}) Email: reki.arbianto@leture.utp.ac.id

ABSTRACT

In the field of construction, particularly in geotechnical engineering, uncertainties in foundation design approaches are frequently encountered. Geotechnical uncertainties, especially in foundation design, pose complex challenges due to the heterogeneous nature of soil and data limitations. Dynamic load testing on pile foundations is an alternative method to static load testing in geotechnical engineering for evaluating pile capacity and behavior. The results of this analysis will be compared to the design capacity of pile foundations in the breasting dolphin structure. This study on a breasting dolphin structure utilizing Steel Pipe Pile (SPP) foundations with a diameter 610 mm. PDA tests were conducted on piles at points G6-23, G7-33, G7-38, and G8-46. The study begins with a literature review to comprehend methods and theories related to pile capacity analysis based on calendaring and PDA testing. Calendaring data were analyzed using empirical methods such as the Hiley Formula to estimate the dynamic bearing capacity of each pile. The pile capacity calculated using the Hiley Formula is generally higher than the results obtained from the Case Method and CAPWAP Analysis. The relationship between pile capacity based on the Hiley Formula (calendaring) and the Case Method (PDA test) yielded a linear regression equation of $y = 1.0785x - 983.07$ with $R^2 = 0.2385$, indicating a weak correlation. Meanwhile, the relationship between pile capacity from the Hiley Formula (calendaring) and CAPWAP Analysis (PDA test) resulted in a linear regression equation of $y = -0.006x + 2909.8$ with $R^2 = 1 \times 10^{-1}$, indicating almost no linear correlation between the two.

Keyword: calendaring, PDA test, steel pile

ABSTRAK

Dalam dunia konstruksi khususnya bidang geoteknik sering kali menghadapi berbagai ketidakpastian dan kesalahan pendekatan dalam perencanaan pondasi. Ketidakpastian dalam geoteknik, terutama dalam perencanaan pondasi, merupakan tantangan yang kompleks karena sifat alami tanah yang bervariasi dan keterbatasan data. Pengujian dengan beban dinamis pada tiang pancang menjadi salah satu metode lain selain statik dalam bidang geoteknik untuk menilai kapasitas dan perilaku tiang pancang. Hasil analisis ini akan dibandingkan dengan kapasitas desain rencana tiang pancang pada struktur breasting dolphin. Studi ini ditinjau struktur breasting dolphin yang menggunakan tiang pancang Steel Pipe Pile (SPP) dengan diameter 610 mm. PDA test tiang pancang dilakukan pada titik tiang G6-23, G7-33, G7-38 dan G8-46. Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memahami metode dan teori terkait analisis daya dukung tiang pancang berbasis kalendering dan PDA test. Data kalendering dianalisis menggunakan metode empiris seperti Hiley Formula untuk memperkirakan kapasitas daya dukung dinamis setiap tiang pancang. Kapasitas dukung tiang yang dihitung menggunakan Hiley Formula umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan Case Methode dan CAPWAP Analysis. Hubungan antara kapasitas tiang berdasarkan perhitungan Hiley Formula (kalendering) dengan hasil dari Case Method (PDA test). Regresi liniernya memiliki persamaan: $y = 1.0785x - 983.07$ dengan $R^2 = 0.2385$ yang artinya hubungan keduanya lemah. Hubungan antara kapasitas tiang berdasarkan Hiley Formula (kalendering) dengan hasil dari CAPWAP Analysis (PDA test) diperoleh regresi liniernya $y = -0.006x + 2909.8$ dengan $R^2 = 1 \times 10^{-1}$ yang artinya hampir tidak ada hubungan linier diantara keduanya.

Kata kunci: kalendering, PDA test, steel pile

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, analisis empiris dan non-empiris diusulkan dalam kegiatan konstruksi untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang muncul di proyek. Pendekatan-pendekatan melalui pemodelan didasarkan pada berbagai asumsi yang terjadi di proyek melalui pemodelan numerik, sehingga dapat diperoleh sebuah analisis yang komprehensif sebagai dasar dalam mengambil keputusan [1]. Dalam dunia konstruksi khususnya bidang geoteknik sering kali menghadapi berbagai ketidakpastian dan kesalahan pendekatan dalam perencanaan pondasi. Ketidakpastian ini muncul dari beberapa faktor utama yang berkaitan dengan sifat tanah dan kondisi di lapangan yang tidak sepenuhnya dapat direpresentasikan oleh data tanah yang ada. Ketidakpastian dalam geoteknik, terutama dalam perencanaan pondasi, merupakan tantangan yang kompleks karena sifat alami tanah yang bervariasi dan keterbatasan data. Untuk mengatasinya, diperlukan kombinasi antara teknologi canggih, pendekatan investigasi yang holistik, dan kehati-hatian dalam interpretasi data untuk memastikan desain pondasi

yang aman, efisien, dan andal. Salah satu permasalahan penting dalam geoteknik adalah prediksi kapasitas beban ultimate pada pondasi tiang pancang [2].

Pengujian beban statis dan dinamis sering digunakan untuk menentukan kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang. Dalam pelaksanaan uji beban statis (*static load tests*) sebagai cara untuk memverifikasi sebuah pondasi dalam, instrument yang digunakan cukup sederhana. Pada pengujian statis tiang pancang biasanya menggunakan *load cell*, alat pengukur perpindahan atau LVDT dan alat lainnya yang bisa mengukur perpindahan vertikal [3]. Pengujian dan pemantauan beban dinamis bergantung pada data yang dikumpulkan selama tumbukan palu, dengan menggunakan akselerometer dan transduser regangan yang dipasang pada kepala tiang.

Pengujian dengan beban dinamis pada tiang pancang menjadi salah satu metode lain selain statik dalam bidang geoteknik untuk menilai kapasitas dan perilaku tiang pancang [4]. Pengujian ini melibatkan pembeban dinamik pada tiang pancang dengan menggunakan peralatan *hammer* tiang pancang untuk mengukur kapasitas beban, integritas dan respon dinamis tiang. Metode dinamis dibandingkan dengan metode statis memberikan keuntungan dalam hal efisiensi waktu, biaya dan praktis, terutama untuk proyek-proyek dengan skala besar.

Tiang pancang sering kali digunakan pada pondasi dilokasi dengan daya dukung yang sangat dalam dan memiliki jenis tanah liat dan pasir yang tebal di mana *set up* akibat disipasi tekanan pori berlebih setelah pemancangan menghasilkan peningkatan kekuatan yang signifikan seiring berjalannya waktu [5], [6].

Steel Pipe Pile (SPP) atau tiang pancang baja umumnya digunakan pada struktur di proyek pembangunan dermaga dan jetty. Penggunaan SPP yang memiliki berat lebih ringan dibanding tiang pancang beton (Concrete Spun Pile/ CSP) menjadi pilihan sebagai material tiang pancang di laut atau Sungai, selain kemudahan pemancangan juga memiliki kapasitas yang relative tinggi [6]. Ukuran tiang pancang yang diproduksi di Indonesia memiliki berbagai diameter. Pada proyek pekerjaan pembangunan Strengthening Jetty 1 & Jetty 2 PLH Existing, Desa Paring Lahung, Kec. Montallat, Kab. Barito Utara, Kalimantan Tengah ini menggunakan tiang diameter 406 mm, 610 mm dan 812 mm. Tiang pancang SPP pada proyek ini berada pada stuktur breasting dolphin dan moring dolphin. Seperti terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tiang pancang SPP pada breasting dolphin

Pada makalah ini, akan dibahas korelasi hasil pengujian kalendering dan *Pile Driving Analyzer* (PDA) test yang dilakukan pada pada tiang pancang 610 mm. Hasil analisis ini akan dibandingkan dengan kapasitas desain rencana tiang pancang pada struktur breasting dolphin. Nantinya hasil analisis ini dapat memberikan evaluasi nilai daya dukung tiang berdasarkan kalendering.

2. RUANG LINGKUP

Penelitian ini dilakukan pada proyek Strengthening Jetty 1 & Jetty 2 PLH Existing di Desa Paring Lahung, Kecamatan Montallat, Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Tengah. Fokus penelitian adalah pada struktur breasting dolphin yang menggunakan tiang pancang *Steel Pipe Pile* (SPP) dengan diameter 610 mm. PDA test tiang pancang dilakukan pada titik tiang G6-23, G7-33, G7-38 dan G8-46. Penelitian ini menggunakan data primer yang mencakup data kalendering, data PDA test, spesifikasi teknis tiang pancang, dan desain proyek. Data kalendering meliputi rekaman jumlah pukulan per kedalaman (*blow count per depth*), energi *hammer* (*hammer energy*), dan kedalaman penetrasi per pukulan (*penetration per blow*), sedangkan data PDA test terdiri dari hasil analisis

gelombang dinamis (*stress wave analysis*), kapasitas daya dukung dinamis, integritas tiang, serta parameter gaya, percepatan, dan perpindahan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memahami metode dan teori terkait analisis daya dukung tiang pancang berbasis kalendering dan PDA test. Data kalendering dianalisis menggunakan metode empiris seperti Hiley Formula untuk memperkirakan kapasitas daya dukung dinamis setiap tiang pancang. Selanjutnya, data PDA test dianalisis menggunakan metode *signal matching* melalui perangkat lunak CAPWAP guna mendapatkan estimasi kapasitas daya dukung dinamis yang lebih akurat, serta untuk menganalisis integritas tiang pancang. Hasil dari kedua metode ini kemudian dibandingkan untuk menentukan korelasi antara data kalendering dan PDA test. Korelasi ini bertujuan untuk menilai keakuratan kalendering sebagai metode monitoring dalam proyek pemancangan.

Hiley Formula adalah metode empiris yang digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung dinamis (*dynamic bearing capacity*) tiang pancang berdasarkan data kalendering. Metode ini mempertimbangkan berbagai parameter seperti energi palu, efisiensi sistem pemancangan, berat tiang, serta penetrasi per pukulan. Hiley Formula dapat dinyatakan pada Persamaan (1) berikut:

$$Q_u = \frac{E_h \cdot \eta}{S + \frac{c}{2}} \quad (1)$$

Keterangan:

Q_u	Kapasitas daya dukung dinamis tiang pancang (kN)
E_h	Energi efektif palu per pukulan (kNm)
η	Efisiensi sistem pemancangan (dari hammer, blok, dan tiang)
S	Penetrasi akhir per pukulan (*set per blow*) (m)
c	Konstanta elastisitas total, yang bergantung pada deformasi elastis tiang dan blok

Pengujian Dinamis Daya Dukung Fondasi-Tiang (*Pile Dynamic Load Testing*), dilakukan sesuai dengan standar ASTM D4945 (Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations) [7]. Karena fondasi-tiang yang akan diuji sudah tertanam, maka untuk pengujian dilakukan dengan menumbuk ulang fondasi-tiang tersebut dengan sumber tumbukan/impact yang memadai. Proses tumbukan atau *impacting* dihentikan setelah diperoleh kualitas rekaman yang cukup baik dan energy tumbukan yang relatif tinggi. Dengan demikian, jumlah tumbukan yang diperlukan ditentukan oleh fluktuasi besarnya energi yang sesungguhnya diterima oleh fondasi-tiang, hal ini sepenuhnya tergantung dari efisiensi sumber tumbukan atau *impact* yang digunakan. Pengujian PDA test disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian PDA Test SPP dia. 610 mm

Interpretasi Dari Data Rekaman PDA Test

a. Metode CASE (CASE Method)

Berdasarkan rekaman sensor *strain transducer* yang berupa regangan dan dikonversi berdasarkan Hukum Hooke menjadi gaya (F) dan rekaman sensor *accelerometer* yang berupa percepatan dan diintegrasikan terhadap waktu menjadi kecepatan (V) serta dikalikan terhadap impedansi (Z) sebagai konstanta sebanding (*proportionality*) yang kemudian dikenal dengan teori 'CASE Method', maka Daya dukung fondasi-tiang dapat diperkirakan di lapangan.

b. Analisis CAPWAP (CAPWAP Analysis)

Sebelum menjalankan Capwap program, ada beberapa prosedur yang harus dilakukan seperti pengecekan semua data yang di-input pada saat pengujian, koreksi kecepatan gelombang (WS), proporsionalitas (FVZ), keselarasan (Vt) dan faktor damping-tanah (Jc) serta penurunan (DFN). Rekaman dinamis yang diperoleh dari pengujian (Case Method) dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan program software 'Case Pile Wave Analysis Program' (CAPWAP). Metode ini menggabungkan persamaan gelombang (wave equation) dari model tiang dan tanah berdasarkan pengukuran dari Metode 'CASE'. Sehingga, analisis ini memberikan prediksi daya dukung fondasi-tiang lebih akurat serta distribusi kekuatan lapisan tanah (lengketan), dan tahanan-ujung dan simulasi pembebanan statik.

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kapasitas daya dukung dinamis tiang pancang berdasarkan kalendering dan PDA test, integritas tiang pancang selama pemancangan, serta tingkat korelasi antara kedua metode tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang daya dukung tiang pancang SPP pada struktur breasting dolphin, menghasilkan korelasi yang valid antara data kalendering dan PDA test, serta memberikan rekomendasi teknis terkait pemancangan tiang pancang di proyek-proyek sejenis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalendering

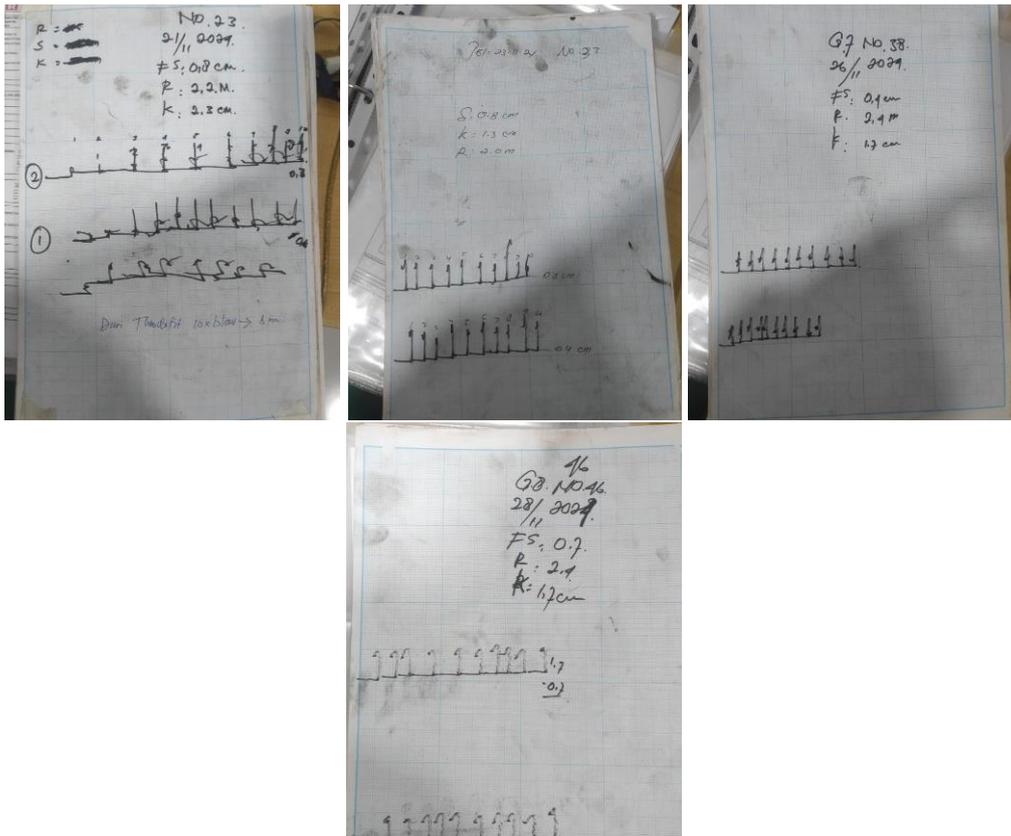
Proses kalendering merupakan metode pengawasan yang dilakukan selama pemasangan tiang pancang untuk memantau performa pemancangan serta estimasi daya dukung dinamis. Dalam proyek ini, data kalendering telah dicatat secara rinci untuk setiap tiang pancang yang digunakan pada struktur breasting dolphin dengan diameter 610 mm. Spesifikasi tiang pancang *steel pipe pile* sebagai berikut:

- a) Diameter SPP : 610 mm
- b) Tebal SPP : 14.3 mm
- c) Spesifikasi SPP : ASTM A252 Grade 2
- d) Berat SPP : 210.08 kg/m

Pada pemancangan digunakan disesel pile hammer Arcon type D55 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Berat hammer : 5500 kg
- b) Maksimum stroke : 3000 mm
- c) Frekuensi : 35 – 50 per minute
- d) Energy max : 159 kJ

Parameter yang dicatat meliputi jumlah pukulan per kedalaman, kedalaman penetrasi per pukulan, serta energi yang dihasilkan oleh palu selama proses pemancangan. Hasil kalendering tiang pancang G6-23, G7-33, G7-38 dan G8-46 disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kalendering tiang pancang SPP dia. 610 mm

Pengambilan data kalendering tiang SPP dilakukan pada fase akhir pemancangan saat mencapai tanah keras untuk memastikan bahwa tiang telah mencapai kedalaman dan kapasitas daya dukung yang direncanakan. Data pengujian kalendering disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pengujian kalendering SPP dia. 610 mm

No	Pile	Total Length (m)	Depth Penetration (m)	Final set (cm/blow)	Rebound, K (m)
1	G6-23	25	13	0,80	2,20
2	G7-33	25	12	0,80	2,00
3	G7-38	37	17	0,40	1,70
4	G8-46	26	14	0,70	2,40

Berdasarkan data kalendering dilakukan perhitungan daya dukung menurut Hiley Formula disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daya dukung tiang berdasarkan kalendering Hiley Formula

No	Pile	SPP	FS	Daya dukung ultimate, Q_u (kN)	Daya dukung ijin, Q_r (kN)
1	G6-23	Dia. 610 – 14.3mm	4	4156	1039
2	G7-33	Dia. 610 – 14.3mm	4	3809	952
3	G7-38	Dia. 610 – 14.3mm	4	4183	1046
4	G8-46	Dia. 610 – 14.3mm	4	4488	1122

Pile Driving Analyzer (PDA) test

Hasil pengujian PDA test pada tiang pancang SPP disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya dukung tiang berdasarkan PDA Test

No	Pile	Total Length (m)	Depth Penetration (m)	Case Methode		CAPWAP Analysis		
				RMX/RSU (kN)	Keutuhan tiang	Lengketan, Rs (kN)	Tahanan ujung, Rt (kN)	Daya dukung aktual, Ru (kN)
1	G6-23	25	13	3350/3970	OK	1360	1960	3320
2	G7-33	25	12	3080/3240	OK	1020	1980	3000
3	G7-38	37	17	2140/2760	OK	1510	650	2160
4	G8-46	26	14	3150/4040	OK	1930	1130	3060

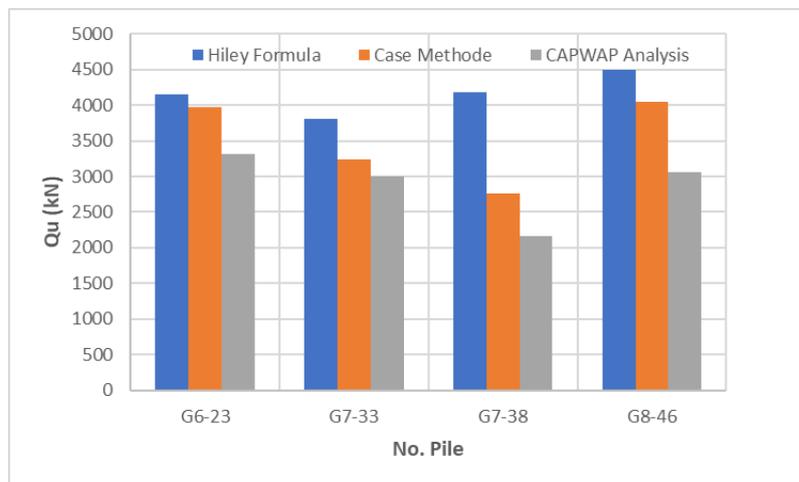
Korelasi kalendering dan PDA Test

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh perbandingan kapasitas dukung ultimate dari metode kalendering dan PDA test. Adapun hasil perbandingannya adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Perbandingan Daya dukung tiang Ultimate

No	Pile	Total Length (m)	Depth Penetration (m)	Kalendering		PDA Test	
				Hiley Formula (kN)	Case Methode (kN)	CAPWAP Analysis (kN)	
1	G6-23	25	13	4156	3970	3320	
2	G7-33	25	12	3809	3240	3000	
3	G7-38	37	17	4183	2760	2160	
4	G8-46	26	14	4488	4040	3060	

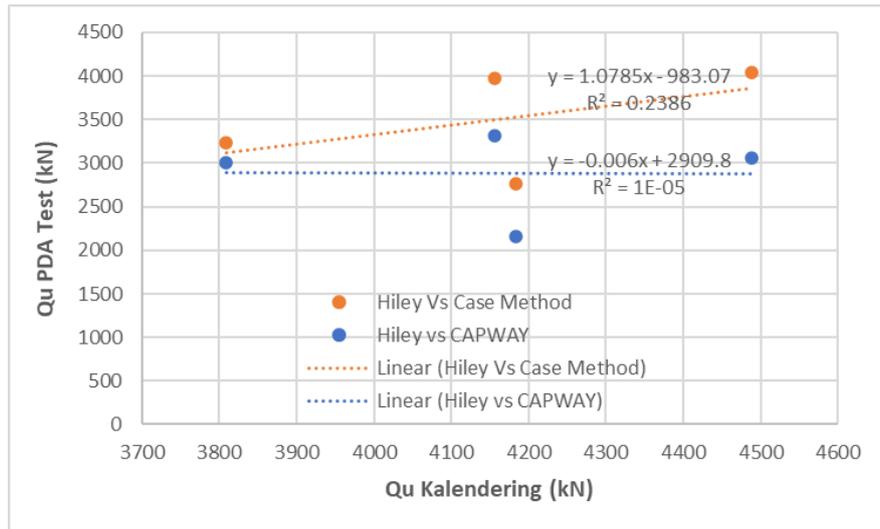
Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai kapasitas dukung ultimate berdasarkan metode kalendering lebih besar dibandingkan dengan metode PDA test. Agar dapat memperjelas perbandingan kapasitas dukung ultimate dapat di lihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 3. Perbandingan Kapasitas dukung Ultimate

Gambar 3 menunjukkan Kapasitas dukung tiang yang dihitung menggunakan Hiley Formula umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan Case Methode dan CAPWAP Analysis. Hal ini mungkin karena Hiley Formula cenderung memberikan estimasi konservatif tanpa mempertimbangkan banyak variabel dinamis seperti efek gelombang atau deformasi tanah. Case Methode memberikan hasil yang sedikit lebih rendah dibandingkan Hiley Formula, tetapi lebih tinggi dari CAPWAP Analysis. CAPWAP Analysis memberikan nilai kapasitas dukung paling rendah di antara ketiganya, yang mencerminkan analisis yang lebih rinci dan realistis.

Grafik ini menunjukkan variasi hasil kapasitas dukung tiang berdasarkan metode yang digunakan. Perbedaan ini biasanya terjadi karena asumsi yang berbeda pada setiap metode. CAPWAP Analysis sering dianggap sebagai pendekatan yang lebih akurat karena mempertimbangkan lebih banyak parameter dan kondisi aktual lapangan, sedangkan Hiley Formula memberikan pendekatan awal yang lebih cepat dan sederhana.



Gambar 4. Korelasi Kapasitas dukung Ultimate Kalendering VS PDA Test

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kapasitas dukung tiang (Q_u) yang diperoleh dari hasil kalkulasi kalendering (sumbu X) dengan kapasitas dukung tiang yang diperoleh dari hasil uji PDA (sumbu Y). Grafik ini juga dilengkapi dengan regresi linier untuk dua perbandingan berbeda: (1) Hiley vs Case Method (Titik oranye): Menunjukkan hubungan antara kapasitas tiang berdasarkan perhitungan Hiley Formula (kalendering) dengan hasil dari Case Method (PDA test). Regresi liniernya memiliki persamaan: $y = 1.0785x - 983.07$ dengan $R^2 = 0.2385$ yang artinya hubungan keduanya lemah. (2) Menunjukkan hubungan antara kapasitas tiang berdasarkan Hiley Formula (kalendering) dengan hasil dari CAPWAP Analysis (PDA test). Regresi liniernya $y = -0.006x + 2909.8$ dengan $R^2 = 1 \times 10^{-1}$ yang artinya hampir tidak ada hubungan linier diantara keduanya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Kapasitas dukung tiang yang dihitung menggunakan Hiley Formula umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan Case Method dan CAPWAP Analysis
2. CAPWAP Analysis sering dianggap sebagai pendekatan yang lebih akurat karena mempertimbangkan lebih banyak parameter dan kondisi aktual lapangan, sedangkan Hiley Formula memberikan pendekatan awal yang lebih cepat dan sederhana.
3. Hubungan Hiley vs Case Method: Terdapat hubungan yang lemah antara kapasitas dukung yang dihitung menggunakan Hiley Formula dan hasil dari Case Method. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh perbedaan pendekatan dalam mempertimbangkan parameter lapangan.
4. Hubungan Hiley vs CAPWAP: Tidak ada korelasi yang signifikan antara kapasitas dukung hasil Hiley Formula dan CAPWAP Analysis. Hal ini menunjukkan bahwa CAPWAP, yang menggunakan analisis gelombang dan simulasi lebih mendetail, cenderung memberikan hasil yang berbeda secara signifikan dari metode kalendering

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pessoa, G. Carlos, L. Sousa, G. Anjos, and R. Araujo, "Analysis Over the Accuracy of Dynamic Formulas for Predicting Ultimate Load Capacity in Deep Foundations," *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 79, pp. 66–78, May 2021.
- [2] K. Johnson, P. Lemcke, W. Karunasena, and N. Sivakugan, "Modelling the load–deformation response of deep foundations under oblique loading," *Environ. Model. Softw.*, vol. 21, no. 9, pp. 1375–1380, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.04.015>.
- [3] F. Han, E. Ganju, R. Salgado, and M. Prezzi, "Comparison of the load response of closed-ended and open-ended pipe piles driven in gravelly sand," *Acta Geotech.*, vol. 14, pp. 1–19, Dec. 2019, doi: 10.1007/s11440-019-00863-1.
- [4] M. Cosic, N. Susic, M. Prica, and N. Bozovic, *Some Aspects of Pile Testing Using Dynamic Load Test (DLT)*.

- 2021.
- [5] K. Karlsrud, T. G. Jensen, E. Lied, F. Nowacki, and A. Simonsen, "Significant Ageing Effects for Axially Loaded Piles in Sand and Clay Verified by New Field Load Tests," vol. 2, May 2014, doi: 10.4043/25197-MS.
 - [6] R. Tweedie and R. Clementino, "Comparison of static and high strain dynamic tests on driven steel piles at several industrial sites in Alberta," *GeoVancouver 2016*, pp. 214–221, 2016.
 - [7] American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles," 2017, *ASTM International, West Conshohocken, PA, USA*. [Online]. Available: <https://www.astm.org/d4945-17.html>

JTSA

Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur

Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

ISSN 2807-9418



9

772807

941008