

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

REKAYASA

JURNAL TEKNIK SIPIL



UNIRA
UNIVERSITAS
MADURA

FT
FAKULTAS TEKNIK

Volume 8,
Nomer 2
Desember 2023

REKAYASA JURNAL TEKNIK SIPIL

Media Publikasi Karya Ilmiah di Bidang Teknik Sipil

Volume 8, Nomer 2.

Desember 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 2.

Desember 2023

DAFTAR ISI

- Pengaruh Penggunaan Biji Plastik Jenis Ps (Polystyrene) Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran Aspal Porus**
M. Sa'dillah, Pamela Dinar Rahma, Yogi Supardan Malo 1-8
- Identifikasi Berat Jenis dan Modulus Elastisitas Jenis Kayu yang di Perdagangan di Provinsi Gorontalo**
Sartika Dewi Usman 1 9-14
- Analisis Kinerja Ruas Jalan Ki Ageng Gribig Akibat Pintu Tol Malang-Pandaan**
Blima Oktaviastuti, M.Sadillah, Rifky Aldila Primasworo, Pamela Dinar Rahma, Utin Winny Rizqi 15-20
- Analisis Tingkat Kepuasan Bus Umum Trayek Malang-Surabaya**
Rifky Aldila Primasworo, Pamela Dinar Rahma, Remi Nisda Mela Satoko 21-28
- Penggunaan Algoritma Metaheuristik Untuk Optimasi Finance-Based Scheduling**
Ambrosius Matthew Junius Reynaldo, Doddy Prayogo 29-34
- Redesign Struktur Gedung Rusun dengan Half Slab System dan Balok Precast**
Jaka Propika, Yanisfa Septiarsilia, Dita Kamarul Fitriyah 35-40

PENGARUH PENGGUNAAN BIJI PLASTIK JENIS PS (*POLYSTYRENE*) SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA CAMPURAN ASPAL PORUS

M. Sa'dillah¹, Pamela Dinar Rahma², Yogi Supardan Malo³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi, Jl Telaga Warna, Tlogomas, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur
 E-mail: muhsad93@gmail.com

ABSTRAK: Transportasi merupakan salah satu hal terpenting dalam pembangunan, upaya dalam meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan yaitu dengan memodifikasi campuran aspal. Alasan menjadikan bahan tambah plastik ps adalah memiliki sifat yang sama dengan aspal yaitu termoplastik memiliki nilai penetrasi yang setara dengan aspal pen 60/70. Adapun tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik marshall terhadap pengaruh penambahan biji plastik ps terhadap kinerja aspal porus ditinjau berdasarkan pengujian marshall, cantabro loss dan asphalt flow down. Metode penelitian menggunakan penelitian eksperimental di laboratorium. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode pendekatan aspal pavement association (aapa) 2004., kemudian akan ditambahkan dengan perbandingan bahan biji plastik ps dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% terhadap berat total kao. Dari hasil pengujian karakteristik marshall terdapat beberapa campuran pada aspal porus dengan variasi kadar 4% yang telah memenuhi spesifikasi disyaratkan aspal pavement association (aapa 2004) yaitu pada nilai vma sebesar 34,44%, untuk nilai stabilitas sebesar 862,64 kg sedangkan untuk nilai mq sebesar 2.601 kg/mm. campuran perkerasan jalan diharapkan mampu menghasilkan suatu perkerasan dengan kekuatan yang baik dan ramah lingkungan.

Kata Kunci : PS, Marshall, KAO, Cantabro Loss, Asphalt Flow Down, Aspal Porus.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan Penduduk saat ini di Indonesia khususnya di Nusa Tenggara Timur meningkat pesat dengan meningkatnya mobilitas dan lalu lintas, sehingga pembangunan jalan khususnya penyangga lapis perkerasan harus memberikan rasa aman bagi pengguna jalan. Memodifikasi aspal ke kualitas yang lebih tinggi, seperti menambahkan sampah plastik ke dalam campuran aspal, untuk meningkatkan keamanan perkerasan aspal. Salah satu upaya untuk mengurangi kerusakan jalan akibat kemacetan lalu lintas adalah dengan meningkatkan kualitas campuran aspal dengan cara memperbaiki dan meningkatkan kualitas aspal.[1]

Jalan merupakan factor utama yang mempengaruhi perkembangan di Indonesia. Kualitas jalan berbanding lurus dengan arus lalu lintas. Adapun faktor yang mempengaruhi kualitas jalan yaitu material yang digunakan dalam pembangunan jalan tersebut. Material yang digunakan dalam konstruksi jalan yaitu aspal dan

agregat. Penggunaan aspal murni dalam produksi berdampak signifikan terhadap ketersediaan aspal secara global. Aspal modifikasi digunakan dalam konstruksi jalan untuk meminimalkan penggunaan aspal.[2]

Aspal modifikasi terdiri dari campuran bahan lain yang digunakan sebagai komponen aspal. Pencampuran bahan-bahan ini mengurangi penggunaan aspal, Beberapa bahan yang digunakan sebagai campuran aspal adalah biji plastik PS (*Polystyrene*). Kualitas aspal dapat ditingkatkan dengan penambahan butiran plastik atau polimer pada aspal, namun harga polimer di Indonesia masih relatif tinggi. Aspal sendiri merupakan bahan pengikat yang berperan penting kuat atau tidaknya campuran aspal.

Polystyrene adalah jenis plastik yang terbuat dari monomer styrene melalui proses polimerisasi. *Polystyrene* sangat ringan, kaku, tembus cahaya, mudah rapuh dan murah, tetapi sulit terurai. Polistirena merupakan hasil polimerisasi dari monomer stirena, dimana monomer stirena diperoleh sebagai hasil dari proses dehidrogenasi etilbenzena

(dengan bantuan katalis), sedangkan etilbenzena sendiri merupakan hasil reaksi antara etilen dan etilena.[3]

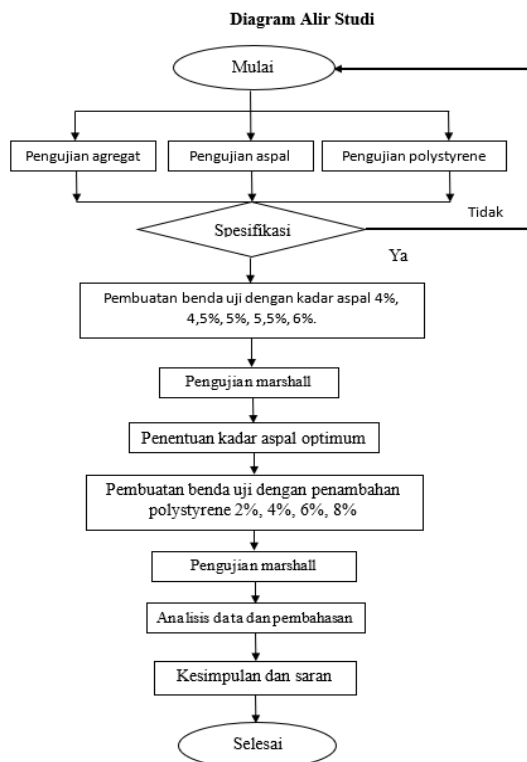
Penelitian ini untuk mengetahui berapa kekuatan aspal dengan menggunakan biji plastik PS (*POLYSTYRENE*) sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal porus. Oleh karena itu, dengan mencoba menggunakan biji plastik tersebut, penulis bermaksud melakukan penelitian berdasarkan pilihan yaitu “Pengaruh Penggunaan Biji Plastik Jenis PS (*Polystyrene*) Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran Aspal Porus”.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian kali ini yang akan dilaksanakan menggunakan metode eksperimen dengan lokasi penelitian yang akan dilaksanakan dalam memenuhi konsep yang sudah dituangkan pada judul di atas, maka akan dilaksanakan penelitian di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang, Jawa Timur, dengan adanya penelitian yang akan dilaksanakan, dan menyesuaikan situasi dan kondisi, maka peneliti belum melampirkan waktunya. Dalam metode akan diterangkan dari diagram aliran penelitian yang dimana sebagai parameter dalam metode penelitian, sehingga ada keselarasan antara metode yang digunakan dalam penelitian ini agar dapat menghasilkan rangkaian yang sesuai dengan diagram aliran penelitian yang diterangkan. Jenis penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, dengan penelitian ini merupakan salah satu tipe penelitian yang pada konsepnya sistematis, organisir dan terstruktur dari penyusunan sehingga desain kerangka penelitian. Dengan ini akan dilakukan pengkajian dan pengujian parameter standar aspal porus dengan bahan tambahan biji plastik PS sebagai patokan pengambilan sampel dan beda uji yang telah ditentukan.

Dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian dengan menggunakan pengujian terdiri dari pengujian agregat seperti aspal, pasir, kerikil dan plastik dengan kode PS dan akan dilakukan pengujian selanjutnya yaitu pengujian Marshall meliputi pengujian karakteristik aspal porus dengan tambahan limbah plastik dan pengujian

karakteristik[4] Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum KAO untuk campuran aspal porus. Dengan ini, maka akan dilakukan pengujian selanjutnya yang di mana menggunakan alat yang sama yaitu Marshall, tujuan dari pengujian Marshall ini untuk mengetahui nilai dari *Polystyrene (PS)*, *Void In Mix (VIM)*, *Void In Mineral Aggregate (VMA)* *Void Filled With Asphalt (VFA)*, *Flow*, (Pelehan), *Stabilitas Dan Marshall Quotient (MQ)*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui campuran aspal porus yang telah dikonsepskan, baik menggunakan material atau bahan tambahan biji plastik PS.[5]. Diagram alir terdapat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

A. Pengujian Karakteristik Aspal.

Pada pengujian karakteristik dalam konsep aspal mencakupi pengujian penetrasi, titik-titik lembek, titik nyala, dan titik bakar. Dengan ini peneliti pun menganjurkan standar yang akan dipakai yang akan dijadikan konsep adalah Standar Nasional yang mencakup: persiapan peralatan sebelum berlangsungnya proses penelitian efektif penelitian dalam konteks waktu.[6]

1. **Persiapan Material.**

Dalam melakukan penelitian langkah utama yang harus diambil adalah menyiapkan material sebelum penelitian berlangsung.

2. **Pemeriksaan Material.**

Pemeriksaan material akan dilakukan dapat dibagi beberapa item.

a. **Agregat**

Agregat yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah biji plastik aspal porus, dengan pengujian mempunyai spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)*.

b. **Aspal**

Aspal yang digunakan dalam penelitian adalah dengan penetrasi 60/70 pengujian berdasarkan spesifikasi bina marga 2010 revisi 3. Hasil pengujian aspal terdapat pada Tabel 1.

Tabel: 1 Pengujian Aspal 60/70

No	Jenis pengujian	Unit	Syarat		Satuan
			Min	Maks	
1	penetrasi	mm	60	79	
2	Titik lembek	°C	48	58	
3	Titik nyala	°C	200	-	mm
4	Titik bakar	°C	200	-	°C
5	Berat jenis	gr/cm ³	1	-	°C
6	permeabilitas	cm	100	-	

c. **Perencanaan Campuran biji Plastik PS**

Pada campuran antara aspal dengan agregat menggunakan bahan tambahan biji plastik PS sebagai pengikat perkerasan yang dimana variasi yang direncanakan oleh peneliti yaitu 2%, 4%, 6% dan 8%. Agar memudahkan dalam proses pelarutan, maka biji plastik PS, yang akan nantinya di campuran ke aspal panas dan diaduk sampai limbah tersebut benar larut dalam aspal.[7]

d. **Perencanaan Campuran**

Dalam perencanaan campuran untuk komposisi campuran untuk benda uji dibuat dengan perbandingan berat campuran menurut nilai tengah gradasi aspal porus yang diambil dari *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)*. Kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran aspal porus dengan diameter dengan agregat maksimum 16 mm berkisar 4% - 6% dengan kadar aspal untuk masing-masing benda uji yang direncanakan kadar aspal optimum (KAO) benda uji dengan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%. Sebagai dasar dalam menentukan kadar aspal optimum.[8]

B. Pembuatan Benda Uji

Setelah dilakukan proses pemeriksaan sifat-sifat aspal, yang di mana meliputi sifat agregat dan pemeriksaan gradasi, maka akan dilakukan pembuatan benda uji sebagai salah satu langkah yang pasti. Dengan memperhitungkan jumlah material yang digunakan terhadap jumlah berat total campuran. Dengan benda uji pencampuran menggunakan metode basah (*wet process*) adalah suatu campuran yang di mana biji plastik akan dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk hingga biji plastik dan aspal panas benar-benar merata atau diaduk sampai homogen, kemudian agregat yang telah dicampur dengan *filler* kemudian di panas yang sudah bercampur dengan cairan plastik. Hasil gradasi agregat terdapat pada Tabel 2.

Tabel: 2 Gradasi Agregat Campuran Aspal porus

Nomor Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifik asi	% Lol os	% Terta han	Berat (gram)
¾	19,0	100	100	0	0
½	13,2	85-100	90	10	120
3/8	9,5	45-70	58	32	384
No. 4	4,75	10-25	17	41	492
No. 8	2,36	7-15	11	6	72
No. 16	1,18	6-12	9	2	24
No. 30	0,6	5-10	7	2	24
No. 50	0,3	4-8	6	1	12
No. 100	0,15	3-7	5	1	12
No. 200	0,075	2-5	3	2	24
PAN	0	0	0	3	36

Nomor Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifik asi	% Lol os	% Terta han	Berat (gram)
Berat Total					1200

1. Pembuatan Benda Uji Untuk Penentuan KAO

Aspal yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji dengan menentukan kadar aspal optimum (KAO) adalah 4% sampai dengan 6% yang nantinya akan dijadikan yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, terhadap berat total yang telah dicampurkan *filler* tanpa variasi tambahan biji plastik PS setiap benda uji dibuat lima benda uji sebagai variasi benda uji, sehingga benda uji menjadi 25 buah benda uji untuk pengujian *Cantabro loss* dan *AFD*, 6 buah benda uji untuk pengujian aspal porus dengan karakteristik Marshall dan 25 benda uji untuk pengujian VIM. Hasil rancangan terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Rancangan penelitian (mix design)

No	Kode Benda Uji	Kadar Aspal Optimum (%)	Berat KAO (gr)	Kadar HDPE (%)	Berat HDPE (gr)	Jumlah Benda Uji (bh)	Total Kebutuhan HDPE (gr)
1	PL.0	5,00	60	0%	0,00	6	0,00
2	PL.2	5,00	60	2%	1,20	6	3,60
3	PL.4	5,00	60	4%	2,40	6	7,20
4	PL.6	5,00	60	6%	3,60	6	10,80
5	PL.8	5,00	60	8%	4,80	6	14,40
Jumlah Total KAO						30	-
Jumlah Total Marshall						30	72,00
Jumlah Total Cantabro Loss						7	72,00
Jumlah Total Asphalt Flow Down						7	72,00
Total Keseluruhan Benda Uji						75	216,00

2. Pengujian Marshall

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan ketahanan stabilitas terhadap karakteristik aspal porus dengan kelelahan *flow* dari campuran aspal. Pengujian ini berpedoman pada AASHTO T-245-74. Alat yang digunakan adalah uji Marshall lengkap dengan nilai karakteristik Marshall yang di mana meliputi *flow*, VMA, VIM, KAO dan stabilitas. Dengan ini pengujian kepekaan terhadap pengaruh air dilakukan sesuai dengan AASHTO T28-89, untuk Marshall dengan versi pada kadar aspal optimum (KAO), benda uji yang dipakai dalam penelitian ini 2x50 tumbukan kemudian dari setiap benda uji akan dihitung nilainya dengan menggunakan SNI 6753:2015, direndam selama 24 jam, kemudian diambil dengan dikeringkan lalu ditimbang dengan benda uji agar mendapatkan nilai benda uji dalam air. Dengan ini benda uji dilap hingga kering dan siap di timbang. Dengan permukaan kering untuk mendapatkan berat total kering.[1] Sebelum dilakukan pengujian, direndam dengan waterbath dengan suhu 60°C selama 30 menit. Setelah itu dilakukan pengujian stabilitas dengan membaca nilai *stabilitas* dan *flow*. Pada pengujian Marshall meliputi pengujian *Flow*, VMA, VIM, KAO, MQ dan stabilitas.[4].

3. Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian ini dilakukan agar dapat mengetahui kekuatan aspal dalam konsep pemeriksaan dengan pelepasan butiran dengan gradasi terbuka. Benda uji ini adalah benda uji ini didiamkan selama satu malam, kemudian dikeluarkan. Dengan ini akan dilakukan pemindahan benda uji selama 7 hari sebelum dimasukkan ke mesin los

anglés dan di putar sebanyak yang tela ditentukan 500 putar tanpa menggunakan bola baja.

4. Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)

Dengan pengujian ini adalah untuk bisa mengetahui kadar aspal optimum (KAO) yang dapat dicampur dengan homogen dengan agregat tanpa dipisahkan aspal. Pengujian aspal *Asphalt Flow down* sebagai berikut:[2]

- Cetakan berdimensi dengan ukuran 20 x 30 cm dan dilapisi dengan kertas, dengan ini berat cetakan ditimbang.
- Dibuat campuran beraspal sebesar 1200gram dan setelah campur merata langsung dituangkan kedalam ke cetakannya dengan dilapisi dengan kertas dan dicatat nilainya.
- Cetakan tersebut dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 170°C selama 1 jam
- Prosedur diulangi sesuai prosedurnya.
- Selanjutnya cetakan tersebut dikeluarkan dari oven dan dituangkan secara cepat campuran beraspal dan dengan berat cetakan yang tertempel oleh agregat, kemudian ditimbang dan di catat nilainya.

5. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) menggunakan metode *Australia Asphalt Association* (2004), maka akan muncul nilai KAO dengan metode ini mensyaratkan beberapa parameter *cantabro loss*, *Asphalt flow down*, VMA, MITM, KAO, MQ dan stabilitas. Dengan ini adapun tahap-tahap sebagai berikut:

- Kadar rongga dalam campuran sebesar 20% untuk mendapatkan kadar aspal maksimum.
- Nilai *Cantabro loss* maksimum 20% untuk mendapatkan kadar aspal minimum
- Kadar aspal diperoleh dari kadar aspal minimum dan maksimum
- Plotting* kadar aspal berupa diagram grafik *asphalt flow down*.

C. Regresi Parametrik

Parametrik adalah salah satu metode pengujian data yang ada di dalam statistik inferensial, dimana akan digunakan untuk menguji hipotesis yang telah dibuat. Hasil pengujian data sampel ini akan dijadikan kesimpulan untuk populasi. Umumnya jika data berdistribusi normal dan sampelnya berukuran besar, maka data bisa diuji dengan statistika parametrik. Sementara jika tidak memenuhi kriteria tersebut maka akan termasuk ke statistika non parametrik. Ukuran besar disini terbilang relatif, namun dikategorikan sebagai sampel yang berukuran besar. [7]

1. Regresi linear

Merupakan model yang menunjukkan hubungan antara satu dependen variabel dengan satu independen variabel. Fungsi regresi linear adalah untuk mengetahui hubungan antara satu variabel bebas dan variabel terikat yang jumlahnya.

2. Regresi linear berganda

Regresi linear berganda pada dasarnya hampir sama dengan regresi linear, akan tetapi, jumlah variabel independennya dapat lebih dari satu. Fungsinya adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh beberapa variabel bebas terhadap variabel tidak bebas dan juga dapat

meramalkan nilai variabel tidak bebas apabila seluruh variabel bebas sudah diketahui nilainya.

Persamaan regresi tersebut sering dibaca sebagai regresi X atas Y terdapat pada Pers (1).

$$Y = a + Bx \dots \dots \dots (1)$$

Ket:

- Y = Variabel kriterium
- x = Variabel predictor
- a = Variabel konstan
- B = Koefisien arah regresi linear
- Hipotesis awal campuran
- Y = Dipengaruhi kinerja aspal porus
- x = Mempengaruhi material PS
- Ho = Tidak ada pengaruh penambahan PS
- H1 = Ada pengaruh penambahan PS

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Gradasi Agregat.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, maka diperoleh nilai karakteristik agregat aspal yang digunakan sebagai bahan bitumen campuran aspal porus. Dengan dilakukan penyaringan mulai dari nomor 3/4 sampai dengan lolos saringan nomor 200. Adapun fraksi- fraksi agregat yaitu terdiri dari agregat kasar 10-14mm, agregat halus terdiri dari 5-10 mm, filler abu batu lolos saringan No. 200 atau tertahan pan itu sendiri, yang akan menghasilkan komposisi campuran bergradasi yang akan dilihat pada tabel dibawah ini.[7]. Hasil gradasi karakteristik aspal terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4 Gradasi Karakteristik Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Limbah Plastik PS.

Nomor Saringan	Ukuran		% Lolos	% Tertahan	Berat (gram)
	Saringan (mm)	Spesifikasi			
3/4	19,0	100	100	0	0
1/2	13,2	85-100	90	10	120
3/8	9,5	45-70	58	32	384
No. 4	4,75	10-25	17	41	492
No. 8	2,36	7-15	11	6	72
No. 16	1,18	6-12	9	2	24
No. 30	0,6	5-10	7	2	24
No. 50	0,3	4-8	6	1	12
No. 100	0,15	3-7	5	1	12
No. 200	0,075	2-5	3	2	24
PAN	0	0	0	3	36
Berat Total					1200

B. Pengujian Agregat Kasar, Halus dan Filler

Dengan hasil pengujian agregat kasar, halus dan filler yang dilaksanakan laboratorium Teknik sipil Universitas Tribhuwana Tungadewi Jalan Telaga warna Blok C, Tlogomas Malang. Bahwah dari hasil pengujian agregat kasar, halus dan filler dengan bahan tambahan aspal limbah plastik PS dengan standar Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004) dapat dilihat hasil pengujian dibawah ini dalam bentuk tabel sebagai berikut.[3]

Tabel: 6 hasil pengujian agregat kasar, halus dan filler.

No	Pengajian Agregat Kasar, Halus dan filler	Spesifikasi		
		Min	Max	Hasil
Agregat Kasar				
1	bj Bluk (gr/cm)	2,5		6,02
2	bj SSD (gr/cm)			6,06
3	bj Semu (gr/cm)			6,25
4	penyerapan %		3,0	0,45
Agregat Halus				
1	bj Bluk (gr/cm)	2,5		2,99
2	bj SSD (gr/cm)			3,08
3	bj Semu (gr/cm)			3,30
4	Penyerapan %		3,0	2,99

C. Pengujian Keausan Agregat

Dari hasil pengujian keausan agregat yang diambil di Tajinan Malang (PT.Piranti Utomo) dan diuji di laboratorium UM Malang, maka dilakukan analisis saringan tertahan No. 1/2 dan 3/8 yang dikelompokkan dengan fraksi B dan menggunakan 11 bola baja. Untuk hasil pengujian Loss Angeles (uji keausan agregat) dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5 Pengujian Keausan Agregat.

Berat Sampel Semula (gr)	Tertahan Saringan No. 12	
	4005	1005
5010	1005	20,0599
		LA = 20,06

Dari hasil pengujian menggunakan mesin Loss Angeles untuk mengetahui keausan agregat dari hasil diatas bahwasanya telah memenuhi standar Australian Asphalt Pavement Association yaitu dengan nilai 20,06 telah memenuhi. Dari nilai tersebut maka, pengujian agregat tersebut dalam kategori lapisan atas dan bawah pada campuran aspal porus.

D. Pengujian Plastik PS.

limbah plastik PS diambil di perusahaan plastik sesuai kode yang sudah direncanakan yaitu PS peneliti dan proses pengujian yaitu dipotong kecil-kecil dengan ukuran 0,4 mm.

E. Pengujian Metode XRF

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan teknik analisa non-destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sample cair.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai studi awal untuk mencari atau mengidentifikasi unsur kimia yang terkandung didalam bahan (Biji Plastik PS) menjelaskan bahwa unsur yang terdeteksi oleh alat uji XRF adalah fospor (P2O5), kalsium (CaO), Besi (Fe2O3), Nikel (NiO), Tembaga (CuO), seng (ZnO), hafnium (HfO2), Rений (Re2O7). Hasil uji unsur yang terdeteksi oleh alat XRF dapat diketahui bahwa logam hasil pengujian mempunyai kandungan unsur seperti yang disebutkan diatas, dengan pembandingan antara satu unsur dan unsur yang lain adalah presentase kandungan unsurnya. Setiap memproduksi logam baja harus diperhatikan kandungan presentasinya karena

kandungan presentase mempengaruhi sifat dan jenis logam. Presentase kandungan unsur setiap logam harus juga sesuai dengan ASTM (American Standard Testing and Metallurgy).[7]

Unsur yang memiliki persentase terbesar adalah unsur Rhenium (Re2O7). Rhenium adalah logam yang sangat langka yang memiliki sejumlah karakteristik yang berbeda yang membuatnya ideal untuk berbagai tujuan hari. Memiliki titik didih tertinggi dari setiap elemen pada tabel periodik, dan memiliki salah satu titik-titik lebur tertinggi. Sebagai hasil dari ini, rhenium ini sering digunakan untuk sifat tahan panas. Rhenium juga digunakan sebagai bahan kontak listrik karena tahan lama dan tahan terhadap korosi akibat percikan api. Termokopel yang terbuat dari renium-tungsten digunakan untuk mengukur suhu hingga 2200°C, dan kawat renium digunakan dalam lampu kilat fotografi. Sangat sedikit informasi yang didapatkan mengenai toksisitas renium. Meski demikian, tetap diperlukan penanganan hati-hati hingga tersedia data terbaru.[2]. Hasil pengujian XRF terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6 Pengujian XRF

No	Compound	Conc Unit
1	P2O5	22 %
2	CaO	10 %
3	Fe2O3	3,9 %
4	NiO	3,4 %
5	CuO	4,1 %
6	ZnO	8,2 %
7	HfO2	18 %
8	Re2O7	30%

Sumber: Hasil Pengujian (2023)

F. Pengujian Aspal

Dari hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 yang diuji di laboratorium Teknik sipil Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang Jl. Telaga warna Blok C Malang Jawa

Timur dengan Acuan spesifikasi Bina Marga 2010, maka akan dilakukan pengujian berat jenis Aspal, Penetrasi, Titik Nyala, Titik Bakar, Titik Lembek dan Daktilitis. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7 Pengujian aspal.

Pengujian	Min	Max	Hasil	Keterangan
1. Penetrasi	60 mm	79 mm	66,60	Memenuhi
2. Berat Jenis	1,0 gr/cm	-	1,034	Memenuhi
3. Titik Nyala	200 c°	-	302	Memenuhi
4. Titik Bakar	200 c°	-	322	Memenuhi
5. Titik Lembek	48c°	-	58	Memenuhi
6. Daktilitis	100 cm	-	146,67	Memenuhi

G. Pengaruh Penambahan Biji Plastik PS

Penentuan kadar aspal porus PS dikaitkan dengan beberapa parameter rencana pengujian aspal porus dengan berstandar *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)* dengan kadar rencana 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%. Dari parameter rencana pengujian parameter pengujian mix design aspal porus dapat memenuhi standar atau memenuhi spesifikasi yang disyaratkan beberapa karakteristik Marshall sehingga nilai tersebut dapat dilampirkan dalam bentuk grafik seperti diatas dari VIM, VMA, Stabilitas Flow dan MQ dari beberapa parameter ini sehingga untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari karakteristik Marshall yaitu 4%. Karakteristik campuran aspal porus tanpa penambahan biji plastik PS memenuhi syarat, maka akan dilampirkan hasil pengujian aspal porus dengan bahan tambahan biji plastik PS seperti pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel:8 Hasil Pengujian Kadar Aspal Porus Dengan Limbah Plastik PS

Parameter Marshall	Spesifikasi	Hasil Pengujian		Kadar PS %					
				0	2	4	6	8	
Stabilitas (Kg)	Maks 500 kg	207,26	-	862,64					
Flow (mm)	2- 6 mm	0,83	-	4,47					
MQ (Kg/mm)	Min 250 Kg	49,73	-	2.601					
VIM (%)	18 – 25%	37,74	-	45,84					
VMA (%)	15 %	34,44	-	38,74					
AFD (%)	Maks 0,3	0,19	-	0,25					
CL (%)	Maks 35	6,21	-	6,90					



VIM atau *Void in Mix* merupakan volume pori yang masih tersisa setelah campuran aspal dipadatkan dan dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan. Semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porus. Dan jika nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding*. Nilai VIM pada pengujian kadar

PS 0%, 2%, 4%, 4%, 6%, dan 8% tidak memenuhi syarat untuk nilai VIM pada campuran aspal porus adalah 18 - 25%. Secara umum semakin ditambah dengan kadar PS maka nilai VIM akan semakin menurun hal ini mengindikasikan bahwa PS tidak mengisi rongga-rongga dalam agregat.

VMA atau *Void in Mineral Aggregate* merupakan volume pori yang masih tersisa setelah

campuran aspal dipadatkan dan dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat. Nilai VMA berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan. Semakin tinggi nilai VMA menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porus. Dan jika nilai VMA yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding*. nilai VMA secara umum mengalami penurunan sejalan dengan penambahan kadar aspal. Pada seluruh kadar aspal nilai VMA memenuhi syarat spesifikasi *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA) 2004, syarat untuk nilai VIM pada campuran aspal porus adalah $> 15 \%$.

Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*), dan kadar aspal dalam campuran. Pemakaian aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal diatas batas maksimum akan menyebabkan menurunnya stabilitas campuran itu sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas tertinggi pada benda uji penelitian yaitu 862,64 kg pada kadar PS 4%. Keseluruhan benda uji penelitian masih memenuhi syarat yang sudah ditentukan oleh *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA) 2004 yaitu nilai stabilitas untuk campuran aspal porus > 500 kg.

Nilai terendah *flow* pada benda uji penelitian yaitu 0,83 mm kemudian nilai *flow* terus menurun seiring bertambahnya kadar PS hingga mencapai 8% dengan nilai 1,37 mm. Benda uji penelitian yang masih memenuhi syarat yang sudah ditentukan oleh *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA) 2004 pada kadar PS 0%, dan 2%. Hal ini disebabkan karena campuran aspal porus dipengaruhi oleh viskositas aspal, penambahan gradasi, suhu dan jumlah pemadatan yang digunakan selain kadar aspal. Akan tetapi campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh pada nilai *flow*. Dapat disimpulkan bahwa aspal porus dengan kadar aspal memiliki nilai kelelahan (*flow*) diatas nilai minimum yaitu 2,00 mm yang menunjukkan campuran bersifat plastis tetapi juga tetap elastis agar memenuhi kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas secara merata.

Nilai *marshall quotient* pada pengujian yang dilakukan terus bertambah seiring dengan bertambahnya kadar PS. Nilai tertinggi *marshall quotient* yang memenuhi syarat yaitu dengan nilai 2.601 kg/mm. Pada benda uji penelitian masih memenuhi syarat yang ditentukan oleh *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA) 2004 yaitu nilai *marshall qoutient* untuk campuran aspal porus minimum 250 kg/mm kecuali 2%.

Penentuan kadar PS optimum ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian aspal porus dengan standar

yang disyaratkan. Dari tabel 11 menunjukkan bahwa pada kadar PS 4%, 6% dan 8% beberapa benda uji memenuhi spesifikasi syarat yang ditentukan oleh *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA) 2004. Dari pengambilan nilai tengah yang memenuhi spesifikasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa campuran aspal porus memenuhi karakteristik *marshall* dan memiliki kadar sebesar 4%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang ditinjau dari pembahasan Bagaimana pengaruh penambahan biji plastik PS terhadap kinerja aspal porus. dapat disimpulkan bahwa perencanaan campuran dengan variasi kadar aspal 4% telah memenuhi spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004) meliputi pengujian VIM, VMA, Stabilitas, Flow dan MQ.

Nilai VIM pada pengujian karakteristik Marshall dengan komposisi biji plastik PS. Nilai VIM tertinggi dapat dilihat pada kadar aspal tambahan biji plastik 0% dengan nilai 45,84% dan nilai VIM terendah dapat dilihat pada kadar plastik 4% dengan nilai 37,74% dan aspal mengalami turun naik karena dengan penambahan biji plastik PS semakin berongga. Adapun nilai rata-rata dari hasil pengujian VIM dengan nilai rongga pada aspal porus yaitu 41,13%.

Plastik jenis *Polystyrene* (PS) dari kadar penambahan plastik optimum sebesar 8,7% dari berat aspal, dapat mempengaruhi parameter karakteristik Marshall nilai stabilitas naik 27,333% dari nilai stabilitas campuran tanpa menggunakan bahan tambah plastik yaitu mengalami kenaikan sebesar 333,50 kg, nilai *flow* naik sebesar 0,59 mm, rongga dalam campuran (VIM) turun sebesar 0,91%, rongga terisi aspal (VFB) naik sebesar 4,00%, hasil bagi Marshall (Marshall Quotient) naik sebesar 41,00 kg/mm dan Berat Isi naik sebesar 0,029 gram/cm³. [6]

5. REFERENSI

- [1] E. E. Putri, H. Hermistanora, and B. M. Adji, "Studi Penggunaan Limbah Styrofoam Pada Perkerasan Aspal Porus," *Rang Tek. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 167–172, 2020, doi: 10.31869/rtj.v3i2.1705.
- [2] M. Zainul Arifin, M. Sadillah, and A. Wicaksono, "Pengaruh Penggunaan Abu Terbang Batubara Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Modulus Resilien Beton Aspal Lapis Aus," *J. HPJI*, vol. Vol 4, no. No 1, pp. 59–66, 2018.
- [3] Eni, "ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK MARSHALL TERHADAP PENAMBAHAN PLASTIK JENIS HDPE PADA CAMPURAN ASPAL DENGAN VARIASI UKURAN PEMOTONGAN PLASTIK," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., no. Mi, pp. 5–24, 1967.
- [4] M. Sa'dillah and A. Leliana, "Karakteristik Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Penambahan Bahan Pengisi Abu Terbang Batubara," *Pros. SENTIKUIN (Seminar Nas. Teknol. Ind. Lingkung. dan Infrastruktur)*, vol. 3, pp. 1–8, 2020.
- [5] N. T. Sembung *et al.*, "Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon," *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 3, pp. 345–352, 2020.

- [6] P. F. Hudoyo, “ANALISIS PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK JENIS *POLYSTYRENE* (PS) SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA CAMPURAN (HRS-WC),” vol. 1, no. 1, pp. 102–114, 2018.
- [7] A. S. N. Syaban, E. Azizah, and W. Wijianto, “ANALISA CAMPURAN ASPAL PORUS MENGGUNAKAN MATERIAL DARI KAKASKASEN KECAMATAN TOMOHON UTARA KOTA TOMOHON,” *J. Keselam. Transp. Jalan (Indonesian J. Road Safety)*, vol. 8, no. 2, pp. 166–173, 2021, doi: 10.46447/ktj.v8i2.404.
- [8] M. Misbah, “Pengaruh Variasi Kadar Agregat Halus Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas Aspal Agregat (Ac-Bc) Dengan Pengujian ...,” *J. Tek. Sipil Itp*, pp. 41–48, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/tsipil/article/view/838>
- [9] C. O. S. Patricia, “PENGARUH SUBSTITUSI STYROFOAM PADA CAMPURAN ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP ASPHALT CONCRETE – WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL,” vol. 3, no. 2, p. 6, 2021.
- [10] Reynaldo, “Ketua Penyunting : Penyunting : Penyunting Pelaksana : Redaksi : Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya Email : REKATS,” *Rekayasa Tek. Sipil Vol.*, vol. 1, no. 1, pp. 144–155, 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Identifikasi Berat Jenis dan Modulus Elastisitas Jenis Kayu yang di Perdagangan di Provinsi Gorontalo

Sartika Dewi Usman¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo
E-mail: sartikadewi@ung.ac.id,

ABSTRAK: Kayu merupakan salah satu bahan alam yang memiliki peranan penting dalam berbagai sektor, termasuk konstruksi. Berat jenis kayu adalah ukuran dari kerapatan atau massa jenis kayu tersebut. Dalam konteks penelitian ini, berat jenis kayu merupakan parameter penting yang dapat memberikan informasi tentang kekuatan dan keawetan kayu. Modulus elastisitas, di sisi lain, mengukur kekakuan kayu dan kemampuannya untuk menahan gaya atau tekanan. Informasi ini sangat diperlukan dalam perencanaan desain struktural, khususnya dalam pemilihan kayu yang tepat untuk aplikasi tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berat jenis dan modulus elastisitas jenis kayu yang diperdagangkan di Provinsi Gorontalo. Berdasarkan pengujian secara fisis melalui pengukuran kadar air selanjutnya diperoleh berat jenis kayu dan modulus elastisitas maka dihasilkan kode mutu dari masing-masing kayu yang diuji yaitu: kayu cempaka = E9, kayu albasia=E10, kayu mahoni = E10, kayu jati merah=E12, kayu lea=E13, kayu deu=E10, kayu lasi = E13, kayu latung=E7, kayu jati putih = E19 dan kayu agatis = E9. Berdasarkan kelas kuat kayu (PKKI, 1961) dari masing-masing kayu yang diuji yaitu : kayu cempaka = III, kayu albasia=III, kayu mahoni = III, kayu jati merah=II, kayu lea=I, kayu deu=III, kayu lasi = I kayu latung=IV, kayu jati putih = III dan kayu agatis = III.

Kata Kunci : Berat Jenis, Modulus Elastisitas

1. PENDAHULUAN

Kayu merupakan salah satu bahan alam yang memiliki peranan penting dalam berbagai sektor, termasuk konstruksi, perabotan, dan industri kreatif. Keberagaman jenis kayu yang tersedia di Provinsi Gorontalo menjadikan daerah ini sebagai salah satu penyuplai kayu yang potensial. Namun, untuk memanfaatkan kayu dengan efektif dan efisien, penting untuk memahami karakteristik fisiknya, seperti berat jenis dan modulus elastisitas.

Berat jenis kayu adalah ukuran dari kerapatan atau massa jenis kayu tersebut. Dalam konteks penelitian ini, berat jenis kayu merupakan parameter penting yang dapat memberikan informasi tentang kekuatan dan keawetan kayu. Modulus elastisitas, di sisi lain, mengukur kekakuan kayu dan kemampuannya untuk menahan gaya atau tekanan. Informasi ini sangat diperlukan dalam perencanaan desain struktural, khususnya dalam pemilihan kayu yang tepat untuk aplikasi tertentu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berat jenis dan modulus elastisitas jenis kayu yang diperdagangkan di Provinsi Gorontalo. Melalui pengumpulan data dan analisis, penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik fisik kayu-kayu tersebut, serta memberikan panduan bagi penggunaan yang optimal di berbagai sektor industri.

Dalam pelaksanaan penelitian ini, akan dilakukan pengambilan sampel kayu dari berbagai jenis yang sering diperdagangkan di Provinsi Gorontalo. Sampel kayu akan diuji berdasarkan metode standar yang telah ditetapkan untuk menentukan berat jenis dan modulus elastisitasnya. Selain itu, faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kayu, seperti tingkat kelembaban, juga akan diperhitungkan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan industri kayu di Provinsi Gorontalo. Informasi yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan kayu yang sesuai dengan kebutuhan dan aplikasi spesifik, serta dapat

meningkatkan efisiensi dan kualitas produk kayu yang dihasilkan.

2. Tinjauan Pustaka

Secara umum, kayu dapat diartikan sebagai jaringan tumbuhan yang mengalami pengerasan dan penebalan sebagai hasil dari proses pertumbuhan pada pohon. Kayu terdiri dari dua komponen utama, yaitu sel-sel hidup dan sel-sel mati. Sel hidup, yang dikenal sebagai sel kayu atau serat, bertanggung jawab untuk transportasi air dan nutrisi dalam pohon. Sementara itu, sel mati membentuk kerangka kayu yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada material.

Struktur kayu ditentukan oleh komponen selulosa, lignin, dan hemiselulosa. Selulosa adalah komponen utama yang memberikan kekuatan pada serat kayu, sedangkan lignin memberikan kekakuan dan kekerasan. Hemiselulosa berperan dalam memberikan elastisitas dan fleksibilitas pada kayu. Proporsi relatif dari komponen-komponen ini berbeda-beda pada berbagai jenis kayu, memberikan karakteristik unik pada setiap spesies.

a. Kadar Air Kayu

Kadar air kayu mengacu pada persentase jumlah air yang terkandung dalam kayu. Kayu alami mengandung air dalam jumlah yang bervariasi tergantung pada jenis kayu, kelembaban lingkungan, dan proses pengeringan yang telah dilakukan. Kadar air kayu merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaan kayu, terutama ketika kayu digunakan untuk keperluan konstruksi atau pengolahan.

Kadar air kayu dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik kayu. Kayu yang masih mengandung kadar air yang tinggi cenderung lebih lembut, rentan terhadap perubahan dimensi, dan kurang tahan terhadap serangan hama kayu atau pembusukan. Kadar air yang tinggi juga dapat menyebabkan perubahan bentuk atau retak pada kayu saat mengering. Hampir semua kekuatan kayu meningkat apabila kandungan air diturunkan.[1]

Oleh karena itu, penting untuk mengontrol dan mengetahui kadar air kayu sebelum digunakan. Pengeringan kayu merupakan proses untuk mengurangi kadar air kayu hingga mencapai tingkat kelembaban yang diinginkan untuk penggunaan tertentu. Biasanya, kayu dikeringkan secara alami atau menggunakan metode pengeringan buatan, seperti oven pengering atau pengeringan dengan aliran udara.

Standar kadar air kayu bervariasi tergantung pada penggunaan kayu tersebut. Misalnya, dalam industri konstruksi, kayu biasanya dikeringkan hingga mencapai kadar air sekitar 12% - 15% sebelum digunakan. Namun, untuk keperluan seperti pembuatan furnitur atau perkakas, kadar air kayu yang lebih rendah mungkin diperlukan, seringkali kurang dari 10%.

Pemahaman tentang kadar air kayu sangat penting untuk menjaga kualitas dan kinerja kayu dalam berbagai aplikasi. Dengan mengendalikan kadar air kayu, kita dapat mengurangi risiko perubahan dimensi, deformasi, atau kerusakan yang disebabkan oleh perubahan kelembaban lingkungan.

b. Kerapatan kayu

Nilai kerapatan kayu mengacu pada berat kayu per satuan volume. Hal ini mencerminkan sejauh mana kayu memiliki kepadatan atau berat relatif terhadap volume yang dimilikinya. Nilai kerapatan kayu umumnya diukur dalam satuan kilogram per meter kubik (kg/m^3) atau pound per kaki kubik (lb/ft^3).

Kerapatan kayu dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis kayu, tingkat kelembaban, dan tingkat kerapatan jaringan kayu. Beberapa jenis kayu memiliki kerapatan yang tinggi, sementara yang lain lebih ringan. Sebagai contoh, kayu jati, kayu ek, dan kayu merbau cenderung memiliki kerapatan yang tinggi, sementara kayu pinus biasanya memiliki kerapatan yang lebih rendah.

Kerapatan kayu memiliki banyak implikasi dalam penggunaannya. Beberapa aspek penting yang dipengaruhi oleh kerapatan kayu antara lain:

1. Kekuatan: Secara umum, kayu dengan kerapatan yang tinggi memiliki kekuatan yang lebih besar. Kayu yang lebih padat dapat memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap beban dan tekanan.

2. Ketahanan terhadap serangga dan pembusukan: Kayu dengan kerapatan tinggi cenderung lebih tahan terhadap serangan serangga dan pembusukan karena jaringan kayu yang lebih padat sulit dijangkau oleh organisme pengganggu.

3. Ketahanan terhadap kelembaban: Kayu dengan kerapatan yang tinggi biasanya memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap perubahan kelembaban. Ini membuatnya lebih tahan terhadap perubahan dimensi, seperti penyusutan dan perubahan bentuk yang disebabkan oleh perubahan kelembaban.

4. Kualitas akustik: Kerapatan kayu juga mempengaruhi karakteristik akustik kayu. Kayu dengan kerapatan yang tinggi cenderung menghasilkan suara yang lebih jelas, resonansi yang lebih baik, dan kualitas suara yang lebih baik ketika digunakan dalam instrumen musik, seperti gitar.

Ketika memilih kayu untuk penggunaan tertentu, penting untuk mempertimbangkan nilai kerapatan kayu.

Tujuan dan kebutuhan spesifik Anda akan menentukan jenis kayu dengan kerapatan yang sesuai. Ada banyak referensi yang tersedia yang memberikan informasi tentang kerapatan kayu berbagai jenis kayu yang umum digunakan, yang dapat membantu Anda dalam memilih kayu yang tepat untuk proyek Anda.

c. Berat Jenis Kayu

Kayu juga memiliki beragam sifat fisik dan mekanik yang penting untuk diperhatikan. Salah satu sifat fisik yang signifikan adalah berat jenis atau massa jenis kayu. Berat jenis mengacu pada massa per unit volume kayu, dan dapat memberikan petunjuk tentang kepadatan dan kekuatan kayu tersebut. Berat jenis adalah rasio antara kerapatan suatu bahan dengan kerapatan air. Berat jenis disebut juga kerapatan relative. Untuk menentukan berat jenis digunakan berat kering oven dan volume pada kondisi basah, kering oven dan pada kadar air 15 % Kayu dengan berat jenis tinggi cenderung memiliki kekuatan yang lebih besar, sedangkan kayu dengan berat jenis rendah biasanya lebih ringan dan mudah untuk diolah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi berat jenis kayu yaitu umur pohon, tempat tumbuh, posisi kayu dalam batang dan kecepatan tumbuh.

Berdasarkan berat jenisnya, ada beberapa istilah kelompok kayu, sebagai berikut pada Tabel 1 dan Tabel 2 [2].

Tabel 1. Kelompok kayu berdasarkan berat jenis

Kelompok Kayu	Berat Jenis
Ringan	< 0,6
Sedang	0,60-0,75
Berat	0,75-0,9
Sangat berat	>0,9

Tabel 2. Kelas kuat kayu berdasarkan berat jenis

Kelas kuat	Berat Jenis
I	>0,9
II	0,60 – 0,90
III	0,40 – 0,60
IV	0,30 – 0,40
V	< 0,3

d. Modulus Elastisitas kayu

Selain itu, modulus elastisitas juga merupakan sifat mekanik penting dari kayu. Modulus elastisitas mengukur kekakuan atau kemampuan kayu untuk menahan gaya atau tekanan. Nilai modulus elastisitas dapat bervariasi tergantung pada jenis kayu dan arah pembebanan yang diterapkan. Pengetahuan tentang modulus elastisitas penting dalam perencanaan desain struktural, karena dapat digunakan untuk memprediksi perilaku kayu saat terkena beban atau tekanan tertentu.

Kayu dikelompokkan berdasarkan kelas kuat kayu [3]. Kelas kuat kayu adalah tingkat ketahanan alami spesies

kayu terhadap beban mekanis (kekuatan) yang terjadi pada kayu tersebut. Modulus elastisitas terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Modulus Elastisitas (Ew) Kayu (Badan Standar Nasional.1961, PKKI NI-5 1961)

Kelas Kuat Kayu	E// (kg/cm ²)
I	125.000
II	100.000
III	80.000
IV	60.000

Desain acuan untuk kayu yang dipilah secara visual dan yang dipilah secara mekanis disajikan dalam Tabel 4 di bawah ini [4].

Tabel 4. Nilai Desain dan Modulus Elastisitas Lentur Acuan (BSN, SNI 7973:2013)

Kode Mutu	Nilai Desain Acuan (Mpa = N/mm ²)					Modulus Elastisitas Acuan (Mpa = N/mm ²)	
	F _b	F _t	F _{c//}	F _v	F _{c⊥}	E	E _{min}
E25	26.0	22.9	18.0	3.06	6.11	25000	12500
E24	24.4	21.5	17.4	2.87	5.74	24000	12000
E23	23.2	20.5	16.8	2.73	5.46	23000	11500
E22	22.0	19.4	16.2	2.59	5.19	22000	11000
E21	21.3	18.8	15.6	2.50	5.00	21000	10500
E20	19.7	17.4	15.0	2.31	4.63	20000	10000
E19	18.6	16.3	14.5	2.18	4.35	19000	9500
E18	17.3	15.3	13.8	2.04	4.07	18000	9000
E17	16.5	14.6	13.2	1.94	3.89	17000	8500
E16	15.0	13.2	12.6	1.76	3.52	16000	8000
E15	13.8	12.2	12.0	1.62	2.24	15000	7500
E14	12.6	11.1	11.1	1.49	2.96	14000	7000
E13	11.8	10.4	10.4	1.39	2.78	13000	6500
E12	10.6	9.4	9.4	1.25	2.50	12000	6000
E11	9.1	8.0	8.0	1.06	2.13	11000	5500
E10	7.9	6.9	6.9	0.93	2.13	10000	5000
E9	7.1	6.3	6.3	0.83	1.67	9000	4500
E8	5.5	4.9	4.9	0.65	1.30	8000	4000
E7	4.3	3.8	3.8	0.51	1.02	7000	3500
E6	3.1	2.8	2.8	0.37	0.74	6000	3000
E5	2.9	1.7	1.7	0.23	0.46	5000	2500

Kuat Acuan Kayu

Kuat acuan kayu adalah proses pemilihan secara mekanis maupun pemilahan secara visual jenis kayu berdasarkan hasil data pengujian.

Dalam menentukan kuat acuan kayu yang berserat lurus tanpa cacat dengan menggunakan rumus baku yang telah ditetapkan sebagai berikut [5].

- a) Kadar air (m%), dihitung dengan Persamaan (1)

$$m = \frac{(W_g - W_d)}{W_d} \times 100\% \tag{Persamaan (1)}$$

Dimana :

m = Kadar air (%)

W_g = berat kayu basah (gram)

W_d = berat kayu kering oven (gram)

- b) Nilai kerapatan dalam kondisi basah dihitung dengan Persamaan (2)

$$\rho = \frac{W_g}{V_g} \tag{Persamaan (2)}$$

Dimana :

ρ = Kerapatan (kg/m³)

V_g = Volume kayu basah (m³)

W_g = Berat kayu basah

- c) Berat jenis pada kadar air m% (G_m) dihitung dengan Persamaan (3)

$$G_m = \frac{\rho}{1000(1 + \frac{m}{100})} \tag{Persamaan (3)}$$

- d) Berat jenis dasar (G_b) dihitung dengan Persamaan (4) dan Persamaan (5):

$$G_b = \frac{G_m}{(1 + 0,265aG_m)} \tag{Persamaan (4)}$$

Dengan

$$a = \frac{30 - m}{30} \tag{Persamaan (5)}$$

- e) Berat jenis kadar air 15% (G) dihitung dengan Persamaan (6)

$$G = \frac{G_b}{1 - 0,133G_b} \tag{Persamaan (6)}$$

- f) Setelah berat jenis pada kadar air 15% diperoleh, selanjutnya berat jenis estimasi modulus elastisitas lentur dapat dihitung pada Persamaan (7) :

$$E_w = 16.500G^{0,7} \tag{Persamaan (7)}$$

- g) Setelah nilai modulus elastisitas lentur E_w diperoleh maka selanjutnya dapat ditentukan kelas kuat kayu dan kode mutu kayu menyesuaikan nilai perolehan modulus elastisitas lentur dengan nilai kuat acuan kayu pada Tabel 3 dan Tabel 4.

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengujian di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Gorontalo. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian sifat fisik kayu.

Untuk tahapan penelitian yaitu persiapan awal mencari kayu sebagai benda uji. Kayu dipilih harus tidak ada mata kayu dan bebas rayap. Benda uji dipotong sesuai dengan standar yang digunakan dana SNI. Selanjutnya kayu diuji sifat fisik yaitu kadar air, berat jenis dan kerapatan. Jenis kayu pada pengujian ini dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nama Perdagangan dan Nama Botanis Kayu di Provinsi Gorontalo

No	Nama Perdagangan di Provinsi Gorontalo	Nama Botanis
1	Cempaka	Elmerrillia ovalis

2	Albasia	Albizia chinensis/ paraserianthes falcataria
3	Mahoni	Swietenia macrophylla
4	Jati Merah	Tectona grandis
5	Lea	
6	Deu	Diospyros celebica
7	Lasi	Adinauclea fagifolia Ridsd
8	Latung	
9	Jati Putih	Tectona grandis
10	Agathis	Agathis dammara

4.	Jati Merah	729,93
5.	Lea	772,85
6.	Deu	501,08
7.	Lasi	769,70
8.	Latung	335,30
9.	Jati Putih	429,41
10.	Agathis	480,30

Dilihat dari hasil perhitungan kerapatan kayu diperoleh nilai tertinggi yaitu kayu lea dengan nilai kerapatan 772,85 kg/m³, kayu lasi 769,70 kg/m³. Nilai terendah kayu jati putih 429,41 kg/m³ dan kayu latung 335,30 kg/m³. Artinya kayu lea dan kayu lasi mempunyai kekuatan, ketahanan terhadap serangga dan ketahanan terhadap serangga yang lebih besar dibandingkan dengan kayu jti putih dan kayu latung.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Uji Kadar Air (m%)

Berdasarkan hasil pengujian kadar air, maka di dapatkan kadar air (m%) seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil penelitian Kadar Air (m)

No	Jenis Kayu	Kadar Air Rata-rata (m %)
1.	Cempaka	15,62
2.	Albasia	19,51
3.	Mahoni	15,97
4.	Jati Merah	15,87
5.	Lea	7,99
6.	Deu	12,03
7.	Lasi	9,44
8.	Latung	10,82
9.	Jati Putih	14,20
10.	Agathis	14,58

Dapat dilihat dalam tabel ini yang memiliki kandungan kadar air paling rendah adalah kayu Lea yaitu sebesar 7,99 % sedangkan kandungan air tertinggi adalah kayu Albasia yaitu 19,51%, hal ini di perkuat oleh [6] bahwa kadar air tertinggi pada jenis Sengon atau Albasia (paraserianthes falcataria) untuk tujuh jenis kayu yang diteliti.

Selanjutnya menyajikan nilai kepadatan kayu yang dihitung menggunakan persamaan 2 yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai kepadatan kayu (ρ)

No	Jenis Kayu	Kepadatan Kayu (ρ)
1.	Cempaka	477,11
2.	Albasia	511,76
3.	Mahoni	538,37

Selanjutnya pada Tabel 8. di bawah ini menyajikan hasil perhitungan berat jenis kadar air m % dengan menggunakan persamaan 3, perhitungan berat jenis dasar dengan menggunakan persamaan 7, dan untuk nilai berat jenis pada kadar air 15% yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 8. Hasil penelitian Kadar Air (m)

Jenis Kayu	Berat jenis kadar air m % (Gm)	a	Berat Jenis Dasar (Gb)
Cempaka	0,41	0,48	0,39
Albasia	0,43	0,35	0,41
Mahoni	0,46	0,47	0,44
Jati Merah	0,63	0,47	0,58
Lea	0,72	0,73	0,63
Deu	0,45	0,60	0,42
Lasi	0,70	0,69	0,62
Latung	0,30	0,64	0,29
Jati Putih	0,38	0,53	0,36
Agathis	0,42	0,51	0,40

Tabel 9. Berat jenis kadar air 15 %

Jenis Kayu	Berat jenis kadar air 15 % (G)	Kelas Kayu
Cempaka	0,41	III
Albasia	0,44	III
Mahoni	0,47	III
Jati Merah	0,63	II
Lea	0,69	II

Deu	0,44	III
Lasi	0,68	II
Latung	0,30	IV
Jati Putih	0,38	IV
Agathis	0,42	III

Dari tabel diatas menyajikan nilai berat jenis pada kadar air 15 %, dimana nilai berat jenis ini menentukan kelas kayu. Kayu yang memiliki berat jenis paling rendah kayu latung dengan nilai 0,3 di kategorikan dalam kelas kayu IV, sedangkan paling tinggi adalah kayu Lea dengan berat jenis 0,69 di kategorikan dan dalam kelas kayu II.

Dari nilai berat jenis, selanjutnya diperoleh nilai Modulus Elastisitas kayu dengan menggunakan persamaan 10. Hasil perhitungan modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Modulus Elastisitas

Jenis Kayu	Modulus Elastisitas	Kode Mutu	Kelas kuat kayu (PKKI, 1961)
Cempaka	8894,63	E9	III
Albasia	9224,21	E10	III
Mahoni	9671,15	E10	III
Jati Merah	11982,93	E12	II
Lea	12667,92	E13	I
Deu	9331,55	E10	III
Lasi	12585,50	E13	I
Latung	7074,43	E7	IV
Jati Putih	8305,54	E9	III
Agathis	8969,22	E9	III

Dari tabel diatas data dilihat, kayu lea dan kayu lasi memiliki nilai modulus elastisitas tertinggi dan termasuk dalam kode mutu kayu E13. Kayu jati merah kode mutu E12, hal ini sejalan dengan [7] dan kelas kuat kayu [3] termasuk dalam kelas kayu I. sedangkan kayu latung memiliki nilai modulus elastisitas terendah dan termasuk dalam kode mutu kayu E7 dan kelas kuat kayu [3].

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian secara fisis melalui pengukuran kadar air selanjutnya diperoleh berat jenis kayu dan modulus elastisitas maka dihasilkan kode mutu dari masing-masing kayu yang diuji yaitu: kayu cempaka = E9, kayu albasia=E10, kayu mahoni = E10, kayu jati merah=E12, kayu lea=E13, kayu deu=E10, kayu lasi = E13, kayu latung=E7, kayu jati putih = E19 dan kayu agatis = E9.

Berdasarkan kelas kuat kayu [3] dari masing-masing kayu yang diuji yaitu : kayu cempaka = III, kayu

albasia=III, kayu mahoni = III, kayu jati merah=II, kayu lea=I, kayu deu=III, kayu lasi = I kayu latung=IV, kayu jati putih = III dan kayu agatis = III.

6. Daftar Pustaka

[1] Awaludin, Ali., dan Irawati, S.I. (2005), *Konstruksi Kayu, Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.*

[2] PIKA. (1979). *Mengenal Sifat-Sifat Kayu Indonesia dan Penggunaannya, KANISIUS, Yogyakarta.*

[3] Badan Standarisasi Nasional. (1961). *Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKINI-5 1961). BSN, Jakarta.*

[4] Badan Standarisasi Nasional. (2013), *Spesifikasi Desain Untuk Kontruksi Kayu SNI 7973:2013. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.*

[5] Badan Standarisasi Nasional. (2002), *SK SNI-5 2002 Tata Cara Konstruksi Kayu Indonesia. BSN, Jakarta.*

[6] Iswanto, A. H. (2008). *Pengujian Modulus Elastisitas Kayu dengan Menggunakan Metode Two Point Loading, Tugas Akhir, Departemen Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara*

[7] Hunggurami, E., Utomo, S., dan Messakh B. (2016). *Identifikasi Kuat Acuan Terhadap Jenis Kayu Perdagangan di Kota Kupang Berdasarkan SNI 7973:2013, Jurnal teknik Sipil, Vol V, No. 2. Universitas Nusa Cendana Kupang.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisis Kinerja Ruas Jalan Ki Ageng Gribig Akibat Pintu Tol Malang-Pandaan

Blima Oktaviastuti¹, M.Sadillah², Rifky Aldila Primasworo³, Pamela Dinar Rahma⁴, Utin Winny Rizqi⁵
^{1,2,3,4,5}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang
E-mail: blima.oktavia90@gmail.com

ABSTRAK: Transportasi merupakan salah satu penggerak atau pendorong pertumbuhan suatu daerah. Meningkatnya pertumbuhan penduduk hingga tingginya perekonomian di suatu perkotaan mengakibatkan fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan masyarakat semakin meningkat. Salah satu kota yang turut mengalami perkembangan yaitu Kota Malang, salah satunya adalah Jalan Ki Ageng Gribig yang merupakan akses menuju jalan tol Malang-Pandaan. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui derajat kejenuhan ruas Jalan Ki Ageng Gribig yang berada di sekitar pintu tol Pandaan-Malang. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan berpedoman pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997. Penelitian dilakukan pada dua bagian ruas jalan, sebelum dan setelah masuk tol. Berdasarkan data yang diperoleh dari survei penelitian, didapatkan hasil kapasitas jalan adalah 1473,45 smp/jam, dengan nilai Q sebesar 2476,1 smp/jam pada ruas jalan bagian 1 dan Q sebesar 3230,9 smp/jam pada ruas jalan bagian 2. Maka diperoleh nilai derajat kejenuhan jam puncak pada ruas jalan bagian 1 adalah 1,68 dan bagian 2 adalah 2,19. Kedua bagian jalan tersebut memiliki nilai F yang menunjukkan bahwa ruas jalan ini berada dalam kondisi jenuh. Sehingga diperlukan perhatian dari masyarakat khususnya pengguna jalan agar dapat memperhatikan pemanfaatan lahan di jalan perkotaan agar tidak mengganggu arus lalu lintas pada jalan Ki Ageng Gribig.

Kata Kunci: Derajat Kejenuhan, Kapasitas, Volume Lalu Lintas

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan salah satu penggerak atau pendorong pertumbuhan suatu daerah. Terdapat 3 elemen sistem transportasi seperti : sistem jaringan, sistem kegiatan dan sistem pergerakan [1]. Namun, masalah transportasi ialah masalah yang sering kali dihadapi oleh negara maju maupun negara yang sedang berkembang seperti halnya Indonesia. Meningkatnya pertumbuhan penduduk hingga tingginya perekonomian di suatu perkotaan mengakibatkan fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan masyarakat semakin meningkat. Masalah transportasi juga dapat disebabkan oleh pertumbuhan kendaraan yang relatif tinggi, infrastruktur yang kurang, pengemudi yang kurang disiplin, serta tingginya pembangunan sekitar jalan [2]. Kurangnya kontrol terhadap jumlah kendaraan bermotor, sudah merugikan banyak pihak. Kerugian yang dirasakan meliputi waktu, kesehatan, dan lingkungan [3].

Salah satu kota yang turut mengalami perkembangan yaitu Kota Malang yang mempunyai beberapa julukan, seperti “Kota Pelajar”, “Kota Bunga”, “Paris of East Java” dan sebagainya. Kota Malang ini pula adalah kota pendidikan di Jawa Timur [4]. Namun, Kota Malang merupakan kota termacet ketiga di Indonesia [5].

Pertumbuhan lalu lintas harus diimbangi dengan meningkatkan transportasi yang memadai untuk menghindari kemacetan [6]. Pemerintah Indonesia terus melakukan pembangunan nasional, salah satunya pemberian sarana prasarana transportasi seperti jalan tol [7]. Kota Malang dengan luas 145,28 km² memiliki jalan tol yang direncanakan pada tahun 2017 dan menjembatani Kota Malang hingga Surabaya yaitu Jalan Tol Pandaan-Malang. Jalan tol ini ialah lanjutan Jalan Tol Gempol-Pandaan dan memiliki rencana panjang 38,48 km serta memiliki 3 wilayah yang dilintasi, yaitu Pasuruan, Kota Malang serta Kabupaten Malang (Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur tanggal 7 Juni 2011, Nomor: 188/282/KPTS/013/2011). Manfaat adanya Jalan Tol Pandaan-Malang antara lain meningkatnya konektivitas masyarakat, mobilitas logistik untuk merevitalisasi perekonomian wilayah Jawa Timur, dan adanya potensi

wisata yang menarik dapat segera dicapai. Tidak hanya mendukung arus mobilisasi orang ataupun logistik, tetapi juga memudahkan transportasi kendaraan, sehingga waktu tempuh antara Kota Malang dan Surabaya hanya dua hingga tiga jam. Jalan tol ini mulai dibangun sejak tahun 2017. Keberadaan jalan tol ini dinilai mampu menurunkan jumlah pengguna jalan nasional Malang-Pandaan, sehingga kemacetan dapat berkurang [8].

Jalan Tol yang memiliki kepanjangan Tax on location (TOL) adalah jalan yang dikenakan pajak di tempat saat melewatinya. Di luar negeri jalan tol disebut Toll Road. Toll berarti biaya dalam bahasa Inggris, artinya ketika melewati jalan tersebut dikenakan biaya. Pengguna jalan tol ini harus membayar tarif yang berlaku dan sesuai untuk menggunakan fasilitas ini. Penerapan tarif berdasarkan pada golongan kendaraan. Gerbang atau gardu tol adalah bangunan atau tempat dikumpulkannya fasilitas tol. Gerbang tol yang berada di Pusat Kota Malang berada di Kelurahan Madyopuro, Kedungkandang, terdapat Jalan Raya Ki Ageng Gribig setelah keluar atau sebelum memasuki jalan tol. Dengan adanya gerbang tol tentu mempengaruhi kinerja pada arus lalu lintas di sekitarnya akibat bertambahnya volume lalu lintas dari pengguna jalan tol yang akan masuk ataupun keluar melewati Jalan Raya Ki Ageng Gribig. Oleh sebab itu dibutuhkan pemecahan kinerja lalu lintas akibat pintu keluar tol Malang-Pandaan terhadap Jalan Raya Ki Ageng Gribig

Berdasarkan data lalu lintas Dinas Perhubungan Tahun 2017, Jalan Raya Ki Ageng Gribig memiliki tingkat pelayanan pada klasifikasi D, artinya jalan ini memiliki indikasi lalu lintas yang padat dan mengalami peningkatan hambatan internal, serta kecepatan hingga pergerakan kendaraan diatur oleh tingginya volume lalu lintas [9]. Intensitas jalan Raya Ki Ageng Gribig cukup tinggi karena jalan ini merupakan salah satu jalan utama [1]. Jalan ini pula merupakan akses utama menuju tol Malang-Pandaan. Menurut Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Malang Tahun 2010-2030, Jalan Ki Ageng Gribig merupakan bagian kawasan strategis untuk pertumbuhan ekonomi di Kota Malang [10].

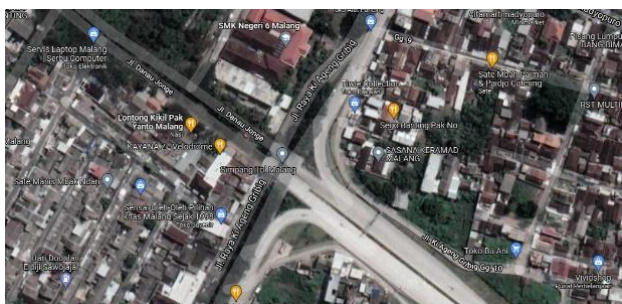
Berdasarkan pemaparan tersebut, tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui tingkat derajat kejenuhan pada ruas Jalan Ki Ageng Gribig yang berada di sekitar pintu tol Pandaan-Malang.

2. Metode Penelitian

Rancangan penelitian menggunakan kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif, serta untuk kegiatan pengumpulan data analisis bersifat angka atau numerik [11]. Data yang diperlukan untuk analisis dapat diperoleh secara langsung di lapangan.

a. Lokasi Penelitian

Berdasarkan judul yang diambil penulis, lokasi penelitian ini terletak di 2 bagian Jalan Raya Ki Ageng Gribig, Kelurahan Madyopuro, Kedungkandang yang memiliki akses menuju Tol Pandaan-Malang. Lokasi penelitian terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

b. Alat

Adapun peralatan yang digunakan untuk mengumpulkan data, yaitu *counter*, meteran, alat tulis dan *handphone*.

c. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer adalah survei lapangan yang melaksanakan pengumpulan data selengkap-lengkapannya [12]. Adapun data primer yang diperlukan meliputi:

- 1) Data Geometrik
 - a) Panjang dan lebar ruas jalan.
 - b) Lebar bahu.
 - c) Lebar median.
 - d) Tipe jalan.
- 2) Data arus lalu lintas
 - a) Arus lalu lintas.
 - b) Volume kendaraan.
 - c) Kecepatan perjalanan kendaraan ringan.

Data sekunder merupakan sumber informasi yang diperoleh melalui perantara atau berdasarkan buku, bukti-bukti yang ada, catatan, atau informasi dari instansi terkait. Data sekunder meliputi:

- 1) Data angka pertumbuhan penduduk Kota Malang (diambil dari kantor BPS Kota Malang)
- 2) Denah lokasi survey (diambil dari google maps)

d. Pelaksanaan Survei

Metode survei merupakan metode yang melaksanakan penelitian di lapangan secara langsung, yang tujuannya ialah untuk menciptakan gambaran yang sistematis, akurat dan aktual dari data yang akan terkumpul

di lapangan. Adapun survei yang dilakukan pada pengambilan data ini yaitu:

1) Survei geometrik

Pada metode ini, peneliti secara langsung melakukan pengamatan di lapangan mengenai kondisi eksisting jalan, khususnya mengenai geometrik jalan.

2) Survei arus lalu lintas

Dipergunakan untuk mendapatkan informasi mengenai arus lalu lintas, seperti volume lalu lintas. Data mengenai volume lalu lintas yang diperlukan dari penelitian ini dipilih dari keadaan jam puncak [13]. Perhitungan arus lalu lintas dilakukan dengan sederhana yaitu menghitung kendaraan-kendaraan yang melewati titik pengamatan.

e. Metode Analisis

Metode yang dipakai dalam analisis derajat kejenuhan adalah terdapat pada Persamaan (1)

$$DS = Q/C \quad \text{Persamaan (1)}$$

dimana derajat kejenuhan didapat dari volume arus lalu lintas dibagi dengan kapasitas.

1) Volume Arus Lalu Lintas

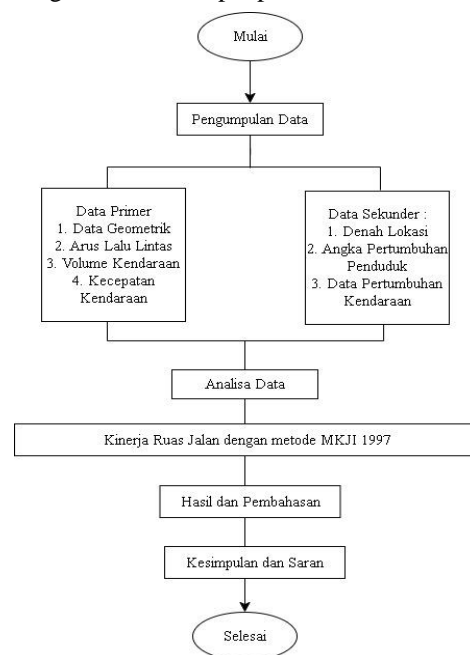
Merupakan jumlah kendaraan yang lewat dari satu titik di ruas jalan tertentu dalam jangka waktu tertentu [14]. Berdasarkan data kendaraan yang diperoleh di lapangan, maka akan didapatkan jumlah kendaraan perjam. Sehingga data kendaraan pada jam puncak dapat digunakan untuk analisis derajat kejenuhan. Nilai arus lalu lintas (Q) memperlihatkan komposisi lalu lintas dan menyatakan arus lalu lintas dengan smp atau satuan mobil penumpang [15].

2) Kapasitas

Kapasitas jalan memiliki tujuan untuk menunjukkan jumlah ruang maksimum yang tersedia untuk arus lalu lintas pada kondisi tertentu yang berdasarkan kondisi jalan [16]. Menentukan nilai kapasitas (C) menggunakan Persamaan (2):

$$C = C_0 \times FCW \times FCSP \times FCSF \times FCCS \quad \text{Persamaan (2)}$$

Untuk diagram alir terdapat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Alir

3. Hasil Penelitian

a. Volume Lalu Lintas

Sesuai dengan uraian di Tabel 1, diperoleh jam puncak untuk ruas jalan bagian 1 pada hari minggu pukul 10:00-11:00 WIB dengan total kendaraan 2476,1 smp/jam.

Titik Puncak Bagian 1 (Minggu)					
Periode Waktu	MC unit	LV unit	HV unit	Total unit	smp
10:00 - 10:15	837	354	27	1218	556,5
10:15 - 10:30	1004	362	31	1397	603,1
10:30 - 10:45	1053	382	33	1468	635,5
10:45 - 11:00	1017	436	32	1485	681
TOTAL/JAM	3911	1534	123	5568	2476,1

Tabel 1. Volume Lalin Jam Puncak Bagian 1 (Minggu)

Berdasarkan uraian di Tabel 2, diperoleh jam puncak untuk ruas jalan bagian 2 di hari minggu pada jam 11:00-12:00 dengan total kendaraan 3230,9 smp/jam.

Tabel 2. Volume Lalin Jam Puncak Bagian 2 (Minggu)

Titik Puncak Bagian 2 (Minggu)					
Periode Waktu	MC unit	LV unit	HV unit	Total unit	smp
11:00 - 11:15	1094	514	31	1639	773,1
11:15 - 11:30	1180	493	26	1699	762,8
11:30 - 11:45	1325	496	13	1834	777,9
11:45 - 12:00	1301	627	23	1951	917,1
TOTAL/JAM	4900	2130	93	7123	3230,9

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Pradana bahwa hasil survey lalin paling tinggi pada ruas jalan ke arah Binjai-Semarang adalah di hari minggu yang memiliki total 12691 kendaraan/hari, dengan perhitungan LHR pada volume tertinggi terjadi pada pukul 10:00-11:00 WIB, total kendaraan 5568 unit kendaraan pada ruas jalan bagian 1 dan pukul 11:00-12:00 WIB, total kendaraan 7123 unit kendaraan pada ruas jalan bagian 2 [17].

b. Kapasitas Jalan

Arus maksimum lalin kendaraan yang bisa dipertahankan dalam beberapa situasi, seperti geometrik, faktor lingkungan, distribusi arah, serta komposisi lalu lintas [18]. Perhitungan kapasitas jam puncak, volume lalu lintas di 2 bagian ruas jalan yang diteliti, menggunakan tahapan seperti berikut:

1) Kapasitas Dasar

Berdasarkan MKJI untuk jalan 4 jalur berpembatas median atau jalan satu arah, nilai kapasitas dasarnya adalah 1.650 smp/jam per jalur [19].

2) Faktor Penyesuaian Kapasitas

Berdasarkan data eksisting Jalan Ki Ageng Gribig diperoleh faktor-faktor penyesuaian dengan menyesuaikan pedoman dari MKJI [19] meliputi:

- a) FC_w atau faktor koreksi pengaruh lebar jalur lalu lintas pada jalan kota dengan tipe jalan terbagi 4 lajur dengan lebar efektif jalur 3,50 m ialah 1,00.
- b) FC_{sp} . Jalan terbagi serta jalan satu arah, faktor koreksi kapasitas sebagai pemisah arah tidak bisa

diterapkan, jadi nilai FC_{sp} untuk jalan Ki Ageng Gribig adalah 1,0.

- c) FC_{sf} . Nilai faktor penyesuaian pada lingkungan komersial dengan hambatan samping yang rendah sebesar 0,95.
- d) F_{cs} atau faktor penyesuaian ukuran kota adalah 0,94, untuk Kota Malang dengan jumlah penduduk 844.933 jiwa.

Setelah didapatkan nilai kapasitas dasar dan faktor-faktor penyesuaian kapasitas jalan, maka nilai kapasitas dapat dilihat pada perhitungan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Analisa Kapasitas Jalan Ki Ageng Gribig

No.	Faktor Penyesuaian	Nilai
1	Kapasitas Dasar (C_0)	1650
2	Faktor koreksi kapasitas pada lebar jalan (FC_w)	1,0
3	Faktor koreksi kapasitas pemisah arah (FC_{sp})	1,0
4	Faktor penyesuaian kapasitas disebabkan hambatan samping (FC_{sf})	0,95
5	Faktor penyesuaian kapasitas ukuran kota/populasi (F_{cs})	0,94
$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times F_{cs}$ (smp/jam)		1473,45

Berdasarkan uraian di Tabel 3 tersebut, diperoleh nilai kapasitas jalan Ki Ageng Gribig adalah 1473,45.

c. Analisis Derajat Kejenuhan

Merupakan rasio aliran/arus (Q) terhadap kapasitas (C), yang merupakan penentu utama yang digunakan untuk menentukan kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menjelaskan ada atau tidak masalah kapasitas pada ruas jalan [20].

Derajat kejenuhan ruas jalan bagian 1 dengan nilai Q pada jam puncak (10:00-11:00) yaitu sebesar 2476,1 smp/jam dengan nilai $C = 1473,45$ smp/jam. Maka, nilai DS adalah:

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{2476,1}{1473,45} = 1,68$$

Derajat kejenuhan pada ruas jalan bagian 2 dengan nilai Q saat jam puncak (11:00-12:00) yaitu sebesar 3230,9 smp/jam dengan nilai $C = 1473,45$ smp/jam. Maka nilai DS adalah:

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{3230,9}{1473,45} = 2,19$$

Berdasarkan hasil dari derajat kejenuhan pada jam puncak diperoleh nilai DS pada ruas jalan bagian 1 adalah 1,68, nilai tersebut menunjukkan bahwa jalan tersebut dalam kondisi jenuh dan tingkat pelayanan F. Sedangkan pada ruas jalan bagian 2 nilai $DS = 2,19$, maka ruas jalan tersebut berada dalam kondisi jenuh dan tingkat pelayanan F.

Derajat kejenuhan di jalan arteri Binjai-Semarang diperoleh hasil 0,47, maka tingkat pelayanan pada jalan ini ialah C ($DS = 0,45 < V/C < 0,74$), dimana arus stabil, kecepatannya dipengaruhi dari lalu lintas, serta volumenya sesuai untuk jalan-jalan perkotaan [17].

Nilai derajat kejenuhan rata-rata selama satu minggu selama 24 jam pada Jalan Ki Ageng Gribig bagian 1 dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Derajat Kejenuhan Rata-Rata Jalan Ki Ageng Gribig Bagian 1

Waktu	Derajat Kejenuhan Rata-Rata Jalan Ki Ageng Gribig Bagian 1			
	Vol. Total	Vol. Rata-Rata	Kapasitas	DS
06:00-07:00	8432	1204,60	1473,45	0,82
07:00-08:00	10154	1450,54	1473,45	0,98
08:00-09:00	11226	1603,70	1473,45	1,09
09:00-10:00	12213	1744,66	1473,45	1,18
10:00-11:00	14188	2026,80	1473,45	1,38
11:00-12:00	13851	1978,70	1473,45	1,34
12:00-13:00	13278	1896,86	1473,45	1,29
13:00-14:00	13138	1876,91	1473,45	1,27
14:00-15:00	12878	1839,66	1473,45	1,25
15:00-16:00	12644	1806,21	1473,45	1,23
16:00-17:00	13972	1996,04	1473,45	1,35
17:00-18:00	12769	1824,11	1473,45	1,24
18:00-19:00	13455	1922,07	1473,45	1,30
19:00-20:00	11780	182,80	1473,45	1,14
20:00-21:00	9980	1425,71	1473,45	0,97
21:00-22:00	8312	1187,37	1473,45	0,81
22:00-23:00	5881	840,16	1473,45	0,57
23:00-24:00	3034	433,36	1473,45	0,29

Nilai derajat kejenuhan rata-rata selama satu minggu dengan durasi 24 jam pada Jalan Ki Ageng Gribig bagian 2 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Derajat Kejenuhan Rata-Rata Jalan Ki Ageng Gribig Bagian 2

Waktu	Derajat Kejenuhan Rata-Rata Jalan Ki Ageng Gribig Bagian 2			
	Vol. Total	Vo. Rata-Rata	Kapasitas	DS
06:00-07:00	8041,1	1148,73	1473,45	0,78
07:00-08:00	9847,1	1406,73	1473,45	0,95
08:00-09:00	11040,8	1577,26	1473,45	1,07
09:00-10:00	12056,7	1722,39	1473,45	1,17
10:00-11:00	14059,5	2008,50	1473,45	1,36
11:00-12:00	15552,6	2221,80	1473,45	1,51
12:00-13:00	14602,1	2086,01	1473,45	1,42
13:00-14:00	13415	1916,43	1473,45	1,30
14:00-15:00	12625,7	1803,67	1473,45	1,22
15:00-16:00	12681	1811,57	1473,45	1,23
16:00-17:00	13435,9	1919,41	1473,45	1,30
17:00-18:00	12524	1789,14	1473,45	1,21
18:00-19:00	13472,8	1924,69	1473,45	1,31
19:00-20:00	11385,9	1626,56	1473,45	1,10
20:00-21:00	9085,1	1297,87	1473,45	0,88

21:00-22:00	7102	1014,57	1473,45	0,69
22:00-23:00	4561,6	651,66	1473,45	0,44
23:00-24:00	2595,8	370,83	1473,45	0,25

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 bisa terlihat bahwa Jalan Ki Ageng Gribig mempunyai nilai DS rata-rata pada pukul 06:00-07:00 di ruas jalan bagian 1 yaitu 0,82 dan ruas jalan bagian 2 yaitu 0,78, sehingga pada jam tersebut kondisi arus bernilai D. Kemudian, pada pukul 07:00-08:00, ruas jalan bagian 1 memiliki nilai DS rata-rata yaitu 0,98 dan bagian 2 yaitu 0,95 sehingga ruas jalan tersebut memiliki nilai E. Selanjutnya, pada pukul 08:00-20:00 nilai DS pada ruas jalan ini melebihi satu (>1) maka kondisi ruas jalan tersebut bernilai F. Pada pukul 20:00-21:00 nilai DS pada ruas jalan bagian 1 sebesar 0,97 dan bagian 2 sebesar 0,88, menunjukkan nilai pada dua bagian ruas jalan tersebut yaitu E. Pada pukul 21:00-22:00 ruas jalan bagian satu memiliki DS sebesar 0,81 (E) dan bagian 2 sebesar 0,69 (C). Pada pukul 22:00-23:00 ruas jalan bagian 1 memiliki nilai DS 0,57 (C) dan ruas jalan bagian 2 senilai 0,44 (B). Pukul 23:00-00.00 memiliki nilai DS ialah sebesar 0,29 dan 0,25 (B).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil survei pada lokasi penelitian yang kemudian dianalisis data, maka diperoleh nilai derajat kejenuhan pada ruas Jalan Raya Ki Ageng Gribig di sekitar pintu tol Pandaan-Malang pada jam puncak adalah 1,68 dan pada ruas jalan bagian 2 adalah 2,19. Kedua bagian jalan tersebut memiliki nilai F yang menunjukkan bahwa ruas jalan dalam kondisi jenuh.

5. Daftar Puataka

- [1] O. Y. Putra and Sardjito, "Pengendalian Pemanfaatan Ruang Terhadap Kinerja Jalan di Koridor Jalan Raya Ki Ageng Gribig Kota Malang," *J. Transp.*, vol. 2, no. 2, pp. A55–A61, 2019, [Online]. Available: <https://iptek.its.ac.id/index.php/jtsmi/article/view/5038/4232>.
- [2] S. M. Utari, "STUDI KINERJA LALU LINTAS PADA RUAS JALAN ABDUL KADIR KOTA PAREPARE," *KARAJATA Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 66–70, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata/article/view/896/873>.
- [3] B. Oktaviastuti, "Urgensi pengendalian kendaraan bermotor Di indonesia," *Rekayasa J. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 5–8, 2017, [Online]. Available: http://ejournal.unira.ac.id/index.php/jurnal_rekayasa_teknik_sipil/article/view/188.
- [4] D. Ratnaningsih, Wahiddin, and M. F. Subkhan, "PENGARUH PANDEMI C19 PADA KINERJA RUAS JALAN SOEKARNO HATTA KOTA MALANG," *SNTST*, vol. 2, pp. 1–5, 2021.
- [5] W. Fizrinyani and E. Maharani, "Malang Termacet Ketiga di Indonesia," *REPUBLIKA*, Malang, 2018.
- [6] A. Fakhurozi, A. D. Ningrum, and R. Amanda, "KAJIAN STUDI DAMPAK PEMBANGUNAN JALAN TOL TRANS SUMATERA (JTTS) TERHADAP INFRASTRUKTUR DAN LINGKUNGAN," *J. Ilm. Penal. Dan Penelit. Mhs.*,

- vol. 4, no. 1, pp. 14–29, 2020.
- [7] M. I. Dwiylianto, M. R. Akbar, H. Bowoputro, and A. Wicaksono, “DAMPAK RENCANA AKSES JALAN TOL PANDAAN-MALANG TERHADAP JALAN ASRIKATON, AMPELDENTO, SEKARPURO DAN KI AGENG GRIBIG,” *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 3, 2018, [Online]. Available: <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/734>.
- [8] C. A. C. Roby, S. Hariyani, and A. Yudono, “PENGARUH PENGALIHAN PENGGUNA JALAN TOL MALANG-PANDAAN TERHADAP TINGKAT PELAYANAN JALAN NASIONAL MALANG-PANDAAN,” *Plan. Urban Reg. Environ.*, vol. 10, no. 2, pp. 33–44, 2021.
- [9] E. D. Himawan, B. S. Waluyo, and N. Firdausiyah, “TINGKAT PELAYANAN JALAN BERDASARKAN INTERAKSI JALAN-GUNALAHAN DI JALAN RAYA KI AGENG GRIIBIG,” *Plan. Urban Reg. Environ.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, 2021, [Online]. Available: <https://purejournal.ub.ac.id/index.php/pure/article/view/4/5>.
- [10] Peraturan Daerah (PERDA), “Peraturan Daerah (PERDA) tentang RENCANA TATA RUANG WILAYAH KOTA MALANG TAHUN 2010 - 2030.” 2011, [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/50684>.
- [11] J. W. Creswell, *Research Design: Pendekatan Metode Kualitatif, Kuantitatif, dan Campuran*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2016.
- [12] Mellia, “Analisis Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang Kendaraan Berat pada Jalan Raya Terbanggi Besar Lampung Tengah,” *Pros. Semin. Nas. Keinsinyuran*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2021, [Online]. Available: <https://snip.eng.unila.ac.id/ojs/index.php/snip/article/view/117/78>.
- [13] F. Rosyad and C. A. Putra, “ANALISA KINERJA RUAS JALAN DEMANG LEBAR DAUN KOTA PALEMBANG,” in *Bina Darma Conference on Engineering Science*, 2020, pp. 622–630, [Online]. Available: <https://conference.binadarma.ac.id/index.php/BDCE/article/download/2666/941/>.
- [14] Elianora, H. Saut, and C. Safira, “Analisis pengaruh Derajat Kejenuhan dan Kecepatan Kendaraan Terhadap Tingkat Pelayanan Jalan Arifin Ahmad Pekanbaru,” *JURNAL INOVTEK SERI Tek. SIPIL DAN Apl.*, vol. 3, no. 1, pp. 59–65, 2021, [Online]. Available: <http://ejournal.polbeng.ac.id/index.php/tekla/article/view/2127>.
- [15] A. Wardani and W. A. Ilonka, “Analisis Lalu Lintas Terhadap Kapasitas Jalan Jolotundo Kota Semarang,” *ENVIRO J. Trop. Environ. Res.*, vol. 24, no. 2, pp. 47–53, 2022, doi: <https://doi.org/10.20961/enviro.v24i2.70719>.
- [16] A. Setiawan, I. Yunus, and M. Kasmuri, “ANALISA KINERJA RUAS JALAN PADA JALAN PARAMESWARA KOTA PALEMBANG,” *lmiah TEKNO*, vol. 15, no. 2, pp. 11–22, 2018, [Online]. Available: <https://journal.binadarma.ac.id/index.php/jurnaltekn/article/view/646>.
- [17] S. Pradana, “Pengaruh Gerbang Tol Binjai-Semayang Terhadap Kinerja Ruas Jalan Kilometer 12 Diski (Studi Kasus),” *J. Ilm. Mhs. Tek. [JIMT]*, vol. 1, no. 4, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/749/pdf>.
- [18] S. Abadiyah, R. A. Safitri, and M. Shofi'i, “ANALISA PENGARUH AKTIVITAS PASAR TERHADAP KINERJA RUAS JALAN (STUDI KASUS: JALAN RAYA SERANG-PASAR CIKUPA),” *J. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 9–18, 2022.
- [19] Direktorat Jenderal Bina Marga, “Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).” Jakarta, 1997.
- [20] A. Rokhman, D. Putri, and S. D. Siswoyo, “Analisis Ruas Jalan Nasional Klari Kabupaten Karawang Menggunakan Metode MKJI1997,” *J. FORUM Mek.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2022, doi: <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v11i1.1635>.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisis Tingkat Kepuasan Bus Umum Trayek Malang-Surabaya

Rifky Aldila Primasworo¹, Pamela Dinar Rahma², Remi Nisda Mela Satoko³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Sipil Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang

Email : rifky.aldila@unitri.ac.id, pamela.dinar@unitri.ac.id, melasatokoll1@gmail.com

Terminal Arjosari merupakan salah satu terminal bus yang ada di Kota Malang dengan tipe terminal A yang merupakan penyedia jasa dan pelayanan angkutan penumpang. Terminal Arjosari terletak di Jalan Raden Intan No.1 Kecamatan Blimbing Kota Malang yang merupakan terminal terpadu. Ada tiga analisis yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: a) analisis kinerja, b) analisis IPA. Data primer diperoleh melalui observasi, wawancara, kuisioner, dan dokumentasi dengan jumlah sampel sebanyak 100 responden, sedangkan data sekunder diperoleh dari Instansi, jurnal, literatur, dan internet. Dari hasil Analisa kinerja terdapat empat perolehan kriteria kurang dari kinerja seperti *Headway*, *Load factor* di jam sibuk, *Load Factor* diluar jam sibuk dan Frekuensi. Dalam analisis IPA terdapat 5 atribut yang termasuk dalam kuadran 1, dimana kelima atribut tersebut adalah kebersihan pada bus tidak terjaga, perilaku sopir kepada penumpang berstatus pelajar tidak ramah, Ibu hamil, Lansia, Difabel dan anak-anak tidak mendapatkan prioritas saat naik dan turun bus, waktu keberangkatan dan waktu tiba tidak sesuai jadwal dan bus selalu mengambil penumpang diluar terminal.

Kata kunci: Terminal tipe A, Kinerja Terminal, *Importance Performance Analysis/IPA*

1. PENDAHULUAN

Pelayanan transportasi umum memegang peran yang sangat penting dalam mencapai pertumbuhan ekonomi, pelayanan angkutan umum tersebut memerlukan pertimbangan yang serius. Pelayanan angkutan umum adalah bagian penting dari pertumbuhan ekonomi, karena berkaitan dengan jasa, barang, dan pekerjaan serta merupakan inti dari pergerakan ekonomi di kota, perkembangan diwarnai oleh berbagai jenis angkutan umum beserta karakteristik dan tingkat pelayanannya, system transportasi diusulkan yang harus ditujukan untuk kenyamanan dan keselamatan penumpang, yang menciptakan persaingan dengan angkutan umum lainnya. (Juniarto, 2020) [1] saat ini angkutan umum masih banyak digunakan dipertokoan karena mudah dijangkau dengan biaya yang murah. Oleh karena itu, angkutan umum sebagai sarana transportasi yang handal harus memiliki pelayanan yang baik untuk memuaskan masyarakat.

Kota Malang adalah salah satu kota terbesar di provinsi Jawa Timur, Indonesia. Kota Malang terletak 90km sebelah selatan Surabaya dan merupakan kota terbesar kedua di Jawa Timur setelah Surabaya. Selain itu, Kota Malang juga dikenal sebagai kota Pendidikan karena memiliki banyak sekolah dan Universitas. Hal ini menjadi salah satu penyebab padatnya lalu lintas di Kota Malang yang dibutuhkan transportasi untuk menunjangnya [2]. Kota Malang menjadi target market bagi operator jasa angkutan bus yang melayani berbagai destinasi di kota-kota di Indonesia. Salah satunya rute Malang-Surabaya yang dapat memberikan kontribusi besar bagi para operator krena jalur tersebut banyak digunakan oleh Masyarakat Kota Malang untuk bepergian keluar Kota Malang dan sebaliknya masyarakat Surabaya.

Terminal Arjosari merupakan salah satu terminal bus yang ada di Kota Malang dengan tipe terminal A yang merupakan penyedia jasa dan pelayanan angkutan penumpang. Terminal Arjosari terletak di Jalan Raden Intan No.1 Kecamatan Blimbing Kota Malang yang merupakan terminal terpadu. Lalu lintas penumpang bus dibagi menjadi dua yaitu lalu lintas penumpang Antar Kota Dalam Provinsi (AKDP) dan lalu lintas Antar Kota

Antar Provinsi (AKAP). Untuk angkutan penumpang AKDP, angkutan melayani lintas provinsi sedangkan angkutan AKAP melayani lintas-lintas provinsi. Selain memperlancar pergerakan angkutan penumpang hal ini akan meningkatkan perekonomian daerah. Pertumbuhan wilayah ditandai dengan meningkatkannya aktivitas dan mobilitas penduduk oleh karena itu diperlukan sarana transportasi untuk melayani aktivitas dan pergerakan masyarakat [3]

Kepuasan penumpang merupakan tingkat kepuasan konsumen setelah hasilnya dibandingkan membandingkan dengan harapan. Jika seseorang merasa puas dengan pelayanan angkutan umum maka akan terus menggunakan angkutan umum. Salah satu jenis angkutan umum yang paling umum adalah bus. Biasanya masyarakat seperti pelajar atau pekerja menggunakan bus dari berbagai daerah menuju Kota Malang atau sebaliknya. Untuk meningkatkan kepuasan masyarakat maka bus harus meningkatkan kualitasnya. Tujuan keberadaan angkutan khususnya bus umum adalah untuk memberikan pelayanan angkutan yang aman, cepat, terjangkau, nyaman dan tentunya memadai bagi masyarakat. Selain itu kesempatan kerja terbuka bagi masyarakat dengan adanya transportasi umum [4]

Pada prinsipnya semua transportasi itu baik adanya, hanya Masyarakat yang bisa menyesuaikan pilihannya yang ditawarkan penyedia jasa sesuai dengan kebutuhan serta kondisi ekonomi konsumen itu sendiri. Seperti kurangnya kebersihan, dan perawatan bus terhadap fasilitas yang disediakan. Tidak ada fasilitas penjadwalan rute perjalanan untuk membantu penumpang dalam merencanakan perjalanannya. Para supir angkutan umum bus lebih memilih untuk menjemput dan menurunkan penumpang diluar terminal.

Oleh karena itu, penggunaan transportasi umum mengharapkan pelayanan yang terbaik untuk mencapai kenyamanan kendaraan, kesesuaian, keramahan pengemudi serta perjalanan aman dan nyaman selamat sampai tujuan. Tuntutan penumpang mengenai tingkat kepuasan terhadap kepentingan dan harapan pengguna angkutan umum akan terwujud jika penyedia jasa angkutan umum mampu merespon keselamatan dan

keamanan penumpang. Dalam hal ini, penyedia angkutan umum tentunya berharap dapat memberikan pelayanan yang terbaik dalam hal kepuasan penumpang yang sesuai dengan harapan pengguna jasa. Peringkat ini diukur dengan variabel yang meliputi bukti (*tangible*), kehandalan (*reliability*), tanggapan (*responsiveness*), jaminan (*assurance*), perhatian (*emphaty*). Variabel diatas dapat mempengaruhi kepuasan konsumen terhadap kualitas pelayanan yang diberikan oleh perusahaan [5] Menurut [6] memperkenalkan teknik analisis yaitu metode IPA [7] metode ini digunakan untuk melihat bagaimana penyelenggaraan layanan yang diberikan oleh operator sebagai penyedia layanan, meningkatkan kualitas layanan, perbaikan apa yang harus dijalankan untuk menjamin kepuasan pengguna layanan.

Penelitian ini menganalisis tingkat kepuasan pengguna bus umum trayek Malang-Surabaya dengan menggunakan metode IPA (*Importance Performance Analysis*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan indikator peningkatan atau penurunan minat masyarakat terhadap bus umum khususnya trayek Malang-Surabaya dengan menggunakan rating pengguna terhadap kinerja bus umum dan harapan pengguna terhadap kualitas pelayanan bus umum. Adapun indikator pertanyaan yang diajukan dalam kuisioner untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna diperoleh dari penelitian sebelumnya [8]. Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pemecah masalah transportasi di Kota Malang dan dapat dijadikan sebagai langkah untuk menarik perhatian Masyarakat khususnya bus umum.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah kerangka atau sketsa yang direncanakan oleh peneliti untuk mencapai apa yang telah dituangkan pada suatu rumusan masalah sebagai wujud acuan dalam penelitian yang dimaksud.

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif. Jenis penelitian deskriptif kuantitatif adalah suatu metode yang bertujuan untuk membuat gambar atau deskriptif tentang suatu keadaan secara objektif yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data serta penampilan dan hasilnya [9]

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Terminal Arjosari Kota Malang. Terminal Arjosari yang berada pada jl. Raden Intan No.1 Arjosari Kecamatan Blimbing Kota Malang Jawa Timur. Lokasi peneltitian terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2 Lokasi Penelitian
Sumber: Dokumentasi,2023

Metode Pengumpulan Data

Data dan jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

Data Primer

Data primer yaitu data yang diperoleh secara langsung dari narasumber. Subjek sasaran penelitian ini adalah kepuasan pengguna bus umum trayek Malang-Surabaya. Pemilihan subjek penelitian dilakukan dengan teknik observasi, wawancara, dokumentasi dan kuesioner.

1. Observasi

Yaitu penelitian langsung untuk mendukung kebenaran responden dalam menjawab pertanyaan serta mengurangi kekeliruan yang mungkin timbul. Peneliti akan langsung terjun kelapangan untuk melakukan observasi terkait kepuasan masyarakat.

2. Dokumentasi

Pada penelitian ini penulis membuat catatan-catatan penting yang berkaitan dengan data yang dibutuhkan dari informan untuk mendukung kevalidan data yang diperoleh seperti foto-foto, rekaman suara video selama dilapangan.

3. Wawancara

Wawancara dimaksudkan untuk dapat memperoleh suatu data berupa informasi, selanjutnya peneliti dapat menjabarkan lebih luas mengenai informen tersebut mengenai pengolahan data secara konferensif. Wawancara ditujukan kepada beberapa narasumber diantaranya penumpang serta pegawai yang bekerja di Terminal Arjosari guna menjadi data tambahan dalam mengetahui kepuasan pengguna bus umum. Dimensi fasilitas fisik yang diantaranya dilihat diantaranya kebersihan, kenyamanan, keamanan, bukti, kehandalan, tanggapan, serta jaminan. Peneliti berencana mengajukan beberapa pertanyaan dalam wawancara ini terkait dengan kepuasan pengguna serta fasilitas yang ada kepada beberapa pengguna bus umum yang dipilih dan dianggap memenuhi kriteria informan sehingga nantinya dapat memberikan keterangan yang valid.

4. Kuesioner

Kuesioner yaitu pencarian data menggunakan daftar pertanyaan dengan jawaban pilihan ganda yang langsung diberikan kepada pengguna bus umum, kuesioner (angket atau daftar pertanyaan). Kuesioner merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan dengan pemberian sekumpulan atau seperangkat pertanyaan atau pertanyaan tertulis kepada responden.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan skala linkert untuk memperoleh data. Skala linkert digunakan untuk mengukur sikap, pendapat dan persepsi seseorang atau sekelompok orang tentang fenomena sosial.

Skor yang diberikan untuk penelitian yaitu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Skor kuesioner

NO	Kuesioner		Skor
	Kepentingan Pengguna	Kepuasan Pengguna	
1	Sangat penting	Sangat puas	5
2	Penting	Puas	4
3	Kurang penting	Kurang Puas	3
4	Tidak Penting	Tidak Puas	2

5	Sangat Tidak Penting	Sangat Tidak Puas	1
---	----------------------	-------------------	---

Sumber: Hasil Pemikiran 2023

Data Sekunder

Data sekunder yaitu data yang diperoleh dari dokumen publikasi atau laporan penelitian dari dinas atau instansi maupun sumber data lainnya yang menunjang. Adapun data sekunder dalam penelitian ini diantaranya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kebutuhan Data Sekunder

No	Kebutuhan Data	Dinas / Instansi	Tahun
1	Peta Lokasi	Dinas Perhubungan Kota Malang	2023
2	Jumlah Penumpang	Dinas Perhubungan Kota Malang	2023
3	Layout Terminal	Dinas Perhubungan Kota Malang	2023

Sumber: Hasil Pemikiran 2023

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah teknik atau cara yang dilakukan oleh peneliti untuk mengumpulkan data. Dalam penelitian ini teknik yang digunakan adalah sebagai berikut:

Metode Survei

a. Survei Statis

Survei statis adalah survey yang dilakukan diluar kendaraan dengan mengamati, mencatat, menghitung, jumlah objek penelitian yang lewat pada lokasi pengamatan serta dipintu masuk dan keluar terminal.

b. Survei Dinamis

Survei dinamis adalah survey yang dilaksanakan didalam kendaraan dengan metode pencatatan jumlah penumpang yang naik dan turun yang menempuh suatu trayek dan atau waktu perjalanan pada setiap segmen. Dari survey dinamis akan diperoleh jumlah penumpang, load factor, asal tujuan perjalanan penumpang, waktu perjalanan.

c. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan cara menyebarkan kuisisioner kepada responden untuk mengetahui kepuasan dalam angkutan tersebut.

Waktu Pelaksanaan Survei

a. Survei Dinamis

Pengumpulan data dilakukan selama dua (2) hari dari pukul 06:00 – 16:00, dikarenakan pada jam tersebut diasumsikan berlangsungnya kegiatan penduduk. Dalam satu (1) hari survey dilakukan selama ± 10 jam.

b. Survei Statis

Survei dilakukan selama dua (2) hari dengan pembagian waktu yang sama seperti survey dinamis. Survei dilakukan pada trayek Malang-Surabaya.

Metode Penentuan Sampel

Sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut (Sugiono, 2014). Bus umum trayek Malang-Surabaya. Jumlah populasi dalam penelitian ini diambil dari jumlah penumpang rata-rata perhari. Pengumpulan data primer melalui kuesioner, untuk menentukan jumlah sampel dari suatu populasi menggunakan rumus slovin, pada penelitian ini akan digunakan taraf significant yaitu 10% = 0,1 atau taraf kepercayaan 90% = 0,9, [10] yang dapat dihitung pada Persamaan (1)

$$n = \frac{N}{1 + N \cdot e^2} = \frac{844.933}{1 + 844.933 (0,1)^2} = 89,417 \text{ sampel} \quad \text{Persamaan (1)}$$

Jadi nilai, n = 89.417 Sampel dan akan dibulatkan menjadi 100 Sampel

Dimana:

n: jumlah sampel

N: jumlah populasi

e: nilai presisi 90% atau signifikan 10%

Berdasarkan Analisa diatas maka responden yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah 100 responden. Pemilihan responden berdasarkan beberapa karakteristik diantaranya usia responden, Pendidikan, jenis kelamin dan pekerjaan.

Metode Analisis Data

Metode analisis data adalah metode yang digunakan untuk menganalisis data hasil penelitian. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Analisis Kinerja Penggunaan Angkutan Umum Penumpang

Untuk menganalisis kinerja pelayanan angkutan umum penumpang digunakan Analisa deskriptif atau statistic deskriptif [11]. Metode analisis deskriptif adalah metode statistic yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah dikumpulkan sebagaimana adanya tanpa maksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif persentase yang didapat dari angket yang telah diisi. Berikut ini adalah Langkah-langkah untuk menganalisis data dari angket [12]

1. Memeriksa jawaban
2. Melakukan skoring
3. Melakukan tabulasi data
4. Membuat persentase

Persentase setiap sub variabel dengan perhitungan Persamaan (2):

$$\% = \frac{n}{N} \times 100 \quad \text{Persamaan (2)}$$

Keterangan:

% = Persentase sub variabel

n = Jumlah skor tiap variabel

N = Skor maksimal item pertanyaan

Hasil persentase yang telah didapat, kemudian ditransformasikan kedalam bentuk tabel untuk mempermudah membaca data penelitian, kemudian dibandingkan dengan indikator standar kinerja angkutan umum menurut peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (2002).

Importance and Performance Analysis (IPA)

Dalam menentukan tingkat kepuasan pengguna bus umum trayek Malang-Surabaya, digunakan skala likert untuk mengukur sikap atau pendapat seseorang atau kelompok terhadap sebuah fenomena sosial dimana jawaban dari setiap item memiliki gradasi dari positif hingga negatif. Dengan skala likert variabel yang diukur dijabarkan menjadi indicator variable [14]. Kemudian indicator tersebut dijadikan titik tolak untuk menyusun item-item instrumen yang dapat berupa pertanyaan atau pernyataan. Berikut adalah skala yang digunakan dalam kajian ini dapat dilihat pada Tabel 3:

Tabel 3 Skor Penilaian Kinerja dan kepentingan

Skor atau Nilai	Tingkat Kinerja atau Kepuasan	Tingkat Kepentingan
5	Sangat puas	Sangat penting
4	Puas	Penting
3	Kurang puas	Kurang penting
2	Tidak puas	Tidak penting
1	Sangat tidak puas	Sangat tidak penting

(Sumber: Purba (2017))

Dari hasil penilaian tingkat kepentingan dan kinerja, maka akan dihasilkan perhitungan tingkat kesesuaian dan selanjutnya hasil tersebut dipetakan melalui diagram kartesius untuk mengetahui prioritas dari setiap atribut.

Selanjutnya dapat ditentukan solusi alternatif untuk meningkatkan kepuasan pengguna bus umum trayek Malang-Surabaya.

Dan untuk mengukur skala nilai dalam bentuk pertanyaan atau kuisioner yang disebar, penulis menggunakan skala likert dengan 5 tingkat penilaian.

- Untuk tingkat kepuasan dinilai dengan skala 1 sampai 5
 - 1 = Sangat tidak Puas
 - 2 = Tidak Puas
 - 3 = Kurang Puas
 - 4 = Puas
 - 5 = Sangat Puas
- Untuk tingkat kepentingan dinilai dengan skala 1 sampai 5
 - 1. = Sangat Tidak Penting
 - 2. = Tidak Penting
 - 3. = Kurang Penting
 - 4. = Penting
 - 5. = Sangat Penting

- Perhitungan tingkat kesesuaian per item kepuasan (Xi), kepentingan (Yi) dan tingkat kesesuaian responden

Perhitungan dapat dihitung dengan Persamaan 3:

$$Tki = \frac{xi}{yi} \times 100\% \quad \text{Persamaan (3)}$$

Dimana: Tki = Tingkat Kesesuaian Responden

Xi = Skor Penilaian Kerja

Yi = Skor Penilaian Kepentingan

Pelanggan

**3. Analisis Dan Pembahasan
Evaluasi Kinerja Bus Umum Trayek Malang-Surabaya**

Karakteristik Kinerja Bus Umum Trayek Malang-Surabaya

Terminal Bus Arjosari merupakan Terminal Penumpang Tipe A, dengan luas 28,150 m² dikelola oleh KEMENHUB RI Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. Bus umum trayek Malang-Surabaya merupakan salah satu bus yang sangat berpengaruh besar bagi kebutuhan penumpang. Hal ini para penumpang lebih mementingkan keamanan, keselamatan, kenyamanan, keterjangkauan, kesetaraan dan keteraturan pada saat berada didalam bus. Dengan tipe bus umum yaitu bus tentram (non tol). Adapun kondisi fisik bus umum tentram (non tol) trayek Malang-Surabaya sebagai berikut:

- Keamanan
 - Jaminan keamanan harus terjaga
 - Jaminan barang bawaan
 - Stiker rute bus dapat mempermudah penumpang.
- Keselamatan
 - Perilaku supir dalam mengemudi
 - Sikap (keramahan atau kesopanan) pengemudi kepada penumpang
 - Pengemudi memiliki pengetahuan tentang tatacara berlalu lintas yang baik dan benar
 - Pengemudi memiliki daya ingat mengenai rute yang akan ditempuh
 - Supir dalam mengemudi bus dalam keadaan sehat fisik dan mental
- Kenyamanan
 - Ketersediaan tempat duduk didalam bus sesuai kapasitas
 - Jendela pada bus berfungsi dengan baik dan mudah
 - Pintu pada bus berfungsi dengan baik dan mudah
 - Kebersihan pada bus selalu terjaga
 - Ketersediaan ruang atau tempat untuk menetakkan barang bawaan penumpang
- Keterjangauan
 - Kemudahan dalam menemukan bus
 - Rute sesuai dengan kebutuhan penumpang
 - Harga tarif bus terjangkau
- Kesetaraan
 - Perilaku supir kepada penumpang berstatus pelajar
 - Ibu hamil, Lansia, difabel, dan anak-anak mendapatkan prioritas saat naik dan turun bus
 - Pengembalian uang kembalian
- Keteraturan
 - Waktu keberangkatan dan waktu tiba sesuai jadwal
 - Penurunan penumpang sesuai dengan permintaan
 - Bus selalu mengambil penumpang diluar terminal

Untuk mengetahui karakteristik kinerja bus umum berdasarkan jumlah penumpang, *load factor*, *headway*, frekuensi, waktu pelayanan, waktu tunggu, waktu perjalanan, jumlah kendaraan yang beroperasi, kecepatan perjalanan, maka dilakukan survey statis dan dinamis untuk mendapatkan data seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Dokumentasi survey

Analisis Kinerja Trayek Malang-Surabaya

Untuk mengetahui kesesuaian antara kinerja bus umum trayek **Malang-Surabaya dengan peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Tahun 2002 [15]** tentang petunjuk Teknis Penyelenggaraan Angkutan Penumpang Perkotaan, maka dilakukan perbandingan. Untuk perbandingannya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Rekapitulasi Kinerja Bus Umum

No	Indikator Pelayanan	Sebesar	Satuan	Kriteria Penilaian			Perolehan Kriteria
				Baik	Sedang	Kurang	
				(3)	(2)	(1)	
1	Load Factor pada jam sibuk	1.7	%	<0,8	0,8 - 1	>1	1 Kurang
2	Load Factor diluar jam siuk	1.5	%	<0,7	0,7 - 1	>1	1 Kurang
3	Head way rata-rata	30	Menit	<10	10 - 15	>15	1 Kurang
4	Frekuensi rata-rata	2	Kend/jam	>6	4 - 6	<4	1 Kurang 4.1

5	Jumlah kendaraan yang beroperasi	61,3	%	>100	82 - 100	<82	2 Sedang
6	Kecepatan kendaraan rata-rata	38,29	Km/jam	>10	5 - 10	<5	3 Baik
7	Waktu pelayanan	24	Jam	>15	13 - 15	<13	3 Baik
8	Waktu tunggu penumpang rata-rata	15	Menit	<20	20 - 30	>30	2 Sedang
9	Waktu perjalanan	2,47	Menit/km	<6	6 - 12	>12	3 Baik
Jumlah = 17 Sedang							

Sumber: Data hasil penelitian 2023

Penilaian kinerja trayek berdasarkan perbandingan parameter penilaian kinerja trayek Malang-Surabaya dengan standar pelayanan (tabel 4.10) diketahui bahwa penilaian *Load Factor*, *Headway*, frekuensi, jumlah kendaraan yang beroperasi, kecepatan perjalanan, waktu pelayanan, waktu tunggu penumpang, dan waktu perjalanan pada bus penumpang trayek Malang-Surabaya termasuk kategori “**sedang**” sesuai standar penilaian.

Untuk parameter *headway*, frekuensi, jumlah kendaraan yang beroperasi, waktu pelayanan, dan waktu tunggu termasuk kategori “**kurang**” pada standar penilaian bus berdasarkan standar Dishub. Dan untuk *load factor* pada jam sibuk dan diluar jam sibuk, kecepatan perjalanan, dan waktu perjalanan termasuk kategori “**kurang**”. Secara keseluruhan diperoleh nilai 22. Nilai tersebut diartikan bahwa secara keseluruhan tingkat pelayanan bus umum trayek Malang-Surabaya berdasarkan nilai bobot termasuk kriteria “**sedang**”. Dari keseluruhan penilaian terhadap moda dan trayek bus, pada trayek Malang-Surabaya diketahui bahwa kinerja pelayanan trayek yang tidak berjalan sesuai ketetapan tetap memberikan layanan yang baik walaupun parameter *headway*, frekuensi, jumlah kendaraan yang beroperasi, waktu pelayanan, dan waktu tunggu termasuk kategori “kurang”. Tingkat Kepuasan Penumpang

Perhitungan Kuisisioner Kepada Penumpang

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode analisis IPA untuk mengukur tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan melalui beberapa variabel. Dalam

penerapan responden yang akan menjadi tujuan penyebaran kuisioner adalah para penumpang trayek Malang-Surabaya. Dan untuk mengukur skala nilai dalam bentuk pertanyaan atau kuisioner yang disebar, penulis menggunakan skala linkert dengan 5 tingkatan penilaian.

1. Untuk tingkat kepuasan dinilai dengan skala 1 sampai 5
1 = Sangat Tidak Puas
2 = Tidak Puas
3 = Kurang Puas
4 = Puas
5 = Sangat Puas
2. Untuk tingkat kepentingan dinilai dengan skala I sampai 5
1 = Sangat Tidak Penting
2 = Tidak Penting
3 = Kurang Penting
4 = Penting
5 = Sangat Penting
3. Perhitungan tingkat kesesuaian per item kepuasan (Xi), kepentingan (Yi) dan tingkat kesesuaian responden
Perhitungan yang digunakan dapat dihitung dengan Persamaan (4):

$$Tki = \frac{x_i}{y_i} \times 100\% \quad \text{Persamaan (4)}$$

Dimana: Tki = Tingkat kesesuaian Responden
Xi = Skor Penilaian Kerja
Yi = Skor Penilaian Kepentingan

Pelanggan

1. Menghitung Tingkat Kesesuaian Total (Tki total) antara X (kepuasan) dengan Y (kepentingan) dengan perhitungan dapat dihitung Persamaan 5:

$$\sum X_i = 7582$$

$$\sum Y_i = 9389$$

$$Tki \text{ total} = \frac{\sum X_i}{\sum Y_i} \times 100\%$$

$$Tki \text{ total} = \frac{7582}{9389} \times 100\% = 81\% \quad \text{Persamaan (5)}$$

Dari hasil perhitungan tingkat kesesuaian diperoleh tingkat kesesuaian total sebesar 81%: dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat kesesuaian dari pengguna bus berada sesuai standar kesesuaian. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bus trayek Malang-Surabaya perlu ditingkatkan lagi kinerjanya.

2. Skor rata-rata tingkat kepuasan (X) dan kepentingan (Y) dengan nilai (k) yang dipakai adalah banyaknya atribut/fakta yang dapat mempengaruhi kepuasan pengguna yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai Atribut kartesius

No	Atribut IPA	Σxi	Σyi
1	Jaminan Keamanan Selama Berada Dalam Bus	3,6	4,2
2	Jaminan Barang Bawaan Didalam Bagasi Bus	3,5	4,2
3	Dengan Adanya Stiker Rute Bus Dapat Mempermudah Menemukan Bus Yang Akan Digunakan	3,7	4,1
4	Perilaku Sopir Dalam Mengemudi Bus	3,5	4,4
5	Sikap (Keramahan/Kesopanan) Pengemudi Kepada Para Penumpang	3,5	4,6

6	Pengemudi Memiliki Pengetahuan Tentang Tatacara Berlalulintas Yang Baik Dan Benar	3,6	4,4
7	Pengemudi Memiliki Daya Ingat Mengenai Rute Yang Akan Ditempuh	3,7	4,1
8	Sopir Saat Mengemudi Bus Dalam Keadaan Sehat Fisik Dan Mental	3,8	4,5
9	Ketersediaan Tempat Duduk Didalam Angkutan Sesuai Dengan Kapasitas Bus	3,8	4,2
10	Jendela Pada Bus Berfungsi Dengan Baik, Dapat Dibuka Dan Ditutup	3,6	4,1
11	Pintu Pada Bus Berfungsi Dengan Baik, Dan Mudah Ditutup Maupun Dubuka	3,6	4,1
12	Kebersihan Pada Bus Selalu Terjaga	3,2	4,5
13	Ketersediaan Ruang Atau Tempat Untuk Meletakkan Barang Bawaan Penumpang	3,4	4,1
14	Kemudahan Dalam Menemukan Bus Yang Akan Digunakan	3,3	4,1
15	Rute Sesuai Dengan Kebutuhan Konsumen	3,6	4,1
16	Harga Tarif Angkutan Umum Terjangkau	3,3	4,0
17	Perilaku Sopir Kepada Penumpang Berstatus Pelajar	3,1	4,4
18	Ibu Hamil, Lansia, Difabel Dan Anak-Anak Mendapatkan Prioritas Saat Naik Dan Turun Bus	3,0	4,7
19	Pengembalian Uang Kembali Penumpang	3,3	4,2
20	Waktu Keberangkatan Dan Waktu Tiba Sesuai Jadwal	3,3	4,3
21	Penurunan Penumpang Sesuai Dengan Permintaan	3,5	4,3
22	Bus Selalu mengambil penumpang diluar Terminal	3,1	4,3
Total		76	93,9

Sumber: Hasil penelitian 2023

Untuk memasukan nilai kedalam diagram kartesius maka diperlukan titik potong X dan Y dengan Perhitungan menggunakan Persamaan (5):

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{K} = \frac{76}{22} \times 100\% = 3,45$$

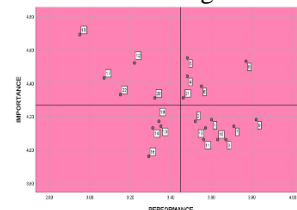
$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{K} = \frac{93,9}{22} \times 100\% = 4,26$$

Persamaan (5)

Dimana:

K: 22 (jumlah atribut)

Dapat dilihat pada Gambar 4 Diagram Kartesius



Sumber: Hasil Perhitungan 2023

Gambar. 4 Diagram Kartesius

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai Kepuasan penumpang bus umum Trayek Malang-Surabaya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kinerja bus umum trayek Malang -Surabaya berdasarkan keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Tahun 2002 tentang petunjuk teknis penyelenggaraan angkutan penumpang perkotaan berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh total nilai 17. Hasil dari ini menunjukkan kondisi pelayanan pada rute ini dalam keadaan sedang karena berada pada standar yang digunakan yaitu 12,00 – 17,99.
2. Dari analisis IPA tingkat kesesuaian total antara tingkat kinerja dan tingkat kepentingan sebesar 81%, yang artinya tingkat kepuasan dari pengguna bus sudah memuaskan. Dari 22 atribut kuisioner pernyataan terdapat 5 atribut yang masuk dalam kuadran 1, atribut tersebut sangat penting namun kinerjanya belum memuaskan. Kelima atribut yang masuk kuadran 1 yaitu: kebersihan pada bus, perilaku sopir kepada penumpang berstatus pelajar, Ibu hamil, Lansia, Difabel dan Anak-anak mendapatkan prioritas saat naik dan turun bus, Waktu keberangkatan dan waktu tiba sesuai jadwal, Bus selalu mengambil penumpang diluar terminal.

5. Saran

Berdasarkan analisis dari kesimpulan diatas, maka ada beberapa yang dapat dijadikan pertimbangan sebagai berikut:

1. Perlu adanya mengoptimalkan kinerja bus umum trayek Malang-Surabaya agar pengguna bus lebih mudah dalam memilih trayek yang akan dituju dan menentukan waktu keberangkatannya.
2. Dalam 4 kuadran diperoleh hasil kesesuaian total sebesar 81% yang artinya kinerja bus sudah termasuk optimal tetapi ada beberapa item yang perlu diperhatikan agar kinerja terminal tetap optimal yakni Kebersihan Pada Bus Tidak Terjaga, Perilaku Sopir Kepada Penumpang Berstatus Pelajar Tidak Ramah, Ibu Hamil, Lansia, Difabel Dan Anak-Anak Tidak Mendapatkan Prioritas Saat Naik Dan Turun Bus, Waktu Keberangkatan Dan Waktu Tiba Tidak Sesuai Jadwal, Bus Selalu mengambil penumpang diluar Terminal.
3. Perlu adanya koordinasi dan sinergitas antara dinas/OPD dalam melakukan pengoptimalan kinerja terminal dan peningkatan kepuasan penumpang bus.
4. Untuk peneliti selanjutnya diharapkan responden yang dipilih memahami secara langsung kondisi dan keadaan bus guna melengkapi hasil penelitian saat ini, serta pendampingan terhadap responden dalam mengisi kuisioner.

6. Daftar Pustaka

- [1] Juniarto. (2020). *Analisis Tingkat Kepuasan Penumpang Terhadap Kinerja Angkutan Umum*.
- [2] BPS Kota Malang. (2021). Badan Pusat Statistik Kota Malang.
- [3] Primasworo, A., Pandulu, D., & Gons, Dayuwasti.

- (2021). Evaluasi Kinerja Angkutan Umum Trayek Malang - Kediri Berdasarkan Kepuasan Pelayanan Pada Masa Pandemi Covid-19.
- [4] <https://malangkota.bps.go.id/> (Diakses tanggal 24 Desember 2022).
- [5] Fajri, L., Sugiarto, S., & Angraini, R. (2019). Penerapan Metode Ipa (Importance Performance Analysis) Untuk Menganalisis Kepentingan Dan Kepuasan Penumpang Terhadap Kualitas Pelayanan Bus Trans Koetaradja (Studi Kasus: Koridor I Keudah – Darussalam). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*,2(2),164–173. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v2i2.13453>
- [7] Suhendra, A., & Prasetyanto, D. (2016). Kajian Tingkat Kepuasan Pengguna Trans Metro Bandung Koridor 2 Menggunakan Pendekatan Importance-Performance Analysis. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 2(2), 59–70.
- [8] Firdaus, F., & Kadir, Y. (2019). Sistem Infrastruktur Teknik Sipil. *Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP*
- [8] Lembaran, T., Dan, T., Kementerian, F., Serta, N., Eselon, F., & Negara, I. K. (2010).
- [9] *Menteriperhubungan Republik Indonesia. 2011*, 1–17.
- [10] (n.d.). 1–12. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- [11] Pengguna, K., & Savitri, D. (2020). *MATH unesa*. 8(3).
- [12] Saiful, A., Andryana, S., & Gunaryati, A. (2021). Evaluasi Kinerja Angkutan Umum Trayek Malang – Kediri Berdasarkan Kepuasan Pelayanan Pada Masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informatika*, 8, 41–50. <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [12] Samudr, A. F. (2018). Kontribusi Kualitas Layanan Dan Fasilitas Kendaraan Terhadap Kepuasan Pengguna Jasa Transportasi Bus DAMRI Trayek Bandara Juanda-Bungurasih. *Jurnal Pendidikan Tata Niaga (JPTN)*, 01, 29–36.
- [13] Sandy, B. D. A. (2019). Analisis Kepuasan Penumpang Terhadap Pelayanan Bus Sekolah Kota Surabaya Dengan Metode Important Performance Analysis. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar*, 5(2), 100–111. <http://jurnal.utu.ac.id/jtsipil/article/view/1392%0Ah>
<http://jurnal.utu.ac.id/jtsipil/article/viewFile/1392/1081>
- [14] Pengguna, K., & Savitri, D. (2020). *MATH unesa*. 8(3).
- [15] Selan, A., Kristafi, A., & Rahma, D. (2018). *Evaluasi Kinerja Terminal Arjosari Malang Dengan Metode IPA (Importance Performance Analisis)*. 1(September), 1–6.

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGGUNAAN ALGORITMA METAHEURISTIK UNTUK OPTIMASI *FINANCE-BASED SCHEDULING*

Ambrosius Matthew Junius Reynaldo*¹ dan Doddy Prayogo¹

¹Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra, Surabaya

E-mail: matthew.junius@petra.ac.id

ABSTRAK:

Keberhasilan proyek konstruksi dipengaruhi oleh penjadwalan proyek dan kondisi finansial kontraktor. Kedua faktor ini perlu terintegrasi dengan baik sehingga tercapai penjadwalan proyek yang mempertimbangkan kondisi keuangan perusahaan kontraktor. Konsep *finance-based scheduling* mengintegrasikan kedua faktor tersebut dan penelitian ini berusaha melakukan proses optimasi dengan menggunakan algoritma metaheuristik. Pemilihan konsep *finance-based scheduling* bertujuan untuk menghindarkan proyek dari keterlambatan dan pembengkakan biaya. Proses optimasi *finance-based scheduling* meminimalkan total durasi proyek, besarnya pinjaman dana, dan besarnya bunga pinjaman dari bank secara simultan. Hasil dari proses optimasi yang dilakukan pada studi kasus proyek SOHO X di Surabaya adalah berbagai skenario penjadwalan proyek yang dapat dipilih oleh kontraktor sesuai dengan tingkat kepentingannya.

Kata Kunci: penjadwalan proyek, kondisi finansial, *finance-based scheduling*, optimasi

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi meliputi tiga tahapan utama yaitu, tahap perencanaan, tahap pembangunan, dan tahap penyerahan pada pemilik. Tahap perencanaan merupakan proses pembuatan jadwal proyek konstruksi dilakukan, yang merupakan faktor penting penentu keberhasilan proyek. Pembuatan jadwal proyek atau penjadwalan merupakan serangkaian proses yang menghasilkan suatu skema dengan tujuan menentukan urutan serangkaian aktivitas proyek [1]. Selain itu, faktor lain yang penting dalam keberhasilan proyek konstruksi adalah kondisi keuangan kontraktor, terutama dalam hal pendanaan proyek. Peramalan arus kas diperlukan pada setiap tahapan konstruksi karena kondisi keuangan kontraktor merupakan sumber daya kritis. Peramalan arus kas bertujuan untuk memastikan ketersediaan dana guna pelaksanaan jadwal proyek dengan mengatur kas perusahaan selama durasi proyek konstruksi [2]. Kontraktor sering mengandalkan sumber dana eksternal seperti pinjaman bank karena besarnya dana yang diperlukan dalam proyek konstruksi. Pemilik proyek akan melakukan pembayaran setelah pekerjaan selesai sehingga kontraktor perlu untuk mendanai proyek terlebih dahulu sampai pembayaran dilakukan. Akan tetapi, batasan pinjaman bank dapat menjadi faktor yang menyebabkan kontraktor kekurangan dana. Strategi pelaksanaan konstruksi yang paling tepat adalah dengan membuat jadwal proyek berdasarkan ketersediaan dana [3].

Integrasi penjadwalan dan pendanaan proyek untuk menghindari pembengkakan biaya dan keterlambatan menjadi konsep dasar *finance-based scheduling* [2]. Sebagian besar kontraktor menggunakan fasilitas *bank overdraft* sebagai sumber pendanaan proyek konstruksi dengan batasan jumlah pinjaman yang ditetapkan oleh bank. Dengan tingkat suku bunga yang telah ditetapkan, kontraktor berusaha

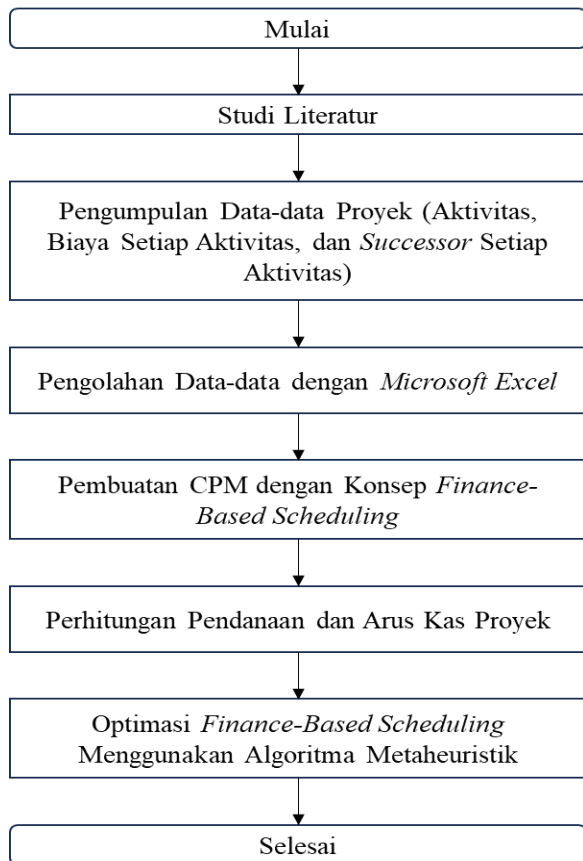
meminimalkan bunga dari pinjaman bank. Selain itu, kontraktor juga berusaha meminimalkan denda dari pinjaman yang tidak digunakan. Jadwal proyek konstruksi perlu dirancang dengan baik agar dana yang dibutuhkan pada setiap periode tidak melebihi batasan pinjaman bank [4].

Dalam *finance-based scheduling* terdapat tiga aspek yang perlu diperhatikan yaitu total durasi proyek, besarnya pinjaman dana, dan besarnya bunga pinjaman dari bank. Proses optimasi dilakukan dengan tujuan meminimalkan ketiga aspek tersebut sehingga diperoleh jadwal proyek yang optimal. Permasalahan optimasi dapat diselesaikan dengan algoritma metaheuristik dikarenakan kecepatan dan akurasi solusi yang mendekati optimal [5]. Permasalahan optimasi dalam dunia konstruksi telah banyak yang diselesaikan dengan metode metaheuristik. Beberapa diantaranya seperti, optimasi *resource leveling* dengan *Genetic Algorithm* [6] serta optimasi waktu dan biaya konstruksi dengan *Ant Colony Optimization* [7]. Seiring dengan perkembangan zaman, banyak metode metaheuristik yang dikembangkan dan salah satunya adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma PSO didasarkan pada perilaku sosial kawanan ikan dan burung. Beberapa kelebihan PSO, yaitu memiliki probabilitas dan efisiensi yang tinggi dalam mencapai global optimal, memiliki kecepatan konvergensi yang cepat dan memiliki waktu komputasi yang cepat [8].

Penelitian ini memodifikasi algoritma metaheuristik PSO menjadi *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) karena terdapat tiga fungsi objektif yang ditinjau. Studi kasus proyek nyata akan digunakan dalam penelitian ini untuk memastikan relevansi dengan kondisi yang sebenarnya. Hasil dari proses optimasi berupa skenario-skenario penjadwalan akan dibandingkan dengan analisis *what-if*. Kontraktor dapat menentukan skenario penjadwalan terbaik untuk dilaksanakan pada proyek konstruksi tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur pada jurnal dan penelitian terdahulu untuk memperoleh konsep *finance-based scheduling* dan algoritma metaheuristik MOPSO. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data-data proyek meliputi aktivitas, biaya setiap aktivitas, dan *successor* setiap aktivitas yang diperoleh dari penelitian Ho dan Gozal pada tahun 2018 yaitu proyek SOHO X di Surabaya. Data-data proyek tersebut akan dituangkan dalam *microsoft excel* dan digunakan dalam proses pembuatan CPM untuk memperoleh informasi setiap aktivitas berupa *early start, early finish, late start, late finish, dan total float*. Informasi ini akan digunakan dalam proses optimasi dengan metode metaheuristik MOPSO. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Pembuatan CPM dengan Konsep Finance-Based Scheduling

Tahap awal ada proses identifikasi pada jadwal proyek CPM. Selanjutnya, informasi setiap aktivitas tersebut akan dimasukkan ke dalam *microsoft excel*. Penjadwalan berbasis kondisi keuangan atau dikenal *finance-based scheduling* akan memodifikasi waktu mulai aktivitas proyek dan memperpanjang total durasi proyek apabila diperlukan untuk membatasi arus kas negatif proyek dalam batasan kredit yang tersedia [9].

Pelaksanaan proyek dapat diperpanjang sesuai dengan ketentuan kontrak. Metode ini membantu mengembangkan jadwal yang layak secara finansial sesuai dengan batasan pinjaman yang diinginkan. Pada *finance-based scheduling* dikenal istilah *boosted total float* yang merupakan *total float* setiap aktivitas ditambahkan dengan perpanjangan durasi. Perhitungan *boosted total float* dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$J_k = TF_k + M \tag{1}$$

Dimana:

- J_k = *Boosted total float* aktivitas k
- TF_k = *Total float* asli aktivitas k dari CPM
- M = Perpanjangan durasi

Selain data-data aktivitas, diperlukan juga data karakteristik proyek yang lain yaitu perpanjangan durasi (*duration enlargement*), persentase retensi (R), persentase *profit and overhead markup* (POM), jumlah hari dalam satu periode (m), tingkat suku bunga pinjaman dari bank (r), perjanjian pembayaran termin (T_m), dan persentase denda keterlambatan (p).

2.2. Perhitungan Pendanaan dan Arus Kas Proyek

Sistem pinjaman yang umum digunakan oleh kontraktor adalah plafon rekening koran (PRK) yang memungkinkan kontraktor untuk memperoleh pinjaman dari bank sesuai dengan batasan nominal pinjaman yang telah ditentukan untuk pendanaan proyek. Tingkat suku bunga akan mempengaruhi besarnya bunga yang dikenakan pada kontraktor. Selain itu, terdapat juga faktor besarnya dana yang dipinjam dan durasi peminjaman yang juga berpengaruh pada besarnya bunga pinjaman. Kontraktor memerlukan proyeksi arus kas untuk mengambil keputusan berdasarkan kondisi keuangan. Arus kas proyek konstruksi mencakup saldo yang diterima dan dikeluarkan untuk proyek selama durasi tertentu. Saldo yang diterima merupakan jadwal pembayaran dari pemilik, sementara itu saldo yang dikeluarkan merupakan biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung. Total biaya langsung pada hari ke i dihitung dengan Persamaan 2 [10]. Selanjutnya, total pengeluaran proyek pada periode t dihitung dengan Persamaan 3.

$$y_i = \sum_{p=1}^{n_i} y_{pi} \tag{2}$$

$$E_t = \sum_{i=(m \times (t-1)) + 1}^{m \times t} (y_i) \tag{3}$$

Dimana:

- y_i = Total biaya langsung
- n_i = Jumlah aktivitas yang memiliki durasi tumpang tindih dengan hari ke i
- y_{pi} = Biaya langsung aktivitas p hari ke i
- E_t = Total pengeluaran proyek pada periode t
- m = Jumlah hari dalam satu periode
- i = 1, 2, ..., T (total durasi proyek)

Pada setiap akhir periode, pemilik akan melakukan pembayaran pada kontraktor. Di dalam pembayaran tersebut terdapat retensi (R) dan *profit and overhead markup* (POM). Pemilik akan menahan sejumlah pembayaran sesuai dengan besarnya persentase retensi (R) sebagai jaminan kontraktor menyelesaikan proyek dengan baik. Besarnya persentase retensi bergantung dari perjanjian dan ditahan oleh pemilik dari setiap tagihan kontraktor. Pada akhir proyek, retensi tersebut akan dibayarkan kembali kepada kontraktor. Harga penawaran proyek diperoleh dengan mengalikan persentase *profit and overhead markup* (POM) dengan biaya langsung konstruksi. Oleh karena itu, besarnya pembayaran yang diterima kontraktor dihitung dengan Persamaan 4 [10].

$$P_t = (1 - R) \times (1 + POM) \times E_t \quad \text{Persamaan (4)}$$

Dimana:

- P_t = Pembayaran pada akhir periode t
- R = Persentase retensi
- POM = Persentase *profit and overhead markup*
- E_t = Total pengeluaran proyek pada periode t

Kontraktor perlu membayar bunga atas pinjaman yang dilakukan. Perhitungan bunga tersebut didasarkan pada kondisi besarnya arus kas kumulatif kontraktor. Besarnya bunga yang dikenakan pada kontraktor dihitung dengan Persamaan 5. Arus kas kumulatif kontraktor pada akhir periode t dihitung dengan Persamaan 6. Setelah menerima pembayaran dari pemilik, maka arus kas bersih kontraktor dihitung dengan Persamaan 7. Arus kas proyek konstruksi dapat dilihat pada Gambar 2.

Perhitungan dengan Persamaan 5 :

$$I_t = \begin{cases} 0, & \text{jika } N'_{t-1} > 0 \text{ dan } N'_t \geq E_t \\ |r(E_t + N'_{t-1})|, & \text{jika } N'_{t-1} < 0 \end{cases} \quad \text{Persamaan (5)}$$

Perhitungan dengan Persaman 6 :

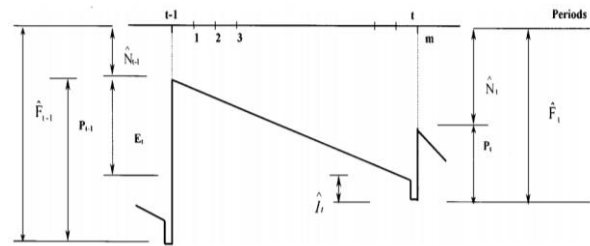
$$F'_t = F_t + I_t \quad \text{Persamaan (6)}$$

Perhitungan dengan Persamaan 7.

$$N'_t = F'_t + P_t \quad \text{Persamaan (7)}$$

Dimana:

- I_t = Bunga pinjaman pada akhir periode
- E_t = Total pengeluaran proyek
- N'_{t-1} = Arus kas bersih pada akhir periode $t - 1$
- N'_t = Arus kas bersih pada akhir periode t
- F'_t = Arus kas kumulatif pada akhir periode
- P_t = Pembayaran dari pemilik pada akhir periode



Gambar 2. Penggambaran Arus Kas Proyek

2.3. Optimasi *Finance-Based Scheduling* Menggunakan Algoritma Metaheuristik

Pada proses optimasi, waktu mulai dari setiap aktivitas akan digeser agar diperoleh kombinasi susunan aktivitas yang menghasilkan solusi fungsi objektif paling minimum. Pergeseran waktu mulai (*shift value*) inilah yang akan menjadi variabel optimasi. Pergeseran waktu mulai (*shift value*) dibatasi oleh batas bawah (*lower bound*) dan batas atas (*upper bound*) sesuai dengan Tabel 1. Batas bawah *shift value* bernilai nol yang berarti aktivitas boleh tidak digeser dari waktu mulai awalnya, dan batas atas *shift value* adalah *boosted total float* masing-masing aktivitas. *Boosted total float* merupakan batas waktu maksimum yang dapat digunakan untuk pergeseran waktu mulai aktivitas tanpa melampaui batasan waktu yang telah ditetapkan seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Batas Atas dan Batas Bawah Variabel

Variabel	Batas Bawah	Batas Atas
X_1	0	$J_1 = TF_1 + M$
X_2	0	$J_2 = TF_2 + M$
⋮	⋮	⋮
X_k	0	$J_k = TF_k + M$

Algoritma metaheuristik yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma PSO dikembangkan pada tahun 1995 oleh Kennedy dan Eberhart [11]. Pada proses optimasi multiobjektif, maka algoritma PSO biasa perlu dimodifikasi menjadi MOPSO. Pada MOPSO, proses *non-dominated sorting* ditambahkan dari tahapan PSO biasa. Proses ini dimulai dengan inisiasi dan randomisasi, serta dilakukan perhitungan fungsi objektif. Selanjutnya, proses *non-dominated sorting* dimulai dengan mengurutkan hasil fungsi objektif dalam suatu *archive*. Proses ini dilakukan dengan mengurutkan hasil fungsi objektif berdasarkan *ranking*. Kumpulan dari solusi yang tidak saling mendominasi akan membentuk sebuah grafik *pareto front*. Proses terakhir adalah dengan memilih satu solusi sebagai X_{gbest} . Parameter-parameter algoritma MOPSO seperti jumlah iterasi, jumlah populasi, jumlah variabel, besarnya konstanta c_1 dan c_2 , serta besarnya berat partikel juga perlu ditentukan.

Terdapat tiga fungsi objektif yang digunakan dalam optimasi *finance-based scheduling*. Fungsi objektif yang pertama adalah total durasi proyek. Total durasi proyek sudah harus memperhitungkan *duration enlargement*. Fungsi objektif yang kedua adalah besarnya pinjaman dana. Besarnya pinjaman dana terbesar diperoleh dari arus kas paling negatif selama proyek itu berlangsung. Fungsi objektif terakhir merupakan total bunga pinjaman dari bank. Total bunga pinjaman dari bank diperoleh dari perhitungan total bunga selama kontraktor melakukan pinjaman. Oleh karena terdapat tiga fungsi objektif, maka perlu dilakukan pendekatan *multi-objective* agar ketiga fungsi tersebut dapat ditinjau secara bersamaan. Proses optimasi nantinya akan mencari nilai minimum pada setiap fungsi objektif secara simultan dan dirumuskan dengan Persamaan 8.

$$\text{minimize } \begin{cases} f_1 = \max(mF_k) \\ f_2 = |\min(F'_t)| \\ f_3 = |FC| \end{cases} \quad (8)$$

Dimana:

- mF_k = Total durasi proyek
- F'_t = Arus kas negatif pada periode t
- FC = Total bunga pinjaman dari bank

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Studi Kasus Penelitian

Penelitian ini menggunakan studi kasus proyek *Small Office Home Office (SOHO) X* di Surabaya dengan 28 aktivitas proyek [12]. Pendanaan proyek berasal dari pihak bank secara keseluruhan, yaitu jenis plafon rekening koran (PRK). Kontraktor tidak menerima *down payment* dan tidak ada modal pribadi yang digunakan untuk membiayai proyek. Perhitungan fungsi objektif memerlukan data karakteristik proyek pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Proyek

No	Karakteristik	Nilai
1	M	30 hari
2	m	7 hari
3	r	0.175%/minggu
4	R	5%
5	POM	10%
6	t_p	14 hari
7	T_m	20%
8	p	1 (%/hari)

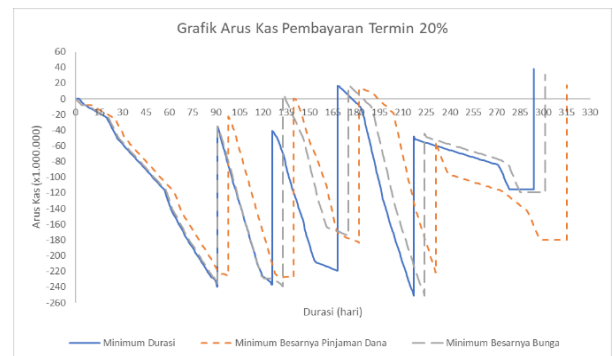
3.2. Hasil Penelitian

Penelitian ini melakukan optimasi *finance-based scheduling* dengan pembayaran termin setiap 20% kemajuan fisik proyek. Hasil proses optimasi dapat dilihat pada Tabel 3. Optimasi yang dilakukan menghasilkan tiga kondisi yang saling *trade-off* pada setiap fungsi objektif ditinjau. Total durasi proyek minimum dapat dicapai dengan mengeluarkan biaya

proyek lebih besar. Sebaliknya, kontraktor dapat meminjam dana dari bank paling minimum apabila proyek selesai lebih lambat dari seharusnya. Kondisi terakhir, minimum besarnya bunga dari pinjaman yang dilakukan dicapai dengan durasi proyek yang lebih lambat juga. Grafik arus kas dari setiap kondisi yang ditinjau disajikan dalam Gambar 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Optimasi pada Tiga Kondisi yang Ditinjau

Kondisi	Total Durasi (Hari)	Besarnya Pinjaman Dana (Rp)	Besarnya Bunga (Rp)
Minimum durasi proyek	278	250.817.997	8.806.402
Minimum besarnya pinjaman dana	299	227.478.539	9.569.046
Minimum besarnya bunga	285	250.818.006	8.644.849



Gambar 3. Grafik Arus Kas

Pada kondisi minimum durasi proyek yaitu dengan total durasi 278 hari, maka kontraktor perlu meminjam dana paling besar dari pihak bank sebesar Rp 250.817.997 dan membayar bunga sebesar Rp 8.806.402. Sementara itu, pada kondisi minimum besarnya pinjaman dana yaitu dengan total durasi 299 hari, maka kontraktor perlu meminjam dana paling besar dari pihak bank sebesar Rp 227.478.539 dan membayar bunga sebesar Rp 9.569.046. Sebaliknya, pada kondisi minimum besarnya bunga yaitu dengan total durasi 285 hari, maka kontraktor perlu meminjam dana paling besar dari pihak bank sebesar Rp 250.818.006 dan membayar bunga sebesar Rp 8.644.849. Pada pembayaran ketiga yaitu saat kemajuan fisik proyek mencapai 60%, ketiga kondisi yang ditinjau mengalami arus kas positif yang dapat dilihat pada Gambar 3. Hal ini berarti ada sebagian pendanaan proyek yang tidak dipinjam dari pihak bank untuk mendanai kegiatan periode berikutnya.

Berdasarkan pada ketiga kondisi di atas, maka dapat dilakukan analisis *what-if* sesuai dengan tingkat kepentingan kontraktor. Pemilihan skenario penjadwalan terbaik disesuaikan berdasarkan kondisi nyata di lapangan. Skenario 1 dipilih apabila kontraktor tidak ingin proyeknya terlambat tetapi dengan resiko dana yang dipinjam dari pihak bank lebih besar dengan membayar bunga pinjaman bank yang lebih besar pula. Skenario 2 dipilih apabila kontraktor ingin meminjam dari pihak bank seminimal mungkin dengan resiko proyek selesai lebih terlambat. Sebaliknya, skenario 3 dipilih apabila kontraktor ingin membayar bunga pinjaman bank seminimal mungkin dengan resiko proyek yang juga selesai terlambat. Analisis *what-if* dapat dirangkumkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Analisis *What-If* Berdasarkan Tingkat Kepentingan Kontraktor

Skenario	Total Durasi (Hari)	Besarnya Pinjaman Dana (Rp)	Besarnya Bunga (Rp)
1	278	250.817.997	8.806.402
2	299	227.478.539	9.569.046
3	285	250.818.006	8.644.849

4. KESIMPULAN

Algoritma metaheuristik MOPSO mampu melakukan proses optimasi *finance-based scheduling*. Skenario penjadwalan yang dihasilkan dapat disesuaikan dan dipilih sesuai dengan kepentingan kontraktor dan kondisi di lapangan. Proses pemilihan skenario dibantu dengan analisis *what-if* untuk mempermudah mencapai tujuan kontraktor yaitu, kondisi minimum total durasi, kondisi minimum besarnya pinjaman dana, maupun kondisi minimum total bunga pinjaman dari bank

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Elazouni and A. Gab-Allah, "Finance-based scheduling of construction projects using integer programming," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 130, no. 1, pp. 15-24, 2004.
- [2] M. El-Abbasy, A. Elazouni and T. Zayed, "Finance-based scheduling multi-objective optimization: benchmarking of evolutionary algorithms," *Automation in Construction*, vol. 120, no. 103392, pp. 1-16, 2020.
- [3] M. M. Ali and A. Elazouni, "Finance-based CPM/LOB scheduling of projects with repetitive non-serial activities," *Construction Management and Economics*, pp. 839-856, 2009.
- [4] A. Elazouni and F. G. Metwally, "Finance-based scheduling: tool to maximize project profit using improved genetic algorithms," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, no. 4, pp. 400-412, 2005.
- [5] A. E. Ezugwu and D. Prayogo, "Symbiotic organisms search algorithm : theory, recent advances and applications," *Expert Systems with Applications*, vol. 119, pp. 184-209, 2018.
- [6] S.-S. Leu, C.-H. Yang and J.-C. Huang, "Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application," *Automation in Construction*, vol. 10, no. 1, pp. 27-41, 2000.
- [7] T. Ng and Y. Zhang, "Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 134, no. 9, pp. 721-728, 2008.
- [8] Z. Abdmouleh, A. Gastli, L. Ben-Brahim, M. Haouari and N. A. Al-Emadi, "Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources," *Renewable Energy*, vol. 113, pp. 266-280, 2017.
- [9] A. Afshar and H. Fathi, "Fuzzy multi-objective optimization of finance based scheduling for construction projects with uncertainties in cost," *Engineering Optimization*, vol. 41, no. 11, pp. 1063-1080, 2009.
- [10] H. Fathi and A. Afshar, "GA-based multi-objective optimization of finance-based construction project scheduling," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 14, pp. 627-638, 2010.
- [11] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *International Conference on Neural Networks*, Perth, 1995.
- [12] M. Ho and R. Gozal, "Optimasi multi-objektif permasalahan time-cost-quality trade-off pada proyek SOHO X dengan metode metaheuristik," Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Redesign Struktur Gedung Rusun dengan *Half Slab System* dan Balok *Precast U-Shell*

Jaka Propika¹, Yanisfa Septiarsilia², Dita Kamarul Fitriyah³

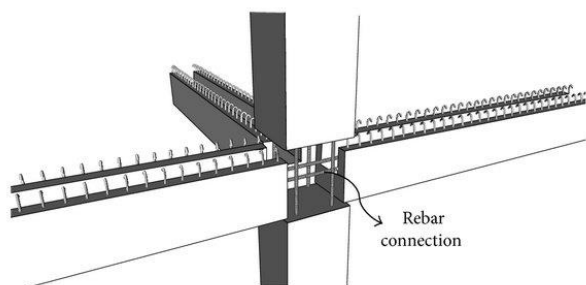
^{1,2,3} *Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama, Surabaya*
E-mail: jakapropika@itats.ac.id, *yanisfa.septi@itats.ac.id, ditaka.fitriyah@itats.ac.id

ABSTRAK: Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi di Indonesia, dibuktikan dengan semakin banyaknya gedung bertingkat tinggi yang telah dibangun. Seiring dengan perkembangan tersebut, diperlukan inovasi – inovasi dari engineer untuk mendapatkan solusi yang efektif dan efisien untuk perencanaan gedung bertingkat, salah satunya penggunaan beton *precast* / pracetak. Penelitian ini bertujuan untuk Mendapatkan hasil perbandingan reaksi struktur berat keseluruhan dengan metode balok *Precast U-shell* dan pelat *Half Slab* terhadap reaksi struktur berat keseluruhan pada kondisi eksisting, fungsi *U-Shell* disini sebagai bekisting permanen. Pada dasarnya perencanaan balok *U-Shell* sama dengan perencanaan balok dengan menggunakan metode konvensional, namun yang membedakannya adalah pada perencanaan balok *U-Shell* harus menghitung kondisi pemasangan saat usia beton masih mudah. Sehingga dengan kondisi tersebut harus memperhitungkan kapasitas tulangan untuk mencegah terjadinya retak, metode *precast U-Shell* dibutuhkan analisa dan desain tersendiri yang tidak diperhitungkan dalam menganalisa beton secara monolite atau konvensional. Dengan hasil sebesar Perbandingan berat struktur dari kedua pemodelan terdapat perbedaan selisih pada pemodelan eksisting struktur lebih ringan 408,558 ton terhadap struktur kondisi remodeling, hal ini dipengaruhi karena dimensi pada kondisi eksisting lebih bervariasi dibandingkan dengan remodeling dan untuk persentase perbedaannya antar pemodelan mendapatkan nilai sebesar 17 %.

Kata Kunci: balok *u-shell*, pelat *half slab*, *precast*, *redesign*

1. Pendahuluan

Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi di Indonesia dibuktikan dengan semakin banyaknya gedung bertingkat tinggi yang telah dibangun. Gedung bertingkat tinggi menjadi solusi dalam mengatasi ekonomi dan geografis. Hal inilah yang membuat para developer memilih pembangunan gedung bertingkat dan juga sebagai alternatif untuk memecahkan masalah pada daerah padat penduduk. Seiring dengan perkembangan tersebut, diperlukan inovasi – inovasi dari engineer untuk mendapatkan solusi yang efektif dan efisien untuk perencanaan gedung bertingkat. Salah satunya penggunaan beton *precast* / pracetak. Penggunaan material beton *precast* menawarkan berbagai keuntungan, diantaranya produktivitas tenaga kerja, ketahanan material tinggi, mengurangi bekisting dan scaffolding, percepatan konstruksi, dan konstruksi dapat dilakukan pada cuaca apapun [1].



Gambar 1. Balok *U-Shell* [2]

Inovasi telah banyak dilakukan dalam produk *precast*, salah satunya adalah balok *U-Shell* atau biasa disebut *U-Shaped* yang merupakan pengembangan dan inovasi balok *precast* yang telah sering diaplikasikan di Indonesia. Balok *precast U-Shell* merupakan balok beton bertulang berbentuk ‘U’ yang dibuat dengan tujuan meningkatkan nilai kepraktisan dan mempercepat proses pelaksanaan konstruksi karena tidak membutuhkan tambahan bekisting dan perancah dalam aplikasi

pelaksanaan. Balok *U-Shell* berfungsi sebagai bekisting permanen dengan perencanaan balok dengan metode monolit atau konvensional [3]. Balok *precast U-Shell* mendukung berat sendiri maupun beban konstruksi saat pelaksanaan dalam perakitan elemen struktur [4]. Adapun ilustrasi struktur dengan balok *U-Shell* ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada pelaksanaan konstruksi bangunan, sebagian besar material struktural digunakan untuk pelat lantai, mencapai hingga 50% dari total kebutuhan material elemen struktur. Seiring dengan hal ini, metode *half-slab* menjadi lebih populer. Pelat lantai *half-slab* menggabungkan dua metode, menggunakan *precast* untuk bagian bawah dan konvensional untuk topping. Keunggulan *half-slab* terletak pada kapasitasnya yang lebih baik dibandingkan dengan metode *precast*. Dengan adanya topping, lendutan yang terjadi memenuhi persyaratan lendutan bersih dan memberikan kemampuan perilaku monolitik yang optimal [5][6].

Beton *precast* atau pracetak merupakan hasil pengembangan dari struktur beton bertulang, menurut pedoman SNI 7834:2012 [7] beton pracetak adalah suatu pekerjaan konstruksi bangunan yang bagian dari bangunannya dicetak atau difabrikasi terlebih dahulu di pabrik atau di lapangan, lalu disusun di lapangan untuk membentuk satu kesatuan bangunan gedung, inilah yang membedakan sistem pracetak dengan sistem konvensional, salah satu keunggulan dari sistem pracetak ini antara lain terjaminnya suatu mutu, cepatnya proses pemasangan dan telah diproduksi secara massal. Sering kali untuk elemen balok bentang panjang menggunakan *precast U-Shell*.

2. Literature Review

Menurut [3], perubahan perilaku struktur terjadi dikarenakan adanya perubahan momen yang terjadi disetiap kondisi, pada saat sebelum komposit dan sesudah komposit. Terjadinya perubahan momen pada sebelum komposit dengan sesudah komposit dikarenakan pada saat sebelum komposit balok masih menerima beratnya

sendiri, sedangkan untuk kondisi sesudah komposit perubahan momen terjadinya karena balok sudah menerima bebannya sendiri dan beban lainnya seperti pelat dan beban tambahan.

Menurut [8], Pelat lantai *precast half slab* dan pelat konvensional menggunakan tulangan diameter 10 mm dan tebal pelat 120 mm. Kekuatan struktur diantara kedua metode tersebut berbeda meskipun memiliki ketebalan dan menggunakan diameter yang sama. Kekuatan lentur nominal *precast half slab* dapat memikul beban akibat gaya luar terbesar pada pelat sebesar 28.532 KNm dan kekuatan lentur nominal pelat konvensional sebesar 25.181 KNm. Adanya sedikit perbedaan kekuatan lentur kedua metode pada penelitian ini disebabkan karena perbedaan jumlah dan spasi tulangan yang digunakan pada masing-masing metode. Hal ini menunjukkan bahwa dengan dimensi tebal dan tulangan yang sama, *precast half slab* dan pelat konvensional memiliki perilaku struktur

a. Pelat

Pada dasarnya perencanaan tulangan pelat dibagi menjadi dua macam yaitu : sistem perencanaan dengan tulangan pokok satu arah yang disebut pelat satu arah / *one way slab* dan sistem perencanaan dengan tulangan pokok dua arah yang disebut pelat dua arah / *two way slab*. Menurut SNI 2847:2013 [9] pasal 9.5.3.2 untuk menentukan pelat yang direncanakan adalah pelat satu arah maupun pelat dua arah menggunakan persamaan sebagai berikut:

Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat yang dimana pada sisi terpanjang menahan momen lentur lebih besar dari pada sisi pendek, Salah satu contoh pelat satu arah adalah pelat luifel atau biasa juga disebut pelat kantilever. Selain melihat dari sisi terpanjang pelat, penentuan pelat satu arah juga bisa melihat persamaan (1).

$$\frac{L_y}{L_x} > 2 \tag{1}$$

Persamaan (1)

Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang keempat sisinya mendapatkan momen lentur yang sama. Pelat dua arah ini sering di temukan pada bangunan gedung bertingkat, penentuan pelat dua arah juga bisa melihat persamaan (2).

$$\frac{L_y}{L_x} \leq 2 \tag{2}$$

Persamaan (2)

Dimana:

L_y = Bentang panjang pelat

L_x = Bentang pendek pelat

b. Balok

Pada umumnya balok adalah salah satu elemen struktur utama suatu bangunan yang berperan menerima beban dari pelat lalu diteruskan pada kolom, Jenis balok berdasarkan metode pekerjaannya terbagi menjadi dua yaitu balok konvensional dan balok *precast*. Balok konvensional adalah balok yang metode

pekerjaannya dilakukan pada saat pekerjaan tersebut dilaksanakan, sedangkan metode pekerjaan balok *precast* yaitu dilakukan pada suatu tempat atau pabrik.

Pada perencanaan dimensi balok yang akan ditetapkan adalah dimensi tinggi balok dan dimensi lebar balok yang dapat dihitung berdasarkan persamaan (3) dan (4).

$$h = \frac{l}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \tag{3}$$

Persamaan (3)

$$b = \frac{1}{2}h - \frac{2}{3}h \tag{4}$$

Persamaan (4)

Dimana :

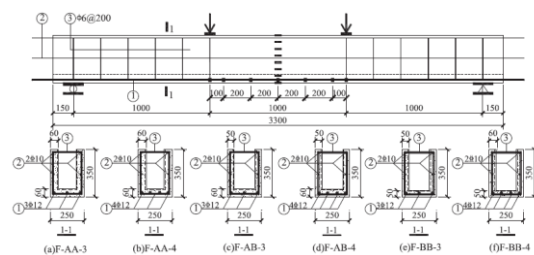
h = Tinggi balok (mm)

f_y = Mutu baja (MPa)

b = Lebar balok (mm)

l = Bentang balok (mm)

Beberapa penelitian telah dilakukan pada *U-Shaped Beam/U-Shell* secara eksperimental maupun numerik, beberapa variasi model maupun material yang digunakan juga telah dikembangkan dalam penggunaan balok komposit *U-Shell*. Namun tidak banyak peneliti mempelajari sifat mekanik dan teori desain bekisting balok permanen, mengingat cangkang *U-Shell* sendiri merupakan bagian dari komponen balok untuk bekerja secara komposit dengan beton cast in situ. Wang, et al melakukan penelitian terhadap balok *U-Shell* menggunakan RPC dideskripsikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penulangan Balok U-Shell [10]

c. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan di atas seluruhnya akan diinput pada program bantu SAP 2000, dan pada program bantu tersebut ditambahkan satu kombinasi pembebanan yaitu pembebanan tipe *Envelope*. Kombinasi pembebanan *Envelope* adalah salah satu fitur pada program SAP 2000 yang bertujuan untuk memilih kombinasi pembebanan mana yang paling maksimum dari seluruh kombinasi pembebanan yang di inputkan. Hal ini diperlukan untuk memudahkan peneliti untuk melakukan analisa dengan menggunakan pembebanan ultimate. Kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisa struktur pada penelitian yaitu kombinasi pembebanan *ultimate* berdasarkan [11] adalah sebagai berikut:

$$U = 1,4D$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$$

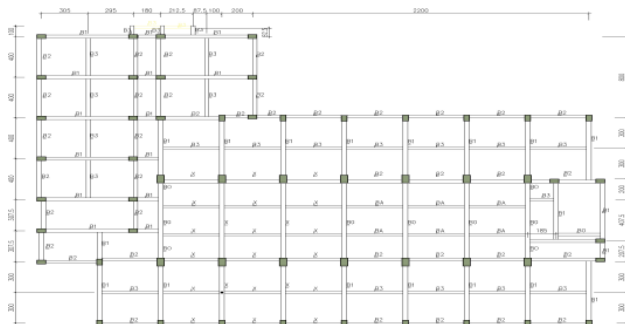
$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad U = 0,9D + 1,0E$$

3. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan dari reaksi struktur eksisting, perilaku struktur eksisting, reaksi struktur berat secara keseluruhan. Parameter perbandingannya adalah menghitung berapa dimensi penampang dan menghitung berapa penulangan kedua struktur elemen balok *precast U-Shell* dan pelat lantai *Half Slab* terhadap kondisi eksisting pada gedung Rusun Sombo tersebut.

Data Umum Bangunan

Data struktur diperlukan untuk menunjang penelitian pada saat melakukan pemodelan ulang elemen struktur balok *prestress precast U-Shell* dan pelat lantai *Half Slab* adapun data yang diperlukan terbagi menjadi tiga yaitu data geometri gedung rusun Sombo, data eksisting rusun Sombo, dan data detailing balok rusun Sombo digambarkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Denah Balok-Kolom Gedung Rusun Sombo

Data Bangunan Eksisting :

- Lokasi bangunan : Surabaya, Jawa Timur
- Luas bangunan : 850,65 m²
- Jumlah lantai : 6 lantai (Lantai 6 atap)
- Struktur bangunan : Beton bertulang
- Fungsi gedung : Rumah Susun
- Kelas Tanah : C (Tanah keras, batuan lunak)

Mutu Bahan :

- Beton : 35 MPa
- Baja Tulangan (Ulir) : 400 MPa

Tipe Balok	Balok Type B1		Balok Type B2	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Gambar				
Dimensi	30 x 50 CM	30 x 50 CM	30 x 40 CM	30 x 40 CM
Tul. Atas	2B19	2B19	2B16	2B16
Tul. Bawah	2B19	2B19	2D13	2D13
Tul. Bawah	2B19	2B19	2B16	2B16
Senkang	D13-150	D13-200	#10-100	#10-150
Keterangan	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa
Tipe Balok	Balok Type B3		Balok Type B4	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Gambar				
Dimensi	30 x 50 CM	30 x 50 CM	30 x 50 CM	30 x 50 CM
Tul. Atas	2B16	2B16	2B13	2B13
Tul. Bawah	2B13	2B13	2B10	2B10
Tul. Bawah	2B16	2B16	2D13	2D13
Senkang	#10-125	#10-200	#10-125	#10-125
Keterangan	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa	- 1/2 Selimut 4 cm - Panjang Tulangan 7db - Mutu Beton F'c 25 Mpa

Gambar 4. Detail Balok Gedung Rusun Sombo

4. Hasil Penelitian

a. Preliminary Design

Perencanaan Dimensi Balok U-Shell

Dimensi balok induk ini direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan bentang 540 mm, mutu beton 35 MPa dan mutu baja 400 Mpa sehingga perencanaannya dihitung sesuai persamaan (1) dan persamaan (2) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Preliminary Design Balok U-Shell

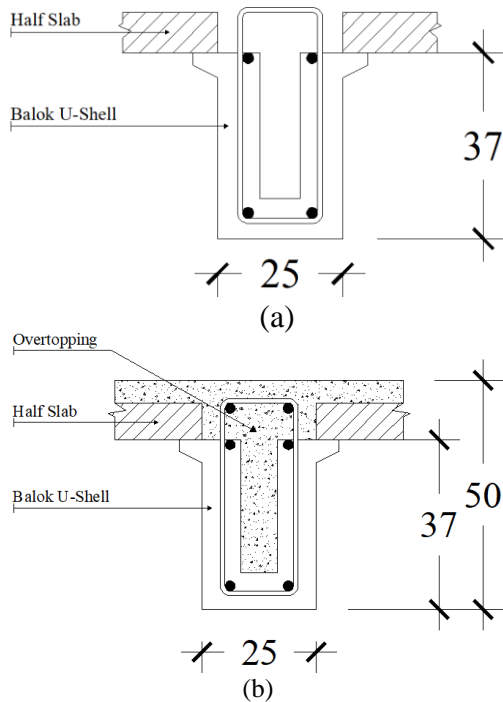
Type Balok	Lebar Balok (b)	Tinggi Balok (h)	Bentang Balok (cm)	Dimensi Balok (cm)
BI	35	70	540	35/70
BA	25	50	370	25/50

Perencanaan Dimensi Pelat Half Slab

Semua jenis pelat pada redesign akan direncanakan dengan spesifikasi mutu beton 35 MPa serta mutu baja 400 MPa. Pada perencanaan penulangan pelat ini akan dilakukan dalam dua kondisi yaitu pada saat kondisi sebelum komposit dan kondisi sesudah komposit. kemudian dari kedua kondisi tersebut akan dipilih pada kondisi kritis, sehingga tulangan yang dipakai pada seluruh pelat adalah hasil dari kondisi kritis tersebut hal ini dilakukan agar mempermudah dalam pengerjaannya. Pelat Type A dengan dimensi 3700 mm x 1510 mm akan digunakan sebagai contoh perhitungan dan sekaligus mewakili perhitungan dimensi pelat lainnya.

b. Perencanaan Balok U-Shell

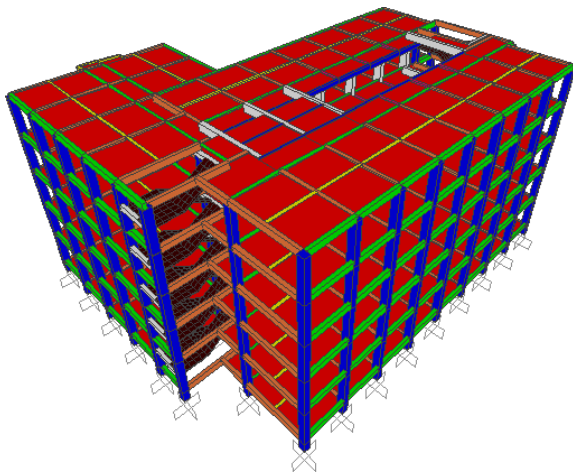
Pada perencanaan balok anak untuk mendapatkan reaksi gaya dalam pada balok peneliti menggunakan program bantu SAP 2000. Hal ini disebabkan untuk mengacunya perencanaan tulangan sebelum komposit maupun sesudah komposit, Sketsa Balok U-Shell terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sketsa Balok *U-Shell* (a) Sebelum Komposit (b) Sesudah Komposit

c. Permodelan Struktur Eksisting

Dari analisa yang sudah dilakukan dengan program bantu SAP 2000 didapatkan hasil momen maksimal dan minimal dari setiap masing – masing arah pelat dengan pembebanan pelat dua arah. Berikut sketsa permodelan 3D dapat dilihat Gambar 6.



Gambar 6. Permodelan 3D menggunakan program bantu SAP 2000

d. Analisa Perilaku Struktur

Setelah didapatkan reaksi struktur pada kondisi eksisting maka langkah selanjutnya yaitu analisa terhadap perilaku struktur. Pada analisa perilaku struktur terdapat 4 output yang diperoleh dengan program bantu SAP 2000 seperti kontrol partisipasi massa, kontrol periode struktur, kontrol nilai akhir respon spektrum, dan kontrol batas simpangan (drift), adapun nilai dari keempat point diatas adalah sebagai berikut :

Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan peraturan yang diacu oleh peneliti SNI 1726 – 2012 pasal 7.9.1 menyatakan bahwa nilai partisipasi massa harus menghasilkan sekurangnya 90% respon total yang diperoleh dari perhitungan respon dinamik. Berikut hasil output yang didapat dari program bantu SAP untuk hasil partisipasi massa pada Tabel 2.

Tabel 2. Ratio Partisipasi Massa Struktur *Precast*

OutputCase Text	StepNum Unitless	Period Sec	SumUX Unitless	SumUY Unitless
MODAL 1	1	1,086234	0,004402	0,657
MODAL 2	2	0,9975	0,681	0,677
MODAL 3	3	0,934923	0,752	0,734
MODAL 4	4	0,336237	0,754	0,817
MODAL 5	5	0,320609	0,829	0,822
MODAL 6	6	0,298471	0,838	0,826
MODAL 7	7	0,256915	0,838	0,838
MODAL 8	8	0,199105	0,838	0,838
MODAL 9	9	0,182642	0,861	0,828
MODAL 10	10	0,178297	0,862	0,86
MODAL 11	11	0,170965	0,862	0,86
MODAL 12	12	0,166757	0,862	0,86
MODAL 13	13	0,165946	0,865	0,86
MODAL 14	14	0,159048	0,865	0,86
MODAL 15	15	0,145987	0,865	0,86
MODAL 16	16	0,140652	0,866	0,86
MODAL 17	17	0,126054	0,874	0,86
MODAL 18	18	0,12203	0,875	0,86
MODAL 19	19	0,115806	0,875	0,873
MODAL 20	20	0,11042	0,876	0,874
MODAL 21	21	0,099613	0,878	0,875
MODAL 22	22	0,095367	0,879	0,877
MODAL 23	23	0,08379	0,879	0,88
MODAL 24	24	0,0803	0,879	0,881
MODAL 25	25	0,05446	0,879	0,883
MODAL 26	26	0,045959	0,959	0,883
MODAL 27	27	0,036567	0,968	0,947

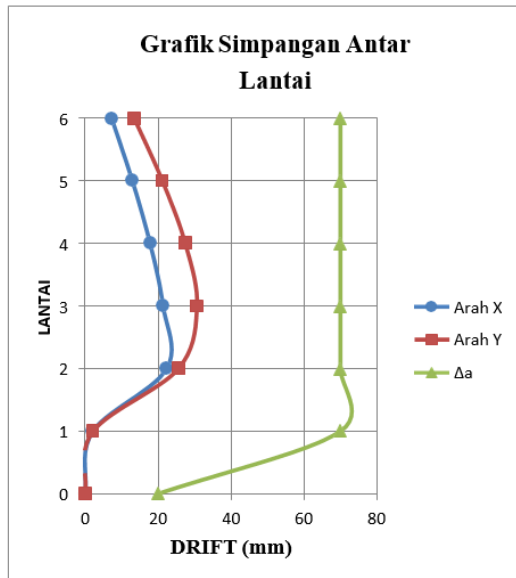
Berdasarkan tabel 2. didapatkan hasil partisipasi massa arah X sebesar 95% di modal ke 26, dan arah Y sebesar 94% di modal ke 27. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa analisa struktur telah memenuhi syarat yang pada SNI 1726 – 2012 pasal 7.9.1 nilai partisipasi massa harus menghasilkan sekurangnya 90%.

Kontrol Periode Struktur

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan diatas jika dibandingkan dengan T terbesar yang didapatkan dari program bantu SAP 2000 yang T sap=1,086234 s, sedangkan Tmin 0,612 s. Maka Periode Struktur memenuhi persyaratan.

Simpangan antar lantai

Dari analisa yang dilakukan dengan program bantu SAP 2000 didapatkan nilai simpangan antar lantai pada gedung rusun sombo kondisi eksisting. Grafik simpangan antar lantai pada Gambar 7.



Gambar 6. Grafik Simpangan Antar Lantai Struktur Redesign

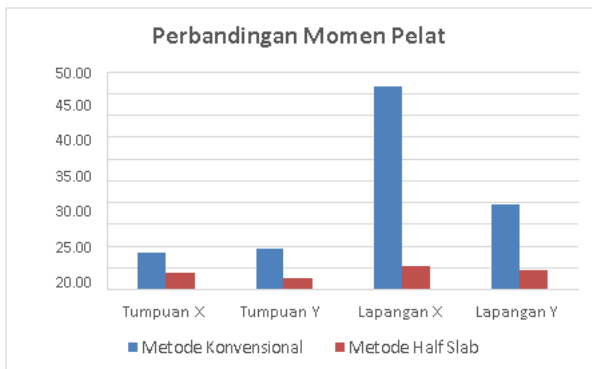
Dari kedua tabel diatas peneliti dapat menyimpulkan bahwa simpangan gedung kondisi eksisting telah memenuhi persyaratan SNI 1726 – 2012 karena tidak melebihi simpangan ijin (Δ_a).

e. Perbandingan Reaksi Struktur

Pada penelitian kali ini untuk perbandingan reaksi struktur akan akan dimunculkan tiga point perbandingan dari ketiga elemen struktur utama seperti pelat, balok dan kolom.

Perbandingan Momen Pelat

Pada perbandingan reaksi struktur pelat terdapat perbedaan hasil untuk kedua kondisi dari metode konvensional maupun metode precast half slab. Perbandingan reaksi struktur untuk elemen pelat terdapat pada Gambar 7.



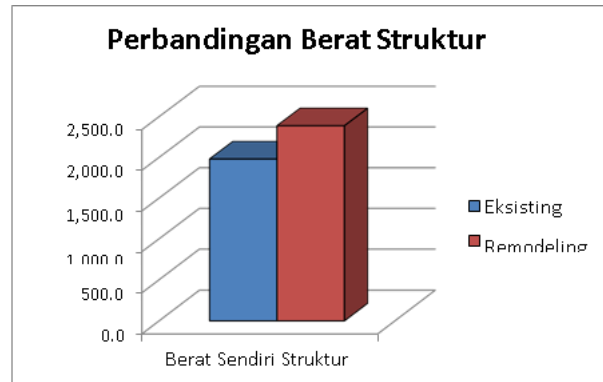
Gambar 7. Grafik Simpangan Antar Lantai Struktur Redesign

Dari grafik yang telah disajikan diatas, maka peneliti dapat menarik kesimpulan bahwa nilai momen pelat untuk kondisi redesign dengan metode precast half slab lebih kecil dibandingkan dengan nilai momen

pada kondisi eksisting dengan metode konvensional dengan persentase perbandingan terbesar 88,04%.

Perbandingan Berat Struktur

Pada analisa berat struktur pada kedua kondisi didapatkan selisih berat struktur yang akan dijelaskan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Perbandingan Berat

Berdasarkan Gambar 8, didapatkan hasil bahwa berat sendiri pada struktur dengan sistem precast lebih besar dibandingkan dengan sistem konvensional.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, diperoleh perbandingan perilaku struktur antar struktur eksisting dengan redesign sebagai berikut :

1. Nilai partisipasi massa pada kedua kondisi pemodelan telah memenuhi syarat. Dengan kondisi eksisting pada arah X mendapatkan nilai 91% dimodal ke-26 dan arah Y mendapatkan nilai sebesar 95% dimodal ke-28, dan sedangkan pada kondisi remodeling pada arah X mendapatkan nilai 95% dimodal ke-26 dan arah Y mendapatkan nilai sebesar 94% dimodal ke-27.
2. Pada perbandingan periode, struktur remodeling mendapatkan nilai 1,086 s lebih kecil dari pada pemodelan struktur eksisting 1,281 s.
3. Pada Perbandingan simpangan antar lantai, struktur remodeling nilainya lebih kecil dari pada struktur eksisting, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa struktur eksisting lebih fleksibel dibandingkan dengan struktur remodeling.
4. Perbandingan berat struktur dari kedua pemodelan terdapat perbedanaan selisih pada pemodelan eksisting struktur lebih ringan 408,558 ton terhadap struktur kondisi remodeling, hal ini dipengaruhi karena dimensi pada kondisi eksisting lebih bervariasi dibandingkan dengan remodeling dan untuk persentase perbandingannya antar pemodelan mendapatkan nilai sebesar 17 %.

6. Daftar Pustaka

[1] Y. Septiarsilia, D. Iranata, and B. Suswanto,

- “Hybrid Beam-Column Connection of Precast Concrete Structures: A Review,” *E3S Web Conf.*, vol. 434, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202343402019.
- [2] S. Park, W. Hong, S. Kim, and X. Wang, “Mathematical Model of Hybrid Precast Gravity Frames for Smart Construction and Engineering,” vol. 2014, no. 2011, 2014.
- [3] Ulfa Rahmawati, Mahadi Kurniawan, and Sri Hartati Dew, “Analisis Teknis Balok Pracetak (Precast) Dengan Menggunakan Metode U-Shell (Studi Kasus: Gedung Living World Pekanbaru),” *Sainstek (e-Journal)*, vol. 6, no. 2, pp. 6–14, 2018, doi: 10.35583/js.v6i2.4.
- [4] D. K. Bull and R. Park, “Seismic Resistance of Frames Incorporating Precast Prestressed Concrete Beam Shells,” 1986.
- [5] T. Handayani, R. Aprilin, and R. E. Murtinugraha, “Kapasitas Pelat Lantai Metode Half-Slab Dan Metode Konvensional Berdasarkan Variasi Ketebalan,” *J. Pendidik. Tek. dan Vokasional*, vol. 3, no. 1, pp. 56–66, 2020.
- [6] N. Rahmadia and J. Tarigan, “Validasi penggunaan Panel Half Slab Precast pada Perencanaan Ruko di Sumatera Utara,” *J. Syntax Admiration*, vol. 3, no. 9, pp. 1134–1148, 2022, doi: 10.46799/jsa.v3i9.476.
- [7] “SNI 7834-2012 Metode Uji dan Kriteria Penerimaan Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang pracetak untuk bangunan gedung.pdf.”
- [8] R. T. K. I. Mochamad Romi, Iskandar Romey Sitompul, “PERBANDINGAN SISTEM STRUKTUR DAN BIAYA PELAT LANTAI METODE PRECAST HALF SLAB DAN METODE KONVENSIONAL,” *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 2, pp. 1–15, 2016.
- [9] SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, “SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” *Bsn.* p. 265, 2013, [Online]. Available: www.bsn.go.id.
- [10] H. Wang, E. M. Marino, P. Pan, H. Liu, and X. Nie, “Experimental study of a novel precast prestressed reinforced concrete beam- to-column joint,” *Eng. Struct.*, vol. 156, no. October 2017, pp. 68–81, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.11.011.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain,” *Sni 1727-2013*. p. 196, 2013, [Online]. Available: www.bsn.go.id.

