



**VOLUME 29**  
**No. 1 Januari 2024**

**ISSN : 2807 - 9418 (Print)**

**ISSN : 2598 - 2257 (Online)**

# JURNAL

## TEKNIK SIPIL DAN ARSITEKTUR

### KEBISINGAN LALU LINTAS PADA SD NEGERI CONTOH MAUMERE DENGAN METODE CoTRN

Anastasia Merdekawati Noralita Soludale, Firnimus Konstantinus Bhara

### INOVASI ECO-FRIENDLY SELF COMPACTING CONCRETE MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG TELUR, SERBUK GRANIT, DAN LIMBAH BETON UNTUK MENGURANGI LIMBAH DI INDONESIA

Gunarso, Dian Arumningsih Diah Purnamawanti, Reki Arbianto

### KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH KELAS C DENGAN PENAMBAHAN BORAKS

A. Bamban Yuuwono, Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Haniadi Abdillah Rahman, Aviv Rachmawan Heryan, Rizal Kurniawan

### EVALUASI KUALITAS UDARA PADA PEKERJAAN TEROWONGAN (STUDI KASUS K3 PROYEK BENDUNGAN JLANTAH KARANGANYAR)

Ruli Wijayanto, Herman Susila, Suryo Handoyo

### ANALISIS PROSES PERENCANAAN DAN PENGANGGARAN BELANJA MODAL DPU KOTA SEMARANG TAHUN ANGGARAN 2019

Muji Bagus Prastyo, Antonius, Abdul Rochim

### OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PADA PROYEK BENDUNGAN (STUDI KASUS PADA PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN BENDO TAHAP 2)

Andiko Irbash Putra, Kartono Wibowo, M. Faiqun Ni'am

### ANALYSIS OF CONFIGURATION OF PILE GROUP ON SUPPORTING CAPACITY AND PILE EFFICIENCY IN TANJUNG BALAI FLAT CONSTRUCTION

M. Husni Malik Hasibuan, Jupriah Sarifah, Ferdi Irawan

### INTENSITAS PENCAHAYAAN ALAMI DAN KENYAMANAN VISUAL UNTUK AKTIVITAS KERJA PADA AREA SEMI-OUTDOOR CAFÉ DI KOTA BANDUNG

Viona Rachel, Sahid, Nancy Yusnita Nugroho

### MODEL REGRESI LINIER PENGARUH STANDAR TEKNIS JALAN TERHADAP KECELAKAAN LALU LINTAS PADA JALAN PROVINSI (STUDI KASUS : RUAS JALAN PEMALANG – PURBALINGGA)

Iqbal Maulana, Rachmat Mudiyo, Abdul Rochim

### DAMPAK PEMBANGUNAN ABDUL RASYID TOWER TERHADAP PERUBAHAN ARUS LALU LINTAS DI KABUPATEN KOTAWARINGIN BARAT

Yudi Ribut Pamungkas, Pratikso, Rachmat Mudiyo

### PERENCANAAN STRUKTUR KANTOR PHICOS DENGAN SISTEM RANGKA BAJA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

Rasyiid Lathiif Amhudo, Dwi Prasetyo Utomo

### WUJUD BANGUNAN ARSITEKTUR BALE SAKENEM (STUDI KASUS : DESA WISATA PENGLIPURAN, KECAMATAN KUBU, KABUPATEN BANGLI, BALI)

Kenny Winardi, Yohanes Karyadi Kusliansjah

**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS TUNAS PEMBANGUNAN**  
**SURAKARTA**

# 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.
- 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

<b>KEBISINGAN LALU LINTAS PADA SD NEGERI CONTOH MAUMERE DENGAN METODE CoTRN</b>	1-9
Anastasia Merdekawati Noralita Soludale, Firmimus Konstantinus Bhara	
<b>INOVASI ECO-FRIENDLY SELF COMPACTING CONCRETE MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG TELUR, SERBUK GRANIT, DAN LIMBAH BETON UNTUK MENGURANGI LIMBAH DI INDONESIA</b>	10-16
Gunarso, Dian Arumningsih Diah Purnamawanti, Reki Arbianto	
<b>KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH KELAS C DENGAN PENAMBAHAN BORAKS</b>	17-23
A. Bamban Yuuwono, Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Haniadi Abdillah Rahman, Aviv Rachmawan Heryan, Rizal Kurniawan	
<b>EVALUASI KUALITAS UDARA PADA PEKERJAAN TEROWONGAN (STUDI KASUS K3 PROYEK BENDUNGAN JLANTAH KARANGANYAR)</b>	24-32
Ruli Wijayanto, Herman Susila, Suryo Handoyo	
<b>ANALISIS PROSES PERENCANAAN DAN PENGANGGARAN BELANJA MODAL DPU KOTA SEMARANG TAHUN ANGGARAN 2019</b>	33-42
Muji Bagus Prastyo, Antonius, Abdul Rochim	
<b>OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PADA PROYEK BENDUNGAN (STUDI KASUS PADA PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN BENDO TAHAP 2)</b>	43-49
Andiko Irhash Putra, Kartono Wibowo, M. Faiqun Ni'am	
<b>ANALYSIS OF CONFIGURATION OF PILE GROUP ON SUPPORTING CAPACITY AND PILE EFFICIENCY IN TANJUNG BALAI FLAT CONSTRUCTION</b>	50-58
M. Husni Malik Hasibuan, Jupriah Sarifah, Ferdi Irawan	
<b>INTENSITAS PENCAHAYAAN ALAMI DAN KENYAMANAN VISUAL UNTUK AKTIVITAS KERJA PADA AREA SEMI-OUTDOOR CAFÉ DI KOTA BANDUNG</b>	59-67
Viona Rachel, Sahid, Nancy Yusnita Nugroho	
<b>MODEL REGRESI LINIER PENGARUH STANDAR TEKNIS JALAN TERHADAP KECELAKAAN LALU LINTAS PADA JALAN PROVINSI (STUDI KASUS: RUAS JALAN PEMALANG – PURBALINGGA)</b>	68-73
Iqbal Maulana, Rachmat Mudiyo, Abdul Rochim	
<b>DAMPAK PEMBANGUNAN ABDUL RASYID TOWER TERHADAP PERUBAHAN ARUS LALU LINTAS DI KABUPATEN KOTAWARINGIN BARAT</b>	74-82
Yudi Ribut Pamungkas, Pratikso, Rachmat Mudiyo	
<b>PERENCANAAN STRUKTUR KANTOR PHICOS DENGAN SISTIM RANGKA BAJA PEMIKUL MOMEN KHUSUS</b>	83-92
Rasyiid Lathiif Amhudo, Dwi Prasetyo Utomo	
<b>WUJUD BANGUNAN ARSITEKTUR BALE SAKENEM (STUDI KASUS: DESA WISATA PENGLIPURAN, KECAMATAN KUBU, KABUPATEN BANGLI, BALI)</b>	93-101
Kenny Winardi, Yohanes Karyadi Kusliansjah	

## KEBISINGAN LALU LINTAS PADA SD NEGERI CONTOH MAUMERE DENGAN METODE CoTRN

\*Anastasia Merdekawati Noralita Soludale<sup>1</sup>, Firnimus Konstantinus Bhara<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Nusa Nipa, Kota Maumere

<sup>\*)</sup> Email: soludalenora@gmail.com

### ABSTRACT

*Noise is a sound whose presence is considered disturbing. Action must be taken if the noise level in a place exceeds the specified threshold. A school needs a safe and comfortable environment to carry out the learning process. The Sekolah Dasar Negeri Contoh Maumere is located on Ahmad Yani street which is one of the main routes in the city of Maumere. The high flow of traffic on this road section can cause noise that disrupts the teaching and learning process at the school. The aim of this noise level research was to determine the magnitude of the noise value at the Sekolah Dasar Negeri Contoh Maumere. The method for calculating noise levels due to traffic uses a calculation model from the United Kingdom Department of Transport, namely Calculation of Road Traffic Noise (CoRTN). From this research, the results obtained were that the noise level at the Sekolah Dasar Negeri Contoh Maumere had exceeded the quality standard threshold set in KEP.48/MENLH/II/1996. Based on Government Regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia Number 718 of 1987, schools which are places of education are included in Zone B with a noise value range of 40-50 dBA. However, based on research results, the school is included in zone D with a noise value range of 60-70 dBA. Noise prevention can be done by adding vegetation to barriers and planting trees that can reflect sounds caused by traffic noise*

**Keyword:** Traffic, Noise, School, Quality Standards

### ABSTRAK

Kebisingan merupakan suatu bunyi yang kehadirannya dianggap sangat mengganggu. Tindakan penanggulangan harus diambil jika kebisingan di suatu tempat telah melebihi nilai baku mutu yang ditetapkan. Sebuah sekolah membutuhkan lingkungan yang aman dan nyaman untuk melaksanakan proses pembelajaran. SD Negeri Contoh Maumere terletak pada ruas jalan Ahmad Yani di kota Maumere, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Lalu lintas yang tinggi di ruas jalan ini dapat menimbulkan kebisingan yang mengganggu proses belajar mengajar di sekolah tersebut. Tujuan penelitian tingkat kebisingan ini dilakukan untuk mengetahui besaran nilai kebisingan di Sekolah Dasar Negeri Contoh Maumere. Metode perhitungan nilai kebisingan menggunakan model perhitungan kebisingan lalu lintas jalan CoRTN. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa tingkat kebisingan di Sekolah Dasar Negeri Contoh Maumere telah melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan dalam KEP.48/MENLH/II/1996. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 718 tahun 1987, sekolah yang merupakan tempat pendidikan masuk dalam Zona B dengan rentang nilai kebisingan sebesar 40-50 dBA. Namun berdasarkan hasil penelitian, sekolah tersebut masuk dalam zona D dengan rentang nilai kebisingan sebesar 60-70 dBA. Pencegahan kebisingan dapat dilakukan dengan penambahan vegetasi pada *barrier* atau penghalang dan penanaman pohon yang dapat memantulkan bunyi akibat kebisingan lalu lintas.

**Kata kunci:** Arus lalu lintas, Kebisingan, Sekolah, Baku Mutu

## 1. PENDAHULUAN

Sekolah membutuhkan lingkungan yang tenang dan nyaman dalam melakukan proses pembelajaran. Aktivitas lalu lintas kendaraan yang padat setiap hari dapat menyebabkan kebisingan di sekolah [1]. Pembangunan sekolah saat ini banyak yang berlokasi di pinggir jalan, dengan pertimbangan lokasi yang strategis dapat memberikan keuntungan karena siswa dapat mencapai sekolah dengan mudah [2]. Banyak sekolah yang belum sadar akan dampak dari kebisingan akibat aktivitas lalu lintas terhadap kegiatan belajar mengajar di sekolah. Pembangunan gedung sekolah lebih ditekankan pada ada dan tidaknya fasilitas sekolah, bukan kepada kenyamanan fasilitas tersebut dalam mendukung proses pembelajaran siswa di sekolah. Letak ruang kelas yang berada tepat di sisi ruas jalan, sangat berpeluang terdampak kebisingan akibat aktivitas lalu lintas.

Jalan Jenderal Ahmad Yani merupakan salah satu jalan utama di Kota Maumere dengan fungsi kelas jalan kolektor sekunder yang berdasarkan wewenang pembinaannya merupakan jalan negara. Sebagai salah satu jalan utama di Kota Maumere yang merupakan jalan penghubung menuju pusat kota, volume lalu lintas di jalan tersebut cukup tinggi. Berbagai jenis kendaraan bermotor baik kendaraan ringan, kendaraan berat, dan sepeda motor melewati ruas jalan tersebut. Pada ruas jalan Jenderal Ahmad Yani, terdapat beberapa sekolah yang letak bangunannya tepat berada di sisi ruas jalan tersebut, salah satunya adalah Sekolah Dasar Negeri Contoh. Tingginya aktivitas lalu lintas pada ruas jalan Jenderal Ahmad Yani dapat menimbulkan kebisingan. Kebisingan yang dihasilkan dapat berdampak negatif pada aktivitas pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Contoh.

Kebisingan merupakan suatu bunyi yang dapat mengganggu sistem pendengaran. Pada suatu lingkungan apabila jumlah sumber bunyi meningkat dan menjadi tidak diinginkan, bunyi tersebut disebut kebisingan [3]. Bunyi yang kehadirannya dianggap sangat mengganggu disebut kebisingan [4]. Suatu lingkungan dapat terganggu oleh kehadiran kebisingan yang disebabkan oleh aktivitas lalu lintas. Apabila tingkat kebisingan telah melewati nilai ambang batas yang dipersyaratkan

dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 48/MENLH/11/1996, maka harus dilakukan penanganan baik di sumber maupun pada titik sebarannya [5]. Dampak psikologis juga bisa terjadi akibat kebisingan, seperti rasa jengkel, bingung, hilang konsentrasi, dan lain sebagainya [6]. Kendaraan bermotor dapat menyebabkan kebisingan dari mesin kendaraan pada saat pembakaran, bunyi knalpot, bunyi klakson, rem dan gesekan antara rodan dan jalan [7].

Nilai baku tingkat kebisingan untuk beberapa kawasan atau lingkungan dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 1. Baku Tingkat Kebisingan [8]**

Peruntukan Kawasan/Lingkungan Kegiatan	Tingkat Kebisingan dB(A)
a. Peruntukan Kawasan	
1. Perumahan dan Permukiman	55
2. Perdagangan dan Jasa	70
3. Perkantorana dan Perdagangan	65
4. Ruang Terbuka Hijau	50
5. Industri	70
6. Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
7. Rekreasi	70
8. Khusus :	
- Bandar Udara*)	
- Stasiun Kereta Api*)	
- Pelabuhan Laut	60
- Cagar Budaya	70
b. Lingkungan Kegiatan	
1. Rumah Sakit atau sejenisnya	55
2. Sekolah atau sejenisnya	55
3. Tempat Ibadah atau sejenisnya	55

\*) disesuaikan dengan ketentuan dalam Peraturan Menteri Perhubungan

Menurut Tambunan dalam [9] ada 5 jenis bising berdasarkan sifat dan spektrum, yaitu:

- a. Bising menerus.
  - 1) Dengan spektrum frekuensi luas. Relatif tetap dalam batas  $\pm 5$  dBA dengan periode 0,5 detik berturut-turut, misalnya mesin, kipas angin, dapur pijar.
  - 2) Dengan spektrum frekuensi sempit. Relatif tetap dengan frekuensi tertentu (frekuensi 500 Hz, 1000 Hz, dan 4000 Hz) misalnya gergaji sekuler, katup gas.
- b. Bising *intermittent*. Tidak terjadi secara terus menerus, ada periode relatif tenang (suara lalu lintas, kebisingan di lapangan terbang).
- c. Bising Impulsif. Memiliki perubahan tekanan suara di atas 40 dBA dalam waktu sangat cepat. Biasanya mengejutkan (suara tembakan, suara ledakan, meriam).
- d. Bising Impulsif berulang. Sama dengan bising implusif, tetapi tidak terjadi secara berulang, misalnya mesin tempa.

Peraturan Pemerintah Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 718 tahun 1987 dalam [10], membagi wilayah menjadi empat zona yang sesuai dengan jenis peruntukannya (Tabel 2).

**Tabel 2. Zona Kebisingan**

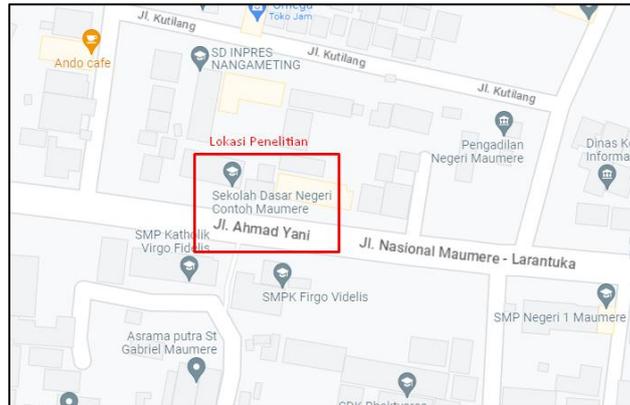
Zona	Peruntukkan	Tingkat Bising dB
A	Penelitian, rumah sakit, tempat perawatan kesehatan/sosial	35 - 45
B	Perumahan, , rekreasi, tempat pendidikan	45 - 50
C	Perkantoran, perdagangan, pertokoan, pasar	50 - 60
D	Industri, stasiun kereta api, pabrik, terminal bis	60 - 70

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui berapa besar tingkat kebisingan yang diakibatkan oleh lalu lintas di ruas jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere pada Sekolah Dasar Negeri Contoh; (2) menentukan zona untuk Sekolah Dasar Negeri Contoh berdasarkan nilai tingkat kebisingan; (3) memberikan solusi yang tepat bagi Sekolah Dasar Negeri Contoh yang terdampak kebisingan agar dapat meredam kebisingan akibat aktivitas lalu lintas tersebut.

## 2. METODE

Penelitian akan dilakukan pada ruas jalan Jenderal Ahmad Yani, tepatnya di depan Sekolah Dasar Negeri Contoh, Kelurahan Wairotang, Kecamatan Alok Timur, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Data yang diperlukan dalam

penelitian ini, yakni tingkat kebisingan akibat lalu lintas jalan, volume lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan kondisi geometrik jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere.



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian  
Sumber : Google Maps, 2023

Pengukuran tingkat kebisingan menggunakan alat *sound level meter*. *Sound level meter* (SLM) merupakan alat standar untuk mengukur tingkat kebisingan. SLM mengukur tiga jenis karakter respon frekuensi, yaitu skala A, B, dan C. Skala A dianggap bisa mewakili batasan pendengaran manusia dan respon telinga terhadap kebisingan. Satuan tingkat intensitas bunyi adalah desibel (dB).



Sumber : Peneliti, 2023  
**Gambar 2.** Sound Level Meter

Alat SLM diletakkan pada ruang kelas yang letaknya dekat dengan ruas jalan. Kondisi titik pengukuran sesuai dengan kondisi di lapangan dan tidak terpengaruh oleh sumber kebisingan lainnya. Survey dilakukan pada saat jam pelajaran, yaitu dari jam 07:00 – 13:00 Wita. Pengukuran dilakukan selama 10 menit untuk tiap interval waktu 1 jam. Data nilai kebisingan dicatat tiap 5 detik untuk 10 menit pengukuran sehingga akan diperoleh 120 data.

Analisa tingkat kebisingan mengikuti model *Calculation of Road Traffic Noise* (CoRTN), yaitu model prediksi dan evaluasi tingkat kebisingan akibat lalu lintas, dinyatakan dalam  $L_{10}$  atau  $L_{eq}$ . Faktor yang mempengaruhi perhitungan model CoRTN adalah volume lalu lintas, jenis kendaraan, kecepatan, gradien, jenis perkerasan jalan, jenis permukaan tanah, jarak horisontal dan vertikal, kondisi lingkungan jalan dan kehadiran bangunan atau *barrier* kebisingan [4]. Langkah analisis sebagai berikut:

1. Perhitungan tingkat bising dasar

Tingkat bising prediksi yang digunakan adalah  $L_{10}$  1 jam. Tingkat bising dapat dihitung dengan persamaan berikut [4]:

$$L_{10} 1 \text{ jam} = 42,2 + 10 \log q \quad (1)$$

Dengan  $L_{10}$  1 jam = tingkat bising dasar 1 jam, q : total volume lalu lintas selama 1 jam

2. Koreksi

a. koreksi kecepatan rata-rata dan presentase kendaraan berat

$$C1 = 33 \log(V + 40 + (500/V)) + 10 \log(1 + (5p/V)) - 68,8 \text{ dB(A)} \quad (2)$$

Dengan V = kecepatan rata-rata (km/jam), P = presentase kendaraan berat (%)

b. koreksi gradien

$$C2 = 0,3G \text{ dB(A)} \quad (3)$$

Dengan G = gradien (%)

c. koreksi permukaan jalan/perkerasan (C3)

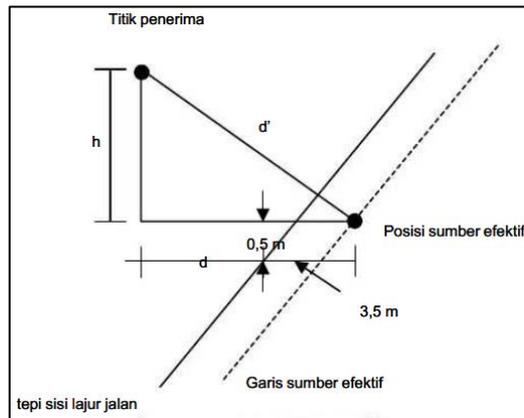
Permukaan jalan/perkerasan dengan *Cheap seal* memiliki nilai koreksi +3,0 dB(A). Perkerasan beton semen portland memiliki nilai koreksi +1,0 dB(A). Beton aspal gradasi padat memiliki nilai koreksi -1,0 dB(A). Beton aspal gradasi terbuka memiliki nilai koreksi -5,0 dB(A).

d. koreksi jarak horisontal dan vertikal

$$C4 = -10 \log(d'/3,5) \text{ dB(A)} \quad (4)$$

$$d' = [(d + 3,5)^2 + h^2]^{0,5} \quad (5)$$

Dengan d' = jarak kemiringan terdekat dari posisi sumber bunyi efektif (m), d = jarak horisontal dari posisi sumber bunyi efektif (m), h = tinggi titik penerima (m).



Gambar 3. Skema Jarak Titik Penerima dan Sumber Bunyi

e. koreksi permukaan tanah (C5)

Tabel 3. Koreksi Jarak

No.	Karakteristik	Koreksi dB(A)
1.	$0,75 < H < (d+5)/6$	$5,2 \text{ I Log } (6H-1,5/(d+3,5))$
2.	$H < 0,75$	$5,2 \text{ I Log } (3/(d+3,5))$
3.	$H > (d+6)/6$	0

Dengan d = jarak horisontal dari posisi sumber bunyi efektif (meter), H = tinggi rata-rata propagasi (meter)

f. koreksi bangunan penghalang (C6)

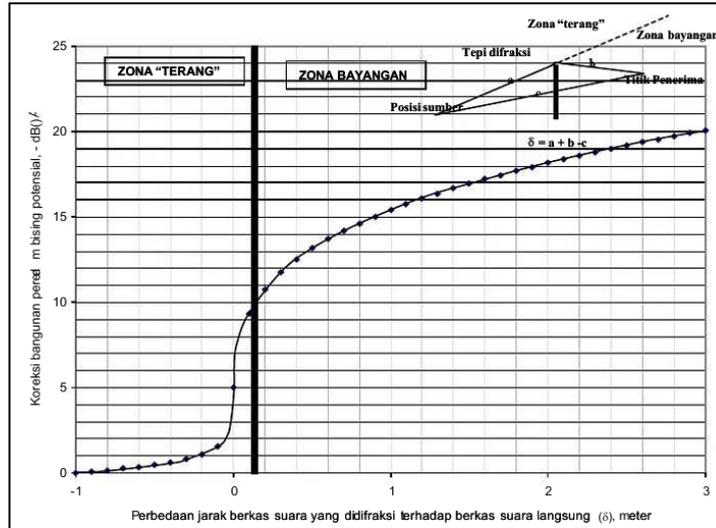
Perhitungan koreksi bangunan penghalang berdasarkan 2 zona, yaitu :

Zona Bayangan :

$$A = 15,4 - 8,26 \log(\delta) - 2,787 \log(\delta)^2 - 0,831 \log(\delta)^3 - 0,198 \log(\delta)^4 + 0,1539 \log(\delta)^5 + 0,12248 \log(\delta)^6 + 0,02175 \log(\delta)^7 \quad (6)$$

Zona Terang :

$$A = 0,109 \log(\delta) - 0,815 \log(\delta)^2 + 0,479 \log(\delta)^3 + 0,3284 \log(\delta)^4 + 0,04385 \log(\delta)^5 \quad (7)$$



Sumber : [4]

**Gambar 4.** Koreksi bangunan penghalang potensial

g. koreksi sudut pandang jalan

$$C7 = 10 \text{ Log } (\theta/180) \quad (8)$$

Dengan  $\theta$  = sudut pandang jalan, Faktor koreksi dalam satuan dB(A)

h. koreksi efek pemantulan (C8)

**Tabel 4.** Faktor Koreksi Efek Pemantulan

No.	Uraian	Koreksi dB(A)
1.	Lapangan terbuka	0
2.	1 meter di depan gedung	+2,5
3.	Terdapat dinding menerus di samping kiri kanan jalan	+1

Sumber :

3. Tingkat Bising Prediksi (Predicted Noise Level)

$$PNL = BNL + C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + BNL \quad (9)$$

Survey volume lalu lintas dilakukan dengan menghitung dan mencatat jumlah kendaraan berdasarkan jenis kendaraan yang melalui ruas jalan pada setiap arah lalu lintas. Pencatatan dengan interval waktu 15 menit. Survey volume lalu lintas dilakukan pada ruas jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere untuk masing-masing arah lalu lintas. Survey dilakukan bersamaan dengan survey kebisingan. Data arus lalu lintas kendaraan yang diperoleh dari pengukuran di lapangan kemudian dianalisis. Masing-masing jenis kendaraan dijumlahkan tiap 1 jam dalam satuan kendaraan/jam.

$$Q_{total} = q_{KR} + q_{KB} + q_{SM} \quad (10)$$

Dengan  $Q_{total}$  = Jumlah total kendaraan (kend/jam),  $q_{KR}$  = jumlah kendaraan ringan (kend/jam),  $q_{KB}$  = jumlah kendaraan berat (kend/jam),  $q_{SM}$  = jumlah sepeda motor (kend/jam)

Pengukuran kecepatan kendaraan dilakukan dengan metode survey *spot speed*. Panjang segmen pengukuran sebesar 50 meter.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Geometrik jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere

Jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere termasuk jalan kolektor primer dengan tipe jalan 4/2 TT. Data geometrik jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere dapat dilihat pada Tabel 5.

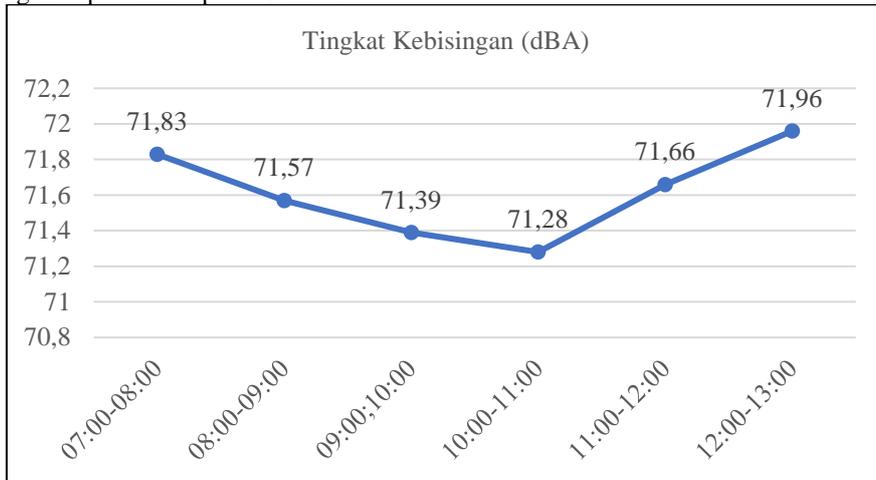
**Tabel 5.** Geometrik Jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere

No.	Geometrik	Keterangan
1	Lebar Jalan	13,2 m
2	Jenis Perkerasan	AC
3	Lebar Trotoar	1,5 m
4	Gradien Jalan	0 %
5	Lingkungan Jalan	Komersil

Sumber : Peneliti, 2023

### Tingkat kebisingan di SDN Contoh Maumere

Data tingkat kebisingan dapat dilihat pada Gambar 7.

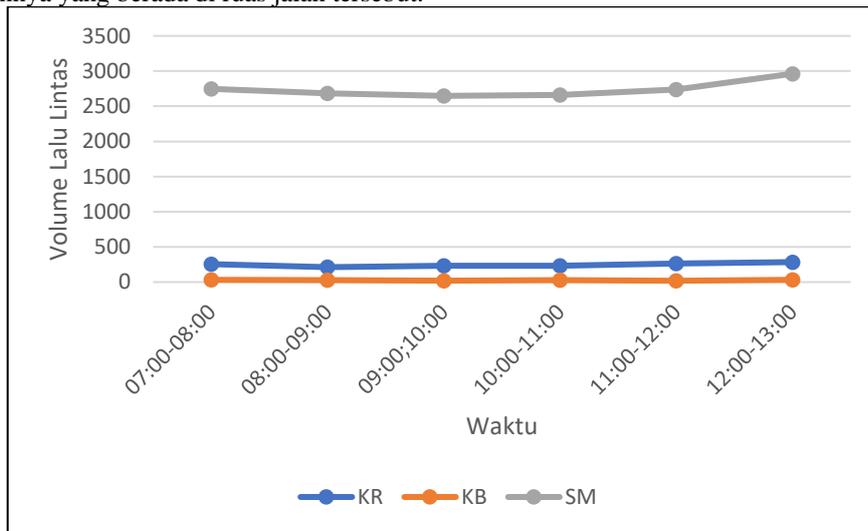


Sumber : Peneliti, 2023

**Gambar 5.** Tingkat Kebisingan

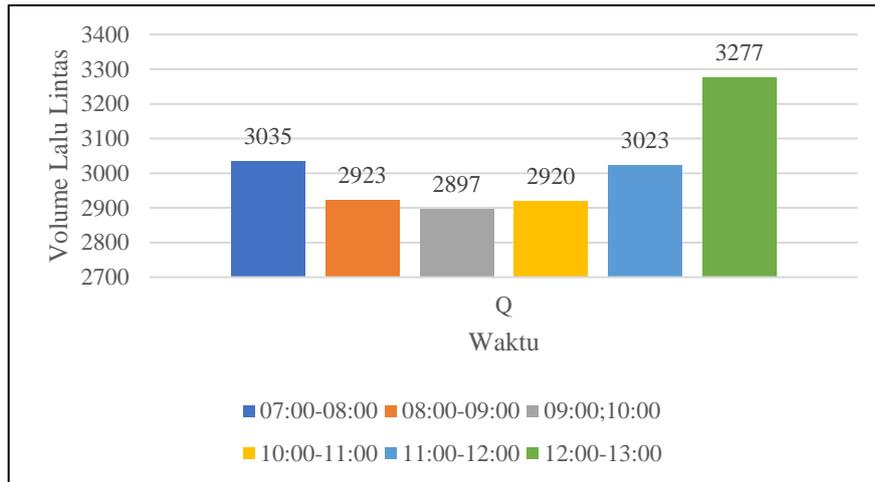
### Volume lalu lintas

Dari hasil survey diperoleh bahwa sepeda motor yang paling banyak melewati ruas jalan Jenderal Ahmad Yani (Gambar 6). Volume lalu lintas puncak selama penelitian di jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere terjadi pada jam 12:00-13:00 Wita sebesar 3277 kendaraan (Gambar 7). Jam puncak tersebut merupakan jam pulang siswa SDN Contoh Maumere dan beberapa sekolah lainnya yang berada di ruas jalan tersebut.



Sumber : Peneliti, 2023

**Gambar 6.** Grafik Volume Lalu Lintas Jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere

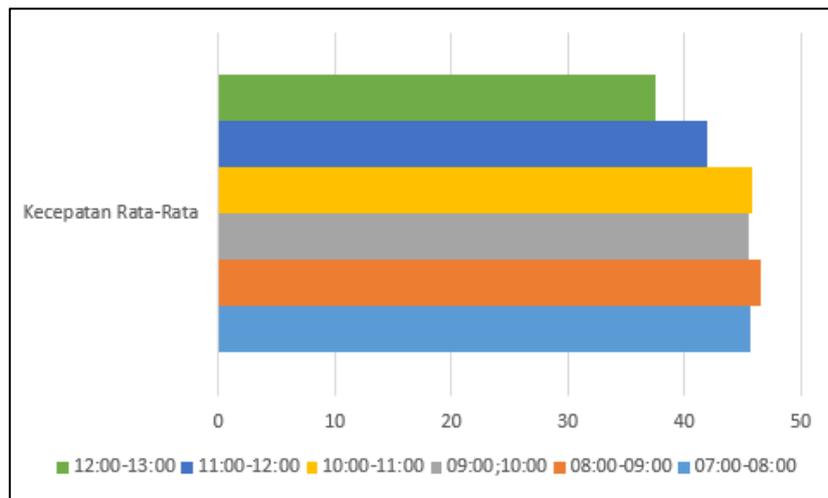


Sumber : Peneliti, 2023

**Gambar 7.** Grafik Volume Lalu Lintas Total Jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere

### Kecepatan rata-rata kendaraan

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa kecepatan rata-rata kendaraan yang melewati ruas Jalan Jenderal Ahmad Yani pada jam puncak penelitian (12:00-13:00 Wita) sebesar 37,54 km/jam. Kecepatan tersebut menurun dari waktu penelitian sebelumnya. Hal tersebut dapat terjadi akibat jumlah volume lalu lintas yang lebih tinggi dari jam-jam sebelumnya.



Sumber : Peneliti, 2023

**Gambar 8.** Grafik Kecepatan Rata-Rata Kendaraan di Jalan Jenderal Ahmad Yani Maumere

### Analisa tingkat kebisingan dengan metode CoRTN

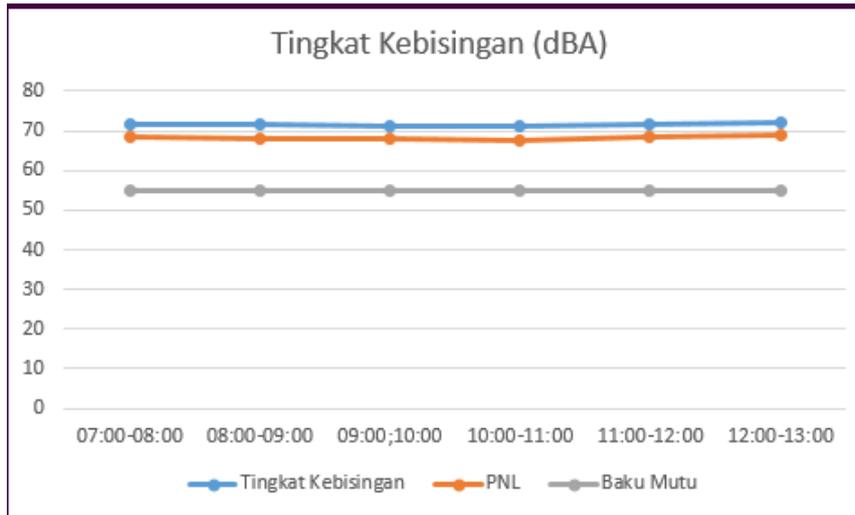
Lokasi Sekolah Dasar Negeri Contoh Maumere tepat berada di sisi ruas jalan Jenderal Ahmad Yani. Letak bangunan dari sumber kebisingan sekitar 10 meter dengan pagar beton setinggi 2 meter sepanjang bangunan sekolah. Halaman depan sekolah terdapat beberapa pohon yang dapat meredam suara dari aktivitas lalu lintas di ruas jalan Jenderal Ahmad Yani, sekaligus dapat memberi kesejukan di lingkungan sekolah. Bentuk bangunan sekolah sejajar dengan ruas jalan, sehingga aktivitas lalu lintas jalan langsung terdampak. Tinggi bangunan sekolah 3,5 meter, dengan bukaan jendela berada pada ketinggian 2 meter dari permukaan lantai. Permukaan tanah pada halaman depan sekolah berupa perkerasan beton.

Nilai kebisingan yang dihasilkan alat *sound level meter* kemudian dikoreksi dengan faktor koreksi yang dibutuhkan. Hasil perhitungan koreksi kemudian disebut dengan tingkat bising prediksi (*Predicted Noise Level*). Berikut hasil analisa tingkat prediksi bising di Sekolah Dasar Negeri Contoh.

**Tabel 6.** Prediksi Tingkat Kebisingan di SDN Contoh Maumere

Waktu Penelitian	Tingkat Kebisingan Baku Mutu (dBA)	Tingkat Bising Dasar (dBA)	Tingkat Bising Prediksi (dBA)
07:00 – 08:00	55	71,83	68,58
08:00 – 09:00	55	71,57	68,11
09:00 – 10:00	55	71,39	68,02
10:00 – 11:00	55	71,28	67,73
11:00 – 12:00	55	71,66	68,43
12:00 – 13:00	55	71,96	68,77

Sumber : Peneliti (2023)



Sumber : Peneliti (2023)

**Gambar 9.** Grafik Tingkat Bising di SDN Contoh Maumere

Berdasarkan tabel 6 dan gambar 9 dapat dilihat bahwa tingkat bising dasar di SDN Contoh Maumere telah melewati batas baku mutu yang ditetapkan. Hasil perhitungan tingkat bising prediksi menurun dari tingkat bising dasar di SDN Contoh Maumere, namun masih berada di atas batas baku mutu yang ditetapkan.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan di Sekolah Dasar Negeri Contoh Maumere menunjukkan bahwa tingkat kebisingan telah melebihi batas baku mutu kebisingan yang diisyaratkan dalam KEP.48/MENLH/II/1996. Berdasarkan tingkat kebisingan yang dihasilkan, Sekolah Dasar Negeri Contoh masuk ke dalam Zona D, yang mana tingkat kebisingan berada pada rentangan 60-70 dBA. Terjadi penurunan nilai tingkat bising dasar menjadi tingkat bising prediksi. Penurunan terjadi dipengaruhi karena adanya *barrier* atau pagar di sepanjang sekolah, beberapa vegetasi yang ditanam di halaman sekolah, serta jarak antara sumber bunyi dan penerima bunyi. Penempatan *barrier* atau penghalang sangat membantu menurunkan tingkat kebisingan di sekolah, misalkan dengan penambahan vegetasi pada pagar sekolah, penanaman tambahan pepohonan yang dapat menghalangi atau memantulkan suara ising yang dihasilkan oleh arus lalu lintas di ruas jalan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Widodo, M. Manaf, and K. Kastono, "Kajian Tingkat Kebisingan di Kawasan Pendidikan SMP Negeri 5 Kota Sorong," *Dewantara Journal of Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 1-7, 2021.
- [2] J. T. S. Rahangmetan, "Kajian Tingkat Kebisingan Lingkungan di Kawasan Sekolah SMA Negeri 1 Jakarta," Strata 1, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, FALTL-Usakti Jakarta, 2019. [Online]. Available: [http://repository.trisakti.ac.id/usaktiana/index.php/home/detail/detail\\_koleksi/0/SKR/judul/0000000000000097237/0#](http://repository.trisakti.ac.id/usaktiana/index.php/home/detail/detail_koleksi/0/SKR/judul/0000000000000097237/0#)
- [3] A. Abadi, "Penanganan Tingkat Kebisingan Lalu Lintas Berbasis Manajemen Transportasi Pada Jalur Busway di Kota Makassar," Skripsi, Teknik Lingkungan, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2019.
- [4] *Pedoman Konstruksi dan Bangunan*, Pd T-10-2004-B, Anonim, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004.

- [5] *Pedoman Konstruksi dan Bangunan*, Pd T-16-2005-B, Anonim, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2005.
- [6] M. Balirante, L. I. Lefrandt, and M. Kumaat, "Analisa Tingkat Kebisingan Lalu Lintas di Jalan Raya Ditinjau Dari Tingkat Baku Mutu Kebisingan Yang Diizinkan," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 8, no. 2, 2020.
- [7] I. Iswahyudi, "PENGARUH VOLUME LALU LINTAS TERHADAP KEBISINGAN YANG DITIMBULKAN OLEH ANGKUTAN UMUM DAN NON ANGKUTAN UMUM," *ASTONJADRO*, vol. 3, no. 2, pp. 1-15, 2014.
- [8] (1996). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.48 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan*.
- [9] R. Yasri, A. M. N. Soludale, Y. Putra, and M. Yuneta, "ANALISIS TINGKAT KEBISINGAN DI JALAN RAJA CENTIS KOTA MAUMERE," *Increate-Inovasi dan Kreasi dalam Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 1, 2023.
- [10] A. M. N. Soludale, C. Hildegardis, M. C. Tandafatu, and F. A. Wara, "ANALISIS TINGKAT KEBISINGAN ARUS LALU LINTAS DI SIMPANG GELORA SAMADOR KOTA MAUMERE, NUSA TENGGARA TIMUR," *RUSTIC: Jurnal Arsitektur*, vol. 2, no. 2, pp. 1-10, 2022.

# INOVASI ECO-FRIENDLY SELF COMPACTING CONCRETE MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG TELUR, SERBUK GRANIT, DAN LIMBAH BETON UNTUK MENGURANGI LIMBAH DI INDONESIA

Gunarso<sup>1</sup>, Dian Arumningsih Diah Purnamawanti<sup>2</sup>, \*Reki Arbianto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan

\*) Email : reki.arbianto@lecturer.utp.ac.id

## ABSTRACT

*The development of the world of civil engineering is experiencing very rapid progress in the era of society 5.0 and the intensive development of infrastructure in the country. SCC concrete is an innovative concrete that does not require vibration or compaction tools because SCC batons can compact themselves. The large demand for materials causes illegal mining to occur, which will damage the environment. Therefore, there is a need for other alternatives to reduce natural exploitation, which over time will have a negative impact on the environment. The aim of this research is to use eggshell powder and granite powder as substitutes for fine aggregate, while concrete waste is used as a substitute for coarse aggregate. Eggshell powder material comes from crushed eggshell waste and has a high calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) content. In the granite production process, 30% of each slab turns into stone mud. The waste is often loaded into trucks to be taken away and thrown into nature. Concrete waste is leftover concrete material that is no longer used for construction. The results of tests carried out show that the optimum results for each innovation are 40% eggshell powder, 20% granite powder, and 20% concrete waste. Okamura and Ouichi stated that in making SCC concrete, the fine aggregate must be higher than the coarse aggregate. The environmentally friendly SCC concrete innovation using eggshell powder, granite powder, and concrete waste is capable of producing a compressive strength of >41.4 MPa and can save costs of IDR 407,739/m<sup>3</sup> from the price of SCC concrete without using innovation, or the equivalent of 25.92% more economical.*

**Keyword:** *Self-compacting concrete, environmentally friendly concrete, eggshell powder, granite powder, concrete waste, economical*

## ABSTRAK

Perkembangan dunia teknik sipil mengalami kemajuan yang sangat pesat di era society 5.0 dan gencarnya pembangunan infrastruktur di tanah air. Beton SCC merupakan beton yang inovatif yang tidak memerlukan getaran ataupun alat pemadat karena baton SCC dapat memadat sendiri. Banyaknya kebutuhan akan material menyebabkan terjadinya penambangan ilegal yang akan merusak lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif lain untuk mengurangi eksploitasi alam yang semakin lama akan berdampak buruk bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian ini yaitu pemanfaatan serbuk cangkang telur dan serbuk granit digunakan sebagai substitusi agregat halus, limbah beton digunakan sebagai substitusi agregat kasar. Material serbuk cangkang telur berasal dari limbah cangkang telur yang telah dihaluskan dan memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) tinggi. Dalam proses produksi granit, 30% dari setiap lempengan berubah menjadi lumpur batu. Limbah tersebut sering dimuat ke dalam truk untuk dibawa pergi dan dibuang ke alam. Limbah beton adalah material sisa beton yang sudah tidak terpakai lagi untuk konstruksi.. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan hasil optimum masing-masing inovasi adalah 40% serbuk cangkang telur, 20% serbuk granit dan 20% limbah beton. Okamura dan Ouichi menyatakan bahwa dalam pembuatan beton SCC, agregat halus harus lebih tinggi daripada agregat kasar. Inovasi beton SCC ramah lingkungan menggunakan serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton mampu menghasilkan kuat tekan >41,4 MPa dan dapat menghemat biaya Rp. 407.739 /m<sup>3</sup> dari harga beton SCC tanpa menggunakan inovasi atau setara dengan 25,92 % lebih ekonomis.

**Kata kunci:** *Self compacting concrete, beton ramah lingkungan, serbuk cangkang telur, serbuk granit, limbah beton, ekonomis.*

## 1. PENDAHULUAN

### Latar belakang

Perkembangan dunia teknik sipil mengalami kemajuan yang sangat pesat di era society 5.0 dan gencarnya pembangunan infrastruktur di tanah air. Selain itu, Indonesia merupakan negara yang berada di peringkat keempat dengan populasi terbanyak di dunia. Karena populasinya yang tinggi, tentu saja masyarakat di Indonesia akan menghasilkan banyak limbah dari kehidupan sehari – harinya. Baik itu limbah industri yang berbahaya, limbah konstruksi, limbah pertanian atau limbah lainnya yang masih bisa digunakan kembali menjadi sesuatu yang memiliki manfaat dan nilai ekonomis. Material serbuk cangkang telur berasal dari limbah cangkang telur yang telah dihaluskan dan memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) tinggi. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa jumlah kalsium karbonat dalam telur coklat mencapai 96-97% berat, dengan kandungan biologis 3-4% berat [1]. Kulit telur dapat menggantikan sebagian agregat halus sambil tetap mempertahankan sifat agregat halus dan mengurangi berat beton [2]. Selain itu, beton dengan formulasi kulit telur memiliki kinerja yang baik dalam hal perlindungan mekanik dan radiasi [3]. Selain membantu mengurangi pencemaran lingkungan. Dalam proses produksi granit, 30% dari setiap lempengan berubah menjadi lumpur batu. Limbah tersebut sering dimuat ke dalam truk untuk dibawa pergi dan dibuang ke alam. Praktik ini di satu sisi merugikan lingkungan, dan di sisi lain menambah biaya transportasi ke pabrik pengolahan batu[4].

Limbah beton adalah material sisa beton yang sudah tidak terpakai lagi untuk konstruksi. Ketersediaan material tersebut sangat banyak, sehingga potensi untuk mendaur ulang sangat mungkin untuk dilakukan. Sangat diperlukan suatu

teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah yang tidak terpakai. Pemanfaatan tersebut dilakukan karena agregat merupakan bahan tidak terbaharukan dan pengambilannya selalu merusak alam. Meminimalkan limbah beton yang berkelanjutan dapat mengurangi limbah beton yang dapat merusak lingkungan. Pemanfaatan beton ramah lingkungan dan inovatif pada dunia konstruksi tentu akan memberikan manfaat dan dampak positif terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan beton ramah lingkungan memanfaatkan limbah, serta memberikan nilai yang lebih ekonomis pada pembangunan infrastruktur di Indonesiamencegah sumber daya alam yang berharga terbuang sia-sia, menggunakan limbah batu dari pabrik pengolahan batu dalam beton.

## Tinjauan pustaka

### Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan ( $f'c$ ) pada usia 28 hari [5].

### Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

*Self Compacting Concrete (SCC)* adalah beton yang dapat memadat dengan sendirinya tanpa bantuan getaran. SCC mudah dikerjakan karena sifatnya yang kohesif sehingga mengurangi potensi segregasi dan *bleeding*. SCC dapat mengalir menggunakan berat sendiri, mengisi seluruh cetakan hingga memadat penuh, bahkan diarea penuh tulangan. Beton keras SCC memiliki sifat padat dan homogen dengan daya tahan serupa dengan beton normal [6]

### Beton Ramah Lingkungan (*Eco-Friendly Concrete*)

Beton ramah lingkungan menjadi eksistensi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Menurut The Institution of Structural Engineers/ISE, 1999, pembuatan material penyusun beton yang ramah lingkungan ini dapat dilakukan dengan mewujudkan 3 usaha kelangsungan dan konservasi lingkungan, yaitu:

1. Pengurangan emisi gas rumah kaca (terbesar adalah CO<sub>2</sub>).
2. Efisiensi energi dan material dasar
3. Penggunaan material buangan, dan pengurangan efek yang mengganggu kesehatan/keselamatan pengguna konstruksi, baik yang timbul saat proses konstruksi atau selama operasi bangunan, dengan konsep 4R (*Reduce, Refurbish, Reuse and Recycle*).

*Green Concrete* mendukung tiga pilar keberlanjutan dampak lingkungan, ekonomi, dan sosial [7]. *Green Concrete* dapat dianggap unsur pembangunan berkelanjutan karena ramah lingkungan dan banyak digunakan dalam praktek *Green Building*[8].

### Serbuk Cangkang Telur

Cangkang telur adalah lapisan terluar dari telur yang berfungsi melindungi semua bagian telur dari luka atau kerusakan. Cangkang telur mengandung 92-96% kalsium karbonat yang juga merupakan sumber alami kalsium. Kulit telur dapat menggantikan sebagian agregat halus sambil tetap mempertahankan sifat agregat halus dan mengurangi berat beton. Selain itu, beton dengan formulasi kulit telur memiliki kinerja yang baik dalam hal perlindungan mekanik dan radiasi. Menggantikan pasir dengan serbuk cangkang telur dapat meningkatkan kekuatan awal beton dikarenakan efek filler serbuk cangkang telur [2]. Beton akan semakin padat seiringnya dengan penambahan serbuk cangkang telur, karenanya kristal CH tidak memiliki tempat yang cukup untuk berkembang menjadi besar sehingga kristal tersebut akan tersebar secara merata pada beton.



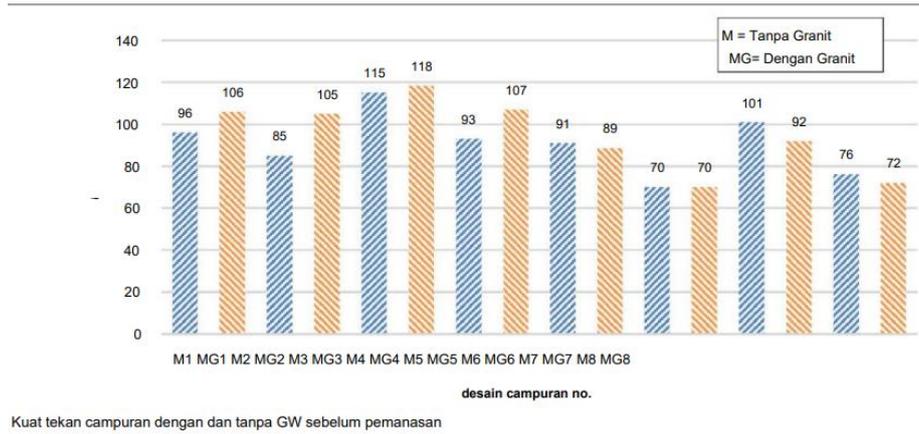
Gambar 1. Foto SEM beton dengan serbuk cangkang telur

Pertumbuhan produksi telur tahun 2022 meningkat 7,37% dari tahun sebelumnya. Tahun 2022 Jawa Tengah menduduki peringkat ke 2 produksi telur di Indonesia dengan jumlah produksi sebesar 827.711 ton (Direktorat Jenderal Peternakan

dan Kesehatan Hewan, 2022). Cangkang telur hanya sekitar 11% dari total berat telur [9], sehingga dihasilkan sekitar 91.048 ton cangkang telur di Jawa Tengah.

### Serbuk Granit

Dalam proses produksi granit, 30% dari setiap lempengan berubah menjadi lumpur batu. Limbah tersebut sering dimuat ke dalam truk untuk dibawa pergi dan dibuang ke alam yang akan merugikan lingkungan, dan di sisi lain menambah biaya transportasi ke pabrik pengolahan batu [4]. Memanfaatkan limbah ini dapat melindungi lingkungan, yang merupakan prasyarat untuk pembangunan berkelanjutan saat ini. Beberapa peneliti telah mempelajari efek mengganti agregat dengan serbuk granit pada workability beton. Ditemukan bahwa menggantikan pasir dengan serbuk granit dalam beton dapat meningkatkan kemampuan pengerjaannya [10].



**Gambar 2.** Pengaruh serbuk granit terhadap kekuatan beton

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa mensubstitusi 50% pasir dengan serbuk granit dalam beton dapat meningkatkan sifat mekanik masing-masing. Hal tersebut dikarenakan gradasinya yang lebih halus daripada pasir sehingga serbuk granit berfungsi sebagai filler. Dalam campuran beton dengan kandungan seperti M1 hingga M4, memasukkan serbuk granit pada campuran beton untuk menggantikan pasir dapat meningkatkan kekuatan tekan beton karena efek filler serbuk granit.

### Limbah beton

Limbah beton adalah material sisa beton yang sudah tidak terpakai lagi untuk konstruksi. Dalam pelaksanaan konstruksi, banyak limbah – limbah beton hasil dari pengujian dan pembongkaran bangunan maupun jalan. Kontribusi limbah beton terhadap timbunan sampah konstruksi cukup besar. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya aktifitas konstruksi bangunan. Di Indonesia, limbah beton biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik, sebagian besar dibuang begitu saja di lahan terbuka dan beberapa digunakan sebagai bahan urugan. Ketersediaan material tersebut sangat banyak, sehingga potensi untuk mendaur ulang sangat mungkin untuk dilakukan. Sangat diperlukan suatu teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah-limbah beton. Salah satu contoh upaya mengurangi dampak tersebut adalah menggunakan kembali limbah beton untuk penggunaan beton baru. Hal ini menjadi alternatif bahan beton yang menguntungkan, karena agregat yang digunakan adalah agregat yang telah di buang [11]

## 2. METODE PENELITIAN

Langkah – Langkah yang dilakukan dalam tahap persiapan dengan cara studi literatur dan identifikasi masalah. Studi literatur berisi serangkaian kegiatan pencarian dan pengkajian sumber-sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi acuan dalam penelitian ini. Literatur yang digunakan terdapat pada buku dan jurnal ilmiah tentang beton dengan serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton. Uji eksperimental dilakukan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antara satu dengan yang lain. Benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah beton jenis self compacting concrete ramah lingkungan yang mana nantinya akan diuji kuat tekannya agar menghasilkan kuat tekan yang tinggi.[5], [12]–[15].

### Benda uji

1. Tahap Persiapan
  - a. Pengontrolan agregat mencapai keadaan SSD.
  - b. Penimbangan material sesuai *mix design*.
  - c. Menyiapkan bekisting silinder ukuran 15x30 cm sebanyak 3 buah.

- d. Menyiapkan *mixer* untuk pengadukan.
2. Tahap Pengecoran
  - a. Memasukkan material ke dalam *mixer* dan melakukan pengadukan.
  - b. Melaksanakan tes *slump flow*.
  - c. Memasukkan campuran ke dalam bekisting.
3. Tahap Setelah Pengecoran
  - a. Membuka bekisting setelah 24 jam pengecoran.
  - b. Melakukan *capping* untuk meratakan permukaan beton.
  - c. Melakukan uji tekan pada umur 3 hari dan 7 hari.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data uji material

##### Semen

PCC (*Portland Composite Cement*) merupakan produk semen Indonesia dengan karakteristik kimia sesuai standar [16].

**Tabel 1.** Kandungan kimia semen PCC

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Lain-lain
21,7	5,7	3,2	63,1	2,8	2,2	1,3

##### Pasir

Agregat halus sebagai bahan pencampur beton dan untuk menghasilkan mutu beton yang baik, maka pasir minimal harus memenuhi syarat - syarat diantaranya: terdiri dari butiran yang tajam, keras, tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak dan dibuktikan dengan percobaan warna NaOH, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering, dan harus berasal dari gradasi baik (*well graded*). Spesifikasi agregat halus harus memenuhi standar [17]

**Tabel 2.** Data uji laboratorium

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0,8%
2	Zat Organik	0%
3	Berat Jenis	2,54 gr/cm <sup>3</sup>
4	Penyerapan	1,53%
5	Modulus Halus Butir	2,5
6	Berat Isi	1,42 kg/lt

##### Serbuk Cangkang Telur

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapat kadar optimum serbuk cangkang telur sebagai substitusi pasir adalah 40% dari volume agregat halus dengan berat jenis 2,31 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabel 3.** Kandungan kimia serbuk cangkang telur

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
19,902	4,307	4,241	64,342	2,040	2,881	1,053

##### Serbuk Granit

Agregat halus sebagai bahan pencampur beton dan untuk menghasilkan mutu beton yang baik, maka dari itu perlu diperhatikan mengenai syarat-syarat agregat yang baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapat kadar optimum serbuk granit sebagai substitusi agregat halus adalah 20% dari volume agregat halus.

Hasil uji analisis saringan serbuk granit ditunjukkan pada tabel 4

**Tabel 4.** Data uji laboratorium serbuk granit

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0%
2	Zat Organik	0%
3	Berat Jenis	2,6 gr/cm <sup>3</sup>
4	Penyerapan	1,24%
5	Modulus Halus Butir	2,3
6	Berat Isi	1,50 kg/lt

### Split

Split berperan membantu dalam pembentukan beton. Oleh sebab itu perlu diperhatikan mengenai syarat-syarat agregat yang baik

**Tabel 5.** Data uji laboratorium spilt

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0%
2	Berat Jenis	2,52 gr/cm <sup>3</sup>
3	Penyerapan	2,50%
4	Modulus Halus Butir	6,7
5	Keausan Agregat	17,05%
6	Berat Isi	1,37 kg/lt

### Limbah Beton

Limbah beton sebagai agregat kasar berperan sebagai filler dalam beton dan membantu dalam pembentukan beton. Oleh sebab itu perlu diperhatikan mengenai syarat-syarat agregat yang baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapat kadar optimum limbah beton sebagai substitusi agregat kasar adalah 20% dari volume agregat kasar.

**Tabel 6.** Data uji laboratorium limbah beton

No	Pengujian	Hasil Uji
1	Kandungan Lumpur	0,7%
2	Berat Jenis	2,50 gr/cm <sup>3</sup>
3	Penyerapan	2,70%
4	Modulus Halus Butir	6,2
5	Keausan Agregat	20,12%
6	Berat Isi	1,16 kg/lt

### Air

Air yang digunakan untuk penelitian ini adalah air yang harus diuji kelayakan sesuai Standar [18]

**Tabel 7.** Karakteristik air PDAM

pH	Bau	Warna
6,4	Tidak Berbau	Tidak Berwarna

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Uji Coba (Trial)

Berdasarkan uji coba (trial and error) yang telah dilakukan didapat uji kuat tekan pada umur 3 dan 7 hari seperti pada tabel di bawah ini.

**Tabel 8.** Hasil uji kuat tekan beton uji coba (trial)

Umur (Hari)	Ukuran (cm)	Berat (kg)	Tekanan Hancur (kN)	Tegangan Hancur (MPa)
3	Ø15x30 cm	12,340	900	50,93
3	Ø15x30 cm	12,355	910	51,50
7	Ø15x30 cm	12,365	1420	80,36

### Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Adapun rincian anggaran biaya material utama yang digunakan dalam pembuatan beton SCC ramah lingkungan dalam penelitian kali ini adalah berdasarkan HSPK Kota Surakarta tahun 2022.

**Tabel 9.** RAB beton SCC dengan inovasi

No	Material	Volume	Harga Satuan	Total Harga
1	Air	168 kg	Rp 100	Rp 16.800
2	Semen PCC	350 kg	Rp 1.325	Rp 463.750
3	Pasir	433 kg	Rp 182	Rp 78.806
4	Serbuk Cangkang Telur	394 kg	Rp 50	Rp 19.700
5	Serbuk Granit	222 kg	Rp 50	Rp 11.100
6	Split	573 kg	Rp 189	Rp 108.297
7	Limbah Beton	142 kg	Rp 50	Rp 7.100
8	<i>Sika ViscoCrete 1003</i>	5,8 kg	Rp 80.000	Rp 460.000
Total Harga				Rp 1.165.553

**Tabel 10.** RAB beton SCC tanpa inovasi

No	Material	Volume	Harga Satuan	Total Harga
1	Air	192 kg	Rp 100	Rp 19.200
2	Semen	500 kg	Rp 1.325	Rp 662.500
3	Pasir	950 kg	Rp 182	Rp 172.900
4	Split	628 kg	Rp 189	Rp 118.692
5	Sika VisCocrete 1003	7,5 ltr	Rp 80.000	Rp 600.000
Total Harga				Rp 1.573.292

Dari hasil perhitungan, didapatkan harga produksi beton SCC dengan inovasi sebesar Rp. 1.165.553 per m<sup>3</sup> serta harga produksi beton SCC tanpa inovasi sebesar Rp. 1.573.292 per m<sup>3</sup>. Dapat disimpulkan bahwa selisih harga produksi mencapai Rp. 407.739 atau setara dengan 25,92 %.

### Analisa dampak dan manfaat inovasi

#### a. Aspek Lingkungan

Penggunaan inovasi serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton dalam pembuatan beton SCC ramah lingkungan ini dapat mengurangi volume tumpukan limbah – limbah yang dihasilkan oleh industri maupun limbah konstruksi. Selain pemanfaatan dengan menggunakan material yang bersifat limbah, penggunaan inovasi tersebut juga dapat mengurangi eksploitasi alam yang semakin lama akan berdampak buruk bagi lingkungan. Karena sifat limbah yang digunakan sebagai inovasi dapat meningkatkan kekuatan beton. Dengan menggunakan inovasi ini tentunya akan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan berdasarkan konsep 4R (reduce, refurbish, reuse, recycle).

#### b. Manfaat Penerapan Sosial Pada Masyarakat

Dengan pemanfaatan inovasi serbuk cangkang telur, serbuk granit, dan limbah beton akan menambah wawasan masyarakat untuk mengalih fungsikan limbah dalam pembuatan beton SCC ramah lingkungan, dan diharapkan dapat menjadi langkah awal untuk memanfaatkan limbah sekitar, dan bekerja sama dengan penduduk setempat untuk mengoptimalkan penggunaannya. Diprediksi pemanfaatan material limbah dalam penelitian ini dapat diterapkan di kalangan masyarakat umum untuk dialih fungsikan dari segi ekonomi, lingkungan dan sosial

### Pengaplikasian dan keunggulan Beton

Beton bermutu tinggi juga tidak jarang diaplikasikan dalam struktur jembatan layang di jalan raya. Beton mutu tinggi dalam struktur jembatan layang dapat diaplikasikan pada beton bertulang maupun pada beton pratekan untuk balok girder agar diperoleh bentang yang lebih panjang. Di sisi lain, akibat dari kapasitas balok girder yang lebih kuat maka dapat mengurangi jumlah girder yang digunakan sehingga dapat menghemat biaya konstruksi. Selain itu, beton mutu tinggi juga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan khusus dari aplikasi – aplikasi tertentu seperti durabilitas, modulus elastisitas dan kekuatan lentur. Beberapa contoh dari aplikasi ini dapat meliputi konstruksi bendungan maupun bendung, atap – atap tribun, pondasi – pondasi pelabuhan, garasi – garasi parkir, dan lintai – lintai heavy duty pada area industri, serta pada terowongan – terowongan bawah tanah yang dalam.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, serbuk cangkang telur dan serbuk granit digunakan sebagai substitusi agregat halus serta limbah beton digunakan sebagai substitusi agregat kasar.
- Pemanfaatan limbah serbuk cangkang telur dan serbuk granit sebagai bahan substitusi agregat halus serta limbah beton sebagai substitusi agregat kasar juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan karena berkurangnya volume tumpukan limbah-limbah yang dihasilkan oleh industri maupun limbah konstruksi.
- Kadar optimal yang digunakan serbuk cangkang telur yaitu 40% dari volume agregat halus.
- Kadar optimal yang digunakan serbuk granit yaitu 20% dari volume agregat halus.
- Kadar optimal yang dapat digunakan limbah beton yaitu 20% dari volume agregat kasar.
- Harga yang didapat dari beton SCC inovasi lebih ekonomis dibandingkan beton SCC tanpa inovasi yang mempunyai selisih Rp. Rp. 407.739 per m<sup>3</sup> atau setara dengan 25,92 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Intharapat, A. Kongnoo, and K. Kateungngan, "The Potential of Chicken Eggshell Waste as a Bio-filler Filled Epoxidized Natural Rubber (ENR) Composite and its Properties," *J Polym Environ*, vol. 21, no. 1, pp. 245–258, Mar. 2013, doi: 10.1007/s10924-012-0475-9.

- [2] H. Binici, O. Aksogan, and R. Resatoglu, "Effect of egg white, perlite, gypsum and fly ash in environment friendly insulation materials," *Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering*, vol. 16, no. 3, pp. 329–342, 2018, doi: 10.2298/fuace170706012b.
- [3] Y. Y. Tan, S. I. Doh, and S. C. Chin, "Eggshell as a partial cement replacement in concrete development," *Magazine of Concrete Research*, vol. 70, no. 13, pp. 662–670, Jul. 2018, doi: 10.1680/jmacr.17.00003.
- [4] M. S. Savadkoohi and M. Reisi, "Environmental protection based sustainable development by utilization of granite waste in Reactive Powder Concrete," *J Clean Prod*, vol. 266, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121973.
- [5] BSN, "SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," SNI 03-2847-2013, 2013
- [6] EFNARC, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete," 2002. [Online]. Available: [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)
- [7] B. Suhendro, "Toward green concrete for better sustainable environment," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2014, pp. 305–320. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.190.
- [8] E. Worrell, L. Price, N. Martin, C. Hendriks, and L. O. Meida, "CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE GLOBAL CEMENT INDUSTRY \*," 2001.
- [9] M. Gaonkar, A. P. Chakraborty, and A. Professor, "Application of Eggshell as Fertilizer and Calcium Supplement Tablet," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO)*, vol. 3297, 2007, doi: 10.15680/IJRSET.2016.0503183.
- [10] E. Muritala, A. Adigun, B. Eng, and ; M Sc, "Cost Effectiveness of Replacing Sand with Crushed Granite Fine (CGF) In the Mixed Design of Concrete." [Online]. Available: [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)
- [11] J. de-Prado-Gil, C. Palencia, N. Silva-Monteiro, and R. Martínez-García, "To predict the compressive strength of self compacting concrete with recycled aggregates utilizing ensemble machine learning models," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01046.
- [12] BSN, "SNI 1971:2011 Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan," SNI 1971:2011, 2011
- [13] BSN, "SNI 1970:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus," SNI 1970:2008, 2008
- [14] BSN, "SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa," SNI 7656:2012, 2012
- [15] SNI 03 – 2847 - 2002, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung," Bandung, 2002.
- [16] BSN, "SNI 2049\_ 2015 Semen Portland," 2015.
- [17] BSN, "SNI 03-6820-2002 Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen," 2002. [Online]. Available: <https://pu.go.id/pustaka/biblio/sni-03>
- [18] BSN, "SNI 7974:2013 Spesifikasi Air Campuran Beton," 2013, [Online]. Available: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

## KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH KELAS C DENGAN PENAMBAHAN BORAKS

A. Bambang Yuuwono<sup>1</sup>, \*Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono<sup>2</sup>, Haniadi Abdillah Rahman<sup>3</sup>, Aviv Rachmawan Heryan<sup>4</sup>, Rizal Kurniawan<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik. Universitas Tunas Pembangunan. Surakarta

<sup>2</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik. Universitas Tunas Pembangunan. Surakarta

<sup>3,4,5</sup>Mahasiswa, Fakultas Teknik. Universitas Tunas Pembangunan. Surakarta

\*) Email: kukuh.kurniawan@lecture.utp.ac.id

### ABSTRACT

*Cement has been widely utilized as a primary material in the construction of structural and architectural elements. The cement factory industry can contribute to 30% of global carbon dioxide emissions. Geopolymers were first introduced by Davidovits in 1979 to represent inorganic polymers produced from geochemistry. Geopolymer materials make use of waste materials such as fly ash as a substitute for concrete binders. In this study, Class C (high calcium) fly ash from the Paiton Power Plant was used. The mix design for geopolymer mortar in this study employed the absolute volume calculation method. Absolute volume calculations are based on the absolute volume proportions of each constituent material within 1 m<sup>3</sup>. The compressive strength of geopolymer mortar with the addition of 5% borax to the molarity value, the alkali/cementitious ratio showed good performance in the mechanical properties of geopolymer mortar. Alkali/cementitious ratios of 0.3, 0.35, and 0.4 in Class C-based geopolymer mortar with 5% borax addition exhibited good workability, making it suitable for use as a base material in architectural material production.*

**Keyword:** fly ash, mortar, geopolymer, borax

### ABSTRAK

Semen telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan utama konstruksi pada elemen struktur dan arsitektural. Industri pabrik semen dapat menghasilkan 30% karbon dioksida di seluruh dunia. Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits di 1979 untuk mewakili polimer anorganik yang dihasilkan dari geokimia. Material geopolimer memanfaatkan limbah seperti fly ash sebagai pengganti pengikat beton. Fly ash pada penelitian ini digunakan Kelas C (high calcium) yang berasal dari PLTU Paiton. Mix desain mortar geopolimer pada penelitian ini digunakan metode perhitungan volume absolut. Perhitungan volume absolut didasarkan pada proporsi volume absolut dari masing-masing material penyusun dalam 1 m<sup>3</sup>. Kuat tekan mortar geopolimer dengan penambahan borax 5% terhadap nilai molaritas, rasio alkali/cementitious menunjukkan kinerja yang baik pada sifat mekanik mortar geopolimer. Rasio alkali/cementitious sebesar 0.3, 0.35 dan 0.4 pada mortar geopolimer berbasis kelas C dengan penambahan borax 5% menunjukkan workability yang baik, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material arsitektural.

**Kata kunci:** fly ash, mortar, geopolimer, boraks

## 1. PENDAHULUAN

Material semen banyak digunakan sebagai bahan utama konstruksi dalam pembuatan beton, baik sebagai elemen struktur maupun arsitektural. Dari industri semen sebagai pembuat bahan utama beton dapat menghasilkan 30% karbon dioksida di seluruh dunia. Emisi CO<sub>2</sub> menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan, yang diakibatkan oleh penggilingan mineral, pembakaran fosil, dan bahan mentah di ruang Kiln [1]. Emisi ini sangat mempengaruhi kondisi lingkungan dan menimbulkan pemanasan global. Namun, pemanfaatan semen meningkat dalam industri konstruksi bangunan di seluruh dunia. Oleh karena itu, penggantian semen Portland sebagai bahan pengikat dengan bahan yang lebih ramah lingkungan dan lebih kecil energi dalam produksinya menjadi sangat mendesak.

Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits di 1979 untuk mewakili polimer anorganik yang dihasilkan dari geokimia. Geopolimer seperti polimer lainnya adalah makromolekul dengan ukuran dan berat molekul tertentu [2]. Geopolimer berbasis silika aluminat membutuhkan material yang memiliki silika dan alumina yang tinggi, seperti abu terbang (*fly ash*), terak, metakaolin dan lain-lain. Berdasarkan komposisi kimia, fly ash umumnya mengandung unsur-unsur oksida utama seperti SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO. Pada proses geopolimerisasi beton geopolimer berbasis *fly ash*. Reaksi antara fly ash (sumber aluminosilikat) dan larutan alkali (polisisilikat alkali) menghasilkan pembentukan nanopartikel geopolimer dengan struktur polimer tiga dimensi yang kuat [3].

Fly ash diklasifikasikan menjadi dua kelas yaitu kelas F dan kelas C [4]. Fly ash kelas F memiliki persyaratan kimia yaitu total prosentase berat minimal dari SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 70 % dan kelas C memiliki total prosentase berat minimal dari SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 50 %. CSA A3001 mengklasifikasikan fly ash menjadi tiga kelas, yaitu F untuk kandungan kalsium oksida tidak melebihi 8%. C untuk kandungan kalsium antara 8 – 20%, dan CH atau kandungan kalsium melebihi 20% dari fly ash. Kandungan kalsium yang tinggi pada precursor, memicu reaksi kimia yang menghasilkan gel Kalsium Silikat Hidrat (CSH), gel Kalsium Aluminium Silikat Hidrat (CASH), dan gel Natrium Aluminosilikat Hidrat (NASH) [5], [6]. Kalsium Silikat Hidrat dan Kalsium Aluminium Silikat Hidrat adalah produk yang serupa yang dihasilkan pada

proses hidrasi semen Portland. sedangkan Natrium Aluminosilikat Hidrat merupakan produk gel geopolimer. Pembentukan CSH dan CASH mampu meningkatkan kekuatan awal beton geopolimer yang diawetkan pada temperature ruangan. tetapi tingginya kandungan kalsium dapat mempercepat waktu pengerasan dan kemampuan kerja [7], [8]. Untuk memperlambat waktu pengerasan dan peningkatan kemampuan kerja beton geopolimer. beberapa penelitian menyarankan penambahan bahan adiktif. Namun penambahan bahan adiktif pada beton geopolimer memberikan dampak penurunan sifat mekanik beton geopolimer [9], [10]. Boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) merupakan bahan yang sangat efisien untuk memperlambat pengerasan plester [11]. Boraks secara fisik teradsorpsi pada permukaan kristal, sehingga mengurangi laju larutan hemihidrat dan pembentukan inti gipsum. Penambahan boraks pada beton geopolimer telah dipejari beberapa peneliti untuk mengetahui dampaknya. Penambahan boraks dengan prosentase 5% menunjukkan bahwa waktu pengerasan beton geopolimer berbasis fly ash kalsium tinggi dapat lebih lama. dan mempengaruhi peningkatan kuat tekannya [12]. Penambahan boraks dengan dosis yang lebih dari 20% menunjukkan pengaruh yang menurun pada waktu pengerasan dan kemampuan kerja [13]. Studi mortar geopolimer berbasis fly ash kelas C dengan penambahan boraks sebesar 5% ini dilakukan untuk mengetahui mekanik, untuk nantinya sebagai material pembuatan bahan bangunan seperti keramik ubin, panel, ornament arsitektural dan lain-lain.

## 2. METODE

### Material

#### Fly ash

Fly ash pada penelitian ini digunakan Kelas C (*high calcium*) yang berasal dari PLTU Paiton. Komposisi kimia fly ash diperoleh pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan ASTM C 618 fly ash dari PLTU Paiton memiliki total prosentase berat  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  lebih dari 50% dan kandungan CaO diantara 8 – 20%.

**Tabel 1.** Komposisi kimia fly ash

Komposisi	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	CaO	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	C*
%	12.66	30.20	0.862	0.798	10.90	0.609	5.492	38.20

\*Analyzed as balance

Sumber: Pengujian bahan, 2023

#### Agregat halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari Merapi dengan berat jenis 2.6 (SSD). Ukuran pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah lolos ayakan 4.8 mm.

#### Alkali aktivator

Larutan aktivator yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Natrium Hidroksida (NaOH). Natrium silikat diproduksi oleh PT. Sinar Sakti Kimia. memiliki komposisi  $\text{SiO}_2$  31.45% dan  $\text{Na}_2\text{O}$  14.34% dan kadar air 54.21%. Natrium hidroksida dalam bentuk pellet padat diproduksi oleh PT. Asahimas Chemical. Molaritas larutan natrium hidroksida yang digunakan adalah 10 M dan 12 M. Rasio alkali aktivator (*R*) ditetapkan 2. dan rasio alkali aktivator terhadap cementitious digunakan 0.3. 0.35 dan 0.4.

### Mix Design

Mix desain mortar geopolimer pada penelitian ini digunakan metode perhitungan volume absolut. Perhitungan volume absolut didasarkan pada proporsi volume absolut dari masing-masing material penyusun dalam  $1 \text{ m}^3$  [14], [15]. Perhitungan komposisi mortar geopolimer didasarkan bahwa volume rongga agregat halus terisi sepenuhnya dengan pasta geopolimer. Rasio volume absolut pasta geopolimer ( $V_p$ ) dibandingkan dengan volume rongga agregat halus ( $V_{rah}$ ) ditetapkan sebagai parameter  $R_m$  mix desain. Volume absolut pasta geopolimer dalam  $1 \text{ m}^3$  dihitung dengan persamaan (1). Volume absolut agregat halus dihitung berdasarkan persamaan (2) dan volume rongga agregat halus dalam  $1 \text{ m}^3$  dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$\frac{B_{fa}}{G_{fa}\gamma_{sa}} + \frac{B_{ss}}{G_{ss}\gamma_{sa}} + \frac{B_{sh}}{G_{sh}\gamma_{sa}} = 1 \text{ m}^3 \quad (1)$$

$$V_{ah} = \frac{B_{sah}}{G_{ah}\gamma_{sa}} \quad (2)$$

$$V_{rah} = 1 - \frac{B_{sah}}{G_{ah}\gamma_{sa}} \quad (3)$$

Campuran mortar yang didasarkan pada parameter  $R_m$  dan volume pasta geopolimer. maka campuran mortar geopolimer dihitung berdasarkan persamaan (4) dan kebutuhan agregat halus dihitung dengan persamaan (5).

$$\frac{B_{fa}}{G_{fa}\gamma_{sa}} + \frac{B_{ss}}{G_{ss}\gamma_{sa}} + \frac{B_{sh}}{G_{sh}\gamma_{sa}} = R_m V_{rah} \quad (4)$$

$$R_m V_{rah} + \frac{B_{sah}}{G_{ah}\gamma_{sa}} = 1m^3 \quad (5)$$

Dimana :  $B_{fa}$  berat fly ash,  $G_{fa}$  berat jenis fly ash,  $B_{ss}$  berat natrium silikat,  $G_{ss}$  berat jenis natrium silikat,  $B_{sh}$  berat natrium hidroksida,  $G_{sh}$  berat jenis natrium hidroksida,  $V_{ah}$  volume agregat halus,  $B_{sah}$  berat satuan agregat halus,  $G_{ah}$  berat jenis agregat halus,  $V_{rah}$  volume rongga agregat halus,  $\gamma_{sa}$  berat satuan air.

Parameter  $R_m$  pada penelitian ini digunakan 1.5 dan 2.0. Penambahan boraks pada mortar geopolimer sebesar 5% dari massa fly ash. Tabel 2 menunjukkan mix desain campuran mortar geopolimer.

### Mixing dan Curing

Pembuatan campuran mortar geopolimer dilakukan dengan tahapan berikut :

1. Fly ash dan boraks dicampurkan, lalu diaduk.
2. Larutan alkali aktivator ditambahkan dan diaduk sampai homogen.
3. Pasir ditambahkan kedalam pasta geopolimer dan diaduk.
4. Mortar geopolimer siap untuk dicetak.

Mortar geopolimer yang telah dicetak, lalu disimpan pada temperature ruangan selama 24 jam. Mortar geopolimer yang sudah mengeras dikeluarkan dari cetakan, lalu dilakukan perawatan dengan cara disimpan dalam plastik.

**Tabel 2.** Proporsi kebutuhan bahan mortar geopolimer

No Mix	Molaritas NaOH	$R_m$	A	FA kg/m <sup>3</sup>	SS kg/m <sup>3</sup>	SH kg/m <sup>3</sup>	AH kg/m <sup>3</sup>	Boraks kg/m <sup>3</sup>
1	10	1.5	0.30	1128.38	112.84	225.68	1025.00	56.42
2	10	1.5	0.35	1065.52	124.31	248.62	1025.00	53.28
3	10	1.5	0.40	1009.30	134.57	269.15	1025.00	50.46
4	10	2.0	0.30	1504.51	150.45	300.90	489.00	75.23
5	10	2.0	0.35	1420.70	165.75	331.50	489.00	71.03
6	12	2.0	0.40	1345.73	179.43	358.86	489.00	67.29
7	12	1.5	0.30	1128.38	112.84	225.68	1025.00	56.42
8	12	1.5	0.35	1065.52	124.31	248.62	1025.00	53.28
9	12	1.5	0.40	1009.30	134.57	269.15	1025.00	50.46
10	12	2.0	0.30	1504.51	150.45	300.90	489.00	75.23
11	12	2.0	0.35	1420.70	165.75	331.50	489.00	71.03
12	12	2.0	0.40	1345.73	179.43	358.86	489.00	67.29

FA = fly ash, SS = natrium silikat, SH = natrium hidroksida, AH = agregat halus

Sumber: *Perhitungan data primer, 2023*

### Flowability dan Kuat Tekan

Adukan mortar geopolimer dilakukan pengujian flowability untuk mengukur kemampuan suatu bahan atau material untuk mengalir dengan lancar atau mudah sesuai dengan ASTM C 1437 [16]. Pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada umur 28 hari menggunakan sampel berukuran 50 x 50 x 50 mm berdasarkan ASTM C109 [17].

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### Flowability

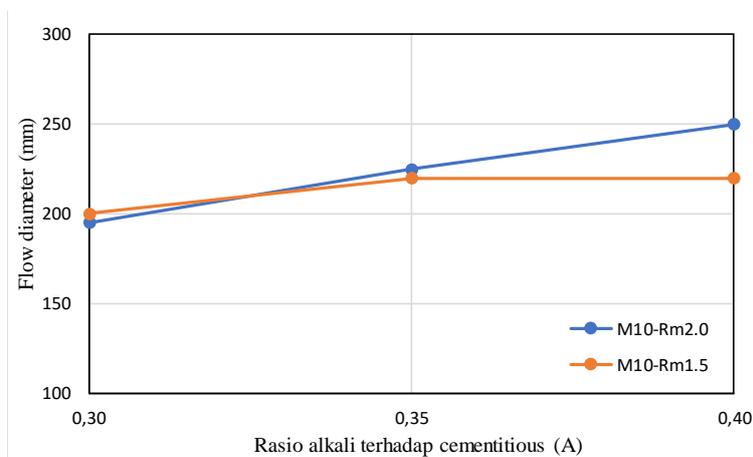
Pengujian flowability mortar geopolimer dilakukan sebelum campuran mortar geopolimer dimasukkan kedalam cetakan. Flowability mortar geopolimer pada penelitian ini dievaluasi dengan mengukur diameter aliran mortar geopolimer seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada Gambar 2 dan Gambar 3, menunjukkan hubungan flowability dan rasio alkali terhadap cementitious mortar geopolimer 10 M dan 12 M pada rasio volume absolut pasta geopolimer terhadap volume rongga agregat halus ( $R_m$ ) yang berbeda, yaitu 1.5 dan 2.0. Pasta geopolimer 10 mol pada  $R_m$  sebesar 2, menunjukkan kemampuan mengalir yang lebih tinggi dibandingkan dengan  $R_m$  sebesar 1.5. Nilai  $R_m$  yang semakin besar menghasilkan volume pasta geopolimer semakin luas mengisi volume pori agregat halus, yang menurunkan viskositas mortar untuk mengalir. Dengan peningkatan rasio alkali terhadap cementitious (A), tentunya kebutuhan cairan alkali pada pasta geopolimer meningkat dan menambah flowability mortar. Tingkat flowability antara larutan alkali 10 mol dan 12 mol tidak menunjukkan nilai signifikan. Menurunkan molaritas larutan alkali aktivator menurunkan viskositas dan meningkatkan kemampuan mengalir pasta geopolimer [18].



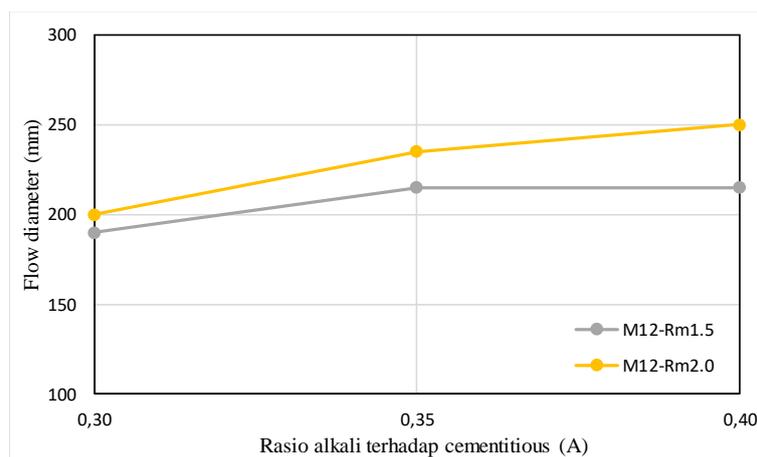
Sumber: Pengujian bahan, 2023

**Gambar 1.** Pengujian flowability mortar geopolimer



Sumber: Pengolahan data, 2023

**Gambar 2.** Hubungan flowability dan rasio alkali terhadap cementitious mortar geopolimer 10 M



Sumber: Pengolahan data, 2023

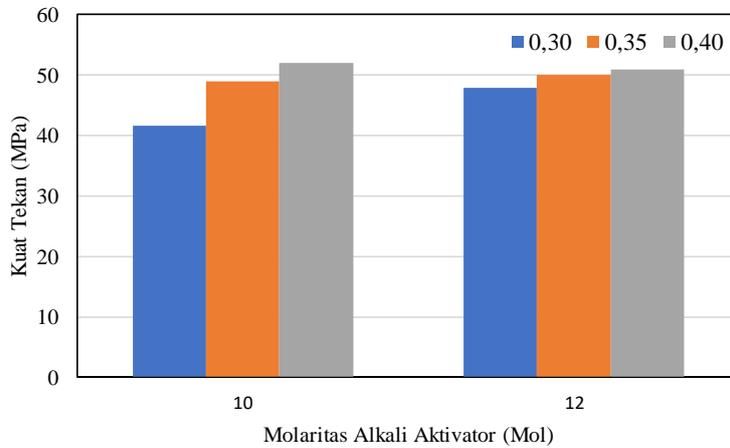
**Gambar 3.** Hubungan flowability dan rasio alkali terhadap cementitious mortar geopolimer 12 M

## Kuat Tekan

### Molaritas dan Kuat tekan

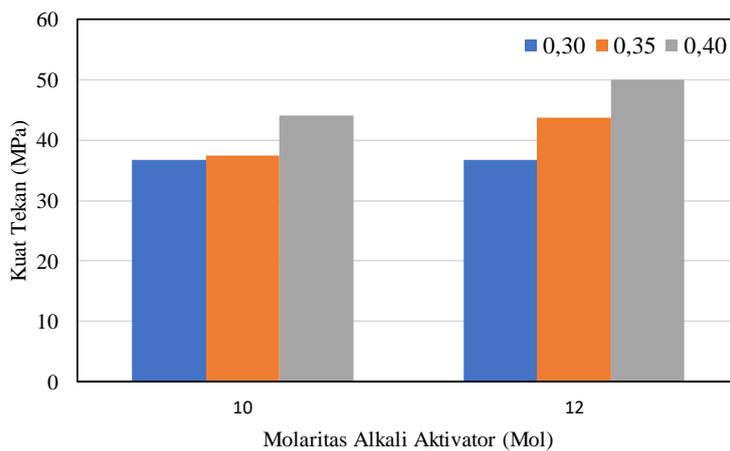
Hubungan molaritas dan kuat tekan pada rasio  $R_m$  1.5 dan 2.0 ditunjukkan Gambar 4 dan 5. Molaritas larutan alkali aktivator yang lebih besar memberikan kuat tekan mortar geopolimer. Peningkatan rasio alkali terhadap cementitious pada mix desain mortar geopolimer, memicu pencucian ion Al dan Si semakin meningkat dan membentuk gel aluminosilikat. Molaritas 12 mol pada mortar geopolimer pada rasio perbandingan  $R_m$  1.5 dan 2.0 menghasilkan kuat

tekan yang lebih tinggi dibandingkan 10 mol. Molaritas larutan natrium hidroksida pada beton geopolimer memegang peranan yang sangat penting pada proses geopolimerisasi. Kehadiran ion natrium pada jumlah yang besar, mampu mempercepat laju disolusi fly ash yang membentuk gel aluminosilikat [19]–[21]. Gel aluminosilikat memiliki kekuatan yang tinggi dan kekerasan.



Sumber: Pengolahan data, 2023

**Gambar 4.** Hubungan molaritas dan kuat tekan mortar geopolimer pada Rm 1.50

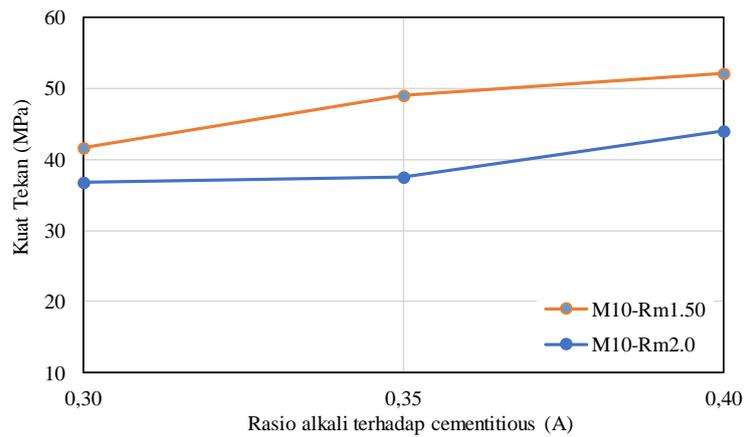


Sumber: Pengolahan data, 2023

**Gambar 5.** Hubungan molaritas dan kuat tekan mortar geopolimer pada Rm 2.0

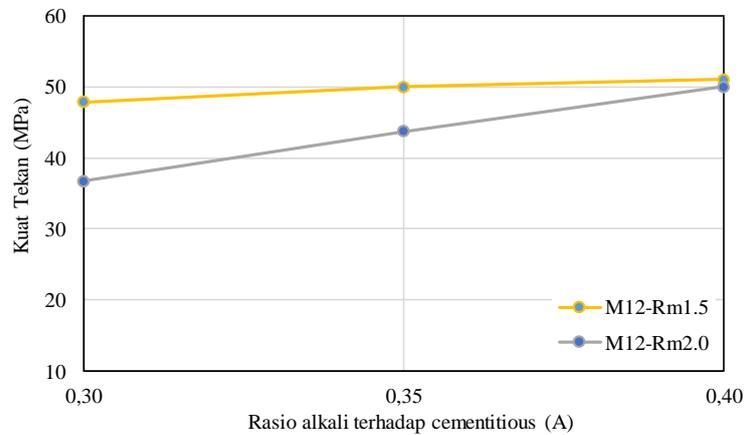
*Rasio alkali terhadap cementitious dan kuat tekan*

Peningkatan rasio alkali activator terhadap fly ash memberikan pengaruh yang baik terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Peningkatan kuat tekan akibat rasio alkali terhadap fly ash pada molaritas 10 mol dan 12 mol ditunjukkan Gambar 6 dan 7. Peningkatan rasio alkali pada mortar geopolimer sama dengan peningkatan larutan alkali aktivator mortar. Dengan peningkatan larutan alkali proses geopolimerisasi yang memicu disolusi SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> semakin besar, menghasilkan laju geopolimerisasi yang tinggi dan meningkatkan kuat tekan.



Sumber: Pengolahan data, 2023

**Gambar 6.** Hubungan rasio alkali terhadap cementitious dan kuat tekan pada molaritas 10 mol



Sumber: Pengolahan data, 2023

**Gambar 7.** Hubungan rasio alkali terhadap cementitious dan kuat tekan pada molaritas 12 mol

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini memaparkan flowability dan kuat tekan mortar geopolimer berbasis fly ash kelas C yang diaktivasi menggunakan alkali (natrium silikat dan natrium hidroksida). Molaritas larutan natrium hidroksida digunakan 10 M dan 12 M, sedangkan rasio alkali aktivator (R) sebesar 2. Rasio pasta terhadap volume rongga agregat ( $R_m$ ) digunakan 1.5 dan 2.0. Rasio alkali aktivator terhadap cementitious ditetapkan sebesar 0.3, 0.35 dan 0.4. Semua sampel kubus mortar dilakukan curing pada temperature ruangan. Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan rasio volume absolut pasta geopolimer ( $V_p$ ) dibandingkan dengan volume rongga agregat halus ( $V_{rah}$ ) meningkatkan viskositas mortar. Dengan peningkatan rasio alkali terhadap cementitious (A), tentunya kebutuhan cairan alkali pada pasta geopolimer meningkat dan menambah flowability mortar.
2. Kuat tekan mortar geopolimer dengan penambahan borak 5% terhadap nilai molaritas, rasio alkali/cementitious tidak menunjukkan dampak negative pada sifat mekanik mortar geopolimer.
3. Rasio alkali/cementitious sebesar 0.3, 0.35 dan 0.4 pada mortar geopolimer berbasis kelas C dengan penambahan borak 5% menunjukkan workability yang baik, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material arsitektural.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didana oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi - Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Tahun 2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Davidovits, "Global warming impact on the cement and aggregates industries," *World Resour. Rev.*, vol. 6, no. 2, pp. 263–278, 1994.
- [2] J. Davidovits, "Geopolymers and geopolymeric materials," *J. Therm. Anal.*, vol. 35, no. 2, pp. 429–441, 1989, doi: 10.1007/BF01904446.
- [3] A. Noushini and A. Castel, "The effect of heat-curing on transport properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 112, pp. 464–477, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.210.
- [4] ASTM C 618, *C 618 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, no. C. 2003.
- [5] P. Chindaprasirt, P. De Silva, K. Sagoe-Crentsil, and S. Hanjitsuwan, "Effect of SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the setting and hardening of high calcium fly ash-based geopolymer systems," *J. Mater. Sci.*, vol. 47, no. 12, pp. 4876–4883, 2012, doi: 10.1007/s10853-012-6353-y.
- [6] X. Guo, H. Shi, and W. A. Dick, "Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 32, no. 2, pp. 142–147, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.003>.
- [7] E. I. Diaz, E. N. Allouche, and S. Eklund, "Factors affecting the suitability of fly ash as source material for geopolymers," *Fuel*, vol. 89, no. 5, pp. 992–996, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.09.012>.
- [8] U. Rattanasak, K. Pankhet, and P. Chindaprasirt, "Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer," *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, vol. 18, no. 3, pp. 364–369, 2011, doi: 10.1007/s12613-011-0448-3.
- [9] P. Chindaprasirt, T. Chareerat, and V. Sirivivatnanon, "Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 29, no. 3, pp. 224–229, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.11.002>.
- [10] A. Kusbiantoro, M. S. Ibrahim, K. Muthusamy, and A. Alias, "Development of Sucrose and Citric Acid as the Natural based Admixture for Fly Ash based Geopolymer," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 596–602, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.075>.
- [11] A. S. Buchanan and K. Worner, "A Study of the Action of Borax in Retarding the Setting of Plaster of Paris," *J. Soc. Chem. Ind.*, vol. 65, no. 1, pp. 23–26, 1946.
- [12] A. Antoni, S. W. Wijaya, J. Satria, A. Sugiarto, and D. Hardjito, "The use of borax in deterring flash setting of high calcium fly ash based geopolymer," *Mater. Sci. Forum*, vol. 857, pp. 416–420, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.857.416.
- [13] A. Antoni, A. A. T. Purwatoro, W. S. P. D. Suyanto, and D. Hardjito, "Fresh and Hardened Properties of High Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Matrix with High Dosage of Borax," *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.*, vol. 44, no. 1, pp. 535–543, 2020, doi: 10.1007/s40996-019-00330-7.
- [14] I. Satyarno, A. P. Solehudina, C. Meyartoa, D. Hadiyatmoko, P. Muhammadiyah, and R. Afnana, "Practical method for mix design of cement-based grout," *Procedia Eng.*, vol. 95, pp. 356–365, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.194.
- [15] R. Cornelis, H. Priyosulistyo, I. Satyarno, and rohmadi, "Workability and Strength Properties of Class C Fly Ash-Based Geopolymer Mortar," *Int. Conf. Sustain. Civ. Eng. Struct. Constr. Mater. (SCESCM 2018)*, vol. Volume 258, p. 6, 2019, doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925801009>.
- [16] ASTM C1437, *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2007.
- [17] ASTM C109/C109M, *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2016. doi: 10.1520/C0109.
- [18] I. Pundienė, J. Pranckevičienė, C. Zhu, and M. Kligys, "The role of temperature and activator solution molarity on the viscosity and hard structure formation of geopolymer pastes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 272, p. 121661, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121661>.
- [19] V. Srinivasa Reddy, K. V. Krishna, M. V. S. Rao, and S. Shrihari, "Effect of molarity of sodium hydroxide and molar ratio of alkaline activator solution on the strength development of geopolymer concrete," *E3S Web Conf.*, vol. 309, pp. 0–5, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202130901058.
- [20] N. Aida Mohd Mortar, H. Kamarudin, R. A. Rafiza, T. A. F. Meor, and M. Rosnita, "Compressive Strength of Fly Ash Geopolymer Concrete by Varying Sodium Hydroxide Molarity and Aggregate to Binder Ratio," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 864, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/864/1/012037.
- [21] N. Kumar Verma, M. Chakradhara Rao, and S. Kumar, "Effect of molarity of NaOH and alkalinity ratio on compressive strength of geo-polymer concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 64, pp. 940–947, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.687>.

## EVALUASI KUALITAS UDARA PADA PEKERJAAN TEROWONGAN (STUDI KASUS K3 PROYEK BENDUNGAN JLANTAH KARANGANYAR)

\*Ruli Wijayanto<sup>1</sup>, Herman Susila<sup>2</sup>, Suryo Handoyo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta

\*) Email: herman.susila@lecture.utp.ac.id

### ABSTRACT

*The number of work accidents in Indonesia is quite high, in 2018 BPJS data showed 157,313 cases, one of which was work accident cases in confined space work areas. The implementation of confined space work must implement work safety rules, namely controlling air quality, such as the content of O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S and explosion-inducing gas (LEL), ensuring that it does not exceed the threshold values according to regulations to avoid accidents. The research was carried out at PT Waskita Karya-Adhi Karya, KSO, on the Jlantah Project Dam extraction tunnel work located in Jatiyoso sub-district, Karanganyar district. The object under study itself is one of the construction works which is a high risk work, namely the work of constructing an extraction tunnel which is divided into confined spaces or confined spaces. The aim of this research is to determine the control of hazards and air quality in the implementation of extraction tunnel work. The data was obtained from historical air quality measurement data using a Gas Detector during intake tunnel excavation work in the November 2020 period. The results of measuring O<sub>2</sub> levels in the work area showed mutations but were not significant and were still within normal limits. The results of measuring CO levels during the research period showed several increases exceeding the threshold of up to 38 ppm and 40 ppm from the permissible threshold value of 35 ppm. The results of measurements of H<sub>2</sub>S and LEL gas did not detect the presence of this gas.*

**Keyword:** Occupational Health and Safety, work accident, retrieval tunnel, Jlantah dam

### ABSTRAK

Angka kecelakaan kerja di Indonesia cukup tinggi, pada tahun 2018 data BPJS menunjukkan angka 157.313 kasus, salah satunya kasus kecelakaan kerja pada pekerjaan area ruang terbatas. Pelaksanaan pekerjaan ruang terbatas harus dilaksanakan sesuai dengan standar operasional prosedur keselamatan kerja yaitu pengendalian kualitas udara seperti kandungan O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, dan gas pemicu ledakan (LEL), dipastikan tidak melebihi nilai ambang batas sesuai peraturan agar terhindar dari *accident*. Penelitian ini dilakukan di PT Waskita Karya-Adhi Karya, KSO, pada pekerjaan terowongan pengambilan Proyek Bendungan Jlantah yang terletak di kecamatan Jatiyoso kabupaten Karanganyar. Objek yang diteliti sendiri merupakan salah satu pekerjaan konstruksi yang merupakan pekerjaan beresiko tinggi yaitu pekerjaan pembangunan terowongan pengambilan yang dikategorikan sebagai ruang terbatas atau *confined space*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengendalian bahaya dan kualitas udara pada pelaksanaan pekerjaan terowongan pengambilan. Data-data diperoleh dari data riwayat pengukuran kualitas udara menggunakan alat Gas Detector pada saat pekerjaan galian terowong *intake* pada rentang waktu November 2020. Hasil pengukuran kadar O<sub>2</sub> didalam area kerja menunjukkan fluktuasi antara 20,8% – 21% namun tidak signifikan dan masih dalam ambang batas normal 19,5% - 23%. Hasil pengukuran kadar CO selama masa penelitian terdapat beberapa kali peningkatan diatas ambang batas sampai dengan 38 ppm dan 40 ppm dari nilai ambang batas yang diijinkan sebesar 35 ppm. Hasil pengukuran gas H<sub>2</sub>S dan LEL tidak terdeteksi adanya gas tersebut.

**Kata kunci:** Keselamatan dan Kesehatan Kerja, kecelakaan kerja, terowongan pengambilan, bendungan Jlantah

## 1. PENDAHULUAN

Angka kecelakaan kerja di Indonesia cukup tinggi, tercatat sepanjang tahun 2018 data BPJS menunjukkan angka 157.313 kasus. Sejumlah kecelakaan kerja yang terjadi pada proyek konstruksi dalam kurun waktu 2017-2018 menjadi potret kurangnya perhatian dalam pelaksanaan sistem manajemen keselamatan kerja dibidang konstruksi. Berbagai penyebab utama kecelakaan akibat kerja dan sakit akibat kerja pada proyek konstruksi disebabkan oleh hal-hal yang berhubungan dengan karakteristik proyek konstruksi yang bersifat unik, lokasi yang berbeda-beda, terbuka, dan dipengaruhi oleh cuaca, waktu pelaksanaan yang terbatas, dinamis dan menuntut ketahanan fisik yang tinggi, penggunaan tenaga kerja dalam jumlah besar, maka pekerja konstruksi beresiko tinggi terhadap potensi bahaya dan risiko.

Selain itu jika terjadi kecelakaan kerja, proses produksi akan terhenti. Hal ini tentu akan mempengaruhi pelaksanaan proyek yang sudah direncanakan dengan time schedule yang sistematis, sehingga kesuksesan sebuah proyek konstruksi juga dipengaruhi oleh sistem manajemen keselamatan kerja.

Untuk meminimalisir dan mengendalikan bahaya dan resiko, diperlukan sistem manajemen keselamatan kerja yang sesuai dengan kondisi pekerjaan [1]. Pada pekerjaan beresiko tinggi, seperti pekerjaan ketinggian, pekerjaan dengan bahan kimia/listrik, pekerjaan di ruang terbatas atau *confined space* dan lain-lain harus menerapkan standar keselamatan serta pemantauan khusus.

Menurut Ir. Amri AK, pekerjaan resiko tinggi pada ruang terbatas merupakan pekerjaan pada ruangan yang mempunyai karakter-karakter konstruksi yang mencukupi untuk seseorang memasukinya dan melakukan pekerjaan di dalamnya, berakses keluar masuk terbatas, tidak dirancang untuk ruang kerja dan pekerjaan terus menerus seperti terowongan, sumur

air konvensional, saluran pembuangan, selokan, septic tank, silo dan lain-lain [2]. dengan cakupan pekerjaan diantaranya seperti perawatan atau pembersihan, pemeriksaan, pekerjaan panas (pengelasan, penggerindaan, pemotongan), perbaikan atau pemasangan peralatan, proses pertolongan pada korban di dalam ruang terbatas.

Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah yang berada di Jatiyoso Kabupaten Karanganyar mempunyai dua terowongan yang mempunyai fungsi yang berbeda. Satu sebagai saluran pengelak, terowongan lainnya sebagai pengambilan. Artinya, didalam melaksanakan pekerjaan dua terowongan tersebut terdapat pekerjaan resiko tinggi yang perlu dilaksanakan. Adapun item pekerjaannya adalah seperti galian mekanis yang menggunakan alat berat sehingga menghasilkan gas buang, lalu pemasangan Support menggunakan baja yang tentunya terdapat pengelasan, shotcrete, hingga pengecoran.

Pada pelaksanaan pekerjaan ruang terbatas harus dilaksanakan kaidah- kaidah keselamatan dan monitoring kualitas udara seperti kandungan oksigen, Karbon monoksida, hydrogen sulfida/gas beracun, dan gas mudah terbakar, apakah aman dan tidak melebihi nilai ambang batas sesuai undang-undang agar terhindar dari accident seperti contoh kasus kecelakaan kerja pada ruang terbatas pernah terjadi pada bulan Februari 2013, 5 orang pekerja dan dua orang lainnya kritis diduga dikarenakan akibat menghirup gas beracun di Lantai Basement sebuah Gedung di Jakarta. Kemudian pada bulan Oktober 2021, 3 orang pekerja proyek tewas menghirup gas beracun dalam gorong-gorong di Cipondoh, Kota Tangerang. Pada kecelakaan yang menewaskan 3 orang pekerja tersebut, diduga ada gas beracun saat dilakukan perbaikan gorong-gorong yang sudah lama tidak dibuka. Hal ini menunjukkan bahwa betapa pentingnya prosedur pelaksanaan pekerjaan di ruang terbatas dan pengecekan kualitas udara sebelum pekerjaan dilaksanakan.

### Tinjauan pustaka

Srisantyorini dan Safitriana (2020) dalam jurnalnya “Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek 2 Elevated “ menggunakan mix method yaitu mangguakan wawancara mendalam (*Indepth Interview*) kepada 4 orang informan untuk mendapatkan data kualitatif juga dengan observasi langsung menggunakan checklist SMK3 (PP Nomor 50 Tahun 2012) sebagai data kuantitatif [3]. Dalam penelitiannya dapat ditemukan Penerapan SMK3 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta Cikampek 2 Elevated dengan variabel penelitian komitmen dan kebijakan K3, perencanaan K3, pelaksanaan rencana K3, pengukuran dan evaluasi kinerja, serta tinjauan ulang dan peningkatan oleh pihak manajemen terhadap penerapan SMK3 telah sesuai dengan standar regulasi PP Nomor 50 Tahun 2012 dengan kategori penilaian diri dengan jumlah kriteria yang tercapai 163 kriteria dari total 166 kriteria penerapan tingkat lanjutan, dengan kata lain pencapaian penerapan sebesar 98,04% termasuk dalam kategori perusahaan dengan tingkat penilaian penerapan memuaskan. Pihak PT.X, khususnya pada proyek ini dapat mempertahankan dan meningkatkan penerapan SMK3.

Masribut dan Samuel Clinton (2016) melakukan analisis prosedur pelaksanaan pada pekerjaan di ruang terbatas (*confined spaces*) pada perbaikan tangki cpo di pt. Tunggal perkasa plantations air molek menggunakan metode Kualitatif dengan pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan teknik triangulasi data yaitu: triangulasi sumber (hasil wawancara), data (penelusuran dokumen) dan metode (observasi partisipatif dan dokumentasi) [4]. hasil penelitian ditemukan bahwa pelaksanaan penilaian dan pengendalian risiko pekerjaan ruang terbatas pada perbaikan tangki CPO belum berjalan sesuai dengan peraturan, karena kurangnya kesadaran manajemen perusahaan dalam membudayakan K3 pada pekerja serta kurang efektifnya pengawasan ahli K3 perusahaan ketika mengawasi pekerjaan yang berhubungan dengan ruang terbatas. Semua variabel tentang penilaian dan pengendalian risiko pekerjaan ruang terbatas belum terlaksanakan sesuai pedoman yang ada. Saran, mengoptimalkan peran SHE perusahaan dalam melakukan identifikasi masalah dan pengawasan saat bekerja untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan gangguan kesehatan kerja.

Suzana, Indragiri dan Yuttya pada penelitiannya “Manajemen risiko k3 menggunakan Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (hirarc)” juga menggunakan metode kualitatif berdasarkan desain penelitian studi kasus melakukan analisa menggunakan *Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control* (HIRARC) [5]. Penentuan Informan menggunakan purpose sampling. Terdapat 10 aktivitas kerja di ruang rawat inap psikiatri yang memiliki potensi bahaya, identifikasi bahaya yaitu pencahayaan, disinfektan, tertular penyakit HIV/AIDS, Hepatitis A, Hepatitis B, Tuberkulosis, postur tubuh yang salah, melakukan pekerjaan berulang, mendapat serangan pasien, sering kontak dengan pasien, panik, dan kerja berlebihan. Penilaian risiko diketahui 1 aktivitas kerja dengan risiko *extreme*, 7 aktivitas kerja dengan risiko high, 1 aktivitas kerja *moderate* dan 1 aktivitas kerja *low*.

Nelvi dan Handayani (2020) juga melakukan analisis kuantitas dan kualitas suhu udara di area produksi tambang batubara bawah tanah CV. Tahiti Coal 03 yang merupakan Penelitian terapan (*applied research*) dengan melakukan pengambilan data pengukuran menggunakan Gas Detector [6] . Pada tambang bawah tanah di CV. Tahiti Coal, temperatur udara di area kerja/produksi berada di atas ambang rata-rata yang diperbolehkan KEPMEN 555.K/26/M.PE/1995 yaitu berkisar antara 30°C-33°C. Kuantitas udara yang dibutuhkan satu front kerja adalah 0,2 m<sup>3</sup>/detik/orang atau 12m<sup>3</sup>/menit, dan kuantitas udara di lorong utama adalah 50,304 m<sup>3</sup>/s atau 3018 m<sup>3</sup>/menit. Sedangkan untuk kualitas pada lubang THC-03 masih terpenuhi untuk front kerja, dilihat dari hasil pengukuran menggunakan alat Gas Detector O<sub>2</sub> 20,9 %, H<sub>2</sub>S 0 ppm, CO 0 ppm, CH<sub>4</sub> 0 Lel.

Dari beberapa jurnal sebelumnya yang lebih banyak menggunakan metode kualitatif, terdapat perbedaan dalam beberapa hal. Diantaranya, pada Tempat penelitian yang merupakan pekerjaan konstruksi yang mempunyai banyak resiko khususnya pada pekerjaan confined space galian terowongan yang tentu saja mempunyai karakteristik dan metode kerja yang berbeda dari penelitian yang dilakukan oleh Afni, Nelvi dan Handayani (2020) di tambang batubara bawah tanah CV. Tahiti coal 03. Selain itu pada penelitian ini, tidak hanya dilakukan identifikasi terhadap Hazard atau resiko tetapi juga evaluasi terhadap penerapan sistem manajemen keselamatan kerja yang telah dilaksanakan apakah dapat dijalankan dengan efektif dan efisien.

## Landasan teori

### Confined space atau ruang terbatas

Sebuah pekerjaan dikatakan sebagai bekerja di ruang terbatas apabila seseorang bekerja di suatu ruangan yang cukup besar dan terbatas sehingga seorang pekerja dapat memasukinya dan melakukan pekerjaan di dalamnya, mempunyai jalan masuk dan keluar yang terbatas serta ruangan tersebut tidak digunakan untuk seseorang bekerja di dalamnya dalam jangka waktu yang lama [7]. Contoh pekerjaan di ruang terbatas diantaranya seperti tanki, lubang orang, silo, kubah, pipa, terowongan, bahkan galian di tanah yang dalamnya lebih dari 1,5 meter sudah termasuk dalam golongan ruang tertutup. Ada beberapa hal yang mengharuskan orang masuk ke dalam ruang tertutup, antara lain pemeliharaan (pencucian atau pembersihan); pemeriksaan; pengelasan, pelapisan dan perlindungan karat; perbaikan, penyelamatan dan memberikan pertolongan kepada pekerja yang cidera ataupun tersandung dari ruang tertutup; dan jenis pekerjaan lainnya yang mengharuskan orang masuk ke dalam ruang tertutup.

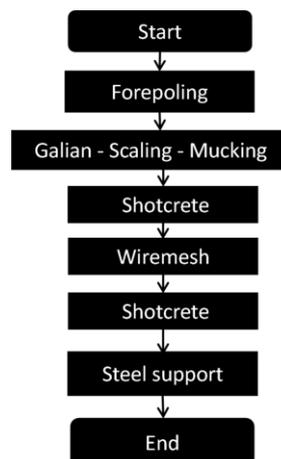
### Pengertian terowongan pengambilan

Terowongan pengambilan atau *intake* adalah struktur yang digunakan sebagai pengambilan air tampungan *reservoir* sekaligus mengatur debit yang diambil sehingga air tampungan bendungan dapat dimanfaatkan baik untuk irigasi, pembangkit listrik, maupun kebutuhan lainnya. Terowongan ini juga dilengkapi dengan tower yang merupakan struktur pelengkap bangunan pengambilan yang berbentuk tabung vertikal dengan satu atau lebih pintu bukaan yang digunakan untuk menangkap air dari *reservoir* dan membawanya hingga ke saluran irigasi, pembangkit listrik tenaga air atau pengolahan air maupun kebutuhan lainnya [8].

Pada proyek bendungan jlantah yang memiliki batuan dengan tingkat pelapukan I dan II tidak dapat digaruk (*ripping*) dengan bulldozer sekelas Caterpillar D-7 dilengkapi *single shank ripper*, atau alat sejenis. Massa batuan dengan tingkat pelapukan I dan II hanya dapat dipotong dengan menggunakan *drilling* dan *blasting*, *drilling* dan *wedging* atau *barring* atau menggunakan *rock breaker* (*excavator & hydraulic breaker* 1,3 ton). Apabila digunakan *rock breaker*, umumnya produktifitas kerjanya cukup rendah dan menimbulkan suara nyaring akibat benturan antara ujung *breaker* dengan batuan keras atau dengan alat sederhana seperti palu atau pahat. Namun lebih cepat dilakukan dibanding dengan metode *blasting* (peledakan) yang memiliki syarat pelaksanaan yang lebih banyak.

### Tahapan pelaksanaan

Pekerjaan galian akan dilakukan secara 2 arah dari inlet pengambilan di PG 02 dan outlet pengambilan di PG 11. Urutan pekerjaan galian di bangunan pengambilan secara umum dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Flowchart urutan pekerjaan galian tunnel pengambilan dengan mekanis

### Potensi risiko pekerjaan ruang terbatas

Bekerja di terowongan (*confined spaces*) merupakan salah satu jenis pekerjaan pada konstruksi yang memiliki risiko kecelakaan. Beberapa bahaya yang dapat ditemukan pada terowongan antara lain bahaya bahan kimia yang beracun dan

mudah terbakar, menurunnya atau meningkatnya kadar oksigen, suhu ekstrem, kebisingan, jalanan basah atau licin serta kejatuhan benda yang mengakibatkan dampak kecelakaan yang ringan hingga kematian [9].

### **Kurangnya atau berlebihannya kadar oksigen (O<sub>2</sub>) dalam udara**

Kadar kandungan oksigen (O<sub>2</sub>) dalam udara yang sehat adalah minimum 19.5% dan maksimum 23.5%. Bila kandungan O<sub>2</sub> dalam udara di bawah 19.5%, maka akan terjadi sesak nafas atau disebut menderita asphyxia, sedangkan bila kandungan O<sub>2</sub> dalam udara di atas 23.5%, akan sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia atau makhluk lain, karena pada konsentrasi di atas 23.5% O<sub>2</sub> sangat reaktif. Demikian pula untuk pekerjaan pengelasan, apabila O<sub>2</sub> nyadi atas 23.5% ada kemungkinan akan terjadi ledakan hebat.

### **Adanya kemungkinan gas-gas yang mudah terbakar :**

- *Methane* dan *hydrogen*, karena lebih ringan dari udara. Maka mereka ini akan berkumpul di bagian atas.
- *Acetylene*, berat hampir sama dengan udara, maka akan sangat mudah bercampur dengan udara.
- *Propane*, gas ini lebih berat dari udara, maka kalau ada bocor gas akan berkumpul di bagian bawah.
- Uap bensin / *gasoline* ini lebih berat dari udara, maka kalau ada bocoran bensin / *gasoline* uapnya akan berkumpul di bagian bawah.

### **Substansi beracun :**

- Karbon monoksida / *Carbon Monoxide* (CO)
- Hidrogen Sulfida / *Hydrogen Sulfide* (H<sub>2</sub>S)
- Uap Las / *Welding fumes*
- Korosif / *Corrosives*

### **Manhole :**

- *Manhole* yang sudah lama tertutup secara natural akan terjadi korosi akibat logam besi bereaksi dengan O<sub>2</sub> menghasilkan karat, sehingga mengakibatkan kadar O<sub>2</sub> dalam ruang tertutup tersebut turun, dan dapat terjadi pula gas-gas beracun seperti *Hydrogen*
- *Sulfide* (H<sub>2</sub>S) yang dapat terakumulasi di bagian bawah karena ia lebih berat dari udara. Manholes dapat juga mengakumulasi gas yang sangat mudah terbakar (*highly flammable gasses*) seperti metana dan etana. Gas-gas ini tidak dapat dilihat karena tidak berwarna. Secara tidak legal bahan beracun dan mudah terbakar (*Toxic & flammable material*) kadang-kadang disimpan dalam tangki penyimpanan, gas dari material tersebut dapat bocor, sehingga akan sangat membahayakan.

### **Bahaya-bahaya lainnya :**

- Bahaya listrik
- Bahaya mekanis: Pencampur semen/Mixers, Pemecahbatu/*Crushers*.

## **2. METODE**

Objek yang diteliti merupakan salahsatu pekerjaan konstruksi yang merupakan pekerjaan beresiko tinggi yaitu pekerjaan pembangunan terowong pengambilan yang dikategorikan sebagai ruang terbatas atau *confined space*. Adapun jenis data adalah kuantitatif karena berupa angka yang dapat dihitung dan sumber datanya adalah data primer berupa metode pekerjaan dan data hasil pengukuran kualitas udara. Sedangkan sumber data yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah data primer yang merupakan data langsung diperoleh dari objek penelitian dan masih harus diteliti lagi dan diolah. Data-data tersebut meliputi metode kerja dan data hasil pengamatan kualitas udara pada pekerjaan terowong pengambilan. Data-data diperoleh dari data riwayat pengukuran kualitas udara menggunakan alat *Gas Detector*. Waktu pengambilan data dilakukan saat pekerjaan galian terowong intake pada rentang waktu November 2020 dengan pembagian rentang waktu sebagai berikut:

- a. Jam 7.45 – 8.00 : Sebelum Pekerjaan dimulai
- b. Jam 9.00 – 10.00 : *Control* saat Pekerjaan
- c. Jam 12.45 – 13.00 : Sebelum pekerjaan dimulai setelah rehat
- d. Jam 14.00 – 15.00 : Kontrol saat pekerjaan
- e. Saat terjadi ketidaksesuaian

Dalam melakukan pengukuran inidibutuhkan 2 orang pengukur yang yang telah merupakan supervisor keselamatan kerja dan dilaksanakan bergantian sesuai *shift*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Prosedur kerja terowongan

Sebelum melaksanakan pekerjaan terowongan, ada beberapa hal yang harus menjadi perhatian dan dilaksanakan dengan sebaik-baiknya. Pelaksanaan pekerjaan dilakukan dengan prosedur kerja yang telah dibuat. Prosedur kerja pada pekerjaan terowongan *intake* di Proyek Bendungan Jlantah ini seperti pada gambar 1.



Gambar 2. Prosedur kerja terowongan

- Isolasi Ruang dan tes atmosfer

Sebelum memulai pekerjaan, pekerja kecuali yang bertugas untuk melakukan pengecekan dilarang memasuki ruang terbatas sampai selesai dilakukan pengecekan kualitas udara dan dinyatakan aman. Petugas biasanya akan memberikan lampu hijau sehingga pekerja dapat memulai pekerjaan atau memberikantanda lampu merah untuk menyatakan bahwa terdapat *unsave condition*.

- Ventilasi

Sirkulasi udara merupakan komponen penting dalam pekerjaan terowongan. Sebagai alat bantu menyalurkan oksigen kedalam dan mengeluarkan gas buang dari dalam diperlukan *Blower in* dan *out* serta *Ducting* sebagai saluran ventilasi. Ventilasi juga berfungsi mengurangi polusi yang terjadi di dalam pekerjaan terowongan.

- *Toolbox Meeting*

Selain sebagai bentuk koordinasi, *Toolbox meeting* bermanfaat menjadi sarana saling mengingatkan kepada seluruh pekerja untuk tetap dalam kondisi aman sebelum dilaksanakan pekerjaan. Dalam *Toolbox meeting* akan disampaikan program teknis pekerjaan hingga alat pelindung diri apa saja yang sesuai dengan pekerjaan terowongan sambil dilaksanakan pengecekan terhadap seluruh pekerja yang terlibat.

- *Work Permit*

Ijin Kerja merupakan syarat administrasi dan cheklist terhadap kelengkapan sebelum memulai pekerjaan agar sesuai dengan *Prosedure* dan instruksi kerja yang telah menjadi Standar pekerjaan.

#### Pengukuran kualitas udara

Setelah resiko pada pekerjaan terowongan pengambilan telah diidentifikasi menggunakan HIRADC (*Hazard Identification Risk Assesment & Determining Control*), lalu telah dilaksanakan pengendalian sesuai hirearki, maka selanjutnya perlu ada evaluasi yang menunjukkan bahwa dalam pekerjaan terowongan pengambilan masih terdapat resiko setelah dilakukan penilaian ulang terhadap risiko pada setiap item pekerjaan, evaluasi penilaian resiko akan ditampilkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Evaluasi Penilaian Resiko

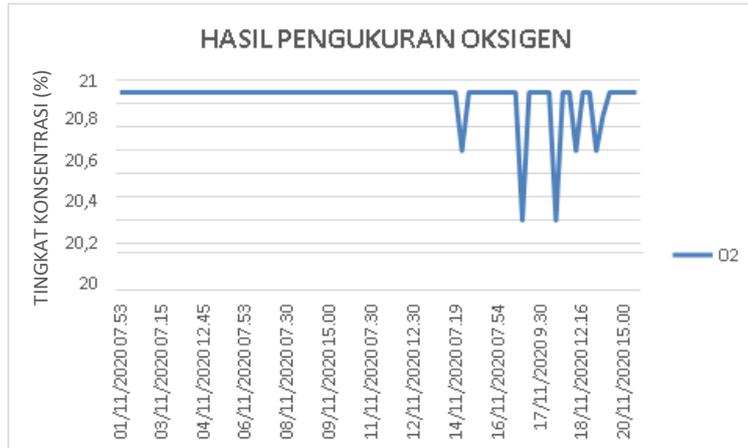
No	Aktivitas Alat/Material	Bahaya	EVALUASI				PENGENDALIAN TAMBAHAN
			Risiko Sisa				
			KM	KP	KMxKP	E/T	
1	2	3	12	13	14	15	16
1	Galian dengan alat berat. - Area galian - Excavator PC 75 - Tanah hasil galian.	Sesak Nafas Terhirup gas	2 2	3 3	6 6 Tinggi	P P	Blower in out tidak bisa dilakukan sesuai Standar karena kondisi terowongan sempit, Blower in menggunakan pipa pvc 4 inch. Pengecekan alat rutin, Jeda Waktu melakukan inspeksi awal terhadap area yang akan dikerjakan.
2	Pelaksanaan handling / angkutan material Area galian Wheel Loader	Sesak Nafas Terhirup gas	2 2	3 3	6 6 Tinggi	P P	Safety briefing ke pekerja, memberikan penjelasan mengenai teknis pekerjaan yg aman & kemungkinan bhy yg mungkin muncul.
3	Pelaksanaan Pengelasan Gudang Area perbaikan Tabung CO, LPG Sang Dampier	Sesak Nafas Terhirup gas	2 2	3 3	6 6 Tinggi	P P	terdapat IK terkait <i>confined space</i> & melakukan seram ringan sebagai peregrangan.
4	Pemasangan H-Beam Wheel Loader Slng pengikat	Sesak Nafas Terhirup gas	2 2	3 3	6 6 Tinggi	P P	Ada pengawasan dari mandor/pengawas Tidak terlalu lama di dalam terowongan (kurang lebih 40 menit)
5	Shotcrete Material semen Kompresor	Sesak Nafas	2	3	6 Tinggi	P	<i>Respirator &amp; Breathing apparatus</i>

Setelah dilakukan evaluasi, masih terdapat resiko sisa yang tinggi pada pekerjaan yang berhubungan dengan kualitas udara seperti pada pekerjaan galian yang didalam pekerjaannya menggunakan alat berupa *excavator* PC75 dengan polusi udara yang tinggi, pekerjaan pemasangan H-Beam yang merupakan *Support* dengan bahan baja yang tentu diperlukan pengelasan dalam instalasinya lalu pada pekerjaan *shotcrete* dengan bahan kimia (semen) yang bercampur di udara sehingga khususnya pada pekerjaan terowongan pengambilan diproyek bendungan jlantah perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut dengan pengukuran kualitas udara serta dilakukan pengendalian secara *Engineering Control*.

Resiko yang berhubungan dengan kualitas udara menunjukkan angka yang masih tinggi. Maka dalam hal ini perlu adanya data pengukuran lebih lanjut agar dapat diketahui mengenai kadar udara pada lingkungan kerja terowongan pengambilan. Pengukuran udara menggunakan alat *Gas Detector* yang dilakukan sebelum pekerja masuk, baik dipagi hari maupun setelah istirahat dan akan melakukan pekerjaan kembali agar dapat dipastikan pekerjaan dapat dilaksanakan dalam keadaan aman. Selanjutnya pengukuran udara dilaksanakan rutin setelah 2 jam pekerjaan atau saat dirasa asap/kondisi udara dalam keadaan yang tidak baik.

Berdasarkan Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja No. SE. 01/ Men/ 1997 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Kimia di udara Lingkungan Kerja, pada table di atas [10], terdapat kandungan CO yang telah melebihi ambang batas (Oksigen: 19,5 % s/d 23 %, Gas mudah terbakar: 10 % LEL, H2S: 10 ppm, CO: 35 ppm) pada tanggal 25 dan 27 November 2022 yaitu sebesar 40 dan 38 ppm. Selanjutnya dapat kita amati bahwa konsentrasi gas CO cukup fluktuatif, sedangkan kadar oksigen masih dalam batas yang aman.

Pengukuran kadar oksigen yang dilakukan dalam kurun waktu tanggal 1 sampai dengan 18 November 2020, kadar oksigen konsisten pada nilai angka 20,8 sampai dengan 21%. Kemudian pada tanggal 21, 25, 27, 28 dan 29 November terdapat perubahan nilai tetapi masih pada angka diatas 19,5%, sehingga masih dalam batas aman sesuai dengan ambang batas yang ditentukan oleh peraturan yang terkait. Grafik Hasil pengukuran kadar oksigen dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik Pengukuran Oksigen

Pengukuran kadar CO (karbon monoksida) yang dilakukan terdapat kenaikan kadar secara periodik tetapi masih dalam kadar dibawah ambang batas yaitu dibawah 35 ppm, namun ada kenaikan yang melebihi ambang batas yaitu pada tanggal 25 November 2022 sebesar 40 ppm dan tanggal 27 November 2022 sebesar 38 ppm. Kenaikan kadar CO yang signifikan terjadi pada saat aktifitas alat berat yang cukup intens. Hasil pengukuran kadar CO (karbon monoksida) dapat dilihat pada gambar 3.



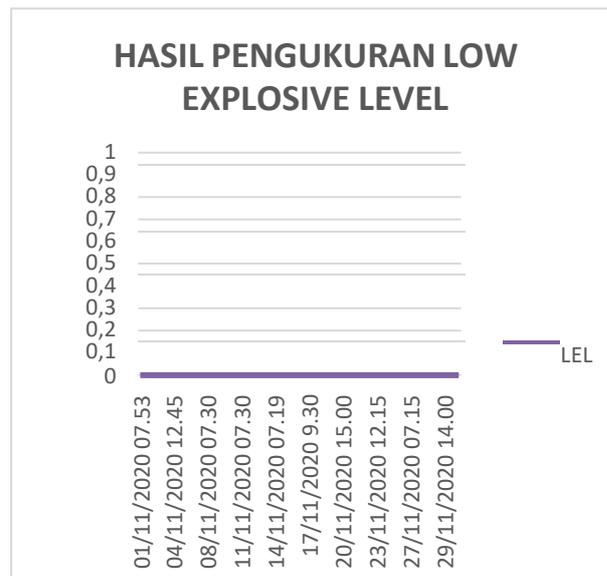
**Gambar 3.** Grafik Pengukuran Karbonmonoksida

Pada gambar 4 ditunjukkan hasil pengukuran gas H<sub>2</sub>S yang dilakukan pada pekerjaan terowong pengambilan yang dilaksanakan selama kurun waktu tanggal 1 sampai dengan 30 November 2020. Hasil pengukuran tidak pernah menunjukkan angka kenaikan, artinya didalam area kerja tidak terdapat gas H<sub>2</sub>S.



Gambar 4. Grafik Pengukuran H2S

Pada gambar 5 ditunjukkan hasil pengukuran tingkat *Low Explosive Level* (LEL) yang dilakukan pada pekerjaan terowong pengambilan yang dilaksanakan selama kurun waktu tanggal 1 sampai dengan 30 November 2020 tidak pernah menunjukkan angka kenaikan.



Gambar 5. Grafik Pengukuran *low Explosive Level*

Dari hasil penelitian dengan melakukan pemeriksaan kualitas udara pada saat pekerjaan terowongan di bendungan Jelantah Karanganyar ditemukan adanya kandungan CO yang melebihi nilai ambang batas bisa terjadi akibat sirkulasi udara yang tidak lancar atau hasil gas buang yang terlalu tinggi. Pada pelaksanaan pekerjaan galian terowongan ini tidak dapat digunakan *Blower* sesuai dengan standar karena ukuran terowongan relative kecil dengan lebar 3,4 m. Sirkulasi udara pada pekerjaan terowongan menggunakan *Blower* yang difungsikan sebagai penyedot udara dari luar (*Blower in*) dan dari dalam ke luar (*Blower out*) dilengkapi dengan *Ducting* sebagai saluran udara keluar dan Pipa PVC 8 in Sebagai penyalur udara masuk. Adanya pekerjaan pengelasan dan galian menggunakan alat *excavator PC75* dan *Wheel Loader* meningkatkan konsentrasi asap. Berdasarkan hasil pengukuran, pada kepulan asap yang dihasilkan alat berat mengandung karbon monoksida (CO) yang dapat berbahaya untuk pekerja jika terpapar lebih dari 35 ppm sehingga perawatan terhadap alat berat perlu rutin dilaksanakan agar memastikan besaran gas buang dari unit tersebut. Hasil evaluasi pada gas buang alat berat dan sirkulasi udara dapat dijadikan acuan dalam metode pelaksanaan yang sesuai dengan kondisi lapangan.

#### 4. KESIMPULAN

1. Pengendalian pekerjaan risiko tinggi terowongan pengelak proyek Bendungan Jlantah Kabupaten Karanganyar dilakukan dengan membuat dan melaksanakan pekerjaan sesuai Prosedur Kerja dan dilakukan pengukuran kualitas udara menggunakan alat gas *detector* dengan 4 (empat) indikator pengukuran yaitu; O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, dan LEL.
2. Hasil pengukuran kadar O<sub>2</sub> didalam area kerja menunjukkan fluktuasi namun tidak signifikan dan masih dalam ambang batas normal, sesuai dengan ketentuan legislasi. Hasil pengukuran kadar CO selama masa penelitian terdapat beberapa kali peningkatan diatas ambang batas sampai dengan 38 ppm dan 40 ppm dari nilai ambang batas yang diijinkan sebesar 35 ppm. Peningkatan kadar CO ini terjadi pada saat banyak aktifitas alat berat. Kemudian hasil pengukuran gas H<sub>2</sub>S dan LEL tidak ada peningkatan nilai atau tidak terdeteksi adanya gas H<sub>2</sub>S dan LEL terdeteksi nilai nol.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Pangkey, G. Y. Malingkas dan D. Walangitan, "Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) Pada Proyek Konstruksi di Indonesia (Studi Kasus: Pembangunan Jembatan Dr. Ir. Soekarno-Manado)," *Media Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 100 - 113, 2012.
- [2] B. Kurniawan, "PENGETAHUAN UMUM TENTANG RUANG TERBATAS ( CONFINED SPACE )," Sabtu Desember 2011. [Online]. Available: <http://h2ssafety.blogspot.co.id/>. [Diakses Rabu September 2023].
- [3] T. Srisantyorini dan R. Safitriana, "Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja," *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, vol. 16, no. 2, pp. 151-163, 2020.
- [4] M. dan S. Clinton, "ANALISIS PROSEDUR PELAKSANAAN PADA PEKERJAAN DI RUANG," *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, vol. 05, no. 02, pp. 41-49, 2016.
- [5] S. Indragiri dan T. Yuttya, "MANAJEMEN RISIKO K3 MENGGUNAKAN HAZARD IDENTIFICATION RISK ASSESSMENT AND RISK CONTROL (HIRARC)," *JURNAL KESEHATAN*, vol. 9, no. 1, pp. 39-52, 2018.
- [6] A. Nelvi dan . R. Handayani, "ANALISIS KUANTITAS DAN KUALITAS SUHU UDARA DI AREA," *Jurnal Sains dan Teknolog*, vol. 2020, no. -, pp. 94-97, 2020.
- [7] P. P. K. Direktorat Jenderal, *Pedoman Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Ruang Terbatas (confined space)*, Jakarta: Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi R.I, 2006.
- [8] K. P. PUPR, Modul Desain Bangunan Pelengkap, BANDUNG, 2017.
- [9] H. I. D. Purba, S. A. Munthe dan K. Manullang, "PENERAPAN PELAKSANAAN STANDAR KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA," *Hearty*, vol. 9, no. 1, pp. 30-35, 2021.
- [10] M. T. K. SE MENAKER NOMOR SE-01/MEN/1997 TENTANG NILAI AMBANG BATAS FAKTOR KIMIA UDARA DI LINGKUNGAN KERJA, Jakarta, 1997.
- [11] S. Nurfaizah, M. Risal dan M. Musfirah, "Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja," *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, vol. 11, no. 2, pp. 392-402, 2022.

## ANALISIS PROSES PERENCANAAN DAN PENGANGGARAN BELANJA MODAL DPU KOTA SEMARANG TAHUN ANGGARAN 2019

\*Muji Bagus Prastyo<sup>1</sup>, Antonius<sup>2</sup>, Abdul Rochim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

<sup>\*)</sup> Email: muji\_prastyo@yahoo.co.id<sup>1</sup>), Antonius@unissula.ac.id<sup>2</sup>), abdulrochim@unissula.ac.id<sup>3</sup>)

### ABSTRACT

*Presidential Regulation No. 54 of 2010 concerning Government Procurement of Goods/Services which is relatively more comprehensive is expected to be able to regulate order in the implementation of government procurement of goods and services. The government provides the widest opportunity for small businesses, micro-enterprises and cooperatives to take part in tenders for goods/services procurement work packages. The purpose of this study is divided into 2 (two) which are research stages, namely analyzing the effectiveness of the regional financial performance of the Semarang City Government, analyzing the efficiency of the regional financial performance of the Semarang City Government with variables. The type of research used in this research is research using quantitative methods with SWOT analysis and questionnaire methods, qualitative descriptive analysis by measuring the financial performance of the DPU Semarang City Government through the concepts of effectiveness and efficiency. Measurement is measured through a comparison of actual revenue with revenue budget. Based on the results of the analysis using SWOT analysis with IFAS and EFAS scores, it can be seen that the Planning and Budgeting of Capital Expenditures for the DPU for the City of Semarang for the 2019 Fiscal Year is located in Quadrant I. From the calculation of the effectiveness and efficiency of the DPU for the City of Semarang in 2019 it looks effective but not efficient, because it obtained the effectiveness value is 105.53% where the value indicates it is effective, and the efficiency value is 106.7% where the value indicates it is not efficient.*

**Keywords:** *Presidential Regulation No.54 of 2010, SWOT Method, IFAS, EFAS*

### ABSTRAK

Peraturan Presiden No.54 Tahun 2010 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah yang relatif lebih komprehensif diharapkan mampu untuk mengatur ketertiban dalam pelaksanaan pengadaan barang dan jasa Pemerintah. Pemerintah memberi peluang seluas-luasnya kepada usaha kecil, usaha mikro dan koperasi untuk mengikuti tender paket pekerjaan pengadaan barang/jasa. Tujuan dari penelitian ini terbagi menjadi 2 (dua) yang merupakan tahap penelitian, yaitu menganalisis efektivitas kinerja keuangan daerah Pemerintah Kota Semarang, menganalisis efisiensi kinerja keuangan daerah Pemerintah Kota Semarang dengan variabel. Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian dengan menggunakan metode kuantitatif dengan analisis SWOT dan metode kuisioner, analisis deskriptif kualitatif dengan mengukur kinerja keuangan DPU Pemerintah Kota Semarang lewat konsep efektivitas dan efisiensi. Pengukuran diukur melalui perbandingan realisasi pendapatan dengan anggaran pendapatan. Berdasarkan hasil analisa yang menggunakan analisa SWOT dengan skor IFAS dan EFAS dapat diketahui Perencanaan dan Penganggaran Belanja Modal DPU Kota Semarang Tahun Anggaran 2019 terletak pada Kuadran I. Dari perhitungan efektifitas dan efisiensi anggaran DPU Kota Semarang pada Tahun 2019 terlihat efektif tapi tidak efisien, karena didapatkan nilai efektifitas 105,53% dimana nilai tersebut menunjukkan sudah efektif, dan nilai efisiensi sebesar 106,7% dimana nilai tersebut menunjukkan tidak efisien.

**Kata Kunci:** *Peraturan Presiden No.54 Tahun 2010, Metode SWOT,IFAS, EFAS*

## 1. PENDAHULUAN

Latar belakang dikeluarkannya perubahan kedua Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2010 tersebut dalam rangka pelaksanaan pembangunan yang menjadi tanggung jawab Pemerintah perlu didukung oleh percepatan pelaksanaan belanja Negara, yang dilaksanakan melalui Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. Namun, evaluasi yang dilaksanakan terhadap Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2010 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Presiden Nomor 35 Tahun 2011 menunjukkan bahwa implementasi Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah masih menemui kendala yang disebabkan oleh keterlambatan dan rendahnya penyerapan belanja modal. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penyempurnaan kembali terhadap Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2010 dimaksud, yang ditekankan kepada upaya untuk memperlancar pelaksanaan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (de-bottleceking), dan menghilangkan multitafsir yang menimbulkan ketidakjelasan bagi para pelaku dalam proses Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. Dengan demikian, pengaturan mengenai tata cara Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah dapat dilaksanakan secara lebih efisien, dengan didukung oleh percepatan penyerapan anggaran.

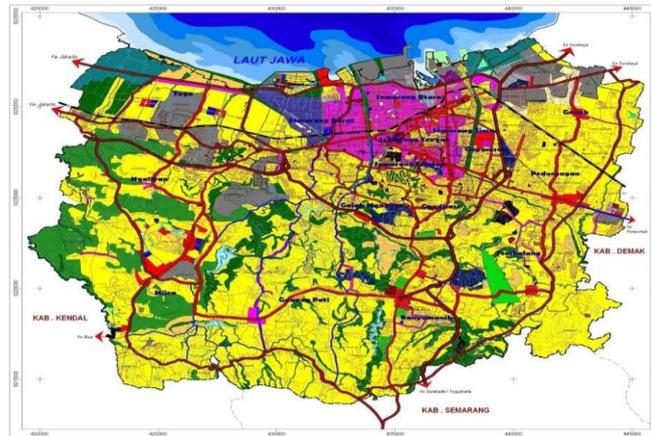
Strategi pemenang yang rumit ini umumnya dilacak dalam perolehan barang dan juga keuntungan yang dilakukan oleh pemerintah pusat atau negara bagian provinsi (akuisisi pemerintah), BUMN, dan bisnis milik swasta. Oleh karena itu, Pasal 22 PP No. 5 Tahun 1999 tidak hanya mencakup pelaksanaan akuisisi yang dilakukan oleh Badan Umum, tetapi juga pelaksanaan akuisisi yang dilakukan oleh badan usaha milik negara (BUMN/BUMD) dan badan usaha milik swasta. Berdasarkan Klarifikasi Pasal 22 Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1999, yang halus adalah usulan untuk mengajukan biaya untuk membeli suatu tugas, untuk memperoleh produk atau untuk menawarkan jenis bantuan. Dalam hal ini tidak disebutkan jumlah penawar (oleh beberapa atau oleh satu pelaku bisnis karena pengaturan langsung / keputusan politik).

Pedoman mengenai metodologi Perolehan Produk/Administrasi Pemerintah dalam Pedoman Dinas ini diyakini dapat lebih mengembangkan iklim usaha yang kondusif, kemampuan belanja negara, dan mempercepat pelaksanaan APBN/APBD. Demikian pula dengan Perolehan Barang Dagangan/Administrasi Pemerintah yang diarahkan oleh Pedoman Dinas ini diarahkan untuk memperluas pengaturan dengan usaha industri publik dan swasta, serta mendorong usaha negara yang imajinatif, kreatif, dan mandiri dengan menitikberatkan pada pemanfaatan usaha-usaha vital dalam negeri. Selain itu, pengaturan Produk/Administrasi Perolehan Pemerintah dalam Peraturan Daerah Nomor 54 Tahun 2010 dimaksudkan untuk memperluas tanggung jawab Pemerintah Daerah atas/pelakuan yang pelaksanaannya dilaksanakan melalui rencana pendampingan antara Pemerintah Pusat dan Negara Bagian Provinsi.

## 2. METODE PENELITIAN

### Lokasi penelitian

Lokasi penelitian pada penelitian yaitu di Kota Semarang, Adapun peta lokasi terdapat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Lokasi Penelitian

### Sumber data

Dalam penelitian yang dipimpin oleh analis memanfaatkan informasi penting. Informasi esensial itu sendiri adalah semakin lugasnya obyek pemeriksaan melalui catatan, keterangan tambahan dan penyidikan yang berhubungan dengan kelangsungan dan efektifitas penyajian Pemerintah Daerah Semarang. Sedangkan responden yang berasal dari populasi besar pegawai DPU di kota Semarang yang nantinya akan dirinci menggunakan pemeriksaan SWOT dengan teknik survey.

### Metode analisis data

Strategi eksplorasi yang digunakan adalah teknik pemeriksaan subyektif yang merencanakan untuk mengkuantifikasi penyajian keuangan DPU Pemda Semarang menurut sudut pandang kelayakan dan kemampuan.

#### 1. Renungan eksekusi

Presentasi ujian ini digunakan untuk mengukur kinerja administrasi keuangan provinsi, dalam hal ini Pemda Semarang. Proporsi ditentukan dengan membandingkan pengeluaran asli dan pembayaran yang direncanakan. Sebagaimana tercatat di bawah ini (Mahmudi, 2013: 86):

$$Efektifitas = \frac{Outcome (Realisasi Pendapatan)}{Output (Anggaran Pendapatan)} \times 100\%$$

Keterangan:

Outcome = Realisasi Pendapatan

Output = Anggaran Pendapatan

Untuk mengukur kelayakan penilaian yang sebenarnya, standar harus ditata sebagai patokan atau pola untuk memutuskan apakah penilaian dapat diatur dengan baik. Seperti yang dijelaskan oleh Mahmudi (2013: 111) pada Tabel 1.

Tabel 1. Rasio Efektifitas

Rasio Efektifitas (%)	Kriteria
$\geq$	Efektif
85-99	Cukup Efektif
65-84	Kurang Efektif
$\geq 65$	Tidak Efektif

Sumber: Mahmudi, 2013

Pada tabel 1 di atas dijelaskan klasifikasi rasio efektifitas dari yang efektif, cukup efektif, kurang efektif, dan tidak efektif.

## 2. Konsep Efisiensi

Analisis kinerja digunakan untuk mengetahui apakah suatu produk dikatakan efisien dengan mencapai output yang tinggi dengan input yang rendah. Dilihat dengan membandingkan pelaksanaan pengeluaran dan pelaksanaan pendapatan dalam kerangka Mahmudi (2013:85) yaitu:

$$Efisiensi = \frac{Output (Realisasi Belanja)}{Input (Realisasi Pendapatan)} \times 100\%$$

Keterangan:

*Output* = Realisasi Belanja

*Input* = Realisasi Pendapatan

Untuk menentukan derajat ketelitian pemeriksaan diharapkan dapat diterapkan norma-norma sebagai standar mutu. Dikatakan menarik jika memenuhi standar yang ditetapkan oleh Mahmudi (2013: 111) pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Rasio Efisiensi

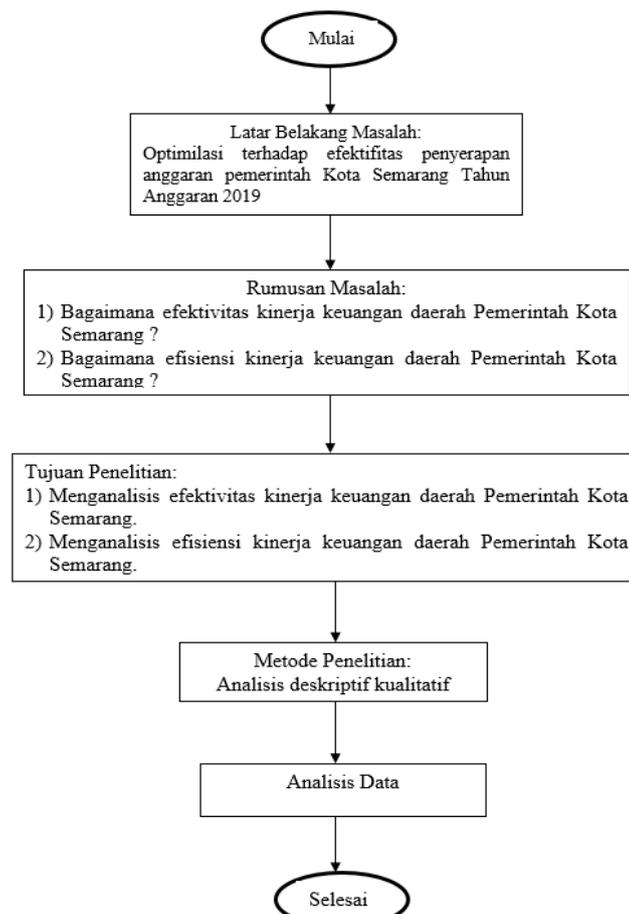
Rasio Efisiensi (%)	Kriteria
<90	Sangat Efisien
90-90	Efisien
100	Cukup Efisien
>100	Tidak Efisien

Sumber: Mahmudi, 2013

Pada tabel 2 di atas dijelaskan klasifikasi rasio efisiensi dari yang sangat efisien, efisien, cukup efisien, dan tidak efisien.

## Diagram alur penelitian

Tahapan peninjauan efektivitas penyusunan RKAP Rangka Perolehan Tugas 2019/2020 dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



**Gambar 2.** Rancangan Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Wilayah adminitrasi

Wilayah dan luas Kota Semarang memiliki luas 373,70 km<sup>2</sup>. Secara otoritatif, Kota Semarang terbagi menjadi 16 daerah dan 177 daerah. Diantara 16 kecamatan yang ada, terdapat 2 lokal dengan wilayah terbesar yaitu wilayah Mijen dengan luas 57,55 km<sup>2</sup> dan wilayah Gunungpati dengan luas 54,11 km<sup>2</sup>. Kedua kawasan ini terletak di bagian selatan dataran tinggi yang masih memiliki banyak potensi hortikultura dan pengembangan. Saat ini daerah dengan wilayah terkecil adalah Peraturan Semarang Selatan dengan luas 5,93 Km<sup>2</sup> dan Pusat Kota Semarang dengan luas 6,14 Km<sup>2</sup>.

Batas Kota Semarang ke arah barat adalah Rezim Kendal, ke arah timur bersatu dengan Aturan Demak, ke arah selatan bersengketa dengan Aturan Semarang dan ke arah utara beralih sepenuhnya ke Samudera Jawa yang berpantai 13,6 kilometer. Letak Wilayah dan Topografi Kota Semarang secara geologis terletak antara 6050' - 7010' Lingkup Selatan dan 109035' - 110050' Bujur Timur. Kota Semarang memiliki posisi geostrategis karena berada di balai keuangan Pulau Jawa dan merupakan jalur perbaikan Jawa Tengah dengan empat pintu masuk, yaitu Jalur Pantai Utara; Balai Selatan untuk kota-kota penting, misalnya Rezim Magelang Surakarta dikenal sebagai Lintasan Merapi-Merbabu, Balai Timur untuk Pemerintahan Demak/Grobogan; juga, Aturan Kendal yang menuju ke barat. Dalam perkembangan dan perkembangan Jawa Tengah, Semarang menjadi bagian penting, terutama dengan adanya pelabuhan, jaringan transportasi (kereta api dan jalan raya) dan pesawat yang dapat digunakan untuk transportasi di Jawa Tengah. kota. Jawa fokus. Kondisi lain yang kurang signifikan adalah daerah-daerah kekuatan bagi mereka yang berada di luar Jawa, khususnya sebagai titik fokus negara.

#### Data penelitian

**Tabel 3. Alokasi Anggaran Program Tahun 2019 DPU Kota Semarang**

No	Program	Anggaran	Presentase
1	Program Pelayanan Administrasi Perkantoran	Rp 13.930.757.000,00	4,00
2	Program Peningkatan Sarana Dan Prasarana Aparatur	Rp 5.212.498.486,00	1,50
3	Program Peningkatan Pengembangan Sistem Pelaporan Capaian Kinerja Dan Keuangan	Rp 108.490.000,00	0,03
4	Program Pengembangan Dan Pengelolaan Jaringan Irigasi, Rawa Dan Jaringan Pengairan Lainnya	Rp 22.036.934.500,00	6,33
5	Program Pengendalian Banjir	Rp 22.996.400.000,00	6,61
6	Program Pengembangan Wilayah Strategis Dan Cepat Tumbuh	Rp 38.750.000.000,00	11,14
7	Program Pembangunan Dan Pemeliharaan Sumber Daya Air	Rp 42.484.323.275,00	12,21
8	Program Pengadaan Dan Peningkatan Sarana Dan Prasarana SDA	Rp 901.680.000,00	0,26
9	Program Pembangunan dan Pemeliharaan Jalan dan Jembatan	Rp 160.384.491.539,00	46,10
10	Program Perencanaan dan Pengembangan Infrastruktur	Rp 11.006.748.200,00	3,16
11	Program Rehabilitasi Infrastruktur Wilayah	Rp 30.118.000.000,00	8,66
	Jumlah	Rp 347.930.323.000	100,00

Pada Tabel 3 alokasi anggaran program pada tahun 2019 DPU Kota Semarang yaitu sebesar Rp 347.930.323.000,00 yang meliputi Program Pelayanan Administrasi Perkantoran, Program Peningkatan Sarana Dan Prasarana Aparatur, Program Peningkatan Pengembangan Sistem Pelaporan Capaian Kinerja Dan Keuangan, Program Pengembangan Dan Pengelolaan Jaringan Irigasi, Rawa Dan Jaringan Pengairan Lainnya, Program Pengendalian Banjir, Program Pengembangan Wilayah Strategis Dan Cepat Tumbuh, Program Pembangunan Dan Pemeliharaan Sumber Daya Air, Program Pengadaan Dan Peningkatan Sarana Dan Prasarana SDA, Program Pembangunan dan Pemeliharaan Jalan dan Jembatan, Program Perencanaan dan Pengembangan Infrastruktur, Program Perencanaan dan Pengembangan Infrastruktur, Program Rehabilitasi Infrastruktur Wilayah.

#### Faktor-Faktor SWOT dalam Perencanaan dan Penganggaran Belanja Modal

Berdasarkan penelaahan terhadap pengaturan keuangan DPU Semarang dan rencana pengeluaran yang diuraikan oleh pemeriksa di atas, maka pemeriksaan lebih lanjut oleh pemeriksa dapat diperoleh faktor-faktor ke dalam dan ke luar yang dapat mempengaruhi pengaturan pengeluaran kas. Ini dapat dilacak di berbagai buku dan eksplorasi. Benda-benda itu mengerut menjadi dua kelompok, yaitu orang-orang yang akan menguatkan atau yang berkali-kali disebut kekuatan dan orang-orang yang akan menjadi tidak berdaya, tepatnya orang-orang yang akan disebut lemah. Variabel-variabel tersebut akan dipisahkan menjadi dua kelompok yang menggabungkan unsur-unsur yang akan menjadi pintu terbuka atau panggilan (potentially open doors) dan unsur-unsur lain yang akan menimbulkan risiko terhadap rencana keuangan dan rencana keuangan yang akan diperoleh dari kantor DPU kota Semarang, bernama (bahaya).

Faktor-faktor dalam yang terdiri dari kekuatan (Strength), diantaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Variabel Kepuasan SDM sebagai penghibur dalam pelaksanaan kemerdekaan wilayah;
- 2) unsur moneter sebagai alasan pelaksanaan kegiatan pemerintah daerah;
- 3) unsur yayasan dan dinas untuk membantu pelaksanaan kegiatan pemerintah daerah; Lebih-lebih lagi,
- 4) Unsur konstruksi hirarki dan pelaksana sebagai cara untuk melaksanakan administrasi.

Faktor Internal yang dapat memberikan kelemahan atau masuk dalam daftar kelemahan yaitu (*weakness*), diantaranya yaitu sebagai berikut:

- 1) Pelaksana SDM kurang berbakat
- 2) Kewajiban ekstra sebagai pengganti akuisisi perangkat keras
- 3) Pihak berwenang enggan mendapatkannya karena laporan penangkapan yang benar atas tuduhan penghinaan
- 4) Keraguan untuk menjadi pejabat perolehan karena adanya ketimpangan antara kesempatan kerja dan ketidakmerataan yang didapat
- 5) Ketentuan tentang pengaturan latihan bebas belum diatur.

Faktor Eksternal yang merupakan Peluang (*Opportunity*), diantaranya:

- 1) Strategi moneter dan pedoman terdekat
- 2) Perkembangan moneter, biaya pinjaman dan tingkat perdagangan uang
- 3) Laju perkembangan penduduk, keadaan ekologi sosial
- 4) Variabel inovatif yang dapat mempengaruhi perancangan
- 5) Variabel ekologi yang mungkin mempengaruhi latihan atau rencana
- 6) Variabel sah yang dapat mempengaruhi segala sesuatu yang berhubungan dengan pedoman

Faktor berikutnya yaitu faktor eksternal yang dapat mempengaruhi ancaman (*threat*), antara lain yaitu:

- 1) Redesain dalam pembentukan nilai-nilai yang dinilai sendiri (HPS)
- 2) Perjanjian tersebut belum disahkan karena berbagai masalah
- 3) Adanya penyesuaian perjanjian
- 4) Otoritas administrasi keuangan sering mengalami lockout.

Akhirnya, penundaan dalam mengubah stockpile cash (GUP) dapat menimbulkan kemunduran untuk pelaksanaan sistem berikutnya. Untuk membedah elemen-elemen yang telah dipahami dan tergambarkan tersebut, akan dipilih beberapa responden dan diketahui siapa yang dapat menangani masalah-masalah yang berkaitan dengan pengaturan dan perencanaan penggunaan modal.

**Tabel 4.** Hasil Penilaian Responden terhadap Faktor Internal yang menjadi Kekuatan (Strenght)

No	Faktor Internal	Ya	Tidak
1	unsur kualitas SDM sebagai penghibur dalam pelaksanaan kemandirian daerah;	9	1
2	Variabel moneter sebagai landasan pelaksanaan kegiatan pemerintah daerah;	10	0
3	Faktor kantor dan yayasan sebagai penunjang pelaksanaan penyelenggaraan pemerintahan lingkungan; lebih-lebih lagi,	10	0
4	Hirarki dan faktor eksekutif sebagai cara untuk melakukan administrasi.	7	3

Dari Tabel 4 hasil penilaian responden terhadap faktor internal yang menjadi kekuatan didapatkan data dari 10 responden yang paling banyak pada poin ke 3 dan ke 4.

**Tabel 5.** Hasil Analisa terhadap Faktor Internal yang akan menjadi Kekuatan (Strenght)

No	Faktor Internal	Ya	Bobot
1	unsur kualitas SDM sebagai penghibur dalam pelaksanaan kemandirian daerah;	9	0,25
2	Variabel moneter sebagai landasan pelaksanaan kegiatan pemerintah daerah;	10	0,28
3	Faktor kantor dan yayasan sebagai penunjang pelaksanaan penyelenggaraan pemerintahan lingkungan; lebih-lebih lagi,	10	0,28
4	Hirarki dan faktor eksekutif sebagai cara untuk melakukan administrasi.	7	0,19
	Total	36	1,00

Dari Tabel 5 hasil penilaian responden terhadap faktor internal yang menjadi kekuatan didapatkan data dari 10 responden yang memiliki bobot terbanyak yaitu sebesar 0,28 pada poin ke 3 dan ke 4.

**Tabel 6.** Hasil Penilaian Responden terhadap Faktor Internal yang menjadi Kekuatan (Strenght)

No	Faktor Internal	Nilai					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	unsur kualitas SDM sebagai penghibur dalam pelaksanaan kemandirian daerah;	0	1	0	4	5	4,3
2	Variabel moneter sebagai landasan pelaksanaan kegiatan pemerintah daerah;	0	0	0	4	6	4,6
3	Faktor kantor dan yayasan sebagai penunjang pelaksanaan penyelenggaraan pemerintahan lingkungan; lebih-lebih lagi,	0	0	1	5	4	4,3
4	Hirarki dan faktor eksekutif sebagai cara untuk melakukan administrasi.	1	2	1	4	2	3,4
	Total					36	1,00

Dari Tabel 6 hasil penilaian responden terhadap faktor internal yang menjadi kekuatan mendapatkan nilai rata-rata tertinggi yaitu pada poin ke 2 dengan nilai rata-rata 4,6.

**Tabel 7.** Hasil Analisa terhadap Faktor Internal yang menjadi Kekuatan (Strenght)

No	Faktor Internal	Bobot	Rating	Total
1	unsur kualitas SDM sebagai penghibur dalam pelaksanaan kemandirian daerah;	0,25	4,3	1,08
2	Variabel moneter sebagai landasan pelaksanaan kegiatan pemerintah daerah;	0,28	4,6	1,29
3	Faktor kantor dan yayasan sebagai penunjang pelaksanaan penyelenggaraan pemerintahan lingkungan; lebih-lebih lagi,	0,28	4,3	1,20
4	Hirarki dan faktor eksekutif sebagai cara untuk melakukan administrasi.	0,19	3,4	0,65
	Total	1,00	36	4,22

Data dari kuesioner tersebut diproses dan dipresentasikan dalam format tabel untuk setiap faktor yang akan dianalisis dalam analisis SWOT. Data kuesioner berdasarkan penilaian responden terhadap faktor kekuatan (strength) ditampilkan dalam Tabel 4.7 sampai Tabel 4.10 di bawah ini.

**Tabel 8.** Hasil Penilaian responden terhadap Faktor Internal yang akan menjadi Kelemahan pada faktor penelitian (*Weakness*)

No	Faktor Eksternal	Ya	Tidak
1	Kurang terampil dalam mengeksekusi SDM	3	7
2	Kewajiban simultan di tempat memperoleh juru masak	8	2
3	Pihak berwenang enggan mendapatkannya karena laporan penangkapan sebenarnya atas tuduhan pencemaran nama baik	6	4
4	Keraguan untuk menjadi perolehan resmi mengingat ketidaksesuaian antara risiko pekerjaan dan hadiah	5	5
5	Deklarasi tentang pengaturan pelaksanaan administrasi mandiri belum ditetapkan.	8	2

Hasil Penilaian responden terhadap Faktor Internal yang akan menjadi Kelemahan pada faktor penelitian (*Weakness*) terdapat 5 poin pertanyaan dengan 8 suara terbanyak yaitu pada poin ke 2 dan ke 5 dari 10 suara.

**Tabel 9.** Hasil Analisa terhadap Faktor Internal yang akan menjadi Kelemahan dalam faktor penelitian (*Weakness*)

No	Faktor Eksternal	Ya	Bobot
1	Kurang terampil dalam mengeksekusi SDM	3	0,1
2	Kewajiban simultan di tempat memperoleh juru masak	8	0,27
3	Pihak berwenang enggan mendapatkannya karena laporan penangkapan sebenarnya atas tuduhan pencemaran nama baik	6	0,2
4	Keraguan untuk menjadi perolehan resmi mengingat ketidaksesuaian antara risiko pekerjaan dan hadiah	5	0,17
5	Deklarasi tentang pengaturan pelaksanaan administrasi mandiri belum ditetapkan.	8	0,27
	Total	30	1,00

Hasil Penilaian responden terhadap Faktor Internal yang akan menjadi Kelemahan pada faktor penelitian (*Weakness*) terdapat 5 poin pertanyaan dengan bobot tertinggi yaitu senilai 0,27.

**Tabel 10.** Hasil Penilaian Responden yang sudah didapatkan terhadap Faktor Internal yang menjadi Kelemahan

No	Faktor Internal	Nilai					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	Kurang terampil dalam mengeksekusi SDM	4	3	2	1	0	2
2	Kewajiban simultan di tempat memperoleh juru masak	0	2	1	4	3	3,8
3	Pihak berwenang enggan mendapatkannya karena laporan penangkapan sebenarnya atas tuduhan pencemaran nama baik	2	2	1	3	2	3,1
4	Keraguan untuk menjadi perolehan resmi mengingat ketidaksesuaian antara risiko pekerjaan dan hadiah	3	2	0	3	2	2,9
5	Deklarasi tentang pengaturan pelaksanaan administrasi mandiri belum ditetapkan.	0	2	2	4	2	3,6

Hasil Penilaian responden terhadap Faktor Internal yang akan menjadi Kelemahan pada faktor penelitian (*Weakness*) dengan rata-rata tertinggi yaitu sebesar 3,8 pada poin 2 variabel kewajiban simultan ditempat memperoleh juru masak.

**Tabel 11.** Hasil Analisa terhadap Faktor Internal yang menjadi Kelemahan (*Weakness*)

No	Kurang terampil dalam mengeksekusi SDM	Bobot	Rating	Total
1	Kewajiban simultan di tempat memperoleh juru masak	0,1	2	0,20
2	Pihak berwenang enggan mendapatkannya karena laporan penangkapan sebenarnya atas tuduhan pencemaran nama baik	0,27	3,8	1,03
3	Keraguan untuk menjadi perolehan resmi mengingat ketidaksesuaian antara risiko pekerjaan dan hadiah	0,2	3,1	0,62
4	Deklarasi tentang pengaturan pelaksanaan administrasi mandiri belum ditetapkan.	0,16	2,9	0,46
5	Kurang terampil dalam mengeksekusi SDM	0,27	3,6	0,97
	Total	1,00		3,28

Output dari kuesioner yang tercantum pada tabel-tabel di atas akan dianalisis menggunakan metode SWOT untuk setiap faktor yang relevan. Selanjutnya, hasil kuesioner yang akan diperoleh berdasarkan penilaian yang telah diberikan oleh responden terhadap faktor peluang atau kesempatan akan ditampilkan pada Tabel 4.15 berikut ini.

**Tabel 12.** Hasil Penilaian Responden terhadap Faktor Internal yang menjadi Peluang (*Opportunity*)

No	Faktor Internal	Ya	Tidak
1	Strategi rencana pengeluaran dan pedoman lingkungan	10	0
2	Perkembangan keuangan, biaya pinjaman dan tingkat perdagangan tunai	9	1
3	Laju perkembangan penduduk, keadaan alam sosial	10	0
4	Elemen mekanik yang dapat mempengaruhi konservasi penataan	9	1
5	Faktor alam yang mungkin mempengaruhi gerakan atau rencana	9	1
6	Unsur-unsur hukum yang dapat mempengaruhi segala sesuatu yang berhubungan dengan pedoman	7	3

Dari tabel 12 hasil penilaian responden terhadap faktor internal yang menjadi peluang (*opportunity*) didapatkan suara terbanyak yaitu pada poin ke 2 laju perkembangan penduduk, keadaan alam sosial sebanyak 10 responden menyatakan setuju dan poin ke 1.

**Tabel 13.** Hasil Analisa terhadap Faktor Internal yang menjadi Peluang (*Opportunity*)

No	Faktor Internal	Ya	Bobot
1	Strategi rencana pengeluaran dan pedoman lingkungan	10	0,19
2	Perkembangan keuangan, biaya pinjaman dan tingkat perdagangan tunai	9	0,17
3	Laju perkembangan penduduk, keadaan alam sosial	10	0,19
4	Elemen mekanik yang dapat mempengaruhi konservasi penataan	9	0,17
5	Faktor alam yang mungkin mempengaruhi gerakan atau rencana	9	0,17
6	Unsur-unsur hukum yang dapat mempengaruhi segala sesuatu yang berhubungan dengan pedoman	7	0,13
TOTAL		54	1,00

Dari tabel 13 hasil penilaian responden terhadap faktor internal yang menjadi peluang (*opportunity*) didapatkan suara terbanyak yaitu pada poin ke 2 laju perkembangan penduduk, keadaan alam sosial sebanyak 10 responden menyatakan setuju dan poin ke 1 dengan bobot sebesar 0,19.

**Tabel 14.** Hasil Penelitian Responden terhadap Faktor Internal yang menjadi Peluang (*Opportunity*)

No	Faktor Internal	Nilai					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	Strategi rencana pengeluaran dan pedoman lingkungan	0	0	0	7	3	4,3
2	Perkembangan keuangan, biaya pinjaman dan tingkat perdagangan tunai	0	1	0	6	3	4,1
3	Laju perkembangan penduduk, keadaan alam sosial	0	0	1	5	4	4,3
4	Elemen mekanik yang dapat mempengaruhi konservasi penataan	0	1	2	3	4	4
5	Faktor alam yang mungkin mempengaruhi gerakan atau rencana	0	1	1	6	2	3,9
6	Unsur-unsur hukum yang dapat mempengaruhi segala sesuatu yang berhubungan dengan pedoman	1	2	0	5	2	3,5

Dari tabel 14 hasil penilaian responden terhadap faktor internal yang menjadi peluang (*opportunity*) didapatkan suara terbanyak yaitu pada poin ke 2 dan ke 1 dengan nilai rata-rata 4,3.

**Tabel 15.** Hasil Analisa terhadap Faktor Internal yang menjadi Peluang (*Opportunity*)

No	Faktor Internal	Bobot	Rating	Total
1	Strategi rencana pengeluaran dan pedoman lingkungan	0,19	4,3	0,82
2	Perkembangan keuangan, biaya pinjaman dan tingkat perdagangan tunai	0,17	4,1	0,70
3	Laju perkembangan penduduk, keadaan alam sosial	0,19	4,3	0,82
4	Elemen mekanik yang dapat mempengaruhi konservasi penataan	0,17	4	0,68
5	Faktor alam yang mungkin mempengaruhi gerakan atau rencana	0,17	3,9	0,66
6	Unsur-unsur hukum yang dapat mempengaruhi segala sesuatu yang berhubungan dengan pedoman	0,13	3,5	0,46
TOTAL		1,00		4,13

Hasil dari pengolahan kuisisioner yang telah diolah dalam Tabel 4.18 di atas untuk setiap faktor yang dianalisis dengan metode SWOT. Selanjutnya, hasil kuisisioner berdasarkan penilaian responden terhadap semua faktor eksternal yang merupakan ancaman (*threat*) akan ditampilkan dalam Tabel 4.19 di bawah ini sebagai penilaian responden terhadap faktor-faktor tersebut.

**Tabel 16.** Hasil Penilaian dari Responden terhadap Faktor Internal yang dapat menjadi Ancaman (*Threat*)

No	Faktor Internal	Ya	Tidak
1	desain dalam evaluasi yang dinilai sendiri (HPS)	5	5
2	Perjanjian tersebut belum disahkan karena masalah yang berbeda	4	6
3	Ada addendum perjanjian	2	8
4	Otoritas administrasi moneter sering mengalami perubahan. Kesimpulannya, Ubah Uang Tunai	8	2

Dari tabel 16 di atas Hasil Penilaian dari Responden terhadap Faktor Internal yang dapat menjadi Ancaman (*Threat*) 8 responden menyatakan tidak pada poin ke 3 dan 8 responden mengatakan ya pada poin ke 4.

**Tabel 17.** Hasil Analisa terhadap Faktor Eksternal yang menjadi Ancaman (*threat*)

No	Faktor Internal	Ya	Bobot
1	desain dalam evaluasi yang dinilai sendiri (HPS)	5	0,26
2	Perjanjian tersebut belum disahkan karena masalah yang berbeda	4	0,21
3	Ada addendum perjanjian	2	0,11
4	Otoritas administrasi moneter sering mengalami perubahan. Kesimpulannya, Ubah Uang Tunai	8	0,42
TOTAL		19	1,00

Hasil analisa terhadap faktor eksternal yang menjadi ancaman yang mendapat nilai tertinggi yaitu poin ke 4 sebesar 8 orang dengan bobot 0,42.

**Tabel 18.** Hasil Penilaian Responden terhadap Faktor Eksternal yang menjadi Ancaman (*Threat*)

No	Faktor Internal	Nilai					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	desain dalam evaluasi yang dinilai sendiri (HPS)	2	3	1	2	2	2,9
2	Perjanjian tersebut belum disahkan karena masalah yang berbeda	2	4	1	2	1	2,6
3	Ada addendum perjanjian	4	4	1	1	0	1,9
4	Otoritas administrasi moneter sering mengalami perubahan. Kesimpulannya, Ubah Uang Tunai	0	0	2	4	4	4,2

Hasil analisa terhadap faktor eksternal yang menjadi ancaman yang mendapat nilai tertinggi yaitu poin ke 4 sebesar 8 orang dengan nilai rata-rata 4,2.

**Tabel 19.** Hasil Analisa terhadap Faktor Eksternal yang menjadi Ancaman (*Threat*)

No	Faktor Internal	Bobot	Rating	Total
1	desain dalam evaluasi yang dinilai sendiri (HPS)	0,26	2,9	0,75
2	Perjanjian tersebut belum disahkan karena masalah yang berbeda	0,21	2,6	0,55
3	Ada addendum perjanjian	0,11	1,9	0,21
4	Otoritas administrasi moneter sering mengalami perubahan. Kesimpulannya, Ubah Uang Tunai	0,42	4,2	1,76
TOTAL		1,00		3,27

Hasil penilaian perspektif dalam dan luar yang kemudian akan disurvei digunakan untuk menunjukkan area strategi penilaian SWOT dalam Penilaian Siklus Penyusunan dan Perencanaan Spekulasi Kota Semarang Tahun Anggaran 2019, yang kuadran harus terlihat. Sejak saat itu, efek setelah evaluasi akan ditunjukkan pada Tabel 4.22 di bawah ini.

**Tabel 20.** SKOR IFAS dan EFAS Analisis Proses Perencanaan dan Penganggaran Belanja Modal Kota Semarang Tahun Anggaran 2019

IFAS		EFAS	
Kategori	Total Skor	Kategori	Total Skor
Kekuatan (S)	4,22	Peluang (O)	4,13
Kelemahan (W)	3,28	Ancaman (T)	3,27
Total (S-W)	0,94	Total (O-T)	0,86

Dari tabel 20 di atas didapatkan nilai IFAS dan EFAS dengan total skor selisihnya yaitu IFAS 0,94 sedangkan EFAS 0,86.

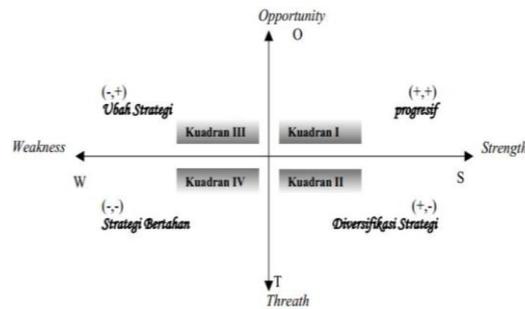
### Hasil Matrik SWOT

Berdasarkan hasil penilaian Tabel 4.23 dengan menggunakan penilaian SWOT dengan skor IFAS dan EFAS, maka dapat dilihat bahwa Penyusunan dan Perencanaan Pemanfaatan Modal Kota Semarang Tahun Anggaran 2019 terletak pada Kuadran I. Maka , pada saat itu, arah dapat ditentukan, khususnya:

Koordinat Analisa Internal: (S-W)/2 : (4,22-3,28)/2 : 0,47

Koordinat Analisa Eksternal: (O-T)/2 : (4,13-3,27) : (0,43)

Efek samping dari Penilaian SWOT kemudian dapat ditampilkan di Kotak SWOT yang dapat dilihat dari konsekuensi penilaian IFAS dan EFAS pada Tabel 4.24 di bawah ini. Teknik-teknik berdasarkan situasi di Kuadran I dapat dibedakan.



**Gambar 3.** Hasil Matrik SWOT

Teknik yang harus dihasilkan untuk Penataan dan Perencanaan Konsumsi Modal Kota Semarang Tahun Anggaran 2019 adalah bidang kekuatan yang serius untuk yang kritis. Saran strategi yang diberikan adalah Sedang, artinya Penyusunan dan Perencanaan Penggunaan Modal Kota Semarang Tahun Anggaran 2019 dalam persiapan yang sah. Sehingga sangat memungkinkan untuk terus menyelesaikan perpanjangan, mempercepat persiapan yang ada dan tepat seperti yang diharapkan.

**Tabel 21.** Matriks Strategi SWOT

		STRENGTH	WEAKNESS
<i>Internal</i>	<i>External</i>	1. Faktor kualitas SDM sebagai pelaku dalam penyelenggaraan otonomi daerah;	1. SDM pelaksana kurang kompeten
	<i>OPPORTUNITIES</i>	2. Faktor keuangan sebagai tulang punggung terselenggaranya aktivitas pemerintah daerah;	2. Rangkap tugas dalam jabatan panitia pengadaan
		3. Faktor sarana dan prasarana sebagai pendukung terselenggaranya aktivitas pemerintah daerah; dan	3. Ketakutan pejabat untuk melaksanakan pengadaan akibat pemberitaan penangkapan pejabat atas tuduhan korupsi
		4. Faktor organisasi dan manajemen sebagai sarana untuk melakukan penyelenggaraan pemerintah.	4. Keengganan untuk menjadi pejabat pengadaan karena tidak seimbang resiko pekerjaan dengan imbalan yang diterima
			5. SK penunjukan kegiatan swakelola belum ditetapkan.
	<i>THREATS</i>	<i>STRATEGI (STRENGTH- OPPORTUNITIES)</i>	
	1. Kesulitan dalam menentukan harga perkiraan sendiri (HPS)	1. Faktor kualitas SDM sebagai pelaku dalam penyelenggaraan otonomi daerah;	
	2. Kontrak belum ditandatangani karena berbagai permasalahan	2. Faktor keuangan sebagai tulang punggung terselenggaranya aktivitas pemerintah daerah;	
	3. Adanya addendum kontrak	3. Faktor sarana dan prasarana sebagai pendukung terselenggaranya aktivitas pemerintah daerah;	
	4. Pejabat pengelola keuangan sering mengalami mutasi.	4. Faktor organisasi dan manajemen sebagai sarana untuk melakukan penyelenggaraan pemerintah.	
		5. Kebijakan anggaran dan peraturan daerah	
		6. Pertumbuhan ekonomi, suku bunga dan nilai tukar mata uang	
		7. Tingkat pertumbuhan penduduk, kondisi lingkungan sosial	
		8. Faktor teknologi yang dapat mempengaruhi kelangsungan perencanaan	
		9. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi aktivitas atau rencana	
		10. Faktor hukum yang dapat mempengaruhi segala sesuatu yang berhubungan dengan aturan	

#### 4. KESIMPULAN

Melalui konsekuensi eksplorasi, cenderung disimpulkan bahwa:

1. Agar pelaksanaan keuangan Pemerintah Daerah Semarang dapat mengikuti tingkat kecukupan dan kemampuannya dalam RAPBN periode berikutnya, dengan membuat perencanaan pelaksanaan keuangan Pemerintah Daerah Semarang yang kuat dan efektif pada tahun-tahun berikutnya. .
2. Terkait dengan isu penurunan dan perluasan (bimbang) tingkat kecukupan dan kemampuan pelaksanaan keuangan DPU Pemda Semarang, perlu difokuskan pada leading assessment atau re-control dari DPRD terhadap proyek/kegiatan yang akan dilaksanakan. dilakukan, agar target pengakuan akurat dan memberdayakan penyajian keuangan Pemerintah Daerah Kota Semarang dalam waktu dekat dapat terus terprediksi dalam hal kelayakan dan efektivitas.
3. Agar analisis di masa mendatang dapat mendukung pemeriksaan ini dengan menggunakan teknik wawasan serupa atau penyelidikan yang lebih baik (tepat) terkait dengan pelaksanaan keuangan teritorial.

### Saran

1. Agar pelaksanaan keuangan Pemerintah Daerah Semarang dapat mengikuti tingkat kecukupan dan kemampuannya dalam RAPBN periode berikutnya, dengan membuat perencanaan pelaksanaan keuangan Pemerintah Daerah Semarang yang kuat dan efektif pada tahun-tahun berikutnya.
2. Mengenai masalah pengurangan dan perluasan (varians) dalam tingkat kelangsungan hidup dan kemampuan DPU daerah Pemda Semarang, penting untuk fokus pada penilaian terkemuka atau mendapatkan kembali dari Pemprov proyek/latihan yang akan diselesaikan, sehingga target pengakuan yang akurat dan pemberdayaan kinerja keuangan Pemda Semarang dalam waktu dekat dapat terus terprediksi kecukupan dan produktivitasnya.
3. Untuk analisis masa depan untuk memiliki pilihan untuk mendorong eksplorasi ini menggunakan strategi wawasan serupa atau penelitian yang lebih baik (tepat) terkait dengan eksekusi moneter lokal

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Presiden Nomor 54 Tahun 2010. N.D. Peraturan Presiden Republik Indonesia.
- [2] Permen Pu Nomor 45 Tahun 2008. N.D. "Permenpupr22-2018."
- [3] Perpres No. 70 Tahun 2012. N.D. Peraturan Presiden Republik Indonesia.
- [4] Pustaka Armstrong, Daftar, M. Dan Taylor, S. Kogan Page, M. J. Avedon, G. Scholes, K. Dan Backhaus,
- [5] S. Sarraf, M. And Bruneau, M. (1998). "Ductile seismic retrofit of steel deck-truss bridges, II: Design applications.". *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 124(11), 1263-1271
- [6] Tikoo, D. Boshard, And A. Dan Louw. 2014. *The Handbook Of Best Practices On Talent Management: Mengidentifikasi, Mengembangkan Dan Mempromosikan Orang Terbaik Untuk Menciptakan Keunggulan Organisasi*. Jakarta: Ppm. (Original Work Diterbitkan Tahun. Vol. 20. Harvard Business School Press.
- [7] Mardiasmo (2009) Dalam Sahala Purba 2021. N.D. "88-Article Text-225-1-10-20210227.
- [8] Sandri Dalam Gaghauna, Richard D. E., David P. E. Saerang, And Jessy D. L. Warongan. N.D. Analisis Belanja Modal Pemerintah Daerah Kabupaten Kepulauan Talaud.
- [9] Soekanto 2019. N.D. Soerjono Soekanto.
- [10] Sunaryo (2006). N.D. "Pengaruh Variabel-Variabel Karakteristik Anggaran Terhadap Efektifitas Pelaksanaan Anggaran Pada Pt. (Persero) Pelabuhan Indonesia Iii Drs. Agus Sunaryo, Mm Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Indonesia (Stiesia) Surabaya."
- [11] Tandiontong (2016) Dalam Gaghauna, Richard D. E., David P. E. Saerang, And Jessy D. L. Warongan. N.D. Analisis Belanja Modal Pemerintah Daerah Kabupaten Kepulauan Talaud.
- [12] UU No.5 Tahun 1999. 199ad. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli Dan Persaingan Usaha Tidak Sehat Dengan Rahmat Tuhan Yang Maha Esa Presiden Republik Indonesia, Menimbang.
- [13] UU No.32 Tahun 2004. N.D. "Uu No.32 Tahun 2004."

## OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PADA PROYEK BENDUNGAN (STUDI KASUS PADA PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN BENDO TAHAP 2)

\*Andiko Irhash Putra<sup>1</sup>, Kartono Wibowo<sup>2</sup>, M. Faiqun Ni'am<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang  
) Email: andiko.hashtra2@gmail.com

### ABSTRACT

*The implementation of a project cannot be separated from three factors: quality, time, and cost. The factors of time and cost can be carefully calculated and optimized. This is necessary to evaluate the performance of a project, making it a learning experience for future projects. This research aims to create an optimal reschedule and calculate the time effectiveness and cost efficiency of the reschedule made for the Bendo Dam Phase 2 project. The method used in this research is the crash program. The required data for this research includes the Cost Budget Plan (RAB), Time Schedule, and Monthly Project Reports. An analysis and optimization calculation are then conducted on alternative options for increasing overtime hours and adding labor, resulting in an optimal comparison of time and cost from several alternatives. The optimal reschedule using the crash program method involves adding labor with a cost efficiency of 99.34%, making it 0.66% more cost-efficient against the total cost, maintaining the normal duration, and completing the project in 662 days, which is 88 days faster than the normal duration.*

**Keyword:** Optimization, Crash Program, Effectiveness, Efficiency

### ABSTRAK

Pelaksanaan suatu proyek tidak akan terlepas dari tiga faktor yaitu mutu, waktu dan biaya. Faktor waktu dan biaya dapat dilakukan perhitungan yang cermat serta dapat dilakukan optimasi. Hal ini perlu dilakukan untuk melakukan evaluasi kinerja suatu proyek, sehingga menjadi pembelajaran pada proyek selanjutnya. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *reschedule* yang optimal serta menghitung efektifitas waktu dan efisiensi biaya terhadap *reschedule* yang dibuat pada proyek Bendungan Bendo Tahap 2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan *crash program* dengan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data Rencana Anggaran Biaya (RAB), *Time Schedule*, Laporan Bulanan Proyek. Kemudian dilakukan analisis dan perhitungan optimasi terhadap alternatif penambahan jam kerja lembur dan penambahan tenaga kerja sehingga didapatkan perbandingan waktu dan biaya yang optimal dari beberapa alternatif tersebut. *Reschedule* dengan metode *crash program* yang optimal adalah dengan melakukan penambahan tenaga kerja dengan biaya menjadi 99,34% atau lebih efisien sebesar 0,66 % terhadap total cost dengan durasi normal dan waktu pelaksanaan menjadi 662 hari atau lebih cepat selama 88 hari terhadap durasi normal.

**Kata kunci:** Optimasi, *Crash Program*, Efektifitas, Efisiensi

## 1. PENDAHULUAN

Pelaksanaan Pekerjaan Proyek Bendungan beberapa tahun belakangan sedang gencar-gencarnya dilakukan oleh pemerintah. Proyek bendungan merupakan salah satu pelaksanaan proyek yang bersifat unik, dimana tidak akan pernah persis sama dengan pekerjaan bendungan lainnya. Karena bersifat unik, maka untuk pengendalian proyek dibutuhkan suatu manajemen proyek. Didalam suatu lingkup manajemen proyek terdapat tiga faktor pembatas atau triple constraint yang dapat mempengaruhi manajemen proyek yaitu cost, scope dan time [1].

Pengendalian biaya dan waktu merupakan lingkup manajemen proyek yang utama oleh setiap kontraktor pelaksana, karena setiap proses bisnis adalah berorientasi kepada laba. Pengendalian biaya dilaksanakan sejak proyek dimulai agar pelaksanaan proyek lebih terukur dan terarah sesuai dengan target yang telah ditetapkan. Pada pelaksanaan proyek, juga dibutuhkan pengendalian waktu agar pelaksanaan pekerjaan bisa diselesaikan sesuai jadwal, sehingga dibutuhkan langkah-langkah untuk melakukan percepatan proyek jika terjadi kendala atau hambatan di lapangan. Salah satunya dengan metode *Crashing* yang mereduksi waktu pelaksanaan pada pekerjaan yang termasuk lintasan kritis [2], sehingga waktu pelaksanaan bisa sesuai dengan jadwal waktu yang direncanakan atau lebih cepat dari rencana serta dengan biaya yang lebih optimal.

Penelitian ini melakukan perhitungan percepatan pelaksanaan proyek dengan metode *crashing* yang dibandingkan dengan realisasi biaya dan waktu penyelesaian proyek. Percepatan pelaksanaan proyek dengan metode *crashing* akan didapatkan pemahaman sejauh mana pengaruh biaya percepatan terhadap faktor upah pada sebuah pekerjaan bendungan dengan pekerjaan timbunan *maindam* sebagai pekerjaan utama.

### Tinjauan pustaka

Penelitian-penelitian terdahulu telah banyak menggunakan metode *crashing* seperti penelitian oleh [3] dengan menghasilkan durasi percepatan dan biaya percepatan secara optimal, serta penelitian oleh [4] dengan menghasilkan durasi percepatan apabila dilakukan penambahan jam kerja sebanyak satu jam. Beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 0. berikut :

**Tabel 0.** Penelitian Terdahulu

No	Judul	Tujuan	Metode Riset	Hasil Riset
1	Analisis Waktu dan Biaya dengan Metode <i>Crashing</i> , <i>Overlapping</i> dan Gabungan <i>Crashing Overlapping</i> (Studi Kasus Proyek Pembangunan Bendungan Bendo Lanjutan di Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur). [2]	Menganalisis waktu dan biaya proyek	Metode <i>Crashing</i> dan metode <i>overlapping</i>	Waktu dan biaya akibat percepatan yang optimum adalah dengan menggunakan metode gabungan <i>crashing</i> dan metode <i>overlapping</i>
2	Analisa Percepatan Proyek Metode <i>Crash Program</i> Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung <i>Mixed Use Sentraland</i> . [3]	Mencari Lintasan Kritis, Menganalisa Biaya dan Waktu, Menentukan pekerjaan yang dilakukan percepatan, Mengevaluasi dampak percepatan	Metode <i>Crashing</i>	Lintasan kritis pada pekerjaan struktur atas, Terjadi kenaikan biaya setiap penambahan waktu percepatan, durasi optimal adalah dengan percepatan 12 hari, dampak yang terjadi adalah kenaikan biaya 0,51% dan mempengaruhi mutu, lingkungan dan K3
3	Analisa Optimalisasi Waktu Proyek Dengan Metode <i>Crash Program</i> Pada Proyek Rumah Sakit Di Kota Tangerang. [4]	Mengetahui Jumlah Waktu yang dipercepat	Metode kuantitatif deskriptif menggunakan CPM	Penambahan waktu 1 jam membuat penyelesaian proyek 16 hari lebih cepat
4	Optimasi Waktu dan Biaya Percepatan Proyek Menggunakan Metode <i>Time Cost Trade Off</i> dengan Alternatif Penambahan Tenaga Kerja dan Jam Kerja (Lembur). [5]	Mengetahui biaya proyek yang lebih ekonomis untuk mempercepat durasi proyek	Metode <i>Time Cost Trade Off</i> dan Metode <i>Crashing</i>	Alternatif yang lebih ekonomis adalah penambahan tenaga kerja
5	Percepatan Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi dengan Metode CPM dan TCTO. [6]	Mengetahui percepatan waktu setelah <i>crashing</i> dan penambahan biaya	Metode <i>Time Cost Trade Off</i> dan Metode <i>Crashing</i>	Percepatan waktu selama 26 hari dengan kenaikan biaya Rp. 19.923.466

### Landasan teori

Manajemen adalah salah satu ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang seni memimpin organisasi mulai dari kegiatan perencanaan, pelaksanaan serta pengendalian terhadap sumber daya yang terbatas dalam mencapai tujuan dan sasaran dengan efektif dan efisien [7]. Sedangkan pengertian proyek adalah suatu rangkaian kegiatan yang bersifat unik yang hanya dilaksanakan sekali dengan pelaksanaan yang umumnya mempunyai waktu pendek dan terbatas [8]. Menurut [9] proyek merupakan rangkaian kegiatan yang terorganisir dari gabungan berbagai sumber daya untuk mencapai sasaran dalam jangka waktu tertentu/terbatas.

Optimasi adalah proses pencarian satu atau lebih solusi dan menerapkan solusi terbaik sehingga diperoleh suatu kegiatan yang lebih optimal [10]. Efektifitas waktu adalah kemampuan mengatur suatu kegiatan sehingga dapat mengalokasikan waktu yang tepat dengan memanfaatkan sumber daya yang ada. Efisiensi biaya merupakan suatu usaha dengan memaksimalkan sumber daya yang ada untuk mengurangi pemborosan biaya. *Crash program* atau percepatan pelaksanaan pekerjaan dapat diartikan dengan mempersingkat waktu pelaksanaan proyek [11].

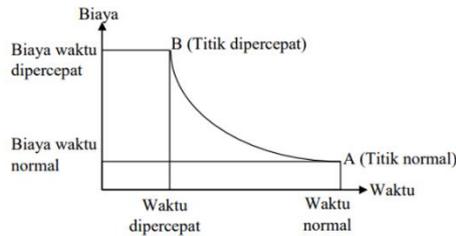
### Percepatan proyek

Proses *crashing* atau percepatan proyek merupakan proses mereduksi atau mengurangi durasi suatu pekerjaan secara maksimal yang dapat mempengaruhi waktu penyelesaian proyek dengan biaya yang paling ekonomis [12]. Percepatan proyek dilakukan karena dua hal yaitu karena permintaan owner/pemilik proyek supaya pekerjaan dilakukan lebih cepat dari jadwal yang ditentukan, dan yang kedua dikarenakan terjadi keterlambatan proyek sehingga diperlukan percepatan pekerjaan agar waktu penyelesaian tetap sama dengan jadwal yang sudah ditetapkan.

Untuk melakukan percepatan pekerjaan proyek dapat dilakukan dengan beberapa alternatif yaitu [13] :

- a. Penambahan jam kerja (Lembur)
- b. Pembagian giliran kerja
- c. Penambahan tenaga kerja
- d. Penambahan/pergantian peralatan
- e. Pergantian atau perbaikan metode kerja
- f. Konsentrasi pada kegiatan tertentu
- g. Kombinasi dari alternatif yang ada

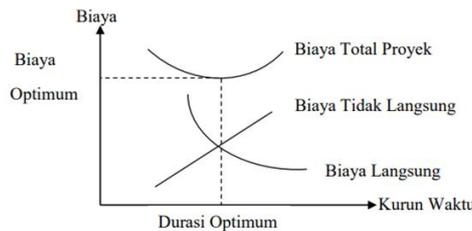
Pada percepatan proyek, akan mempengaruhi biaya total penyelesaian proyek yang terdiri dari biaya langsung dan biaya tidak langsung. Hubungan antara biaya terhadap waktu normal dan terhadap waktu dipercepat dapat dilihat pada Gambar 1 :



**Gambar 1.** Grafik hubungan waktu-biaya normal dan dipercepat untuk suatu kegiatan [14]

Pada Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan jam kerja (lembur), maka akan semakin cepat waktu penyelesaian proyek, serta tambahan biaya yang dikeluarkan juga semakin besar.

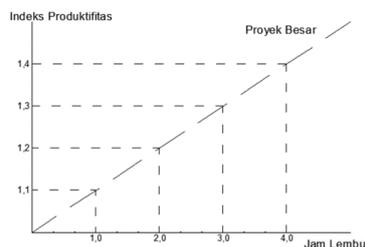
Sedangkan hubungan waktu dengan biaya total, biaya langsung dan biaya tidak langsung dapat dilihat pada Gambar 2 :



**Gambar 2.** Grafik hubungan waktu dengan biaya total, biaya langsung, dan biaya tidak langsung [14]

### Penambahan jam kerja (lembur)

Sesuai dengan grafik indeks penurunan produktivitas jam lembur oleh [14], semakin besar penambahan jam lembur semakin turun produktivitasnya seperti pada **Gambar 3** :



**Gambar 3.** Grafik Indeks Penurunan Produktivitas Jam Lembur [14]

Dari Gambar 3 dapat diuraikan sebagai berikut [15] :

1. Produktivitas Harian = volume/(durasi normal)
2. Produktivitas Tiap Jam = (Produktivitas)/(Jam kerja per hari)
3. Produktifitas harian akibat kerja lembur  
 = (jam kerja per hari x Produktivitas tiap jam) + ( a x b x produktivitas tiap jam)  
 a = jumlah penambahan jam kerja (lembur)  
 b = koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja (lembur)

**Tabel 2.** Koefisien Penurunan Produktifitas [14]

Jam lembur	Penurunan indeks produktivitas	Prestasi kerja (%)
Jam ke 1	0,1	90
Jam ke 2	0,2	80
Jam ke 3	0,3	70
Jam ke 4	0,4	60

4. *Crash Duration* = volume (produktivitas harian sesudah *crashing*)

### Pelaksanaan penambahan tenaga kerja

Perhitungan kebutuhan penambahan tenaga kerja dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

1. Jumlah tenaga kerja normal = (Koefisien tenaga kerja x volume)/(durasi normal)
2. Jumlah Tenaga kerja dipercepat = (Koefisien tenaga kerja x volume)/(durasi dipercepat)

### Biaya tambahan pekerja (crash cost)

Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor KEP. 102/MEN/VI/2004 menyatakan untuk upah penambahan waktu kerja mempunyai nilai yang bervariasi yaitu : untuk satu jam pertama, upah pekerja mempunyai nilai 1,5 kali upah perjam pada waktu normal serta untuk penambahan waktu kerja berikutnya dengan nilai upah 2 kali upah perjam waktu normal [15].

Perhitungan untuk biaya tambahan pekerja dapat dirumuskan sebagai berikut [15] :

1. Normal Upah Per hari = Produktifitas harian x harga satuan upah pekerja
2. Normal upah pekerja per jam = Produktifitas perjam x harga satuan upah pekerja
3. Biaya Lembur Pekerja = (1,5 x upah perjam normal untuk 1 jam pertama lembur) + (2 x n x upah perjam normal untuk penambahan jam kerja lembur berikut nya)  
n = jumlah penambahan jam kerja
4. *Crash Cost* pekerja per hari = (jam kerja per hari x normal *cost* pekerja) + (n x biaya lembur per jam)
5. *Cost Slope* = (*Crash cost*-*Normal Cost*)/(Durasi Normal-Durasi *Crash*)

## 2. METODE

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode *crashing* dengan mereduksi waktu pelaksanaan pekerjaan yang termasuk ke dalam lintasan kritis sehingga didapat durasi percepatan dengan biaya yang optimal. Analisis data yang dilakukan adalah dengan membandingkan empat alternatif, yaitu penambahan 3 jam kerja lembur, penambahan 2 jam kerja lembur, penambahan 1 jam kerja lembur serta penambahan tenaga kerja. Keempat alternatif tersebut akan dihitung percepatan waktu yang terjadi serta menghitung perubahan biaya akibat percepatan tersebut. Alternatif yang akan dipilih adalah dengan biaya yang paling efisien.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Lingkup pekerjaan proyek bendungan bendo lanjutan

Untuk lingkup pekerjaan utama pada pekerjaan Pembangunan Bendungan Bendo Lanjutan dapat dilihat pada Tabel berikut :

**Tabel 3.** Lingkup Pekerjaan Proyek Pembangunan Bendungan Bendo Lanjutan

No.	Uraian Pekerjaan	Bobot
1	Pekerjaan Persiapan	0.36
2	Jalan Masuk	1.72
3	Terowong Pengelak	0.58
4	Bendungan Utama	89.54
5	Bangunan Pelimpah	3.83
6	Bangunan Pengambilan	0.36
7	Pemasangan Hidromekanikal	1.90
8	Clearing Area Genangan	1.70
<b>TOTAL</b>		<b>100.00</b>

### Analisis crashing terhadap biaya langsung dan biaya tidak langsung

Analisis terhadap biaya langsung dan biaya tidak langsung dihitung pada kondisi pekerjaan dan biaya normal serta kondisi setelah *crashing*. Perhitungan biaya pada kondisi normal didapatkan dari koefisien bahan, upah dan alat pada analisa harga satuan pekerjaan.

Berdasarkan analisa harga satuan pekerjaan timbunan inti (Zona 1) dapat dihitung koefisien untuk Biaya Langsung dan Biaya Tidak Langsung pada pekerjaan Timbunan Inti (Zona 1) sebagai berikut :

$$\text{Koefisien Direct Cost} = (\text{Rp. } 78.734,54)/(\text{Rp. } 86.607,99) = 0,9091$$

$$\text{Koefisien Indirect Cost} = (\text{Rp. } 4.724,07)/(\text{Rp. } 86.607,99) = 0,0545$$

Dari koefisien tersebut dapat dihitung Biaya Langsung dan Biaya Tidak Langsung pada seluruh nilai kontrak dengan durasi normal seperti perhitungan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Total Direct Cost} &= 0,9091 \times \text{Nilai Adendum 2} \\ &= 0,9091 \times \text{Rp. } 287.227.881.576,87 \\ &= \text{Rp. } 261.118.867.141,53 \\ \text{Total Indirect Cost} &= 0,0545 \times \text{Nilai Adendum 2} \\ &= 0,0545 \times \text{Rp. } 287.227.881.576,87 \\ &= \text{Rp. } 15.653.919.545,94 \\ \text{Total Cost} &= \text{Total Direct Cost} + \text{Total Indirect Cost} \\ &= \text{Rp. } 261.118.867.141,53 + \text{Rp. } 15.653.919.545,94 \\ &= \text{Rp. } 276.772.786.687,47 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, maka bisa dihitung biaya tidak langsung (*indirect cost*) per hari seperti berikut :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Tidak Langsung Per hari} &= (\text{Total Indirect Cost})/(\text{Durasi Normal}) \\ &= (\text{Rp. } 15.653.919.545,94)/(750 \text{ hari}) \\ &= \text{Rp. } 20.871.892,73 \end{aligned}$$

Pada penelitian ini terdapat 4 (empat) alternatif *crashing* dengan posisi biaya yang berbeda setiap alternatifnya seperti pada perhitungan berikut :

1. Penambahan 3 jam kerja lembur berdasarkan Nilai *Total Cost Slope* dan Durasi *Crash*, dapat dihitung sebagai berikut :

- a.  $\begin{aligned} \text{Total Direct Cost} &= \text{Normal Direct Cost} + \text{Total Cost Slope} \\ &= \text{Rp. } 261.118.867.141,53 + \text{Rp. } 9.712.106.087,80 \\ &= \text{Rp. } 270.830.973.229,33 \end{aligned}$
- b.  $\begin{aligned} \text{Total Indirect Cost} &= \text{Rp. } 20.871.892,73 \times 618 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 12.898.829.705,85 \end{aligned}$
- c.  $\begin{aligned} \text{Total Cost} &= \text{Total Direct Cost} + \text{Total Indirect Cost} \\ &= \text{Rp. } 270.830.973.229,33 + \text{Rp. } 12.898.829.705,85 \\ &= \text{Rp. } 283.729.802.935,19 \end{aligned}$

2. Penambahan 2 jam kerja lembur berdasarkan Nilai *Total Cost Slope* dan Durasi *Crash*, dapat dihitung sebagai berikut :

- a.  $\begin{aligned} \text{Total Direct Cost} &= \text{Normal Direct Cost} + \text{Total Cost Slope} \\ &= \text{Rp. } 261.118.867.141,53 + \text{Rp. } 6.306.519.587,80 \\ &= \text{Rp. } 267.425.386.729,33 \end{aligned}$
- b.  $\begin{aligned} \text{Total Indirect Cost} &= \text{Rp. } 20.871.892,73 \times 637 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 13.295.395.667,68 \end{aligned}$
- c.  $\begin{aligned} \text{Total Cost} &= \text{Total Direct Cost} + \text{Total Indirect Cost} \\ &= \text{Rp. } 267.425.386.729,33 + \text{Rp. } 13.295.395.667,68 \\ &= \text{Rp. } 280.720.782.397,02 \end{aligned}$

2. Penambahan 1 jam kerja lembur berdasarkan Nilai *Total Cost Slope* dan Durasi *Crash*, dapat dihitung sebagai berikut :

- a.  $\begin{aligned} \text{Total Direct Cost} &= \text{Normal Direct Cost} + \text{Total Cost Slope} \\ &= \text{Rp. } 261.118.867.141,53 + \text{Rp. } 2.474.207.587,80 \\ &= \text{Rp. } 263.593.074.729,33 \end{aligned}$
- b.  $\begin{aligned} \text{Total Indirect Cost} &= \text{Rp. } 20.871.892,73 \times 673 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 14.046.783.805,89 \end{aligned}$
- c.  $\begin{aligned} \text{Total Cost} &= \text{Total Direct Cost} + \text{Total Indirect Cost} \\ &= \text{Rp. } 263.593.074.729,33 + \text{Rp. } 14.046.783.805,89 \\ &= \text{Rp. } 277.639.858.535,22 \end{aligned}$

3. Penambahan tenaga kerja berdasarkan Nilai *Total Cost Slope* dan Durasi *Crash*, dapat dihitung sebagai berikut :

- a.  $\begin{aligned} \text{Total Direct Cost} &= \text{Normal Direct Cost} + \text{Total Cost Slope} \\ &= \text{Rp. } 261.118.867.141,53 + \text{Rp. } 0 \\ &= \text{Rp. } 261.118.867.141,53 \end{aligned}$

- b. *Total Indirect Cost* = Rp. 20.871.892,73 x 662 hari  
 = Rp. 13.817.192.985,88
- c. *Total Cost* = *Total Direct Cost* + *Total Indirect Cost*  
 = Rp. 261.118.867.141,53 + Rp. 13.817.192.985,88  
 = Rp. 274.936.060.127,42

**Tabel 4.** Rekapitulasi Waktu dan Biaya

No	Alternatif	Durasi (Hari)	Direct Cost		Indirect Cost (Rp)	Total Cost (Rp)	% Thd Durasi Normal
			Normal Direct Cost (Rp)	Total Cost Slope (Rp)			
			a	b	c	d = a + b + c	en = dn/d1
1	Normal	750	261,118,867,141.53	-	15,653,919,545.94	276,772,786,687.47	100.00%
2	3 Jam Kerja Lembur	618	261,118,867,141.53	9,712,106,087.80	12,898,829,705.85	283,729,802,935.19	102.51%
3	2 Jam Kerja Lembur	637	261,118,867,141.53	6,306,519,587.80	13,295,395,667.68	280,720,782,397.02	101.43%
4	1 Jam Kerja Lembur	673	261,118,867,141.53	2,474,207,587.80	14,046,783,805.89	277,639,858,535.22	100.31%
5	Tambah Tenaga Kerja	662	261,118,867,141.53	-	13,817,192,985.88	274,936,060,127.42	99.34%

Dari Tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa total biaya yang paling efisien untuk keperluan percepatan pelaksanaan adalah dengan penambahan tenaga kerja dengan persentase terhadap nilai kontrak adalah sebesar 99,34 %.

**Pembahasan percepatan proyek dengan crash program**

Berdasarkan Tabel , didapatkan hasil pengolahan data sebagai berikut :

- Dari hasil perhitungan didapatkan *total cost* dengan durasi normal adalah Rp. 276.772.786.687,47 dengan durasi waktu pekerjaan 750 hari kalender.
- Total cost* dengan *crashing* penambahan 3 jam lembur adalah Rp. 283.729.802.935,19 dengan durasi waktu pekerjaan 618 hari kalender. *Total Cost* naik sebesar 2,51 % dengan waktu dipercepat selama 132 hari kalender.
- Total cost* dengan *crashing* penambahan 2 jam lembur adalah Rp. 280.720.782.397,02 dengan durasi waktu pekerjaan 637 hari kalender. *Total Cost* naik sebesar 1,43 % dengan waktu dipercepat selama 113 hari kalender.
- Total cost* dengan *crashing* penambahan 1 jam lembur adalah Rp. 277.639.858.535,22 dengan durasi waktu pekerjaan 673 hari kalender. *Total Cost* naik sebesar 0,31 % dengan waktu dipercepat selama 77 hari kalender.
- Total cost* dengan *crashing* penambahan tenaga kerja sebanyak 1,15 kali adalah Rp. 274.936.060.127,42 dengan durasi waktu pekerjaan 662 hari kalender. *Total Cost* turun sebesar 0,66 % dengan waktu dipercepat selama 88 hari kalender

**4. KESIMPULAN**

- Berdasarkan Tabel *reschedule* dan *Crash program* pekerjaan dengan biaya yang optimal adalah melakukan penambahan tenaga kerja karena terjadi efisiensi biaya (biaya 99,34% dari waktu normal), sedangkan alternatif lain terjadi kenaikan biaya menjadi lebih dari 100%.
- Berdasarkan Tabel , waktu pelaksanaan yang terjadi dengan *reschedule* penambahan tenaga kerja adalah 662 hari, lebih cepat 88 hari dari waktu normal (750 hari) serta efisiensi biaya menjadi 99,34% atau turun sebesar 0,66% terhadap biaya dengan durasi normal.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] R. Auzan, D. Rizky, S. and F. Kistiani, "Pengendalian Biaya dan Waktu Proyek dengan Metode Konsep Nilai Hasil (Earned Value)," *Jurnal Karya Teknik Sipil, Volume 6, Nomor 4*, pp. 460-470, 2017.
- [2] M. A. Umar, K. Wibowo and R. Mudiyo, "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)," *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, vol. Vol. 2 No. 5, pp. 24-43, 2021.
- [3] R. R. B. Adi, D. E. Traulia, M. A. Wibowo and F. Kistiani, "Analisa Percepatan Proyek Metode Crash Program Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Mixed Use Sentraland," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 5, p. 148 – 158, 2016.
- [4] S. Haq, S. Abadiyah and P. Dimastoro, "Analisa Optimalisasi Waktu Proyek Dengan Metode Crash Program Pada Proyek Rumah Sakit Di Kota Tangerang," *Structure Teknik Sipil*, vol. Volume 1, pp. 1-6, 2019.

- [5] T. E. Saragi and R. U. A. Situmorang, "Optimasi Waktu dan Biaya Percepatan Proyek Menggunakan Metode Time Cost Trade Off dengan Alternatif Penambahan Tenaga Kerja dan Jam Kerja (Lembur)," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. Vol. 1 No. 2, 2022.
- [6] C. Z. Oktaviani,, I. A. Majid and R. , "Percepatan Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi dengan Metode CPM dan TCCTO," *Inersia*, vol. Vol. 11 No. 1, pp. 33-40, 2019.
- [7] A. B. Siswanto and M. A. Salim, *Manajemen Proyek*, Semarang: CV. Pilar Nusantara, 2019.
- [8] E. Wiratmani and G. Prawitasari, "Penerapan Metode Jalur Kritis Dalam Penyusunan Jadwal Pelaksanaan Proyek Pembangunan Fasilitas Rumah Karyawan," *Faktor Exacta 6(3)*, pp. 210-217, 2013.
- [9] W. A. Nugroho, K. Yakin, M. O. B. and H. A. D. Weking, "Analisis Pengaruh Keterlambatan Waktu Terhadap Biaya Menggunakan Earned Value Concept (Pada Proyek Jetty di Pulau Waibalun, Flores Timur)," *Narotama Jurnal Teknik Sipil Volume 3*, 2019.
- [10] I. Berlianty and M. Arifin, *Teknik teknik optimasi Heuristic*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [11] H. Irwan, "Crash Program Jalur Kritis Dengan Cara Overlapping (Study Review)," *Sigma Teknika*, vol. 2, pp. 14-19, 2019.
- [12] W. I. Ervianto, *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*, Yogyakarta: Andi, 2004.
- [13] D. Kartikasari, "Pengendalian Biaya dan Waktu dengan Metode Earned Value (Studi Kasus : Proyek Struktur dan Arsitektur Production Hall-02 Pandaan)," *Extrapolasi Jurnal Teknik Sipil Untag Surabaya Vol. 7 No. 2*, pp. 107-114, 2014.
- [14] I. Soeharto, *Manajemen Proyek*, Jakarta: Erlangga, 1997.
- [15] N. A. Husein and A. Musyafa, "Analisis Percepatan Proyek Konstruksi Dengan Metode Penambahan Jam Kerja Pada Pembangunan Villa Graha Internal Malang," *Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil (KPSTS) FTSP UII*, 2018.

## ANALYSIS OF CONFIGURATION OF PILE GROUP ON SUPPORTING CAPACITY AND PILE EFFICIENCY IN TANJUNG BALAI FLAT CONSTRUCTION

\*M. Husni Malik Hasibuan<sup>1</sup>, Jupriah Sarifah<sup>2</sup>, Ferdi Irawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Universitas Islam Sumatera Utara, Medan

<sup>\*</sup>Email: husnihasibuan@ft.uisu.ac.id

### ABSTRACT

*In the Tanjung Balai Flats creation project, the inspiration used is a mini pile basis with a set pile device. The organization pile device on the inspiration within the creation of this flat is deliberate to have an exclusive wide variety of piles, particularly piles, 3 piles, 4 piles. Therefore, on this look at diverse pile configurations might be completed with the aid of using modelling exclusive configurations with the equal wide variety of piles as the development of this flat. Furthermore, the sporting ability and performance values might be as compared that is the first-class value. Calculations on this look at had been the usage of the direct method (Direct One) and the pile performance component for the evaluation of the pile bearing ability. The calculation is accomplished primarily based totally at the soil statistics received within the shape of sondir statistics. The significance of the pile performance value ( $E_g$ ) in a pile organization is encouraged with the aid of using the pile arrangement, the wide variety of rows, the wide variety of piles in a single row, and the pile distance inclusive of the three pile configuration of the project (V3) has an performance value ( $E_g$ ) = 0,817 and ( $Q_g$ ) = 205.27 whilst the evaluation of the layout pile (V3-1) has an performance value ( $E_g$ ) = 0.861 and ( $Q_g$ ) = 216.32. From the calculation effects it could be concluded that the effect of organization pile configuration at the pile bearing ability is encouraged with the aid of using the significance of the pile performance ( $E_g$ ), the more the pile performance, the more the sporting ability.*

**Keywords:** foundation; configuration; foundation bearing capacity; efficiency; sondir.

### ABSTRAK

Pondasi yang digunakan pada proyek pembangunan Rumah Susun Tanjung Balai adalah pondasi mini pile dengan sistem group pile. Sistem tiang pancang pada pondasi pada pembangunan rumah susun ini direncanakan memiliki jumlah tiang yang berbeda yaitu dua tiang, tiga tiang, empat tiang. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan berbagai konfigurasi tiang pancang dengan memodelkan konfigurasi yang berbeda dengan jumlah tiang yang sama dengan pembangunan rumah susun ini. Selanjutnya akan dibandingkan nilai daya dukung dan efisiensi yang merupakan nilai terbaik. Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan metode langsung (*Direct One*) dan faktor efisiensi tiang untuk analisis daya dukung tiang. Perhitungan dilakukan berdasarkan data tanah yang diperoleh berupa data sondir. Besarnya nilai efisiensi tiang ( $E_g$ ) pada kelompok tiang dipengaruhi oleh susunan tiang, jumlah baris, jumlah tiang dalam satu baris, dan jarak tiang seperti konfigurasi proyek 3 tiang (V3) memiliki nilai efisiensi ( $E_g$ ) = 0,817 dan ( $Q_g$ ) = 205,27 sedangkan analisis desain tiang pancang (V3-1) memiliki nilai efisiensi ( $E_g$ ) = 0,861 dan ( $Q_g$ ) = 216,32. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa pengaruh konfigurasi group pile terhadap daya dukung tiang dipengaruhi oleh besarnya efisiensi tiang ( $E_g$ ), semakin besar efisiensi tiang maka daya dukung tiang semakin besar.

**Kata kunci:** Pondasi, Konfigurasi, Daya tumpang pondasi, Efisiensi, Sondir

## 1. INTRODUCTION

All construction engineered to rest on the ground must be supported by a foundation. The foundation is part of an engineering system that transmits the load supported by the foundation and its own weight into the soil and rock that lies below it.

The soil conditions in Tanjung Balai are generally in the form of soft peat slabs and the surface layer contains organic materials as a result of weathering of wood (original vegetation). This condition provides a low soil bearing capacity for a construction system to be built on it. Meanwhile, soil with better bearing capacity can only be found at a depth of 5 - 10 meters. To overcome the condition of the unfavourable soil bearing capacity, preliminary works are carried out to improve the bearing capacity of the soil, such as replacing the poor soil with better soil, using piles or stabilizing the soil with more appropriate methods.

The organization pile machine can't be separated from the pleasant configuration making plans to get an excessive cost of bearing potential and coffee agreement. Therefore, on this examine diverse pile configurations can be executed with the aid of using modelling one-of-a-kind configurations with the equal quantity of piles as the development of this flat. Furthermore, the cost of bearing potential and pile agreement can be as compared that is the pleasant cost in order that the end result of this multiplication can be used because the bearing potential of the foundation.

The purpose of writing this thesis is to determine the effect of group pile configuration on the pile bearing capacity and pile efficiency. The group pile system on the foundation in the construction of this flat has a different number of piles, namely two, three, and four piles. The group pile system cannot be separated from the best configuration planning to get a high value of bearing capacity and low settlement. Therefore, in this study various pile configurations will be carried out by modelling different configurations with the same number of piles as the construction of this flat. Furthermore, the

value of the carrying capacity and efficiency of the pile will be compared which is the best. From these known results, it is hoped that it can recommend the use of pile groups on soft soils that are more efficient and have better bearing capacity.

### **Pile**

Piles are creation components fabricated from wood, concrete, and/or steel, which might be used to transmit (transmit) floor masses to decrease floor degrees withinside the soil mass [1]. The function and use of the pile foundation is to transfer or transfer loads from the construction above it (super structure) to a very deep layer of hard soil [2]. The angle of inclination that can be achieved by the pole depends on the tool used and is also adjusted to the plan.

Piles are generally used [3]:

1. To lift construction loads above the ground into or through a layer of soil. In this case vertical loads and lateral loads may be involved.
2. To oppose the upward force, the overturning force, as for the sole of the basement below the saturated water boundary or to support the tower legs against overturning.
3. Compresses loose cohesive deposits through a combination of pile displacement and thrust vibration. These piles can be pulled out later.
4. Controls deflection/sliding when the feet are spread out or the sole is on the edge of the soil or underlain by a layer of high compression.
5. As a safety factor for encroachment under bridge supports and/or piers, especially if erosion is a potential problem.
6. In offshore construction to transmit loads above the water surface through the water and into the soil underlying the water. This applies to piles that are embedded as and which are affected by both vertical and buckling loads and lateral loads.

### **Types and conditions of foundation supporting soil**

Soil is a collection of particles of various sizes. Soil is produced as a by-product of mechanical and chemical weathering of rocks where some of these particles are given special names such as gravel, silt, clay and so on [4].

Soil consists of solid particles with water and air filling the empty spaces between the solid particles. Soil as a supporting medium for the foundation has different characteristics according to the type and condition of the soil. Various parameters that affect soil characteristics include: grain size, specific gravity, moisture content, density, void ratio, and so on which can be determined through laboratory investigations.

The value of the shear strength of the soil indicates the magnitude of the bearing capacity of the soil. The value of the shear strength of the soil is influenced by the soil cohesion and the shear angle of the soil. If the sheer force acts on a soil mass where the normal stress ( $\sigma$ ) also acts, then the value of the shear stress ( $\tau$ ) will increase due to deformation until it reaches the limit value. If this limit value is connected with different normal stresses ( $\sigma$ ), a straight line will be obtained. The shear strength of this soil can be simplified in the form of the following equation by Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Description:

- $\tau$  : Soil shear strength ( kg/cm<sup>2</sup>).
- $c$  : soil cohesion (kg/cm<sup>2</sup>).
- $\sigma$  : Normal stress on the ground (kg/cm<sup>2</sup>).
- $\phi$  : Ground shear angle (°).

The cohesion value ( $c$ ) is the magnitude of the attractive force between soil particles, while the soil shear angle ( $\phi$ ) is the resistance to shifting soil particles. The value of  $c$  and in a soil sample can be determined through soil shear testing in the soil mechanics laboratory. Soil shear strength can be divided into values that depend on the shear resistance between the soil particles and the surface cohesion of the soil particles.

### **Types and criteria for use of piles**

In planning the foundation of a construction, several types of foundations can be used. The selection of the type of foundation used is based on several things:

1. The function of the superstructure to be borne by the foundation.
2. The magnitude of the load and the weight of the superstructure.
3. The condition of the land where the building is erected.
4. The cost of the foundation compared to the superstructure.

Of the several types of foundations that can be used, one of them is the pile foundation. Pile foundation serves to move or transfer loads from the construction above it to a deeper soil layer. Criteria for the use of piles used for a building foundation are very dependent on the following conditions [5]:

1. The sub grade under the building has no carrying capacity (eg offshore development).
2. The sub grade under the building is not able to bear the load of the building above it or hard soil that is able to carry the load away from the ground surface.

3. Development on uneven ground.
4. Meets the need to withstand the upward thrust.
5. Types of piles can be grouped according to the way the load is transferred into the ground and according to the load used.

### Driving equipment

To drive the piles into the ground, a pile is used. Basically, there are three types of piles, namely:

1. Drop hammer  
Drop hammer is a heavy hammer that is placed at a certain height above the hammer pole and then released and falls on the top of the pole, to avoid being damaged by this impact, a cap or cap is attached to the head of the pile as an energy barrier or shock absorber. Usually the stamp is made of wood.
2. Diesel hammer  
This type of pile driving tool is simpler than other hammers. The diesel hammer has a single cylinder with two diesel engines, pistons, or rams, fuel tank, oil tank, fuel pump, injectors, and engine lubricant.
3. Hydraulic Hammer  
The way this hammer works is based on the pressure difference in the hydraulic fluid. One of the hammers of this type is used to drive H steel pile foundations and steel slab foundations by gripping, pushing and pulling.

### Static cone penetration test (Sondir)

Static cone penetration test or sondir test is widely used in Indonesia. This test is very useful for obtaining the value of variations in the density of sandy soils that are not compacted. In dense sandy soils and gravel and rocky soils, the use of sondir tools becomes ineffective, because they have difficulty penetrating the soil. The values of static cone resistance or cone resistance ( $q_c$ ) obtained from the test can be directly correlated with the bearing capacity of the soil and settlement of shallow foundations and pile foundations [6].

Advantages of sondir test:

- Quite economical and fast.
- Can be repeated with relatively similar results.
- Empirical correlation that is proven to be more reliable.
- The development is increasing, especially with the addition of sensors in electric sondir.

Disadvantages of sondir test:

- No soil samples were obtained.
- Limited penetration depth.
- Cannot penetrate gravel or dense layers of sand.

The Cone Penetration Test (CPT) or sondir (ASTM D-3441) is a method of assessing the stratigraphy of the subsurface layer associated with soft materials, organic materials (peat), materials that have the potential to melt (liquefiable) such as: clay, sand, and round rocks and landslides (landslides).

### Carrying capacity

Carrying capacity analysis studies the soil in supporting the load on the foundation of the structure located above it. Bearing capacity expresses the shear resistance of the soil to resist settlement due to loading, i.e. the shear resistance that the soil can exert along its shear planes. According to Deka [7], regarding the Study of the Effect of Pile Group Configuration on the Carrying Capacity of Soil for Reinforcement of Road Foundations in Peat Soil, it is stated that in the science of soil improvement, several soil improvement methods have been known, both primitive/traditional and those already using advanced technology. Because development work is limited in cost, cheap but stable repair methods still require innovation that will continue to develop. An improvement method is usually only suitable for certain conditions, among others, according to the type of soil [8].

### Bearing capacity of single pile

Pile bearing capacity is the ability or capacity of the pile to support the load. For pile bearing capacity of static cone test (CPT) or sondir [9]. Calculation of the pile bearing capacity is carried out using the direct method or direct one by Mayerhoff, Tomlinson, Begemann., with the following equation:

$$Q_u = q_c \cdot A_p + JHL \cdot K_t \quad (2)$$

Description :

- $Q_u$  = Single pile bearing capacity (ton)
- $q_c$  = Prisoners end sondir (ton/m<sup>2</sup>)
- $A_p$  = Base cross-sectional area (m<sup>2</sup>)
- JHL = Amount of sticky resistance or total friction
- $K$  = Pole circumference

### Group pile bearing capacity

The value of the group pile bearing capacity can be obtained using the pile efficiency factor with *Converse Labarre* method expressed by the equation [10]:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \quad (3)$$

Description :

$Q_g$  = Group pile bearing capacity

$E_g$  = Pile group efficiency

$n$  = Number of poles in the group

$Q_u$  = Single pile bearing capacity

### Pillar permit bearing capacity

To obtain the permissible bearing capacity of the pile, the ultimate bearing capacity of the pile is divided by a certain safety factor. The bearing capacity of the piles that have been widely used for the design of single piles by *Terzaghi* method is as equation follows:

$$Q_a = \frac{Q_u}{F} \quad (4)$$

Description:

$Q_a$  = Pile bearing capacity

$Q_u$  = Single pile bearing capacity

$F$  = Safe factor value

Permitted pile bearing capacity that has been widely used for group pile design is as follows (4):

$$Q_{ga} = \frac{Q_g}{F} \quad \text{for } Q_u \cdot n > Q_g$$

$$Q_{ga} = \frac{Q_u \cdot n}{F} \quad \text{for } Q_u \cdot n < Q_g$$

Description:

$Q_{ga}$  = Pile group permit bearing capacity

$Q_u$  = Single pile bearing capacity

$n$  = Number of poles per group

### Safety factor

To obtain the capacity of the tip of the pile, it is necessary to have an ultimate capacity divisor which is called a certain safety factor. This safety factor needs to be given with the aim of:

1. To provide security against the uncertainty of the calculation method used.
2. To provide safety against variations in shear strength and compressibility of the soil.
3. To ensure that the pile material is safe enough to support the working load.
4. To ensure that the total settlement that occurs in a single pile or pile group is still within the tolerance limits.
5. To ensure that non-uniform settlement between piles is within tolerance limits.

## 2. RESEARCH METHOD

### Research sites

The location of this research was taken at the apartment construction project in TanjungBalai, Jalan SyehAgul, Sei Raja, Sei TualangRaso, TanjungBalai City. This location can be reached with a distance of about 1.8 km from TanjungBalai Train Station.



**Figure 1.** The photo of apartment project

### **Preparation phase**

The preparation stage is an activity before collecting and managing data, at this stage the activities that must be carried out are arranged with the aim of making planning effective. Initial preparations made by the author to support the smooth preparation of the analysis are as follows:

1. Complete the administrative requirements of the Analysis.
2. Completing the literature study in the form of collecting material as a reference in data analysis.
3. Determine temporary data requirements.

### **Data processing**

The data collection carried out in this study was in the form of secondary data collection. Secondary data is data obtained not from the results of the research itself. Secondary records within the shape of soil records, records types, dimensions also configuration of piles. The analysis in this study was carried out using the SAP2000 software.

#### **a. Land Data**

The data used in this final project was obtained from the contractor for the construction of the TanjungBalai Flats, namely PT. INDONESIAN GEO STRUCTURE. Soil data obtained in the form of soiltest work (sondir).

#### **b. Structure Data**

Structural data used in this final project is in the form of data on types, dimensions, and configuration of piles. The data was obtained from a consultant (PT. MITRAPLAN KONS) on the TanjungBalai Flats construction project.

### **Research steps**

In this research, the authors analyze the configuration of the pile group on the carrying capacity and efficiency of the pile (Case Study of the TanjungBalai Flats Construction Project). Where there are several models of group pile variations that will be compared the results in the form of carrying capacity and pile efficiency. To achieve the aims and objectives of this study, several stages were carried out which were deemed necessary and are outlined as follows:

1. The first stage is to collect data, review and study the literature on text books and journals related to pile foundations, problems with pile foundations, with the design and implementation of pile driving.
2. The second stage is to visit the research location directly and determine the data collection location that is deemed necessary
3. Data collection Data of Land (Sondir), Kind of Pile, Dimension and Model Data of Pile Configuration
4. Calculation of living carrying capacity pile efficiency calculation carrying capacity calculation
5. Finding the results of the comparison of pile variations to pile carrying capacity
6. Make conclusions and suggestions

## **3. RESULT AND DISCUSSION**

### **Data of land**

The land investigation includes 2 sondir points in the TanjungBalai Flats construction project. The location of the investigation point for the sondir data is placed in an area that is estimated to represent local soil conditions. Then it can be determined which points will be used to analyze variations in pile configuration. The institution pile device on the muse within the production of this flat is deliberate to have a special wide variety of piles, specifically two, three, and 4 piles.

The institution pile device can not be separated from the exceptional configuration making plans to get a excessive wearing capability cost and be greater efficient. Therefore, in this study various pile configurations will be carried out by modeling different configurations with the same number of piles as the construction of this flat. Furthermore, the value of the carrying capacity and efficiency of the pile will be compared which is the best.

**Pile group configuration variations**

The configuration of the pile group was obtained from the Tanjung Balai Flats Construction Project (V3 and V4) and the configuration variations that were planned by themselves (V3-1, V3-2, V4-1, V4-2, V4-3). In the following Figure 3 :

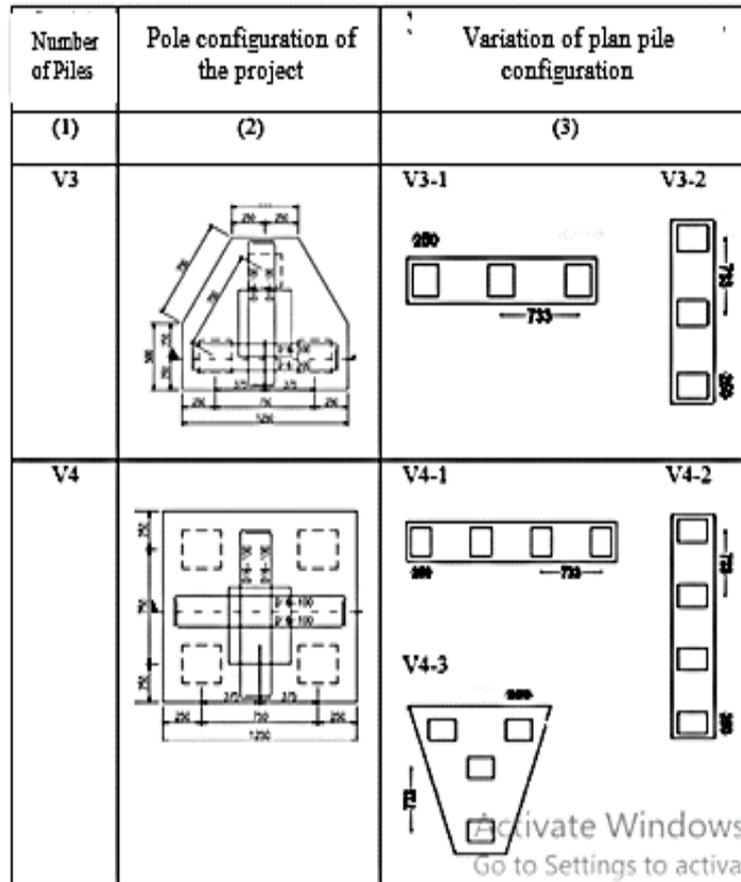


Figure 2. Pole Configuration and Variation Pile Configuration

**Calculation of single pile bearing capacity (Qu)**

The calculation of the single pile bearing capacity in this study uses the direct one method where in this study using the same pile in the form of a rectangle with a size of 25 x 25 cm.

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_c \cdot A_p + JHL \cdot k & Q_a &= \frac{Q_u}{F} \\
 &= 540 \cdot 0,0625 + 50 \cdot 1 & Q_a &= \frac{83,75}{3} \\
 &= 83,75 \text{ ton} & &= 27,91
 \end{aligned}$$

**Pole efficiency calculation (Eg)**

By analyzing the variation of pile configuration in this final project, the calculation of pile efficiency is very influential in determining the effect of pile variations, especially in calculating the carrying capacity of group piles.

$$E_g = 1 - \frac{(n' - 1) \cdot m + (m - 1) \cdot n'}{n \cdot m}$$

**Pole efficiency calculation with 3 pole configuration**

- 3 Pole Configuration of Project (V3) = 0,817

- Pole Configuration (V3-1) = 0,861
- Pole Configuration (V3-2) = 0,861

**Pole efficiency calculation with 4 pole configuration**

- 4 pole configuration of Project (V4) = 0,817
- Pole Configuration (V4-1) = 0,844
- Pole Configuration (V4-2) = 0,844
- Pole Configuration (V4-3) = 0,756

**Calculation of group pile bearing capacity (Qg)**

The calculation of the group pile bearing capacity in this final project uses the pile efficiency factor.

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u$$

**Calculation of group pile bearing capacity with 3 pole configuration**

- V3 →  $Q_g = 0,817 \times 3 \times 83,75$   
 $Q_g = 205,27$
- V3-1 →  $Q_g = 0,861 \times 3 \times 83,75$   
 $Q_g = 216,32$
- V3-2 →  $Q_g = 0,861 \times 3 \times 83,75$   
 $Q_g = 216,32$

**Calculation of group pile bearing capacity with 4 pole configuration**

- V4 →  $Q_g = 0,817 \times 4 \times 83,75$   
 $Q_g = 273,69$
- V4-1 →  $Q_g = 0,844 \times 4 \times 83,75$   
 $Q_g = 282,74$
- V4-2 →  $Q_g = 0,844 \times 4 \times 83,75$   
 $Q_g = 282,74$
- V4-3 →  $Q_g = 0,756 \times 4 \times 83,75$   
 $Q_g = 253,26$

**Results of comparison of pile variations on bearing capacity and pile efficiency**

Based on the result above, here is the result of comparison of Pile Variation on Bearing Capacity and Pile Efficiency in table 1 below:

**Table 1.** Configuration of 3 Poles

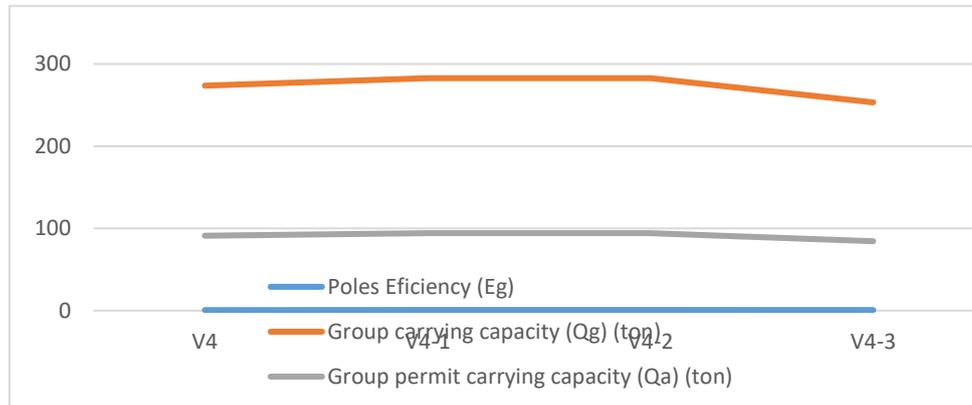
3 Poles Configuration	Poles Efficiency (Eg)	Group carrying capacity (Qg) (ton)	Group permit carrying capacity (Qga) (ton)
V3	0,817	205,27	68,42
V3-1	0,861	216,32	72,10
V3-2	0,861	216,32	72,10

From table 1, it can be seen that the configuration affects the efficiency of the pile, thus the bearing capacity of the pile group also has an effect. The highest difference in the calculation results for the variation of the 3 pile configuration on the group permit bearing capacity is 3.68 tons. From the calculation results obtained the value of the largest permit bearing capacity in the variations V3-1 and V3-2 worth  $Q_g = 72.10$  tons. So, it may be concluded that within the three pile configuration, the variation of the V3-1 configuration is the best variation because it has the largest group permit bearing capacity of  $Q_g = 72.10$  tons and the configuration variation of V3-1 is better than the configuration obtained from the Tanjung Balai or V3 Flats construction project while the configuration of 4 poles can be seen as table 2:

**Table 2.** Configuration of 4 Poles

3 Poles Configuration	Poles Efficiency (Eg)	Group carrying capacity (Qg) (ton)	Group permit carrying capacity (Qa) (ton)
V4	0,817	273,69	91,23
V4-1	0,844	282,74	94,24
V4-2	0,844	282,74	94,24
V4-3	0,756	253,26	84,42

From table 2. it can be seen that the configuration affects the efficiency of the pile so that the carrying capacity of the group also has an effect. The highest difference in the calculation results for the variation of the configuration of 4 piles on the carrying capacity of the group permit is 9.82 tons. However, when compared to the project configuration with the planned configuration variation model, the biggest difference for the permit carrying capacity is 6.81 tons. From the calculation results obtained the value of the largest permit bearing capacity in the variation of V4-1 and V4-2 worth  $Q_g = 94.24$  tons. So, it can be concluded that in the 4-pole configuration, the V4-1 configuration variation is the best variation because it has the largest group permit bearing capacity of  $Q_g = 94.24$  tons. And the variation of the V4-1 configuration is better than the configuration obtained from the Tanjung Balai Flats or V4 construction project.



**Figure 3.** Graph of the relationship between pile efficiency and bearing capacity

#### 4. CONCLUSION

From the consequences of the calculation of the version of institution pile configurations, it is able to be concluded that the effect of group pile configuration on the pile bearing capacity is influenced by the magnitude of the pile efficiency ( $E_g$ ). The value of the pile efficiency ( $E_g$ ) in a pile group is influenced by the pile arrangement, the number of rows, the number of piles in one row, and the pile spacing as follows: Configuration of 3 Poles Analysis of the Project (V3) :  $E_g = 0,817$   $Q_g = 205,27$ , Plan Pillar Analysis (V3-1):  $E_g = 0,861$   $Q_g = 216,32$ , Configuration of 4 Poles Analysis of the Project (V4):  $E_g = 0,817$   $Q_g = 273,69$ , Plan Pillar Analysis (V4-1):  $E_g = 0,844$   $Q_g = 282,74$

The calculation results show the highest difference range from the 3 pile configuration for the group permit bearing capacity ( $Q_g$ ) of 3.68 tons. And the 4-pole configuration is 9.82 tons. So, the greater the pile group efficiency value, the better it is because the greater the group carrying capacity value produced in a pile group configuration.

#### Suggestions

In determining the configuration of the pile group, it is best to pay attention to the pile arrangement, distance, width of the pile group, the position of the available land in order to get a configuration that has high carrying capacity and efficiency. The configuration of the pile group greatly affects the carrying capacity and efficiency of the pile group.

So, if the reader wants to follow up on the configuration of the pile group, the reader can try it with other methods according to the available data, so that many comparisons will be obtained in order to complete this final project.

#### REFERENCES

- [1] E. A. Elgridly, A. L. Fayed, and A. A. A. F. Ali, "Efficiency of pile groups in sand soil under lateral static loads," *Innov. Infrastruct. Solut.*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.1007/s41062-021-00628-4.
- [2] S. E. E. Profile, "Effect of Pile-Group Configuration on the Lateral Load Carrying Effect of Pile-Group Configuration on the Lateral Load Carrying Capacity of Pile in Sandy Soil," vol. 2018, no. December, pp. 19–21, 2018, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/329949399\\_EFFECT\\_OF\\_PILE-GROUP\\_CONFIGURATION\\_ON\\_THE\\_LATERAL\\_LOAD\\_CARRYING\\_CAPACITY\\_OF\\_PILE\\_IN\\_SANDY\\_SOIL/link/5c251a3b92851c22a3496bbd/download](https://www.researchgate.net/publication/329949399_EFFECT_OF_PILE-GROUP_CONFIGURATION_ON_THE_LATERAL_LOAD_CARRYING_CAPACITY_OF_PILE_IN_SANDY_SOIL/link/5c251a3b92851c22a3496bbd/download)
- [3] M. A. M. A. P. R. Galindo, "Two - dimensional Analysis of the Group Interaction Effects Between End - bearing Piles Embedded in a Rock Mass," *Rock Mech. Rock Eng.*, 2023, doi: 10.1007/s00603-023-03330-2.
- [4] M. R. Mahmood, N. M. Salim, and M. H. Abood, "Bearing capacity of piles in unsaturated soil from theoretical and experimental approaches Bearing capacity of piles in unsaturated soil from theoretical and experimental

- approaches”, doi: 10.1088/1757-899X/737/1/012101.
- [5] W. Prakoso, N. Nugraha, R. A. Syahputra, and S. Monica, “Analysis the Use of Bore Pile Foundation on Alluvial Sand and Tuffaceous Sandstones At Margatiga Dam Project,” *J. Tek. Hidraul.*, vol. 13, no. 1, pp. 53–64, 2022, doi: 10.32679/jth.v13i1.692.
- [6] S. Balamba, A. Soehardjono, and Y. Zaika, “Analysis of the influence of pile cap thickness to deflection due to lateral load in sand,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 21, pp. 11707–11713, 2017, [Online]. Available: [https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n21\\_163.pdf](https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n21_163.pdf)
- [7] A. Deka, “Analysis of pile group under lateral load,” *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 21, no. 2, pp. 542–550, 2016, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/301544588\\_Analysis\\_of\\_pile\\_group\\_under\\_lateral\\_load](https://www.researchgate.net/publication/301544588_Analysis_of_pile_group_under_lateral_load)
- [8] S. Mukherjee, A. Irshad, T. International, and N. Town, “Comparative analysis of settlement and efficiencies of pile groups with different configurations using FEM,” pp. 1–12, 2022, [Online]. Available: [https://igc2022kochi.org/Img/FINAL\\_PAPER/TH-15/TH-15-021.pdf](https://igc2022kochi.org/Img/FINAL_PAPER/TH-15/TH-15-021.pdf)
- [9] Y. Setiyowati, “Analisis Daya Dukung Tiang Group Pada Tanah Berlensa Di Kota Banjarmasin Dengan Plaxis 2D,” *J. Teknol. Berkelanjutan*, vol. 7, no. 01, pp. 1–15, 2018, doi: 10.20527/jtb.v7i01.110.
- [10] S. M. T. Debataraja, “Analisa Kuat Geser Tanah di Lokasi Jalan Longsor Idanogawo Nias dan Pemodelan dengan Program Komputer,” *J. Tek.*, vol. VIII, pp. 61–72, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/tekniksipil/article/view/232>

## INTENSITAS PENCAHAYAAN ALAMI DAN KENYAMANAN VISUAL UNTUK AKTIVITAS KERJA PADA AREA *SEMI-OUTDOOR CAFÉ* DI KOTA BANDUNG

\*Viona Rachel<sup>1</sup>, Sahid<sup>2</sup>, Nancy Yusnita Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

\*) Email: viona.rachel@gmail.com<sup>1</sup>, sahid@unpar.ac.id<sup>2</sup>, nancy@unpar.ac.id<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*Natural and artificial light have an important role for human life to do activities, one of which is work. Indonesia, which is in a tropical climate, gets a lot of sunlight. One of the roles of natural light is to create visual comfort in the workspace. With the emergence of the Covid-19 virus in Indonesia, there has been a shift in workspaces from offices to houses and cafes. Visitors who work in cafes prefer open areas to avoid transmission of the Covid-19 virus. However, open areas are also inseparable from the influence of the weather, so a semi-outdoor area can be the right choice for working. This study aims to determine the intensity of natural lighting in a semi-outdoor area in a café in the city of Bandung. The lighting data in the case study was obtained with the help of a luxmeter, while the analysis was carried out by comparing direct measurement data and software data with predetermined standards. The results of the analysis show that the light intensity in this case study is above a predetermined standard. This can be influenced by various things, including the orientation and shape of the building, the materials used in the architectural and furniture enclosing elements, the type of openings, and the opening design strategy used to let light into the building.*

**Keyword:** *natural lighting, architecture, café, light intensity*

### ABSTRAK

Cahaya alami maupun buatan memiliki peran penting bagi kehidupan manusia untuk beraktivitas, salah satunya adalah bekerja. Indonesia yang terletak di wilayah beriklim tropis mendapatkan cahaya matahari yang banyak. Salah satu peran cahaya alami adalah menciptakan kenyamanan visual pada ruang kerja. Dengan munculnya virus Covid-19 di Indonesia, terjadi perpindahan ruang kerja dari kantor ke rumah dan *café*. Para pengunjung yang bekerja di *café* lebih memilih area terbuka untuk menghindari penularan virus Covid-19. Namun area terbuka juga tidak terlepas dari pengaruh cuaca sehingga area *semi-outdoor* dapat menjadi pilihan yang tepat untuk bekerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui intensitas pencahayaan alami pada area *semi-outdoor* di sebuah *café* yang ada di kota Bandung. Data pencahayaan pada studi kasus didapatkan dengan bantuan *luxmeter*, sedangkan analisis dilakukan dengan bantuan Analisis dilakukan dengan membandingkan antara data pengukuran langsung maupun data *software* dengan standar yang telah ditetapkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa intensitas cahaya pada studi kasus ini berada di atas standar yang telah ditentukan. Hal tersebut dipengaruhi oleh berbagai hal, antara lain orientasi dan bentuk bangunan, material yang digunakan pada elemen pelingkup ruang arsitektur dan *furniture*, jenis bukaan, dan strategi desain bukaan yang dipakai untuk memasukkan cahaya ke dalam bangunan.

**Kata kunci:** cahaya alami, arsitektur, *café*, intensitas cahaya

## 1. PENDAHULUAN

Cahaya berperan penting bagi kehidupan manusia dalam menjalankan kegiatan sehari-hari. Cahaya membuat manusia dapat melihat benda-benda di sekitarnya dengan baik. Terdapat dua jenis pencahayaan yang dapat dimanfaatkan oleh manusia, yaitu pencahayaan alami dan pencahayaan buatan. Kedua jenis pencahayaan ini memiliki peran masing-masing yang sama pentingnya. Pencahayaan alami dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk beraktivitas di luar ruangan maupun di dalam ruangan [4]. Dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai salah satu sumber pencahayaan alami, maka area luar maupun dalam ruangan tidak memerlukan bantuan lampu untuk penerangan ruangan tersebut. Sedangkan lampu, sebagai salah satu bentuk pencahayaan buatan, dapat digunakan pada area dalam maupun luar ruangan pada malam hari, serta dapat membantu menerangi area yang kekurangan cahaya alami pada siang hari.

Indonesia terletak di wilayah yang beriklim tropis sehingga mendapatkan cahaya matahari secara berlimpah. Potensi dari sinar matahari yang melimpah ini dapat memberikan banyak keuntungan dalam berbagai bidang apabila dimanfaatkan dengan baik, salah satunya dalam bidang arsitektur [19]. Pencahayaan alami menjadi peran penting bagi seluruh aktivitas manusia, baik di dalam maupun di luar ruangan. Salah satu aktivitas manusia di siang hari yang dapat memanfaatkan cahaya alami adalah bekerja. Ruang kerja yang nyaman secara visual akan menunjang pengguna ruang untuk dapat bekerja dengan optimal [11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi pencahayaan alami pada objek studi berupa sebuah *café* yang banyak digunakan pengunjung untuk bekerja; membandingkannya dengan standar pencahayaan yang dibutuhkan untuk aktivitas kerja; dan mengkaji pengaruh rancangan arsitektur ruang *café semi-outdoor* tersebut terhadap pencahayaan alami yang dihasilkan.

## Tinjauan pustaka

Virus Covid-19 yang pertama kali masuk ke Indonesia pada tanggal 2 Maret 2020 membawa perubahan yang sangat besar terutama pada tren dunia kerja. *Remote working* atau bekerja jarak jauh adalah salah satu tren yang muncul akibat banyaknya kasus penularan virus Covid-19 di Indonesia [5]. Tren ini kemudian lebih dikenal dengan nama *work from home* dan berkembang lagi menjadi tren *work from café*. Tren ini muncul akibat rasa jenuh yang dialami para pekerja dengan suasana rumah yang monoton. Dengan bekerja di *café*, para pekerja dapat merasakan suasana yang berbeda-beda [1].

*Work from café* ternyata memberikan dampak yang baik dari segi produktivitas. Menurut *The Conversation*, bekerja di *café* dapat membantu meningkatkan kreativitas karena adanya interaksi yang tidak direncanakan dengan teman maupun orang lain yang tidak dikenal [20]. Selain itu, BBC mengatakan bahwa distraksi yang dihasilkan dari suara berisik di sebuah *café* dapat meningkatkan kemampuan *decision making* [8]. Tren *work from café* ini kemudian menjadi rutinitas yang terus berlanjut dan menciptakan antusiasme yang besar hingga saat ini. *Specialty Coffee Association (SCA)* menyebutkan adanya peningkatan yang signifikan terhadap pola konsumsi kopi selama masa pandemi.

*Café* dengan area terbuka menjadi solusi di tengah pandemic Covid-19. Hasil riset *Inventure-Alvara* pada 2021 menunjukkan bahwa 76,9% dari 532 responden lebih memilih untuk menghabiskan waktu di *café* yang memiliki area terbuka [18]. Hal ini dikarenakan adanya sirkulasi udara yang baik di area *outdoor* untuk mencegah terjadinya penularan virus Covid-19. Cahaya alami juga dapat meningkatkan suasana hati, mengurangi kelelahan mata, memberikan kesehatan, meningkatkan produktivitas kerja, dan membuat bangunan terlihat lebih hidup [12, 14]. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa area *outdoor* juga berpotensi mengganggu kenyamanan pengunjung. Untuk mengatasi hal tersebut maka area *semi-outdoor* pada sebuah *café* dapat menjadi pilihan yang tepat bagi para pengunjung untuk dapat melakukan aktivitasnya.

## Landasan teori

Pencahayaan adalah kepadatan dari suatu berkas cahaya yang mengenai suatu permukaan [13]. Cahaya memiliki panjang gelombang yang berbeda-beda dari 380 hingga 780 nm dan mata manusia hanya dapat menerima spektrum cahaya sekitar 400 hingga 700 nm. Satuan metrik ukuran cahaya pada suatu permukaan adalah *lux* atau setara dengan satu lumen per meter persegi.

Cahaya alami dapat memberikan efek yang positif bagi manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Efek langsung dapat dirasakan dengan perubahan kimia dalam jaringan tubuh akibat adanya energi cahaya yang diserap oleh tubuh. Efek tidak langsung dirasakan dengan adanya produksi hormon yang dihasilkan akibat adanya cahaya matahari, seperti melatonin dan kortisol. Hormon melatonin biasa disebut juga dengan *sleep hormon*, sedangkan kortisol merupakan hormon stres yang meningkat di pagi hari. Cahaya dibutuhkan tubuh untuk menghasilkan hormon sesuai dengan jam kerja untuk menghindari kurangnya konsentrasi dan resiko kecelakaan kerja [2, 15].

Kinerja pencahayaan dalam suatu ruangan dapat dikatakan baik apabila cahaya matahari masuk ke dalam ruangan secara optimal pada pukul 08.00 hingga 16.00 dengan distribusi cahaya yang merata atau tidak ada kontras antara bagian yang terang dan gelap. Tingkat pencahayaan dan distribusi cahaya dalam ruang adalah dua hal penting yang mempengaruhi kualitas cahaya dalam ruangan. Tingkat atau intensitas pencahayaan adalah jumlah cahaya yang jatuh pada permukaan tertentu. Untuk mengetahui seberapa besar intensitas cahaya yang ada di suatu tempat, maka dapat digunakan alat yang disebut *luxmeter*. Setiap ruangan memiliki kebutuhan intensitas cahaya yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi dan aktivitas manusia di dalam ruangan tersebut. Kebutuhan intensitas pencahayaan diatur dalam beberapa standar berikut ini:

- Peraturan Menteri Tenaga Kerja (Permenaker) Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. Poin 6 pada peraturan ini menyatakan bahwa pekerjaan pembedaan yang teliti daripada barang-barang halus seperti pekerjaan kantor yang berganti-ganti menulis dan membaca, pekerjaan arsip dan seleksi surat-surat membutuhkan intensitas cahaya sebesar 300 lux.
- Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 70 Tahun 2016 tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. Pada peraturan ini, poin nomor 9 menunjukkan ruang kerja umum membutuhkan intensitas cahaya sebesar 200 lux.
- Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 48 Tahun 2016 tentang Standar Keselamatan Kerja Perkantoran. Pada peraturan ini tertulis ruang kerja membutuhkan intensitas cahaya sebesar 300 lux, ruang gambar membutuhkan intensitas cahaya sebesar 750 lux, dan ruang rapat membutuhkan intensitas cahaya sebesar 300 lux.

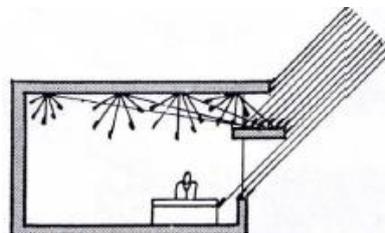
Dari beberapa standar di atas, dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya yang dibutuhkan untuk kegiatan bekerja bervariasi dari 200 lux hingga 750 lux. Apabila dilihat secara umum, terdapat 2 parameter yang dapat dipakai untuk menghitung pencahayaan alami, yaitu kondisi langit (cerah atau *clear sky*, mendung atau *overcast*, dan berawan atau *mixed sky*) dan data bangunan (meliputi kondisi tapak, orientasi bangunan, dan kondisi bangunan bagian luar dan dalam). Lechner mengatakan bahwa langit berawan akan menghasilkan iluminasi yang minimum dan kondisi langit cerah dapat

menimbulkan masalah silau serta tingkat terang berlebih yang dapat mencapai 10 kali lipat dibandingkan dengan area yang gelap [7, 16].

Salah satu kondisi bangunan yang dapat mempengaruhi besaran intensitas cahaya adalah warna dan material yang digunakan pada elemen pembentuk ruang suatu bangunan (dinding, lantai, dan atap). Semakin gelap warna, maka cahaya yang akan dipantulkan semakin kecil. Jenis material dipengaruhi juga oleh tekstur, kepadatan, karakteristik, warna, dan *finishing* akan mempengaruhi distribusi penyebaran cahaya [17, 21].

Cahaya dapat masuk ke dalam bangunan dengan melewati bukaan atas atau *toplighting* dan melalui bukaan samping atau *side lighting*. Terdapat beberapa tipe bukaan atas, yaitu *skylight*, *roof monitor*, dan *sawtooth*. *Roof monitor* dapat mengurangi panas berlebih, sedangkan *sawtooth* dapat memasukkan cahaya alami secara maksimal dan dapat mengurangi radiasi matahari [7, 10].

Menurut buku "*Sunlight as Formgiver for Architecture*" yang ditulis oleh William M. C. Lam, terdapat beberapa strategi pencahayaan alami, yaitu *redirection* atau pengalihan pencahayaan alami, *shading* atau pembayangan, dan *framing of view* atau pengambilan *view*. *Redirection* merupakan usaha penyebaran cahaya di tempat yang dibutuhkan untuk meminimalisir kebutuhan cahaya buatan. Tingkat pencahayaan yang tinggi tidak efisien bila tidak disebar atau didistribusikan dengan baik [6]. Gambar 1 menunjukkan contoh pendistribusian cahaya.

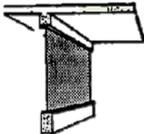
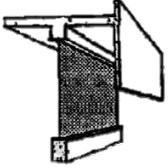
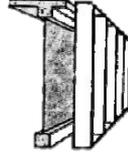


Sumber: Lam, 1986

**Gambar 1.** Pendistribusian Cahaya ke Tempat yang Dibutuhkan

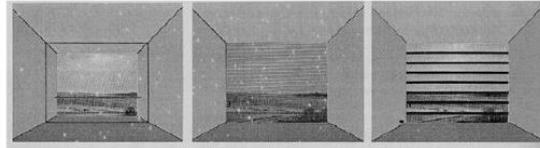
*Shading* atau pembayangan lebih mudah didapatkan dengan orientasi arah Utara dan Selatan [22]. Orientasi Timur dan Barat tidak dapat mengontrol silau saat fajar dan senja. Tabel 4 menunjukkan macam-macam *shading device* beserta kelebihan dan kekurangannya masing-masing [3].

**Tabel 4.** Macam-Macam *Shading Device*

<i>Shading Device</i>	Kelebihan	Kekurangan	<i>Shading Device</i>	Kelebihan	Kekurangan
 <i>Cantilever (Overhang)</i>	Dapat menahan sinar matahari dari atas	Tidak dapat menahan sinar matahari dari sudut yang rendah	 <i>Horizontal Louver Screen</i>	Dapat mengatur intensitas matahari dan menghalangi sinar masuk secara langsung	Tidak dapat diaplikasikan pada bangunan tinggi
 <i>Louver Overhang</i>	Dapat menyaring intensitas cahaya yang datang dari atas	Tidak dapat menahan sinar dari sudut rendah dan bukan untuk bangunan tinggi	 <i>Egg Crate</i>	Dapat menghalangi sinar yang datang dari sudut yang rendah	Fasad bangunan menjadi terkotak-kotak dan kaku
 <i>Panels/Awning</i>	Dapat menghalangi sinar matahari dari sudut rendah (arah horizontal)	Menghalangi pandangan ke arah luar dan menghalangi cahaya langit (ruangan gelap)	 <i>Vertical Louver</i>	Dapat menghalangi sinar dari samping dengan sudut kedatangan yang rendah	Memungkinkan masuknya cahaya matahari dalam jumlah yang banyak

Sumber: Egan, 1975

*Framing of View* merupakan cara untuk memaksimalkan *view* ke luar bangunan dengan penggunaan elemen pembayangan yang sangat besar atau kecil. Hal ini dapat dilakukan dengan memaksimalkan *view* ke dalam dengan menciptakan pemandangan yang indah untuk dilihat.



Sumber: Lam, 1986

**Gambar 2.** Optimalisasi View

Kenyamanan secara fisik dalam bangunan dibagi menjadi 3, yaitu kenyamanan termal, kenyamanan audial, dan kenyamanan visual. Menurut Manurung (2012), Kenyamanan visual adalah kenyamanan dalam mengakses seluruh informasi visual dan sangat terkait dengan Indera penglihatan [9, 19]. Kenyamanan visual dapat diklasifikasikan menjadi 4 tingkat, yaitu:

- Tidak dapat dipersepsikan (*imperceptible*). Pada tingkat ini, mata belum dapat atau tidak dapat melakukan tugas visualnya karena luminasi dari sekeliling objek terlalu rendah sehingga mata tidak merasakan kekontrasan
- Kenyamanan visual yang dapat diterima (*acceptable*). Mata sudah dapat merasakan atau menerima tingkat kenyamanan karena kekontrasan yang sesuai dengan daya akomodasi mata. Kondisi ini adalah kondisi yang paling baik
- Kondisi visual yang tidak nyaman (*uncomfortable*). Pada kondisi ini, mata menerima cahaya dengan luminasi yang cukup tinggi sehingga menyebabkan kekontrasan yang membuat mata lelah
- Gangguan visual yang tidak dapat ditolerir oleh mata.

## 2. METODE

Penelitian dilakukan pada area *semi-outdoor* di sebuah *café* di kota Bandung. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan alat berupa *lux meter* merek Lutron LX-1108 untuk mengukur besaran intensitas cahaya alami yang ada di tempat tersebut. Setelah mendapatkan besaran intensitas cahaya alami berupa *lux*, dilakukan juga simulasi pengukuran dengan menggunakan *software Dialux Evo 11* sebagai data pendukung untuk melengkapi data pengukuran manual yang dilakukan di lapangan. Pengukuran manual dan simulasi dilakukan pada rentang waktu 3 hari dengan kondisi langit di ruang terbuka yang kurang lebih memiliki intensitas cahaya yang sama dengan batasan *overcast* (mendung) hingga *clear sky* (cerah) dan dibagi menjadi 4 interval waktu, yaitu pukul 10.00, 12.00, 14.00, dan 16.00.

Data yang didapatkan melalui pengukuran manual di lapangan dan hasil simulasi dengan menggunakan *software* dianalisis dengan cara komparatif. Teori atau standar yang tersedia pada tinjauan pustaka digunakan sebagai pembandingnya. Setelah menganalisis data, maka dapat ditarik kesimpulan berupa kondisi intensitas cahaya terhadap standar yang dihasilkan oleh karakteristik objek studi.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data umum

*Café* ini terletak di sekitar Ciumbuleuit, Bandung. Area pada *café* ini didominasi oleh area *outdoor* dan area *semi-outdoor*. Keunikan dari tempat ini adalah adanya area hijau yang luas sehingga pengunjung dapat menikmati kopi sambil merasakan suasana sejuk kota Bandung. Gambar 3 menunjukkan area *semi-outdoor* yang dijadikan area penelitian ini.



**Gambar 3.** Area *Semi-Outdoor* di Sejiwa Coffee Kiputih

**Observasi langsung pada material**

Berdasarkan observasi yang telah dilakukan di lapangan, tempat ini menggunakan berbagai macam jenis material pada elemen pelingkup bangunannya yang meliputi dinding, lantai, atap, dan *furniture*. Hasil observasi material akan dijabarkan melalui Tabel 5 dan Gambar 4.

**Tabel 5.** Hasil Observasi Material pada Elemen Pelingkup Bangunan dan *Furniture* Sejiwa Kiputih

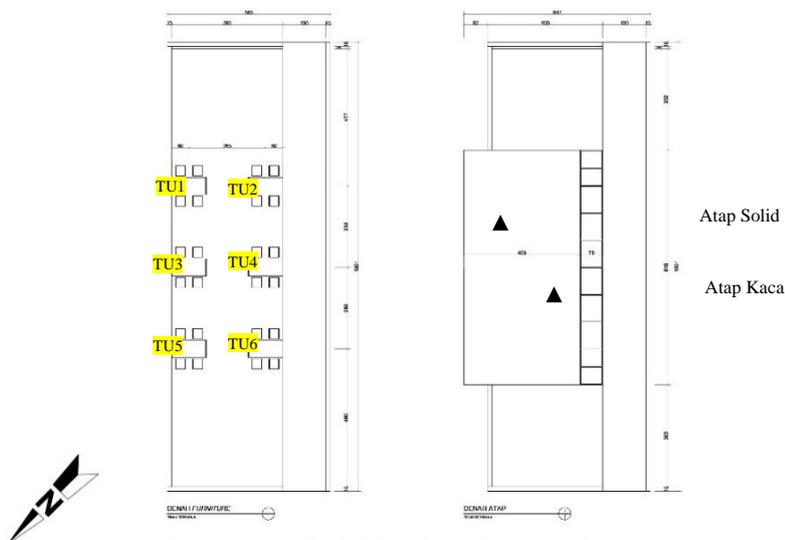
Nama	Material	Warna	Finishing	Silau/Tidak
Dinding 1 (mural)	Cat Tembok	Warna-warni	<i>Doff</i>	Tidak Silau
Dinding 2 (mural)	Cat Tembok	Warna-warni	<i>Doff</i>	Tidak Silau
Dinding 3 (mural)	Cat Tembok	Putih	<i>Doff</i>	Tidak Silau
Lantai	Batu Kerikil	Abu-abu	-	Tidak Silau
Atap	Aluminium + foam aluminium	Abu-abu	-	Silau
	Kaca	-	<i>Sandblast</i>	Tidak Silau
Meja	Besi	Putih	<i>Glossy</i>	Tidak Silau
	Kayu	Coklat	<i>Doff</i>	Tidak Silau
Kursi	Besi	Putih	<i>Glossy</i>	Tidak Silau
	Kayu	Coklat	<i>Doff</i>	Tidak Silau

*Furniture* di tempat ini menggunakan material kayu solid dan besi berwarna putih dengan *finishing semi-glossy* yang tidak menyilaukan. Dinding-dinding yang berdekatan dengan area ini bermotif mural dengan warna yang beragam dan seluruh area *semi-outdoor* menggunakan batu kerikil pada lantainya sehingga tidak menimbulkan silau.



**Gambar 4.** Material yang Digunakan pada Area *Semi-Outdoor*

Keseluruhan area TU1 hingga TU6 ditutupi oleh atap solid yang tidak tembus cahaya dengan ukuran kurang lebih 500 x 800 cm. Area atap TU 2, TU 4, dan TU6 menggunakan *skylight* bermaterialkan kaca *sandblast* dengan rangka besi. Penggunaan material atap berupa *foam aluminium* yang *glossy* dapat membantu memantulkan cahaya matahari pada area ini namun menimbulkan sedikit silau yang dapat ditolerir mata.



**Gambar 5.** Titik Ukur Penelitian dan Denah Atap

### Orientasi bangunan dan tata letak furniture

Area yang menjadi objek penelitian pada *Sejiwa Coffee Kiputih* membentang dari arah diagonal Timur ke Barat. Pada area ini terdapat 6 buah meja yang dapat digunakan pengunjung. Enam buah meja ini menjadi titik ukur pada pengukuran yang menggunakan *luxmeter* untuk mengetahui besaran intensitas cahaya alami pada area ini.

Jarak antara satu meja dengan meja lainnya kurang lebih berada di 250 cm hingga 300 cm. Jarak dinding di area Timur dan area Barat berjarak kurang lebih 470 cm hingga 480 cm Gambar 5 menunjukkan arah orientasi bangunan dan titik ukur yang ada pada area penelitian.

Berdasarkan orientasi bangunannya yang membentang dari arah diagonal Timur ke Barat, bangunan ini mendapatkan matahari fajar pada area TU 1 dan TU 2 serta matahari senja pada area TU 5 dan TU 6. Pada pagi hari, meja TU1 dan meja TU2 mendapatkan sinar matahari langsung pada area permukaan *furniture*-nya, sedangkan meja TU5 dan meja TU6 mendapatkan sinar matahari langsung pada sore hari. Hal ini disebabkan oleh letak *furniture* berada di ujung area atap yang hanya terlindungi sinar matahari dari area atas saja.

### Hasil pengukuran dengan luxmeter

Pengukuran pada area *semi-outdoor* di *Sejiwa Coffee Kiputih* dilakukan di 3 hari yang berbeda pada bulan yang berbeda dengan kondisi cahaya yang kurang lebih sama pada area terbuka. Hal ini dilakukan agar mengetahui perbedaan dari masing-masing kondisi waktu sehingga dapat diambil besaran rata-ratanya. Alat ukur diletakkan pada ketinggian 75 cm dari lantai untuk menyesuaikan dengan tinggi meja yang digunakan pengunjung untuk bekerja. Hasil dari pengukuran disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Pengukuran Lapangan dengan *Luxmeter*

	Hasil Pengukuran Manual dengan <i>Luxmeter</i> dalam Lux											
	5 April 2023				22 Juni 2023				7 Juli 2023			
	10.00	12.00	14.00	16.00	10.00	12.00	14.00	16.00	10.00	12.00	14.00	16.00
L	55290	62800	53410	14400	57430	65810	50800	12270	59800	68500	52100	12690
TU1	1627	1915	1486	923	1693	1978	1413	769	1710	2027	1520	823
TU2	2520	3750	2128	1120	2609	3960	2012	955	2843	3970	2089	978
TU3	2098	3129	2953	1330	2180	3274	2805	1111	2435	3312	2911	1142
TU4	3385	4330	4010	2067	3616	4470	3790	1762	3742	4590	3980	1780
TU5	4230	6590	31700	4220	4500	6940	30270	3860	4840	6980	30600	3992
TU6	5980	10582	26000	4212	6220	10900	21100	3930	6280	11200	24860	4060

Tabel di atas menunjukkan hasil intensitas cahaya yang lebih tinggi dari standar yang ditetapkan, yaitu rata-rata di atas 750 lux. Intensitas cahaya tertinggi tercatat pada tanggal 5 April 2023 pukul 14.00 di TU6. Gambar 5. Menunjukkan arah masuknya cahaya dari 3 buah bukaan samping. Meja TU1 dan TU2 mendapatkan sinar matahari langsung pada pagi hari, sedangkan meja TU5 dan TU6 mendapatkan sinar matahari langsung pada sore hari. Orientasi bangunan yang memanjang dari Timur ke Barat membuat sinar matahari yang masuk ke area ini berlimpah dan tata letak *furniture* di area ini, terkhususnya meja TU1, TU2, TU5, dan TU6 yang berada di ujung area atap terkena sinar matahari langsung.



**Gambar 6.** Titik Ukur Penelitian dan Denah Atap

### Hasil simulasi dengan *software dialux evo*

Untuk mendukung data pengukuran manual di lapangan, maka dilakukan simulasi pengukuran dengan bantuan *software Dialux Evo*. Simulasi dilakukan dengan tanggal yang sama dengan pengukuran manual yaitu 5 April 2023, 22 Juni 2023, dan 7 Juli 2023 dan dengan pembagian interval waktu yang sama, yaitu pukul 10.00, 12.00, 14.00 dan 16.00. Terdapat 3 macam pengukuran yang akan disajikan pada tabel-tabel di bawah ini, yaitu intensitas cahaya atau iluminasi, *daylight factor (DF)*, dan pemerataan atau *uniformity* (warna kuning pada tabel). Hasil simulasi pengukuran disajikan pada Tabel 7 hingga Tabel 9.

**Tabel 7.** Simulasi Pengukuran Area *Semi-Outdoor* pada 5 April 2023

5 April 2023								
Time	10.00		12.00		14.00		16.00	
	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>
<i>Calculation</i>								
<i>Average</i>	2551 lux	14,030 %	2887 lux	14,030 %	2450 lux	14,030 %	1358 lux	14,030 %
<i>Min</i>	1291 lux	7,478 %	1461 lux	7,478 %	1240 lux	7,478 %	687 lux	7,478 %
<i>Max</i>	7870 lux	34,014 %	8906 lux	34,014 %	7559 lux	34,014 %	4190 lux	34,014 %
<i>Min/average</i>	0,51	-	0,51	-	0,51	-	0,51	-
<i>Min/Max</i>	0,16	-	0,16	-	0,16	-	0,16	0
<i>Parameter</i>	0,75 m	0,75 m						

Hasil simulasi di atas menunjukkan rata-rata intensitas cahaya pada pukul 10.00 adalah 2551 lux, kemudian meningkat menjadi 2887 lux pada pukul 12.00, dan kembali turun pada pukul 14.00 dan 16.00 menjadi 2450 lux dan 1358 lux. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa area *semi-outdoor* ini memiliki gradasi warna dari merah hingga ungu tua. Hal ini menunjukkan bahwa cahaya matahari yang didapatkan pada area ini tidak rata. Cahaya matahari paling banyak didapatkan pada sisi kiri, atas dan bawah yang terbuka.

**Tabel 8.** Simulasi Pengukuran Area *Semi-Outdoor* di *Sejiwa Coffee Kiputih* pada 22 Juni 2023

22 Juni 2023								
Time	10.00		12.00		14.00		16.00	
	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>
<i>Calculation</i>								
<i>Average</i>	2254lux	14,030 %	2560 lux	14,030 %	2155 lux	14,030 %	1146 lux	14,030 %
<i>Min</i>	1141 lux	7,478 %	1296 lux	7,478 %	1091 lux	7,478 %	580 lux	7,478 %
<i>Max</i>	6953 lux	34,014 %	7899 lux	34,014 %	6648 lux	34,014 %	3535 lux	34,014 %
<i>Min/average</i>	0,51	-	0,51	-	0,51	-	0,51	-
<i>Min/Max</i>	0,16	-	0,16	-	0,16	-	0,16	-
<i>Parameter</i>	0,75 m	0,75 m						

Pada simulasi yang kedua, hasil rata-rata intensitas cahaya yang lebih kecil dibandingkan dengan simulasi di bulan April, yaitu sebesar 2254 lux pada pukul 10.00, kemudian meningkat menjadi 2560 lux pada pukul 12.00, dan kembali turun pada pukul 14.00 dan 16.00 menjadi 2155 lux dan 1146 lux. Walaupun memiliki nilai intensitas cahaya yang lebih kecil dari simulasi di bulan April, namun hasil simulasi pada tabel di atas menunjukkan nilai lux rata-rata 3 kali lipat di atas nilai lux yang dibutuhkan oleh pengguna bangunan untuk aktivitas bekerja.

**Tabel 9.** Simulasi Pengukuran Area *Semi-Outdoor* di *Sejiwa Coffee Kiputih* pada 7 Juli 2023

7 Juli 2023								
Time	10.00		12.00		14.00		16.00	
	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>	<i>Illuminance</i>	<i>DF</i>
<i>Calculation</i>								
<i>Average</i>	2258 lux	14,030 %	2583 lux	14,030 %	2191 lux	14,030 %	1187 lux	14,030 %
<i>Min</i>	1143 lux	7,478 %	1307 lux	7,478 %	1109 lux	7,478 %	601 lux	7,478 %
<i>Max</i>	6965 lux	34,014 %	7967 lux	34,014 %	6758 lux	34,014 %	3661 lux	34,014 %
<i>Min/average</i>	0,51	-	0,51	-	0,51	-	0,51	-
<i>Min/Max</i>	0,16	-	0,16	-	0,16	-	0,16	-
<i>Parameter</i>	0,75 m	0,75 m						

Simulasi ketiga dilakukan pada bulan Juli dan hasilnya menunjukkan rata-rata intensitas cahaya sebesar 2258 lux pada pukul 10.00, kemudian meningkat menjadi 2583 lux pada pukul 12.00, dan kembali turun pada pukul 14.00 dan 16.00 menjadi 2191 lux dan 1187 lux. Hasil simulasi ketiga kurang lebih memiliki intensitas cahaya yang sama dengan simulasi pertama dan simulasi kedua, yaitu memiliki intensitas cahaya yang berada di atas standar untuk aktivitas kerja.

Ketiga tabel di atas menunjukkan hasil *daylight factor* atau *DF* yang sama, yaitu 14,030%. Angka ini menunjukkan persentase di atas *daylight factor* yang dianjurkan, yaitu 1-2%. Nilai pemerataan pada area ini menunjukkan angka 0,51 yang berada di atas nilai minimum *uniformity*, yaitu 0,4.

#### 4. KESIMPULAN

Pencahayaan alami dapat menjadi salah satu faktor yang menentukan kenyamanan pekerja yang sedang bekerja di dalam maupun di luar bangunan. Banyak hal yang dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh pencahayaan alami. Pencahayaan alami dapat dipengaruhi oleh orientasi dan bentuk bangunan dan waktu, sedangkan pencahayaan alami dapat mempengaruhi besaran intensitas cahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya pada studi kasus menunjukkan indikasi melebihi standar pencahayaan. Hal ini disebabkan oleh luasnya bukaan samping yang menghadap ke arah Timur dan Barat sehingga area ini mendapatkan sinar matahari pada pagi dan sore hari yang cukup tinggi. Selain itu, kurangnya strategi desain pencahayaan alami menyebabkan sinar matahari yang masuk tidak merata.

Kondisi ini berpotensi untuk menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengunjung. Salah satu efek langsung dari jumlah intensitas pencahayaan yang melebihi batas standar pencahayaan untuk aktivitas kerja adalah timbulnya efek silau yang dapat mengganggu kesehatan penglihatan dalam jangka panjang. Meskipun penentuan posisi duduk merupakan hasil pilihan pengunjung, tetapi dengan adanya kebutuhan pengunjung *café* untuk aktivitas kerja di ruang luar yang cenderung memiliki sirkulasi udara yang lebih baik, maka perencanaan area *café semi-outdoor* perlu mengoptimalkan pemenuhan kebutuhan intensitas cahaya sekaligus mengantisipasi silau berlebih yang mengganggu penglihatan.

Oleh karena itu, seorang arsitek maupun desainer interior perlu mempertimbangkan desain pencahayaan, seperti memperhatikan arah orientasi bangunan sehingga menghasilkan bukaan ke arah Utara dan/atau Selatan, bentuk bangunan agar cahaya dapat masuk secara optimal, penggunaan material yang tidak menimbulkan silau, jenis serta strategi desain bukaan yang sesuai dengan bangunan dan tapak agar tercapainya kenyamanan visual pengguna pada sebuah bangunan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astuti, R.P. (2022). *Antusiasme Work from Cafe di Tengah Geliat Perkembangan Coffee Shop*. <https://www.kompasiana.com/ratnapujiaa/62a724baf5f329500431a0f3/antusiasme-work-from-cafe-di-tengah-geliat-perkembangan-coffee-shop> (diakses 2 Januari 2023).
- [2] De Carli, M., et al. (2008). *Review on Visual Comfort in Office Buildings and Influence of Daylight in Productivity*. Indoor Air, Paper ID: 112, 1-2.
- [3] Egan, M. D. (1975). *Concepts in Thermal Comfort*. Prentice Hall, New Jersey.
- [4] Jannah, M. Z. (2022). *Analisis Pencahayaan Alami Rumah Tinggal Menggunakan Simulasi DIALux*. Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia, 11 (3), 150-151.
- [5] Kurnia, N. (2022). *Work From Anywhere, Kelebihan dan Kekurangannya*. <https://id.hrnote.asia/personnel-management/work-from-anywhere-kelebihan-dan-kekurangannya-220819/> (diakses 2 Januari 2023).
- [6] Lam, W. M. C. (1986). *Sunlighting As Formgiver for Architecture*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [7] Lechner, N. (2015). *Heating, Cooling, Lighting*. John, Wiley & Sons., New Jersey.
- [8] Lufkin, B. (2021). *Why You're More Creative in Coffee Shops*. <https://www.bbc.com/worklife/article/20210114-why-youre-more-creative-in-coffee-shops> (diakses 8 Januari 2023).
- [9] Manurung, P. (2012). *Pencahayaan Alami dalam Arsitektur*. Andi, Yogyakarta.
- [10] Mandala, A., et al. (2021). *The Effectiveness of Daylighting Through the Top Lighting Design in Large-Volume Building Methods*. Jurnal ARTEKS, Vol. 6 No. 2, 224-225.
- [11] Mehta, D. (2020). *A Review on Challenges of Daylight-Based-Classroom-Studies and Their Methodology Regarding Architectural-Design-Process*. IJRSET, Vol. 9 Issue 10, 10113-10114.
- [12] Norton, T. T., & Siegart, J. T., Jr. (2013). *Light Levels, Refractive Development, and Myopia – a Speculative Review*. National Library of Medicine, doi: 10.1016/j.exer.2013.05.004, 49-51.
- [13] Patty, F. A. 1967. *Industrial Hygiene and Toxicology Vol. 1*. Inter Science Publisher Inc, New York.
- [14] Philips, D. (2004). *Daylighting: Natural Light in Architecture*. Elsevier Ltd, Oxford.
- [15] Poddar, S., & Guha, S. (2021). *Daylight Illumination and Building Architecture – Effect at Workplace*. AJMT Journal, Vol. 2 (1), 11-13.
- [16] Roy, J. (2022). *Pemanfaatan Pencahayaan Alami pada Bangunan Kondominium Tribeca Southern Unit 18F Podomoro City Medan*. Juitech, Vol. 6 No.1, 64-66.

- [17] Setiawan, A. (2013). *Optimasi Distribusi Pencahayaan Alami Terhadap Kenyamanan Visual Pada Toko “Oen” Di Kota Malang*. Jurnal INTRA, Vol. 1 No.2, 2-3.
- [18] Setiawan, W. (2021). *Resto Outdoor Jadi Pilihan Konsumen*. <https://mix.co.id/marcomm/news-trend/resto-outdoor-jadi-pilihan-konsumen/> (diakses 9 Januari 2023).
- [19] Sihombing, S. B. (2019). *Pengaruh Pencahayaan Terhadap Kenyamanan Visual Pada Starbucks Cambridge*. Jurnal Sains dan Teknologi, Vol. 11 No.01, 51-60.
- [20] The Conversation. (2020). *Why Being Stuck at Home – and Unable to Hang Out in Cafes and Bars- Drains Our Creativity*. <https://theconversation.com/why-being-stuck-at-home-and-unable-to-hang-out-in-cafes-and-bars-drains-our-creativity-150929> (diakses 8 Januari 2023).
- [21] Zein, A. O. S., et al. (2014). *Tinjauan Pencahayaan dan Penggunaan Material pada Desain Interior Café Hummingbird Eatery Jalan Progo Bandung*. Jurnal Rekajiva, Vol. 2 No. 01, 3-10.
- [22] Zuhri, S., dkk. (2020). *Strategi Penghalang Sinar Matahari Otomatis Pada Unit Hunian Rumah Susun di Penjaringan Sari Surabaya*. Jurnal Envirotek, Vol. 12 No. 2, 83-85.

## MODEL REGRESI LINIER PENGARUH STANDAR TEKNIS JALAN TERHADAP KECELAKAAN (STUDI KASUS: RUAS JALAN PEMALANG – PURBALINGGA)

Iqbal Maulana<sup>1</sup>, Rachmat Mudiyo<sup>2</sup>, Abdul Rochim<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Sultan Agung, Semarang  
) Email: iqbalmaulana127@gmail.com

### ABSTRACT

*In the 2016-2021, there were 12 accidents with 22 deaths and 107 injuries on the Pemalang – Purbalingga road section. One of the factors causing accidents is the lack of attention to infrastructure that meets safety aspects. Even though the number of accidents caused by infrastructure is relatively small when compared to the human error (human) and vehicle (facility) factors, serious attention must still be paid. Traffic accidents caused by a lack of road infrastructure are generally caused by an inaccurate road geometric design, poor road surface conditions, lack of visibility and so on. Therefore the research aims to find accident-prone locations, the causes of accidents from the standard values of road technical requirements and accident regression models. The results of this study. Segments that are categorized as accident-prone locations are STA 32+000, 34+000, 36+000, 47+000 and 48+000. Substandard grades will be the cause of traffic accidents based on road technical requirements. The regression model that can be used to predict the number of accidents on provincial roads according to the variables examined in this study is:  $Y = -2.618 + 0.049 \text{ Grade} - 0.019 X \text{ Slope} - 0.008 H \text{ Curv} - 0.417 V \text{ Curv} + 0.264 \text{ road width} + 0.081 \text{ condition IRI roads} + 0.014 \text{ PCI Road Conditions}$ .*

**Keyword:** Accident Locations, Causes of Events, Regression Models

### ABSTRAK

Pada rentang tahun 2016-2021 kejadian kecelakaan 12 kejadian dengan korban meninggal dunia 22 orang dan 107 luka-luka di ruas jalan pemalang – purbalingga. Salah satu faktor penyebab kecelakaan adalah kurangnya perhatian terhadap prasarana yang memenuhi aspek dari keselamatan. Walaupun jumlah kecelakaan akibat prasarana relatif kecil bila dibandingkan dengan faktor Human Error (manusia) dan kendaraan (sarana), namun harus tetap mendapatkan perhatian yang serius. Kecelakaan lalu lintas yang diakibatkan oleh kurangnya prasarana jalan tersebut umumnya disebabkan oleh desain geometrik jalan kurang tepat, kondisi permukaan jalan yang buruk, kurangnya jarak pandang dan sebagainya. Maka dari itu penelitian bertujuan mencari lokasi rawan kecelakaan, penyebab kejadian kecelakaan dari nilai standar persyaratan teknis jalan dan model regresi kecelakaan. Hasil penelitian ini Segmen yang dikategorikan sebagai lokasi rawan kecelakaan adalah STA 32+000, 34+000, 36+000, 47+000 dan 48+000. Grade yang substandar akan menjadi penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas berdasarkan persyaratan teknis jalan. Model regresi yang dapat digunakan untuk memprediksi jumlah kecelakaan di ruas jalan provinsi tersebut menurut besaran variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah:  $Y = -2,618 + 0,049 \text{ Grade} - 0,019 X \text{ Slope} - 0,008 H \text{ Curv} - 0,417 V \text{ Curv} + 0,264 \text{ lebar jalan} + 0,081 \text{ kondisi jalan IRI} + 0,014 \text{ Kondisi Jalan PCI}$ .

**Kata kunci:** Lokasi Rawan Kecelakaan, Penyebab Kejadian, Model Regresi

## 1. PENDAHULUAN

Menurut Undang-Undang No 38 Tahun 2004 Tentang Jalan, dijelaskan bahwa Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, dibawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel. Pembangunan jalan raya pada umumnya dimaksudkan sebagai prasarana diantaranya agar kendaraan angkutan dapat mengangkut penumpang atau barang langsung ke tempat tujuan dan kota-kota yang dilalui atau yang dituju serta agar biaya angkut dan biaya bongkar dapat ditekan [1].

Untuk meningkatkan aspek keselamatan pada ruas jalan, maka dilakukannya audit keselamatan jalan. Latar belakang utama pelaksanaan audit keselamatan jalan antara lain untuk mewujudkan keselamatan jalan yang merupakan salah satu bagian penting dalam penyelenggaraan transportasi jalan sesuai dengan Undang Undang No 22 Tahun 2009. Selain itu, audit terhadap kondisi jalan beserta pelengkapannya dan lingkungan sekitarnya sangat berpengaruh terhadap keselamatan pengguna jalan, yang diperkirakan memiliki kontribusi cukup besar terhadap terjadinya kecelakaan yang relatif besar [2].

Keselamatan merupakan salah satu prinsip dasar penyelenggaraan transportasi. Di Indonesia, prinsip ini seringkali tidak sejalan dengan apa yang terjadi di lapangan. Hal ini dapat diindikasikan dengan semakin meningkatnya jumlah dan fatalitas korban kecelakaan. Permasalahan keselamatan jalan tidak hanya dihadapi dalam skala nasional saja, tetapi juga menjadi masalah global. Setiap tahun, terdapat sekitar 1,3 juta jiwa meninggal akibat kecelakaan lalu lintas, atau lebih dari 3000 jiwa per harinya. Jika tidak ada langkah-langkah yang segera dan efektif, diperkirakan korban kecelakaan akan meningkat dua kali lipat setiap tahunnya [3].

Williamson A, pada dalam artikel Why do we make safe behaviour so hard for drivers? Pada Australian College of Road Safety ACRS,2020 menyatakan bahwa banyak kesalahan pengguna jalan disebabkan oleh desain sistem jalan yang buruk termasuk jalan, kendaraan dan peraturan jalan [12].

Salah satu faktor penyebab kecelakaan adalah kurangnya perhatian terhadap prasarana yang memenuhi aspek dari keselamatan. Walaupun jumlah kecelakaan akibat prasarana relatif kecil bila dibandingkan dengan faktor Human Error (manusia) dan kendaraan (sarana), namun harus tetap mendapatkan perhatian yang serius. Kecelakaan lalu lintas yang diakibatkan oleh kurangnya prasarana jalan tersebut umumnya disebabkan oleh desain geometrik jalan kurang tepat, kondisi permukaan jalan yang buruk, kurangnya jarak pandang dan sebagainya [12].

Pada rentang tahun 2016-2021 kejadian kecelakaan 12 kejadian dengan korban meninggal dunia 22 orang dan 107 luka-luka di ruas jalan pemalang – purbalingga. Pada tahun 2016 kejadian kecelakaan tunggal yang melibatkan Mobil Bus PO Handoyo dengan korban meninggal dunia 8 orang, luka berat 35 orang dan luka ringan 1 orang. Pada tahun 2018 kejadian kecelakaan tunggal yang melibatkan Mobil Bus PO Rosalia Indah dengan korban meninggal dunia 4 orang, luka berat 35 orang dan luka ringan 1 orang. Mayoritas kecelakaan lalu lintas pada ruas tersebut melibatkan kendaraan bus dan truk dengan tipe kecelakaan Tunggal.

Pada jalan eksisting, sangat penting untuk mengenali kondisi-kondisi yang dapat menimbulkan kecelakaan lalu lintas. Beberapa jenis risiko kecelakaan yang umumnya ditemukan yaitu antara lain geometrik jalan, jarak pandang, jalan berlubang dan sebagainya.

Beberapa penelitian lain mengenai kecelakaan lalu lintas pada ruas jalan telah banyak dilakukan. Setiaji (2019) dalam penelitiannya yang dilakukan di Jalan Tol Surabaya Gempol memberikan hasil bahwa model regresi linier yang dibentuk berdasarkan analisa data menunjukkan bahwa dari 4 model regresi ada 2 model regresi yang memenuhi syarat uji asumsi klasik (uji normalitas, heterokedastisitas, autokorelasi, dan multikolinieritas) yaitu model regresi untuk Grup I Ruas 2 Lajur dan Ruas 3 Lajur. Sedangkan untuk model regresi pada Grup II baik untuk yang 2 lajur maupun yang 3 lajur terjadi gejala multikolinieritas sehingga model regresi menjadi tidak valid. Pada uji hipotesa yang terdiri dari uji parsial (uji t) dan uji simultan (uji F) dari 4 model regresi yang ada hanya satu mempengaruhi variabel terikatnya, yaitu model regresi pada Grup I Ruas 2 Lajur di mana variabel bebas % Golongan kendaraan IIA dan IIB secara signifikan mempengaruhi tingkat kecelakaan (AF) pada jalan tol yang menunjukkan bahwa variabel bebas secara bersama-sama maupun secara parsial parsial signifikan Surabaya-Gempol dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 84,5%. Penelitian lain yang dilakukan oleh Handjar (2020) di jalan tol Jakarta Cikampek memberikan hasil bahwa Hasil analisis dengan agregat tahun menunjukkan bahwa hubungan antara angka kecelakaan dan v/c adalah fungsi polinomial positif dengan titik balik maksimum pada v/c antara 0,6 sampai 0,7. Persamaannya  $Y = -86,75X^2 + 127,4x + 0,13$  (R<sup>2</sup>=0,5003). Untuk tipe kecelakaan tunggal dan jenis kecelakaan ringan hubungan juga berpola polinomial positif (+), sedangkan pada tipe kecelakaan multi dan jenis kecelakaan fatal/berat hubungan bersifat eksponensial negatif (-), artinya peningkatan v/c rasio justru berpengaruh terhadap menurunnya angka kecelakaan. Selvy (2021) yang melakukan penelitian terkait Permodelan Faktor Penyebab Kecelakaan Lalu Lintas di Kalimantan Barat dengan Metode Geographically Weighted Regression (GWR), menunjukkan hasil bahwa Geographically Weighted Regression (GWR) merupakan metode yang dapat digunakan untuk membentuk analisis regresi yang bersifat lokal untuk setiap lokasi. Penaksiran parameter Model GWR diperoleh menggunakan Weighted Least Square (WLS). Tujuan penelitian ini menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh dengan GWR dan mendapatkan model terbaik antara regresi linear dan GWR yang dapat diterapkan pada kasus kecelakaan lalu lintas di setiap Kabupaten/Kota Kalimantan Barat. Berdasarkan hasil penelitian penyebab kecelakaan lalu lintas tahun 2015, faktor yang berpengaruh terhadap kecelakaan lalu lintas tiap Kabupaten/Kota dengan GWR memiliki kesamaan di setiap lokasi yaitu jumlah pelanggaran lalu lintas. Model terbaik pada kasus kecelakaan lalu lintas adalah model GWR karena memiliki nilai AIC lebih kecil yaitu 130,8698 dan memiliki nilai SSE lebih kecil yaitu 24876,11 dari model regresi. Agus (2018) dalam penelitiannya terkait Audit Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan Nasional KM 78-KM 79 Jalur Pantura Jawa, Kabupaten Batang) menunjukkan Hasil audit dihitung dengan indikator nilai resiko penanganan defisiensi Hasil audit keselamatan jalan menunjukkan bahwa beberapa bagian fasilitas jalan berada dalam kategori “bahaya” dan atau “sangat berbahaya”, yang harus segera diperbaiki untuk memperkecil potensi terjadinya kecelakaan [8] [9] [10] [11].

## 2. METODE

### Desain penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Penelitian ini berjenis kuantitatif sebab pendekatan dalam proses pengolahan data sampai dengan penulisannya menggunakan aspek pengukuran, perhitungan, rumus dan kepastian data numerik dan termasuk penelitian deskriptif karena dalam pelaksanaannya meliputi analisis data dan menjelaskan arti tentang yang diperoleh dan diteliti. Untuk pendekatan penelitian dalam skripsi ini menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif, metode penelitian kuantitatif diartikan sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan.

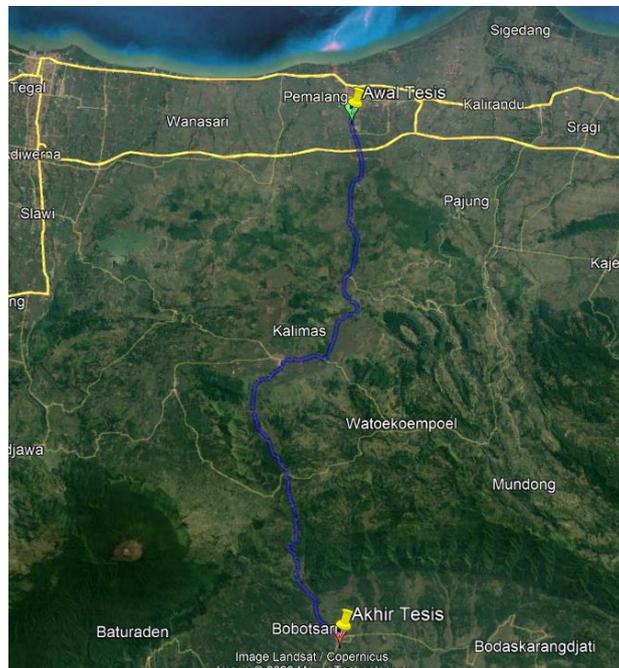
### Teknik pengumpulan data

Pengambilan data ini dilakukan dengan cara penelitian terjun langsung ke lapangan untuk proses pengambilan data yang dibutuhkan dalam penelitian. Target data yang dibutuhkan adalah data geometrik jalan, IRI dan inventaris perlengkapan jalan. Pengambilan data ini dilakukan menggunakan mobil Hawkeye dengan menyusuri sepanjang ruas Jalan Pemalang – Purbalingga [4] [6] [7].

Dalam pengambilan data peneliti mengoperasikan langsung perangkat computer didalam Hawkeye guna megarahkan perangkat saat mobil dalam keadaan siap jalan dan berhenti. Kemudian setelah selesai menyusuri sepanjang ruas ruas Jalan Pemalang - Purbalingga, data telah disimpan di dalam penyimpanan yang terdapat dalam perangkat Hawkeye yang kemudian bisa diambil dengan hardisk ke dalam komputer pribadi untuk dianalisis [7].

### Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di jalan Pemalang - Purbalingga berada di antara daerah Kabupaten Pemalang - Kabupaten Purbalingga dengan total panjang 53,280 km. Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor 620/2/Tahun 2016 tentang Penetapan Status Ruas Jalan Sebagai Jalan Provinsi Jawa Tengah, ruas jalan ini terbagi atas 3 seksi, yaitu seksi pertama ruas jalan Pemalang - Randudongkal dengan panjang ruas jalan 23,070 km, seksi kedua ruas jalan Randudongkal – Belik / Bts Kab Pemalang dengan panjang ruas jalan 15,670 km dan seksi ketiga yaitu ruas jalan Bobotsari – Belik / Bts Kab Pemalang dengan panjang ruas jalan 14,540 km [5].



Gambar 1. Lokasi penelitian

### Teknik analisa data

Data dalam penelitian ini menggunakan analisis data kuantitatif dan kualitatif meliputi perhitungan metode *Equivalent Accident Number* (EAN) dengan rumus  $EAN = [12 \times MD] + [3 \times LB] + [3 \times LR]$ , metode *Upper Control Limit* (UCL) penentuan lokasi rawan kecelakaan menggunakan statistik kendali mutu sebagai kontrol-chart UCL (*Upper Control Limit*) dengan rumus  $UCL = \lambda + [2.576 \sqrt{(\lambda/m)}] + [0,829/m] + [1/2m]$ . Serta menggunakan metode batas kontrol atas (BKA) dimana penentuan lokasi rawan kecelakaan dilakukan berdasarkan angka kecelakaan tiap kilometer jalan yang memiliki nilai bobot (EAN) melebihi nilai batas tertentu. Nilai Batas Kontrol Atas (BKA) ditentukan dengan menggunakan persamaan  $BKA = C + 3 \sqrt{C}$ .

Data dalam penelitian ini dianalisis dengan menggunakan analisis regresi lienar berganda dengan bantuan program SPSS versi 25. Analisis data diawali dari uji asumsi klasik yang terdiri dari uji normalitas, multikolinearitas, heteroskedastisitas dan dilanjutkan dengan uji model regresi yang terdiri dari uji t, uji f dan koefisien determinasi. Persamaan regresi terbentuk dari hasil analisis ini dan dapat digunakan untuk memprediksi jumlah kecelakaan yang dapat terjadi oleh adanya kondisi variabel bebas dalam persamaan yang terbentuk. Selain analisis regresi linear berganda, analisis deskriptif juga dilakukan untuk melengkapi hasil analisis dalam penelitian ini, memberikan gambaran terkait kondisi jalan yang diteliti dan jumlah kecelakaan yang terjadi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisa lokasi rawan kecelakaan

Untuk penentuan lokasi rawan kecelakaan “blackspot” menggunakan metode dengan cara membandingkan nilai *equivalen accident number* (EAN) dengan Batas Kontrol Atas (BKA) dan *upper control limit* (UCL) sehingga dalam perhitungan *blackspot* sebagaimana tabel dibawah dengan kondisi geomterik jalan dan perkerasan jalan sebagai berikut:

**Tabel 1.** Data geometrik, perkerasan jalan dan lokasi rawan kecelakaan

No.	STA	GRADE	X Slope	H Curv	V Curv	Lebar Jalan	Kondisi Jalan IRI	Kondisi Jalan PCI	Nilai BKA	Nilai EAN	Nilai UCL	KET
1	032+000	10.2	2.14	3.63	0.36	3.25	4.94	100	19.87	72	25.75	Blackspot
2	034+000	13.67	3.02	14.32	0.59	3.25	13.11	100	19.87	24	19.36	Blackspot
3	036+000	12.66	4.33	2.83	0.95	2.75	8.01	100	19.87	204	36.29	Blackspot
4	047+000	9.75	4.99	14.42	1	2.75	6.69	100	19.87	114	29.73	Blackspot
5	048+000	12.5	4.91	9.7	0.96	2.75	7.81	100	19.87	159	33.24	Blackspot

Sumber : Analisis Data

Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas di ruas jalan provinsi berdasarkan nilai standar teknis jalan yaitu pada STA 32+000 dengan nilai grade substandar >10%, H Curve tanpa superelevasi <10 meter. Serta X Slope, V Curv, Lebar Jalan, IRI & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 34+000 dengan nilai grade substandar >10%, H Curve tanpa superelevasi <10 meter, IRI >12 m/km. Serta X Slope, V Curv, Lebar Jalan & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 36+000 dengan nilai grade substandar >10%, & IRI >12 m/km. Serta X Slope, H Curv, V Curv, Lebar Jalan & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 47+000 dengan nilai grade substandar >10%. Serta X Slope, H Curv, V Curv, Lebar Jalan IRI & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 48+000 dengan nilai grade substandar >10%. Serta X Slope, H Curv, V Curv, Lebar Jalan IRI & PCI sudah memenuhi standar

#### Statistik deskriptif

Statistik deskriptif dalam penelitian ini dilakukan untuk melihat gambaran nilai variabel penelitian dengan melihat nilai minimum dan maximum, mean dan standar deviasi data masing-masing variabel penelitian.

**Tabel 2.** Statistik deskriptif

Variabel	Min	Max	Mean	SD
Grade	1.03	14.01	6.473	4.057
XSlope	1.40	7.64	4.513	1.339
HCurv	0.24	19.12	6.604	5.123
VCurv	0.06	1.98	0.536	0.380
lebar_jalan	3.25	3.50	3.401	0.123
Kondisi_jalan_IRI	3.09	13.11	6.018	2.067
Kondisi_jalan_PCI	55.00	100.00	97.638	8.600

Sumber: Olah Data

Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa grade jalan memiliki nilai minimum 1.030 dan maksimum 14.010 dengan mean 6.473 dan standar deviasi sebagai 4.057. Nilai standar deviasi variabel realisasi GRADE dibawah nilai rata-rata (mean) menunjukkan bahwa data variabel komisararis independen memiliki distribusi yang tidak normal karena terlalu banyak memuat fluktuasi. Selanjutnya nilai X Slope memiliki nilai minimum 1.400 dan maksimum 7.640 dengan mean 4.513 dan standar deviasi sebagai 1.339. Nilai standar deviasi variabel realisasi X Slope dibawah nilai rata-rata (mean) menunjukkan bahwa data variabel komisararis independen memiliki distribusi yang tidak normal karena terlalu banyak memuat fluktuasi. H Curv jalan memiliki nilai minimum0.240 dan maksimum 19.120 dengan mean 6.604 dan standar deviasi sebagai 5.123. Nilai standar deviasi variabel realisasi H Curv dibawah nilai rata-rata (mean) menunjukkan bahwa data variabel komisararis independen memiliki distribusi yang tidak normal karena terlalu banyak memuat fluktuasi. V Curv memiliki nilai minimum 0.060 dan maksimum 1.980 dengan mean 0.536 dan standar deviasi sebagai 0.380. Nilai standar deviasi variabel realisasi V Curv dibawah nilai rata-rata (mean) menunjukkan bahwa data variabel komisararis independen memiliki distribusi yang tidak normal karena terlalu banyak memuat fluktuasi. Lebar jalan yang diteliti ini memiliki nilai minimum 3.250 dan maksimum 3.500 dengan mean 3.401 dan standar deviasi sebagai 0.123. Nilai standar deviasi variabel realisasi Lebar Jalan dibawah nilai rata-rata (mean) menunjukkan bahwa data variabel komisararis independen memiliki distribusi yang tidak normal karena terlalu banyak memuat fluktuasi. Kondisi Jalan IRI memiliki nilai minimum 3.090 dan maksimum 13.110 dengan mean 6.018 dan standar deviasi sebagai 2.067. Nilai standar deviasi variabel realisasi Kondisi Jalan IRI dibawah nilai rata-rata (mean) menunjukkan bahwa data variabel komisararis independen memiliki distribusi yang tidak normal karena terlalu banyak memuat fluktuasi. Sementara Kondisi Jalan PCI memiliki nilai minimum 55.000 dan maksimum 100.000 dengan mean 97.638 dan standar deviasi sebagai 8.600. Nilai standar deviasi variabel realisasi Kondisi Jalan PCI dibawah nilai rata-rata (mean) menunjukkan bahwa data variabel komisararis independen memiliki distribusi yang tidak normal karena terlalu banyak memuat fluktuasi.

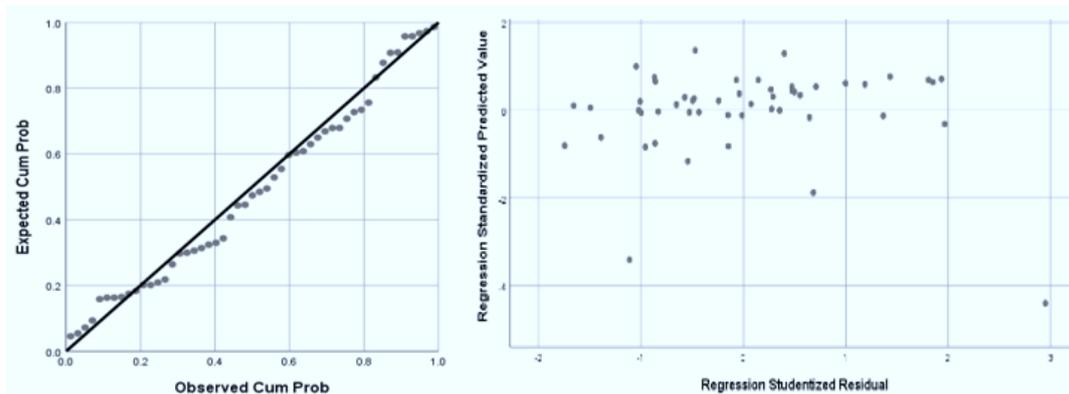
**Uji asumsi klasik**

Uji asumsi klasik dalam analisis regresi linear berganda meliputi uji normalitas, uji multikolinearitas, uji heteroskedastisitas dan uji lienaritas. Hasil uji normalitas pada Tabel 2 menunjukkan signifikansi uji Kolmogorv Smirnov  $0,200 > 0,05$  berarti bahwa residual regresi berdistribusi normal, hal ini diperkuat dengan tampilan histogram yang membentuk kurva normal dan PP Plot yang memberikan sebaran data mengikuti arag garis lurus.. Selanjutnya, uji heterosekdastisitas dengan Gletsjer Test menunjukkan signifikansi seluruh variabel bebas  $> 0,05$  berarti bahwa tidak ada heteroskedastisitas dalam model regresi. Selanjutnya, VIF dan tolerance seluruh variabel bebas  $> 0,1$  pada nilai tolerance dan  $< 10$  pada nilai VIF menunjukkan tidak adanya multikolienaritas dalam model regresi. Hal ini berarti seluruh asumsi klasik telah terpenuhi.

**Tabel 3.** Hasil uji asumsi klasik

Variabel	Multicolinearity Test		Heteroscedasticity Test	Normality Test
	Tolerance	VIF	Sig. Gletsjer Test	Sig. KS Test
Grade	0.189	5.301	0,776	
XSlope	0.624	1.603	0,258	
HCurv	0.651	1.537	0,691	
VCurv	0.275	3.637	0,176	0,200
lebar_jalan	0.488	2.051	0,118	
Kondisi_jalan_IRI	0.422	2.372	0,341	
Kondisi_jalan_PCI	0.605	1.654	0,244	
Kesimpulan	Tidak ada multikolienaritas		Tidak heteroskedastisitas	Residual Regresi Normal

Sumber: Olah Data



**Gambar 2.** PP Plot normalitas dan scatter plot heteroscedasticity test

**Regresi linear berganda**

Analisis regresi linear berganda akan menghasilkan persamaan regresi yang dapat digunakan memprediksi Y (dependent variable) berdasarkan nilai – nilai variabel X (independet variable). Hasil analisis pada Tabel 3 menunjukkan bahwa di antara grade, X Slope, H Curv, V Curv, lebar jalan, kondisi jalan IRI, kondisi jalan PCI, hanya faktor grade jalan, X Slope, lebar jalan dan kondisi PCI jalan yang berpengaruh signifikan terhadap kejadian kecelakaan di jalan Pemalang - Purbalingga berada di antara daerah Kabupaten Pemalang - Kabupaten Purbalingga. 33,8% kejadian kecelakaan di ruas jalan tersebut dapat dijelaskan oleh kondisi grade jalan, X Slope, H Curv, V Curv, lebar jalan, kondisi jalan IRI, kondisi jalan PCI, hanya faktor grade jalan, X Slope, lebar jalan dan kondisi PCI jalan.

**Tabel 4.** Model regresi linier berganda standar teknis jalan terhadap kecelakaan lalu lintas

Variabel	B	t hitung	Sig. Uji t	Sig Uji F	R2; Adjusted R Square	Persamaan Regresi
Grade	-2.618*	-1.907	0.063			$Y = -2,618 + 0,049$
XSlope	0.049**	2.477	0.017			$Grade - 0,019 X Slope$
HCurv	-0.019	-0.61	0.545	Sig. =		$- 0,008 H Curv - 0,417$
VCurv	-0.008	-0.979	0.333	0,000;	R2 = 0,425; Adjusted	$VCurv + 0,264 lebar$
lebar_jalan	-0.417**	-2.457	0.018	F hitung	R2 = 0,338	$jalan + 0,081 kondisi$
Kondisi_jalan_IRI	0.264	0.665	0.509	= 4.864		$jalan IRI + 0,014$
Kondisi_jalan_PCI	0.014***	0.409	0.002			$Kondisi Jalan PCI.$

\*) sig. level 10%; \*\*) sig. level 5%; \*\*\*) sig. level 1%

Sumber : Olah Data

#### 4. KESIMPULAN

Simpulan pertama dari penelitian ini adalah bahwa suatu segmen dikategorikan *black spot* berdasarkan nilai EAN lebih besar dari nilai UCL dan EAN lebih besar BKA sehingga dapat disimpulkan segmen yang dikategorikan sebagai lokasi rawan kecelakaan adalah STA 32+000, 34+000, 36+000, 47+000 dan 48+000. Simpulan kedua dari penelitian ini adalah bahwa Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas di ruas jalan provinsi berdasarkan nilai standar teknis jalan yaitu pada STA 32+000 dengan nilai grade substandar >10%, H Curve tanpa superelevasi <10 meter. Serta X Slope, V Curv, Lebar Jalan, IRI & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 34+000 dengan nilai grade substandar >10%, H Curve tanpa superelevasi <10 meter, IRI >12 m/km. Serta X Slope, V Curv, Lebar Jalan & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 36+000 dengan nilai grade substandar >10%, & IRI >12 m/km. Serta X Slope, H Curv, V Curv, Lebar Jalan & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 47+000 dengan nilai grade substandar >10%. Serta X Slope, H Curv, V Curv, Lebar Jalan IRI & PCI sudah memenuhi standar. pada STA 48+000 dengan nilai grade substandar >10%. Serta X Slope, H Curv, V Curv, Lebar Jalan IRI & PCI sudah memenuhi standar. Simpulan ketiga, terkait faktor – faktor yang mempengaruhi kecelakaan lalu lintas di ruas jalan provinsi Pematang – Purbalingga, disimpulkan bahwa faktor yang secara signifikan mempengaruhi kejadian kecelakaan di ruas jalan tersebut adalah faktor X Slope, lebar jalan dan kondisi jalan PCI. Hasil penelitian ini memberikan temuan bahwa  $Y = -2,618 + 0,049 \text{ Grade} - 0,019 \text{ X Slope} - 0,008 \text{ H Curv} - 0,417 \text{ V Curv} + 0,264 \text{ lebar jalan} + 0,081 \text{ kondisi jalan IRI} + 0,014 \text{ Kondisi Jalan PCI}$ , merupakan persamaan regresi yang dapat digunakan untuk memprediksi jumlah kecelakaan yang dapat terjadi di ruas jalan tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan
- [2] Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan
- [3] BAPPENAS. (2011). *Rencana Umum Nasional Keselamatan (RUNK) Jalan 2011-2035*. BAPPENAS. Jakarta
- [4] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 19/PRT/M/2011 Tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.
- [5] Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor: 620/2/ Tahun 2016 Tentang Penetapan Status Ruas Jalan Sebagai Jalan Provinsi Jawa Tengah.
- [6] Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997) *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [7] The Australian Road Research Board (ARRB). (2014). *User Manual Hawkeye 2000 System*. 500 Burwood Highway. In Vermont South Victoria 3133
- [8] Antoro, D. H. “Analisis Hubungan Kecelakaan dan V/C Rasio (Studi Kasus: Jalan Tol Jakarta – Cikampek)”, Tesis, Universitas Diponegoro, 2006.
- [9] Mulyono, A. T., Kushari, B. and Gunawan, H. E. (2009). “Audit Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan Nasional KM 78-KM 79 Jalur Pantura Jawa, Kabupaten Batang)”, *Jurnal Teknik Sipil, Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* ISSN 0853-2982. Vol. 16 No. 3 Desember 2009.
- [10] Pamungkas Nur S, Junaidi dan Triatmo S H. (2013). “Model Regresi Linier Pengaruh Komposisi Kendaraan Terhadap Tingkat Kecelakaan Pada Jalan Tol Surabaya - Gempol”, *Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, ISSN 2527-4333. Vol. 18 No. 1 2013.
- [11] Agustianto Selvy P, Shantika Martha dan Neva S. (2018). “Permodelan Faktor Penyebab Kecelakaan Lalu Lintas Di Kalimantan Barat dengan Metode *Geographically Weighted Regression (GWR)*”, *Buletin Imiah Math, Statt dan Terapannya (Bimaster)*, Vol. 07 No. 4 2018.
- [12] Williamson A, *Why do we make safe behaviour so hard for drivers? Australian College of Road Safety, ACRS (ACRS,2020)*, DOI:10.33492/JRS-D-20-00255, <https://doi.org/10.33492/JRS-D-20-00255>

## DAMPAK PEMBANGUNAN ABDUL RASYID TOWER TERHADAP PERUBAHAN ARUS LALU LINTAS DI KABUPATEN KOTAWARINGIN BARAT

\*Yudi Ribus Pamungkas<sup>1</sup>, Pratikso<sup>2</sup>, Rachmat Mudiyo<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang  
) Email: masyudijasim.76@gmail.com

### ABSTRACT

*Pangkalan Bun city, West Kotawaringin Regency, has experienced significant growth as population growth result and trade centers development, which one is the Abdul Rasyid Tower which was built on Udan Said road. Abdul Rasyid Tower construction has potential for traffic jams or route changes. Surveillance is carried out at Abdul Rasyid Tower intersection during morning, the day, and afternoon peak hours, from 06.00 to 18.00 WIB. The survey results are explained and understood for each section and intersection, the results are presented in vehicle table form. Intersection analysis uses Indonesian Road Capacity Manual (MKJI) 1997 method and VISSIM software. This method is to study traffic performance around project location, including traffic delays effect at various times. The results after analysis show increased traffic dynamics understanding, namely before, during, and construction project. According to MKJI 1997 calculations, traffic speed around project site was 7.45seconds. VISSIM software results show greatest speed at first intersection in the morning at 7.98seconds. According to MKJI 1997 calculations, traffic performance during construction at the largest intersection occurred in the afternoon at first intersection at 9.47seconds. VISSIM software results show that the largest intersection delay occurred in the afternoon at first intersection at 9.89seconds. After construction, the largest intersection delay occurred during the day at first intersection amounting to 7.78seconds. VISSIM software results show that the largest intersection delay occurred during the day at first intersection at 8.21seconds. The biggest intersection delays occur during construction, which affects road performance resulting in traffic jams, therefore it is recommended that Udan Said road be made one-way during construction.*

**Keyword:** Abdul Rasyid Tower, Software Vissim, Intersection Delay

### ABSTRAK

Kota Pangkalan Bun Kabupaten Kotawaringin Barat mengalami pertumbuhan yang signifikan akibat dari pertumbuhan penduduk dan terjadi perkembangan pusat perdagangan, salah satunya adalah Menara Abdul Rasyid yang dibangun di Jalan Udan Said. Pembangunan Menara Abdul Rasyid berpotensi kemacetan ataupun perubahan rute. Survei dilakukan di persimpangan ruas Menara Abdul Rasyid selama jam puncak pagi, siang, dan sore hari, dari pukul 06.00 hingga 18.00 WIB. Hasil survei dianalisis dan dikelompokkan masing-masing ruas dan simpang, hasilnya disajikan dalam bentuk tabel kendaraan. Analisis simpang menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) tahun 1997 dan *software* VISSIM. Metode ini untuk mempelajari kinerja lalu lintas di sekitar lokasi proyek, termasuk pengaruh tundaan lalu lintas pada berbagai waktu. Hasil analisis menunjukkan peningkatan pemahaman tentang dinamika lalu lintas yaitu sebelum, selama, dan setelah konstruksi proyek. Menurut perhitungan MKJI 1997, kecepatan lalu lintas di sekitar lokasi proyek adalah 7,45 detik. Hasil *software* VISSIM menunjukkan kecepatan terbesar pada simpang pertama di pagi hari sebesar 7,98 detik. Menurut perhitungan MKJI 1997, kinerja lalu lintas masa konstruksi pada tundaan simpang terbesar terjadi sore hari pada simpang pertama sebesar 9,47 detik. Hasil *software* VISSIM tundaan simpang terbesar terjadi sore hari pada simpang pertama sebesar 9,89 detik. Setelah konstruksi, tundaan simpang terbesar terjadi siang hari pada simpang pertama sebesar 7,78 detik. Hasil *software* VISSIM tundaan simpang terbesar terjadi siang hari pada simpang pertama sebesar 8,21 detik. Tundaan simpang terbesar terjadi saat konstruksi berlangsung yang mempengaruhi kinerja jalan sehingga terjadi kemacetan, maka dari itu disarankan Jalan Udan Said dibuat searah selama konstruksi berlangsung.

**Kata kunci:** Abdul Rasyid Tower, Software Vissim, Tundaan Simpang

## 1. PENDAHULUAN

Pulau Kalimantan, salah satu dari lima pulau besar di Indonesia, dikenal di seluruh dunia karena memiliki hutan yang sangat lebat. Pulau ini menyediakan habitat alami yang kaya bagi berbagai spesies hewan, termasuk orang utan, gajah borneo, badak borneo, landak, rusa, dan tapir. Sayangnya, perhatian global tertuju pada berkurangnya luas hutan akibat aktivitas penebangan oleh manusia. Kalimantan Tengah adalah salah satu dari lima provinsi yang terletak di Pulau Kalimantan. Provinsi ini memiliki luas wilayah sekitar 157.983 km<sup>2</sup> dengan jumlah penduduk sekitar 2.202.599 jiwa. Lebih dari 80% wilayah provinsi ini sebagian besar masih ditutupi oleh hutan alami. Selain hutan, Kalimantan Tengah juga memiliki perkebunan kelapa sawit yang mencakup area seluas 700.000 hektar. Selain itu, wilayah ini juga kaya akan sumber daya alam, termasuk tambang batubara, emas, zirkon, besi, tembaga, kaolin, batu permata, dan berbagai sumber daya lainnya.[1]

Kabupaten Kotawaringin Barat memiliki sejarah yang unik yang dapat dijelaskan sebagai berikut: Nama "Kotawaringin Barat" berasal dari dua kata, yaitu "Kuta" dan "Waringin." "Kuta" memiliki arti "Gapura," sementara "Waringin" mengacu pada "Pohon Beringin" yang melambangkan "Pengayoman." Kata "Barat" menunjukkan lokasi geografis atau wilayah,

yang berarti Kotawaringin Barat dapat diartikan sebagai "Gapura Pengayoman di Sebelah Barat." Pembentukan Kabupaten Kotawaringin Barat dimulai ketika Provinsi Kalimantan Tengah didirikan berdasarkan Keputusan Mendagri Nomor : Up 34/41/24 pada tanggal 28 Desember 1957 dan SK. Nomor : Des 52/12/2.206 tanggal 22 Desember 1959 Tentang Pembagian Kabupaten Kotawaringin Timur dan Kabupaten Kotawaringin Barat kemudian secara resmi hari jadinya Kabupaten Kotawaringin Barat pada tanggal 3 Oktober 1959.[2]

Kabupaten Kotawaringin Barat, yang memiliki ibu kota administratif di Pangkalan Bun, merupakan bagian dari Provinsi Kalimantan Tengah, Indonesia. Secara geografis, wilayah ini terletak dekat dengan garis khatulistiwa, membentang antara 1°19' hingga 3°36' Lintang Selatan dan 110°25' hingga 112°50' Bujur Timur. Kotawaringin Barat, yang sering disingkat sebagai Kobar, berbatasan dengan tiga kabupaten lainnya, membentuk batas yang penting. Di sebelah utara, berbatasan dengan Kabupaten Lamandau, sementara di sebelah timur terhubung dengan Kabupaten Seruyan. Batas baratnya adalah Kabupaten Sukamara, sementara di sebelah selatan, ia berhubungan langsung dengan Laut Jawa, menciptakan ikatan antara daratan dan laut yang menghiasi panorama wilayah ini[3]

Kabupaten Kotawaringin Barat, yang mencakup wilayah seluas 10.759 km<sup>2</sup>, memiliki sejarah pemekaran wilayah yang sangat penting. Berdasarkan UU No. 5 tahun 2002, wilayah Kabupaten Kotawaringin Barat mengalami proses pemekaran yang menghasilkan pembentukan tiga kabupaten mandiri. Hasil dari pemekaran ini adalah terbentuknya Kabupaten Kotawaringin Barat, serta dua kabupaten baru, yaitu Kabupaten Sukamara dan Kabupaten Lamandau. [4]

Secara umum, Kabupaten Kotawaringin Barat memiliki iklim tropis yang dipengaruhi oleh perubahan musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau dan musim hujan merupakan dua fase penting dalam iklim Kabupaten Kotawaringin Barat. Curah hujan tertinggi biasanya terjadi pada bulan Desember, dengan jumlah mencapai 375,8 mm. Pada tahun 2016, tercatat adanya 244 hari hujan, menandakan intensitas curah hujan yang cukup signifikan. Di sisi lain, bulan Februari mencatat jumlah hari hujan tertinggi dalam tahun tersebut, yaitu sebanyak 25 hari. Suhu udara di wilayah ini relatif stabil, dengan suhu maksimum berkisar antara 32,1°C hingga 33,1°C, sementara suhu minimum mencapai antara 23,1°C hingga 24,2°C. Kecepatan angin tertinggi yang tercatat adalah 20 knot.

Sebagai pusat utama pengembangan di wilayah barat Kabupaten Kotawaringin Barat, Kota Pangkalan Bun memiliki peran strategis yang sangat penting dalam perkembangan wilayah Kalimantan Tengah bagian barat. Terletak di persimpangan jalur pelayaran krusial di Indonesia yang menghubungkan arah timur dan barat, kota ini memegang posisi sentral dalam bidang pemerintahan, ekonomi, perdagangan, dan layanan di wilayah barat daya Pulau Kalimantan. Kota Pangkalan Bun berada di titik vital di mana jalur pelayaran penting bersilangan, mengarah ke timur dan barat di Indonesia. Keunggulan geografis ini sangat signifikan dan telah menarik perhatian terhadap pertumbuhan dan aktivitas ekonomi di wilayah ini. Sebagai hasilnya, pusat-pusat pemerintahan, layanan, serta aktivitas perdagangan telah berkembang pesat di kota ini, menjadikannya sebagai motor utama dalam kontribusi terhadap pertumbuhan dan kemajuan ekonomi di daerah tersebut.[4]

Berkembangnya populasi Kota Pangkalan Bun berjalan seiring dengan perluasan wilayahnya yang mencakup area linear dan sekitarnya, yang tidak hanya terbatas pada pusat kota utama. Fenomena ini mencerminkan bagaimana pertumbuhan Kota Pangkalan Bun telah menyebar ke berbagai jalur dan daerah di sekitarnya. Dampak dari perluasan ini menjadi jelas dengan munculnya berbagai pusat perdagangan yang signifikan, yang tersebar di seluruh wilayah kota, bukan hanya terpusat di pusat kota itu sendiri. Salah satu bukti nyata dari pertumbuhan ini adalah Pembangunan Abdul Rasyid Tower yang terletak di Jalan Udang Said, depan kantor pusat CBI Group, Pangkalan Bun, Kabupaten Kotawaringin Barat. Proyek ini mencakup pembangunan hotel sembilan lantai dan gedung perkantoran delapan lantai di atas lahan seluas 1,7 hektar. Pembangunan ini berpotensi menghasilkan kemacetan atau perubahan dalam pola perjalanan di Kota Pangkalan Bun. [5]

Tarikan ini akan memberikan dampak lalu lintas, khususnya pada ruas-ruas jalan dan persimpangan yang terletak di sekitarnya. Pada ruas-ruas jalan dan persimpangan yang terletak disekitar Abdul Rasyid Tower, sekarang ini pun pada jam tertentu sudah mengalami kepadatan lalu lintas akibat dampak dari pembangunan tersebut. [6] Atas dasar itulah maka analisis dampak lalu lintas terhadap jaringan jalan akibat Pembangunan Abdul Rasyid Tower perlu dilakukan.

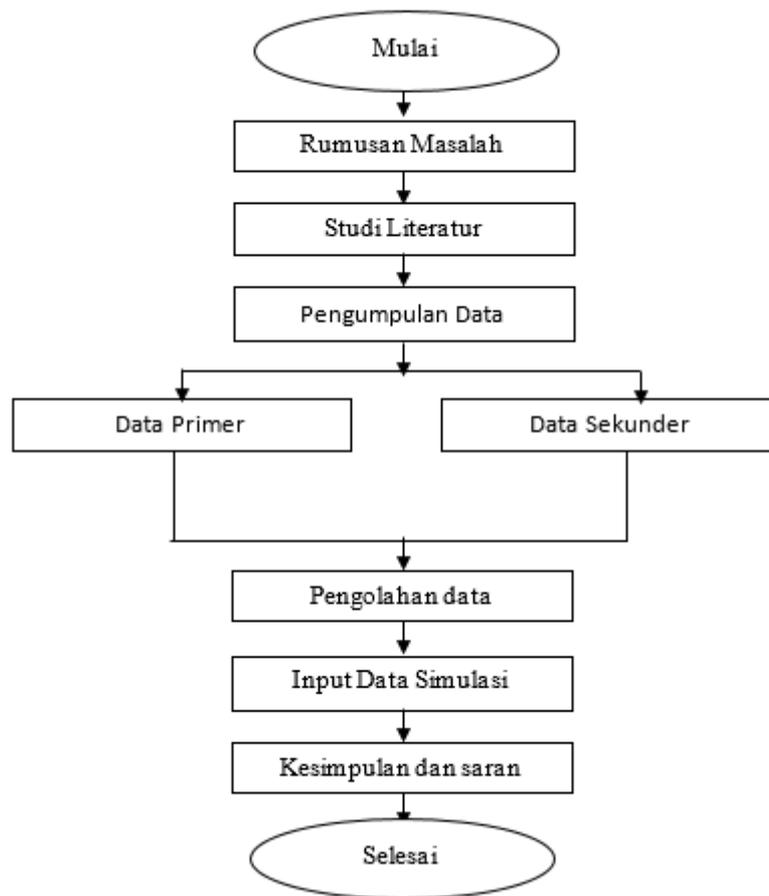
Pada penelitian sebelumnya yang berjudul kinerja simpang tidak bersinyal pada persimpangan jalan pakunegara – jalan udang said – jalan ahmad yani – jalan padat karya gaya baru di Pangkalan Bun yaitu menganalisa persimpangan empat tersebut dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia, sedangkan korelasinya dengan penelitian yang saat ini dilakukan adalah masih dalam satu lingkup di Jalan udang said, yang membedakan dengan penelitian sebelumnya adalah menganalisa tingkat pelayanan jalan saat adanya pembangunan Abdul Rasyid Tower. Pada Penelitian ini yaitu menganalisa tingkat pelayanan jalan sebelum adanya Pembangunan, saat konstruksi berlangsung dan sesudah konstruksi berlangsung.

Perbedaan dengan penelitian terdahulu adalah penelitian terdahulu hanya menggunakan analisis manual dengan MKJI, sedangkan penelitian yang dilakukan saat ini menggunakan software yang disebut Vissim. Pada penelitian ini, Vissim dipilih sebagai pembanding antara kondisi di lapangan dengan MKJI 1997 dan Vissim dengan kondisi di lapangan.

Adapun metode yang digunakan dalam menganalisa dampak lalu lintas akibat dari Pembangunan Abdul Rasyid Tower yaitu menggunakan *Software Vissim* dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997[7]. *Software Vissim* merupakan aplikasi pendekatan untuk mengukur ketelitian dari sebuah simulasi kondisi nyata pada lalu lintas. [8] Perbandingan hasil perhitungan menggunakan *Software Vissim* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan tundaan tidak terlalu besar asalkan volume kendaraan tidak sangat besar.[9]

## 2. METODE

Penelitian ini berfokus pada area Abdul Rasyid Tower yang terletak di Jalan Udan Said. Tujuan penelitian adalah menganalisis dampak dari lalu lintas terhadap jaringan jalan akibat pembangunan Abdul Rasyid Tower. Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu sebelum konstruksi dimulai, selama masa konstruksi, dan setelah konstruksi selesai. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Vissim* dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini mencakup kondisi geometrik jalan, hambatan samping, dan volume lalu lintas.[10] Pengambilan data dilakukan selama periode waktu dari pukul 06.00 hingga 18.00 WIB, dengan penentuan jam puncak lalu lintas sebagai fokus utama penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan pengambilan secara langsung di lapangan dengan mensurvey arus lalu lintas berdasarkan jenis-jenis kendaraan. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan Manual kapasitas Jalan Indonesia dan *Software Vissim*. Adapun untuk membangun model VISSIM yang akurat sesuai dengan kondisi lapangan, kalibrasi perlu dilakukan. Tahap kalibrasi dilakukan pada menu "*Driving Behaviour*", yang awalnya masih dalam pengaturan bawaan VISSIM. Secara default, komponen-komponen dalam *Driving Behaviour* didesain untuk merepresentasikan perilaku berkendara di Eropa, dengan aspek seperti jarak antara kendaraan yang bisa mencapai 2meter serta Tingkat keagresifan pengemudi yang rendah. Hal ini berbeda dengan perilaku berkendara di Indonesia, yang cenderung memiliki jarak antara kendaraan yang lebih rapat saat berhenti dan perilaku mengemudi yang lebih agresif. Langkah awal dalam kalibrasi adalah mengatur perilaku *Car Following*, yang berkaitan dengan jarak antara kendaraan. Jika setelah mengkalibrasi perilaku *Car Following* masih terdapat perbedaan yang signifikan dengan situasi lapangan, maka langkah selanjutnya adalah mengubah komponen Lateral dengan mengganti "*Desired Position at Free Flow*" dari posisi tengah jalur (*Middle of Lane*) menjadi posisi bebas (*Any*), untuk memberikan perilaku mengemudi yang lebih agresif. Perubahan yang dilakukan pada komponen-komponen *Driving Behaviour* selama proses kalibrasi. Langkah pertama dalam proses kalibrasi melibatkan perubahan nilai *Average Standstill Distance* pada komponen *Car Following*, yaitu jarak antara kendaraan saat berhenti. Nilai awal yang secara default adalah 2 meter, diubah menjadi 0,5 meter. Perubahan ini dilakukan karena sebagian besar kendaraan di lokasi penelitian adalah sepeda motor, yang memiliki jarak henti yang lebih rapat. Langkah kalibrasi kedua mencakup perubahan komponen *Additive Part of Safety Distance*, yaitu nilai yang memengaruhi jarak aman antar kendaraan. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa nilai jarak aman yang sering terjadi adalah 0,6 meter. Langkah kalibrasi ketiga melibatkan perubahan komponen *Multiplicative Part of Safety Distance*, yaitu nilai kelipatan dari jarak aman saat mengikuti kendaraan di depan. Berdasarkan pengamatan, nilai yang umum muncul adalah 1-2 meter, dan dalam kalibrasi ini digunakan nilai 1 meter. Adapun perubahan pada komponen *Car Following* tidak dapat diterapkan pada nilai yang lebih rendah lagi, karena hal ini dapat mengakibatkan model VISSIM tidak lagi merepresentasikan kondisi lapangan. Proses kalibrasi berikutnya fokus pada komponen Lateral dengan mengubah "*Desired Position at Free Flow*" dari posisi tengah jalur (*Middle of Lane*) menjadi posisi bebas (*Any*), hal ini dilakukan untuk meningkatkan tingkat agresivitas pengemudi dan variasi posisi kendaraan di dalam lajur. Langkah kalibrasi kelima melibatkan perubahan nilai Minimum Distance Standing, yaitu jarak antara pengendara berdampingan saat berhenti, menjadi 0,2 meter. Sementara itu, kalibrasi keenam melibatkan perubahan nilai *Minimum Distance Driving*, yaitu jarak antara pengendara berdampingan saat bergerak, menjadi 0,8 meter. Pengaturan komponen *Lateral* bertujuan untuk mencapai jarak yang lebih rapat antara kendaraan yang berada di sisi sejajar. Berikut bagan alir penelitian :



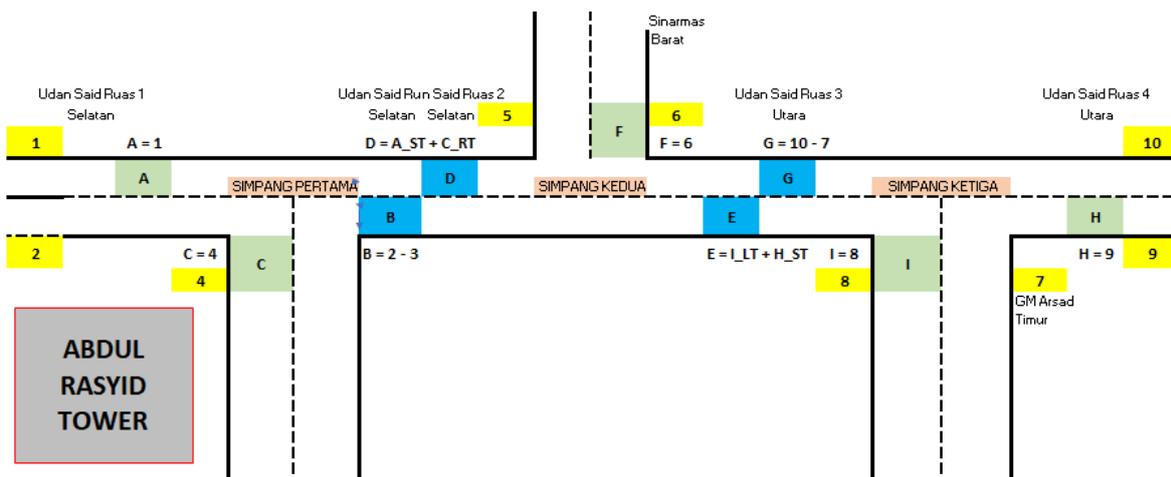
**Gambar 1.** Bagan Alir Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mayoritas informasi yang digunakan dalam analisis diperoleh dari data primer. Data primer merujuk pada informasi yang diperoleh secara langsung di lokasi penelitian. Dalam konteks penelitian ini, pengumpulan data primer dilakukan di tiga persimpangan pada Jalan Udan Said, yaitu Simpang Toko Roma - Sinarmas dan Simpang GM Arsyad. Proses pengumpulan data primer dilakukan melalui pengamatan dan perhitungan langsung di lapangan. Untuk mendapatkan kinerja ruas jalan, maka yang perlu diketahui adalah data geometric jalan, volume lalu lintas, kapasitas, hasil tundaan, derajat kejenuhan dan tingkat pelayanan jalan.



Gambar 2. Lokasi Penelitian



Gambar 3. Geometri Antar Simping

### Analisa dengan Software Vissim

Untuk membangun model VISSIM yang akurat sesuai dengan kondisi lapangan, diperlukan tahap kalibrasi. Tahap kalibrasi ini dilakukan pada menu "Driving Behaviour," yang sebelumnya masih menggunakan pengaturan bawaan VISSIM. Secara default, komponen-komponen dalam Driving Behaviour didesain untuk merepresentasikan perilaku berkendara di Eropa, dengan aspek seperti jarak antara kendaraan yang bisa mencapai 2 meter serta tingkat keagresifan pengemudi yang rendah. Ini berbeda dengan perilaku berkendara di Indonesia, yang cenderung memiliki jarak antara kendaraan yang lebih rapat saat berhenti dan perilaku mengemudi yang lebih agresif. Oleh karena itu, kalibrasi diperlukan untuk mengadaptasi model VISSIM agar sesuai dengan kondisi lalu lintas di Indonesia.

Langkah pertama dalam proses kalibrasi adalah menyesuaikan perilaku *Car Following*, yang terkait dengan jarak antara kendaraan. Jika setelah kalibrasi masih terdapat perbedaan yang signifikan dengan situasi lapangan, langkah selanjutnya adalah mengubah komponen Lateral dengan mengganti "Desired Position at Free Flow" dari posisi tengah jalur (*Middle of Lane*) menjadi posisi bebas (*Any*), untuk menciptakan perilaku mengemudi yang lebih agresif. Perubahan yang diimplementasikan pada komponen-komponen *Driving Behaviour* selama proses kalibrasi dapat dilihat dalam tabel yang diberikan di bawah ini.

**Tabel 1.** Perilaku Pengemudi untuk dikalibrasi

Kalibrasi ke-	Parameter yang diubah	Komponen yang diubah	Nilai	
			Default Vissim	Sesudah dikalibrasi
1	<i>Car following</i>	<i>Average Standstill Distance</i>	2 m	0,5 m
2	<i>Car following</i>	<i>Additive Part Of Safety Distance</i>	2 m	0,6 m
3	<i>Car following</i>	<i>Multiplicative Part Of Safety Distance</i>	3 m	1 m
4	<i>Lateral</i>	<i>Desire Position At Free Flow</i>	<i>Middle of lane</i>	<i>Any</i>
5	<i>Lateral</i>	<i>Minimum Distance Standing</i>	1 m	0,2 m
6	<i>Lateral</i>	<i>Minimum Distance Driving</i>	1 m	0,8 m

Hasil analisa dari *software* VISSIM adalah berupa waktu tempuh dan tundaan (*delay*). Hasil *output* tersebut tersaji pada tabel dibawah ini

**Tabel 2.** Hasil Pembacaan Tundaan pada Software Vissim

Waktu	Simpang	Tundaan simpang (detik)					
		Pra konstruksi		Masa konstruksi		Pasca konstruksi	
		Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata
Pagi	1	7,981		9,245		7,967	
	2	7,123	7,36	8,798	8,72	7,674	7,71
	3	6,981		8,126		7,498	
Siang	1	7,894		9,156		8,219	
	2	7,234	7,43	8,879	8,67	7,436	7,63
	3	7,189		7,978		7,245	
Sore	1	7,967		9,895		7,943	
	2	7,217	7,390	9,145	9,12	7,246	7,44
	3	6,996		8,347		7,135	

Dari hasil tundaan simpang menunjukkan bahwa pada pra konstruksi rata-rata tundaan simpang terbesar pada waktu siang hari yaitu sebesar 7.43 detik, rata-rata tundaan simpang terbesar pada masa konstruksi di waktu sore hari sebesar 9.12 detik, rata-rata tundaan simpang terbesar pada pasca konstruksi di waktu pagi hari sebesar 7.71 detik.

**Tabel 3.** Hasil *Vehicle Time Travel* pada Software Vissim

Waktu	Simpang	<i>Vehicle Travel Time</i> (detik)					
		Pra konstruksi		Masa konstruksi		Pasca konstruksi	
		Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata
Pagi	1	35,58		39,44		35,66	
	2	26,46	30,23	29,67	30,35	26,89	30,29
	3	28,65		31,04		28,323	
Siang	1	34,23		36,66		34,24	
	2	31,32	34,28	32,2	35,72	31,57	34,91
	3	37,29		38,32		38,93	
Sore	1	33,81		35,43		33,28	
	2	28,11	30,22	32,78	33,56	27,68	30,44
	3	28,75		32,47		30,38	

Hasil Analisa *Vehicle Time Travel* menunjukkan bahwa pada saat Pra Konstruksi rata -rata terbesar pada siang hari sebesar 34,28, pada masa konstruksi rata-rata terbesar pada waktu siang hari dan Pasca Konstruksi rata-rata terbesar pada waktu siang hari sebesar 34,91.

### Analisa dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Analisa dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia dengan beberapa variasi yaitu Analisa sebelum konstruksi, saat konstruksi dan sesudah konstruksi. Berikut ini derajat kejenuhan dan tundaan pada masing-masing simpang.

**Tabel 4.** Hasil Derajat Kejenuhan

Waktu	Derajat kejenuhan (Ds)								
	Pra konstruksi			Masa konstruksi			Pasca konstruksi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pagi	0,16	0,08	0,09	0,39	0,30	0,23	0,22	0,21	0,20
Siang	0,14	0,07	0,08	0,32	0,29	0,23	0,20	0,18	0,15
Sore	0,16	0,08	0,08	0,45	0,32	0,27	0,22	0,14	0,15

Hasil analisis menunjukkan bahwa derajat kejenuhan pada sebelum konstruksi terbesar yaitu pada simpang pertama waktu siang hari sebesar 0,14, pada masa konstruksi derajat kejenuhan terbesar pada simpang pertama waktu sore hari sebesar 0,45 dan pada pasca konstruksi derajat kejenuhan terbesar pada simpang pertama pada waktu pagi dan sore hari sebesar 0,22.

**Tabel 5.** Hasil Tundaan Seluruh Simpang

Waktu	Derajat kejenuhan (Ds)								
	Pra konstruksi			Masa konstruksi			Pasca konstruksi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pagi	7,47	6,85	6,55	8,82	8,01	7,61	7,48	7,28	7,26
Siang	7,27	6,74	6,67	8,46	8,16	7,64	7,78	7,08	6,94
Sore	7,45	6,86	6,65	9,47	8,41	8,03	7,65	6,93	6,84

Tingkat pelayanan menggambarkan kualitas atau unjuk kerja pelayanan lalu lintas. Menunjukkan kondisi operasional arus lalu lintas dan persepsi pengendara dan terminologi kecepatan, waktu tempuh, kenyamanan dalam berkendara, kebebasan bergerak, gangguan arus lalu lintas lainnya, keamanan dan keselamatan. Berikut tingkat pelayanan jalannya

**Tabel 6.** Hasil Tingkat Pelayanan Jalan Pra Konstruksi

Waktu	Derajat kejenuhan (Ds)			Tingkat Pelayanan
	Simpang			
	1	2	3	
Pagi	0,16	0,08	0,09	A
Siang	0,14	0,07	0,08	A
Sore	0,16	0,08	0,08	A

Hasil Analisa tingkat pelayanan jalan menunjukkan bahwa pada saat sebelum konstruksi berlangsung tingkat pelayanan jalan pada masing-masing simpang hasilnya sama yaitu tingkat pelayanan jalan A.

**Tabel 7.** Hasil Tingkat Pelayanan Jalan Masa Konstruksi

Waktu	Derajat kejenuhan (Ds)			Tingkat Pelayanan
	Simpang			
	1	2	3	
Pagi	0,39	0,30	0,23	B
Siang	0,32	0,29	0,23	B
Sore	0,45	0,32	0,27	C

Hasil Analisa tingkat pelayanan jalan menunjukkan bahwa pada saat konstruksi berlangsung tingkat pelayanan jalan pada masing-masing simpang dan di waktu pagi dan siang hari hasilnya sama yaitu tingkat pelayanan jalan B, sedangkan pada waktu sore hari tingkat pelayanan jalan C menunjukkan arus lalu lintas sedikit tersendat akibat dari dampak pembangunan dan jam sibuk orang-orang pulang kerja.

**Tabel 8.** Hasil Tingkat Pelayanan Jalan Pasca Konstruksi

Waktu	Derajat kejenuhan (Ds)			Tingkat Pelayanan
	Simpang			
	1	2	3	
Pagi	0,22	0,21	0,20	B
Siang	0,20	0,18	0,15	A
Sore	0,22	0,14	0,15	A

Hasil Analisa tingkat pelayanan jalan menunjukkan bahwa pada saat setelah konstruksi berlangsung tingkat pelayanan jalan pada masing-masing simpang hasilnya sama yaitu tingkat pelayanan jalan A pada waktu siang dan sore hari, sedangkan pada pagi hari menunjukkan tingkat pelayanan jalan B.

Dari hasil analisa antara *Software* Vissim dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia kemudian di dibandingkan hasil tundaan/delay. Berikut matrik perbandingan hasil tundaan *Delay* antara *Software* Vissim dengan perhitungan MKJI 1997 sebagai berikut.

**Tabel 9.** Hasil Perbandingan Tundaan Simpang Pra Konstruksi

Waktu	Tundaan simpang (detik)					
	Software Vissim Simpang			MKJI 1997 Simpang		
	1	2	3	1	2	3
Pagi	7,98	7,12	6,98	7,41	6,85	6,55
Siang	7,89	7,23	7,18	7,27	6,74	6,67
Sore	7,96	7,21	6,99	7,45	6,86	6,65

**Tabel 10.** Hasil Perbandingan Tundaan Simpang Masa Konstruksi

Waktu	Tundaan simpang (detik)					
	Software Vissim Simpang			MKJI 1997 Simpang		
	1	2	3	1	2	3
Pagi	9,24	8,79	8,12	8,82	8,01	7,61
Siang	9,15	8,87	7,97	8,46	8,16	7,64
Sore	9,89	9,14	8,34	9,47	8,41	8,03

**Tabel 11.** Hasil Perbandingan Tundaan Simpang Pasca Konstruksi

Waktu	Tundaan simpang (detik)					
	Software Vissim Simpang			MKJI 1997 Simpang		
	1	2	3	1	2	3
Pagi	7,96	7,67	7,49	7,48	7,28	7,26
Siang	8,21	7,43	7,24	7,78	7,08	6,94
Sore	7,94	7,24	7,13	7,65	6,93	6,84

#### 4. KESIMPULAN

Kinerja lalu lintas di sekitar lokasi proyek Abdul Rasyid Tower pada saat sebelum pembangunan, menurut perhitungan MKJI 1997, mengindikasikan tundaan pada simpang pertama yang berbeda pada berbagai waktu. Pagi hari, tundaan simpang terbesar mencapai 7,41 detik, sedangkan pada siang hari, tundaan simpang tertinggi adalah sekitar 7,27 detik. Pada sore hari, tundaan simpang tertinggi mencapai 7,45 detik. Hasil dari perangkat lunak VISSIM, sementara itu, menunjukkan tundaan yang sedikit berbeda. Pagi hari, tundaan simpang terbesar pada simpang pertama adalah sekitar 7,98 detik. Pada siang hari, tundaan simpang tertinggi adalah sekitar 7,89 detik, dan pada sore hari, tundaan simpang tertinggi mencapai sekitar 7,96 detik. Perlu dicatat bahwa terdapat perbedaan kecil antara hasil perhitungan MKJI 1997 dan hasil dari perangkat lunak VISSIM dalam hal tundaan simpang di simpang pertama pada berbagai waktu tertentu.

Kinerja lalu lintas di sekitar lokasi proyek Abdul Rasyid Tower selama masa pembangunan, menurut perhitungan MKJI 1997, mengindikasikan adanya tundaan di simpang pertama pada berbagai waktu. Pagi hari, tundaan simpang terbesar mencapai 8,82 detik, sementara pada siang hari, tundaan simpang tertinggi adalah sekitar 8,46 detik. Pada sore hari, tundaan simpang tertinggi mencapai 9,47 detik. Hasil dari perangkat lunak VISSIM, sementara itu, menunjukkan tundaan yang sedikit berbeda selama masa pembangunan. Pagi hari, tundaan simpang terbesar pada simpang pertama adalah sekitar 9,24 detik, sementara pada siang hari, tundaan simpang tertinggi adalah sekitar 9,15 detik. Pada sore hari, tundaan simpang tertinggi mencapai sekitar 9,89 detik. Perlu diperhatikan bahwa terdapat perbedaan kecil antara hasil perhitungan MKJI 1997 dan hasil dari perangkat lunak VISSIM dalam hal tundaan simpang di simpang pertama pada berbagai waktu tertentu selama masa pembangunan.

Kinerja lalu lintas di sekitar lokasi proyek Abdul Rasyid Tower pada periode pasca pembangunan, menurut perhitungan MKJI 1997, menunjukkan tundaan di simpang pertama pada berbagai waktu. Pagi hari, tundaan simpang terbesar mencapai 7,481 detik, sementara pada siang hari, tundaan simpang tertinggi adalah sekitar 7,78 detik. Pada sore hari, tundaan simpang tertinggi mencapai sekitar 7,65 detik. Hasil dari perangkat lunak VISSIM, sementara itu, menunjukkan tundaan yang sedikit berbeda pada periode pasca pembangunan. Pagi hari, tundaan simpang terbesar pada simpang pertama adalah sekitar 7,96 detik, sementara pada siang hari, tundaan simpang tertinggi adalah sekitar 8,21 detik. Pada sore hari, tundaan simpang tertinggi mencapai sekitar 7,94 detik. Perlu diperhatikan bahwa terdapat perbedaan kecil antara hasil perhitungan MKJI 1997 dan hasil dari perangkat lunak VISSIM dalam hal tundaan simpang di simpang pertama pada berbagai waktu tertentu selama periode pasca pembangunan.

Dari hasil tundaan simpang terbesar terjadi pada saat konstruksi dikarenakan adanya pekerjaan proyek sedang berlangsung yang mempengaruhi kinerja jalan tersebut sehingga terjadi kemacetan, maka dari itu disarankan pada jalan udan said dibuat searah pada saat konstruksi berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ataline Muliasari and M. Herry Purnama, "ANALISA RENCANA OVERLAYLANDAS PACU BANDAR UDARA ISKANDAR PANGKALAN BUN, TERHADAP EQUIVALENT SINGLE WHEELLOAD(ESWL) PESAWAT BOEING 737-900 ER," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 25, no. 07, pp. 468–475, 2013.
- [2] SK Menteri Dalam Negeri, "Pembagian Kabupaten Kotawaringin Timur dan Kabupaten Kotawaringin Barat," 1959.
- [3] Laporan Final Rencana Ditail Tata Ruang Kota Pangkalanbun, "Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Kotawaringin Barat," 2015.
- [4] RDTR, *Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kota Pengkalan Bun Tahun 2009-2029*. 2009.
- [5] RPJMD, "Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Kotawaringin Barat Tahun 2017-2022," in *RPJMD Kab. Kotawaringin Barat*, 2017.
- [6] Tamin O.Z, "Perencanaan dan Pemodelan Transportasi (Edisi 2)," in *Bandung, ITB*, 2000.
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)," in *Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta*, 1997.
- [8] Muhammad Idham and G. S. Gara, "Penerapan Aplikasi Vissim pada Evaluasi Ruas Jalan Kawasan Taman Bukit Gelanggang Kota Dumai," *Inovtek Seri Tek. Sipil dan Apl.*, vol. 5, no. 1, pp. 8–16, 2023.
- [9] Destiyanto and Itang, "Pemodelan Simpang di Kawasan Perkotaan Lumajang Menggunakan PTV Vistro," in *Teknik Sipil Universitas Jember*, 2015.
- [10] Tamin O. Z, "Perencanaan dan Pemodelan Transportasi," in *Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung*, 2000.

## PERENCANAAN STRUKTUR KANTOR PHICOS DENGAN SISTEM RANGKA BAJA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

\*Rasyiid Lathiif Amhudo<sup>1</sup>, Dwi Prasetyo Utomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanegara

<sup>\*)</sup> Email: [rasyiidlathiifamhudo@lecture.utp.ac.id](mailto:rasyiidlathiifamhudo@lecture.utp.ac.id)

### ABSTRACT

*Colomadu District is a sub-district located in Karanganyar Regency, Central Java Province. Economic development in Colomadu sub-district is expected to grow through the business sectors of goods and services, tourism and industry, so an office building is planned in the Colomadu area. Because the location of Colomadu District is not far from Yogyakarta province, where earthquakes often occur, earthquake-resistant buildings are needed to anticipate a minimum number of fatalities and material losses when an earthquake occurs. Therefore, in the planning of this office a special moment resisting frame system (SRPMK) was used. Buildings with a Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) are planned using the SCWC concept, namely Strong Columns and Weak Beams where column elements are stronger than weak beam elements. The design of this planning system is to form a building structural system that is resistant to seismic forces that will be received by the building structure by using a special moment-bearing frame structural system and referring to the applicable requirements in accordance with SNI 2847:2019. The seismic force loading applied using the response spectrum analysis method and structural analysis was calculated using the ETABS V9.7.4 program. From the planning results, it is obtained that the thickness of the bondek floor plate is 140 mm, beam B1A 150x400 mm, B2A 200x400 mm, B2B 200x400 mm, B2C 200x400 mm, B2D 200x400 mm, B2E 200x400 mm, B3A 200x500 mm, B3B 200x500 mm, B4A 300x150 mm, B5A 300x150 mm, BS 150x300 mm, as well as columns KP 150x150 mm, K1A 200x300 mm, K2A 400x550 mm, K3A 450x650 mm, and K4A 350x500 mm.*

**Keyword:** Karanganyar, SRPMK, earthquake resistant structure, ETABS V9.7.4.

### ABSTRAK

Kecamatan Colomadu merupakan kecamatan yang terletak di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. Perkembangan ekonomi di kecamatan Colomadu diperkirakan akan tumbuh melalui bidang bisnis barang dan jasa, wisata, dan industri sehingga direncanakan sebuah bangunan kantor di daerah Colomadu. Karena letak Kecamatan Colomadu yang tidak jauh dengan provinsi Yogyakarta yang sering terjadi gempa, maka diperlukan bangunan tahan gempa guna mengantisipasi minimalnya angka korban jiwa dan kerugian material pada saat terjadinya gempa. Oleh karena itu, dalam perencanaan kantor ini digunakan sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Bangunan gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) direncanakan dengan konsep SCWC, yaitu *Strong Column and Weak Beam* dimana elemen kolom lebih kuat dibandingkan dengan elemen balok yang lemah. Desain dari sistem perencanaan ini adalah untuk membentuk sistem struktur bangunan gedung yang tahan terhadap gaya seismik yang akan diterima oleh struktur bangunan dengan menggunakan sistem struktur rangka pemikul momen khusus serta mengacu pada persyaratan yang berlaku sesuai dengan SNI 2847:2019. Pembebanan gaya seismik yang diterapkan menggunakan metode analisis respons spektrum serta analisis strukturnya dihitung menggunakan bantuan program ETABS V9.7.4. Dari hasil perencanaan didapatkan dimensi tebal pelat lantai bondek 140 mm, balok B1A 150x400 mm, B2A 200x400 mm, B2B 200x400 mm, B2C 200x400 mm, B2D 200x400 mm, B2E 200x400 mm, B3A 200x500 mm, B3B 200x500 mm, B4A 300x150 mm, B5A 300x150 mm, BS 150x300 mm, serta kolom KP 150x150 mm, K1A 200x300 mm, K2A 400x550 mm, K3A 450x650 mm, dan K4A 350x500 mm.

**Kata kunci:** Karanganyar, SRPMK, struktur tahan gempa, ETABS V9.7.4.

## 1. PENDAHULUAN

Kecamatan Colomadu merupakan kecamatan yang terletak di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah yang di masa kini berubah seperti kota metropolitan. Hotel-hotel berbintang hingga restoran mewah serta rumah para pejabat menghiasi jalanan di pusat wilayah kecamatan Colomadu. Terdapatnya bangunan bekas pabrik gula yang telah direnovasi menjadi lokasi wisata membuat dan meningkatkan kecamatan Colomadu sebagai kecamatan yang kini maju pesat walaupun lokasinya jauh atau terpisah (*eksklave*) dari pusat pemerintahan Kabupaten Karanganyar. Posisi kecamatan Colomadu yang jaraknya lebih dekat dengan kota Surakarta (Solo) dibandingkan dengan pusat pemerintahan Kabupaten Karanganyar membuat kecamatan Colomadu mendapatkan dampak yang besar dari kemajuan kota Solo. Terlihat dengan adanya perkembangan kawasan perhotelan berbintang, kawasan restaurant, kawasan perumahan kecil, menengah, dan elit di daerah Baturan, Bluluk, Bolon, Klodran, dan Tohudan. Pertumbuhan ekonomi kecamatan Colomadu telah mengalami perkembangan ekonomi yang signifikan, berkembang melalui berbagai aktivitas bisnis sehingga direncanakan sebuah bangunan kantor di daerah Colomadu.

Karena letak kecamatan Colomadu yang tidak jauh dengan provinsi Yogyakarta yang sering terjadi gempa, maka diperlukan bangunan tahan gempa guna mengantisipasi minimalnya angka korban jiwa dan kerugian material pada saat terjadinya gempa. Maka, untuk merancang kantor ini menggunakan Sistem Rangka Penahan Momen Khusus (SRPMK). SRPMK merupakan suatu perencanaan struktur beton bertulang dengan perincian yang bertujuan untuk mencapai tingkat daktilitas yang tinggi atau optimal. Ketangguhan adalah kemampuan suatu struktur untuk mengalami perubahan bentuk

yang terjadi berulang-ulang dalam skala yang besar setelah mengalami tekanan, sehingga struktur tersebut dapat berubah tetapi tetap kuat, sehingga dapat tetap bertahan dan tidak hancur meskipun terkena gempa dengan kekuatan yang tinggi. Mengurangi jumlah korban manusia dan kerusakan materi yang diakibatkan oleh gempa bumi. Itulah sebabnya, sistem bangunan ini memiliki tingkat kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem rangka lainnya [7].

SRPMK digunakan dalam perencanaan bangunan gedung, dengan menerapkan konsep kolom kuat dan balok lemah. Diharapkan dengan menggunakan konsep perencanaan ini, Sistem rangka ini memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang tinggi [1]. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa struktur tetap berdiri walaupun berada pada titik akhir keruntuhan.

## 2. METODE PERENCANAAN

Struktur yang digunakan dalam perencanaan ini merupakan Struktur Rangka Baja Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang berfungsi sebagai Perkantoran (*Office*) yang berlokasi di Colomadu, Karanganyar, Jawa Tengah. Analisa Struktur dilakukan dengan bantuan Software ETABS V9.7.4. Dari analisa struktur, akan dihitung kebutuhan Tulangan Balok, Tulangan Kolom, Tulangan Pelat Lantai, Pengecekan Profil Baja dan Pondasi yang akan digunakan.

### A. Referensi

Referensi yang digunakan dalam perencanaan meliputi,

- a. SNI 2847:2019 : Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya
- b. SNI 1727:2018 : Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain
- c. SNI 1726:2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
- d. SNI 1729:2015 : Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural [2]
- e. SNI 2052:2017 : Baja Tulangan Beton [3]

### B. Material

Spesifikasi Material yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Beton Struktural :  $F_c' = 20$  MPa
- b. Tulangan :  $\emptyset < 10$  menggunakan BJTP 280 ( $F_y = 280$  MPa)  
:  $D \geq 10$  menggunakan BJTS 420B ( $F_y = 420$  Mpa)
- c. Baja Normal : ASTM A36/SS400/BJ37 ( $F_y = 240$  MPa)
- d. *Wire Mesh* :  $F_y = 500$  Mpa (U-50)
- e. Baja Ringan : G550 MPa
- f. Baut : HTB A325
- g. Las : E70XX
- h.  $\gamma_{beton}$  :  $2400 \text{ Kg/m}^3$
- i.  $\gamma_{baja}$  :  $7850 \text{ Kg/m}^3$

### C. Beban Rencana

Beban rencana yang bekerja adalah sebagai berikut:

- a. *Dead Load* (DL)
- b. *Live Load* (LL)
- c. *Earthquake Load* (E)

### D. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada LRFD sebagai berikut:

- a. 1,4 DL
- b. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 Lr
- c. 1,2 DL + 1,6 Lr + 1,0 LL
- d.  $(1,2 + 0,2 S_{d_s})$  DL + E + LL
- e.  $(0,9 - 0,2 S_{d_s})$  DL + E

Kombinasi kontrol daya dukung pondasi yang digunakan mengacu pada ASD sebagai berikut:DL

- a. DL + LL
- b. DL + Lr
- c. DL + 0,75 LL + 0,75 Lr
- d.  $(1,0 + 0,14 S_{d_s})$  DL + 0,7 E
- e.  $(1,0 + 0,1 S_{d_s})$  D + 0,525 E + 0,75 L

f.  $(0,6 - 0,14 S_d_s) D + 0,7 E$

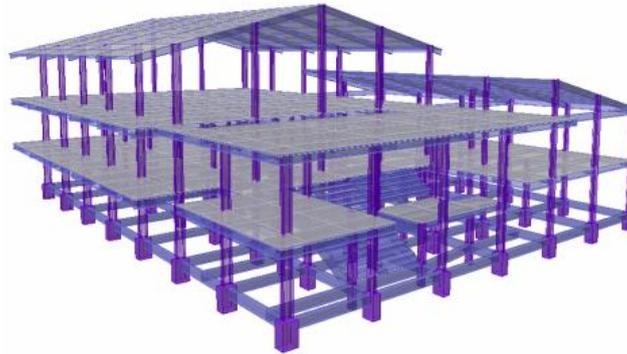
### 3. HASIL PEMBAHASAN

#### A. Preliminary Design

*Preliminary Design* merupakan desain atau perencanaan dimensi dan material pada tahap awal, dimana pada tahap itu akan pakai untuk melakukan permodelan awal struktur yang berupa 2 dimensi atau tiga dimensi. *Preliminary Design* juga dapat memodelkan spesifikasi struktur dan lainnya yang dimodelkan dalam *software*. Jenis elemen-elemen struktural yang direncanakan yaitu elemen balok, kolom, dan pelat sesuai dengan peraturan SNI 03-2847-2019.

#### B. Permodelan Struktur

Pemodelan Struktur Utama menggunakan ETABS V9.7.4. Balok, Kolom dan Pelat Lantai dimodelkan secara 3D. Data struktur yang digunakan berdasarkan hasil *preliminary design*. Jepitan struktur di asumsi terdapat pada dasar bangunan yang berupa jepit.



**Gambar 4.** Tampak 3D Struktur

#### C. Analisis Pembebanan

##### 1. Dead Load (DL)

*Dead Load* merupakan beban mati dari elemen-elemen struktural yang biasanya terdiri dari berat volume beton, baja, mortar, dinding, dan lainnya. Berat dari elemen-elemen struktural tersebut akan dihitung secara otomatis oleh *software* ETABS V9.7.4. sebagai *self weight*.

**Tabel 1.** Data Beban Mati

No	Beban	Nilai	Satuan
1	DL <i>Self Weight</i>	<i>Automatic ETABS</i>	
2	SDL Dinding Hebel	1,6	kN/m <sup>2</sup>
3	SDL Finish Lantai	1,35	kN/m <sup>2</sup>
4	Atap	0,2	kN/m <sup>2</sup>

Sumber: *Software ETABS V9.7.4.*

##### 2. Live Load (LL)

*Live Load* Merupakan Beban Hidup yang terjadi pada bangunan sebagai berikut:

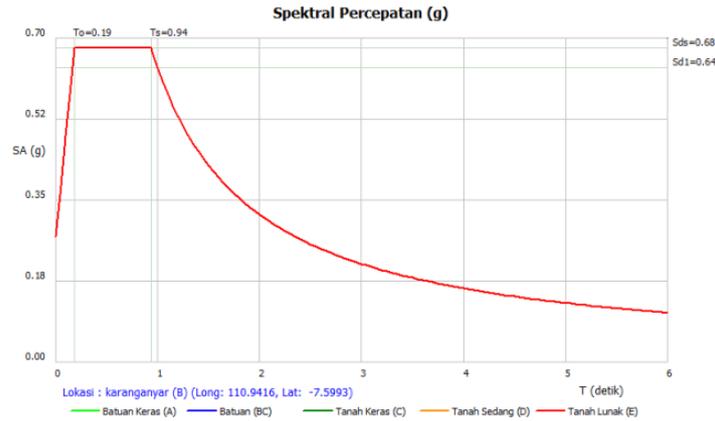
**Tabel 2.** Data Beban Hidup

No	Beban	Nilai	Satuan
1	<i>Office</i>	2,4	kN/m <sup>2</sup>
2	Koridor Di atas Lantai 1	3,83	kN/m <sup>2</sup>
3	Air Hujan Atap	0,2	kN/m <sup>2</sup>

Sumber: *Software ETABS V9.7.4.*

##### 3. Earthquake Load (EL)

Dalam proses analisis beban seismik menggunakan respon spektrum, Dimana analisis tersebut dirancang berdasarkan nilai respons terhadap percepatan tanah yang tercatat saat terjadinya gempa [7]. Desain spektrum adalah perkiraan kurva gerakan tanah yang dipengaruhi oleh gempa yang pernah terjadi sebelumnya di area sekitaran lokasi perencanaan. Dalam perencanaan Gedung *Office PHICOS* ini, data parameter respon spektrum diperoleh dari website Puskim PU. Data parameter ini didapat berdasarkan karakteristik tanah dan wilayah yang akan didesain. Setelah data parameter respon spektrum diperoleh dapat dibuat grafik respon spektrum sesuai SNI 1726:2019 [5], data dapat dimasukkan ke dalam pemodelan. ETABS V9.7.4. yang telah dibuat.



Gambar 5. Respon Spektrum Gempa Lokasi Perencanaan, Karanganyar

Tabel 3. Kontrol Base Shear

Arah	Base Shear	
	Statik V	Dinamik V
X	582	384
Y	582	383

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

a. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Interstory Drift

Tabel 4. Arah X

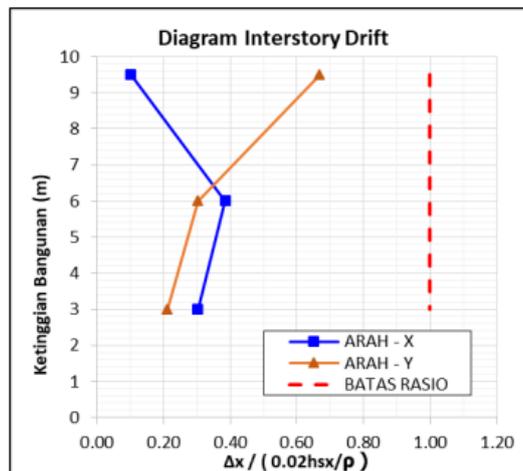
Lantai	Hx	$\delta_{xe}$	$\delta_x$	$\Delta x$	hsx	$\frac{0.02hsx}{p}$	Rasio	Rasio < 1
	m	mm	mm	mm	m	mm		
4	9.5	8.80	48.40	7.2	3.5	70.000	0.102	OK
3	6	7.50	41.25	23.1	3	60.000	0.385	OK
2	3	3.30	18.15	18.2	3	60.000	0.303	OK

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

Tabel 5. Arah Y

Lantai	Hx	$\delta_{ye}$	$\delta_y$	$\Delta y$	hsy	$\frac{0.02hsy}{p}$	Rasio	Rasio < 1
	m	mm	mm	mm	mm	mm		
4	9.5	14.100	77.55	46.8	3.5	70.000	0.668	OK
3	6	5.600	30.80	18.2	3	60.000	0.303	OK
2	3	2.300	12.65	12.7	3	60.000	0.211	OK

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.



Gambar 6. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Interstory Drift

- b. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Kekakuan Antar Tingkat  
 Perlu dilakukan pengecekan kekakuan, karena semakin besar kekakuan yang dimiliki oleh bangunan, maka semakin kecil simpangan [8]

**Tabel 6.** Arah X

Lantai	Vx	$\delta_{xe}$	$\Delta$	Kx	$K_x / K_{x+1}$	$K_x / K_{avg\ 3It}$	$V_x / V_{x+1}$
	kN	mm	mm	kN/mm	$\geq 60\%$	$\geq 70\%$	$\geq 65\%$
4	44.87	8.80	1.30	34.52			
3	361.76	7.50	4.20	86.13	OK		OK
2	576.98	3.30	3.30	174.84	OK	OK	OK

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

**Tabel 7.** Arah Y

Lantai	Vy	$\delta_{ye}$	$\Delta$	Ky	$K_y / K_{y+1}$	$K_y / K_{avg\ 3It}$	$V_y / V_{y+1}$
	kN	mm	mm	kN/mm	$> 60\%$	$> 70\%$	$\geq 65\%$
4	85.56	14.10	8.50	10.065882			
3	420.79	5.60	3.30	127.51212	OK		OK
2	576.91	2.30	2.30	250.83043	OK	OK	OK

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

- c. Pengecekan Ketidakberaturan Horisontal Torsi  
 Perlu dilakukan pengecekan efek gaya torsi karena dapat menyebabkan masalah pada elemen penahan lateral tepi gedung dan meningkatkan *displacement* bangunan [9]

**Tabel 8.** Torsi Arah X

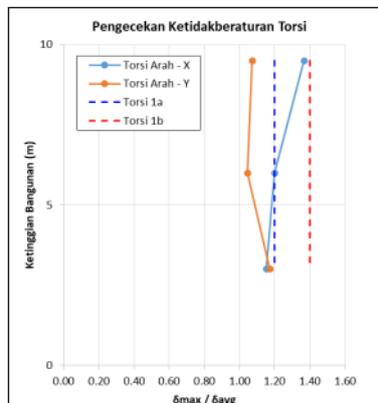
Lantai	Hn m	Load	Nama Point		$\delta$ Point		Arah - X					
							$\delta_{max}$	$\delta_{min}$	$\delta_{rata}^2$	$\delta_{max} / \delta_{rata}^2$	Cek Torsi	Ax
							mm	mm	mm			
4	9.5	RSX	33	69	0.009	0.019	0.019	0.009	0.014	1.37	Torsi 1A	1.30
3	6	RSX	285	69	0.010	0.014	0.014	0.010	0.012	1.20	Torsi 1A	1.00
2	3	RSX	285	69	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	1.15	Tidak Ada Torsi	1.00

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

**Tabel 9.** Torsi Arah Y

Lantai	Hn m	Load	Nama Point		$\delta$ Point		Arah - Y					
							$\delta_{max}$	$\delta_{min}$	$\delta_{rata}^2$	$\delta_{max} / \delta_{rata}^2$	Cek Torsi	Ax
							mm	mm	mm			
4	9.5	RSY	69	73	0.014	0.012	0.014	0.012	0.013	1.07	Tidak Ada Torsi	1.00
3	6	RSY	69	73	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	1.05	Tidak Ada Torsi	1.00
2	3	RSY	69	73	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	1.17	Tidak Ada Torsi	1.00

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.



**Gambar 7.** Pengecekan Ketidakberaturan Horisontal Torsi

**D. Penulangan Pelat Lantai Bondek**

Penulangan pelat lantai di analisa menggunakan excel dengan mempertimbangkan terhadap beban mati dan hidup lantai bangunan sesuai fungsi ruangan sesuai dengan petunjuk teknis penggunaan SNI 1729 [10]. Analisa penulangan pelat lantai sebagai berikut:

$$\Phi_b = 0,9$$

$$a = A_s \cdot F_y / (0,85 F_c \cdot b)$$

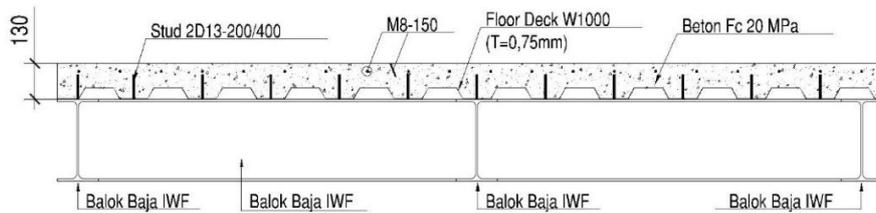
$$M_n = A_s \cdot F_y \cdot (d - a/2)$$

Tabel 10. Perhitungan Penulangan Pelat Lantai Bondek

Type Plat	FUNGSI RUANGAN	Data Beton					Data Metal Deck			Beban ( kPa )			Bentang	Tumpuan							
		TP	Cv	f <sub>c</sub>	f <sub>y</sub>	β1	Fys	As	hr	DL	LL	DL+SW		mm	S	Mu	d'	a	Mn	φMn	φMn > Mu
		mm	mm	Mpa	Mpa		Mpa	mm <sup>2</sup>	mm					m	mm	mm	kN.m	mm	mm	kN.m	kN.m
DC13	Lantai Office	130	40	20	500	0.92	500	857	50	1.35	5.00	4.47	2.5	8	150	6.96	65	9.86	10	9.06	OK

Type Plat	FUNGSI RUANGAN	Data Beton					Lapangan					ρ <sub>min</sub>	A <sub>s,min</sub>	Tul. Susut				
		TP	Cv	f <sub>c</sub>	f <sub>y</sub>	β1	Mu	d	a	Mn	φMn			φMn > Mu	Dia.	Jarak	CEK	
		mm	mm	Mpa	Mpa		kN.m	mm	mm	kN.m	kN.m			> Mu	mm	max	pas.	
DC13	Lantai Office	130	40	20	500	0.92	10.44	105	25.2	39.6	35.63	OK	0.0018	189	8	266	150	OK

Sumber : Perhitungan Penulangan dengan Software Excel



Gambar 8. Pelat Lantai Bondek

E. Penulangan Balok Lantai

Penulangan balok lantai di analisa sesuai konsep balok SRMPK yaitu Desain Kapasitas Balok, sehingga balok di rencanakan terjadi sendi plastis saat terjadi gempa. Analisa tulangan geser balok di analisa setelah dimasukan luasan tulangan longitudinal terpakai ke ETABS (sesuai konsep Desain Kapasitas). Analisa balok sebagai berikut:

Tabel 11. Perhitungan Penulangan Balok Lantai

Tipe	Data Balok		Gaya Balok ETABS		Tul. Long. ETABS + 0.35Alt				Tul. Geser Etabs		Tulangan Longitudinal Pakai				Tulangan Long. Badan			Perhitungan Tulangan Geser																			
	Dimensi		Material		Vu	Tu	Atas		Bawah		Atas		Bawah		Badan			Tump.																			
	B	H	Cv	F <sub>c</sub>	F <sub>y</sub>	Fys	Tump.	Lap.	Tump.	Lap.	Tump.	Lap.	Tump.	Lap.	Dia.	Tump.	Lap.	Vc	Vs	Av/S	ds	n	S	Vs	Av/S	ds	n	S									
	mm	mm	mm	Mpa	Mpa	Mpa	kN	kN	kN.m	kN.m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Tump.	Lap.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm									
B1A.15.40	150	400	40	20	420	420	34.57	22.33	1.303	0.366	4.02	2.02	2.87	2.73	0.26	0.21	13	2	4	3	3	3	3	10	1	1	41	5	0.26	10	2	595	0	0.21	10	2	737
B2A.20.40	200	400	40	20	420	420	22.75	20.3	1.683	1.683	3.17	1.67	2.23	2.35	0.22	0.17	13	3	3	3	3	3	3	10	1	1	55	0	0.22	10	2	717	0	0.17	10	2	903
B2B.20.40	200	400	40	20	420	420	54.71	53.83	0.751	0.751	3.03	3.40	2.42	3.21	0.95	0.94	13	3	3	3	3	3	3	10	1	1	55	18	0.95	10	2	166	17	0.94	10	2	167
B2C.20.40	200	400	40	20	420	420	28.48	26.09	0.843	0.843	3.54	2.03	2.68	3.25	0.32	0.30	13	3	3	3	3	3	3	10	1	1	55	0	0.32	10	2	488	0	0.30	10	2	522
B2D.20.40	200	400	40	20	420	420	37.58	32.98	4.301	2.048	4.12	2.12	3.49	3.54	0.68	0.64	13	3	3	3	3	3	3	10	1	1	55	0	0.68	10	2	232	0	0.64	10	2	245
B2E.20.40	200	400	40	20	420	420	99.35	90.38	1.897	1.887	4.06	5.43	3.25	6.45	1.11	1.01	13	3	4	5	3	5	5	10	1	1	55	78	1.11	10	2	142	66	1.01	10	2	156
B3A.20.50	200	500	40	20	420	420	68.29	67.39	25.63	18.01	7.81	5.62	7.84	6.13	0.00	0.54	13	3	6	5	6	5	13	2	2	70	21	0.16	10	2	990	20	0.54	10	2	291	
B3B.20.50	200	500	40	20	420	420	39.34	30.81	6.923	2.61	4.39	2.53	3.08	3.19	0.38	0.34	13	3	4	3	3	3	3	10	1	1	70	0	0.38	10	2	413	0	0.34	10	2	466
B4A.30.15	300	150	40	20	420	420	8.69	7.73	0.219	0.219	2.45	1.33	2.23	1.86	0.00	0.00	13	5	3	3	3	3	3	10	1	1	25	0	0.24	10	2	660	0	0.24	10	2	660
B5A.40.15	400	150	40	20	420	420	24.02	26.82	4.56	4.56	6.96	4.29	3.95	3.02	0.64	0.60	13	7	6	4	3	3	3	10	1	1	33	0	0.64	10	2	246	2	0.60	10	2	262

Tipe	Data Balok		Perhitungan Tulangan Torsi														Tul. Senggang Pakai														
	Properties Torsi		Tul. Torsi Berdasarkan ?				Tump.				Lap.						Spasi Tump.			Spasi Lap.		Pakai									
	Aoh	Ao	Acp	Pcp	Ph	ΦTcr	ΦTcr/4	Tn	At/s	Alt	A <sub>vt</sub> /S	A <sub>vt</sub> /S <sub>min</sub>	A <sub>vt</sub> /S <sub>use</sub>	S	Tn	At/s	Alt	A <sub>vt</sub> /S	A <sub>vt</sub> /S <sub>min</sub>	A <sub>vt</sub> /S <sub>use</sub>	S	Dia.	kaki	S	Dia.	kaki	S	Tump.	Lap.		
	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	kN.m	kN.m	kN.m	mm <sup>2</sup> /mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> /mm	mm <sup>2</sup> /mm	mm <sup>2</sup> /mm	mm	kN.m	mm <sup>2</sup> /m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> /mm	mm <sup>2</sup> /mm	mm <sup>2</sup> /mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
B1A.15.40	22400	19040	60000	1100	780	3.62	0.91	YA	Tcr	5	0.40	314	0.53	0.13	0.53	147	5	0.40	314	0.51	0.13	0.51	154	10	2	147	10	2	154	100	150
B2A.20.40	38400	32640	80000	1200	880	5.90	1.48	YA	YA	8	0.38	337	0.49	0.17	0.49	160	8	0.38	337	0.47	0.17	0.47	167	10	2	160	10	2	167	100	150
B2B.20.40	38400	32640	80000	1200	880	5.90	1.48	Tcr	Tcr	8	0.38	337	0.86	0.17	0.86	92	8	0.38	337	0.85	0.17	0.85	92	10	2	92	10	2	92	100	100
B2C.20.40	38400	32640	80000	1200	880	5.90	1.48	Tcr	Tcr	8	0.38	337	0.54	0.17	0.54	144	8	0.38	337	0.53	0.17	0.53	147	10	2	144	10	2	147	100	150
B2D.20.40	38400	32640	80000	1200	880	5.90	1.48	YA	YA	8	0.38	337	0.72	0.17	0.72	109	8	0.38	337	0.70	0.17	0.70	112	10	2	109	10	2	112	100	100
B2E.20.40	38400	32640	80000	1200	880	5.90	1.48	YA	YA	8	0.38	337	0.94	0.17	0.94	84	8	0.38	337	0.89	0.17	0.89	88	10	2	84	10	2	88	75	100
B3A.20.50	50400	42840	100000	1400	1080	7.91	1.98	YA	YA	34	1.27	1367	1.35	0.17	1.35	58	24	0.89	961	1.16	0.17	1.16	68	10	2	58	10	2	68	50	75
B3B.20.50	50400	42840	100000	1400	1080	7.91	1.98	YA	YA	11	0.39	422	0.58	0.17	0.58	135	11	0.39	422	0.56	0.17	0.56	140	10	2	135	10	2	140	100	150
B4A.30.15	15400	13090	45000	900	580	2.49	0.62	Tcr	Tcr	3	0.40	234	0.52	0.25	0.52	151	3	0.40	234	0.52	0.25	0.52	151	10	2	151	10	2	151	100	150
B5A.40.15	22400	19040	60000	1100	780	3.62	0.91	YA	YA	6	0.51	395	0.83	0.33	0.83	95	6	0.51	395	0.81	0.33	0.81	97	10	2	95	10	2	97	100	100

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

B1A (150x400)			B2A (200x400)			B2B (200x400)			B2C (200x400)		
TUMP. Ki	LAPANGAN	TUMP. Ka									
D10-100	D10-150	D10-100	D10-100	D10-150	D10-100	D10-100	D10-100	D10-100	D10-100	D10-150	D10-100
B2D (200x400)			B2E (200x400)			B3A (200x500)			B3B (200x500)		
TUMP. Ki	LAPANGAN	TUMP. Ka									
D10-100	D10-100	D10-100	D10-75	D10-100	D10-75	D10-50	D10-75	D10-50	D10-100	D10-150	D10-100
B4A (300x150)			B5A (300x150)			BS (150x300)					
TUMP. Ki	LAPANGAN	TUMP. Ka	TUMP. Ki	LAPANGAN	TUMP. Ka	TUMP. Ki	LAPANGAN	TUMP. Ka			
D10-100	D10-100	D10-100	D10-100	D10-100	D10-100	D10-100	D10-150	D10-100			

Gambar 9. Detail Penulangan Balok Lantai

F. Penulangan Kolom

Penulangan kolom menggunakan excel dan dengan hasil output ETABS. Dari hasil output ETABS di olah kembali kemudian diinput kembali ke ETABS untuk mengetahui penulangan geser dan Rasio kapasitas Kolom. Analisa Penulangan Kolom berdasar SNI 2847:2019 [6] disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 12. Penulangan Kolom

Sec. ID	DATA					TULANGAN LONGITUDINAL										PENULANGAN GESER										
	Section (mm)		Fc'	Fy	Fys	Cv	As,u	dia.	N - Perlu	Max. PS		Long. Ps		CEK	TULANGAN LONGITUDINAL	D/C < 1	%	Av/s (mm <sup>2</sup> /mm)		Dia.	Spakai (mm)		n - perlu		n - pakai	
	Bx	Hy	Mpa	Mpa	Mpa	mm	(cm <sup>2</sup> )	(mm)		Bx	Hy	Bx	Hy		Pasang			Bx (MAJ)	Hy (MIN)	(mm)	Bx	Hy	Bx	Hy	Bx	Hy
K1A.20.30	200	300	25	420	420	30	9.7	13	8 D 13	3	5	2	4	OK	8 D13	1.17	1.77	0.75	0.81	10	150	150	2	2	2	3
K2A.40.55	400	550	25	420	420	30	22	16	11 D 16	6	9	4	5	OK	14 D16	0.52	1.28	1.32	0.56	10	150	150	3	2	3	3
K3A.45.65	450	650	25	420	420	30	29.25	16	15 D 16	7	11	4	6	OK	16 D16	0.32	1.10	0.18	0.12	10	150	150	2	2	3	3

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

KP (150x150)		K1A (200x300)		K2A (400x550)		K3A (450x650)		K4A (350x500)	
TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
4#10	4#10	10D13	10D13	14D16	14D16	18D16	18D16	14D16	14D16
ø8-150	ø8-150	D10-100	D10-150	D10-100	D10-150	D10-100	D10-150	D10-100	D10-150

Gambar 10. Detail Penulangan Kolom

G. Kontrol Demand/Capacity P-M<sub>x</sub>-M<sub>y</sub> Struktur Baja

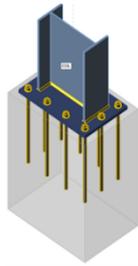
Analisa Kapasitas D/C aksial-momen Struktur Baja Metode LRFD dilakukan otomatis oleh ETABS. Dari analisa ETABS dapat diketahui bahwa rasio kapasitas D/C aksial-momen < 1,0 ( Aman ).

H. Analisa Sambungan Baja End Plate Balok

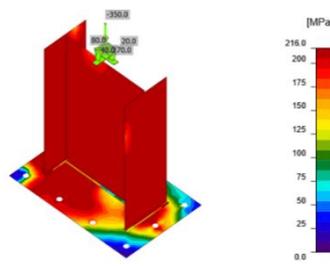
Analisa Sambungan Balok Baja di analisa menggunakan bantuan program Excel. Analisa sambungan end plate balok IWF diberikan contoh analisa untuk sambungan balok WF 300.

I. Analisa Sambungan Base Plate

Analisa Sambungan Base Plate dianalisa menggunakan bantuan program IDEA Statica. Analisa sambungan Base Plate IWF diberikan contoh analisa untuk sambungan Kolom WF 400.



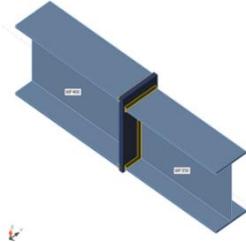
**Gambar 11.** Desain Sambungan Base Plate



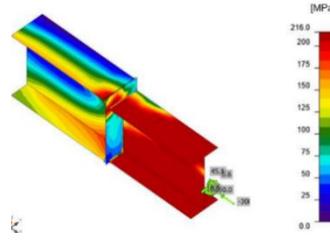
**Gambar 12.** Strain Check

J. Analisa Sambungan Antar Kolom Baja

Analisa Sambungan Antar kolom Baja di analisa menggunakan bantuan program IDEA Statica. Analisa sambungan Antar kolom IWF diberikan contoh analisa untuk sambungan Kolom WF 400 dengan WF350.



**Gambar 13.** Desain Sambungan antara Kolom



**Gambar 14.** Strain Check

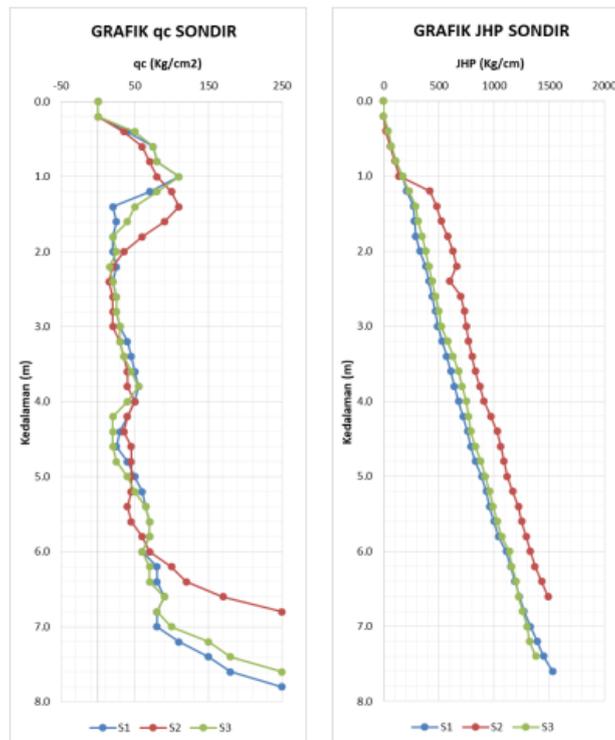
K. Daya Dukung Tiang

Pondasi pada pelaksanaan proyek ini menggunakan pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) dengan diameter 30 cm dan kedalaman 6 m. Daya dukung yang digunakan dalam proyek ini didapatkan daya dukung tekan 34 ton dan Tarik 14 ton. Rekapitulasi daya dukung tiang bor diameter 30 cm dengan kedalaman 6 m dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 13.** Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Bor

Sondir	Depth	Bentuk	Dimensi	Qall (ton)	Tall (ton)
S1	6	BOR	30	34,37	14,74
S2	6	BOR	30	45,46	18,04
S3	6	BOR	30	34,84	15,14
Pakai				34	14

Sumber : Data Hasil Pengujian Sondir



**Gambar 15.** Hasil Rekapitulasi Sondir Soil Test

L. Kebutuhan Jumlah Tiang

Beban yang digunakan dalam analisa jumlah tiang adalah berdasarkan joint reaction hasil output ETABS. Berikut contoh analisa kebutuhan jumlah tiang bor :

Red LL	= 1	Point Coloum	= 285	D/C tekan max	= 0,69	OK
Faktor pile grup	= 1,0 (axial)	Pile	= 1	D/C tarik max	= 0,88	OK
S <sub>DS</sub>	= 0,670	N	= 2,0	Pu ultimate	= 537,48	
ρ	= 1,3	x-max/x2	= 1,1111	Tu ultimate	= 269,17	
Ω	= 3	y-max/y2	= 0,0000			
Daya dukung tiang tekan	= 340 kN	x-max/(x2+y2)	= 1,1111			
Daya dukung tiang tarik	= 140 kN	y-max/(x2+y2)	= 0,0000			

Tabel 14. Rekapitulasi Beban Pondasi

BEBAN PADA PONDASI								
Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	285	DL	1.65	10.79	204.49	1.38	6.73	-0.13
BASE	285	LL	-0.50	0.39	70.25	-0.56	2.49	0.15
BASE	285	RSX	17.41	2.54	24.55	6.90	88.44	6.05
BASE	285	RSY	3.10	3.75	8.93	5.21	17.58	1.23
BASE	285	W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BASE	285	F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

Tabel 15. Kombinasi Pembebanan Pondasi

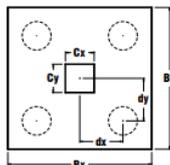
COMB.	KOMBINASI PEMBEBANAN PADA PONDASI ( ULTIMATE LOAD )							
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	Pu	Tu
Comb - 1	2.31	15.11	286.29	1.93	9.42	-0.18	153.61	
Comb - 2	1.18	13.57	357.79	0.76	12.06	0.08	192.30	
Comb - 3	56.72	25.78	424.73	26.66	292.61	19.23	537.48	-112.75
Comb - 4	-47.74	10.54	277.43	-14.72	-238.03	-17.07	403.19	-125.76
Comb - 5	51.14	19.03	408.65	17.28	260.97	17.02	494.29	-85.64
Comb - 6	-53.32	3.79	261.35	-24.10	-269.67	-19.28	430.31	-168.95
Comb - 7	26.67	28.32	391.92	23.13	143.80	9.09	355.73	
Comb - 8	8.07	5.82	338.34	-8.15	38.33	1.74	211.76	
Comb - 9	-4.67	23.75	347.73	10.71	-15.39	-1.80	190.97	
Comb - 10	-23.27	1.25	294.15	-20.56	-120.86	-9.15	281.36	
Comb - 11	56.28	19.26	238.33	26.44	286.29	19.15	437.26	-198.94
Comb - 12	50.70	12.51	222.25	17.05	254.65	16.95	394.07	-171.82
Comb - 13	-48.18	4.02	91.03	-14.94	-244.34	-17.15	317.01	-225.98
Comb - 14	-53.76	-2.73	74.95	-24.33	-275.98	-19.35	344.12	-269.17
Comb - 15	26.23	21.80	205.52	22.90	137.48	9.02	255.52	-49.99
Comb - 16	7.63	-0.70	151.94	-8.38	32.02	1.67	111.55	
Comb - 17	-5.11	17.23	161.33	10.49	-21.71	-1.87	104.79	
Comb - 18	-23.71	-5.27	107.75	-20.79	-127.17	-9.22	195.18	-87.43

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

M. Penulangan Pile Cap

Analisa penulangan pile cap menggunakan bantuan software Excel. Analisa penulangan pile cap menggunakan metode Reaction. Analisa Penulangan Pile Cap sebagai berikut :

Fc'	= 20	MPa	Φb	= 0,90	(Phi Reduksi Momen)
Fy	= 420	MPa	Φs	= 0,75	(Phi Reduksi Geser)
Fys	= 420	MPa	LF	= 1,40	(Faktor Beban)
m	= 24,71		P <sub>all</sub>	= 340 kN	(Daya Dukung Tiang)



Keterangan :

Ht	=	Tebal Pile Cap
Cv	=	Tebal Selimut Beton
n	=	Jumlah Pile 1 Baris

Gambar 16. Skema Pile Cap

Tabel 16. Penulangan Pile Cap

Type	Ht	Bx	Cv	Cx	Dir	n - pile	Pall	d	kv	k.n.P	n.P.d'	Rein	Mu (kN.m)	Rn	rho	As/b	Reinf	
	mm	mm	mm	mm		bh	kN	mm		kN	kN.m		Vu (kN)	Vc	Vs	Av/av	mm <sup>2</sup> /m	
														kN	kN	mm <sup>2</sup> /m	mm	
PC1	600	600	75	150	X	1	340	300	1.00	340	76.5	MX	107.10	0.742	0.0018	934	16	215
												MY	107.10	0.790	0.0019	966	16	208
												VX	476.00	231.21	403.46	1858	16	216
												VY	476.00	224.05	410.61	1951	16	206
P2	600	1500	75	150	X	1	340	450	1.00	340	127.5	MX	178.50	1.237	0.0031	1582	16	127
												MY	178.50	0.527	0.0013	638	16	315
												VX	476.00	231.21	403.46	1858	16	216
												VY	476.00	560.14	74.53	354	16	1135

Sumber : Perhitungan Software ETABS V9.7.4.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa gedung *Office PHICOS* memiliki kategori risiko II dan menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sebagai sistem struktur untuk menahan gempa. Puskim memberikan respon spektra dan data yang didapatkan dengan menggunakan klasifikasi situs tanah SE dan kategori desain seismik B. Dalam menentukan kategori desain seismik  $R = 8$  dan  $C_d = 5.5$  untuk desain gedung SRPMK, faktor keutamaan gempa sebesar 1,0 dan parameter percepatan spektra desain  $S_{d_s} = 0,680$  dan  $S_{d_1} = 0,637$  dipertimbangkan. Nilai akhir respon spektrum  $V_{dinamik}$  arah x adalah 384 kN dan arah y adalah 383 kN, sedangkan  $V_{statik}$  arah x adalah 582 kN dan arah y adalah 582 kN. Berdasarkan analisa struktur, ditemukan bahwa struktur yang dihitung telah memenuhi persyaratan izin. Penulangan struktur pelat lantai bondek sesuai pada tabel, balok lantai sesuai pada tabel, kolom sesuai pada tabel, dan penulangan pondasi pile cap sesuai pada tabel .

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan syukur kepada *Allah subhanahu wa ta'ala* atas berkah dan rahmatnya sehingga dapat menyelesaikan perencanaan ini dengan baik dan sesuai dengan target yang telah ditentukan. Peneliti juga sangat berterima kasih kepada bapak Joko Haryanto yang telah memberikan dukungan dan bantuan material untuk penyelesaian perencanaan ini. Semoga hasil dari penelitian atau perencanaan ini dapat digunakan sebaik mungkin dan dapat menjadi amal jariyah yang banyak bagi perencana, dan semua pihak yang terlibat, *insyaAllah aamiin ya rabbal 'alamin*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Almufid and Santoso, E. (2021). "Struktur SRPMK DAN SRPMM Pada Bangunan Tinggi (Structure of SRMK and SRMM on High Building)". Jurnal Teknik, Vol. 10, No. 1, 24.
- [2] Badan Standarisasi Nasional, BSN. (2015). SNI 1729:2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, BSN. (2017). SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, BSN. (2018). SNI 1727:2018 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, BSN. (2019). SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [6] Badan Standarisasi Nasional, BSN. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [7] Mahendrayu, B dan Kalrtini, K. (2012). "Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Struktur Beton Bertulang Pada Gedung Graha Siantar Top Surabaya". Jurnal Teknik Sipil KERN, Vol. 2 No. 2.
- [8] Ramadhani, S.F., Saputra, J., and Rosyidah, A. (2022). "Efek Torsi Bangunan Terhadap Respon Struktur Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Ganda". Jurnal Ilmiah Dinamika, Vol. 18, No. 1, p.1.
- [9] M. Lumban, B. Servie, O. Dapas, and S. E. Wallah, (2016). "Efisiensi Penggunaan Dinding Geser Untuk Mereduksi Efek Torsi Pada Bangunan Yang Tidak Beraturan," J. Sipil Statik Januari, vol. 4, no. 1, pp. 29-35.
- [10] Surat Edaran 50/SE/M/2015 Petunjuk Teknis Penggunaan SNI 1729 Tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.

## WUJUD BANGUNAN ARSITEKTUR BALE SAKENEM (STUDI KASUS : DESA WISATA PENGLIPURAN, KECAMATAN KUBU, KABUPATEN BANGLI, BALI)

\*Kenny Winardi<sup>1</sup>, Yohanes Karyadi Kusliansjah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Magister Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Magister Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia

<sup>\*)</sup> Email: 8112101019@student.unpar.ac.id<sup>1</sup>, karyadi@unpar.ac.id<sup>2</sup>

### ABSTRACT

*Bale Sakenem is one of the many buildings of traditional Balinese architecture which function to accommodate traditional ceremonial activities. Its specific function is to prepare and carry out religious ceremonies for Hindus. Basically, this architectural building has a wall structure that has six pillars or six saka, therefore this architectural building is named Bale Sakenem. The construction and structure of this building uses wood materials. Bale Sakenem is owned by all residents' houses in the Panglipuran Tourism Village, Kubu District, Bangli Regency, Bali. Basically, it still maintains its shape, structure, construction and ornaments, but there are changes that have occurred in the materials. This research uses a qualitative descriptive method with an case study approach. Research data was obtained from direct observation in the Panglipuran Tourism Village. The research conclusion shows that the materials used in the Bale Sakenem architectural buildings still use wood materials with changes in wood types nowadays.*

**Keyword:** Shape, Architectural Buildings, Bale Sakenem, Panglipuran Tourist Village

### ABSTRAK

Bale Sakenem merupakan salah satu bangunan dari sekian banyak bangunan arsitektur Tradisional Bali yang berfungsi untuk memwadahi kegiatan upacara tradisional. Fungsinya sendiri secara spesifik untuk menyiapkan dan melaksanakan upacara keagamaan bagi Umat Hindu. Pada dasarnya bangunan arsitektur ini berstruktur dinding yang memiliki enam tiang/ enam saka, maka dari itu bangunan arsitektur ini diberi nama bale sakenem. Konstruksi dan struktur bangunan ini menggunakan material kayu. Bale Sakenem dimiliki oleh semua rumah penduduk di Desa Wisata Penglipuran, Kecamatan Kubu, Kabupaten Bangli, Bali pada dasarnya masih mempertahankan bentuk, struktur, konstruksi, hingga ornamen, tetapi ada perubahan yang terjadi pada materialnya. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Data penelitian diperoleh dari observasi secara langsung di Desa Wisata Penglipuran. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa material yang diterapkan pada bangunan arsitektur Bale Sakenem tetap menggunakan material kayu dengan perubahan jenis kayu dimasa kini.

**Kata kunci:** Wujud, Bangunan Arsitektur, Bale Sakenem, Desa Wisata Penglipuran

## 1. PENDAHULUAN

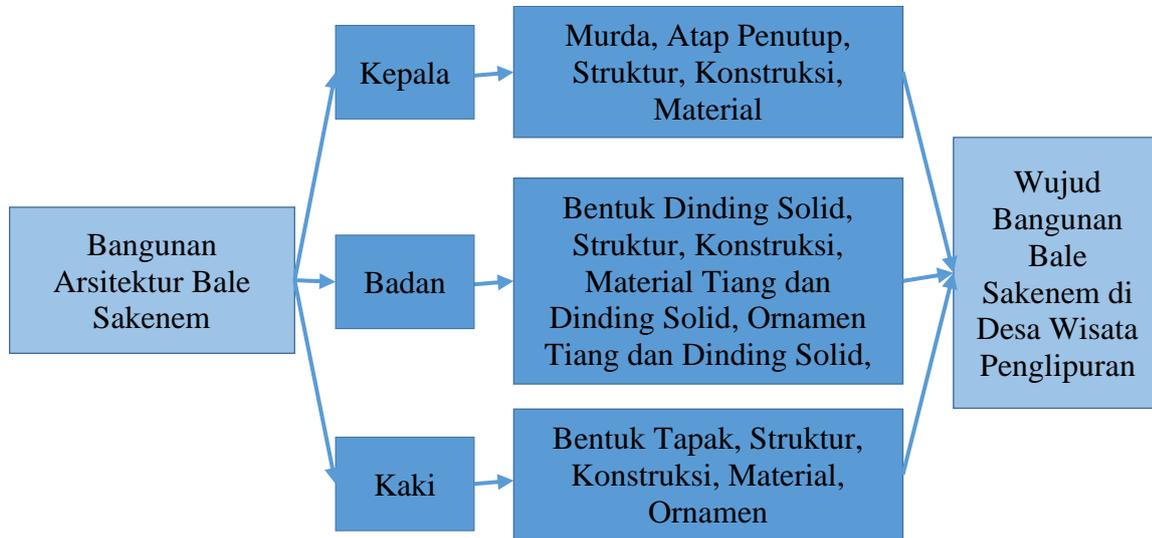
Arsitektur Bangunan Rumah Bali pada dasarnya terbagi menjadi beberapa bangunan pada sebuah tapak (berkala mikro). Rangkaian tapak dalam sebuah jalan berskala meso, sedangkan tersusun pada skala desa berskala makro. Wujud rumah Bali yang lengkap terdiri dari berbagai unsur yaitu 1). Mranjen/Sanggah, 2). Bale Gede/Gedong/Daja, 3). Bale Dangin/Saka Enam (sakenem)/Sari, 4). Bale Dauh/Saka Sia, 5). Bale Delod, 6). Paon/Dapur, 7). Bale Paturon, 8). Jineng/Klumpu, 9). Umah Ketungan/Bale Kulkul, 10). Umah Gebeh, 11). Sumur, 12). Angkul-Angkul, dan 13). Kamar Mandi/WC serta memiliki fungsinya masing-masing dan pedoman dalam membangunnya [1], [2]. Arsitektur tradisional bangunan Bali diatur dalam Konsep Asta Kosala Kosali yang mempengaruhi konsep dasarnya seperti Konsep Tri Angga, Konsep Tri Mandala, dan lain sebagainya. Bangunan Arsitektur Bale Sakenem merupakan salah satu unsur rumah Bali yang memiliki fungsi untuk memwadahi persiapan serta pelaksanaan upacara adat dalam keluarga. Bangunan tersebut merupakan bangunan yang berperan cukup penting dalam melakukan suatu aktifitas kebudayaan. Secara arti kata *bale* diartikan sebagai gubuk, sedangkan *sakenem* diartikan memiliki 6 tiang penopang/saka pada bagian badannya.

Desa Wisata Penglipuran terletak di Kecamatan Kubu, Kabupaten Bangli yang sangat diminati para wisatawan karena keunikan pada bentuk dan tata letak bangunan rumah disetiap kaplingnya yang memiliki keserupaan serta sangat memperhatikan konsep filosofi ajaran agama Hindu/ Tri Hita Karana yaitu Asta Kosala Kosali [3]. Salah satu bangunan arsitektur yang menjadi daya tarik yaitu Bale Sakenem.

## 2. METODE

Pada masa sekarang, Bale Sakenem di Desa Wisata Penglipuran mengalami pembaharuan material sehingga menarik untuk diteliti. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi kasus dan studi literatur, untuk memahami literasi konsep bangunan Bale Sakenem pada waktu observasi di lapangan. Tujuan pemilihan metode studi kasus dan studi literatur agar dapat memahami keadaan asli bangunan arsitektur Bale Sakenem secara umum dan wujud Bale Sakenem yang terdapat di Desa Wisata Penglipuran. Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data

sekunder yaitu studi literatur mengenai Bale Sakenem untuk memahami bentuk, struktur, konstruksi, material, dan ornamen yang diterapkan pada bangunan arsitektur Bale Sakenem secara umum, kemudian peneliti melakukan penelitian menggunakan pendekatan empiris yaitu observasi dari hasil foto, video, serta wawancara di Desa Wisata Penglipuran secara langsung dengan warga masyarakat desa, sehingga ditemukan penerapan yang berubah pada bangunan arsitektur yang terdapat di Desa Penglipuran. Bagan berikut merupakan langkah diagram konseptual penelitian Bale Sakenem.



Sumber: Penulis, 2023

Gambar 1. Diagram Konseptual Penelitian

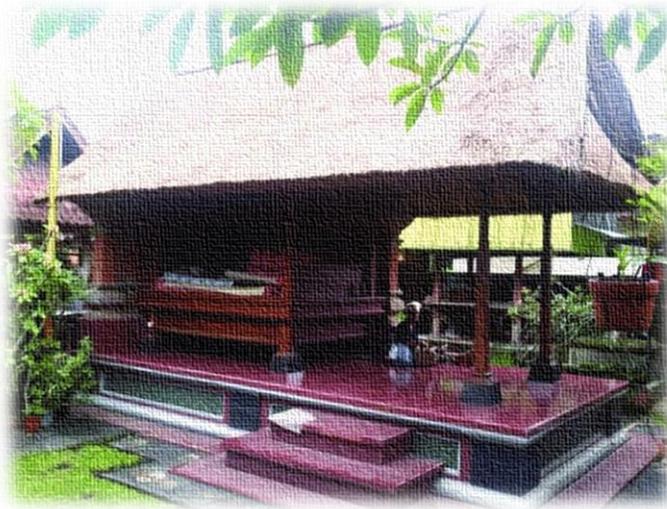
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Arsitektur Tradisional Bali Secara Umum

Arsitektur Tradisional Bali adalah ruang atau tempat yang berfungsi untuk melakukan dan menampung aktifitas manusia yang dilakukan dari satu generasi ke generasi lain dengan beberapa perubahan yang disesuaikan seiring dengan perkembangan jaman, serta tetap berlandaskan terhadap norma-norma yang berlaku [4]–[6]. Pada dasarnya Arsitektur Tradisional Bali masih mempertahankan aturan-aturan tradisional sebagai acuan membangun rumah Bali, aturan tersebut dikenal dengan Konsep *Asta Kosala Kosali*. Terdapat beberapa konsep yang mempengaruhi *Asta Kosala Kosali* diantaranya [3], [4] 1). **Konsep Orientasi Kosmologi** yaitu Tri Mandala dan Sanga Mandala yang dijadikan sebuah acuan dalam Arsitektur Tradisional Bali. Konsep tersebut terbentuk dari tiga sumbu, yaitu *Tri Loka : Bhur, Bwah, dan Swah; Sumbu Kangin* (matahari terbit) dan *Sumbu Kauh* (matahari terbenam); serta sumbu Gunung dan laut. 2). **Konsep Tata Ruang** yang terdiri dari *Tri Loka* dan *Tri Angga* yang merupakan bagian dari *Tri Hita Karana*. *Tri Angga* terbagi menjadi tiga yaitu *Utama* merupakan zona yang posisi kedudukannya paling tinggi, dalam arti lain kepala; *Madya* merupakan zona yang terletak di tengah, dapat diartikan badan; serta *Nista* merupakan zona profan yang terletak di bawah, dapat diartikan sebagai kaki. 3). **Konsep kejujuran penggunaan bahan bangunan**, dalam artian bangunan arsitektur Tradisional Bali masih menerapkan material alami yang asli. 4). **Konsep Keseimbangan Kosmologi** yang dianalogikan sebagai *Konsep Manik Ring Cucupu*. 5). **Konsep Court Open Air** yang merupakan konsep ruang terbuka diterapkan pada bagian *natah/pekarangan*. 6). **Konsep Dimensi Tradisional Bali** merupakan dasar skala dan proporsi manusia, meliputi *Asta, Tapak, Tapak Ngandak Depa, Musti, Aguli, Nyari*, dll.

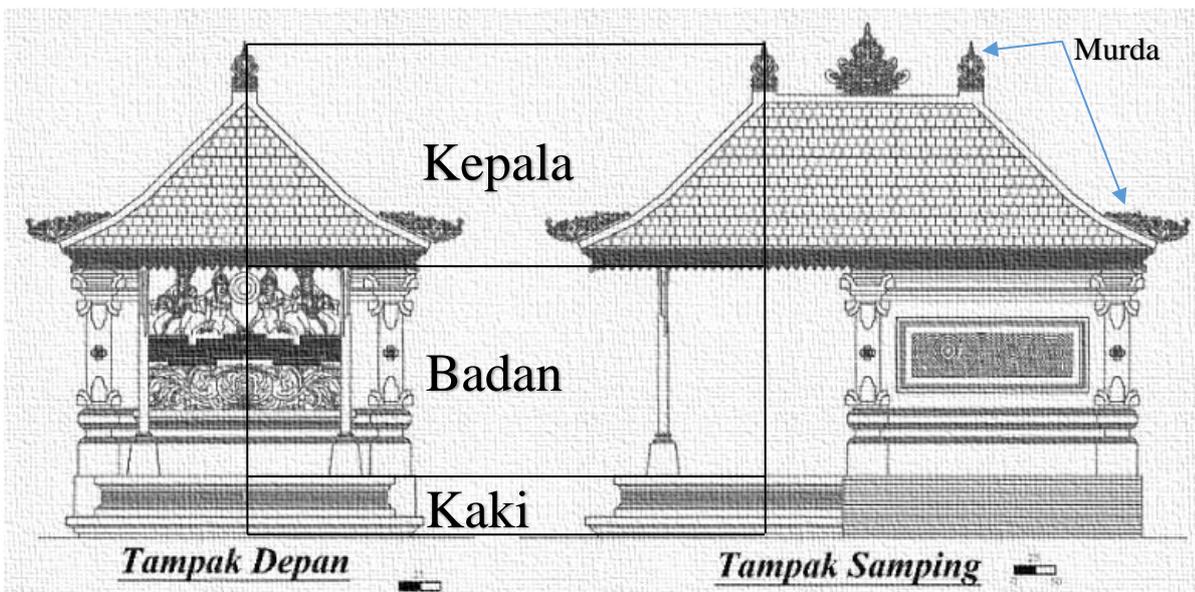
#### Bale Sakenem Secara Umum

Bangunan Bale Sakenem memiliki wujud seperti pada Gambar 2 diatas, disebut juga sebagai Bale Dangin atau Bale Saka 6 atau Bale Sari serta memiliki 6 tiang yang menopang atap dari bangunan tersebut. Tapak berbentuk persegi panjang. Letak posisinya terdapat di sebelah Timur dari *natah/pekarangan* rumah. Konsep *Tri Angga* diterapkan pada bangunan Bale Sakenem ini, maka bangunan ini terdiri dari Kepala, Badan, dan Kaki seperti pada Gambar 3 [7], fungsinya secara spesifik untuk kegiatan manusia yang meliputi 1). Upacara *Mesagih* merupakan upacara Agama Hindu bertujuan untuk membersihkan diri dari pengaruh buruk; melindungi diri dari energi negatif; serta menciptakan keseimbangan spiritual. 2). Upacara *Otonan* merupakan pelaksanaan upacara pengingatan hari ulang tahun seseorang yang dilakukan setiap tahun dengan dasar sistem kalender lunar Bali. 3). Upacara *Mesakapan* merupakan upacara tradisional yang diselenggarakan untuk merayakan pertemuan atau mempersatukan dua keluarga yang berencana melakukan pernikahan. 4). Upacara *Kematian* merupakan upacara kematian yang digunakan sebagai tempat pertemuan keluarga dan masyarakat selama prosesi upacara kematian. [1]



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

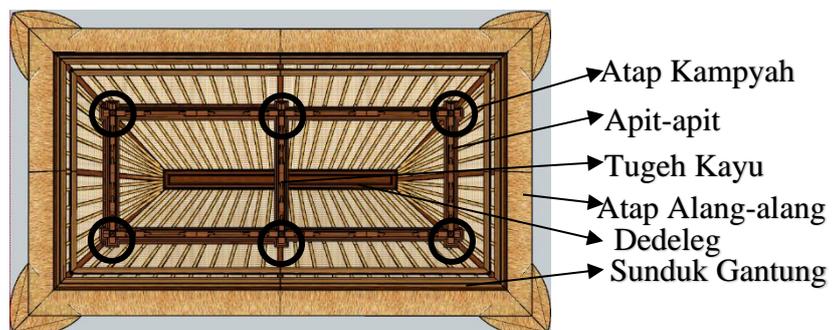
Gambar 2. Bangunan Bale Sakenem



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

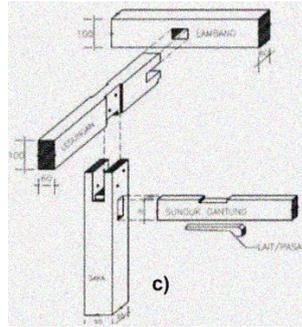
Gambar 3. Tampak Bale Sakenem

Pada dasarnya bangunan arsitektur Bale Sakenem terdiri dari 3 komponen yang dibagi menjadi kepala, badan serta kaki dan setiap komponen tersebut terdapat unsur pembentuk pada masing-masing bagiannya:



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

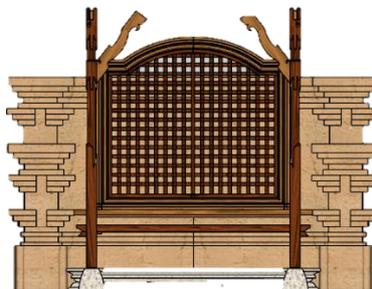
Gambar 4. Bentuk Atap Bale Sakenem



Sumber: I Nengah Lanus, 2017. Ilustasi : Ken, 2023.

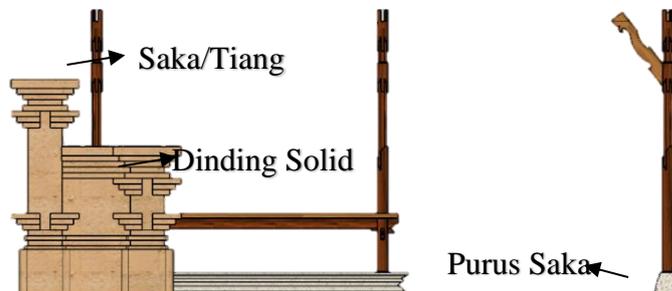
**Gambar 5.** Konstruksi Atap Bale Sakenem

1. Bagian Kepala/Atap Bangunan terdiri dari unsur pembentuk, seperti 1). *Murda* adalah sebuah unsur hiasan yang terletak pada bagian dari ujung atap rumah atau titik puncak pertemuan antar semua konstruksi bangunan yang merupakan hiasan berbentuk mirip mahkota, terletak pada *wuwung* pucuk atap limasan [8]; 2). Atap Penutup/genteng sebagai unsur utama dari atap bangunan Bale Sakenem, memiliki bentuk limasan, pada dasarnya atap penutup menggunakan material *ijuk* atau *ilalang* pada bangunan tradisional Bali, sedangkan pada bangunan yang lebih modern biasanya sudah menerapkan material atap genteng tanah liat; 3). Struktur pada bagian kepala/atap bangunan Bale Sakenem ini tersusun dari *iga-iga* mengelilingi bentuk limasan yang terikat pada *apit-apit* fungsinya untuk menahan *atap kamyah*, agar bagian dalam tidak langsung terekspose dan menahan/mengganjal *atap alang-alang*. Pada bagian tengah *apit-apit* terdapat *tugeh kayu* yang menahan posisi *apit-apit* dengan menggantung kepada *dedeleg*. *Tugeh* juga bertumpu pada *sunduk gantung*; 4). Konstruksi pada bagian kepala/atap bangunan ini masih dengan cara yang tradisional, dimana sambungan-sambungan struktur diatas masih banyak menggunakan sistem pengikat tali, sunduk, dan lait atau pasak seperti pada Gambar 5; 5). Material merupakan hal terpenting dalam bangunan Bale Sakenem, karena material sangat menentukan bahwa bangunan tersebut berdiri berdasarkan acuan konsep *asta kosala-kosali*. Pada dasarnya material yang diterapkan menggunakan material yang alami. Material alami yang dimaksud yaitu material seperti kayu pada bagian struktur hingga finishingnya.



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

**Gambar 6.** Tampak Depan Badan/dinding Bale Sakenem



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

**Gambar 7.** Tampak Samping Badan/dinding Bale Sakenem

2. Bagian Badan/Dinding Bangunan terdiri dari unsur pembentuk, seperti 1). Dinding Solid pada bagian selatan bangunan, dinding solid tersebut berdiri diatas *bataran* serta biasanya menggunakan material batu-bata khas Bali yang berwarna orange dan abu. Konstruksi penyusunan batanya masih menggunakan sistem tradisional dimana batu-bata disusun tidak menggunakan material perekat seperti semen. Batu-bata tersebut dicoak/diukir hingga

menghasilkan ornamen-ornamen cirikhas Bali. Pada umumnya ukiran pada dinding berjenis ornamen *odal* atau bisa juga ornamen tersebut berjenis flora dan fauna. 2). Tiang penopang pada bagian badan/komponen dinding terdiri dari 6 tiang atau *saka*. Melihat Gambar 4, hubungan antara atap dengan tiang tersebut bertumpu pada 6 sisi kapital kolom yang menumpu *apit-apit*. Strukturnya terdiri dari tiang/*saka* sebagai penopang atap dari Bale Sakenem, serta pada sambungan antara tiang dengan lantai bernama *purus saka* yang disusun diatas *bataran*. Konstruksinya masih menggunakan sistem tradisional yang mana hubungan antara atap/kepala Bale Sakenem dengan tiang/*saka* menggunakan sistem *coakan*, *pasak*, serta *sunduk* yang mana pertemuan sambungan tersebut saling mendorong. Material yang diterapkan masih menggunakan material alami berupa kayu asli, meskipun dalam studi kasus dapat ditemukan terjadi perubahan jenis material dari kayu nangka yang langka menjadi jenis kayu lainnya. Pada bagian tiang bangunan juga terdapat ornamen ukiran yang asli secara langsung pada material kayunya dengan cara sistem *pahat* dan *coakan*.



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

Gambar 8. Tapak Bale Sakenem



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

Gambar 9. Tampak Samping Kaki/Lantai Bale Sakenem

3. Bagian kaki/lantai Bangunan terdiri dari unsur pembentuk, seperti 1). Tapak bangunan ini berbentuk persegi panjang, sedangkan bentuk tampak samping bangunan ini terdapat perbedaan ketinggian dan terlihat berundak-undak seperti tangga, karena seluruh bangunan arsitektur tradisional Bali pada dasarnya memang bersifat panggung atau memiliki *bataran*. 2). Struktur kaki bangunan ini terdiri dari *bataran* yang memiliki perbedaan ketinggian serta *purus saka* (penghubung antara lantai dan tiang atau *saka*). 3). Konstruksi kaki/lantai bangunan ini denahnya berbentuk *bataran* yang ditopang oleh fondasi batu kali yang membentang panjang pada bangunan Bale Sakenem. Tiang atau *saka* ditanam diatas *purus saka* berbentuk fondasi batu kali tersebut. 4). Pada bangunan Bale Sakenem modern, dasar *bataran* menggunakan material keramik dengan penyesuaian warna alami seperti warna merah, coklat, corak batu alam, dsb. Sedangkan pada bangunan yang masih tradisional biasanya masih menerapkan material batu alam yaitu andesit yang terekspos atau tidak tertutup material modern. 5). Ornamen yang digunakan pada bangunan Bale Sakenem ini biasanya diterapkan pada dinding *bataran*, menurut [6] ornamen tersebut bisa berupa flora dan fauna.

### Bangunan Bale Sakenem di Desa Wisata Penglipuran

Desa Wisata Penglipuran menjadi daya tarik bagi peneliti karena merupakan sebuah desa wisata yang memiliki pola tata ruang dan bentuk bangunan rumah warga masyarakat yang seragam dari hulu hingga hilir desa [9]. Peneliti hanya menilik dan meneliti dua bangunan arsitektur Bale Sakenem yang berada di Desa Penglipuran untuk dijadikan sampel karena pada dasarnya bangunan Bale Sakenem milik warga masyarakat yang lainnya juga masih sama.



Sumber: google map

**Gambar 10.** Rumah Pilihan Penelitian

Rumah warga yang diberi kotak disisi atas merupakan rumah milik Nyoman Tantre dan rumah yang diberi kotak disisi bawah milik Wayan Supat. Pada dasarnya kedua rumah tersebut memiliki persamaan pada tata letak dan posisi bangunannya, bahkan bentuk bangunannya pun pada kedua rumah tersebut sama, hanya saja terdapat beberapa perbedaan penerapan warna material pada keduanya. Pada penelitian ini hanya difokuskan pada bangunan arsitektur Bale Sakenem yang berada di kedua rumah tersebut.

### Bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tantre



Sumber: Penulis, 2023

**Gambar 11.** Bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tantre.

Dalam penelitian yang dilakukan, Bangunan Bale Sakenem ini dibagi menjadi 3 komponen yang terdiri dari kepala, badan, serta kaki. Penjabaran unsur pembentuk dari ketiga komponen tersebut dijabarkan sebagai berikut :



Sumber: Penulis, 2023

**Gambar 12.** Material Penutup Atap

1. Pada bagian *kepala*/Atap bangunan ini tidak ditemukan adanya 1). *Murda* yang posisinya terdapat diujung atap rumah. 2). Pada bagian *kepala*/atap bangunan berbentuk limasan dengan material utama menggunakan bambu yang disusun menjadi 6 tumpuk seperti pada Gambar 12. 3). Struktur pada bangunan Bale Sakenem masih mempertahankan struktur yang sama dengan bangunan Bale Sakenem pada umumnya, dimana struktur dasar bagian

atap yaitu *iga-iga* tetap dijadikan penopang susunan bambu. *Iga-iga* tersebut mengelilingi bentuk limasan yang terikat pada *apit-apit*, material *atap kampyah* pada strukturnya yaitu anyaman rotan. Struktur kuda-kuda lainnya sebagai penopang utama atap masih tetap dengan struktur atap Bangunan Bale Sakenem tradisional. 4). Konstruksi pada bagian kepala/atap bangunan ini masih dengan cara yang tradisional, dimana sambungan-sambungan struktur diatas masih banyak menggunakan sistem *pengikat tali*, *sunduk*, dan *lait* atau *pasak*. 5). Material yang diterapkan pada bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tantre menggunakan material yang alami. Material alami yang dimaksud yaitu material seperti kayu pada bagian struktur hingga finishingnya.



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

**Gambar 13.** Struktur Bale Sakenem di Desa Wisata Penglipuran

2. Pada bagian Badan/Dinding Bangunan terdiri dari unsur pembentuk, seperti 1). Dinding Solid berdiri diatas *bataran* serta menggunakan material batu alam. Konstruksi penyusunan batunya masih menggunakan sistem tradisional dimana batu-bata disusun tidak menggunakan material perekat seperti semen seperti Gambar 13 diberi kotak putih. Batu alam tersebut dicoak/diukir hingga menghasilkan ornamen-ornamen cirikhas Bali. Ukiran pada dinding berjenis ornamen *odal*. 2). Tiang penopang pada bagian badan/komponen dinding terdiri dari 6 tiang atau *saka*. Hubungan antara atap dengan tiang tersebut bertumpu pada 6 sisi kapital kolom yang menumpu *apit-apit*. Strukturnya terdiri dari tiang/*saka* sebagai penopang atap dari Bale Sakenem, serta pada sambungan antara tiang dengan lantai bernama *purus saka* yang terletak diatas *bataran*. Konstruksinya masih menggunakan sistem tradisional yang mana hubungan antara atap/kepala Bale Sakenem dengan tiang/*saka* menggunakan sistem *coakan*, *pasak*, serta *sunduk* yang mana pertemuan sambungan tersebut saling mendorong. Material yang diterapkan masih menggunakan material alami berupa kayu asli, meskipun dalam studi kasus dapat ditemukan terjadi perubahan jenis material dari kayu nangka yang langka menjadi jenis kayu lainnya. Pada bagian tiang bangunan juga terdapat ornamen ukiran yang asli secara langsung pada material kayunya dengan cara sistem *pahat* dan *coakan*.



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

**Gambar 14.** *Bataran* Bale Sakenem

3. Pada bagian kaki/lantai Bangunan terdiri dari unsur pembentuk, seperti 1). Tapak bangunan ini berbentuk persegi panjang, bersifat panggung atau memiliki *bataran*. 2). Struktur kaki bangunan ini terdiri dari *bataran* yang memiliki perbedaan ketinggian serta *purus saka* (penghubung antara lantai dan tiang atau *saka* ). 3). Konstruksi kaki/lantai bangunan ini pada dasarnya serupa seperti yang dijelaskan pada konstruksi kolom Bale Sakenem secara umumnya, dalam *bataran* terdapat fondasi batu kali yang membentang panjang bangunan Bale Sakenem. Tiang atau *saka* ditanam diatas fondasi batu kali tersebut. 4). Pada bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tantre, dasar *bataran*

menggunakan material keramik dengan penyesuaian warna alami seperti warna coklat batu corak batu alam. 5). Ornamen yang digunakan pada bangunan Bale Sakenem ini biasanya diterapkan pada dinding *bataran*, ornamen tersebut berupa *odal*.

### Bangunan Bale Sakenem milik Wayan Supat



Sumber: Sumber: Penulis, 2023

**Gambar 15.** Bangunan Bale Sakenem milik Wayan Supat.

Dalam penelitian yang dilakukan, sebenarnya Bangunan Bale Sakenem milik Wayan Supat ini tidak ada perbedaan yang sangat berarti dengan Bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tantre. Bangunan Bale Sakenem ini dibagi menjadi 3 komponen yang terdiri dari kepala, badan, serta kaki. Penjabaran unsur pembentuk dari ketiga komponen tersebut dijabarkan sebagai berikut :

1. Pada bagian *kepala*/Atap bangunan ini tidak ditemukan adanya 1). *Murda* yang posisinya terdapat diujung atap rumah [10]. 2). Pada bagian *kepala*/atap bangunan berbentuk limasan dengan material utama menggunakan bambu yang disusun menjadi 6 tumpuk seperti pada Gambar 15. 3). Struktur pada bangunan Bale Sakenem masih mempertahankan struktur yang sama dengan bangunan Bale Sakenem pada umumnya, dimana struktur dasar bagian atap yaitu *iga-iga* tetap dijadikan penopang susunan bambu. *Iga-iga* tersebut mengelilingi bentuk limasan yang terikat pada *apit-apit*, material *atap kampyah* pada strukturnya yaitu anyaman rotan. Struktur kuda-kuda lainnya sebagai penopang utama atap masih tetap dengan struktur atap Bangunan Bale Sakenem tradisional. 4). Konstruksi pada bagian kepala/atap bangunan ini masih dengan cara yang tradisional, dimana sambungan-sambungan struktur diatas masih banyak menggunakan sistem *pengikat tali*, *sunduk*, dan *lait* atau *pasak*. 5). Material yang diterapkan pada bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tantre menggunakan material yang alami. Material alami yang dimaksud yaitu material seperti kayu pada bagian struktur hingga finishingnya.
2. Pada bagian Badan/Dinding Bangunan terdiri dari unsur pembentuk, seperti 1). Dinding Solid berdiri diatas *bataran* serta menggunakan material batu alam. Konstruksi penyusunan batunya masih menggunakan sistem tradisional dimana batu-bata disusun tidak menggunakan material perekat seperti semen seperti Gambar 15. Batu alam tersebut dicoak/diukir hingga menghasilkan ornamen-ornamen cirikhas Bali. Ukiran pada dinding berjenis ornamen *odal*. 2). Tiang penopang pada bagian badan/komponen dinding terdiri dari 6 tiang atau *saka*. Hubungan antara atap dengan tiang tersebut bertumpu pada 6 sisi kapital kolom yang menumpu *apit-apit*. Strukturnya terdiri dari tiang/*saka* sebagai penopang atap dari Bale Sakenem, serta pada sambungan antara tiang dengan lantai bernama *purus saka* yang disusun diatas *bataran*. Konstruksinya masih menggunakan sistem tradisional yang mana hubungan antara atap/kepala Bale Sakenem dengan tiang/*saka* menggunakan sistem *coakan*, *pasak*, serta *sunduk* yang mana pertemuan sambungan tersebut saling mendorong. Material yang diterapkan masih menggunakan material alami berupa kayu asli, meskipun dalam studi kasus dapat ditemukan terjadi perubahan jenis material dari kayu angka yang langka menjadi jenis kayu lainnya. Pada bagian tiang bangunan juga terdapat ornamen ukiran yang asli secara langsung pada material kayunya dengan cara sistem *pahat* dan *coakan*.
3. Pada bagian kaki/lantai Bangunan terdiri dari unsur pembentuk, seperti 1). Tapak bangunan ini berbentuk persegi panjang, bersifat panggung atau memiliki *bataran*. 2). Struktur kaki bangunan ini terdiri dari *bataran* yang memiliki perbedaan ketinggian serta *purus saka* (penghubung antara lantai dan tiang atau *saka* ). 3). Konstruksi kaki/lantai bangunan ini pada dasarnya tidak ada perubahan, dalam *bataran* terdapat fondasi batu kali yang membentang panjang dari bangunan Bale Sakenem. Tiang atau *saka* ditanam diatas fondasi batu kali tersebut. 4). Pada bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tantre, dasar *bataran* menggunakan material ubin batu alam. 5). Ornamen yang digunakan pada bangunan Bale Sakenem ini biasanya diterapkan pada dinding *bataran*, ornamen tersebut berupa *odal*.

#### 4. KESIMPULAN

Bangunan Bale Sakenem pada umumnya memiliki fungsinya untuk kegiatan manusia yang meliputi Upacara *Mesagih*, Upacara *Otonan*, Upacara *Mesakapan*, Upacara *Kematian*. Bangunan Bale Sakenem ini dibagi menjadi 3 komponen yang terdiri dari kepala, badan, serta kaki karena menerapkan konsep *Tri Angga*. Pada umumnya, bagian kepala terdapat unsur *Murda* yaitu sebuah unsur hiasan yang terletak pada bagian dari ujung atap rumah berbentuk mirip mahkota, sedangkan pada bangunan Bale Sakenem milik Wayan Supat dan Nyoman Tandre tidak ditemukan adanya *murda*. Atap Penutup/genteng bangunan Bale Sakenem berbentuk limasan serta menggunakan material *ijuk* atau *ilalang* pada bangunan tradisional Bali, sedangkan pada bangunan pada Bangunan Bale Sakenem milik Wayan Supat dan Nyoman Tandre menerapkan material bambu yang ditumpuk 6 susun. Struktur tersusun dari *iga-iga* mengelilingi bentuk limasan terikat pada *apit-apit* menahan *atap kamyah*. Konstruksi menggunakan sambungan-sambungan struktur masih banyak menggunakan sistem *pengikat tali*, *sunduk*, dan *lait* atau *pasak*. Material yang diterapkan menggunakan material yang alami. Material alami yang dimaksud yaitu material seperti kayu pada bagian struktur hingga finishingnya. Pada bagian Badan/Dinding Bangunan terdapat unsur pembentuk seperti. Dinding Solid yang berdiri diatas *bataran* serta menggunakan material batu-bata khas Bali yang berwarna orange dan abu. Konstruksi penyusunan batanya disusun tidak menggunakan material perekat seperti semen. Batu-bata tersebut dicoak/diukir hingga menghasilkan ornamen-ornamen cirikhas Bali yaitu ornamen *odal* atau berjenis flora dan fauna. Tiang penopang dinding terdiri dari 6 tiang atau *saka*. Strukturnya terdiri dari tiang/*saka* sebagai penopang atap dari Bale Sakenem, pada sambungan antara tiang dengan lantai bernama *purus saka* yang disusun diatas *bataran*. Konstruksinya menggunakan sistem *coakan*, *pasak*, serta *sunduk*. Material menggunakan material alami berupa kayu asli. Pada bagian tiang terdapat ornamen ukiran yang asli secara langsung pada material kayunya dengan cara sistem *pahat* dan *coakan*. Pada bagian kaki/lantai Bangunan terdapat unsur pembentuk, seperti tapak bangunan ini berbentuk persegi panjang, bentuk tampak samping terlihat berundak-undak seperti tangga bersifat panggung atau memiliki *bataran*. Struktur kaki terdiri dari *bataran* yang memiliki perbedaan ketinggian serta *purus saka* (penghubung antara lantai dan tiang atau *saka*). Konstruksi kaki/lantai bangunan ini denahnya berbentuk *bataran* yang ditopang oleh fondasi batu kali yang membentang panjang pada bangunan Bale Sakenem. Tiang atau *saka* ditanam diatas *purus saka* berbentuk fondasi batu kali tersebut. Pada bangunan Bale Sakenem modern, dasar *bataran* menggunakan material keramik dengan penyesuaian warna alami seperti warna merah, coklat, corak batu alam, dsb. Sedangkan pada bangunan yang masih tradisional biasanya masih menerapkan material batu alam yaitu andesit yang terekspos atau tidak tertutup material modern. Terdapat perbedaan penerapan material lantai yang diterapkan pada bangunan Bale Sakenem milik Nyoman Tandre dan Wayan Supat, perbedaan tersebut ditunjukkan bahwa bangunan milik Nyoman Tandre menerapkan material keramik dengan warna coklat dengan motif batu alam, sedangkan milik Wayan Supat menerapkan material ubin batu alam. Ornamen yang digunakan diterapkan pada dinding *bataran* berupa flora dan fauna.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Luxiana, "ARSITEKTUR TRADISIONAL BALI ERA 4.0." Warmadewa University Press, 2022.
- [2] I. N. Sudiarta, *RUMAH TRADISIONAL BALI*. 2016.
- [3] S. I. G. A. Jaya, "ARSITEKTUR BALI BERKONSEPKAN ASTA KOSALA KOSALI DAN ASTA BUMI SEBAGAI DAYA TARIK WISATA," *Maha Widya Duta J. Penerangan Agama, Pariwisata Budaya, dan Ilmu Komun.*, vol. 3, no. 1, pp. 35–45, 2020.
- [4] I. W. Wiryawan, "Konsep Dan Makna Arsitektur Tradisional Bali Dan Aplikasinya Dalam Arsitektur Bali," in *Workshop 'Arsitektur Etnik Dan Aplikasinya Dalam Arsitektur Kekinian*, 2016, p. 1.
- [5] N. K. A. Dwijendra, "PERUMAHAN DAN PERMUKIMAN TRADISIONAL BALI," *J. Natak; Vol. 1, No. 1 Februari 2003*.
- [6] I. N. Susanta, "Makna dan konsep arsitektur tradisional bali dan aplikasinya dalam arsitektur bali masa kini," *Space*, vol. 4, no. 2, pp. 199–212, 2017.
- [7] G. Refaya and I. K. Adhimastra, "Bangunan Tradisional Bali 'Bale Sakanem,'" *J. Analisa*, vol. 11, no. 1, pp. 46–56, 2023.
- [8] I. P. P. . M. I. W. . & S. I. N. Suryadana, "Kajian Bentuk, Filosofi Ornamen dan Konstruksi Sanggah Rong Tiga Hindu di Bali," *Hast. J. Kriya Dan Ind. Kreat.*, vol. 1, no. 01, pp. 8–17, 2021.
- [9] M. Sudiarta and I. W. Nurjaya, "KEUNIKAN DESA PENGLIPURAN SEBAGAI PENDORONG MENJADI DESA WISATA BERBASIS KERAKYATAN," *Soshum J. Sos. dan Humaniora; Vol 5 No 3 Novemb. 2015*, Feb. 2017.
- [10] A. D. WIRYANTI, "Transformasi Elemen Arsitektur dan Interior Bale dangin sakenem Pada Rumah Tradisional Bali (Studi Kasus: Rumah Wayan Sudarsana, Desa Kukuh, Kec. Kerambitan, Kab. Tabanan, Bali)," INSTITUT SENI INDONESIA YOGYAKARTA, 2020.

**JTSA**

**Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur**

**Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta**

ISSN 2807-9418



9

772807

941008