

ISSN CETAK : 2527 - 5542  
ISSN ONLINE : 2775 - 6017

# REKAYASA

JURNAL TEKNIK SIPIL



**UNIRA**  
UNIVERSITAS  
MADURA

**FT**  
FAKULTAS TEKNIK

Volume 8, Nomer 1  
Juni 2023

# REKAYASA JURNAL TEKNIK SIPIL

## Media Publikasi Karya Ilmiah di Bidang Teknik Sipil

---

Volume 8, Nomer 1.

Juni 2023

### **Penanggung Jawab :**

Taurina Jemmy Irwanto, ST., MT.

Badar Said, M. Kom.

Dedy Asmaroni, ST., MT.

### **Mitra Bestari :**

Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT

Dr. Ir Subagyo, MT

Dr. Faisal Estu Yulianto, ST., MT.

Dr. Ir. Gusfan Khalik, MT.

### **Komite Pelaksana :**

Aldi Setiawan, ST., MT.

Fairus Zabadi, ST., MT.

Ahmad Fatoni ST., MT.

Moh. Zainal Abidin, ST.

### **Komite Pelaksana :**

Fakultas Teknik – Universitas Madura

Jl. Raya Panglegur KM. 3,5 Pamekasan 69317

Telp. (0324) 322231 psw 114 Fax (0324) 327418

Email : Jurnal.rekayasa.unira@gmail.com

# REKAYASA JURNAL TEKNIK SIPIL

## Media Publikasi Karya Ilmiah di Bidang Teknik Sipil

---

Volume 8, Nomer 1.

Juni 2023

### DAFTAR ISI

1. **Analisis Kebutuhan Dan Ketersediaan Air Domestik Di Pulau Belakang Padang**  
Amanatullah Savitri, Dwiyana Firayanti  
1-8
2. **Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Dengan Menggunakan Metode Gap Acceptance Dalam Upaya Mengatasi Kemacetan**  
M. Sa'dillah, Andy Kristafi Arifianto, Elias Pradiatmo  
9-16
3. **Efisiensi Pekerjaan Bekisting Konvensional dan Semi Sistem pada Kolom Bangunan Bertingkat di Madura**  
Risya Afifah Rahadatul Ais'y, Putri Regilia Silviana, Himatul Farichah  
17-22
4. **Pengaruh Variasi Suhu Pada Campuran Aspal AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall**  
Nadhifha Aprillia Zahara, Ibnu Sholichin  
23-28
5. **Analisis Pengaruh Variasi Penggunaan Bahan Aditif Tambahan *Superplasticizer* Terhadap Properti Pasta Kombinasi Semen-*Fly Ash***  
Albert Kuncoro, Dewanti Ratna Paramitha, Lydia Yuniarti Meok, Antoni Antoni, dan Djwantoro Hardjito  
29-36

# ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN AIR DOMESTIK DI PULAU BELAKANG PADANG

Amanatullah Savitri<sup>1</sup>, Dwiyana Firayanti<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam, Batam

E-mail: [amanatullah@uib.ac.id](mailto:amanatullah@uib.ac.id)

**ABSTRAK :** Pulau Belakang Padang merupakan bagian dari Kecamatan Belakang Padang yang terletak 12,1 km dari Kota Batam. Pulau Belakang Padang menghadapi masalah ketersediaan air terutama saat musim kemarau. Pada tahun 2016, terjadi bencana kekeringan yang mengakibatkan masyarakat tidak mendapatkan akses air. Kekeringan yang terjadi mengakibatkan tampungan waduk menjadi kosong sehingga waduk berhenti beroperasi karena tidak ada air baku yang dapat diolah. Selain itu, penambahan jumlah penduduk yang bermukim di Pulau Belakang Padang juga meningkat setiap tahun. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kebutuhan dan ketersediaan air di Pulau Belakang Padang untuk 5 tahun mendatang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dimana dilakukan analisis kebutuhan dan ketersediaan air bersih di wilayah Pulau Belakang Padang. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, jumlah penduduk mengalami peningkatan sebesar 0,046% pada tahun 2027 dengan jumlah penduduk mencapai 22.561 jiwa. Pada tahun 2027, diprediksi kenaikan jumlah pelanggan rumah sebanyak 1.538 SR. Kebutuhan air bersih di wilayah pelayanan Kecamatan Belakang Padang sebesar 1,7801 liter/detik pada tahun 2027 sesuai dengan proyeksi pertumbuhan jenis pelanggan. Kebutuhan harian maksimum adalah 1,9581 liter/detik, dan debit puncaknya adalah 2,6701 liter/detik. Dengan membandingkan kebutuhan dengan ketersediaan air yang ada dapat diketahui bahwa jumlah ketersediaan sumber air saat ini masih mencukupi untuk prediksi 5 tahun kedepan ( $10 > 1,7801$  Liter/detik). Jumlah pelanggan pada tahun 2027 meningkat mencapai 1.538 SR, maka kebutuhan waduk menjadi 3,1373568 m<sup>3</sup> kapasitas saat ini 270.000 m<sup>3</sup> mampu menampung hingga tahun 2027.

**Kata Kunci:** Waduk Sekanak, Kebutuhan Air, Kecamatan Belakang Padang

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia mengalami masalah pasokan air karena keberagaman kondisi geografi, iklim, dan musim kemarau yang berkepanjangan. Menurut Joint Monitoring Joint Programme (JMP) WHO/UNICEF, hanya 59% penduduk Indonesia yang memiliki akses penyediaan air. Salah satu Kecamatan di Indonesia yang menghadapi masalah pemenuhan kebutuhan air adalah Kecamatan Belakang Padang [1].

Air merupakan kebutuhan dasar bagi manusia yang sangat penting dimanapun berada [2]. Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang pesat, kebutuhan air untuk masyarakat juga akan semakin meningkat. Air juga sangat penting untuk memenuhi keperluan ekonomi dan social sebagai *industry*, perdagangan, pendidikan dan kebutuhan rumah tangga. Selain untuk memenuhi kebutuhan pada aktivitas ekonomi dan *sosial*, air juga dibutuhkan pada aktivitas sehari – hari seperti mencuci, memasak, air minum, mandi, dan sanitasi. Untuk memenuhi kebutuhan air yang diperlukann untuk menjalankan aktivitas sehari – hari, masyarakat memanfaatkan sumber air di wilayahnya [3]. Kebutuhan akan penyediaan dan ketersediaan air untuk penduduk yang pantas merupakan salah satu persoalan di Indonesia, termasuk juga di Kecamatan Belakang Padang.

Kecamatan Belakang Padang adalah Kecamatan yang terletak di wilayah pesisir kota Batam, di Provinsi Kepulauan Riau, Indonesia. Pulau Belakang Padang yang letaknya jauh dari Kota Batam menghadapi masalah ketersediaan air yang terbatas. Saat ini telah tersedia kemudahan untuk mengakses fasilitas air bersih di pulau Belakang Padang ini, namun mutu air yang dihasilkan

belum memenuhi syarat ketentuan kesehatan. Masyarakat Belakang Padang memanfaatkan air hujan dengan menampung air hujan di bak penampungan untuk kebutuhan sehari – hari. Pada umumnya masyarakat menggunakan air galon untuk kebutuhan air minum dan memasak, namun beberapa warga ada yang memasak air hujan untuk diminum.

Masyarakat di Pulau Belakang Padang menggunakan aliran air yang disalurkan dengan *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) dan juga Waduk. Sumber air Waduk bersumber dari penampungan air hujan dengan daya tampung dan ketersediaan air yang sangat terbatas. Sampai saat ini warga masih aktif menggunakan Waduk tadah hujan. Jumlah masyarakat yang menggunakan Waduk berjumlah 1.280 SR pada tahun 2022 [4].

Berdasarkan data dari BLUD UPT Kecamatan Belakang Padang, diketahui bahwa kapasitas efektif dari Waduk Sekanak I & II adalah sebagaimana yang tertera di Tabel 1. 270.000 m<sup>3</sup> (Data Tahun 2023).

**Tabel 1.** Kapasitas Tampungan Waduk Sekanak Raya.

Waduk & Luas	Kapasitas Tampungan M <sup>3</sup>	Jumlah SR
Waduk Sekanak I ± 5.4 HA	270.000	1239
Waduk Sekanak II ± 4.0 HA	270.000	

Dengan jumlah penduduk sebesar 21.286 Jiwa (Statistik Jumlah Penduduk Menurut Kecamatan Tahun 2020-2022,

2023), dan peningkatan jumlah penduduk sebesar 1.84 % antara jangka waktu 2021 – 2022. Karena itu masyarakat harus mempertimbangkan kebutuhan air di masa mendatang. Grafik pertumbuhan jumlah penduduk bisa dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Jumlah Penduduk Kecamatan Belakang Padang.

Kegiatan pembangunan yang berkaitan dengan penyediaan prasarana dan sarana untuk mendukung kegiatan sosial ekonomi telah meningkat seiring dengan peningkatan populasi dan aktivitas sosial ekonomi di wilayah tersebut [5].

Kebutuhan air bersih adalah jumlah air yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penduduk, yang terbagi menjadi dua kategori penggunaan air, yaitu untuk keperluan domestik (rumah tangga) dan non domestik. Peneliti merencanakan efisiensi sistem penyediaan air bersih untuk kebutuhan domestik (rumah tangga) dengan proyeksi jumlah penduduk yang terjangkau oleh penyediaan air bersih secara tepat sasaran [6].

Kebutuhan air domestik adalah jumlah air yang digunakan di rumah untuk keperluan sehari – hari seperti memasak, mencuci, minum dan kebutuhan rumah tangga lainnya. Ini sangat penting untuk direncanakan karena jumlah air yang digunakan bersifat fluktuatif [7].

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kebutuhan dan ketersediaan air di Pulau Belakang Padang untuk 5 tahun mendatang.

**2. METODE PENELITIAN**

**Pengumpulan Data**

**A. Proyeksi Pertumbuhan Penduduk**

Pada tahap pengumpulan data, peneliti melakukan observasi proyeksi pertumbuhan populasi penduduk menggunakan beberapa metode. Metode perkiraan pertumbuhan populasi penduduk dihitung dengan menggunakan metode geometrik dan metode aritmatika. Setelah dilakukan perbandingan perhitungan jumlah penduduk, maka peneliti akan memilih salah satu metode untuk digunakan sebagai acuan perhitungan kebutuhan air. Laju pertumbuhan penduduk yang diproyeksikan *relative* naik setiap tahun, dan dapat digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk di masa depan [8].

**Metode Geometrik**

Proyeksi pertumbuhan penduduk dengan metode Geometrik ini, didasarkan pada asumsi bahwa pertumbuhan jumlah penduduk akan bertambah secara Geometrik, dengan perhitungan dasar dibawah ini:

$$P_n = P_0(1 + r)^n \dots$$

Keterangan:

$P_n$  = Jumlah penduduk tahun  $n$  proyeksi

$P_0$  = Jumlah penduduk awal proyeksi

$R$  = Rata – rata perkembangan penduduk pertahun

$N$  = Selisih waktu (tahun)

**Metode Aritmatika**

$$P_n = P_o + K_a(T_n - T_o)$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1}$$

Dengan:

$P_n$  = Jumlah Penduduk Tahun  $n$

$P_o$  = Jumlah Penduduk Tahun awal

$T_n$  = Tahun ke  $n$

$T_o$  = Tahun awal

$K_a$  = Konstanta aritmatika

$P_1$  = Jumlah penduduk yang diketahui tahun  $n$

$P_2$  = Jumlah penduduk yang diketahui tahun terakhir

$T_1$  = Tahun ke 1 yang diketahui

$T_2$  = Tahun ke 2 yang diketahui

Dengan mengacu pada data penduduk tahun 2018 menghitung pertambahan jumlah penduduk untuk Kecamatan Belakang Padang pertahun dari tahun 2018 – 2022 dengan menggunakan metode Aritmatika dan Geometrik. Dengan cara perhitungan yang sama, hasil perhitungan mundur jumlah penduduk dapat dilihat perbedaannya dalam Tabel 2. dibawah ini.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Mundur Jumlah Penduduk.

Tahun	Penduduk (Yi)	Hasil Perhitungan	
		Aritmatika	Geometrik
2018	20.266	20.266	20.266
2019	21.716	20.521	20.516
2020	20.870	20.776	20.770
2021	21.022	21.031	21.026
2022	21.286	21.286	21.286
<b>Jumlah</b>	<b>105.160</b>	-	-

Selanjutnya hasil standar deviasi perhitungan Aritmatika dan Geometrik akan disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Nilai Standar Deviasi dapat dihitung dengan

bantuan excel yaitu dengan fungsi “STDEV (*number x; number y*)”.

**Tabel 3.** Standar Deviasi Perhitungan Aritmatika

Tahun	Tahun ke (n)	Statistik Jumlah Penduduk (Y)	Perhitungan Aritmatika (Yi)	Yi - Ymean	(Yi - Ymean) <sup>2</sup>
2018	1	20.266	20.266	-766	586.756
2019	2	21.716	20.521	-511	261.121
2020	3	20.870	20.776	-256	65.536
2021	4	21.022	21.031	-1	1
2022	5	21.286	21.286	254	64.516
Jumlah		105.160			
Ymean		21.032			
Standar Deviasi					442.251

**Tabel 4.** Standar Deviasi Perhitungan Geometrik

Tahun	Tahun ke (n)	Statistik Jumlah Penduduk (Y)	Perhitungan Geometrik (Yi)	Yi - Ymean	(Yi - Ymean) <sup>2</sup>
2018	1	20.266	20.266	-766	586.756
2019	2	21.716	20.516	-516	265.922
2020	3	20.870	20.770	-262	68.781
2021	4	21.022	21.026	-6	33
2022	5	21.286	21.286	254	64.516
Jumlah		105.160			
Ymean		21.032			
Standar Deviasi					444.073

**Tabel 5.** Perbandingan Nilai Standar Deviasi

Metode	Standar Deviasi
Aritmatika	442.251
Geometrik	444.073

Hasil perhitungan standar deviasi sesuai Tabel 5 menunjukkan angka yang berbeda untuk kedua metode proyeksi tersebut. Angka terkecil merupakan hasil perhitungan proyeksi dengan menggunakan metode Aritmatika. Oleh karena itu, untuk memperkirakan jumlah

penduduk Kecamatan Belakang Padang pada tahun 2027 Mendatang dipilihlah metode Aritmatika.

**B. Proyeksi Kebutuhan Air**

Mengetahui kebutuhan air di tahun yang mendatang diperlukan perkiraan jumlah penduduk di tahun tersebut. Untuk menentukan perkiraan penduduk di masa depan menjadi faktor utama yang dapat mempengaruhi suatu wilayah saat ini, sedangkan untuk mengetahui kebutuhan air domestik di masa mendatang dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$r = \frac{\text{jumlah \% Pertambahan}}{\text{tahun}}$$

Mencari proyeksi kebutuhan air bersih pelanggan domestik, Kebutuhan harian maksimum, Pemakaian Debit Air Pada Jam Puncak, Analisis Pelayanan Air Bersih, dan mencari nilai kapasitas *reservoir*. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



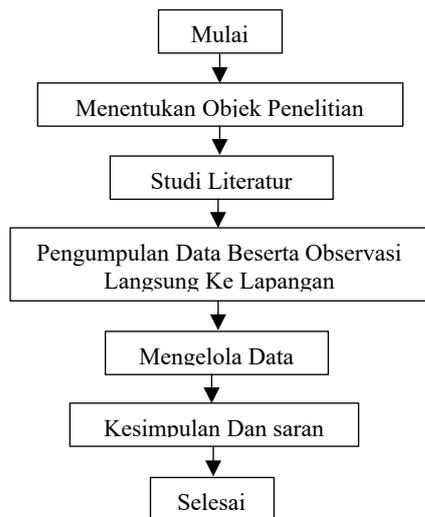
**Gambar 2.** Lokasi Studi (Waduk Sekanak I & II Belakang Padang)

**Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

1. Melakukan studi literatur berupa informasi dari berbagai buku, artikel dan jurnal yang berkaitan dengan topik yang akan dibahas dalam penelitian ini.
2. Melakukan observasi ke lapangan untuk memastikan apakah masyarakat mengalami kesulitan mendapatkan air baku atau tidak.
3. Mengumpulkan data – data yang diperlukan. Data penduduk berasal dari Badan Pusat Statistik Kota Batam. Data pengguna waduk sekanak I & II di Belakang Padang dari BLUD UPT PAB Dinas Cipta Karya.
4. Berdasarkan hasil dari data yang diperoleh, peneliti mengolah data tersebut.

Adapun tahapan penelitian yang digunakan peneliti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Pertumbuhan Jumlah Penduduk

Untuk menetapkan jumlah populasi penduduk yang diproyeksikan, dilaksanakan perhitungan dengan menggunakan metode Aritmatika. Hasil dari pengolahan data dengan metode tersebut, bahwa perkiraan penduduk dengan menggunakan metode Aritmatika menunjukkan penduduk mengalami peningkatan sebesar 0,046% antara tahun 2023 dan 2027. Pada tahun 2027 jumlah penduduk mencapai 22.561 jiwa bisa dilihat grafik nya pada Gambar 4.



Gambar 4. Proyeksi Jumlah Penduduk.

Berdasarkan pada perkiraan jumlah penduduk dari hasil proyeksi, Analisa dilanjutkan untuk menghitung kebutuhan air sampai dengan tahun 2027. Dalam menghitung kebutuhan air per orang digunakan dasar yang diusulkan oleh Direktorat Jendral Cipta Karya Tahun 1996 [9].

Perhitungan kebutuhan air didasarkan pada jumlah air yang dibutuhkan setiap orang setiap hari. Menurut kategori kota pada tabel 6 dibawah ini, Kecamatan Belakang Padang termasuk Kota kecil sehingga kebutuhan air bersih 90 – 110

liter/orang/hari. Berdasarkan SNI 19-6728.1-2002 tentang Penyusunan Neraca Spasial Sumber Daya Alam penggunaan air domestik 100 liter/orang/hari.

Tabel 6. Kebutuhan Air Bersih Rumah Tangga Per Orang Per Hari Menurut Kategori Kota.

Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air bersih (L/O/H)
Semi urban	3.000–20.000	60-90
Kota kecil	20.000-100.000	90-110
Kota sedang	100.000–500.000	100-125
Kota besar	500.000-1.000.000	120-150
Metropolitan	>1.000.000	150-200

Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2015.

#### Identifikasi Ketersediaan Air

Dapat dilihat tabel 7 jumlah pertambahan pelanggan Rumah Tangga.

Tabel 7. Pelanggan Rumah Tangga Waduk Sekanak I & II.

Tahun	SR	Pertambahan Pelanggan	
		selisih	%
2018	1.099	-	-
2019	1.151	52	4.5178106
2020	1.200	49	4.0833333
2021	1.239	39	3.1476998
2022	1.280	41	3.203125
<b>Jumlah</b>		<b>181</b>	<b>14.951969</b>

Total persentase kenaikan jumlah pelanggan rumah tangga:

$$r = \frac{\text{Jumlah \% Pertambahan}}{t}$$

$$r = \frac{14.951\%}{4}$$

$$r = 3.74\%$$

$$P_{2027} = P_0 (1 + r)^n$$

$$P_{2027} = 1.280 (1 + 0.03738)^5$$

$$P_{2027} = 1.537,80 \sim 1.538 \text{ SR}$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan rumus di atas peningkatan jumlah pelanggan rumah tangga condong mengalami kenaikan. Jumlah pelanggan rumah tangga tahun 2027 sebanyak 1.538 SR.

Perkiraan kebutuhan air bersih pada tahun 2027 dihitung dengan mengacu pada hasil perkiraan peningkatan jumlah penduduk dan peningkatan jumlah pelanggan daerah terlayani. Prediksi kebutuhan air bersih pelanggan domestik :

$$SI = 1.538 \text{ SR}$$

$$SI = 1.538 \times 100 \text{ Liter/Hari}$$

$$SI = 153.800 \text{ Liter/Hari}$$

$SI = 1,780 \text{ Liter/detik}$

Tabel 8 di bawah ini menunjukkan perkiraan kebutuhan air bersih pelanggan Rumah Tangga domestik dari tahun 2023 – 2027.

**Tabel 8.** Proyeksi Kebutuhan Air Bersih Pelanggan Domestik 2023 – 2027.

No	Tahun	SI
1	2023	1,5370
2	2024	1,5938
3	2025	1,6539
4	2026	1,7153
5	2027	1,7801
<b>Total</b>		<b>8,2801</b>

Kebutuhan harian maksimum pada tahun 2027:

$$Ss = f1 \times SI$$

$$Ss = 1,1 \times 1,780 \text{ Liter/detik}$$

$$Ss = 1,958 \text{ Liter/detik}$$

Berikut Tabel 9 yang menunjukkan kebutuhan harian maksimum pada tahun 2023 – 2027.

**Tabel 9.** Proyeksi Kebutuhan Harian Maksimum Tahun 2023 – 2027.

No	Tahun	Kebutuhan Harian Maksimum (Liter/detik)
1	2023	1,6907
2	2024	1,7531
3	2025	1,8193
4	2026	1,8868
5	2027	1,9581
<b>Total</b>		<b>9,1081</b>

**Pemakaian Air Pada Jam Puncak**

$$\text{Debit Waktu Puncak} = f2 \times \text{Nilai SI Tahun } n$$

$$\text{Debit Waktu Puncak} = 1,5 \times \text{Nilai SI Tahun } n$$

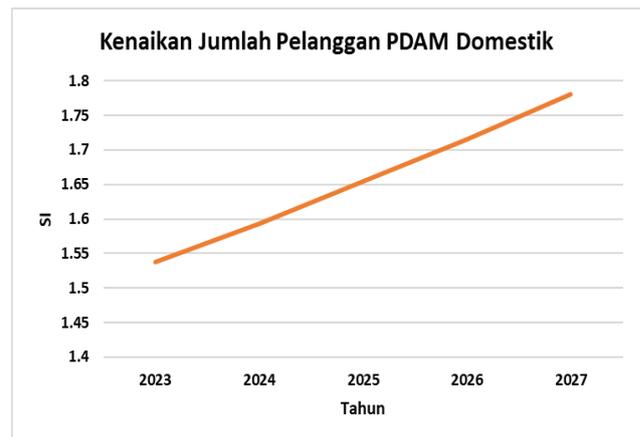
Proyeksi perhitungan pemakaian air pada jam puncak dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Proyeksi Pemakaian Air Pada Jam Puncak Tahun 2023 – 2027.

No	Tahun	Debit waktu pucak
1	2023	2,3056
2	2024	2,3906
3	2025	2,4809
4	2026	2,5729
5	2027	2,6701
<b>Total</b>		<b>12,4201</b>

Kebutuhan air bersih di wilayah pelayanan Kecamatan Belakang Padang sebesar 1,7801 liter/detik pada tahun 2027 sesuai dengan proyeksi pertumbuhan jenis pelanggan. Kebutuhan harian maksimum adalah 1,9581 liter/detik, dan debit puncaknya adalah 2,6701 liter/detik.

Grafik di bawah ini adalah proyeksi kebutuhan air bersih berdasarkan jenis pelanggan di Kecamatan Belakang Padang pada tahun 2027. Perhitungan kebutuhan air berdasarkan jenis pelanggan di Kecamatan Belakang Padang tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik Prediksi Debit yang Dibutuhkan Kecamatan Belakang Padang.

Grafik di atas menunjukkan jumlah kebutuhan air bersih berdasarkan perkiraan hasil perhitungan jumlah pelanggan di Kecamatan Belakang Padang tahun 2027. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa debit yang dibutuhkan semakin bertambah tiap tahunnya.

Analisis terhadap jangkauan pelayanan air bersih Kecamatan Belakang Padang  $Cp_{Kecamatan}$  :

$$Cp_{Kecamatan} = 80\% \times Pn \text{ (Penduduk Tahun } n)$$

Perhitungan analisis tersebut bisa dilihat pada Tabel 11 di bawah ini.

**Tabel 11.** Proyeksi Analisis Pelayanan Air Bersih Pada Tahun 2023 – 2027.

No	Tahun	$Cp_{Kecamatan}$ (Jiwa)
1	2023	17.233
2	2024	17.437
3	2025	17.641
4	2026	17.845
5	2027	18.049
<b>Total</b>		<b>88.204</b>

**Analisis ketersediaan dan kebutuhan air bersih yang didistribusikan ke Kecamatan Belakang Padang**

Analisis ketersediaan air bersih sampai dengan tahun 2027 dilakukan dengan membandingkan volume produksi sumber mata air yang digunakan saat ini dengan jumlah

kebutuhan air bersih sampai dengan tahun 2027 sesuai dengan hasil perhitungan berdasarkan data yang didapatkan dari BLUD UPT Dinas Cipta Karya Belakang Padang.

Berikut data pada Tabel 12 produksi air bersih yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih di Kecamatan Belakang Padang.

**Tabel 12.** Data Produksi Air Bersih Pada Tahun 2022.

Sumber Air	Instalasi Pengolahan Air (IPA)	Jumlah Produksi Air (Liter/detik)
Waduk Sekanak I & II	IPA Belakang Padang	10

Dengan menjumlahkan kebutuhan air bersih dari hasil perhitungan proyeksi jumlah penambahan pelanggan tahun 2027, wilayah Kecamatan Belakang Padang (1,7801 liter/detik). Berdasarkan Tabel 13 dibawah ini, total kapasitas produksi IPA yang terdistribusi saat ini adalah 10 liter/detik, sehingga debit produksi yang direncanakan didasarkan pada proyeksi jumlah pelanggan daerah pelayanan Kecamatan belakang. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa ketersediaan air saat ini ( $10 > 1,7801$  l/detik) dapat memenuhi.

**Tabel 13.** Kapasitas Produksi IPA.

Unit pelayanan	Kapasitas produksi IPA (Liter/detik)	Q Kebutuhan Air (Liter/detik)
Waduk Sekanak I & II	10	1,7801

**Analisis Kapasitas Reservoir**

Kapasitas waduk yang ada saat ini adalah 270.000 m<sup>3</sup>. Kebocoran dan kehilangan air dihitung dengan asumsi 20% dari jumlah kebutuhan air domestik [10]. Untuk memenuhi kebutuhan air pada tahun 2027, kapasitas tampungan waduk pada tahun 2027 diproyeksikan sebagai berikut:

Berdasarkan prediksi sampai dengan tahun 2027:

Keterangan: 1 m<sup>3</sup> = 1000 liter, 1 hari = 24 jam = 86.400 detik.

Konsumsi Air Harian Rata= 1,7801 Liter/detik – Rata

Jumlah Sambungan = 1.538 SR

Kehilangan Air Rata – Rata= 20% X Konsumsi Harian Rata- Rata

= 20% X 1,7801

= 0.0356 Liter/detik

Kebutuhan Rata- Rata = Konsumsi Air Harian Rata – Rata + Lo

= 1,7801 + 0,0356

= 1,8157 Liter/detik

Sehingga, Kebutuhan Air Harian =  $\frac{1,8157 \text{ Liter}}{1000 \text{ m}^3} \times 86400 \text{ detik}$

= 156,86784 m<sup>3</sup>

Kebutuhan Reservoir = 156,86784 m<sup>3</sup> X 20%

= 3,1373568 m<sup>3</sup>

Kapasitas waduk sekanak I & II 270.000 m<sup>3</sup> > 3,1373568 m<sup>3</sup>.

**4. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode Aritmatika menunjukkan penduduk mengalami peningkatan sebesar 0,046% pada tahun 2027 jumlah penduduk mencapai 22.561 jiwa.
2. Jumlah pelanggan rumah tangga tahun 2027 diprediksi sebanyak 1.538 SR.
3. Kebutuhan air bersih di wilayah pelayanan Kecamatan Belakang Padang diproyeksi sebesar 1,7801 liter/detik pada tahun 2027 sesuai dengan proyeksi pertumbuhan jenis pelanggan. Kebutuhan harian maksimum adalah 1,9581 liter/detik dan debit puncaknya adalah 2,6701 liter/detik.
4. Jumlah ketersediaan sumber air saat ini masih mencukupi untuk prediksi 5 tahun kedepan ( $10 > 1,7801$  Liter/detik).
5. Seiring perkembangan pertumbuhan penduduk maka kebutuhan waduk menjadi 3,1373568 m<sup>3</sup> kapasitas saat ini 270.000 m<sup>3</sup> mampu menampung hingga tahun 2027.

**5. Daftar Pustaka**

[1] R. B. Sukmara, J. J. Pratama, and Ariyaningsih, "Analisis Ketersediaan Dan Kebutuhan Air Baku Kota Balikpapan Studi Kasus: Waduk Manggar, Kota Balikpapan," *Eternitas J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 7–14, 2020, doi: 10.30822/eternitas.v1i1.545.

[2] D. Jatirejo *et al.*, "Teknik Konservasi Mata Air Untuk Pemenuhan Kebutuhan Sumber Air Domestik PENDAHULUAN Semua makhluk hidup membutuhkan air dalam kehidupannya sehingga tanpa air dapat dipastikan tidak ada kehidupan . Manusia menggunakan air untuk keperluan air minum yang ut," no. 492, pp. 48–60, 2019.

[3] F. Lestari, T. Susanto, and K. Kastamto, "Pemanenan Air Hujan Sebagai Penyediaan Air Bersih Pada Era New Normal Di Kelurahan Susunan Baru," *SELAPARANG J. Pengabd. Masy.*

- Berkemajuan*, vol. 4, no. 2, p. 427, 2021, doi: 10.31764/jpmb.v4i2.4447.
- [4] A. NATASYA, “EVALUASI KEBIJAKAN PENGELOLAAN AIR BERSIH MELALUI TEKNOLOGI SEA WATER REVERSE OSMOSIS DI KECAMATAN BELAKANG PADANG,” *Braz Dent J.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [5] M. Hakiem and S. Putra, “Potensi Metode Rainwater Harvesting dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Domestik di SD Negeri 02 Gunung Terang Bandar Lampung ABSTRACT . Potential of the Rainwater Harvesting Method in Fulfilling Domestic Water,” vol. 19, no. April, pp. 1–11, 2023, doi: 10.28932/jts.v19i1.5112.
- [6] Y. Surti, “ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN AIR BERSIH DI DAERAH DURI KAB.ENREKANG,” *Front. Neurosci.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–13, 2021.
- [7] M. S. Pahude, “Analisis Kebutuhan Air Bersih Di Desa Santigi Kecamatan Tolitoli Utara Kabupaten Tolitoli,” *J. Inov. Penelit.*, vol. 03, no. 02, pp. 4801–4810, 2022.
- [8] E. Walujodjati and Hadi Nurhuda, “Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Air,” *J. Konstr.*, vol. 20, no. 1, pp. 183–193, 2022, doi: 10.33364/konstruksi/v.20-1.1053.
- [9] R. Y. Rottie *et al.*, “Pengembangan Sistem Penyediaan Air Bersih,” vol. 3, no. 9, pp. 662–668, 2018.
- [10] R. Kota and P. Tahun, “Analisa Kebutuhan Air Bersih Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah,” vol. 2, 2022.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Dengan Menggunakan Metode *Gap Acceptance* Dalam Upaya Mengatasi Kemacetan

M. Sa'dillah<sup>1</sup>, Andy Kristafi Arifianto<sup>2</sup>, Elias Pradiatmo<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang  
E-mail: muhsad93@gmail.com

**ABSTRAK:** Simpang adalah pertemuan atau percabangan jalan baik sebidang maupun yang tak sebidang. Tujuan dari penelitian ini adalah Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Dengan Menggunakan Metode *Gap Acceptance* Dalam Upaya Mengatasi Kemacetan.” (Studi Kasus: Jalan Raya Bandulan–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan). Metoda yang digunakan adalah dengan melakukan pengumpulan data primer dan data sekunder, survey volume lalu lintas, survey observasi, serta survey hambatan samping. Dari hasil penelitian bahwa arus lalu lintas tertinggi terjadi pada hari Senin pada pukul 15.45-16.45. pada minggu pertama sebesar 9221 kend/jam atau 1566,3 smp/jam dengan kapasitas minggu pertama 2225,94 smp/jam dengan derajat kejenuhan 2,32. sedangkan minggu kedua sebesar 8874 kend/jam atau 5109,6 smp/jam dengan kapasitas minggu pertama 3276,94 smp/jam dengan derajat kejenuhan 1,56. Dari nilai derajat kejenuhan dapat diketahui bahwa kinerja simpang ini tergolong kelas F, Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai gap kritis pada Simpang Tak Bersinyal Jalan Raya Bandulan sebesar 13,5099 detik, pada pagi hari sedangkan nilai gap kritis pada siang hari sebesar 32,055 detik. melebihi nilai yang disyaratkan MKJI 0,75. Penanganan yang sesuai dengan kinerja simpang tersebut dalam menguraikan permasalahan kemacetan, kecelakaan dan kelancaran arus lalu lintas yaitu dengan memasang rambu lalu lintas, larangan angkutan kota untuk menaik dan menurunkan penumpang disimpang dan sekitarnya, larangan parkir ataupun kegiatan komersial yang melebihi bahu jalan dan juga penempatan petugas dari DLLAJ (Dinas Lalu Lintas Angkutan Jalan) terutama pada jam puncak, Pelarangan belok kanan bagi arus kendaraan dari jalan minor (Jalan Bandulan Barat) menuju jalan minor, pemasangan pulau jalan dan pelebaran geometrik dan merubah tipe jalan menjadi 342 U/D.

**Kata kunci :** Derajat Kejenuhan, Tundaan, Gap Kritis

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan akan jasa transportasi tidak diimbangi dengan peningkatan saran dan prasarana transportasi yang memadai, sehingga arus pergerakan yang terjadi tidak terlaksana secara optimal, baik dari segi kualitas maupun segi kuantitas. Hal tersebut terbukti dengan adanya masalah pergerakan lalu lintas. Salah satunya adalah masalah kemacetan pada jalan-jalan tertentu terutama pada jam puncak (*peak hour*). Hal tersebut disebabkan karena jalan-jalan yang ada tidak lagi bisa menampung arus lalu lintas yang ada, serta manajemen lalu lintas yang kurang tepat dan efisien. Peningkatan volume lalu lintas merupakan masalah yang menyebabkan kemacetan suatu ruas jalan khususnya ruas jalan perkotaan (Manual Kapasitas jalan Indonesia, 1997)

Dirjen BM (1997), menyatakan bahwa angka kecelakaan pada simpang tak bersinyal diperkirakan sebesar 0,60 kecelakaan/juta kendaraan. Hal ini banyak terjadi karena kurangnya perhatian pengemudi dalam melintas simpang, seperti tidak mau menunggu celah dan memaksa masuk untuk menempatkan kendaraan pada ruas jalan yang akan dimasukinya [2]

Titik kemacetan yang umum ditemukan adalah permasalahan yang umum terjadi pada persimpangan. Persimpangan adalah simpul dalam jaringan transportasi dimana dua atau lebih ruas jalan bertemu, berpenyar, bersilang, dan berpotongan, termasuk fasilitas jalan dan sisi jalan untuk pergerakan lalu lintas didaerah tersebut. Disini arus lalu lintas mengalami konflik, karena semakin banyak simpang disuatu jaringan jalan, maka semakin besar tundaan yang terjadi. Tundaan merupakan masalah yang sering terjadi di Kota Malang, lebih tepatnya banyak ditemukan pada persimpangan jalan yang tak bersinyal. Sehingga perlu ditunjang dengan pelayanan fasilitas lalu lintas yang memadai, terutama pada persimpangan jalan

yang berpotensi menimbulkan tundaan bila tidak ditangani secara teknis (Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Salah satu lokasi di Kota Malang yang mengalami masalah lalu lintas adalah simpang tak bersinyal Jalan Raya Bandulan–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan. Pada jalan tersebut sering terjadi kepadatan pada jam sibuk. Padatnya arus lalu lintas pada simpang tersebut, disebabkan karena Jalan Raya Bandulan merupakan jalur penghubung antara Kota Malang dengan daerah pariwisata Lembah Indah di kaki Gunung Kawi. Dan juga Jalan Raya Bandulan merupakan jalan penghubung menuju perusahaan PT Gandum dari pusat Kota Malang. Dari pengamatan, kepadatan pada simpang tersebut dipengaruhi oleh geometrik jalan yang kurang lebar dan hambatan samping yang turut menambah permasalahan pada simpang. (Suryamalang.com, 2017). Jalan Raya Bandulan merupakan salah satu jalan di Kota Malang yang sering dilalui berbagai kendaraan besar dan kecil, truk, dan merupakan daerah pergudangan, pusat bisnis, pabrik, dan berbagai usaha lainnya. Dekat dengan berbagai sekolah dan kampus ternama di Kota Malang, pusat kuliner, bisnis, pusat keramaian, tempat ibadah, rumah sakit dan lain-lain (iProperty.com.sg, 2020)

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat disimpulkan identifikasi masalahnya sebagai berikut.

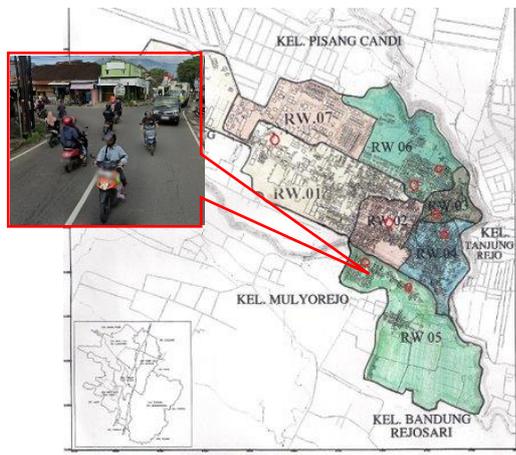
1. Banyaknya arus kendaraan yang melewati simpang tiga tak bersinyal Jalan Raya Bandulan Timur–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan, Malang, Jawa Timur dimana lebar jalan tidak seimbang dengan kapasitas dan lebar jalan.
2. Manajemen lalu lintas yang kurang efisien,
3. Adanya hambatan samping di simpang tiga tak bersinyal Jalan Raya Bandulan Timur–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan, Malang, Jawa Timur, disebabkan karena banyaknya kendaraan umum maupun kendaraan pribadi yang parkir maupun

menaikkan atau menurunkan penumpang sekitaran simpang tersebut.

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, tulisan ini bertujuan: (1) mengetahui eksisting pada simpang tak bersinyal Jalan Raya Bandulan–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan. (2) mengetahui evaluasi kinerja simpang tak bersinyal pada Jalan Raya Bandulan–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan, Malang, Jawa Timur dengan menggunakan metode *gap acceptance*. (3) Mengetahui solusi mengatasi kemacetan simpang tak bersinyal pada Jalan Raya Bandulan–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan, Malang, Jawa Timur.

## 2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian yang direncanakan yakni simpang tiga lengan tak bersinyal dengan arus lalu lintas yang cukup padat, Yaitu persimpangan Jalan Raya Bandulan Timur – Jalan Raya Bandulan – Jalan Raya Bandulan Barat, Kecamatan Sukun, Kota Malang, Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan selama 2 minggu untuk mendapatkan data primer yang akurat sebagai data primer. Lokasi penelitian terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang lebih menekankan pada aspek pengukuran secara objektif terhadap fenomena sosial. Untuk melakukan pengukuran, setiap fenomena sosial dijabarkan dalam beberapa komponen masalah, variabel dan indikator. Penelitian dilakukan di impang tak bersinyal pada Jalan Raya Bandulan–Jalan Raya Bandulan Barat–Jalan Raya Bandulan, Kecamatan Sukun, Kota Malang, Jawa Timur.

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: (1) Kamera video, yang digunakan untuk merekam pergerakan arus lalu lintas (2) meteran, digunakan untuk mengukur lebar badan jalan dan bahu jalan. (3) jam tangan atau *stopwatch*, sebagai penunjuk waktu selama pelaksanaan survey. (4) Alat hitung kendaraan yang pintas atau *hand counter*. (5) Alat tulis dan peralatan tulis lainnya (6) Kamera, sebagai alat dokumentasi.

Metode pengumpulan data penelitian ini yaitu ada 2 (dua) cara yaitu : (1) Data primer, data primer didapat dengan melakukan survey dan pengamatan langsung di lapangan atau tempat/lokasi penelitian. Adapun kegiatan survei lapangan yaitu Observasi lapangan diantaranya

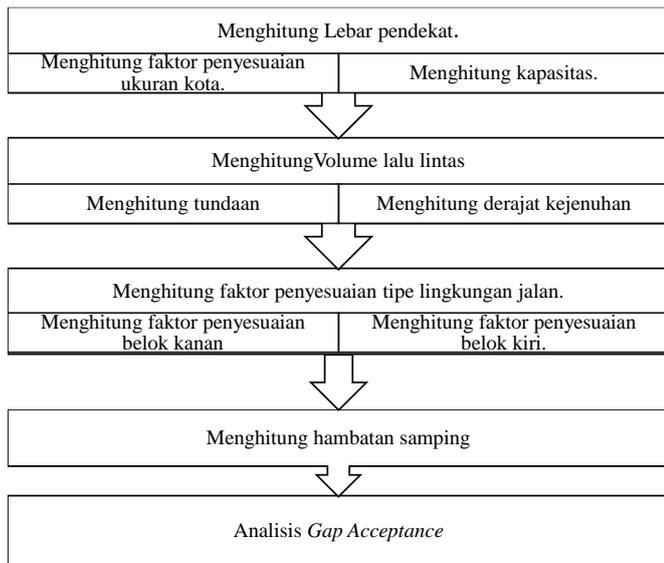
Survey volume lalu lintas dan survey hambatan samping. (2) Data Sekunder , Data sekunder pada penelitian ini adalah data jumlah penduduk Kota Malang dan pertumbuhan kendaraan bermotor Kota Malang.

Survei lalu lintas yang diakibatkan oleh dampak kegiatan masyarakat yang sangat padat, adapun data yang akan dicatat pada survey ini adalah jumlah kendaraan yang masing – masing jenis kendraan (moda transportasi) yaitu bus, truck, kendaraan umum, mobil, sepeda motor, becak. Waktu survey pengukuran akan dilakukan selama 18 jam selama sehari, yaitu mulai dari pukul 06.00 pagi dan selsai pada pukul 22.00 WIB. Survei ini dilakukan pada titik – titik rute yang akan dilalui kendaraan pengangkut penumpang, material, dan pengakutan peralatan lainnya. Titik lokasi survey tersebut dipilih berdasarkan kemudahan surveyor dalam mengamati arus lalu lintas yaitu pada persimpangan jalan.

Analisis perismpangan tanpa sinyal lalu lintas dapat dilakukan dengan menggunakan prosedur yang didasrkan pada *gap acceptance*. Analisis data dapat dilakukan setelah mendapatkan data primer yang meliputi data geometrik, data volume kendaraan dan data *gap* kendaraan. Selanjutnya data diolah berdasarkan metode yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, *gap* kritis yang dihitung hanya dibatasi untuk kendaraan ringan dari arah jalan minor yang nantinya akan bergabung dengan arus kendaraan di jalan utama baik kendaraan tersebut akan berbelok ke kanan maupun berbelok ke kiri. Dikarenakan jumlah kendaraan berat (HV) sedikit dan pola pergerakan sepeda motor (MC) yang tidak teratur.

*Gap* yang diterima adalah selang waktu kendaraan yang melakukan gerakan membelok ke kiri atau ke kanan untuk bergabung ke arus jalan utama sedangkan *gap* yang ditolak adalah selang waktu saat kendaraan yang tidak melakukan gerakan membelok ke kiri atau ke kanan ataupun ke kiri namun terus menunggu hingga tersedia *gap* yang dianggap aman untuk bergabung ke arus jalan utama.

Dalam melakukan suatu penelitian akan dibutuhkan langkah – langkahnya terlebih dahulu untuk mempermudah dalam menganalisis. Dalam penelitian ini perlu direncanakan langkah – langkah yang dilakukan agar penelitian dapat dilakukan secara efektif mengingat waktu dan pelaksanaan sehingga penulis dapat sesuai dengan dasar teori permasalahan dan hasil analisis yang lebih akurat untuk mencapai tujuan penulis. Berikut langkah – langkah dalam penelitian ini sebagai berikut berdasarkan [1] terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Analisa Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan

1. Menghitung volume lalu lintas ( $q$ ), Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik persatuan waktu pada lokasi tertentu. Untuk mengukur jumlah arus lalu lintas, biasanya dinyatakan dalam kendaraan perhari, sampai perjam dan kendaraan permenit [1]
2. Menghitung kapasitas (smp/jam), Kapasitas ( $C$ ) suatu ruas jalan didefinisikan yaitu jumlah arus lalu lintas yang maksimum yang dapat melalui suatu lengan persimpangan dalam kondisi yang tersedia yang dapat dipertahankan. Kondisi lalu lintas yang dimaksud yaitu volume setiap kedatangan kendaraan, distribusi kendaraan berdasarkan pergerakannya (belok kiri, terus dan belok kanan), pergerakan parkir disekitar lengan yang di tinjau.[3]
3. Menghitung derajat kejenuhan ( $DS$ , Derajat kejenuhan atau *degree of saturation* ( $DS$ ) adalah perbandingan dari volume (nilai arus) lalu lintas terhadap kapasitas jalan.
4. Menghitung tingkat pelayanan jalan (ITP), Pertumbuhan lalu lintas terjadi dikarenakan adanya pertumbuhan jumlah penduduk pertahunnya dan banyaknya kepemilikan kendaraan bermotor atau mobil sehingga aktifitas masyarakat sehari – hari yang menggunakan sarana jalan tersebut akan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Indeks ITP dengan lalu lintas tak bersinyal terdapat pada Tabel 1.
5. Menghitung Tundaan Lalu Lintas, Merupakan total waktu hambatan rata – rata yang dialami kendaraan sewaktu melewati suatu simpang. Nilai tundaan

mempengaruhi nilai waktu tempu kendaraan. Semakin tinggi nilai tundaan, semakin tinggi pula waktu tempuh.

Tabel 1 Indeks Tingkat Pelayanan (ITP) Lalu Lintas Tak Bersinyal

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/ smp)	Keterangan
A	< 5	Baik sekali
B	5,1 – 15	Baik
C	15,1 – 25	Sedang
D	25,1 – 40	Kurang
E	40,1 – 60	Buruk
F	>60	Buruk sekali

Sumber: MKJI 1997

Analisis persimpangan tanpa sinyal lalu lintas dapat dilakukan dengan menggunakan prosedur yang didasarkan pada *gap acceptance* oleh pergerakan lalu lintas dari jalan samping yang dikontrol dengan rambu *STOP* atau *YIELD*, atau lalu lintas belok kiri dari jalan utama [4]. [4] mendefinisikan *gap* sebagai waktu antara lintasan suatu kendaraan dan kedatangan kendaraan berikutnya. [5] mendefinisikan *gap* sebagai interval waktu antara dua kendaraan yang berurutan pada arus jalan utama yang dievaluasi oleh pengemudi kendaraan di arus jalan minor untuk melakukan manuver *crossing* atau *me*.

Analisis data dapat dilakukan setelah mendapatkan data primer yang meliputi data geometrik, data volume kendaraan dan data *gap* kendaraan. Selanjutnya data diolah berdasarkan metode yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, *gap* kritis yang dihitung hanya dibatasi untuk kendaraan ringan dari arah jalan minor yang nantinya akan bergabung dengan arus kendaraan di jalan utama baik kendaraan tersebut akan berbelok ke kanan maupun berbelok ke kiri. Dikarenakan jumlah kendaraan berat (HV) sedikit dan pola pergerakan sepeda motor (MC) yang tidak teratur.

*Gap* yang diterima adalah selang waktu kendaraan yang melakukan gerakan membelok ke kiri atau ke kanan untuk bergabung ke arus jalan utama sedangkan *gap* yang ditolak adalah selang waktu saat kendaraan yang tidak melakukan gerakan membelok ke kiri atau ke kanan ataupun ke kiri namun terus menunggu hingga tersedia *gap* yang dianggap aman untuk bergabung ke arus jalan utama.

Data *gap* yang telah dicatat kemudian dipisahkan antara *gap* yang ditolak dan *gap* yang diterima oleh pengemudi. Sesudah itu data lalu dianalisa menggunakan model deterministik (metode *Raff*, metode *Greenshields*, dan metode *Acceptance Curve*). Metode ini dipilih berdasarkan pertimbangan hasil kajian yang telah pernah dilakukan yang menyimpulkan bahwa ketiga metode ini sangat sesuai dipakai untuk menentukan *gap* kritis persimpangan tanpa sinyal/lampu lalu lintas.

Untuk menentukan *gap acceptance* ada beberapa yang perlu menjadi pertimbangan, yaitu *headway* dan *lag* dalam penentuan *gap* kritis. Dalam menentukan *gap* kritis itu sendiri diperlukan data jumlah *gap/lag* yang diterima dan data jumlah *gap/lag* yang ditolak. *Gap* diterima dan ditolak ini sendiri muncul dikarenakan reaksi pengemudi yang bervariasi. Pengemudi dengan kecepatan rendah akan menolak beberapa *gap* sebelum menerima suatu celah (*gap*), dan pengemudi dengan kecepatan yang tinggi mempunyai kecenderungan menolak *gap* lebih sedikit sebelum menerima celah (*gap*) yang dianggap aman.

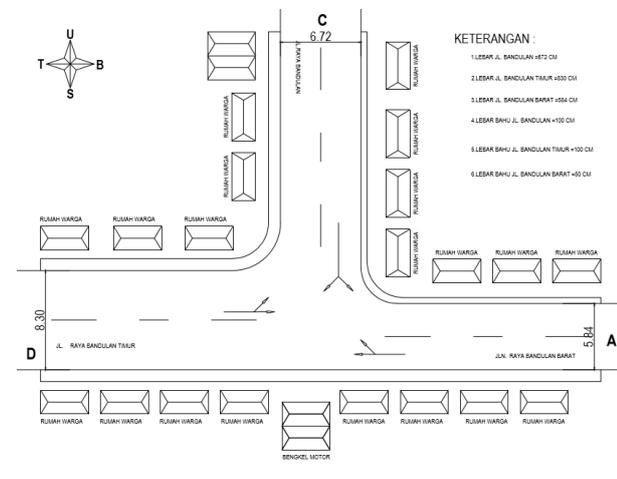
Pengamatan terhadap gap dengan memperhatikan perbedaan perilaku pengemudi akan menghasilkan suatu data yang bias. Untuk menghindari kondisi tersebut, data yang digunakan hanya terjadi pada kesempatan yang pertama, yaitu merupakan keputusan yang diambil pengemudi di jalan minor ketika akan memasuki jalan mayor. [6].

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan pada ruas jalan Raya Bandulan – Jalan Raya Bandulan Timur – Jalan Raya Bandulan Barat Kelurahan Bandulan, Kecamatan Sukun, Kota Malang, Jawa Timur. Survey lalu lintas dilakukan selama 14 hari (2 minggu) yang berlangsung selama 18 jam per hari. Berdasarkan klasifikasi kendaraan pada saat survey terdapat 8 jenis kendaraan, dan kemudian dikonversikan lagi menjadi empat (4) kelompok kendaraan diantaranya *Motor Cycle (MC)*, *Light Vehicle (LV)*, *Medium Heave (MH)* dan *Un Motorized (UM)*. Hasil pengukuran geometrik jalan dapat dilihat pada Tabel 2 Gambar 3 dan Gambar 4

**Tabel 2 Data Geometrik**

Nama jalan	Klasifikasi	Tipe	Ukuran	
			Lebar (m)	Lebar Bahu (m)
Jl. Raya Bandulan	Kolektor	2/2 UD	6,72	1
Jl. Raya Bandulan Timur	Kolektor	2/2 UD	8,30	1
Jl. Raya Bandulan Barat	Kolektor	2/2 UD	5,84	0,5



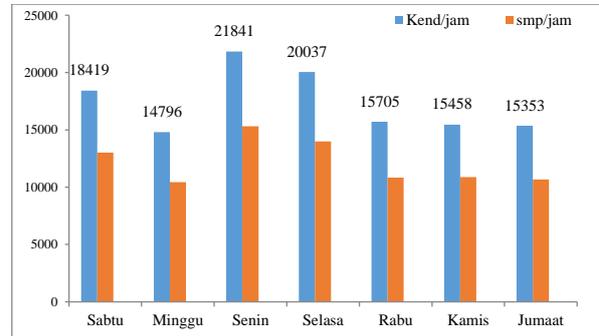
Gambar 3 Lokasi penelitian



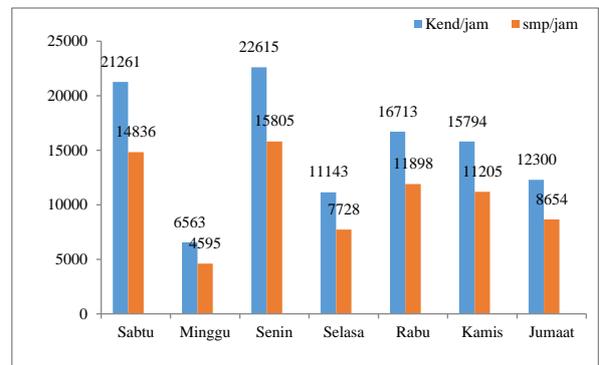
Gambar 4 Situasi Pada Lokasi Penelitian

Untuk mendapatkan volume jam puncak dalam satuan mobil penumpang (smp), diperlukan faktor konversi dari berbagai macam kendaraan menjadi ekuivalen mobil penumpang (emp). Dari penelitian yang dilakukan selama

14 hari maka diperoleh jam puncak dalam setiap harinya. Penelitian yang dilakukan selama 14 hari (2 minggu) dimana dalam satu hari dilakukan selama 18 jam. Berikut ini data hasil survey volume lalu lintas jam puncak selama 14 hari yang dimulai dari tanggal 24 April 2021 – 8 Mei 2021:



Gambar 5 Volume Lalu Lintas Jam Puncak Minggu Ke – 1



Gambar 6 Volume Lalu Lintas Jam Puncak Minggu Ke – 2

Dari Tabel 3 volume jam puncak pada minggu ke – 1, dapat dilihat bahwa volume kendaraan yang melintas pada persimpangan Jl. Raya Bandulan – Jl Raya Bandulan Timur – Jl.Raya Bandulan Barat, sejak hari Sabtu, 24 April 2021 sampai dengan Hari Jumat, 30 April 2021,diperoleh arus lalu lintas harian dengan volume tertinggi terjadi pada hari Senin, 26 April 2021.

**Tabel 3 Volume Jam Puncak Minggu Ke-1**

Jl. Raya Bandulan					
Waktu	Kelas				Jumlah
	MC	LV	HV	UM	
15.45 – 16.00	806	81	17	0	904
16.00 – 16.15	754	76	31	2	863
16.15 – 16.30	908	98	16	1	1013
16.30 – 16.45	828	96	16	2	942
<b>Total</b>					<b>3722</b>
Jl. Raya Bandulan Timur					
15.45– 16.00	641	94	8	3	746
16.00 – 16.15	724	84	13	3	824
16.15 – 16.30	720	84	11	1	816
16.30 – 16.45	625	80	11	2	718
<b>Total</b>					<b>3104</b>
Jl. Raya Bandulan Barat					
15.45 – 16.00	444	49	10	1	504
16.00 – 16.15	609	42	3	2	656
16.15 – 16.30	547	49	3	0	599
16.30 – 16.45	591	45	5	1	642
<b>Total</b>					<b>2401</b>
<b>Total Ke-3 Simpang</b>					<b>9227</b>

Dari Tabel 4 volume jam puncak pada minggu ke – 2, dapat dilihat bahwa volume kendaraan yang melintas pada persimpangan Jl. Raya Bandulan – Jl Raya Bandulan Timur – Jl.Raya Bandulan Barat, sejak hari Sabtu, 1 Mei 2021 sampai dengan Hari Jumat, 7 Mei 2021,diperoleh arus lalu lintas harian dengan volume tertinggi terjadi pada hari Senin, 3 Mei 2021.

**Tabel 4 Volume Jam Puncak Minggu Ke-2**

Jl. Raya Bandulan					
Waktu	Kelas				Jumlah
	MC	LV	HV	UM	
15.45– 16.00	806	81	17	0	904
16.00 – 16.15	754	76	31	2	863
16.15 – 16.30	908	98	16	1	1013
16.30 – 16.45	828	96	16	2	942
<b>Total</b>					<b>3722</b>
Jl. Raya Bandulan Timur					
15.45– 16.00	641	94	8	3	746
16.00 – 16.15	724	84	13	3	824
16.15 – 16.30	720	84	11	1	816
16.30 – 16.45	625	80	11	2	718
<b>Total</b>					<b>3104</b>
Jl. Raya Bandulan Barat					
15.45– 16.00	444	49	10	1	504
16.00 – 16.15	609	42	3	2	656
16.15 – 16.30	547	49	3	0	599
16.30 – 16.45	591	45	5	1	642
<b>Total</b>					<b>2401</b>
<b>Total Ke-3 Simpang</b>					<b>9227</b>

**Tabel 5 Formulir USIG – II Simpang (Minggu Pertama, Senin, 26 April 2021)**

Faktor Penyesuaian		Kapasitas (F)						
Kapasitas dasar C0 simp/jam	Lebar Pendekat Rata-rata Fw Gbr. B-3:1	Median Jalan Utama Fm Gbr. B-3:1	Ukuran Kota Fcs Tbl. B-5:1	Hambatan Samping Ffsu Tbl. B-6:1	Belok Kiri Fkt Gbr. B-7:1	Belok Kanan Fkr Gbr. B-8:1	Rasio Minor / Total Fmi Gbr. B-9:1	Kapasitas C1 simp/jam
20	21	22	23	24	25	26	27	27
2700	0.99	1.00	1.00	0.97	1.42	0.66	0.92	263.38
Nilai Arus Lalu Lintas (Q) simp/jam USIG - 1	Derajat Kejenuhan (DS)	Tundaan Lalu Lintas Simpang (DTI)	Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama DTMA	Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor DTMI	Tundaan Geometrik Simpang (DG)	Tundaan simpang (D)	Peluang Antrian (QP%)	Sasaran
30	31	32	33	34	35	36	37	38
5166.3	2.3	37.47	25.38	73	4	41.47	705.46	263.38

**Tabel 6 Formulir USIG – II Simpang (Minggu Kedua, 3 Mei 2021)**

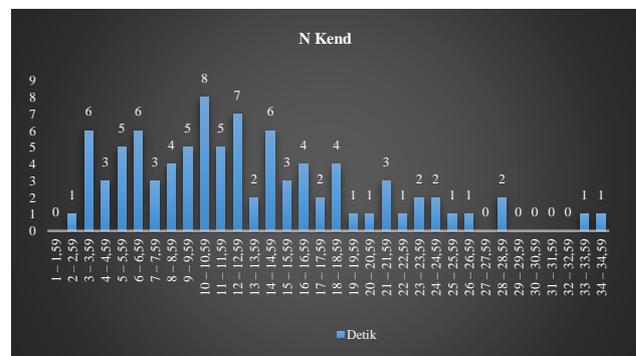
Faktor Penyesuaian		Kapasitas (F)						
Kapasitas dasar C0 simp/jam	Lebar Pendekat Rata-rata Fw Gbr. B-3:1	Median Jalan Utama Fm Gbr. B-3:1	Ukuran Kota Fcs Tbl. B-5:1	Hambatan Samping Ffsu Tbl. B-6:1	Belok Kiri Fkt Gbr. B-7:1	Belok Kanan Fkr Gbr. B-8:1	Rasio Minor / Total Fmi Gbr. B-9:1	Kapasitas C1 simp/jam
20	21	22	23	24	25	26	27	28
2700	0.99	1.00	1.00	0.98	1.48	0.69	1.23	3276.94
Nilai Arus Lalu Lintas (Q) simp/jam USIG - 1	Derajat Kejenuhan (DS)	Tundaan Lalu Lintas Simpang (DTI)	Tundaan Lalu Lintas Jalan Utama DTMA	Tundaan Lalu Lintas Jalan Minor DTMI	Tundaan Geometrik Simpang (DG)	Tundaan simpang (D)	Peluang Antrian (QP%)	Sasaran
30	31	32	33	34	35	36	37	38
5109.6	1.56	24.52	16.46	53.32	4.00	28.52	228.47	104.06

Data Volume Lalu Lintas Dalam Kajian *gap acceptance*, kondisi kapasitas penyerapan (*absorption capacity*) yang paling ideal adalah saat volume lalu lintas pada simpang mencapai puncak. Pada survey *gap acceptance* ini data kendaraan dikelompokkan berdasarkan jenis kendaraan dominan yang terdapat pada lokasi penelitian, yaitu: kendaraan ringan (*light vehicle*). Volume kendaraan dihitung pada jam sibuk yang dibagi tiap 15 menit. Dari hasil pengamatan yang dilakukan diperoleh hasil volume maksimum menurut hari pada jam sibuk tiap 15 menit dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Keadaan arus kendaraan yang hendak memutar terbagi menjadi dua yaitu jenuh dan tidak jenuh. Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan [7] untuk mencari waktu gap kritis digunakan metode dengan mencari nilai rata-rata dari gap yang diperoleh dari pengamatan dilokasi penelitian. Metode tersebut juga digunakan untuk mencari nilai waktu *follow up*. Data yang dapat digunakan pada metode ini terbatas pada kondisi tertentu. Tidak semua data gap dapat digunakan. Data yang memenuhi syarat untuk perhitungan adalah gap yang hanya satu kendaraan memutar saja. Dan data gap yang masuk perhitungan harus mengikuti distribusi lognormal karena distribusi dirasa telah memenuhi untuk menentukan nilai gap kritis seperti dalam penelitian [8]

**Tabel 7 Frekuensi gap pagi (07.00 – 08.30)**

No	Waktu Gap (s)	N Kend	No	Waktu Gap (s)	N Kend
1	1 – 1,59	0	18	18 – 18,59	2
2	2 – 2,59	1	19	19 – 19,59	4
3	3 – 3,59	6	20	20 – 20,59	1
4	4 – 4,59	3	21	21 – 21,59	3
5	5 – 5,59	5	22	22 – 22,59	1
6	6 – 6,59	6	23	23 – 23,59	2
7	7 – 7,59	3	24	24 – 24,59	2
8	8 – 8,59	4	25	25 – 25,59	1
9	9 – 9,59	5	26	26 – 26,59	1
10	10 – 10,59	8	27	27 – 27,59	0
11	11 – 11,59	5	28	28 – 28,59	2
12	12 – 12,59	7	29	29 – 29,59	0
13	13 – 13,59	2	30	30 – 30,59	0
14	14 – 14,59	6	31	31 – 31,59	0
15	15 – 15,59	3	32	32 – 32,59	0
16	16 – 16,59	6	33	33 – 33,59	1
17	17 – 17,59	4	34	34 – 34,59	1



Gambar 7 Frekuensi Gap Pagi (07.00 – 08.30)

Dari grafik menunjukkan nilai gap yang terjadi pada pagi hari dominan terjadi pada 3 sampai 18 detik. Terjadi pula kejadian gap hingga 34 detik. Dari seluruh data diatas, tidak seluruhnya digunakan untuk mencari nilai rata-rata gap untuk menentukan nilai gap kritis. Untuk itu data gap yang dimasukan dalam perhitungan diputuskan mulai dari 2 sampai 34 detik.

Data yang dipakai untuk mencari rata-rata mulai dari 2 sampai 34 detik. Dari tabel tersebut dimulai dari data nomor 1 sampai 101. Untuk mencari nilai rata-rata digunakan rumus:

$$\bar{X} = \frac{\sum(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n}$$

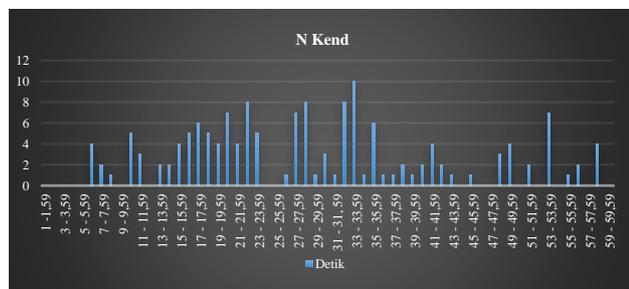
Dimana,  $\bar{X}$  = rata – rata data,  $x_n$  = data ke – n, n = banyak data. Berdasarkan rumus diatas maka nilai rata-rata gap dipagi hari diperoleh

$$\bar{X} = \frac{\sum(X_1+X_2+\dots+X_{101})}{101} = \frac{1364,5}{101} = 13,5099 \text{ detik.}$$

Hasil rata – rata data tersebut diperoleh = 13,5099 detik. Maka nilai gap kritis untuk pagi hari adalah **13,5099** detik.

**Tabel 8 Frekuensi gap siang (15.45 – 17.30)**

No	Waktu Gap (S)	N Kend	No	Waktu Gap (S)	N Kend
1	1 - 1,59	0	31	31 - 31,59	1
2	2 - 2,59	0	32	32 - 32,59	8
3	3 - 3,59	0	33	33 - 33,59	10
4	4 - 4,59	0	34	34 - 34,59	1
5	5 - 5,59	0	35	35 - 35,59	6
6	6 - 6,59	4	36	36 - 36,59	1
7	7 - 7,59	2	37	37 - 37,59	1
8	8 - 8,59	1	38	38 - 38,59	2
9	9 - 9,59	0	39	39 - 39,59	1
10	10 - 10,59	5	40	40 - 40,59	2
11	11 - 11,59	3	41	41 - 41,59	4
12	12 - 12,59	0	42	42 - 42,59	2
13	13 - 13,59	2	43	43 - 43,59	1
14	14 - 24,59	2	44	44 - 44,59	0
15	15 - 15,59	4	45	45 - 45,59	1
16	16 - 16,59	5	46	46 - 46,59	0
17	17 - 17,59	6	47	47 - 47,59	0
18	18 - 18,59	5	48	48 - 48,59	3
19	19 - 19,59	4	49	49 - 49,59	4
20	20 - 20,59	7	50	50 - 50,59	0
21	21 - 59	4	51	51 - 51,59	0
22	22 - 22,59	8	52	52 - 52,59	0
23	23 - 23,59	5	53	53 - 53,59	7
24	24 - 24,59	0	54	54 - 54,59	0
25	25 - 25,59	0	55	55 - 55,59	0
26	26 - 26,59	1	56	56 - 56,59	2
27	27 - 27,59	7	57	57 - 57,59	0
28	28 - 28,59	8	58	58 - 58,59	4
29	29 - 29,59	0	59	59 - 59,59	0
30	30 - 30,59	3			



**Gambar 8 Frekuensi Gap Siang (15.45 – 17.30)**

Dari Gambar 8 grafik dan Tabel 8 menunjukkan nilai gap yang terjadi pada pagi hari dominan terjadi pada 6 sampai 58 detik. Terjadi pula kejadian gap hingga 87 detik. Dari seluruh data diatas, tidak seluruhnya digunakan untuk mencari nilai rata- rata gap untuk menentukan nilai gap kritis. Untuk itu data gap yang dimasukkan dalam perhitungan diputuskan mulai dari 6 sampai 58 detik.

Data yang dipakai untuk mencari rata-rata mulai dari 6 sampai 59 detik. Dari tabel tersebut dimulai dari data nomor 1 sampai 172. Untuk mencari nilai rata-rata digunakan rumus:

$$\bar{X} = \frac{\sum(X_1+X_2+\dots+X_n)}{n}$$

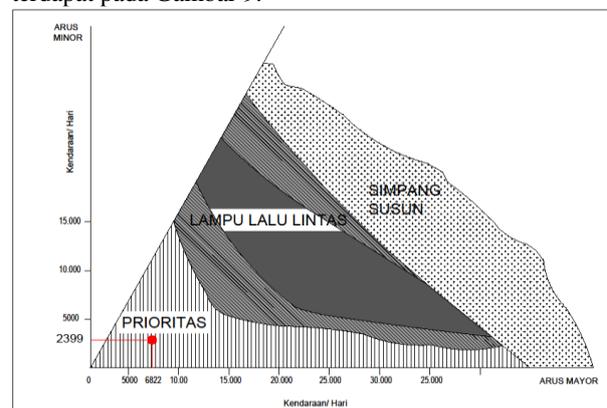
Dimana,  $\bar{X}$  = rata – rata data,  $x_n$  = data ke – n, n = banyak data. Berdasarkan rumus diatas maka nilai rata-rata gap disiang hari diperoleh

$$\bar{X} = \frac{\sum(X_1+X_2+\dots+X_{101})}{101} = \frac{5513,5}{172} = 32,055 \text{ detik.}$$

Hasil rata – rata data tersebut diperoleh = 32,055 detik. Maka nilai gap kritis untuk pagi hari adalah **32,055** detik

Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahwa Kinerja kedua simpang tak bersinyal pada tahun 2021 di Simpang Tak Bersinyal Jl. Raya Bandulan, Kota Malang, sudah sangat buruk. Hal ini terlihat dari nilai derajat kejenuhan melebihi 1. Tundaannya relatif tinggi dan peluang terjadinya antrian sangat besar sehingga menimbulkan ketidaknyamanan dan kemacetan lalu lintas. Dan juga Nilai gap kritis di simpang Bandulan A (pendekat Barat) adalah 13,5099 detik pada pagi hari sedangkan nilai gap kritis pada siang hari yaitu: 32,055 detik , Hal ini mengindikasikan perilaku pengemudi **menunggu** celah ketika memasuki simpang tak bersinyal.

Berdasarkan data hasil perhitungan volume arus lalu lintas pada Simpang Tiga Bandulan dimana jumlah arus kendaraan pada minggu pertama dari jalan minor yang memasuki simpang yaitu 2399 kend/jam, dan arus kendaraan dari jalan mayor yang memasuki simpang sebesar 6522 kend/jam dengan kapasitas 2225,94 smp/jam. Untuk derajat kejenuhan diperoleh 2,3 yang sudah melewati batas persyaratan yang telah ditentukan yaitu < 0,85. Menurut (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015.) apabila pada suatu simpang tidak memenuhi syarat maka dibutuhkan solusi untuk mengatasi kemacetan yang terjadi pada persimpangan. Solusi yang ditawarkan penulis berdasarkan jumlah arus kendaraan per jam merupakan solusi **prioritas**. Grafik solusi prioritas simpang bandulan terdapat pada Gambar 9.



**Gambar 9 Grafik Solusi Prioritas Simpang Bandulan**

Pembebanan lalu lintas terhadap kinerja jaringan jalan sesuai kondisi eksisting, tanpa melakukan perbaikan. Menunjukkan indikator kinerja jaringan jalan yang dihasilkan akibat pembebanan pada jaringan jalan dalam kondisi *Do Nothing*. Kondisi *Do Nothing* Simpang tiga Tak Bersinyal Jalan raya Bandulan dapat dilihat pada derajat kejenuhan dan tingkat pelayanan F (Sangat – Sangat Rendah).

Dari proses pembebanan lalu lintas dan pemodelan lalu lintas sesuai dengan alternatif manajemen lalu lintas maka dapat diperoleh hasil dari beberapa indikator kinerja jaringan jalan. Untuk mencari solusi alternatif terbaik mencegah terjadinya kemacetan di Simpang Tiga Tak Bersinyal Bandulan, maka dari itu perlu dilakukan analisa perbandingan kinerja jaringan jalan pada kondisi *Do Nothing* dan *Do Something* sesuai dengan solusi **prioritas**.

Ada beberapa indikator yang perlu ditinjau karena termasuk indikator utama dan menunjukkan perubahan yang signifikan. Alternatif solusi jalan simpang Bandulan terdapat pada Tabel 9.

**Tabel 9 Alternatif solusi kapasitas jalan simpang Bandulan**

No	Nama Jalan	Kapasitas (C)	Arus Lalu Lintas	Derajat Kejenuhan	Peluang Antrian
		Smp/jam	(Q) smp/jam	(DS)	(QP)
1.	Simpang Tiga Bandulan (DS 1)	5038,07	5166,3	1,03	42,29% - 88,09%
2.	Simpang Tiga Bandulan (DS 2)	2913,87	5166,3	1,77	139,40% - 334,38%
3.	Simpang Tiga Bandulan (DS 1+ D3)	6891,96	5166,3	0,75	26,45% - 55,12%

Berdasarkan Tabel 9 data hasil perhitungan solusi kapasitas simpang tiga Bandulan, solusi DS 1 memiliki kapasitas 5038,07 smp/jam dengan derajat kejenuhan 1,03, solusi DS 2 memiliki kapasitas 2913,87 smp/jam dengan derajat kejenuhan 1,77 . Kedua solusi tersebut masih dalam tingkat pelayanan **F** (keadaan arus bertahan atau terjadi antrian yang panjang dengan kapasitas rendah volume ada dibawah kapasitas dan membentuk rentetan kendaraan, sering terjadi kemacetan dalam waktu cukup lama, dalam keadaan ekstrim kecepatan dan volume dapat turun menjadi nol). Sedangkan solusi DS 3 memiliki kapasitas 6891,96 smp/jam dengan derajat kejenuhan 0,75 dan termasuk tingkat pelayanan **C** keadaan arus mulai stabil, kecepatan dan pergerakan lebih ditentukan oleh volume yang tinggi sehingga pemilihan kecepatan sudah terbatas dalam batas-batas kecepatan jalan yang masih cukup memuaskan. Biasanya digunakan untuk ketentuan perencanaan jalan.

**4. KESIMPULAN**

Dari hasil analisa kondisi eksisting pada simpang diketahui besarnya nilai volume kendaraan pada minggu pertama 5166,3 smp/jam, dan pada minggu kedua sebesar 5109,6 smp/jam. Nilai derajat kejenuhan (DS) yang diperoleh berdasarkan analisis kinerja lalu lintas diatas

untuk minggu pertama dan kedua pada tahun 2021 adalah sebesar 2,32 dan 1,56 > 1,00, masuk dalam kriteria tingkat pelayanan **F**.

Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai gap kritis pada Simpang Tak Bersinyal Jalan Raya Bandulan sebesar 13,5099 detik, pada pagi hari sedangkan nilai gap kritis pada siang hari sebesar 32,055 detik. Model alternatif kondisi terbaik pada penelitian ini yaitu:

(1) Menerapkan larangan angkutan kota untuk berhenti menaikan dan menurunkan penumpang disimpang Bandulan dan sekitarnya. (2) Pelarangan belok kanan bagi semua arus kendaraan dari semua pendekat, (3) Pemasangan pulau jalan, (4) Penggabungan solusi 2, pelebaran geometrik, dan perubahan tipe jalan

**5. DAFTAR PUSTAKA**

[1] Direktorat Jenderal Bina Marga, “Mkji 1997,” *departemen pekerjaan umum, “Manual Kapasitas Jalan Indonesia.”* pp. 1–573, 1997.  
 [2] S. V. P. Gloria Michela Maengkom, James A. Timboeleng, “Analisa Kinerja Simpang Tak Bersinyal Dengan Analisa Gap Acceptance Dan MKJI 1997,” *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 2, pp. 51–66, 2018.  
 [3] M. Sa’dillah and R. A. Primasworo, “Kinerja Simpang Bersinyal Ruas Jalan Semeru – Kahuripan – Basuki Rahmat setelah Pembangunan Whiz Prime Hotel Malang,” *J. Fondasi*, vol. 9, no. 2, p. 103, 2020, doi: 10.36055/jft.v9i2.8467.  
 [4] R. L. Gordon and W. Tighe, *Traffic Control System Handbook*, no. October. 2005.  
 [5] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*. 2010.  
 [6] G. Headway and J. Ruang, “Gap analysis Diagram Waktu – Jarak ( Time-space diagram ) dan Gap Critical gap,” pp. 1–6, 2016.  
 [7] M. S. O. Sinaga, “Daftar pustaka,” *Anal. KAPSITAS BUKAAN Median (U - TURN) (Srudi Kasus Jl. A.H. Nasution depan Trigunadharma*, vol. 9, no. 110, pp. 1601–1612, 2016.  
 [8] V. K. Sharma, S. Mondal, and A. Gupta, “A Comparison of Critical Gap of U Turning Vehicles at Uncontrolled Median Opening Based on Different Methods,” 2017.  
 [9] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015, “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas\_524053.pdf.”

Halaman ini sengaja dikosongkan

# Efisiensi Pekerjaan Bekisting Konvensional dan Semi Sistem pada Kolom Bangunan Bertingkat di Madura

Risya Afifah Rahadatul Ais'y<sup>1</sup>, Putri Regilia Silviana<sup>1</sup>,  
Himatul Farichah<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "VETERAN" Jawa Timur, Surabaya  
E-mail: [himatul\\_farichah.ts@upnjatim.ac.id](mailto:himatul_farichah.ts@upnjatim.ac.id)

**ABSTRAK:** Perkembangan teknologi di bidang konstruksi pada Indonesia saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satu contoh aplikasi teknologi pada proses konstruksi yaitu cetakan beton atau bisa disebut dengan bekisting. Pada proyek bangunan bertingkat pemilihan bekisting merupakan salah satu keputusan yang sangat penting karena dapat mempengaruhi waktu pekerjaan, kualitas konstruksi, dan biaya. Metode yang digunakan peneliti adalah pengumpulan data. Data yang didapat yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa membaca buku, jurnal, dan gambar rencana proyek. Sedangkan, data primer berupa observasi dan wawancara. Analisis yang akan dibahas yaitu perbandingan penggunaan bekisting semi sistem dan bekisting konvensional ditinjau dari segi volume, waktu, dan produktivitas pekerja. Hasil perhitungan yang didapat pada Analisis volume pekerjaan bekisting didapatkan kebutuhan volume bekisting konvensional yaitu 336 m<sup>2</sup>, dan kebutuhan volume bekisting semi-sistem yaitu 144 m<sup>2</sup>. Pada Analisis durasi total untuk pekerjaan bekisting kolom semi-sistem 7 hari dan bekisting konvensional 9 hari. Pada Analisis koefisien yang diperoleh pada pekerjaan bekisting kolom semi-sistem untuk tukang sebesar 0,013 dan pekerja 0,0065. Bekisting konvensional untuk tukang sebesar 0,0186 dan pekerja 0,0186. Sehingga, penggunaan bekisting kolom semi-sistem lebih efektif dan efisien digunakan daripada bekisting kolom konvensional.

**Kata Kunci:** Bekisting, Konvensional, Semi-Sistem

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia saat ini memiliki 3 jenis bekisting yaitu bekisting semi sistem, konvensional, dan sistem. Bekisting konvensional merupakan bekisting yang setelah dilepas serta dibongkar akan menjadi bagian - bagian terpisah, dan dapat disusun kembali menjadi bentuk awal atau bentuk yang lain [1]. Bekisting semi sistem merupakan bekisting yang dibuat menjadi sebuah bentuk yang diinginkan dan dapat digunakan berulang kali pada bentuk yang sama [1]. Bekisting sistem sering disebut juga dengan bekisting PERI, bekisting ini terbuat dari material baja sehingga bisa digunakan berulang kali [2].

Dalam proyek konstruksi, penggunaan bekisting harus memenuhi syarat kekuatan, kekakuan dan stabilitas. Syarat ini harus dipenuhi karena bekisting merupakan pekerjaan yang dilakukan secara berulang - ulang pada bangunan gedung bertingkat dan memerlukan biaya yang besar dalam proses pembuatannya. Bekisting yang digunakan harus memiliki kualitas yang tepat dan layak serta sesuai perencanaan. Selain itu, penggunaan bekisting juga memerlukan banyak pertimbangan agar metode yang digunakan lebih efektif dan efisien. Penggunaan alat dan material pada pekerjaan bekisting biasanya mengalami banyak pengulangan pemakaian. Akibat dari proses pengulangan penggunaan material yaitu adanya sisa material khususnya material kayu, hollow, dan plywood yang memang menjadi material dasar dari pekerjaan bekisting. Hal ini akan menjadi masalah yang serius yang dapat menimbulkan kerugian. Oleh karena itu, diperlukan adanya perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan yang baik serta metode yang memadai supaya dapat menghindari hal ini.

Penelitian mengenai perbandingan berbagai macam bekisting sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Diantaranya adalah penelitian terkait perbandingan penggunaan bekisting konvensional, semi - sistem dan sistem ditinjau dari aspek biaya dan waktu pelaksanaan.

Dari hasil analisis dapat disimpulkan dari segi biaya menggunakan bekisting sistem lebih mahal, tetapi dari segi waktu pelaksanaan lebih cepat [3]. Penelitian lainnya mengenai perbandingan penggunaan bekisting sistem dan semi - sistem ditinjau dari aspek biaya dan waktu pelaksanaan. Dari hasil analisis dapat disimpulkan dari segi biaya menggunakan bekisting sistem lebih mahal dibandingkan dengan bekisting semi - sistem, tetapi dari segi waktu bekisting sistem lebih cepat [4]. Penelitian lainnya mengenai tentang analisa perbandingan penggunaan bekisting aluminium, konvensional, semi konvensional dan sistem dan didapatkan kesimpulan bahwa bekisting aluminium cocok digunakan untuk pembangunan high rise building dengan lantai tipikal dan biaya yang dibutuhkan lebih sedikit dari bekisting lainnya. Serta, bekisting aluminium dapat dikerjakan secara bersamaan untuk pekerjaan kolom, balok, dan plat [5].

Pada proyek bangunan bertingkat di Madura terbagi menjadi berbagai area dan menggunakan dua metode bekisting pada kolom yaitu bekisting semi sistem dan bekisting konvensional. Dikarenakan, salah satu area terdapat banyak kolom dan membutuhkan waktu yang cepat.

Dengan adanya hal ini, maka penelitian ini akan mengkaji penggunaan bekisting semi sistem dan bekisting konvensional ditinjau dari segi volume, waktu, dan produktivitas pekerja. Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah memberi perbandingan bekisting manakah yang paling efektif dan efisien dari segi volume, waktu, dan produktivitas pekerja pada pelaksanaan sebuah proyek konstruksi gedung bertingkat.

Kolom merupakan salah satu bagian dari struktur bangunan yang memiliki peran penting dalam sistem struktur gedung bertingkat. Apabila ada kegagalan pada kolom maka akan menyebabkan keruntuhan komponen struktur lain, atau bahkan dapat terjadi keruntuhan

keseluruhan bangunan. Kolom juga berfungsi sebagai meneruskan beban - beban elevasi atas ke elevasi bawah hingga pondasi [6].

Bekisting merupakan salah satu alat pembantu konstruksi untuk membuat cetakan beton pada struktur bangunan sesuai bentuk yang diinginkan. Karena memiliki sifat sementara bekisting akan dilepas dan dibongkar setelah melewati waktu tertentu dan dapat menanggung beban sendiri [7].

Menurut fungsinya bekisting dapat dibedakan menjadi beberapa macam yaitu bekisting untuk beton dan beton bertulang yang dapat menampung , membentuk beton di tempatnya. Serta, perancah yang dapat menyangga bekisting yang berisi beton basah hingga menjadi beton kering [8].

Material bekisting dapat dikatakan layak digunakan apabila memenuhi beberapa persyaratan, antara lain tidak bocor dan dapat menyerap air dalam campuran beton, kekuatan dan dimensi harus diperhatikan supaya hasilnya sesuai dengan perencanaan, penyetakan dan pembongkaran bekisting dapat dilakukan dengan mudah. Kebersihan dalam bekisting harus diperiksa sebelum penuangan beton [8].

Bekisting sering disebut juga dengan acuan dan perancah. Acuan dalam konstruksi bekisting memiliki fungsi sebagai pembuat cetakan beton sesuai yang diinginkan. Acuan di bidang konstruksi mempunyai 2 macam yaitu acuan tetap dan tidak tetap. Acuan tetap merupakan acuan yang dibuat dan tidak dibongkar lagi, serta tidak mengurangi kekuatan sehingga tidak mempengaruhi konstruksi bangunan. Sedangkan, acuan tidak tetap merupakan acuan yang dibuat dan akan dibongkar lagi pada saat beton sudah cukup kuat menopang bebannya [9].

Pekerjaan bekisting sebagai penunjang pekerjaan struktur beton mempunyai tiga fungsi yaitu:

1. Bekisting harus mampu menyerap dengan aman beban yang disebabkan oleh spesi beton dan beban dari luar serta getaran.
2. Bekisting sebagai penentu bentuk dari konstruksi beton yang akan dirancang.
3. Secara sederhana bekisting mengalami pemasangan, pelepasan, dan pemindahan. Pekerjaan bekisting merupakan pekerjaan yang penting dalam struktur beton yang harus dipersiapkan secara matang supaya pekerjaan struktur beton dapat dilaksanakan dengan baik dan dapat menghasilkan beton sesuai keinginan. Oleh sebab itu, ada beberapa syarat dalam pekerjaan bekisting yang harus dipenuhi:
  1. *Quality*, bekisting harus direncanakan dan dipasang yang akurat dengan ukuran, bentuk, dan posisi seperti yang diinginkan. Serta, dapat menghasilkan permukaan yang bagus pada beton.
  2. *Safety*, membangun bekisting harus yang kuat dan mampu menopang seluruh beban. Serta tidak mengalami perubahan bentuk dan tidak menyebabkan bahaya bagi para pekerja dan struktur betonnya. Posisi perancah tidak boleh bergeser dan harus stabil.
  3. *Economy*, menghemat waktu dan biaya dapat membangun bekisting yang efisien. Pekerjaan bekisting merupakan salah satu pekerjaan yang

mudah dikerjakan di bidang konstruksi dan tidak memerlukan tenaga kerja yang banyak sehingga dapat mengurangi pengeluaran biaya upah pengerjaan.

Faktor biaya/ ekonomi menyebabkan masalah utama, dikarenakan biaya bekisting dapat mencapai 35% sampai dengan 60% dari biaya pekerjaan betonnya. Dengan adanya hal ini, kontraktor harus mampu memaksimalkan faktor ekonomi tetapi tidak boleh mengabaikan faktor *quality dan safety*.

Bekisting konvensional sering disebut juga dengan bekisting tradisional. Pada proyek ini bekisting konvensional terbuat dari triplek dan besi hollow. Keunggulan menggunakan bekisting ini adalah bahannya mudah dicari dan tidak membutuhkan pekerja ahli. Kelemahannya adalah materialnya tidak dapat digunakan berulang kali karena mudah rusak, membutuhkan waktu yang cukup lama untuk merakit dan membongkar bekistingnya.

Bekisting semi – sistem, Syarat yang harus diperhatikan dalam penggunaan bekisting ini adalah menggunakan bahan yang dapat digunakan kembali pada struktur dengan ukuran dan bentuk yang sama. Pada proyek ini bekisting semi sistem terbuat dari triplek poly film dan besi hollow. Keunggulan dari bekisting semi sistem yaitu awet dan tahan lama jadi dapat digunakan berulang kali, adanya hal ini menyebabkan biayanya akan lebih murah dari pada bekisting konvensional, tidak memerlukan waktu yang lama untuk memasang dan membongkar bekistingnya. Kelemahannya yaitu memerlukan tempat untuk melakukan fabrikasi bekisting.

Ada beberapa faktor yang menjadi pertimbangan untuk mengambil keputusan dalam penggunaan metode bekisting yang akan digunakan:

1. Kondisi struktur yang akan dikerjakan, hal ini akan menjadi pertimbangan utama dikarenakan sistem perkuatan bekisting sebagai komponen utama keberhasilan untuk menghasilkan kualitas dimensi struktur yang diinginkan. Metode bekisting akan digunakan pada bangunan yang memiliki dimensi struktur besar akan tidak efisien apabila dipakai pada struktur yang dimensi kecil.
2. Luas bangunan yang digunakan, hal ini juga akan menjadi salah satu pertimbangan utama untuk menentukan siklus pemakaian material bekisting karena pekerjaan bekisting merupakan pekerjaan yang materialnya bersifat pakai ulang.
3. Kesiapan alat dan material.
4. Kemudahan untuk mendapatkan alat dan material dari pekerjaan sistem bekisting yang akan dipakai.

Selain faktor – faktor diatas masih ada beberapa pertimbangan lain antara lain: waktu pengerjaan proyek, produktivitas pekerja, mobilisasi transportasi dan lain sebagainya. Apabila pertimbangan sudah dilakukan secara matang dengan memperhatikan berbagai faktor tersebut. Maka, dapat diambil keputusan mengenai metode pekerjaan bekisting yang akan digunakan [8].

Waktu merupakan salah satu sasaran utama proyek konstruksi. Keterlambatan akan menyebabkan berbagai kerugian antara lain denda akibat terlambat dan

kehilangan kesempatan produk yang dihasilkan memasuki pasaran.

**3. Metode Penelitian**

Metode penelitian memiliki fungsi sebagai penentuan dasar tahap - tahap yang berurutan yang berdasarkan pada tujuan dan menjadi suatu hasil penelitian yang digunakan untuk mengambil kesimpulan. Sehingga didapatkan penyelesaian yang diharapkan untuk mencapai keberhasilan penelitian.

**Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini terdapat dua data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari sumbernya. Teknik yang digunakan peneliti untuk memperoleh data primer yaitu dengan melakukan observasi mengenai metode pelaksanaan konstruksi, menghitung waktu pemasangan bekisting konvensional dan semi sistem, dan wawancara atau diskusi dengan pelaksana proyek.

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan peneliti dari data yang ada sebelumnya. Teknik yang digunakan untuk mendapatkan data sekunder yaitu dengan membaca buku, jurnal, dan gambar rencana proyek.

**Analisis Data**

Data pengamatan yang diperlukan dalam menganalisis waktu pekerjaan bekisting meliputi: waktu pelaksanaan pekerjaan bekisting, jumlah bekisting kolom yang dikerjakan dalam 1 hari, jumlah tenaga kerja yang diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan bekisting sehingga menghasilkan durasi total pada pekerjaan bekisting kolom.

Durasi pelaksanaan suatu pekerjaan berpengaruh pada metode pelaksanaan dan target durasi pekerjaan yang diinginkan untuk melaksanakan suatu item pekerjaan. Berikut rumus yang digunakan untuk menganalisis total durasi dan produktivitas:

$$\text{Durasi} = \frac{\text{Vol. Pekerjaan} \times \text{Produktivitas Tenaga Kerja}}{\text{Jumlah Tenaga Kerja}} \quad (1)$$

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Jumlah Tenaga Kerja} \times \text{Durasi}}{\text{Vol. Pekerjaan}} \quad (2)$$

$$\text{Waktu Baku Kerja} = \frac{\text{Waktu Pekerjaan}}{\text{Vol. Pekerjaan}} \quad (3)$$

$$\text{Koefisien} = \frac{\text{Waktu Baku} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja}}{\text{Jam Kerja Efektif dalam 1 hari}} \quad (4)$$

Sebelum melakukan Analisis volume pekerjaan bekisting kolom harus membuat perhitungan volume pekerjaan bekisting kayu dengan cara melihat gambar perencanaan.

Sebelum menghitung nilai koefisien Analisis harga satuan diperlukan data jumlah tenaga kerja yang terlibat serta waktu baku pekerjaan.

**4. Hasil dan Pembahasan**

Penelitian dilakukan dengan pengamatan terhadap pekerjaan bekisting kolom yang terdiri atas 4 item pekerjaan, yaitu: pekerjaan pemasangan bekisting, pekerjaan perkuatan bekisting, pengecekan *verticality* bekisting, dan pekerjaan pembongkaran bekisting setelah beton mengeras. Dimensi kolom didapat dari gambar perencanaan struktur gedung yaitu 500 mm x 800 mm dengan ketinggian bangunan 3,2 m yang digunakan untuk 3 lantai. Jumlah kebutuhan kolom untuk 1 lantai yaitu 30 kolom.

**Perhitungan Luas Permukaan**

Bekisting kolom dipasang menutupi sisi permukaan samping kolom, sehingga diperlukan perhitungan luas permukaan pada sisi tersebut. Berikut rekapitulasi luas permukaan total untuk pekerjaan bekisting kolom dan luas permukaan bekisting terdapat pada Tabel 1, Gambar 1 dan Gambar 2.:

Tabel 1. Luas Permukaan Bekisting

Dimensi Kolom	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )		
	1 kolom	1 Lantai	3 Lantai
0,5 m x 0,8 m x 3,2 m	11,2	336	1008



Gambar 1. Bekisting Kolom Konvensional



Gambar 2. Bekisting Kolom Semi-Sistem

**Analisis Volume Pekerjaan Bekisting**

Analisis volume pekerjaan bekisting dilakukan dengan menghitung luas permukaan total dibagi dengan jumlah pemakaian material yang dapat dipakai kembali sehingga menghasilkan kebutuhan volume yang akan digunakan untuk pembuatan bekisting.

Pekerjaan bekisting konvensional menggunakan material triplek dengan ukuran 122 x 244 x 12 mm. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan bahwa material triplek dapat digunakan untuk 3 kali pakai. Sehingga didapatkan volume untuk luas permukaan bekisting yang dibutuhkan pada bangunan tersebut yaitu  $1008 \text{ m}^2 / 3 = 336 \text{ m}^2$ .

Pekerjaan bekisting semi-sistem menggunakan material triplek poly film dengan ukuran 122 x 244 x 12 mm. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan bahwa material triplek poly film dapat digunakan untuk 7 kali pakai. Sehingga didapatkan volume untuk luas permukaan bekisting yang dibutuhkan pada bangunan tersebut yaitu  $1008 \text{ m}^2 / 7 = 144 \text{ m}^2$ .

Berdasarkan perhitungan Analisis volume pekerjaan bekisting didapatkan kebutuhan volume untuk bekisting konvensional yaitu  $336 \text{ m}^2$ , lebih besar dari kebutuhan volume untuk bekisting semi-sistem yaitu  $144 \text{ m}^2$ .

**Analisis Durasi Total Pekerjaan Bekisting**

Pada hasil pengamatan pekerjaan kolom bekisting konvensional, diperlukan waktu pelaksanaan 50 menit/kolom dengan tenaga kerja: 2 tukang, 2 pekerja/kolom. Untuk Analisis produktivitas pekerja diambil jumlah tenaga kerja tukang, karena tukang merupakan tenaga kerja yang dominan terhadap pekerjaan bekisting kolom. Pada proyek yang diamati, disediakan 6 tukang yang dapat mengerjakan 10 kolom/hari sehingga produktivitas pekerja yang dihasilkan dalam pelaksanaan pekerjaan bekisting kolom konvensional dalam 1 hari didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas} = \frac{1 \text{ hari} \times 6 \text{ tukang}}{(11,2 \text{ m}^2 \times 10)} = 0,0536$$

Untuk mendapatkan total durasi pekerjaan bekisting konvensional adalah total volume dikali dengan koefisien produktivitas pekerja dan dibagi dengan jumlah tenaga kerja yang disediakan sehingga didapatkan hasil :

$$\text{Durasi pekerjaan} = \frac{1008 \text{ m}^2 \times 0,0536}{6 \text{ tukang}} = 9 \text{ hari}$$

Hasil pengamatan pekerjaan kolom bekisting semi-sistem, diperlukan waktu pelaksanaan 35 menit/kolom dengan tenaga kerja: 2 tukang, 1 pekerja/kolom. Pada proyek yang diamati, disediakan 6 tukang yang dapat mengerjakan 14 kolom/hari sehingga produktivitas pekerja yang dihasilkan dalam pelaksanaan pekerjaan bekisting kolom semi-sistem dalam 1 hari didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas} = \frac{1 \text{ hari} \times 6 \text{ tukang}}{(11,2 \text{ m}^2 \times 14)} = 0,0382$$

Untuk mendapatkan total durasi pekerjaan bekisting semi-sistem adalah total volume dikali dengan koefisien produktivitas pekerja dan dibagi dengan jumlah tenaga kerja yang disediakan sehingga didapatkan hasil :

$$\text{Durasi pekerjaan} = \frac{1008 \text{ m}^2 \times 0,0382}{6 \text{ tukang}} = 6,4 \approx 7 \text{ hari}$$

Berdasarkan perhitungan Analisis durasi total pekerjaan bekisting kolom dengan jumlah tenaga kerja tukang yang sama. untuk pekerjaan bekisting kolom semi-sistem lebih cepat daripada bekisting kolom konvensional dengan selisih  $\pm 2$  hari pekerjaan.

**Perhitungan Nilai Koefisien Analisis Harga Satuan Berdasarkan Hasil Pengamatan**

Untuk menghitung nilai koefisien Analisis harga satuan diperlukan jumlah tenaga kerja yang terlibat serta waktu baku pekerjaan dimana setiap tenaga kerja memiliki jam kerja efektif selama 8 jam/hari.

**Pekerjaan Bekisting Kolom Konvensional**

Pada pekerjaan bekisting kolom konvensional dibutuhkan tenaga kerja: 2 orang tukang dan 2 orang pekerja dengan waktu pekerjaan 50 menit/set bekisting kolom, sehingga didapatkan waktu baku 50 menit :  $11,2 \text{ m}^2 = 4,464 \text{ menit/m}^2 = 0,0744 \text{ jam/m}^2$ .

- **Tukang**  
 Untuk mengerjakan  $1 \text{ m}^2$  pekerjaan bekisting kolom, dibutuhkan 2 tukang dimana setiap tukang menggunakan  $0,0744 \text{ jam/m}^2$  dari jam kerja efektifnya =  $0,0744/8 \text{ jam} = 0,0093 \text{ hari}$ . Sehingga koefisien analisis pekerja =  $0,0093 \times 2 = 0,0186 \text{ hari tukang}$ .
- **Pekerja**  
 Untuk mengerjakan  $1 \text{ m}^2$  pekerjaan bekisting kolom, dibutuhkan 2 pekerja dimana setiap pekerja menggunakan  $0,0744 \text{ jam/m}^2$  dari jam kerja efektifnya =  $0,0744/8 \text{ jam} = 0,0093 \text{ hari}$ . Sehingga koefisien analisis pekerja =  $0,0093 \times 2 = 0,0186 \text{ hari pekerja}$ .

**Pekerjaan Bekisting Kolom Semi-Sistem**

Pada pekerjaan bekisting kolom semi-sistem dibutuhkan tenaga kerja: 2 orang tukang dan 1 orang pekerja dengan waktu pekerjaan 35 menit/set bekisting kolom, sehingga didapatkan waktu baku 35 menit :  $11,2 \text{ m}^2 = 3,125 \text{ menit/m}^2 = 0,0521 \text{ jam/m}^2$ .

- **Tukang**  
 Untuk mengerjakan  $1 \text{ m}^2$  pekerjaan bekisting kolom, dibutuhkan 2 tukang dimana setiap tukang menggunakan  $0,0521 \text{ jam/m}^2$  dari jam kerja efektifnya =  $0,0521/8 \text{ jam} = 0,0065 \text{ hari}$ . Sehingga koefisien analisis pekerja =  $0,0065 \times 2 = 0,013 \text{ hari tukang}$ .
- **Pekerja**  
 Untuk mengerjakan  $1 \text{ m}^2$  pekerjaan bekisting kolom, dibutuhkan 1 pekerja dimana setiap pekerja menggunakan  $0,0521 \text{ jam/m}^2$  dari jam kerja efektifnya =  $0,0521/8 \text{ jam} = 0,0065 \text{ hari}$ . Sehingga koefisien analisis pekerja =  $0,0065 \times 1 = 0,0065 \text{ hari pekerja}$ .

Hasil perbandingan perhitungan nilai koefisien Analisis harga satuan pekerjaan bekisting kolom konvensional dan semi-sistem, didapatkan pada Tabel 2.:

Tabel 2. Hasil Perbandingan Nilai Koefisien

	Konvensional	Semi-Sistem
Tukang	0,0186	0,013
Pekerja	0,0186	0,0065
Jumlah Tenaga Kerja	4	3

**5. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian pekerjaan bekisting konvensional dan semi - sistem pada kolom bangunan bertingkat di Madura, diperoleh hasil bahwa Analisis volume pekerjaan bekisting didapatkan kebutuhan volume untuk bekisting konvensional yaitu 336 m<sup>2</sup>, lebih besar dari kebutuhan volume untuk bekisting semi-sistem yaitu 144 m<sup>2</sup>.

Pada analisis durasi total pekerjaan bekisting kolom dengan jumlah tenaga kerja tukang yang sama. untuk pekerjaan bekisting kolom semi-sistem lebih cepat daripada bekisting kolom konvensional dengan selisih  $\pm 2$  hari pekerjaan.

Analisis koefisien yang diperoleh pada pekerjaan bekisting kolom semi-sistem untuk tukang sebesar 0,013 dan untuk pekerja 0,0065. Sedangkan pada pekerjaan bekisting konvensional untuk tukang sebesar 0,0186 dan untuk pekerja 0,0186. Jadi, Analisis koefisien pada pekerjaan bekisting kolom semi-sistem lebih kecil dari pekerjaan bekisting konvensional.

Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan bekisting kolom semi-sistem lebih efisien digunakan daripada bekisting kolom konvensional.

**6. Daftar Pustaka**

[1] E. Susilo and F. Nugraheni, “Analisis Biaya Bekisting Konvensional dan Bekisting Bekisting Semi-Sistem pada Kolom Bangunan Gedung,” *Publikasi*, 2019.

[2] S. Kasus, P. Pembangunan Laboratorium Terpadu IAIN Bukittinggi, O. Guspari, R. Hidayati, Z. Mirani, and P. Wike Amelia, “Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil Analisis Perbandingan Biaya Pekerjaan Bekisting Konvensional dan Bekisting Sistem Pada Bangunan Gedung,” vol. 19, no. 1, pp. 3–4, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/TerakreditasiSINTAPeringkat5>.

[3] R. M. Kosanke, “Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional, Semi Sistem, dan Sistem (PERI) pada Kolom Gedung Bertingkat,” vol. 6, pp. 303–313, 2019.

[4] A. M. Trijeti, “Analisis Bekisting Metode Semi Sistem Dan Metode Sistem Pada Bangunan Gedung,” *J. Konstr.*, vol. 4, no. 2, pp. 27–38, 2013.

[5] D. Rahadianto, D. Perwitasari, and A. R. H. Mashur, “Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Aluminium, Bekisting Konvensional, Semi Konvensional Dan Sistem (Peri),” *Cived*, vol. 9, no. 2, p. 109, 2022, doi: 10.24036/cived.v9i2.113909.

[6] Setiyawan, “Penjelasan mengenai Kolom,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699,

2013.

[7] Parani, “Analisis Perbandingan Efisiensi Penggunaan Metode Bekisting Konvensional Dengan Metode Bekisting Semi-Sistem Perkuatan Besi Hollow Pada Proyek Hotel Ibis Surabaya,” *J. Chem. Inf. Model.*, pp. 4–13, 2018.

[8] Stephen, “Pengertian Bekisting,” *Yogyakarta*, vol. Edisi Pert, pp. 6–29, 1985.

[9] R. A. Dewi, R. A. Sembiring, and U. S. Utara, “Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional dan Sistem Pada Gedung Bertingkat,” vol. 8, no. 1, pp. 9–14, 2022.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## PENGARUH VARIASI SUHU PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Nadhifha Aprillia Zahara<sup>1</sup>, Ibnu Sholichin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Kota Surabaya

E-mail : [nadhifha01@gmail.com](mailto:nadhifha01@gmail.com), [ibnu.ts@upnjatim.ac.id](mailto:ibnu.ts@upnjatim.ac.id)

**Abstrak :** Jalan ialah sarana dan prasarana yang begitu penting pada suatu sistem transportasi yang dipergunakan untuk menghubungkan satu tempat ke tempat yang lain untuk pemenuhan kebutuhan sosial, budaya dan ekonomi. Saat ini jalan raya dipergunakan sebagai prasarana transportasi yang menjadi penghubung antara daerah satu dengan daerah yang lain, maka akan diperlukan kualitas lapisan aspal yang memiliki kualitas yang baik.. Kerusakan jalan raya juga akan mengganggu pengguna jalan yang akan melintasi jalan yang rusak, faktor penyebab kerusakan jalan raya antara lain karena temperatur suhu lapisan aspal yang tidak sesuai dikarenakan terjadinya perubahan cuaca,. Misalnya gerimis dan hujan, atau pada saat pengangkutan campuran aspal kemungkinan tidak tertutup dengan terpal yang bisa mengalami penurunan suhu. Maka perlu dikaji tentang pengaruh variasi suhu pada campuran aspal AC-WC terhadap karakteristik Marshall. Pada penelitian ini yang ditinjau adalah pengaruh variasi suhu campuran aspal AC-WC terhadap karakteristik Marshall yang meliputi *Voids in Mix* (VIM), *Void in The Mineral Aggregate* (VMA), *Voids Filled Asphalt* (VFA), stabilitas, flow, dan *Marshall Quotient* (MQ) yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Pada penelitian ini menggunakan beberapa variasi suhu benda uji, yaitu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, 155°C, dan 165°C. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan kadar aspal optimum yaitu 7%, dan Nilai stabilitas yang memenuhi syarat yaitu suhu 145°C, 155°C, dan 165°C, nilai *Flow*, MQ, dan VMA semua variasi suhu memenuhi syarat bina marga, nilai VIM yang memenuhi syarat yaitu hanya pada suhu 155°C, dan 165°C, nilai VFA yang memenuhi syarat yaitu hanya pada suhu 155°C, dan 165°C. Dengan hasil suhu tertinggi yaitu 165°C.

**Kata Kunci :** AC-WC, *Marshall Test*, Variasi Suhu

### PENDAHULUAN

Kesinambungan transportasi di dalam negeri menghadapi peningkatan yang besar, terlebih pada pengadaan sarana transportasi massal atau umum. Transportasi dimanfaatkan agar mempermudah manusia dalam melakukan seluruh aktivitas sehari-hari.

Jalan adalah prasarana transportasi darat, tempat peralihan bagi orang, kendaraan, dan sebagainya. Prasarana yang dimaksud seperti bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.[1]

Salah satu faktor penyebab kerusakan jalan diantaranya adalah dikarenakan suhu pada campuran beraspal yang berada di lapangan belum pada temperatur yang tepat, dan pada saat proses pengangkutan campuran beraspal kemungkinan telah terjadi perubahan cuaca, misalkan gerimis, hujan, dan berubahnya suhu pada daerah tertentu sehingga menyebabkan campuran beraspal mengalami penurunan suhu. Akhirnya menyebabkan campuran beraspal mengalami penurunan suhu. Pada akhirnya menyebabkan campuran beraspal tidak dapat dihamparkan pada lokasi pembangunan jalan dikarenakan suhu campuran beraspal tidak memenuhi spesifikasi penghamparan dan pemadatan. Tetapi pada kenyataan yang sudah terjadi di lapangan yaitu penghamparan dan pemadatan tetap dilakukan meskipun suhu campuran beraspal tidak memenuhi spesifikasi. Menurut Kimpraswil (2002), Material-material yang diperlukan untuk menyusun lapisan perkerasan jalan diantaranya

agregat halus, agregat kasar, dan aspal sebagai pengikatnya.

Lapisan Aspal Beton (Laston) merupakan suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi kemudian dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam kondisi panas dalam suhu tertentu. Laston juga dikenal dengan nama AC (*Asphalt Concrete*).[2]

*Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dengan ketebalan 5 cm dan berfungsi sebagai lapisan aus dan bersifat lentur. AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu lapisan perkerasan .

Agregat kasar merupakan agregat yang ukurannya lebih besar dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya masih dapat tertahan saringan ukuran 4,75 mm. agregat kasar untuk aspal dapat berbentuk kerikil didapaykan dari hasil pemecahan batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan manual atau mesin. Salah satu material agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat Pasrepan Pasuruan.[3]

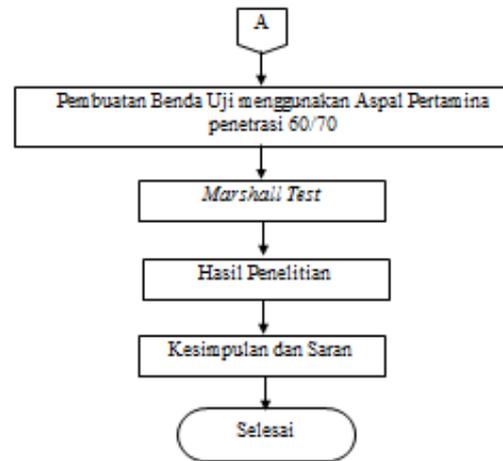
Agregat halus dapat bersumber dari bahan apapun, yang terdiri dari pasir atau hasil saringan batu pecah yang melewati ayakan No.4 (4,75 mm) dan sisa ayakan No.200 (0,075) sesuai SNI 03-6819- 2002. Fungsi Agregat halus memberikan daya tahan dan mengurangi penurunan lapisan aspal dalam kondisi mengunci (*Interlocking*) gaya gesek antara agregat, salah satu material agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir Pasrepan Pasuruan.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, oleh karena itu penulis mengambil penelitian tentang Pengaruh Variasi Suhu pada Campuran Aspal

AC-BC Terhadap Karakteristik *Marshall* dengan variasi suhu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, 155°C, dan 165°C. Menggunakan aspal pertamina penetrasi 60/70 dan hasilnya akan dibandingkan dengan karakteristik *Marshall* yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

**METODE PENELITIAN**

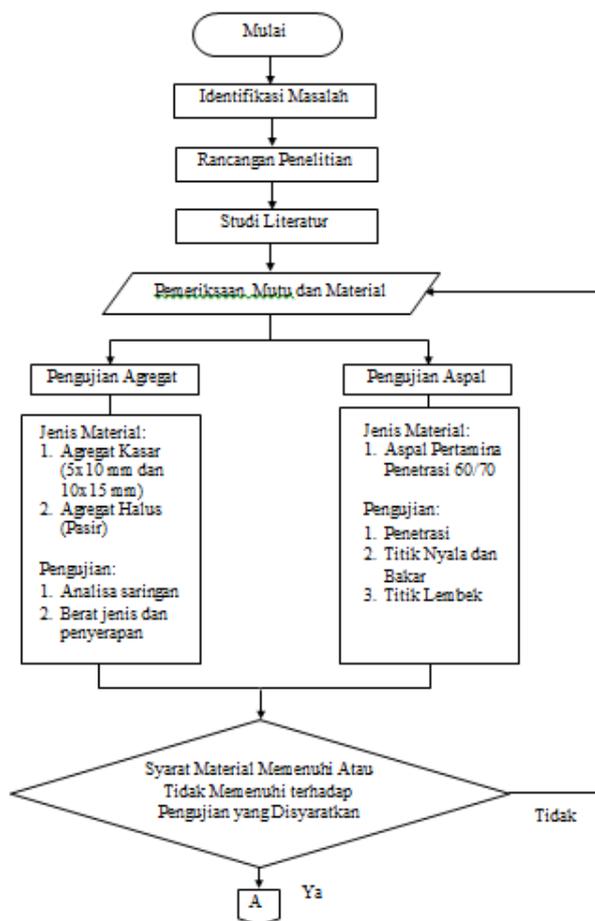
Metode yang digunakan yaitu menggunakan metode penelitian dan pengamatan. Penelitian ini dilakukan Untuk mengetahui berapa besar pengaruh variasi suhu pada campuran aspal AC-WC terhadap karakteristik *Marshall* dan Untuk mengetahui suhu yang optimum pada variasi suhu pada campuran aspal AC-WC terhadap karakteristik *Marshall*. Penelitian ini dimulai dari persiapan penelitian diantaranya yaitu meliputi studi pendahuluan serta mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Benda uji akan dikelompokkan dalam variasi suhu yaitu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, 155°C, dan 165°C. Pada benda uji yang sudah dibuat dilakukan pengujian dengan parameter pengujian *Marshall*. Bagan alir terdapat pada Gambar 1 sedangkan variasi jumlah tumbukan tedapat pada Tabel 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1 Sampel Variasi Suhu

Variasi Suhu	Sampel
115°C	5 Buah
125°C	5 Buah
135°C	5 Buah
145°C	5 Buah
155°C	5 Buah
165°C	5 Buah
<b>Jumlah benda uji</b>	<b>30 Buah</b>



**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**a. Hasil Pengujian Marshall**

Pengujian *Marshall* dengan membuat benda uji dengan variasi suhu aspal 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, 155°C, dan 165°C dengan benda uji sebanyak 5 buah untuk setiap masing-masing variasi suhu. Dari hasil pengujian *Marshall* didapatkan nilai stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient (MQ)*, *VIM*, *VMA*, dan *VFA*. Hasil pengujian *Marshall* terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Hasil Nilai Parameter *Marshall* Variasi Suhu

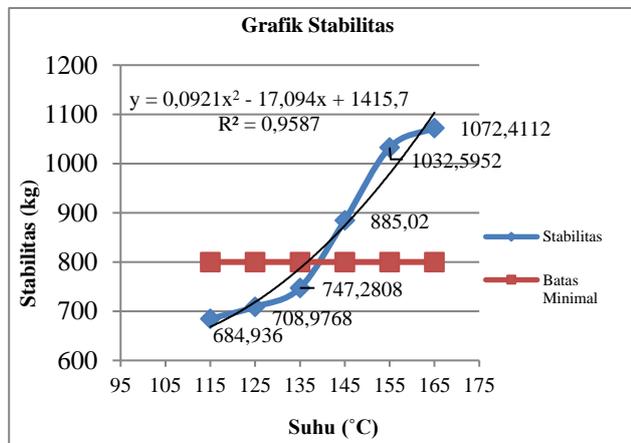
No	Parameter Marshall	Syarat Bina Marga	Variasi Suhu		
			115°C	125°C	135°C
1	Stabilitas (Kg)	Min. 800	684,94	708,98	747,28
2	<i>Flow</i> (mm)	2 - 4	2,75	2,76	2,9
3	<i>MQ</i> (Kg/mm)	250	256,52	259,03	260,47
4	<i>VIM</i> (%)	3 - 5	12,48	10,50	10,34
5	<i>VMA</i> (%)	Min. 15	23,18	22,68	22,54
6	<i>VFA</i> (%)	Min. 65	46,34	53,25	54,16

Lanjutan Tabel 3 Hasil Nilai Parameter *Marshall* Variasi Suhu

No	Parameter Marshall	Syarat Bina Marga	Variasi Suhu		
			145°C	155°C	165°C
1	Stabilitas (Kg)	Min. 800	885,02	1032,6	1072,4
2	Flow (mm)	2 - 4	3,48	3,8	3,92
3	MQ (Kg/mm)	250	263,82	272,29	275,11
4	VIM (%)	3 - 5	8,91	4,99	4,92
5	VMA (%)	Min. 15	21,30	17,91	17,85
6	VFA (%)	Min. 65	58,26	72,39	72,45

**b. Pembahasan**

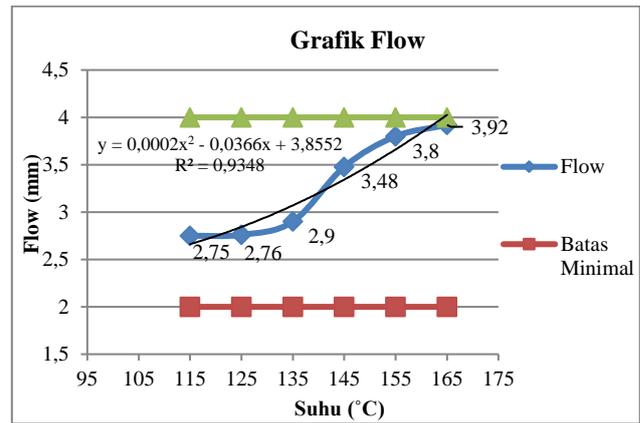
Dari hasil penelitian variasi suhu pada campuran aspal ac-wc terhadap karakteristik *marshall* dengan variasi suhu aspal 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, 155°C, dan 165°C menunjukkan hasil dari pengujian *Marshall* sesuai dengan spesifikasi bina marga 2018. Dari tabel 6 dapat dibuat grafik hubungan variasi suhu dengan nilai stabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Nilai Stabilitas

Dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 persyaratan nilai stabilitas minimum sebesar 800 kg. Sehingga, nilai stabilitas pengujian *Marshall* pada variasi suhu 145°C, 155°C, dan 165°C telah memenuhi persyaratan, sedangkan nilai stabilitas pengujian *Marshall* pada variasi suhu 115°C, 125°C, dan 135°C belum memenuhi persyaratan.

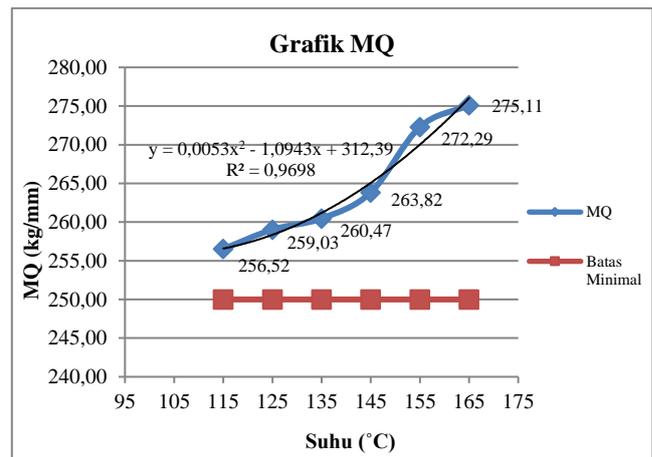
Hubungan variasi suhu dengan nilai *Flow* ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut :



Gambar 3 Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Nilai *Flow*

Pada penelitian ini nilai *Flow* mengalami kenaikan seiring bertambahnya variasi suhu pada campuran aspal beton. Nilai *Flow* yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan perkerasan jalan mudah mengalami kelelahan bentuk dan menyebabkan terjadinya bleeding pada lapisan perkerasan.

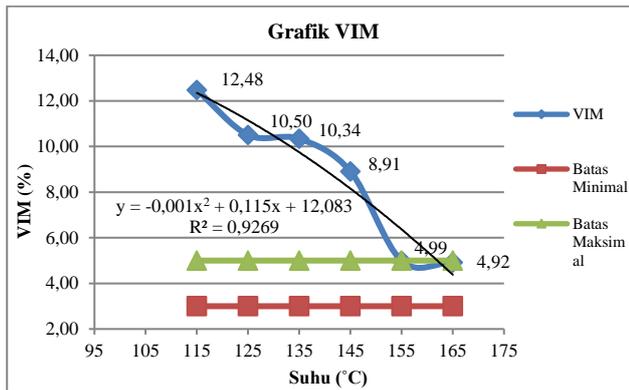
Hubungan variasi suhu dengan nilai *Marshall Quotient* ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai berikut :



Gambar 4 Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Nilai *Marshall Quotient*

Seiring bertambahnya suhu pencampuran maka nilai *Marshall Quotient* akan relatif naik, disebabkan karena rongga campuran yang terisi oleh aspal seiring dengan bertambahnya suhu pencampuran sehingga kepadatan campuran akan meningkat pula.

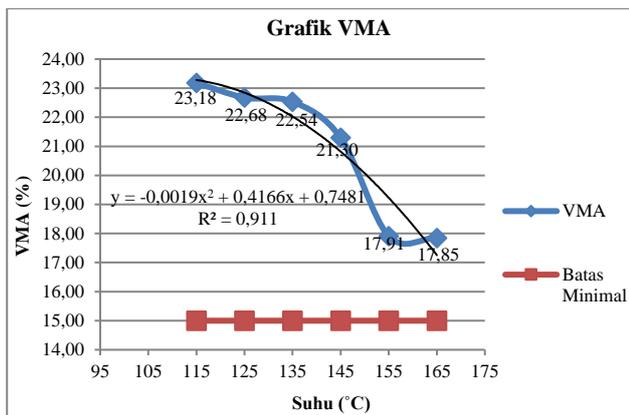
Hubungan variasi suhu dengan nilai *VIM (Void In Mix)* ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai berikut :



Gambar 5 Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Nilai VIM (Void In Mix)

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin rendah suhu pencampuran maka akan semakin besar nilai VIM. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu pencampuran dapat mengisi rongga udara di dalam campuran aspal beton. Nilai VIM yang tinggi dapat mengakibatkan campuran bersifat porous, yang mengakibatkan lepasnya butir agregat pada campuran aspal dengan mudah.

Hubungan variasi suhu dengan nilai VMA (Voids in Mineral Aggregate) ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut :

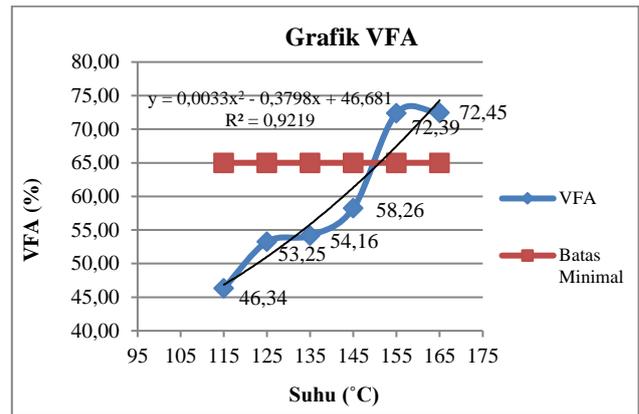


Gambar 6 Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Nilai VMA (Voids in Mineral Aggregate)

Nilai VMA mengalami kenaikan seiring semakin rendah suhu pencampuran dalam campuran aspal beton. Nilai VMA yang rendah dapat menyebabkan lapisan pada campuran aspal kurang mengikat pada agregat sehingga menyebabkan perkerasan mudah terjadi pengelupasan lapisan permukaan (stripping).

Hubungan variasi suhu dengan nilai VFA (Voids Filled Asphalt) ditunjukkan pada Gambar 7.

Pada penelitian ini variasi suhu pencampuran dapat meningkatkan nilai VFA, karena temperatur pencampuran berpengaruh terhadap kepadatan campuran yang akan mengalami peningkatan. Kepadatan pada kondisi ini lebih disebabkan karena ikatan aspal. Nilai VFA yang terlalu rendah dapat menyebabkan oksidasi pada campuran aspal sehingga menyebabkan berkurangnya keawetan campuran aspal beton.



Gambar 7 Grafik Hubungan Variasi Suhu dengan Nilai VFA (Voids Filled Asphalt)

## KESIMPULAN

### 1. Kesimpulan

Hasil penelitian campuran aspal AC-WC berdasarkan pengaruh variasi suhu terhadap karakteristik Marshall dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Nilai kadar aspal optimum yang diperoleh dari pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal 4%, 5,5%, dan 7% menggunakan material pengikat aspal pertamina penetrasi 60/70 yang diperoleh dari parameter Marshall didapatkan pada kadar aspal 7%. Nilai Stabilitas pada kadar aspal 7% sebesar 1010,27 kg, nilai Flow sebesar 3,75 mm, nilai Marshall Quotient sebesar 270,3 kg/mm, nilai VIM sebesar 4,45%, nilai VMA sebesar 18,76%, dan nilai VFA sebesar 76,31%. Pada kadar aspal 7% semua nilai parameter Marshall telah memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 sehingga kadar aspal optimum dengan menggunakan aspal pertamina penetrasi 60/70 sebagai material pengikat yang diambil pada kadar aspal 7%.
- b. Nilai stabilitas yang didapat dari variasi suhu campuran aspal AC-WC pada suhu 135°C mengalami kenaikan sebesar 9,95% pada suhu 145°C. Nilai stabilitas suhu 145°C lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 135°C, nilai Flow yang didapat dari variasi suhu campuran aspal AC-WC pada suhu 135°C mengalami kenaikan sebesar 6,91% pada suhu 145°C. Nilai Flow suhu 145°C lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 135°C. nilai Marshall Quotient yang didapat dari variasi suhu campuran aspal AC-WC pada suhu 145°C mengalami kenaikan sebesar 1,84% pada suhu 155°C. Nilai Marshall Quotient suhu 155°C lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 145°C. Nilai VIM yang didapat dari variasi suhu campuran aspal AC-WC pada suhu 145°C mengalami kenaikan sebesar 23,93% pada suhu 155°C. Nilai VIM suhu 155°C lebih tinggi dibandingkan dengan

suhu 145°C. Nilai VMA yang didapat dari variasi suhu campuran aspal AC-WC pada suhu 155°C mengalami kenaikan sebesar 7,26% pada suhu 145°C. Nilai VMA suhu 155°C lebih rendah dibandingkan dengan suhu 145°C. Nilai VFA yang didapat dari variasi suhu campuran aspal AC-WC pada suhu 155°C mengalami kenaikan sebesar 9,09% pada suhu 145°C. Nilai VMA suhu 155°C lebih rendah dibandingkan dengan suhu 145°C.

- c. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa pada beberapa variasi suhu masih belum memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Hal ini ditinjau dari nilai hasil pengujian stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient*, VIM, VMA, dan VFA. Dari hasil pengujian nilai stabilitas yang tidak memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yaitu pada suhu 115°, 125°, dan 135°. Nilai *Flow*, *Marshall Quotient*, dan VMA pada semua variasi suhu sudah memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Nilai VIM yang memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 hanya pada suhu 155°, dan 145°. Nilai VMA yang memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 hanya pada suhu 155°, dan 145°. Sedangkan pada nilai VFA yang memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 hanya pada suhu 155°, dan 145°.

**2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh variasi suhu pada campuran aspal AC-WC terhadap karakteristik *Marshall* untuk penelitian selanjutnya disarankan sebagai berikut :

1. Untuk mencari kadar aspal optimum, diharapkan dapat ditambahkan variasi kadar aspal lebih banyak, sehingga dapat diperoleh kadar aspal optimum yang lebih spesifik.
2. Untuk penelitian selanjutnya diusahakan menambahkan variasi suhu lebih dari 6 variasi, agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] F. Suryandari, I. Sholichin, and S. T. Sipil, “Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Filler Material Pengisi Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course ( Ac-Wc ),” vol. 7, no. 2, pp. 718–723, 2022.

[2] Bina Marga, “Spesifikasi umum 2018,” *Direktorat Jendral Bina Marga*, no. revisi 2, 2018.

[3] S. Sukirman, *Buku Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. 2010. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>

[4] B. Marga, “Spesifikasi umum 1987,” *Direktorat*

*Jendral Bina Marga*, 1987.

[5] M. Pengisi, P. Campuran, P. Jalan, N. Utomo, C. Furqoni, and S. Romadlon, “Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Sebagai,” vol. 11, no. 1, pp. 59–65.

[6] A. E. Putra and I. Sholichin, “Perbandingan Karakteristik Aspal Pertamina dengan Aspal Shell Sebagai Campuran Aspal Beton,” *KERN J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 83–92, 2021, doi: 10.33005/kern.v7i2.53.

[7] Bina Marga, “spesifikasi umum 2010,” 2010

[8] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*, vol. 53, no. 9. 2003.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## ANALISIS PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN BAHAN ADITIF TAMBAHAN SUPERPLASTICIZER TERHADAP PROPERTI PASTA KOMBINASI SEMEN-FLY ASH

Albert Kuncoro<sup>1</sup>, Dewanti Ratna Paramitha<sup>2</sup>, Lydia Yuniarti Meok<sup>3</sup>, Antoni Antoni<sup>4</sup>, dan Djwantoro Hardjito<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra

E-mail: [albertk@petra.ac.id](mailto:albertk@petra.ac.id)

### ABSTRAK:

Dalam proses pembangunan, semen merupakan salah satu komponen yang berperan sangat besar, dan juga salah satu material yang mempunyai dampak lingkungan paling besar juga. Dalam upaya mengurangi penggunaan semen, dan disisi lain juga mengoptimalkan performa beton, muncul berbagai solusi untuk menggunakan material limbah pengganti/substitusi *binder*, maupun penggunaan *admixture*. Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *workability* dan stabilitas daripada pasta. Disisi lain, partikel *fly ash* yang lebih kecil daripada semen dapat berkontribusi dalam meningkatkan kepadatan dari spesimen, yang berkontribusi pada meningkatnya nilai kuat tekan. Selain kontribusi akibat *binder*, rasio air semen (w/c) juga sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Semakin rendah w/c, maka semakin tinggi pula nilai kuat tekan spesimen, dimana pada sampel pasta dengan binder 100% semen, penurunan w/c sebesar 65.63% dapat meningkatkan kuat tekan hingga 143.77%. Dengan mengetahui sifat dan dosis yang tepat dalam menggunakan *superplasticizer*, performa dan properti beton dapat ditingkatkan, baik dalam keadaan segar maupun dalam keadaan sudah mengeras.

**Kata Kunci:** semen, *fly ash*, *superplasticizer*, pasta, kuat tekan

### 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan beton dalam sektor konstruksi secara langsung berkontribusi dalam peningkatan penggunaan komponen seperti semen, agregat, dan air. Ketersediaan komponen – komponen tersebut tidak sebanding dengan keberlanjutannya, karena bahan baku yang digunakan tidak terbarukan. Semen, sebagai komponen utama beton memiliki harga yang mahal dan berperan sebagai bahan perekat yang mengikat semua komponen beton saat bereaksi dengan air [1]. Meskipun komposisi semen yang optimal dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi, penggunaan berlebih dapat menyebabkan susut sehingga retak pada beton, dan juga dampak lingkungan yang negatif. Oleh karena itu, penelitian telah banyak dilakukan untuk mencari bahan alternatif sebagai pengganti atau penambah semen yang lebih ramah lingkungan.

*Cementitious material* merupakan bahan pengikat yang memberikan kekuatan pada beton, melalui reaksi kimia dan proses fisika. Sebagai usaha mengurangi penggunaan semen, berbagai jenis *cementitious material* digunakan sebagai pengikat pada beton untuk menggantikan sebagian semen maupun seluruhnya. Salah satu bahan pengikat yang efektif untuk menggantikan sebagian atau seluruh semen adalah *fly ash*. *Fly ash* memiliki partikel yang bulat, dan kehalusan yang mirip dengan semen. Penambahan *fly ash* dapat meningkatkan kelecakan dan juga mengurangi kebutuhan air [2].

Penggunaan *fly ash* yang ukuran partikel relatif lebih kecil daripada semen sebagai pengganti sebagian semen pada beton dapat mengurangi porositas beton [3]. Adanya rongga udara dalam beton yang berkontribusi terhadap porositas dapat mengurangi kepadatan dan menyebabkan penurunan kuat tekan. Salah satu solusi selain penggunaan *fly ash* dalam usaha mengurangi porositas dalam beton, adalah dengan menurunkan rasio air-semen [4], [5]. Penggunaan rasio air-semen yang rendah akan menurunkan kelecakan, namun hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan bahan tambahan campuran, yaitu *superplasticizer* (SP). *Superplasticizer* dapat meningkatkan kelecakan walaupun dengan rasio air-semen yang rendah [6], dengan menyelimuti permukaan partikel semen akibat reaksi dari asam *sulfonate*, sehingga menyebabkan partikel bermuatan negatif yang menyebabkan gaya saling tolak-menolak antar partikel semen terjadi [2].

Penggunaan *fly ash* dan *superplasticizer* dalam beton mempunyai pengaruh yang positif, namun dosis yang tepat sangat penting dan akan sangat berpengaruh terhadap performa beton. Jika dosis terlalu sedikit, efeknya tidak akan terlalu terlihat. Jika terlalu banyak, dapat merusak kualitas daripada beton [5]. Untuk lebih memahami pengaruh penggantian *fly ash* dan juga penambahan *superplasticizer* pada *fly ash blended cement*, penelitian dapat difokuskan pada sampel pasta. Tujuannya adalah untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi antara semen dan *fly ash*, serta dosis *superplasticizer* pada pasta dengan faktor air-semen yang rendah untuk mencapai kepadatan maksimum.

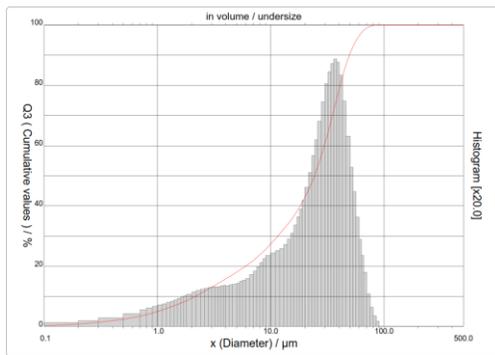
**2. METODE PENELITIAN**

Penelitian dilakukan di laboratorium beton Universitas Kristen Petra, Surabaya. Penelitian melibatkan beberapa material sebagai bahan *cementitious*, dimana pengaruh penambahan bahan aditif berupa *superplasticizer* dan komposisi *cementitious material* diamati. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh kombinasi *fly ash* dan semen dengan rasio air-semen yang rendah terhadap kepadatan pasta dengan bantuan *superplasticizer*.

**2.1. Material yang Digunakan**

**2.1.1. Semen**

Pada penelitian ini, semen yang digunakan adalah semen dengan jenis *Portland Composite Cement* (PCC) yang diproduksi oleh PT Semen Indonesia Tbk. Beberapa jenis pengujian dilakukan guna mengetahui karakteristik daripada semen, seperti pengujian berat jenis yang didapatkan hasil bernilai sebesar 3.14, dan juga *Particle Size Analysis* (PSA) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 1.



**Gambar 1.** Particle Size Analysis (PSA) Semen

**Tabel 1.** Rangkuman PSA Semen

Material	d (10) (µm)	d (50) (µm)	d (90) (µm)	SSA (cm <sup>2</sup> /g)
Semen	2.13	24.28	49.5	410.345

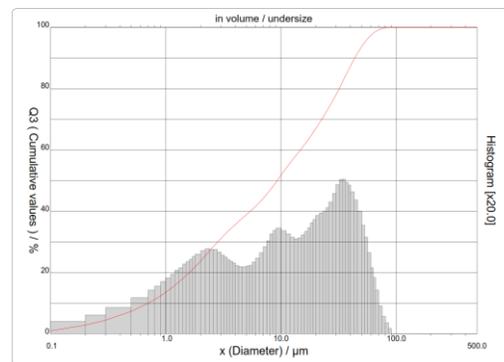
**2.1.2. Fly Ash**

*Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe C yang didapatkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Beberapa jenis pengujian dilakukan guna mengetahui karakteristik daripada *fly ash* yang digunakan, seperti pengujian berat jenis yang didapatkan hasil bernilai sebesar 2.656, pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui *bulk chemical composition* dilakukan sesuai ASTM D4326-11 dan

ASTM D7348-13 seperti ditunjukkan pada Tabel 2, dan juga *Particle Size Analysis* (PSA) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2.** X-Ray Fluorescence (XRF) Fly Ash

Senyawa	%w.t.
SiO <sub>2</sub>	32.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.27
TiO <sub>2</sub>	0.70
CaO	19.70
MgO	7.97
K <sub>2</sub> O	1.17
Na <sub>2</sub> O	2.31
SO <sub>3</sub>	1.93
MnO <sub>2</sub>	0.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27
LOI	0.8



**Gambar 2.** Particle Size Analysis (PSA) Fly Ash

**Tabel 3.** Rangkuman PSA Fly Ash

Material	d (10) (µm)	d (50) (µm)	d (90) (µm)	SSA (cm <sup>2</sup> /g)
Semen	0.70	9.25	43.75	480.306

**2.1.3. Superplasticizer (SP)**

Pada penelitian ini, digunakan bahan kimia tambahan (*admixture*) yang diproduksi oleh PT Sika dengan merk dagang SIKA VISCOCRETE 1003.

**2.2. Mix Design**

Dalam upaya mencapai target yang diinginkan, langkah – langkah yang dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan untuk menghasilkan campuran pasta yang terdiri dari beberapa perbandingan *binder*. Beberapa perbandingan *binder* yang dilakukan yaitu,

100% semen, 85% semen:15% *fly ash*, 70% semen:30% *fly ash*, dan 50% semen: 50% *fly ash*, dengan faktor air terhadap semen (w/c) tertentu.

Selanjutnya, dilakukan penambahan *superplasticizer* saat campuran mulai sulit dikerjakan, yang dapat dilihat dari hasil campuran yang tidak merata. *Superplasticizer* diberikan dengan dosis dalam rentang 0-2% dari jumlah semen dan *fly ash (binder)*. Untuk *mix design* dengan kombinasi – kombinasi 100% semen, 85% semen:15% *fly ash*, dan 70% semen:30% *fly ash*, penambahan *superplasticizer* dimulai ketika w/c mencapai nilai 0.2. Sedangkan untuk campuran 50% semen: 50% *fly ash*, penambahan *superplasticizer* dimulai ketika nilai w/c mencapai 0.18.

Desain dari proporsi campuran pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 4. Setelah itu, dilakukan perawatan (*curing*) saat beton telah mencapai umur 1 hari, dan berlanjut hingga waktu pengujian yang dilakukan, yaitu sampel umur 7 dan 28 hari.

**Tabel 4.** *Mix Design*

Semen (%)	<i>Fly Ash</i> (%)	w/c	SP (%)
100	0	0.4-minimum	0-2
85	15	0.4-minimum	0-2
70	30	0.4-minimum	0-2
50	50	0.4-minimum	0-2

### 2.3. Langkah Pencetakan dan Pengujian

#### 2.3.1. Langkah – Langkah Pembuatan Pasta

Pada sub-bab ini dijelaskan secara rinci beberapa langkah – langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan spesimen pasta. Pertama, dilakukan proses penimbangan sesuai dengan desain campuran yang telah ditentukan. Kemudian binder (semen dan *fly ash*) diaduk secara kering sampai tercampur merata, yang selanjutnya air ditambahkan sesuai dengan w/c yang telah ditentukan. Selanjutnya pasta segar diaduk hingga terlihat homogen selama beberapa menit.

Sebelum *superplasticizer* ditambahkan ke dalam campuran, *superplasticizer* perlu ditimbang dahulu dalam suatu wadah. Kemudian, *superplasticizer* ditambahkan secara perlahan kedalam adukan pasta segar, sambil terus menerus diaduk secara konstan, hingga adonan dapat mendapatkan konsistensi yang diinginkan. Jumlah kebutuhan *superplasticizer* dihitung dengan mengurangi berat awal terhadap berat akhir setelah dimasukkan kedalam campuran pasta segar.

Kemudian, pasta segar diukur kekecakkannya menggunakan alat *flow table* sebelum dicetak kedalam

bekisting. Kemudian pasta segar dicetak dan dipadatkan kedalam bekisting, juga digetarkan dengan meja penggetar. Proses pembukaan cetakan dilakukan setelah 24 jam sejak proses pencampuran, dimana setelah itu dilakukan proses perawatan dengan cara merendam pasta kedalam kolam yang berisikan air. Proses perawatan berlanjut hingga waktu pengujian yang dilakukan, yaitu sampel umur 7 dan 28 hari.

#### 2.3.2. Pengujian Sampel Pasta

Beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah: *flow table test*, kepadatan (*density*), kuat tekan, dan juga perubahan volume. Pengujian tersebut dilakukan untuk tiap variasi campuran, dengan rata rata sampel yang diuji per variasi adalah 3 benda uji. Seluruh proses penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Kristen Petra.

Pengujian kuat tekan dilakukan pada spesimen berbentuk kubik dengan ukuran 50-mm tiap sisinya. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari, dan sesuai dengan prosedur yang dijelaskan pada ASTM C109. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, sample ditimbang dan diukur volumenya, yang kemudian data tersebut dapat diolah untuk mendapatkan nilai kepadatan spesimen.

Pengujian *flow table* dilakukan sebelum pasta segar dipadatkan dan dicetak kedalam bekisting. Tujuan dari pengujian *flow table* adalah untuk mengukur daya air atau *flowability* dari pasta yang dibuat, yang berkaitan dengan kelecakan dari pasta. Pengujian *flow table* dilakukan dengan menuangkan pasta yang baru diaduk kedalam sebuah cetakan yang ditempatkan diatas piringan mesin *flow table*. Setelah itu, cetakan diangkat, dan alat *flow table* dinyalakan sehingga beroperasi sebanyak 25 kali dalam waktu 15 detik. Kemudian, diameter aliran (*flow diameter*) diukur untuk mendapatkan informasi mengenai hasil pengujian *flow table*. Pengujian *flow table* dilakukan dengan alat seperti yang dijelaskan pada ASTM C230 dan pengujian dilakukan seperti yang diterangkan pada ASTM C1437.

Pengujian perubahan berat volume dilakukan dengan cara mencampurkan *binder* dan air sesuai dengan proporsi campuran yang disyaratkan didalam plastik yang kedap. Setelah mengeras selama 24 jam, sampel dikeluarkan dari plastik lalu ditimbang berat dan volumenya. Perubahan volume pasta dapat diketahui dengan menghitung selisih antara volume dan berat teoritis dengan volume dan berat sebenarnya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Optimasi w/c dan Penggunaan SP untuk Berbagai Variasi Binder

Dalam penelitian ini dilakukan identifikasi pengaruh dari penggunaan SP terhadap kelecakan jika kelecakan dipaksa serendah mungkin pada semen campuran (*blended cement/binder*). Berdasarkan perbandingan *massa* semen dan *fly ash* terbagi, campuran terdiri dari 4 variasi, yaitu 100% semen, 85% semen:15% *fly ash*, 70% semen:30% *fly ash*, dan 50% semen: 50% *fly ash*, dengan faktor air terhadap semen (*w/c*) tertentu. *Superplasticizer* (SP) ditambahkan sedikit demi sedikit hingga pasta dapat dikerjakan dengan penambahan maksimum sebesar 2% dari total *binder*. Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8.

**Tabel 5.** *Mix Design* Optimasi Pasta 100% Semen

Semen (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
2000	800	0.4	0
2000	700	0.35	0
2000	600	0.3	0
2000	500	0.25	0
2000	400	0.2	0.22
2000	360	0.18	0.36
2000	320	0.16	0.65
2000	280	0.14	1.36
2000	275	0.137	2

**Tabel 6.** *Mix Design* Optimasi Pasta 85% Semen +15% *Fly Ash*

Semen (gram)	Fly Ash (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
1700	300	800	0.4	0
1700	300	700	0.35	0
1700	300	600	0.3	0
1700	300	500	0.25	0
1700	300	400	0.2	0.15
1700	300	360	0.18	0.21
1700	300	320	0.16	0.35
1700	300	280	0.14	0.69
1700	300	250	0.125	1.8

**Tabel 7.** *Mix Design* Optimasi Pasta 70% Semen +30% *Fly Ash*

Semen (gram)	Fly Ash (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
1400	600	800	0.4	0
1400	600	700	0.35	0
1400	600	600	0.3	0
1400	600	500	0.25	0
1400	600	400	0.2	0.04

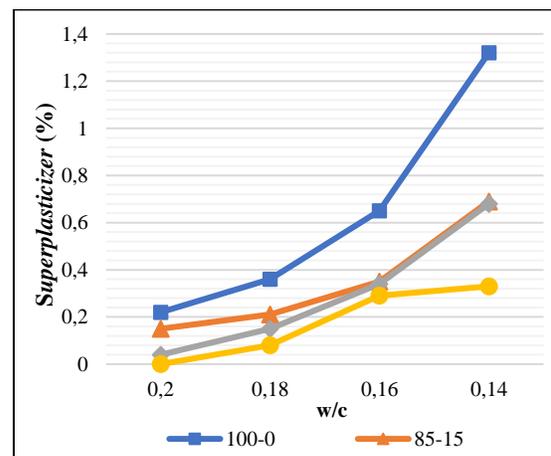
1400	600	360	0.18	0.15
1400	600	320	0.16	0.34
1400	600	280	0.14	0.68
1400	600	240	0.12	1.57
1400	600	220	0.11	1.96

**Tabel 8.** *Mix Design* Optimasi Pasta 50% Semen +50% *Fly Ash*

Semen (gram)	Fly Ash (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
1000	1000	800	0.4	0
1000	1000	700	0.35	0
1000	1000	600	0.3	0
1000	1000	500	0.25	0
1000	1000	400	0.2	0
1000	1000	360	0.18	0.08
1000	1000	320	0.16	0.29
1000	1000	280	0.14	0.33
1000	1000	240	0.12	1.12
1000	1000	210	0.105	1.89

3.2. Analisa *Flow Table Test* dan Kebutuhan SP

Analisa hubungan antara kebutuhan penggunaan *superplasticizer*(SP) dengan *flow* didapatkan dengan secara bertahap menurunkan *w/c* daripada pasta segar agar bernilai serendah mungkin, dengan memanfaatkan SP dengan kadar maksimum sebesar 2% agar pasta segar mencapai *flow* tertentu, sehingga sifat dari *binder* yang dipengaruhi oleh SP dapat dianalisa. Nilai – nilai *w/c* yang digunakan sebagai acuan analisis adalah sebesar 0.2, 0.18, 0.16, dan 0.14. Hasil analisa hubungan antara kebutuhan SP, *w/c*, dan juga tipe kombinasi *binder* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



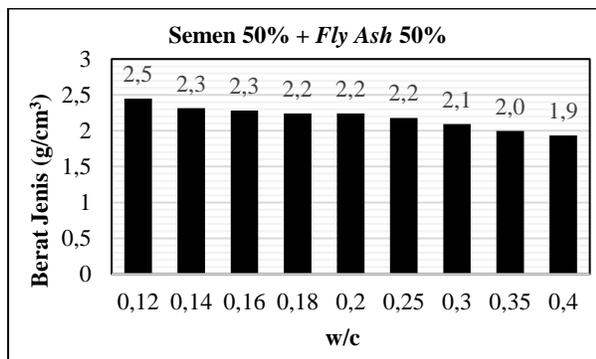
**Gambar 3.** Hubungan antara kadar SP terhadap *w/c* pada beberapa tipe kombinasi *binder*

Dapat dilihat pada Gambar 3, bahwa semakin rendah w/c suatu campuran, maka kebutuhan SP untuk melecakkan/meningkatkan *flow* pasta segar juga meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh menurunnya *flow* dan *workability* daripada pasta segar dengan w/c rendah, sehingga membutuhkan bahan kimia tambahan (*admixture*: SP) untuk dapat melecakkan pasta[7]. Disisi lain, penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen juga memberikan dampak positif bagi *flow* dan *workability*, seperti yang ditunjukkan pada hasil menunjukkan penurunan kebutuhan SP seiring meningkatnya kadar *fly ash*. Hal tersebut disebabkan oleh fenomena yang dinamakan *ball-bearing effect*, dimana partikel *fly ash* yang berbentuk bola (*spherical*) membuat bidang kontak antar partikel menjadi kecil, sehingga meningkatkan *flow* dan *workability* dari pasta segar [7], [8].

### 3.3. Analisa Kepadatan

Kepadatan merupakan hasil perbandingan antara berat terhadap volume. Pada proses Analisa kepadatan, pengukuran berat dan volume dilakukan satu hari sebelum pengujian kuat tekan sampel pasta dilakukan. Pasta yang telah melalui proses *curing*, kemudian dibersihkan permukaannya dalam keadaan SSD, dan diukur berat serta volumenya.

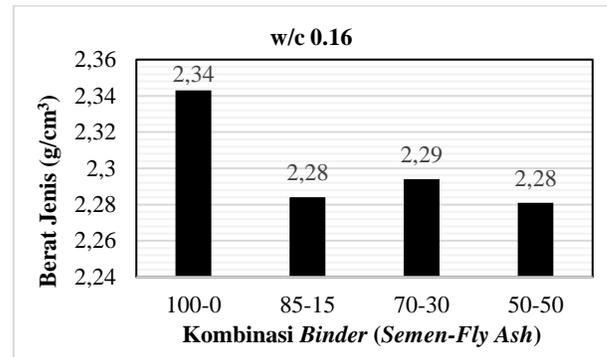
Hubungan antara berat jenis terhadap w/c sampel pasta kombinasi 50% semen + 50% *fly ash* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 4. Semakin rendah w/c daripada suatu campuran, akan mengurangi terbentuknya rongga udara akibat hilangnya molekul air pada sampel. Hal tersebut berkontribusi terhadap kepadatan sampel, dimana semakin kecil w/c, berarti semakin kecil pula air yang dilibatkan dalam proses hidrasi, sehingga partikel *binder* dapat lebih banyak berkontribusi dan menunjang kepadatan yang lebih baik.



**Gambar 4.** Hubungan Berat Jenis terhadap w/c untuk Sampel Pasta Kombinasi 50% Semen + 50% *Fly Ash*

Gambar 5 menunjukkan adanya hubungan berat jenis terhadap *binder* yang digunakan. Untuk

sampel pasta dengan w/c 0.16 pada umur 28 hari, dapat terlihat bahwa terlibatnya *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen berdampak terhadap kepadatan daripada sampel. Berat jenis daripada *fly ash* yang lebih kecil berkontribusi terhadap kepadatan sampel secara keseluruhan, sehingga semakin tinggi *fly ash* digunakan sebagai pengganti *binder*, maka semakin rendah pula berat jenis pasta yang didapatkan.

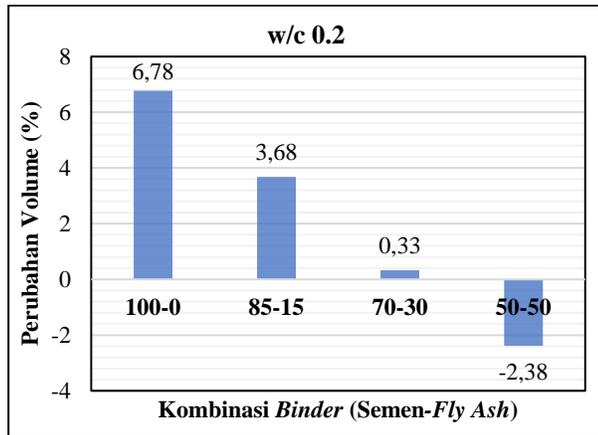


**Gambar 5.** Hubungan Berat Jenis terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.16

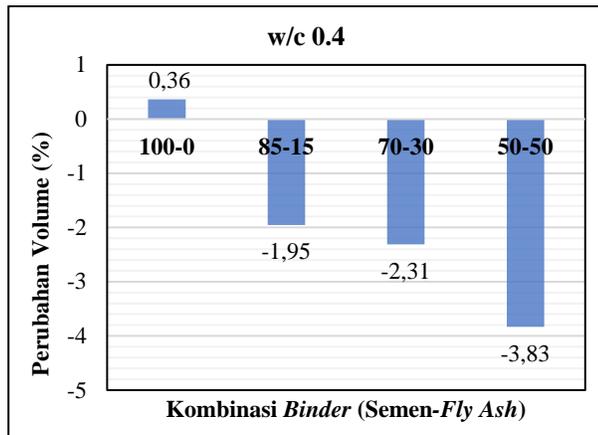
### 3.4. Analisa Perubahan Volume

Dalam pengujian berat volume, *binder* dan air dicampurkan dalam proporsi yang ditentukan ke dalam plastik yang kedap. Setelah mengeras selama 24 jam, sampel diambil dari plastik dan ditimbang berat dan volumenya. Perubahan volume pasta dapat dihitung dengan membandingkan selisih antara volume dan berat teoritis dengan volume dan berat sebenarnya.

Hasil dari perhitungan perubahan volume teoritis dan volume sebenarnya disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7 untuk w/c sebesar 0.2 dan 0.4 secara berurutan. Untuk mendapatkan perubahan volume, dengan cara mengurangi volume teoritis dari volume sebenarnya, kemudian membandingkannya dalam bentuk persentase terhadap volume sebenarnya. Dari hasil yang didapatkan, dapat dilihat bahwa baik keberadaan *fly ash* dalam menggantikan semen dan juga w/c daripada sampel sangat berpengaruh terhadap konsistensi volume sampel. Semakin tinggi kadar *fly ash* didalam pasta, maka akan menimbulkan susut volume dalam jangka pendek. Semakin tinggi w/c daripada sampel, maka susut volume juga semakin besar, yang dapat dikaitkan dengan semakin tingginya kadar air didalam pasta.



Gambar 6. Hubungan antara Perubahan Volume terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.2



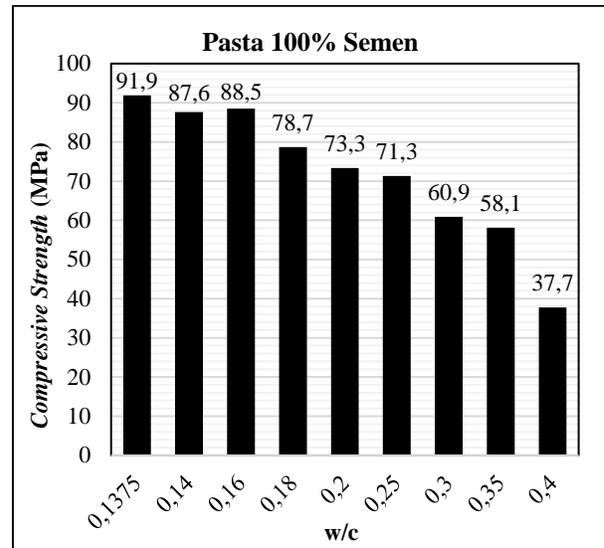
Gambar 7. Hubungan antara Perubahan Volume terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.4

### 3.5. Analisa Uji Kuat Tekan

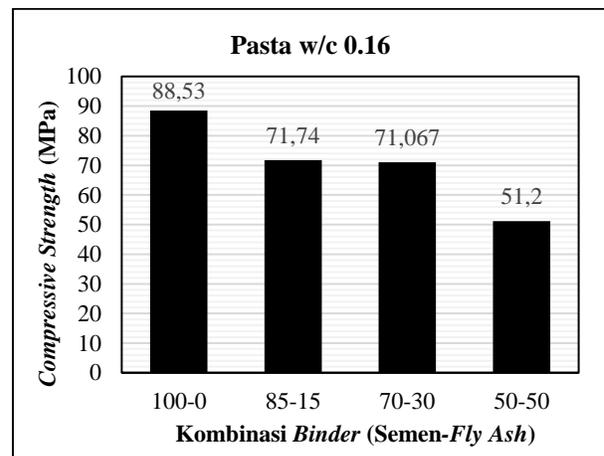
Analisa hubungan antara hasil uji kuat tekan terhadap w/c pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 8. Seiring meningkatnya kadar air yang erat keterkaitannya dengan w/c, maka dapat mengurangi kepadatan dan juga kuat tekan daripada pasta [9]. Penurunan w/c sebesar 65.63% dapat meningkatkan kuat tekan hingga 143.77%.

Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen disisi lain berdampak buruk pada kuat tekan sampel umur 28 hari. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 9, dimana substitusi 50% dari berat semen menggunakan *fly ash*, mengurangi nilai kuat tekan sebesar 42.17%. Walaupun penambahan *fly ash* dapat berdampak baik dalam stabilitas dan kelecakan pasta, namun penurunan kuat tekan yang signifikan perlu diperhitungkan. Hal tersebut dapat terjadi karena kurang

sempurnanya reaksi pozzolan yang terjadi, dimana reaksi pozzolan umumnya mempunyai dampak yang cukup signifikan setelah umur 7 hari, dan berkembang seiring berjalannya waktu, bahkan sampai bertahun tahun, mengakibatkan perkembangan kuat tekan yang belum optimal dibandingkan pada semen pada umur 28 hari [10].



Gambar 8. Hubungan Nilai Kuat Tekan terhadap w/c untuk Sampel Pasta 100% semen



Gambar 9. Hubungan Nilai Kuat Tekan terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.16

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin rendah w/c daripada campuran, maka semakin tinggi juga kebutuhan *superplasticizer* yang harus ditambahkan. Nilai minimum w/c yang dapat digunakan berkaitan erat dengan konsistensi normal dari *binder*.
- Semakin rendah w/c, maka akan semakin padat sampel pasta, yang ditunjukkan dengan nilai berat jenis yang meningkat seiring berkurangnya nilai w/c
- Semakin banyak *fly ash* yang digunakan dalam campuran, semakin sedikit pula *superplasticizer* yang dibutuhkan. Hal ini berkaitan erat dengan bentuk partikel *fly ash* yang seperti bola (*spherical*) yang menimbulkan *ball-bearing effect*.
- Semakin tinggi kandungan *fly ash* didalam pasta, maka semakin rendah pula stabilitas volume pasta setelah reaksi.
- Semakin rendah w/c, maka akan semakin tinggi kepadatannya, yang berdampak pada meningkatnya nilai kuat tekan pasta. Dimana pada sampel dengan *binder* 100% semen pada umur 28 hari, penurunan w/c sebesar 65.63% dapat meningkatkan kuat tekan hingga 143.77%.
- Semakin tinggi kandungan *fly ash*, maka nilai kuat tekan umur 28 hari juga semakin menurun. Hal tersebut diakibatkan karena lambatnya proses reaksi pozzolan yang terjadi akibat keberadaan *fly ash*, sehingga belum mencapai derajat hidrasi yang baik pada umur 28 hari, yang berdampak pada nilai kuat tekan sampel pasta.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kuncoro and H. S. Djayaprabha, “The Effect of Sodium Hydroxide Molarity on the Compressive and Splitting Tensile Strength of Ferronickel Slag-Based Alkali Activated Mortar,” 2021. doi: <https://doi.org/10.14710/mkts.v27i2.32706>.
- [2] A. M. Neville and J. J. Brooks, *Concrete Technology*. London: Trans-Atlantic Publications, 1987.
- [3] S. Pangdaeng, T. Phoo-ngernkham, V. Sata, and P. Chindaprasirt, “Influence of curing conditions on properties of high calcium fly ash geopolymer containing Portland cement as additive,” *Mater Des*, vol. 53, pp. 269–274, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.07.018.
- [4] J. Schulze, “Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars,” *Cem Concr Res*, vol. 29, no. 6, pp. 909–915, Jun. 1999, doi: 10.1016/S0008-8846(99)00060-5.
- [5] V. Živica, “Effects of the very low water/cement ratio,” *Constr Build Mater*, vol. 23, no. 12, pp. 3579–3582, Dec. 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.03.014.
- [6] B. Felekoğlu, S. Türkel, and B. Baradan, “Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete,” *Build Environ*, vol. 42, no. 4, pp. 1795–1802, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.01.012.
- [7] Antoni, J. G. Halim, O. C. Kusuma, and D. Hardjito, “Optimizing Polycarboxylate Based Superplasticizer Dosage with Different Cement Type,” *Procedia Eng*, vol. 171, pp. 752–759, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.442.
- [8] H. Awang, M. H. Ahmad, and M. Z. Al-Mulali, “Influence of kenaf and polypropylene fibres on mechanical and durability properties of fibre reinforced lightweight foamed concrete,” *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 10, pp. 496–508, Apr. 2015.
- [9] S. P. Angdiarto, C. N. Thomas, A. Antoni, and D. Hardjito, “PENGARUH VARIASI WATER/FLY ASH RATIO DAN METODE PENCAMPURAN KALSIUM PADA PASTA 100% FLY ASH TIPE C,” *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [10] A. Kuncoro and T.-P. Chang, “Influences of FGD Gypsum and CCR on Engineering Properties of Class F Fly Ash and GGBFS Based Alkali-Activated Material,” 2021.

