

PERBANDINGAN BIAYA ANTARA PERKERASAN KAKU DAN PERKERASAN LENTUR PADA JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI SEKSI 3A

Aisyah Kurnia Putri¹, Marjono²

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: aisyahkurniaputri25@gmail.com¹, marjono@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Pembangunan jalan tol menuntut pemilihan tipe perkerasan yang sesuai agar tercapai efisiensi biaya serta umur layanan yang optimal. Penelitian ini melakukan perbandingan antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur pada ruas Tol Probolinggo-Banyuwangi Seksi 3A dengan mengacu pada metode perencanaan dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Analisis dilakukan terhadap tebal lapisan perkerasan, Rencana Anggaran Biaya (RAB), serta kebutuhan pemeliharaan rutin selama masa layan 40 tahun, dengan mempertimbangkan volume lalu lintas, kondisi tanah dasar, dan faktor teknis pendukung lainnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain perkerasan kaku menggunakan pelat beton setebal 260 mm, dengan lapis fondasi bawah beton kurus setebal 150 mm, agregat kelas A setebal 200 mm, serta dilengkapi dowel (BJTP) berdiameter 38 mm sepanjang 450 mm dan tie bar (BJTU) berdiameter 16 mm sepanjang 690 mm. Total biaya konstruksi sebesar Rp 132.829.058.458, sedangkan biaya pemeliharaan mencapai Rp 10.785.174.805. Pada sisi lain, desain perkerasan lentur terdiri atas AC-WC 40 mm, AC-BC 60 mm, AC-Base 250 mm, agregat kelas B 150 mm dan agregat kelas A 200 mm, dengan estimasi biaya konstruksi sebesar Rp 111.277.863.596 serta biaya pemeliharaan sebesar Rp 66.258.911.878. Berdasarkan rekapitulasi biaya konstruksi dan pemeliharaan, disimpulkan bahwa perkerasan kaku lebih ekonomis dengan selisih efisiensi 23,6% dibandingkan perkerasan lentur. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan penerapan perkerasan kaku pada proyek jalan tol dengan beban lalu lintas dan umur rencana serupa untuk mencapai efisiensi biaya sepanjang umur layanan jalan.

Kata kunci : perkerasan kaku; perkerasan lentur; biaya konstruksi dan biaya pemeliharaan

ABSTRACT

The construction of toll roads requires the selection of an appropriate pavement type to achieve cost efficiency and optimal service life. This study compares rigid and flexible pavement on the Probolinggo–Banyuwangi Toll Road Section 3A, based on the design method in the Road Pavement Design Manual 2024. The analysis includes pavement layer thickness, cost estimation, and routine maintenance requirements over a 40-year service life, while considering traffic volume, subgrade conditions, and other technical aspects. The results show that the rigid pavement design consists of a 260 mm concrete slab, 150 mm lean concrete base, 200 mm Class A aggregate, and is equipped with 38 mm × 450 mm dowels and 16 mm × 690 mm tie bars. The total construction cost is Rp132,829,058,458, with maintenance costs of Rp10,785,174,805. Meanwhile, the flexible pavement design consists of 40 mm AC-WC, 60 mm AC-BC, 250 mm AC-Base, 150 mm Class B aggregate, and 200 mm Class A aggregate, with an estimated construction cost of Rp111,277,863,596 and maintenance cost of Rp66,258,911,878. Based on the total construction and maintenance cost analysis, rigid pavement is more economical with a cost efficiency of 23.6% compared to flexible pavement. Therefore, this study recommends the use of rigid pavement for toll road projects with similar traffic loads and design life to achieve long-term cost efficiency..

Keywords : rigid pavement; flexible pavement; construction costs and maintenance costs

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan tol merupakan strategi nasional untuk meningkatkan konektivitas antarwilayah serta mempercepat distribusi barang dan jasa. Kebijakan ini sejalan dengan Peraturan Pemerintah No.23 Tahun 2024 yang menekankan

bahwa jalan tol dibangun untuk mendukung terciptanya sistem logistik nasional yang efektif dan merata [3]. Salah satu proyek prioritas adalah Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi, yang termasuk dalam jaringan Tol Tans-Jawa

dan terbagi menjadi beberapa seksi, di mana seksi 3A dipilih sebagai objek dalam penelitian ini.

Dalam konstruksi jalan tol pemilihan jenis struktur perkerasan sangat berpengaruh terhadap umur layanan jalan, kenyamanan pengguna, serta efisiensi biaya. Terdapat dua tipe perkerasan yang umum diterapkan, yaitu perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Meskipun perkerasan kaku dikenal memiliki umur layanan lebih panjang dan daya tahan lebih tinggi terhadap beban berat, biaya konstruksi awalnya relative tinggi. Sebaliknya, perkerasan lentur cenderung lebih ekonomis dari sisi awal pembangunan dan lebih mudah dalam pelaksanaan. Oleh karena itu, diperlukan analisis perbandingan biaya secara menyeluruh untuk menentukan alternatif perkerasan yang paling ekonomis.

Penelitian ini menggunakan pendekatan desain sesuai Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024, yang mempertimbangkan aspek lalu lintas, kondisi tanah dasar, serta umur rencana selama 40 tahun [1]. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menentukan tebal lapisan desain untuk masing-masing tipe perkerasan, menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta biaya pemeliharaan, dan mengidentifikasi jenis perkerasan yang paling ekonomis untuk diterapkan pada ruas jalan tol Probolinggo-Banyuwangi Seksi 3A.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan studi kasus pada proyek Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Seksi 3A, tepatnya pada STA 20+200 hingga STA 26+000.



Gambar 1. Peta Lokasi Proyek Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Seksi 3A

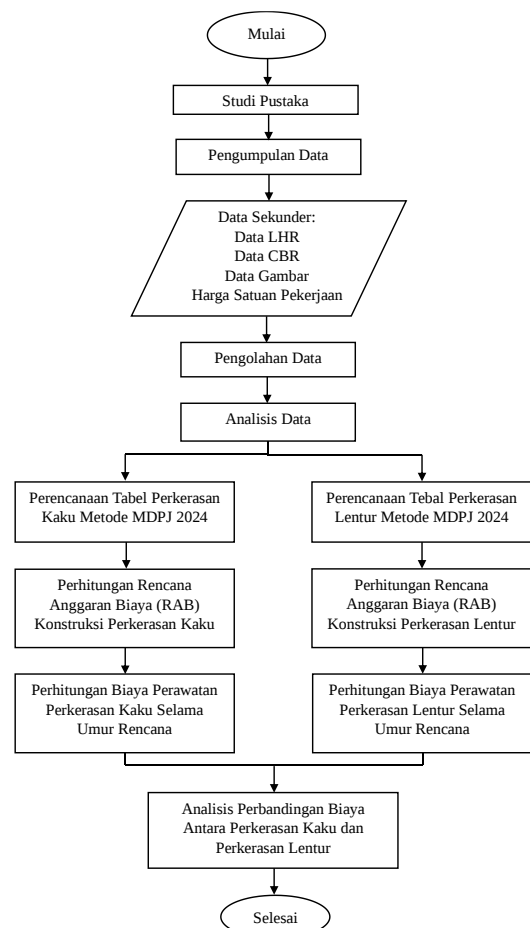
Sumber: Google Earth

Penelitian ini difokuskan pada analisis perbedaan struktur lapisan serta total biaya konstruksi antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Seluruh tahapan perhitungan mengacu pada pedoman perencanaan yang telah ditetapkan secara resmi.

Metode Pengumpulan Data

Sumber data penelitian berasal dari data sekunder yang dikumpulkan melalui instansi maupun pihak terkait. Informasi yang dianalisis terdiri dari Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) tahun 2022, hasil pengujian nilai CBR tanah dasar, daftar harga satuan pekerjaan, material, serta peralatan berdasarkan AHS Bina Marga versi 5

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Kaku

Perhitungan tebal lapisan pada perkerasan kaku dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada prosedur yang tercantum dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Tahapan penentuan ketebalan lapisan perkerasan kaku dijabarkan sebagai berikut:

1. Menentukan umur rencana desain perkerasan kaku.
2. Menentukan tipe perkerasan kaku.
3. Menghitung volume Lalu Lintas Harian (LHR) pada awal dan akhir periode umur rencana.
4. Menentukan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R).

5. Menentukan jenis serta ketebalan lapisan fondasi bawah dengan mempertimbangkan nilai CBR rencana dan estimasi Jumlah sumbu Kendaraan Niaga (JSKN).
6. Menentukan CBR efektif dari CBR rencana.
7. Menentukan mutu beton yang sesuai untuk digunakan pada perkerasan kaku.
8. Menentukan besaran faktor keamanan terhadap beban lalu lintas (F_{KB}).
9. Menentukan tebal pelat beton dan taksiran tebal pelat beton melebihi desain minimum.
10. Menghitung repetisi yang diizinkan.
11. Menghitung faktor kelelahan (*fatigue*) dan faktor erosi (F_3) $\leq 100\%$.
12. Menentukan jenis sambungan (dowel dan *tie bar*).

Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Lentur

Perhitungan tebal lapisan pada perkerasan lentur dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada prosedur yang tercantum dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Tahapan penentuan ketebalan lapisan perkerasan lentur dijabarkan sebagai berikut:

1. Menentukan umur rencana desain perkerasan lentur.
2. Menghitung volume Lalu Lintas Harian (LHR) pada awal dan akhir periode umur rencana.
3. Menentukan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R).
4. Menghitung nilai CESAL 5 untuk lalu lintas berat sesuai umur rencana.
5. Menentukan struktur fondasi dari perkerasan berdasarkan nilai CBR rencana.
6. Menentukan tipe perkerasan lentur berdasarkan alternatif desain yang tersedia sesuai dengan pertimbangan biaya (*discounted life cycle cost analysis*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Perencanaan

Data teknis yang digunakan dalam perencanaan perkerasan pada Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Seksi 3A adalah sebagai berikut:

Panjang ruas jalan	: 5800 m
Tipe jalan	: 4 Lajur, 2 Arah Terbagi (4/2 T)
Lebar lajur	: 3,6 m
Lebar bahu dalam	: 1,5 m
Lebar bahu luar	: 3 m
Lebar median	: 2,5 m
Umur Rencana	: 40 Tahun

Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Sumber data LHR dalam penelitian ini berasal dari kegiatan survei yang dilakukan oleh Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur-Bali pada periode tahun 2022.

Pertumbuhan lalu lintas rata-rata pada ruas jalan arteri di Pulau Jawa adalah sebesar 4,8% [1].

Tabel 1. Hasil Perhitungan Volume LHR pada Awal Umur Rencana sampai Akhir Umur Rencana

No.	Jenis Kendaraan	LHR 2025	LHR 2065
2	Sedan, Jeep, Station Wagon	9941	64670
3	Opelet Pick-up-opelet, Mini Bus	830	5415
4	Pickup, Micro Truck, Mobil Hantaran	2579	16823
5A	Bus	53	346
5B	Bus Besar	547	3569
6A	Truck 2 Sumbu 4 Roda	5108	33320
6B	Truck 2 Sumbu 6 Roda	3844	25075
7A	Truck 3 Sumbu	924	6028
7B	Truck Gandengan	190	1240
7C	Truck Semi Trallier	666	4345
Total		24655	160831

Sumber: Hasil Perhitungan

Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

$$(\text{Tahun } 2022 - 2025) R = \frac{(1+0,01 \times 4,8)^3 - 1}{0,01 \times 4,8} = 3,147$$

$$(\text{Tahun } 2025 - 2065) R = \frac{(1+0,01 \times 4,8)^{40} - 1}{0,01 \times 4,8} = 115,064$$

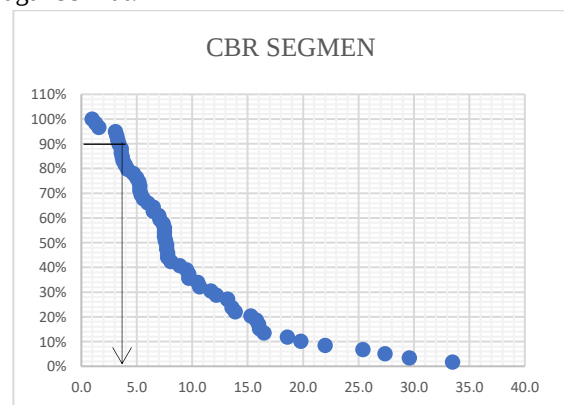
Faktor Distribusi Arah (DD) dan Lajur (DL)

Pada ruas jalan (dua) arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya ditetapkan senilai 0,50. Nilai ini menggambarkan bahwa arus kendaraan terbagi seimbang ke dua arah, kecuali pada kondisi khusus di mana pergerakan kendaraan niaga lebih terkonsentrasi pada satu arah perjalanan.

Untuk kondisi jalan dengan dua lajur pada setiap arah, faktor distribusi lajur (DL) ditetapkan sebesar 80%.

Data CBR Tanah

Hasil pengujian daya dukung tanah (CBR) di lokasi kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai yang mempresentasikan 90% kondisi tanah pada objek studi. Grafik nilai CBT yang digunakan sebagai acuan ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik CBR

Berdasarkan **Gambar 2.** diperoleh nilai CBR 3,4% sehingga untuk perencanaan desain fondasi minimum diperoleh kelas kekuatan tanah dasar SG3. Sehingga, diperlukan perbaikan tanah dasar dengan material timbunan pilihan ($\text{CBR} \geq 10\%$) sebesar 400 mm.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)

Jenis Kendaraan	LHR 2025	Jumlah Kelompok Sumbu	HVAG	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRg	SQdRG
2	9914	-	-	-	-	-	-	-	-
3	830	-	-	-	-	-	-	-	-
4	2579	-	-	-	-	-	-	-	-
5A	53	-	-	-	-	-	-	-	-
5B	547	2	1094	547	547	-	-	-	-
6A	5108	2	10216	10216	-	-	-	-	-
6B	3844	2	7688	3844	3844	-	-	-	-
7A	924	2	1848	924	-	-	924	-	-
7B	190	4	760	190	570	-	-	-	-
7C	666	3	1998	666	666	-	666	-	-
Total	2465		23604	16387	5627	0	1590	0	0
Proporsi Jenis Kendaraan (%)			100	0,69	0,24	0	0,07	0	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Mengacu pada **Tabel 2**, diperoleh nilai JSKN sebesar 23604. Dengan mempertimbangkan umur rencana 40 tahun, maka nilai JSKN dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{JSKN} = (\sum \text{LHR}_{\text{JK}} \times \text{JSKN}_{\text{JK}}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R}$$

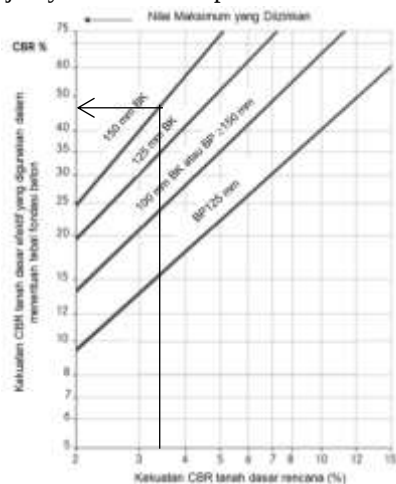
$$\text{JSKN} = 23604 \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 115,064$$

$$\text{JSKN} = 396.531.716$$

$$\text{JSKN} = 3,97, \text{E}+08$$

2) Jenis dan Tebal Fondasi Bawah

Dengan diperoleh nilai JSKN sebesar 3,97,E+08 maka diperoleh jenis lapis fondasi Beton Kuras (BK) sebesar 150 mm. Setelah menentukan bahan dan ketebalan lapis fondasi jalan, selanjutnya ialah menetapkan CBR tanah dasar efektif.



Gambar 3. Grafik CBR Efektif

Desain Perkerasan Kaku

1) Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)

Perhitungan volume LHR pada **Tabel 1.** dengan data LHR pada tahun 2025 selanjutnya digunakan untuk menghitung Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) yang dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Sehingga diperoleh nilai CBR tanah dasar efektif sebesar 47%.

3) Mutu Beton

Penilaian mutu beton semen dilakukan berdasarkan nilai kuat tarik lentur (flexural strength) yang dicapai ketika beton berumur 28 hari. Adapun penentuan nilai kuat tarik lentur dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50}$$

$$f_{cf} = 0,75 (40)^{0,50}$$

$$f_{cf} = 4,74 \text{ Mpa}$$

4) Repetisi Beban yang Diizinkan

Setelah nilai JSKN diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung jumlah repetisi beban yang diizinkan untuk setiap kelompok sumbu, dengan mengacu pada distribusi beban dari JSKN.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Repetisi Beban yang Diizinkan pada Kelompok Sumbu STRT

Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	JSKN	Repetisi yang Diizinkan
110	0,0150			4,13E+06
100	0,0024			6,61E+05
90	0,0075			2,06E+06
80	0,0259			7,13E+06
70	0,0950	0,69	3,97,E+08	2,62E+07
60	0,0836			2,30E+07
50	0,1449			3,99E+07
40	0,2639			7,26E+07
30	0,2679			7,38E+07

20	0,0932	2,57E+07
10	0,0007	1,93E+05

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4. Hasil Perhitungan Repetisi Beban yang Diizinkan pada Kelompok Sumbu STRG

Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	JSKN	Repetisi yang Diizinkan
190	0,0016			1,51E+05
180	0,0011			1,04E+05
170	0,0003			2,84E+04
160	0,0020			1,89E+05
150	0,0572			5,41E+06
140	0,0811			7,67E+06
130	0,0388			3,67E+06
120	0,0508			4,80E+06
110	0,0600			5,67E+06
100	0,0581	0,24	3,97,E+08	5,49E+06
90	0,0691			6,53E+06
80	0,0627			5,93E+06
70	0,0945			8,93E+06
60	0,1448			1,37E+07
50	0,1285			1,21E+07
40	0,1011			9,56E+06
30	0,0476			4,50E+06
20	0,0006			5,67E+04
10	0,0002			1,89E+04

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. Hasil Perhitungan Repetisi Beban yang Diizinkan pada Kelompok Sumbu STdRG

Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	JSKN	Repetisi yang Diizinkan
330	0,0001			2,67E+03
320	0,1418			3,79E+06
310	0,0200			5,34E+05
300	0,0418			1,12E+06
290	0,0311			8,31E+05
280	0,0319			8,52E+05
270	0,0975			2,60E+06
260	0,0354			9,46E+05
250	0,0762			2,04E+06
240	0,0601			1,61E+06
230	0,0498			1,33E+06
220	0,0433	0,07	3,97,E+08	1,16E+06
210	0,0406			1,08E+06
200	0,0409			1,09E+06
190	0,0394			1,05E+06
180	0,0342			9,14E+05
170	0,0319			8,52E+05
160	0,0348			9,30E+05
150	0,0219			5,85E+05
140	0,0228			6,09E+05
130	0,0194			5,18E+05
120	0,0187			4,99E+05
110	0,0190			5,08E+05

Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	JSKN	Repetisi yang Diizinkan
100	0,0195			5,21E+05
90	0,0131			3,50E+05
80	0,0083			2,22E+05
70	0,0040			1,07E+05
60	0,0014			3,74E+04
50	0,0010			2,67E+04
40	0,0001			2,67E+03
30	0,0000	0,07	3,97,E+08	0,00E+00
20	0,0000			0,00E+00
10	0,0000			0,00E+00

Sumber: Hasil Perhitungan

5) Faktor Lelah (*Fatigue*) dan Faktor Erosi (F3)

Berdasarkan hasil perhitungan repetisi yang diizinkan dari **Tabel 3** sampai **Tabel 5**, maka selanjutnya dihitung faktor lelah (*fatigue*) dan faktor erosi (F3) pada desain perkerasan kaku dengan pemilihan ketebalan yang melebihi ketebalan minimum, dipilih tebal desain perkerasan sebesar 260 mm.

Hasil perhitungan pada **Tabel 6** sampai **Tabel 8** didapatkan nilai faktor lelah (*fatigue*) untuk ketebalan 260 mm sebesar 49,25% dan nilai faktor erosi (F3) sebesar 61,59%.

6) Sambungan

a. Tie Bar

Pada sambungan memanjang, tie bar dipasang menggunakan batang ulir dengan mutu minimal BJTU-24 berdiameter 16 mm. Jarak antar batang pengikat ditetapkan 70 cm, sedangkan panjang batang ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

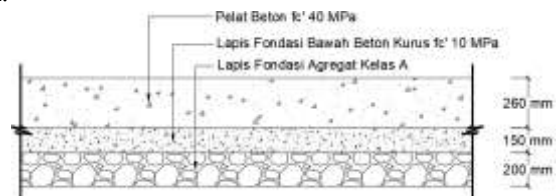
$$I = (38,3 \times 16) + 75$$

$$I = 687,8 \text{ mm}$$

$$I = 69 \text{ cm}$$

b. Dowel

Pada sambungan melintang, dowel dipasang menggunakan batang polos dengan panjang 45 cm, dengan jarak antar batang ditetapkan 30 cm. Berdasarkan hasil perhitungan *fatigue* dan erosi diperoleh ketebalan beton 260 mm sehingga diameter yang digunakan dari ruji adalah 38 mm.



Gambar 4. Desain Tebal Perkerasan Kaku
Desain Perkerasan Lentur

1) Kumulatif Beban Lalu Lintas (*Cumulative Equivalent Single Axle Load, CESAL*)

Perencanaan struktur perkerasan lentur menggunakan nilai CESAL pangkat 5. Nilai tersebut dipilih karena terkait dengan karakteristik kelelahan aspal yang menjadi salah satu

dasar pada desain berbasis pendekatan Mekanistik-Empiris. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tersebut digunakan untuk perkerasan dengan volume lalu lintas tinggi. Perhitungan nilai CESAL 5 ditunjukkan pada **Tabel 9**.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Faktor Lelah (Fatigue) dan Faktor Erosi (F3) pada Sumbu STRT

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Beban Lsf (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang diizinkan	Ekuivalensi Faktor Fatigue	0,56	Ekuivalensi Faktor Erosi	0,95
			Analisis Faktor Fatigue		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	Fatigue (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
110	132,00	4,13,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	355526638325653	0,00
TOTAL			Fatigue (%)	0	Erosi (%)	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. Hasil Perhitungan Faktor Lelah (Fatigue) dan Faktor Erosi (F3) pada Sumbu STRG

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Beban Lsf (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang diizinkan	Ekuivalensi Faktor Fatigue	0,87	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,24
			Analisis Faktor Fatigue		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	Fatigue (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
190	228,00	1,51,E+06	371561,558	40,70600165	124505	1,21
180	216,00	1,04,E+05	1216710,92	8,546228839	173643	0,60
170	204,00	2,84,E+04	8048623,158	0,352345638	249470	0,11
160	192,00	1,89,E+05	UNLIMITED	#VALUE!	372104	0,51
150	180,00	5,41,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	583006	9,27
140	168,00	7,67,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	977665	7,84
130	156,00	3,67,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	1813947	2,02
120	144,00	4,80,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	3986860	1,20
110	132,00	5,67,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	12484067	0,45
100	120,00	5,49,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	163031806	0,03
TOTAL			Fatigue (%)	49,25	Erosi (%)	23,27

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 8. Hasil Perhitungan Faktor Lelah (Fatigue) dan Faktor Erosi (F3) pada Sumbu STdRG

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Beban Lsf (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang diizinkan	Ekuivalensi Faktor Fatigue	0,73	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,33
			Analisis Faktor Fatigue		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	Fatigue (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
330	396,00	2,67,E+03	UNLIMITED	#VALUE!	163885	0,02
320	384,00	3,97,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	198680	19,06
310	372,00	5,34,E+05	UNLIMITED	#VALUE!	243223	2,20
300	360,00	1,12,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	301080	3,71
290	348,00	8,31,E+05	UNLIMITED	#VALUE!	377503	2,20
280	336,00	8,52,E+05	UNLIMITED	#VALUE!	480448	1,77
270	324,00	2,60,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	622389	4,18
260	312,00	9,46,E+05	UNLIMITED	#VALUE!	823675	1,15
250	300,00	2,04,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	1119192	1,82
240	288,00	1,61,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	1572550	1,02
230	276,00	1,33,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	2309341	0,58

220	264,00	1,16,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	3605511	0,32
210	252,00	1,08,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	6167102	0,18
200	240,00	1,09,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	12284904	0,09
190	228,00	1,05,E+06	UNLIMITED	#VALUE!	33487253	0,03
TOTAL			Fatigue (%)	0	Erosi (%)	38,32

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 9. Hasil Perhitungan CESAL5

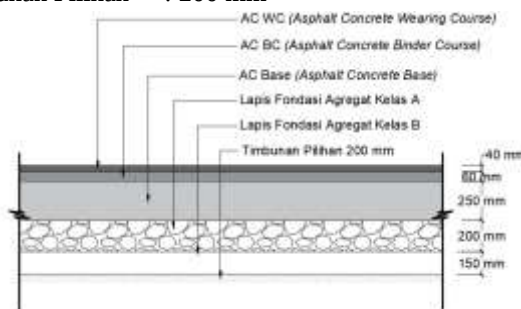
Kelompok Sumbu	Jenis Kendaraan			VDF 5 (Faktual)	VDF 5 (Normal)	CESAL 5	
		2022	2025			2022	2025
		2025	2065			2025	2065
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	R	3,147	115,064			(4) x (6) x 365 x DD x DL x R	(4) x (6) x 365 x DD x DL x R
2	Sedan, Jeep, Station Wagon	8613	9914	-	-	-	-
3	Opelet, Pick-up-opelet, Mini Bus	721	830	-	-	-	-
4	Pickup, Micro Truck, Mobil Hantaran	2240	2579	-	-	-	-
5A	Bus	46	53	-	-	-	-
5B	Bus Besar	475	547	1,30	1,30	2,84,E+05	1,19E+07
6A	Truck 2 Sumbu 4 Roda	4437	5108	0,40	0,40	8,15E+05	3,43E+07
6B	Truck 2 Sumbu 6 Roda	3339	3844	2,90	0,60	4,45E+06	3,87E+07
7A	Truck 3 Sumbu	802	924	12,40	3,40	4,57E+06	5,28E+07
7B	Truck Gandengan	165	190	16,20	5,20	1,23E+06	1,66E+07
7C	Truck Semi Trailer	578	666	15,80	5,90	4,20E+06	6,60E+07
Total (ESA)						1,55,E+07	2,20,E+08
Total (CESAL)						2,36,E+08	

Sumber: Hasil Perhitungan

2) Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Fondasi Agregat 200 mm

Berdasarkan perhitungan nilai CESAL5 pada **Tabel 9**, diperoleh nilai sebesar 2,36,E+08 CESAL5. Sehingga, dengan mempertimbangkan *discounted life cycle cost analysis* digunakan alternatif desain perkerasan lentur dengan lapis fondasi agregat 200 mm, dengan struktur perkerasan sebagai berikut.

- AC-WC : 40 mm
- AC-BC : 60 mm
- AC-Base : 250 mm
- LFA Kelas A : 200 mm
- LFA Kelas B : 150 mm
- Timbunan Pilihan : 200 mm



Gambar 5. Desain Tebal Perkerasan Lentur Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) dihitung berdasarkan perkalian antara volume pekerjaan dengan item pekerjaan yang dilakukan serta harga satuan tiap item. Komponen harga satuan meliputi biaya material, peralatan, dan upah tenaga kerja yang terlibat dalam pelaksanaan konstruksi.

$$RAB = \sum \text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}$$

1) Rencana Anggaran Biaya (RAB) Konstruksi

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa estimasi biaya konstruksi untuk perkerasan kaku mencapai Rp 132.829.058.458. Sedangkan pada perkerasan lentur diperoleh nilai sebesar Rp 111.277.863.596.

2) Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pemeliharaan

a. Biaya Pemeliharaan Perkerasan Kaku

Pada perkerasan kaku, biaya pemeliharaan rutin ditetapkan senilai 0,3% dari keseluruhan biaya konstruksi, sehingga diperoleh biaya pemeliharaan tahunan sebesar Rp 398.487.175. Untuk menghitung nilai masa mendatang dalam pemeliharaan rutin selama 40 tahun dapat dihitung sebagai berikut.

$$F = P \times (1 + i)^n$$

$$F = \text{Rp } 398.487.175 \times (1 + 3\%)^{40}$$

$$F = \text{Rp } 398.487.175 \times 3,072$$

$$F = \text{Rp } 1.224.122.346$$

Dengan menggunakan suku bunga (i) dari nilai inflansi yang dikeluarkan oleh Bank Indonesia per 10 tahun terakhir (2016 – 2025) sebesar 3%, diperoleh biaya pemeliharaan rutin di masa mendatang pada umur rencana 40 tahun sebesar Rp 1.224.122.346. Nilai masa mendatang harus dikonversi ke nilai sekarang (P) dengan menggunakan suku bunga (i) dari Bank Indonesia yang diambil 10 tahun terakhir (2016 – 2025) sebesar 4,97%. Sehingga dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$P = F \times (1/(1 + i)^n)$$

$$P = \text{Rp } 1.224.122.346 \times (1/(1 + 4,97\%)^{40})$$

$$P = \text{Rp } 1.224.122.346 \times 0,144$$

$$P = \text{Rp } 176.209.273$$

Selama periode pemeliharaan tahun pertama hingga tahun ke-40, total biaya rutin untuk perkerasan kaku mencapai Rp 10.785.174.805.

b. Biaya Pemeliharaan Perkerasan Lentur

Pada perkerasan lentur, biaya pemeliharaan rutin ditetapkan sebesar 2,2% dari total biaya konstruksi, sehingga menghasilkan nilai pemeliharaan tahunan sebesar Rp 2.448.112.999. Untuk menghitung nilai masa mendatang dalam pemeliharaan rutin selama 40 tahun dapat dihitung sebagai berikut.

$$F = P \times (1 + i)^n$$

$$F = \text{Rp } 2.448.112.999 \times (1 + 3\%)^{40}$$

$$F = \text{Rp } 2.448.112.999 \times 3,072$$

$$F = \text{Rp } 7.520.417.248$$

Nilai masa mendatang harus dikonversi ke nilai sekarang (P) dengan menggunakan suku bunga (i) dari Bank Indonesia yang diambil 10 tahun terakhir (2016 – 2025) adalah sebesar 4,97%. Sehingga dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$P = F \times (1/(1 + i)^n)$$

$$P = \text{Rp } 7.520.417.248 \times (1/(1 + 4,97\%)^{40})$$

$$P = \text{Rp } 7.520.417.248 \times 0,144$$

$$P = \text{Rp } 1.082.544.783$$

Selama periode pemeliharaan tahun pertama hingga tahun ke-40, total biaya rutin untuk perkerasan kaku mencapai Rp 66.258.911.878.

4. KESIMPULAN

Dari keseluruhan proses perencanaan yang telah dilakukan, dapat dirumuskan sejumlah kesimpulan.

- 1) Desain perkerasan yang diperoleh melalui perhitungan dengan metode MDPJ 2024 diperoleh desain sebagai berikut.

- a. Desain perkerasan kaku dengan umur layan 40 tahun direncanakan tipe bersambung tanpa tulangan. Rencana ketebalan lapisan terdiri dari pelat beton 260 mm, fondasi bawah beton kurus 150 mm, dan fondasi agregat kelas A 200 mm. Untuk sambungan, dipakai tie bar (BJTU 24) diameter 16 mm dengan panjang 690 mm, serta dowel (BJTP) diameter 38 mm dengan panjang 450 mm.

- b. Desain perkerasan lentur dengan umur layan 40 tahun diperoleh susunan lapisan sebagai berikut: AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) 40 mm, AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) 60 mm, AC-Base (*Asphalt Concrete Base*) 250 mm, lapis fondasi agregat kelas A 200 mm, lapis fondasi agregat kelas B 150 mm, dan timbunan pilihan berbutir kasar 200 mm.

- 2) Hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB), biaya konstruksi perkerasan kaku sebesar Rp 132.829.058.458. Sedangkan perkerasan lentur sebesar Rp 111.277.863.596. Dengan demikian, biaya konstruksi perkerasan kaku 16% lebih mahal dibandingkan perkerasan lentur.
- 3) Biaya pemeliharaan rutin yang diperoleh selama umur rencana 40 tahun diperoleh untuk perkerasan kaku sebesar Rp 10.785.174.805. Sedangkan biaya pemeliharaan rutin untuk perkerasan lentur adalah sebesar Rp 66.258.911.878.
- 4) Setelah diperoleh biaya konstruksi dan biaya pemeliharaan antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur selama umur rencana 40 tahun. Dapat dikumulatikan bahwa perkerasan kaku lebih ekonomis sebesar 23,6% dibandingkan perkerasan lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Manual Desain Perkerasan Jalan No. 03/M/BM/2024*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024.
- [2] K. Wahidaturrohman, A. Hasanuddin, dan W. Kriswardhana, "Perencanaan Tebal Perkerasan pada Ruas Jalan Tol Gempol-Pasuruan ST 13+900 sampai dengan STA 20+500 dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2017", *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 93-103, 2019
- [3] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2024 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan*. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara, 2024