



Perbandingan Flexible Pavement dan Rigid Pavement pada Jalan Raya Timur Kaliwungu Kabupaten Kendal Provinsi Jawa Tengah

Bagus Wibowo^{a*}, Iecha Adilla Agustria Hyacintha^b, Galih Widyarini^c, Vera Mahardika^d, Etika Herdiati^e, Anik Kustirini^f

^{a,b,c,d,e,f} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno-Hatta, Tlogosari, Semarang

*Corresponding author; email: bagoesw14@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received January 1, 2024

Revised January 27, 2024

Accepted January 30, 2024

Available online January 31, 2024

Keywords:

Cost Estimation

Flexible Pavement

Pavement Systems

Rigid Pavement

Traffic Loads

ABSTRACT

East Kaliwungu Main Road in Kendal Regency is one of the primary routes that has suffered considerable damage due to high traffic volumes, particularly from heavy vehicles. This study aims to analyze and compare the thickness and cost requirements of two pavement systems—flexible pavement and rigid pavement—based on the 2017 Bina Marga design guidelines. The input data include an average daily traffic (ADT) of 7,786 vehicles (in SMP units) and a subgrade CBR value of 6.66%. The design results indicate that the flexible pavement structure, with a design service life of 20 years, consists of a 4 cm AC-WC layer; a 6 cm AC-BC layer; a 10.5 cm AC-Base layer; and a 30 cm Class A aggregate base course, with a total construction cost of IDR 13,420,200,000.00. Meanwhile, the rigid pavement structure, designed for a 40-year service life, comprises a 28.5 cm cement concrete slab, a 10 cm lean mix concrete (LMC) subbase, and a 15 cm drainage layer; with a total construction cost of IDR 18,982,995,000.00. In terms of initial construction cost, rigid pavement requires a higher investment. However, it demonstrates greater resistance to heavy traffic loads and entails lower maintenance requirements over the long term.

© 2024 IJCES. Publishing Services by Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Semarang.

1. Pendahuluan

Perencanaan serta konstruksi jalan menjadi komponen utama yang mendukung aktivitas ekonomi dan mempermudah mobilitas masyarakat. Jalan berfungsi sebagai fasilitas transportasi darat yang begitu krusial untuk keberlangsungan hidup manusia. Dengan infrastruktur jalan, proses distribusi barang menjadi lebih cepat dan mudah, yang secara langsung berdampak positif terhadap kemajuan ekonomi suatu daerah (Sirait, 2020). Jalan difungsikan sebagai medium transportasi di darat yang dimanfaatkan oleh penggunanya untuk berpindah antar lokasi. Jalan raya sangat vital guna mendukung perkembangan ekonomi yang sejalan dengan banyaknya permintaan terhadap sarana transportasi, hingga memungkinkan akses ke wilayah yang lebih kecil (Ramadhani, 2023). Kabupaten Kendal merupakan daerah dengan tingkat kepadatan penduduk dan lalu lintas yang meningkat setiap tahun. Berdasarkan data BPS, jumlah penduduk naik dari 1.069.595 jiwa pada tahun 2022 dan menjadi 1.084.154 jiwa di tahun 2023, yang turut memicu peningkatan volume kendaraan dan tekanan terhadap infrastruktur jalan (Badan Pusat Statistik Kabupaten Kendal).

Jalan merupakan hasil dari proses membuka jalur lalu lintas yang bertujuan untuk mengatasi hambatan geografis, dengan melibatkan pekerjaan seperti meratakan permukaan tanah, membangun jembatan dan terowongan, serta mengalihkan vegetasi (Sutapa, 2022), sedangkan pendapat dari Sukarno (2022) Sebagai sarana penghubung antar daerah, Jalan berfungsi sebagai elemen penting dalam memperkuat sistem



pelayanan kepada masyarakat. Jalan raya ialah satu diantara komponen sarana transportasi darat yang mencakup semua komponen wilayah daratan beserta sarana dan peralatan penunjangnya, seperti yang tertera pada UU No.34/2006. Kelancaran arus lalu lintas di bawah permukaan air, di atas permukaan tanah, dan di atas atau di bawah permukaan air didukung oleh arsitektur jalan ini. Namun, sistem transportasi berbasis kabel, rel kereta api, dan truk tidak termasuk dalam uraian ini.

Perkerasan jalan merupakan struktur yang menahan beban agar tidak langsung berpindah dari roda kendaraan ke tanah. Bagian kendaraan yang bersentuhan langsung dengan permukaan tanah dasar dan lapisan perkerasan jalan (Prasetya, 2020). Peranan dasar perkerasan jalan ialah menyebar beban kendaraan ke wilayah yang lebih lebar dibanding zona kontak langsung antara permukaan jalan dan roda. Dengan menurunkan tekanan maksimum pada tanah dasar, distribusi ini bertujuan untuk menghindari deformasi yang berlebihan selama masa pakai perkerasan (Lelepadang, 2020). Struktur perkerasan jalan ada dua, yakni perkerasan lentur dan kaku.

Agregat dan bahan pengikat yang menyusun struktur perkerasan jalan bekerja sama untuk menopang beban lalu lintas dan menyalurkannya ke tanah dasar. Batu kali, batu pecah, serta limbah peleburan baja merupakan contoh sumber daya agregat yang dapat dimanfaatkan. Sistem perkerasan jalan yang lengkap tersusun dari beberapa lapisan yang menyusun struktur perkerasan jalan (Mahardika, 2021). Menurut Tjendani (2022), konstruksi perkerasan lentur yakni tipe perkerasan jalan yang memakai aspal guna dijadikan agen pengikat, yang memiliki tujuan guna mendistribusikan dan menahan beban lalu lintas menuju lapisan tanah dasar. Salah satu tipe perkerasan jalan yang memanfaatkan semen sebagai bahan pengikat utama ialah perkerasan kaku. Pelat beton diletakkan di atas lapisan sub-base, yang ada di atas tanah dasar, tempat bangunan ini dibangun (Saputro, 2024). Pelat beton bisa mengarahkan beban lalu lintas ke tanah dasar di wilayah yang lebih lebar karena modulus elastisitas dan kekakuannya yang tinggi (Nuhun, 2020).

Faktor Pertumbuhan Lalu lintas

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan (2017), faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada informasi mengenai pertumbuhan series atau dengan menggunakan formulasi hubungan yang melibatkan faktor pertumbuhan yang berbeda. Pertumbuhan lalu lintas yang ditargetkan sejauh masa rencana dicari memakai faktor pertumbuhan total. Perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas dilakukan dengan Persamaan (1).

$$R = \frac{(1 + 0,01i)^{UR} - 1}{0,01i} \dots\dots\dots (1)$$

Beban Sumbu Standar Kumulatif

Banyaknya total beban gandar lalu lintas yang diantisipasi untuk melalui lajur rancangan selama periode umur rancangan CESAL (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) atau beban gandar standar kumulatif. Persamaan (2) dapat digunakan untuk menentukan nilai beban kumulatif.

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots (2)$$

Heavy Vehicle Axle Group (HVAG) atau Jumlah Kelompok Sumbu

Perancangan perkerasan beton semen memerlukan total kelompok sumbu bagi tiap kategori kendaraan. Total kelompok sumbu dari transportasi berat dipakai guna menghitung beban lalu lintas dengan estimasi usia 40 tahun. Rumus (3) bisa dipakai guna menghitung total kelompok sumbu.

$$HVAG = LHR_{JK} \times 365 \times DD \times DL \times R_{40} \dots\dots\dots (3)$$

Dowel dan Tie Bars

Tujuan dari pemasangan sambungan memanjang adalah untuk mengendalikan munculnya kembali permukaan jalan. Biasanya, jarak antara sambungan ini adalah 3 hingga 4 meter. Batang berulir dengan diameter 16 mm dan standar mutu BJTS-28 harus digunakan pada setiap sambungan. Persamaan (4) dapat digunakan untuk menghitung sambungan longitudinal.

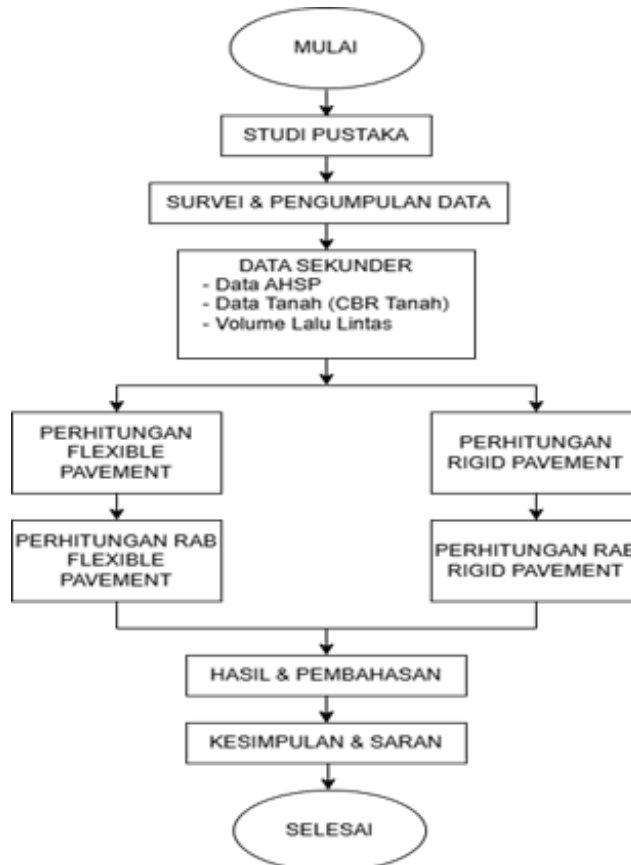
$$l = (38,3 \times \varphi) + 75 \dots\dots\dots (4)$$

Rencana Anggaran Biaya

Anggaran merupakan rencana penggunaan sumber daya, baik dalam bentuk uang, waktu, tenaga kerja, maupun satuan lainnya, yang disusun untuk melaksanakan suatu pekerjaan pada periode waktu tertentu. Sehingga, dibutuhkan analisis perbandingan biaya guna mencapai efisiensi dalam pelaksanaan pekerjaan jalan (Kurniawan, 2020).

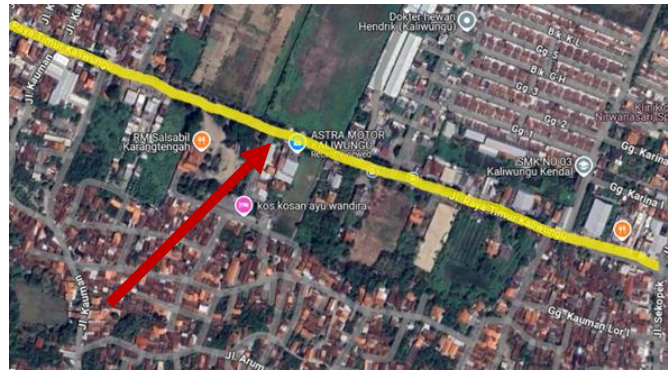
2. Metode Penelitian

Pendekatan analisis yang diterapkan pada studi berikut merujuk pada Pd T-14-2003 serta MDP (2017). Gambar 1 memperlihatkan skema alur riset.



Gambar 1. Bagan Alur Metode Penelitian

Jalan Raya Kaliwungu Timur di Kabupaten Kendal, Provinsi Jawa Tengah, menjadi lokasi riset berikut, dengan melakukan perbandingan perkerasan lentur dengan perkerasan kaku, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth, 2024)

Hanya satu jenis data, yakni data sekunder yang dipakai pada riset berikut. Data publikasi dari organisasi pemerintah terdekat merupakan sumber data sekunder, yaitu volume lalu lintas, data analisa harga satuan dan data CBR tanah.

3. Hasil dan Pembahasan

Data LHR

Berdasarkan data lalu lintas di ruas Jalan Raya Timur Kaliwungu pada tahun 2024 didapatkan LHR₀ total kendaraan yang bisa dicermati dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data LHR

No.	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (smp/jam)	Jumlah Kendaraan (kend/jam)
1.	Motor	717	2764
2.	Mobil	256	256
3.	Pick-up	85	85
4.	Bus Kecil	171	171
5.	Truck Sedang	101	78
6.	Truck Besar	72	56
7.	Truck Gandeng	65	50
Jumlah		1467	3460

Sumber: Dinas PUPR Kabupaten Kendal, 2024

Data CBR

Pada penelitian tugas akhir di ruas Jalan Raya Timur Kaliwungu, hasil uji CBR didapat dari penelitian terdahulu. Data hasil pengujian CBR bisa dicermati dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Uji CBR

No.	Sampel Tanah	CBR
1	TP1 Kedalaman 50 cm	7,84%
2	TP1 Kedalaman 100 cm	9,45%
3	TP1 Kedalaman 150 cm	5,39%
4	TP2 Kedalaman 50 cm	6,56%
5	TP2 Kedalaman 100 cm	6,38%
6	TP2 Kedalaman 150 cm	5,37%
7	TP3 Kedalaman 50 cm	6,15%
8	TP3 Kedalaman 100 cm	6,31%
9	TP3 Kedalaman 150 cm	6,45%
Rata-rata		6,66%

Sumber: Santoso, 2024

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Laju pertumbuhan lalu lintas di Jalan Raya Timur Kaliwungu, yang merupakan jalan arteri dan perkotaan, memiliki persentase sebesar 4,8%. Berdasarkan faktor laju pertumbuhan tersebut, nilai faktor pengali dihitung menggunakan Persamaan 1.

a) *Flexible Pavement*

$$R = \frac{(1 + 0,01 \times 3,5)^{20} - 1}{0,01 \times 3,5}$$

$$= 28,2796\%$$

b) *Rigid Pavement*

$$R = \frac{(1 + 0,01 \times 3,5)^{40} - 1}{0,01 \times 3,5}$$

$$= 84,5502\%$$

Vehicle Damage Factor

Dua kategori, yaitu VDF4 dan VDF5, digunakan dalam perhitungan CESAL. Perhitungan CESAL4 dan CESAL5 bertujuan menetapkan jenis serta ketebalan perkerasan jalan. Nilai VDF4 dan VDF5 dihitung berdasarkan tipe kendaraan. Bagi transportasi golongan 5a meliputi perhitungan berikut dan hasil rekapitulasinya bisa dicermati dalam Tabel 3.

$$ESA_4 = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$= (171 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 32,3756$$

$$= 264760,685$$

$$ESA_5 = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$= (171 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 32,3756$$

$$= 176507,123$$

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai VDF4 dan VDF5

Jenis Kendaraan	VDF ₄	VDF ₅
Motor, mobil, pick up dll	0	0
Bus kecil golongan 5a	0,3	0,2
Truck 2 as golongan 6b	4	5,1
Truck 3 as golongan 7a	4,7	6,4
Truck 2 as golongan 7b	9,4	13

Sumber: Perhitungan Peneliti, 2024

Perhitungan CESAL secara menyeluruh bisa dicermati pada Tabel 4 dimana hasilnya $CESAL_4 = 5659066,105$ esal dan $CESAL_5 = 7594943,973$ esal

Tabel 4. Perhitungan Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESAL)

Jenis Kendaraan	LHR	R	DD	DL	VDF ₄	VDF ₅	ESA ₄	ESA ₅
Gol 1,2,3 dan 4	3105	32,3756	0,5	1	0	0	0	0
Bus Kecil golongan 5a	171	32,3756	0,5	1	0,3	0,2	264760,685	176507,123
Truck 2 as golongan 6b	78	32,3756	0,5	1	4	5,1	1610240,424	2053056,540
Truck 3 as golongan 7a	56	32,3756	0,5	1	4,7	6,4	1358382,306	1849712,076
Truck 2 as golongan 7b	50	32,3756	0,5	1	9,4	13	2425682,69	3354667,55
Jumlah							5659066,105	7594943,973

Sumber: Perhitungan Peneliti, 2024

Heavy Vehicle Axle Group (HVAG)

Perancangan perkerasan jalan beton semen, diperlukan jumlah kelompok as atau *Heavy Vehicle Axle Group* (HVAG) dari setiap jenis kendaraan. Jumlah kelompok as kendaraan berat dipakai guna mencari beban lalu lintas dan usia rencana 40 tahun, sebagaimana dalam Tabel 4 dari Manual Perancangan

Perkerasan Jalan Bina Marga 2017. Untuk kendaraan golongan 5a, *Heavy Vehicle Axle Group* (HVAG) ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} HVAG &= LHR_{JK} \times 365 \times DD \times DL \times R_{40} \\ &= 342 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 84,5502 \\ &= 5277200,733 \end{aligned}$$

Tabel 5. Perhitungan Jumlah kelompok Sumbu

Jenis Kendaraan	Jumlah kelompok Sumbu	LHR 2024	Kelompok Sumbu 2024	Jumlah Kelompok sumbu 2024-2064
Bus Kecil golongan 5a	2	171	342	$5,277 \times 10^6$
Truck 2 as golongan 6b	2	78	156	$2,407 \times 10^6$
Truck 3 as golongan 7a	2	56	112	$1,728 \times 10^6$
Truck 2 as golongan 7b	4	50	200	$3,086 \times 10^6$
Komulatif kelompok sumbu kendaraan berat 2024-2064				$12,138 \times 10^6$

Menentukan Tebal Lapis *Flexible Pavement* dan *Rigid Pavement*

Penentuan ketebalan lapisan perkerasan hampir sama dengan penentuan jenis perkerasan. Namun, hasil CESAL5 dari 7594943.973, ketebalan perkerasan ialah meliputi:

Tabel 6. Tebal Perkerasan Lentur

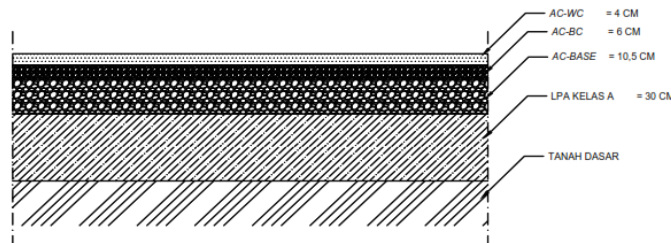
	Struktur Perkerasan								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
	Solusi yang dipilih				Lihat Catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	< 2	≥ 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
	Ketebalan Lapis Perkerasan (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180		245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300		300

Lapisan Perkerasan Aspal

- AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) = 6 cm
- AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) = 4 cm
- AC-BASE (*Asphalt Concrete Base Course*) = 10.5 cm

Lapisan Pondasi Bawah

- (LPA Kelas A) = 30 cm



Gambar 3. Tebal *Flexible Pavement*

Sumber : Gambar Peneliti, 2024

Rigid Pavement

Dari perkiraan kelompok sumbu kendaraan berat atau *HVAG* didapat nilai $12,138 \times 10^6$. Hubungan dari kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat di tampilkan dengan garis merah pada Tabel 7, yang meliputi,

Tabel 7. Tebal Perkerasan Kaku

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded) (10E6)	<4.3	<8.6	<25.8	<48	<86
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC	100				
Lapis Drainase (bisa mengalir dengan baik)	150				

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga, 2017

Jarak antara sambungan penyusutan melintang pada beton tanpa tulangan kira-kira 4-5 meter.

Tabel 8. Diameter Ruji

No	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$220 < h < 250$	36
2	$190 < h < 220$	33
3	$160 < h < 190$	28
4	$140 < h < 160$	24
5	$125 < h < 140$	20

Sumber: Pedoman Perencanaan Jalan beton (Pd T-14-2003)

Berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan pada Tabel 8 maka diameter ruji (*dowel*) yang mengacu pada Tabel 6, dipilih nomor sehingga didapatkan diameter ruji 36 mm berjarak 30 cm dan panjang ruji 45 cm sesuai dengan buku pedoman Pd T-14-2003.

Diameter yang digunakan $\Phi = 16 \text{ mm}$

Panjang batang pengikat dicari memakai Persamaan 4

$$l = (38,3 \times \Phi) + 75$$

$$l = (38,3 \times 16) + 75$$

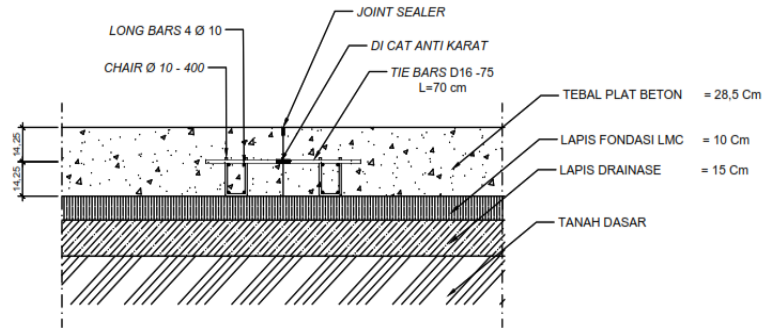
$$l = 688 \text{ mm} = 700 \text{ mm}$$

Jarak batang pengikat yang dipakai ialah 75 cm

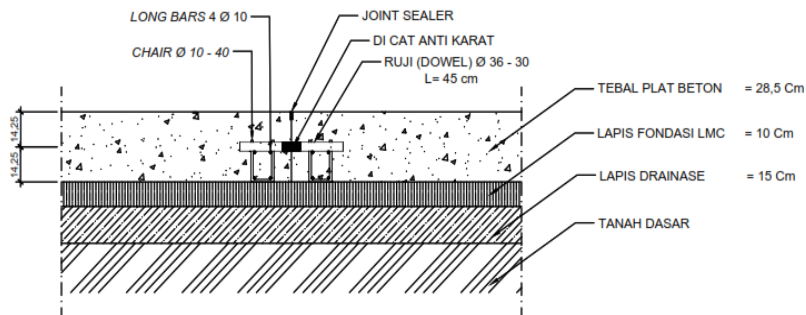
- 1) Tebal Plat Beton : 285 mm
- 2) Lapis Drainase : 150 mm
- 3) Lapis Fondasi LMC : 100 mm
- 4) Jenis Sambungan : *Dowel*
 - a. Diameter : 36 jarak 300 mm
 - b. Panjang : 450 mm

Tie Bars

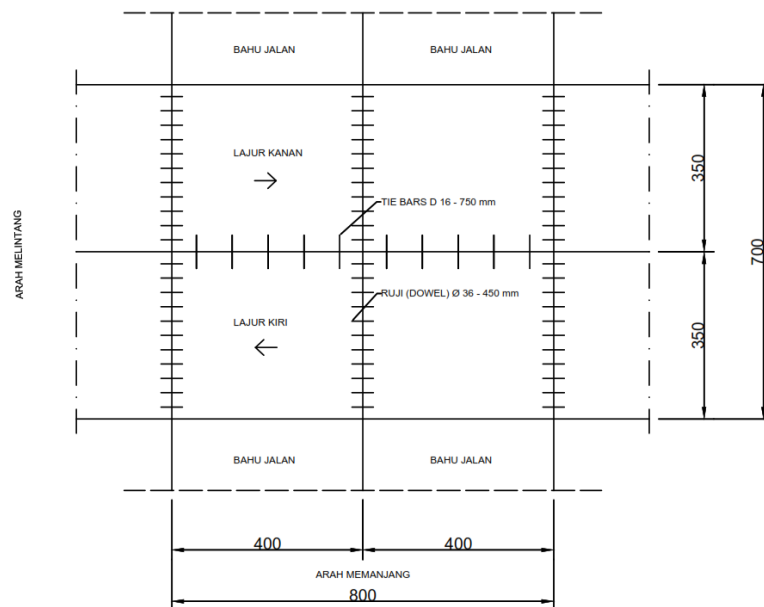
- a. Panjang : 700 mm
 - b. Diameter : 16 jarak 750 mm
- 5) Mutu Beton : fs 45 (fc' = 50 MPa)



Gambar 4. Tebal Rigid Pavement dengan Sambungan Tie Bars
 Sumber : Gambar Peneliti, 2024



Gambar 5. Rigid Pavement dengan Sambungan Dowel
 Sumber : Gambar Peneliti, 2024



Gambar 6. Tulangan Rigid Pavement
 Sumber : Gambar Peneliti, 2024

Rekapitulasi RAB Flexible Pavement

Berikut adalah hasil rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk *Flexible Pavement* setelah pembulatan, bisa dicermati dalam Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi RAB *Flexible Pavement*

No	Jenis Pekerjaan		Harga
A	Pekerjaan Persiapan	Rp	142.030.000,00
B	Pekerjaan Lapis Pondasi	Rp	2.086.606.200,00
C	Pekerjaan Perkerasan Lentur	Rp	9.091.287.291,00
D	Pekerjaan Lapis Perekat	Rp	662.431.000,00
	Jumlah	Rp	11.982.354.490,00
	PPN	Rp	1.437.882.539,00
	Jumlah Total	Rp	13.420.237.029,00
	Pembulatan	Rp	13.420.200.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan Penulis, 2024

Rekapitulasi RAB *Rigid Pavement*

Berikut adalah hasil rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk *Rigid Pavement* setelah pembulatan, bisa dicermati dalam Tabel 10 yang meliputi.

Tabel 10. Rekapitulasi RAB *Rigid Pavement*

No	Jenis Pekerjaan		Harga
A	Pekerjaan Persiapan	Rp	142.030.000,00
B	Pekerjaan Lapis Pondasi	Rp	1.552.645.500,00
C	Pekerjaan Perkerasan Kaku	Rp	13.078.803.940,00
D	Pekerjaan Tulangan	Rp	1.088.023.607,76
	Jumlah	Rp	16.949.102.147,76
	PPN	Rp	2.033.892.257,73
	Jumlah Total	Rp	18.982.994.405,49
	Pembulatan	Rp	18.982.995.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan Penulis, 2024

Rekapitulasi Hasil Tebal Perkerasan

Berikut adalah hasil rekapitulasi hasil tebal perkerasan serta masing masing biaya konstruksi untuk *Flexible Pavement* dan *Rigid Pavement* setelah pembulatan, bisa dicermati dalam Tabel 11 yang meliputi.

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Tebal Perkerasan

No.	Item	<i>Flexible Pavement</i>	<i>Rigid Pavement</i>
1.	Lapisan Perkerasan	- AC BC : 6 cm - AC WC : 4 cm - AC Base : 10,5 cm	Plat Beton fc' 50 :28,5 cm
2.	Lapis Pondasi	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	- Lapis Pondasi LMC : 10 cm - Lapis Drainase : 15 cm
3.	Harga	13.420.200.000,00	Rp18.982.995.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan Penulis, 2024

4. Kesimpulan

Bersumber hasil analisis teknis dan perhitungan biaya konstruksi pada Jalan Raya Timur Kaliwungu, diperoleh bahwa struktur flexible pavement terdiri dari lapisan AC-BC (6 cm), AC-WC (4 cm), dan AC-Base (10,5 cm) dengan lapis pondasi agregat kelas A, serta total biaya sebesar Rp13.420.000.000,00. Sementara itu, struktur rigid pavement menggunakan pelat beton fc' 50 (28,5 cm), lapis drainase (15 cm), lapis pondasi Lean Mix Concrete (10 cm), dengan biaya konstruksi Rp17.764.500.000,00. Flexible pavement lebih ekonomis dari sisi biaya awal, namun memerlukan pemeliharaan lebih intensif. Sebaliknya, rigid pavement membutuhkan investasi awal lebih besar tetapi memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap beban lalu lintas dan biaya pemeliharaan yang lebih rendah. Melalui pertimbangan padatnya lalu lintas yang dan banyaknya kendaraan berat di ruas tersebut, rigid pavement dinilai lebih sesuai sebagai pilihan konstruksi yang efisien dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2023). Kabupaten Kendal Dalam Angka. Kabupaten Kendal: BPS Kabupaten Kendal.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Tata Cara Perencanaan Perkerasan Jalan. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2003). Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. Kementerian PUPR
- Kurniawan, h., & Djunaidi, m. (2020). Studi perbandingan konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement) dan perkerasan kaku (rigid pavement) ditinjau dari biaya studi kasus: peningkatan kualitas jalan sungai pinang-pantai mempanak kabupaten lingga. *Sigma teknika*, 3(1), 72-81
- Lelepadang, S. (2020). *Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur*. Kota Kendari: Penerbit Stabilita.
- Mahardika, V. (2021). *Perbandingan Konstruksi dan Biaya untuk Struktur Perkerasan Lentur, Kaku dan Paving Blok pada Jalan Pantai Utara Flores*. Tesis Magister, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- MAS PETRUK. "Analisa Harga Satuan." dari <https://maspetruk.dpubinmarcipka.jatengprov.go.id>.
- Prasetya, E. J., & Marleno, R. (2020). *Analisis Biaya Investasi Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku (Studi Kasus Pada Ruas Jalan Akses Rusun PPI_TPI Romokalisari Surabaya)* (Doctoral dissertation, Untag Surabaya).
- Ramadhani, C., Sebayang, N., & Ma'aruf, A. (2023). Studi Perbandingan Perkerasan Lentur Dan Perkerasan Kaku. *Student Journal Gelagar*, 5(1), 37-46.
- Santoso, B. F., & Cahyani, S. A. (2024). Perencanaan peningkatan *flexible pavement* ke *rigid pavement* pada ruas Jalan Raya Timur Kaliwungu.
- Selan, M. T., & Tjendani, H. T. (2024). Analisis kondisi perkerasan lentur pada Jalan Margomulyo Kecamatan Asemrowo Kota Surabaya dengan metode Pevement Condition Index (PCI). *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 7(4), 2582-2593.
- Sirait, F. O. S., & Elvina, I. (2020). Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) menggunakan metode manual desain perkerasan tahun 2017. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 3(2), 186-197
- Sugiyono. (2017). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: CV. Alfabeta
- Suhardi, A. (2021). *Teknik Jalan Raya: Konsep dan Implementasi*. Jakarta: Penerbit Salemba Empat.
- Sukarno, E. W. (2022). Studi Kasus Perbandingan Efisiensi Biaya Antara Pekerjaan Jalan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) dengan Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) di Kabupaten Ngawi. *Jurnal Impresi Indonesia*, 1(10), 1090-1101.
- Sutapa, I. K., Wirahaji, I. B., & Ariadi, I. M. G. (2022). Analisis Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur Pada Proyek Peningkatan Jalan Celukan Bawang- Pelabuhan. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 1(1), 36-49