

BAB IV

HASIL DAN PEMABAHASAN

4.1 Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Metode MDPJ 2024

Dalam studi ini, tebal perkerasan yang dihitung adalah tipe perkerasan lentur (flexible pavement) menggunakan pendekatan MDPJ 2024. Proses perhitungannya dilakukan melalui tahapan berikut:

4.1.1. Data Lalu Lintas

Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) merupakan data primer, dimana data tersebut didapatkan dengan melakukan survei lapangan pada jam puncak. Survei tersebut dilakukan di dua titik, yaitu arah ke Jl. Tembok Dukuh dan arah ke Jl. Gresik, dimana jalan tersebut merupakan jalan 2 arah. Berdasarkan data hasil survei didapatkan volume terbesar terjadi pada pukul 16.00-17.00 di titik pertama seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Volume Lalu Lintas Jam Puncak

Klasifikasi Kendaraan	Golongan Kendaraan	Volume Jam Puncak		LHR 1 Jam (kend/jam)	LHR 24 Jam (kend/hari)
		16.00-16.30	16.30-17.00		
Sepeda motor dan roda 3	1	1.526	1.711	3.237	40.463
Sedan, Jeep, dan Station Wagon	2	787	832	1.619	20.238
Opelet, Pick up, Mini Bus	3	53	51	104	1.300
Micro Truck	4	21	19	40	500
Bus Kecil	5a	17	20	37	463
Bus Besar	5b	36	38	74	925
Truk 2 Sumbu 4 Roda	6a	34	41	75	938
Truk 2 Sumbu 6 Roda	6b	18	28	46	575
Truk 3 Sumbu	7a	52	56	108	1.350
Truk Trailer 3 Sumbu	7a	35	30	65	813
Truk Gandeng	7b	30	33	63	788

Tabel 4.1 Volume Lalu Lintas Jam Puncak (Lanjutan)

Klasifikasi Kendaraan	Golongan Kendaraan	Volume Jam Puncak		LHR 1 Jam (kend/jam)	LHR 24 Jam (kend/hari)
		16.00-16.30	16.30-17.00		
Truk Trailer Gandeng	7b	47	45	92	1.150
Truk Trailer	7c	10	11	21	263
Truk Trailer	7c	13	12	25	313
Truk Semi Trailer	7c	6	7	13	163
TOTAL		2.685	2.934	5.619	70.238

Sumber: Hasil Analisis Data

Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) dihitung dengan membagi LHR selama 1 jam dengan faktor LHR (k), di mana berdasarkan MKJI 1997 untuk tipe kota dan jalan yang sesuai digunakan nilai k sebesar 0,08 (8%). Pembangunan Jalan Demak direncanakan beroperasi pada tahun 2026 dengan umur rencana 20 tahun (2026–2046), menggunakan data LHR tahun 2025 dengan asumsi pembukaan lalu lintas pada 2026 (1 tahun setelah 2025) dan awal periode beban normal MST 12 ton pada 2029 (4 tahun setelah 2025), sehingga dilakukan perhitungan lalu lintas untuk tahun 2026 dan 2029 sebagaimana dicontohkan pada Persamaan (5.1) dan (5.2).

$$\begin{aligned}
 \text{LHRT} &= \text{LHR}_0 (1 + i)^n & (5.1) \\
 &= 40.463 (1 + 0,048)^1 \\
 &= 42.405 \text{ kendaraan/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LHRT} &= \text{LHR}_0 (1 + i)^n & (5.2) \\
 &= 40.463 (1 + 0,048)^4 \\
 &= 48.809 \text{ kendaraan/hari}
 \end{aligned}$$

Data lalu lintas harian jalan Demak seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Lalu Lintas Harian Rata-Rata

Klasifikasi Kendaraan	Golongan Kendaraan	LHR 2025	LHR 2026	LHR 2029
Sepeda motor dan roda 3	1	40.463	42.405	48.809
Sedan, Jeep, dan Station Wagon	2	20.238	21.209	24.412
Opelet, Pick up, Mini Bus	3	1.300	1.362	1.568
Micro Truck	4	500	524	603
Bus Kecil	5a	463	485	558
Bus Besar	5b	925	969	1.116
Truk 2 Sumbu 4 Roda	6a	938	983	1.131
Truk 2 Sumbu 6 Roda	6b	575	603	694
Truk 3 Sumbu	7a1	1.350	1.415	1.628
Truk Trailer 3 Sumbu	7a2	813	852	980
Truk Gandeng	7b1	788	825	950
Truk Trailer Gandeng	7b2	1.150	1.205	1.387
Truk Trailer	7c1	263	275	317
Truk Trailer	7c2	313	328	377
Truk Semi Trailer	7c3	163	170	196

Sumber: Hasil Analisis Data

Data ruas jalan Demak sebagai berikut:

Status Jalan = Jalan Kota

Type Jalan = 2/1 UD

Klasifikasi Jalan = Jalan Kolektor Primer

Pertumbuhan Lalu Lintas (i) = 4,80 % (Berdasarkan MDPJ 2024)

Jenis Perencanaan = Perencanaan Jalan Baru, Perkerasan Lentur

Umur Rencana = 20 Tahun (Berdasarkan MDPJ 2024)

Geometri Jalan = 8 m (Badan Jalan)

4.1.2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Jalan Demak Surabaya tergolong pada jalan arteri di Pulau Jawa, sehingga berdasarkan Tabel 2.4 didapatkan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas pada daerah tersebut sebesar 4,80%. Pembangunan pada jalan ini direncanakan akan beroperasi

Perencanaan dimulai pada tahun 2026 dengan umur rencana 20 tahun (2026–2046) menggunakan data lalu lintas hasil survei tahun 2025. Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas dihitung untuk dua rentang waktu, masing-masing selama 3 tahun dan 17 tahun. Pada tahun pertama setelah jalan dibuka untuk lalu lintas, yakni 2026 (1 tahun setelah 2024), digunakan nilai $R(2026–2029)$ sebesar 3,15. Selanjutnya, pada awal periode beban normal dengan MST 12 ton di tahun 2029 (4 tahun setelah 2025), digunakan nilai $R(2030–2046)$ sebesar 25,39. Kedua nilai R tersebut diperoleh melalui perhitungan menggunakan Persamaan (2.1) berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{(2026-2029)} &= \frac{(1 + 0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i} \\
 &= \frac{(1 + 0,01 \times 4,80)^3 - 1}{0,01 \times 4,80} \\
 &= 3,15\% \\
 R_{(2030-2046)} &= \frac{(1 + 0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i} \\
 &= \frac{(1 + 0,01 \times 4,80)^{17} - 1}{0,01 \times 4,80} \\
 &= 25,39\%
 \end{aligned}$$

4.1.3. Faktor Laju Rencana

Faktor distribusi arah (DD) pada Jalan Demak menggunakan sistem dua arah. Mengacu pada MDPJ 2024, nilai DD umumnya ditetapkan sebesar 0,50. Dengan jumlah 3 lajur pada setiap arah, maka berdasarkan Tabel 2.5, nilai Faktor Distribusi Lajur (DL) adalah 60%.

4.1.4. Vehicle Damage Factor (VDF)

Nilai VDF dibedakan menjadi 2 jenis yaitu $VDF4$ dan $VDF5$ yang nantinya akan digunakan untuk menghitung *Cumulative Equivalent Single Axle Load* Nilai

CESA dihitung sebagai beban sumbu standar kumulatif. CESA4 dan CESA5 digunakan untuk menentukan jenis serta tebal perkerasan. Adapun VDF4 dan VDF5 yang diperlukan dalam perhitungan disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Nilai VDF₄ dan VDF₅

Golongan Kendaraan	Konfigurasi	VDF4		VDF5	
		Faktual	Normal	Faktual	Normal
1		-	-	-	-
2	1,1	-	-	-	-
3	1,1	-	-	-	-
4	1,1	-	-	-	-
5a	1,1	-	-	-	-
5b	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
6a	1,1	0,5	0,5	0,4	0,4
6b	1.2L + 1.2H	3,8	0,8	5,5	0,7
7a1	1,22	7,8	2,8	12,3	3,2
7a2	1.2.2	16,3	4,6	33,6	6,3
7b1	1.2+22	-	-	-	-
7b2	1.22+22	12,9	5,9	18,9	6,9
7c1	1.2-22	6,7	4,5	9,6	5,7
7c2	1.2-222	12,8	6,6	21,5	8,6
7c3	1.22-222	20,8	7	44,2	9,6

Sumber: MDPJ 2024

4.1.5. *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)*

Beban sumbu standar kumulatif dihitung dengan Persamaan (2.2). Berdasarkan data yang tersedia, contoh perhitungan ESA untuk golongan kendaraan 7A1 dapat ditunjukkan secara bertahap sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 ESA_{4(2026-2029)} &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (1.415 \times 2,8) \times 365 \times 0,5 \times 0,6 \times 3,146 \\
 &= 3.802.933
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ESA_{4(2030-2046)} &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (1.628 \times 12,3) \times 365 \times 0,5 \times 0,6 \times 25,394 \\
 &= 12.679.009
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ESA_{5(2026-2029)} &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (1.415 \times 12,3) \times 365 \times 0,5 \times 0, \times 3,146 \\
 &= 5.995.356
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ESA_{5(2030-2047)} &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (1.628 \times 3,2) \times 365 \times 0,5 \times 0,6 \times 25,394 \\
 &= 14.490.296
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *ESA* didapatkan hasil *CESA*₄ sebesar 88.106.649 dan *CESA*₅ sebesar 115.523.139, perhitungan beban sumbu standar kumulatif (*CESA*) seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4. 4 Perhitungan Beban Sumbu Standar Kumulatif (*CESA*)

Golongan Kendaraan	Konfigurasi	CESA4		CESA5	
		26-'29	30-'46	26-'29	30-'46
1		-	-	-	-
2	1,1	-	-	-	-
3	1,1	-	-	-	-
4	1,1	-	-	-	-
5a	1,1	-	-	-	-
5b	1,2	400.774	3.723.201	434.171	4.033.468
6a	1,1	169.246	1.572.298	135.396	1.257.838
6b	1.2L + 1.2H	788.910	1.542.948	1.141.844	1.350.080
7a1	1,22	3.801.933	12.679.009	5.995.356	14.490.296
7a2	1.2.2	4.781.752	12.536.454	9.856.863	17.169.491
7b1	1.2+22	-	-	-	-
7b2	1.22+22	5.356.284	22.758.486	7.847.580	26.615.856
7c1	1.2-22	635.009	3.962.190	909.864	5.018.774
7c2	1.2-222	1.444.229	6.918.110	2.425.853	9.014.507
7c3	1.22-222	1.220.374	3.815.442	2.593.294	5.232.607
Jumlah ESA		18.598.511	69.508.138	31.340.222	84.182.917
ESA		88.106.649		115.523.139	

Sumber: Hasil Analisis Data

4.1.6. Menentukan Tipe Perkerasan

Tipe perkerasan ditentukan berdasarkan hasil dari nilai *CESA*₄ yang sudah didapatkan sebelumnya. Jika nilai *CESA*₄ sebesar 88.106.649 dimasukkan pada

Berdasarkan Tabel 4.5, jenis perkerasan yang dipilih adalah AC-WC modifikasi dengan CTB menggunakan ESA pangkat 5. Pemilihan jenis perkerasan tersebut ditetapkan sesuai kriteria yang tercantum pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (Juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 - 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (diatas tanah dengan CBR > 2,5%)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas renda (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal > 100mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis fondasi soil cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber: MDPJ 2024

4.1.7. Menentukan Tebal Lapis Perkerasan

Perhitungan tebal lapisan perkerasan dilakukan dengan cara yang hampir sama seperti menentukan jenis perkerasan, tetapi menggunakan parameter CESA5. Dari Tabel 2.8, dengan nilai CESA5 sebesar 115.523.139, diperoleh tebal lapis perkerasan sebagai berikut:

$$AC\ WC = 40\ mm$$

$$AC\ BC = 60\ mm$$

$$AC\ Base = 75\ mm$$

$$CTB = 150\ mm$$

$$LFA\ Kelas\ B = 150\ mm$$

$$LFA\ Kelas\ C = 200\ mm$$

4.1.8. Menghitung Anggaran Biaya

Hasil perhitungan tebal perkerasan kemudian dianalisis lebih lanjut melalui penyusunan RAB, dengan tujuan mendapatkan perbandingan yang lebih komprehensif serta metode yang efisien. Untuk mempermudah perhitungan, panjang segmen ditetapkan 8 meter, sedangkan harga satuan pekerjaan menggunakan acuan HSPK Pemerintah Kabupaten Surabaya Tahun Anggaran 2024. Berikut disajikan perhitungan RAB untuk metode MDPJ 2024:

Diketahui:

$$\text{Lebar jalan} = 9\ m$$

$$AC\ WC = 4\ cm$$

$$AC\ BC = 6\ cm$$

$$AC\ Base = 8\ cm$$

$$CTB = 15\ cm$$

LFA Kelas A = 15 cm

LFA Kelas C = 20 cm

4.1.8.1. Perhitungan volume galian

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan total} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,675 \times 8 \\ &= 48,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4.1.8.2. Perhitungan volume AC WC

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,04 \times 8 \\ &= 2,88 \text{ m}^3 \\ &= 1,017 \text{ ton} \end{aligned}$$

4.1.8.3. Perhitungan volume AC BC

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,06 \times 8 \\ &= 4,32 \text{ m}^3 \\ &= 1,526 \text{ ton} \end{aligned}$$

4.1.8.4. Perhitungan volume AC Base

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,075 \times 8 \\ &= 5,4 \text{ m}^3 \\ &= 1,907 \text{ ton} \end{aligned}$$

4.1.8.5. Perhitungan CTB

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,15 \times 8 \end{aligned}$$

$$= 10,8 \text{ m}^3$$

4.1.8.6. Perhitungan LFA Kelas B

$$V = \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen}$$

$$= 9 \times 0,15 \times 8$$

$$= 10,8 \text{ m}^3$$

4.1.8.7. Perhitungan LFA Kelas B

$$V = \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen}$$

$$= 9 \times 0,2 \times 8$$

$$= 14,4 \text{ m}^3$$

Hasil rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk MDPJ 2024 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Rencana Anggaran biaya MDPJ 2024

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Pekerjaan (Rp)
1	2	3	4	5	6
A	Pekerjaan Tanah				
	Galian Tanah Biasa	m ³	48,6	Rp 163.000	Rp 7.921.800
B	Pekerjaan Perkerasan				
	LFA Kelas B	m ³	10,8	Rp 562.600	Rp 6.076.080
	LFA Kelas C	m ³	14,4	Rp 562.600	Rp 8.101.440
	CTB	m ³	10,8	Rp 639.900	Rp 6.910.920
	Lapisan Permukaan				
	Lapisan AC WC	ton	1,017	Rp 1.396.100	Rp 1.419.921
	Lapisan AC BC	ton	1,526	Rp 1.304.000	Rp 1.989.374
	Lapisan AC Base	ton	1,907	Rp 1.163.900	Rp 2.219.548
Jumlah					Rp 34.639.083
Pajak Pertambahan Nilai (PPN 11%)					Rp 3.810.299
Jumlah Harga dengan PPN					Rp 38.449.382
Total Harga jalan Demak Surabaya					Rp 11.054.197.319
Pembulatan					Rp 11.060.000.000
<i>Terbilang: Sebelas Miliar Enam Puluh Juta Rupiah</i>					

Sumber: Hasil Analisis Data

7.2 Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993

Tebal perkerasan yang dianalisis merupakan tipe perkerasan lentur (flexible pavement), yang dihitung berdasarkan metode AASHTO 1993. Proses perhitungan dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

7.2.1 Menentukan Indeks Penilaian (P_o dan P_t)

Indeks penilaian ditentukan berdasarkan beberapa parameter fungsi jalan, seperti berikut:

Fungsi jalan = Arteri

Nilai P_o = 4

Nilai P_t = 2,5

ΔPSI = $P_o - P_t$

= 4 - 2,5

= 1,5

7.2.2 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Ruas jalan Demak memiliki 3 lajur, berdasarkan Tabel 2.11 yaitu faktor distribusi jumlah lajur (D_L) sebesar 60% dan untuk nilai D_D ditentukan sebesar 0,5 (50%) pada jalan 2 arah.

7.2.3 Reliabilitas (R)

Tingkat reliabilitas berdasarkan fungsi jalan pada jalan Demak berdasarkan Tabel 2.12 yaitu jalan arteri daerah urban diambil nilai sebesar 80%.

7.2.4 Simpangan Baku (S_o)

Nilai simpangan baku ditentukan sebesar 0,45 dan berdasarkan Tabel 2.13 dengan tingkat reliabilitas sebesar 80% didapatkan nilai standar deviasi normal (Z_r) sebesar -0,841.

7.2.5 Koefisien Drainase (m)

Berdasarkan Tabel 2.17, koefisien drainase ditetapkan sesuai dengan persentase waktu perkerasan berada pada kadar air mendekati jenuh. Pada kasus jalan Demak, kondisi drainase termasuk baik dengan kisaran jenuh 5–25%, sehingga nilai koefisien drainase (m) yang dipakai adalah 1,10.

7.2.6 Angka Ekuivalen (E)

Langkah awal dalam memperoleh nilai ekuivalen (E) adalah menghitung Equivalent Axle Load (EAL) pada tiap sumbu roda kendaraan. Persentase beban per sumbu merujuk pada Gambar 2.2, dengan berat maksimum kendaraan mengikuti Jumlah Beban Izin (JBI) dari Tabel 2.11. Rekap persentase beban tiap sumbu kendaraan hasil perhitungan tersebut tersaji pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Persentase Beban Tiap Sumbu Kendaraan

Golongan Kendaraan	P (ton)	Presentase Beban Tiap Sumbu (%)			
		STRT	STRG	STdRG	STrRG
1	3,5	50%			
(Manguande et al., 2020)2	3,5	50%			
3	3,5	50%			
4	16	34%	66%		
5a	16	34%	66%		
5b	16	34%	66%		
6a	16	34%	66%		
6b	21,33	34%	66%		
7a1	40	25%		75%	
7a2	26	18%	41%		
7b1	31,4	18%	28%	54%	
7b2	36	18%	28%	54%	
7c1	69,06	13%		40%	47%
7c2	46	13%		40%	47%
7c3	46	13%		40%	47%

Sumber: Hasil Analisis Data

Langkah selanjutnya adalah menghitung *Equivalent Axle Load* (EAL) untuk masing masing golongan, sebagai contoh yaitu menghitung EAL untuk golongan kendaraan 7b2 dengan pembagian sumbu sebagai berikut:

$$\text{STRT} = \left(\frac{P \times \text{Persentase beban tiap sumbu}}{5,40} \right)^5$$

$$= \left(\frac{36 \times 18\%}{5,40} \right)^5$$

$$= 4,977$$

$$\text{STRG} = \left(\frac{P \times \text{Persentase beban tiap sumbu}}{8,16} \right)^5$$

$$= \left(\frac{36 \times 28\%}{8,16} \right)^5$$

$$= 2,876$$

$$\text{STdRG} = \left(\frac{P \times \text{Persentase beban tiap sumbu}}{13,76} \right)^5$$

$$= \left(\frac{36 \times 54\%}{13,76} \right)^5$$

$$= 5,628$$

$$\text{Total EAL} = \text{STRT} + \text{STRG} + \text{STdRG}$$

$$= 4,977 + 2,876 + 5,628$$

$$= 13,482$$

Berdasarkan perhitungan pembagian sumbu, didapatkan hasil total EAL untuk golongan 7b2 sebesar 13,482. Rekapitulasi perhitungan *Equivalent Axle Load* (EAL) seperti ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Perhitungan Equivalent Axle Load (EAL)

Golongan Kendaraan	Equivalent Axle Load (EAL)				Total EAL
	STRT	STRG	STdRG	STrRG	
1	0,007	0,000	0,000	0,000	0,007
2	0,007	0,000	0,000	0,000	0,007
3	0,007	0,000	0,000	0,000	0,007
4	2,075	3,630	0,000	0,000	5,705
5a	2,075	3,630	0,000	0,000	5,705

5b	2,075	3,630	0,000	0,000	5,705
6a	2,075	3,630	0,000	0,000	5,705
6b	8,738	15,284	0,000	0,000	24,021
7a1	43,557	0,000	49,262	0,000	92,820
7a2	0,978	3,805	0,000	0,000	4,783
7b1	2,512	1,452	2,841	0,000	6,806
7b2	4,977	2,876	5,628	0,000	13,482
Golongan Kendaraan	Equivalent Axle Load (EAL)				Total EAL
	STRT	STRG	STdRG	STrRG	
7c1	25,405	0,000	32,609	16,852	74,865
7c2	3,331	0,000	4,276	2,210	9,816
7c3	3,331	0,000	4,276	2,210	9,816

Sumber: Hasil Analisis Data

7.2.7 Menghitung Repetisi Beban Selama Umur Rencana (W_{18})

Repetisi beban (W_{18}) sepanjang umur rencana dihitung dengan terlebih dahulu menentukan faktor umur rencana. Laju pertumbuhan penduduk tahunan digunakan sebagai dasar perhitungan faktor ini. Data jumlah penduduk diambil dari BPS Kota Surabaya selama periode 2019–2024, sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Laju Pertumbuhan Penduduk (i)

Tahun	Jumlah Penduduk	i (%)	i (%) Pakai
2019	3158943		
2020	2971300	-5,940	0,000
2021	2880284	-3,063	0,000
2022	2987863	3,735	3,735
2023	3009286	0,717	0,717
2024	3018022	0,290	0,290
i rata-rata			1,581

Sumber: Hasil Analisis Data

Nilai i (%) minus dianggap 0 (tidak dipakai), maka didapatkan hasil i (%) pakai rata-rata sebesar 1,581 . Perhitungan faktor umur rencana dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \\
 &= \frac{(1+(1,581))^{20}-1}{1,581} \\
 &= 23,308
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan faktor umur rencana, dilanjutkan untuk menghitung W_{18} menggunakan persamaan 2.5, contoh perhitungan W_{18} untuk golongan 7a1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{18} &= \sum LHR \times E_i \times D_D \times D_L \times 365 \times N \\
 &= 1.350 \times 92,820 \times 0,5 \times 0,6 \times 365 \times 23,308 \\
 &= 319.816.852,4 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

Perhitungan W_{18} dilakukan pada setiap golongan kendaraan, didapatkan hasil nilai total W_{18} sebesar 522.559.162,7 ESAL seperti ditunjukkan pada Tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Rekapitulasi Perhitungan W_{18}

Golongan Kendaraan	LHR 2025	Total EAL	DD	DL	N	W18
1	40.463	0,007	0,5	0,6	23,308	738.298,9
2	20.238	0,007	0,5	0,6	23,308	369.263,5
3	1.300	0,007	0,5	0,6	23,308	23.720,4
4	500	5,705	0,5	0,6	23,308	7.280.200,4
5a	463	5,705	0,5	0,6	23,308	6.734.185,4
5b	925	5,705	0,5	0,6	23,308	13.468.370,8
6a	938	5,705	0,5	0,6	23,308	13.650.375,8
6b	575	24,021	0,5	0,6	23,308	35.252.956,1
7a1	1.350	92,820	0,5	0,6	23,308	319.816.852,4
7a2	813	4,783	0,5	0,6	23,308	9.918.054,1
7b1	788	6,806	0,5	0,6	23,308	13.678.956,1
7b2	1.150	13,482	0,5	0,6	23,308	39.569.858,5
7c1	263	74,865	0,5	0,6	23,308	50.157.750,3
7c2	313	9,816	0,5	0,6	23,308	7.829.157,9

7c3	163	9,816	0,5	0,6	23,308	4.071.162,1
TOTAL						522.559.162,7

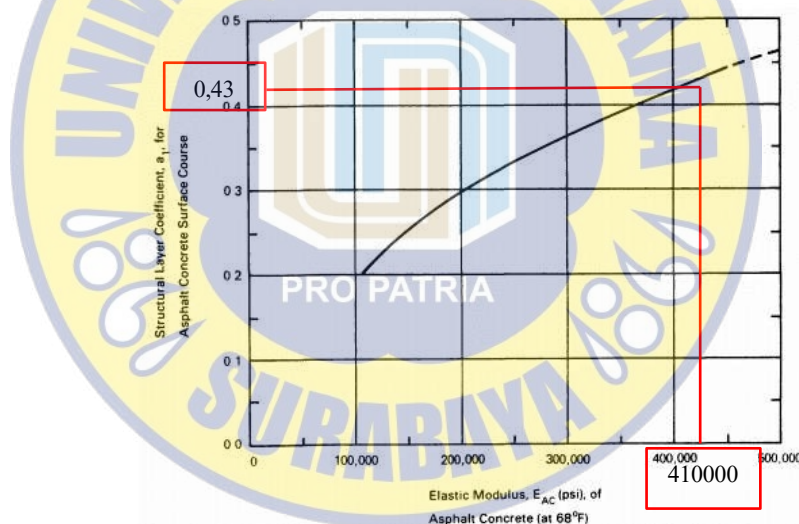
Sumber: Hasil Analisis Data

7.2.8 Koefisien Lapisan

Nilai koefisien lapisan dihitung menggunakan grafik, dengan hasil nilai koefisien bahan lapis sebagai berikut:

1. *Surface Course*

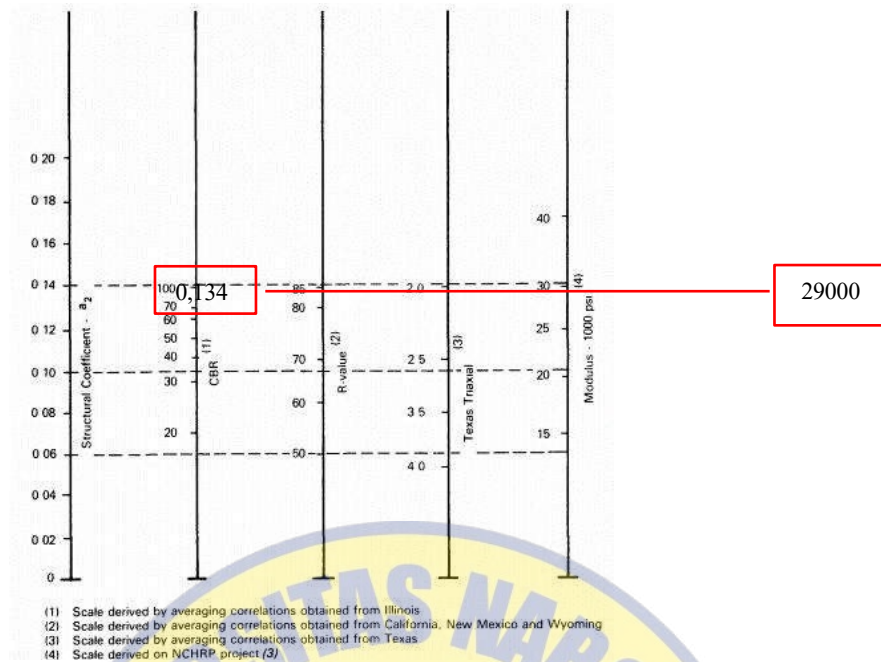
Koefisien kekuatan relatif lapis permukaan (a_1) ditentukan berdasarkan Gambar 2.3. Dengan nilai modulus elastisitas (E_{AC}) sebesar 410.000, diperoleh koefisien kekuatan relatif a_1 sebesar 0,43, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Koefisien Kekuatan Relatif a_1 untuk beton aspal

2. *Base Course*

Koefisien kekuatan relatif lapis pondasi (a_2) ditentukan berdasarkan Gambar 2.4. Dengan nilai CBR sebesar 90%, diperoleh koefisien kekuatan relatif a_2 sebesar 0,134 serta modulus elastisitas (E_{BS}) sebesar 29.000 Psi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut.



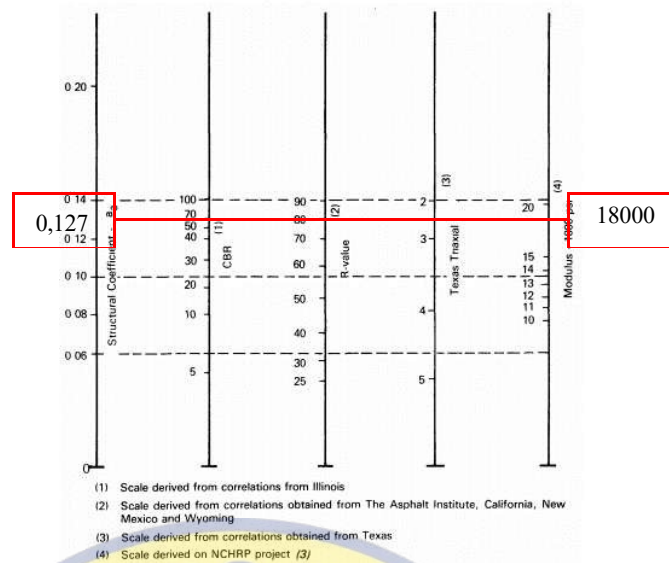
Gambar 4.2 Koefisien Kekuatan Relatif a_2 untuk lapis pondasi

Untuk menentukan nilai a_2 pada gambar di atas dapat menggunakan persamaan 2.6 berikut:

$$\begin{aligned}
 a_2 &= 0,249(\text{Log}_{10} E_{BS}) - 0,977 \\
 &= 0,249 (\text{Log}_{10} 29.000) - 0,977 \\
 &= 0,134
 \end{aligned}$$

3. *Subbase Course*

Koefisien kekuatan relatif lapis pondasi bawah (a_3) ditentukan berdasarkan Gambar 2.5. Dengan menggunakan nilai CBR sebesar 60%, diperoleh nilai a_3 sebesar 0,127 dan modulus elastisitas (EBS) sebesar 18.000 Psi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Koefisien Kekuatan Relatif a_3 untuk lapis pondasi bawah

Untuk menentukan nilai a_3 pada gambar di atas dapat menggunakan persamaan 2.8 berikut:

$$\begin{aligned} a_3 &= 0,2777(\text{Log}_{10}E_{BS})-0,839 \\ &= 0,2777 (\text{Log}_{10} 18.000) - 0,839 \\ &= 0,127 \end{aligned}$$

7.2.9 Menghitung *Structural Number* (SN)

Perhitungan *Structural Number* (SN) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 untuk mencari tebal dari setiap lapisan. Data yang dibutuhkan untuk mencari nilai SN didapatkan dari perhitungan sebelumnya, sebagai berikut:

$$\Delta\text{PSI} = 1,5$$

$$R = 80\%$$

$$Z_R = -0,841$$

$$S_o = 0,45$$

$$W_{18} = 522.559.162,7 \text{ ESAL}$$

$$E_{BS} = 29.000 \text{ Psi}$$

$$E_{SB} = 18.000 \text{ Psi}$$

$$\text{CBR} = 5 \%$$

$$\text{MR} = 1.500 \times \text{CBR}$$

$$= 1.500 \times 5$$

$$= 7.500 \text{ Psi}$$

1. *Surface Course*

$$\text{Log}(522.559.162,7) = (Z_r \times S_o) + 9,36 \text{ Log}(SN + 1) - 0,2 +$$

$$\frac{\text{Log} \left(\frac{\Delta PSI}{P_0 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \text{ Log} M_r - 8,07$$

$$8,718 = (-1,282 \times 0,45) + 9,36 \text{ Log}(SN + 1) - 0,2 +$$

$$\frac{\text{Log} \left(\frac{1,5}{4 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \text{ Log} 29.000 - 8,07$$

$$SN = 5,294$$

2. *Base Course*

$$\text{Log}(522.559.162,7) = (Z_r \times S_o) + 9,36 \text{ Log}(SN + 1) - 0,2 +$$

$$\frac{\text{Log} \left(\frac{\Delta PSI}{P_0 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \text{ Log} M_r - 8,07$$

$$8,718 = (-1,282 \times 0,45) + 9,36 \text{ Log}(SN + 1) - 0,2 +$$

$$\frac{\text{Log} \left(\frac{1,5}{4 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \text{ Log} 18.000 - 8,07$$

$$SN = 6,153$$

3. *Subbase Course*

$$\text{Log}(522.559.162,7) = (Z_r \times S_o) + 9,36 \text{ Log}(SN + 1) - 0,2 +$$

$$\frac{\text{Log} \left(\frac{\Delta PSI}{P_0 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \text{ Log} M_r - 8,07$$

$$\begin{aligned}
8,718 &= (-1,282 \times 0,45) + 9,36 \log(SN + 1) - 0,2 + \\
&\quad \frac{\log\left(\frac{1,5}{4-1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log 6.975 - 8,07 \\
SN &= 7,961
\end{aligned}$$

7.2.10 Menghitung Tebal Lapis Perkerasan

Setelah mendapatkan nilai SN dan koefisien lapisan, maka tebal perkerasan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

1. Surface Course

$$\begin{aligned}
SN &= 5,294 \times 2,54 \\
&= 13,446 \text{ cm} \\
SN &= a_1 \times D_1 \\
13,446 &= 0,43 \times D_1 \\
D_1 &= \frac{13,446}{0,43} \\
&= 31,269 \text{ cm} \\
D_1 \text{ yang digunakan} &= 32 \text{ cm}
\end{aligned}$$

2. Base Course

$$\begin{aligned}
SN &= 6,153 \times 2,54 \\
&= 15,63 \text{ cm} \\
SN &= (a_1 \times D_1) + (a_2 \times D_2 \times m_2) \\
15,63 &= (0,43 \times 32) + (0,134 \times D_2 \times 1,10) \\
D_2 &= \frac{15,63 - (0,43 \times 32)}{0,134 \times 1,10} \\
&= 12,670 \text{ cm} \\
D_2 \text{ yang digunakan} &= 13 \text{ cm}
\end{aligned}$$

3. Subbase Course

$$SN = 7,961 \times 2,54$$

$$= 20,222 \text{ cm}$$

$$SN = (a_1 \times D_1) + (a_2 \times D_2 \times m_2) + (a_3 \times D_3 \times m_3)$$

$$20,222 = (0,43 \times 32) + (0,134 \times 13 \times 1,10) + (0,127 \times D_3 \times 1,10)$$

$$D_3 = \frac{20,22 - (0,43 \times 32) - (0,134 \times 13 \times 1,10)}{0,127 \times 1,10}$$

$$= 32,536 \text{ cm}$$

$$D_3 \text{ yang digunakan} = 33 \text{ cm}$$

Dikarenakan untuk penyamaan perbandingan, hasil tebal lapis perkerasan disesuaikan dengan Tabel 2.8 pada MDPJ 2024. Tebal lapis perkerasan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$AC \text{ WC} = 40 \text{ mm}$$

$$AC \text{ BC} = 60 \text{ mm}$$

$$AC \text{ Base} = 220 \text{ mm}$$

$$CTB = 130 \text{ mm}$$

$$\text{LFA Kelas B} = 130 \text{ mm}$$

$$\text{LFA Kelas C} = 200 \text{ mm}$$

7.4.11 Menghitung Anggaran Biaya

Sebagai tahap berikutnya, dilakukan perhitungan anggaran biaya guna memperkuat analisis perbandingan dan menentukan alternatif metode yang lebih efisien. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan panjang segmen 8 meter untuk menyederhanakan estimasi biaya. Harga satuan yang digunakan didapatkan dari Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan, dilakukan analisis rencana Pemerintah Kabupaten Surabaya Tahun

Anggaran 2024. Berikut adalah perhitungan rencana anggaran biaya metode *AASHTO* 1993:

Diketahui:

$$\text{Lebar jalan} = 9 \text{ m}$$

$$AC \text{ } WC = 4 \text{ cm}$$

$$AC \text{ } BC = 6 \text{ cm}$$

$$AC \text{ } Base = 22 \text{ cm}$$

$$CTB = 13 \text{ cm}$$

$$\text{LFA Kelas B} = 13 \text{ cm}$$

$$\text{LFA Kelas C} = 13 \text{ cm}$$

a. Perhitungan volume galian

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan total} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,78 \times 8 \\ &= 56,16 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Perhitungan volume *AC WC*

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,04 \times 8 \\ &= 2,88 \text{ m}^3 \\ &= 1,017 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Perhitungan volume *AC BC*

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,06 \times 8 \\ &= 4,32 \text{ m}^3 \\ &= 1,526 \text{ ton} \end{aligned}$$

d. Perhitungan volume *AC Base*

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,22 \times 8 \\ &= 15,84 \text{ m}^3 \\ &= 5,594 \text{ ton} \end{aligned}$$

e. Perhitungan CTB

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,13 \times 8 \\ &= 9,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

f. Perhitungan LFA Kelas B

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,13 \times 8 \\ &= 9,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

g. Perhitungan LFA Kelas C

$$\begin{aligned} V &= \text{Lebar jalan} \times \text{Tebal Lapisan} \times \text{Panjang segmen} \\ &= 9 \times 0,2 \times 8 \\ &= 14,4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk *AASHTO* 1993 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya *AASHTO* 1993

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Pekerjaan (Rp)
1	2	3	4	5	6
A	Pekerjaan Tanah				
	Galian Tanah Biasa	m3	56,16	Rp 163.000	Rp 9.154.080
B	Pekerjaan Perkerasan				
	Lapisan Pondasi Atas	m3	9,36	Rp 562.600	Rp 5.265.936
	Lapisan Pondasi Bawah	m3	14,4	Rp 562.600	Rp 8.101.440

	CTB	m3	9,36	Rp 639.900	Rp 5.989.464
	Lapisan Permukaan				
	Lapisan AC WC	ton	1,017	Rp 1.396.100	Rp 1.419.921
No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Pekerjaan (Rp)
1	2	3	4	5	6
	Lapisan AC BC	ton	1,526	Rp 1.304.000	Rp 1.989.374
	Lapisan AC Base	ton	5,594	Rp 1.163.900	Rp 6.510.674
Jumlah					Rp 38.430.889
Pajak Pertambahan Nilai (PPN 11%)					Rp 4.227.398
Jumlah Harga dengan PPN					Rp 42.658.287
Total Harga jalan Demak Surabaya					Rp 12.264.257.446
Pembulatan					Rp 12.270.000.000
<i>Terbilang: Dua Belas Miliar Dua Ratus Tujuh Puluh Juta Rupiah</i>					

Sumber: Hasil Analisis Data

