

Studi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Mekanistik Empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D Dibandingkan Dengan Metode Bina Marga 2017

Dimas F. Robot^{#1}, Lucia G. J. Lalamentik^{#2}, Theo K. Sendow^{#3}
#Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹dimas.robot2@gmail.com; ²lucia.lalamentik@unsrat.ac.id; ³theosendow@unsrat.ac.id

Abstrak

Keberadaan jalan sangatlah diperlukan untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi, agrikultur dan sector lainnya. Untuk menjamin agar pembangunan jalan mampu memberikan pelayanan yang aman dan nyaman, maka perlu dilakukan perencanaan konstruksi perkerasan. Studi Literatur dilakukan untuk membandingkan nilai tebal perkerasan lentur dan umur layanan jalan dari desain perkerasan lentur dengan dua metode yang berbeda, yaitu metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 dan Metode Mekanistik Empiris Prof. Ir. Aloysius Tjan, Ph.D. Kedua metode memiliki perbedaan parameter seperti pada Metode Mekanistik Empiris Prof. Ir. Aloysius Tjan, Ph.D yaitu E_c , E_t , N_d , dan N_f , namun juga memiliki parameter-parameter yang saling berkaitan seperti beban lalu lintas, CBR dan tebal lapis perkerasan. Hasil perbandingan tebal perkerasan antara metode Bina Marga 2017 dan metode Mekanistik Empiris Prof. Ir. Aloysius Tjan, Ph.D menunjukkan bahwa secara keseluruhan metode Bina Marga 2017 lebih kecil ukurannya.

Kata kunci – *Bina Marga 2017, mekanistik empiris, perkerasan lentur*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkerasan jalan pada hakekatnya adalah dapat menyediakan lapisan permukaan yang selalu rata, daya dukung yang kuat, sehingga dapat menjamin kenyamanan dan keamanan yang tinggi untuk masa pelayanan (umur rencana) yang cukup lama.

Banyaknya aktivitas pengguna jalan dapat mengakibatkan kemacetan serta akan berpengaruh juga pada perkerasan jalan. Kerusakan perkerasan jalan dapat saja terjadi manakala beban lalu lintas melebihi dari rencana. Studi perkerasan jalan perlu dilakukan dengan berbagai metode agar dapat memberikan solusi

tentang masalah tebal perkerasan. Dari perbandingan beberapa metode tersebut akan diperoleh metode yang ideal untuk digunakan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dibahas:

1. Bagaimana perbandingan tebal struktur perkerasan menurut tinjauan mekanistik-empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dibandingkan dengan metode Bina Marga 2017?
2. Bagaimana perbandingan perkiraan umur masa layanan struktur perkerasan menurut tinjauan mekanistik-empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dibandingkan dengan metode Bina Marga 2017?

C. Batasan Penelitian

Dalam Penulisan ini, masalah yang dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan untuk perkerasan lentur jalan baru.
2. Data LHR merupakan data sekunder yang diambil dari sumber data jurnal yang ada.
3. Pengaruh yang diamati dibatasi hanya pada pengaruh aktivitas guna lahan terhadap kapasitas jalan.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk:

1. Analisa tebal perkerasan lentur jalan dengan metode binamarga 2017.
2. Analisa tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D.
3. Komparasi perhitungan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode bina marga 2017 dan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D.
4. Komparasi perhitungan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode binamarga 2017 dan tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D Dengan Menggunakan Variasi Beban .(1 Juta – 30 Juta Esal).

- 5. Membandingkan umur masa layanan struktur perkerasan jalan dari kedua metode tersebut.
- 6. Membandingkan tebal total perkerasan lentur jalan dari metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dengan memvariasikan tebal lapisan beraspal dan lapisan berbutir.

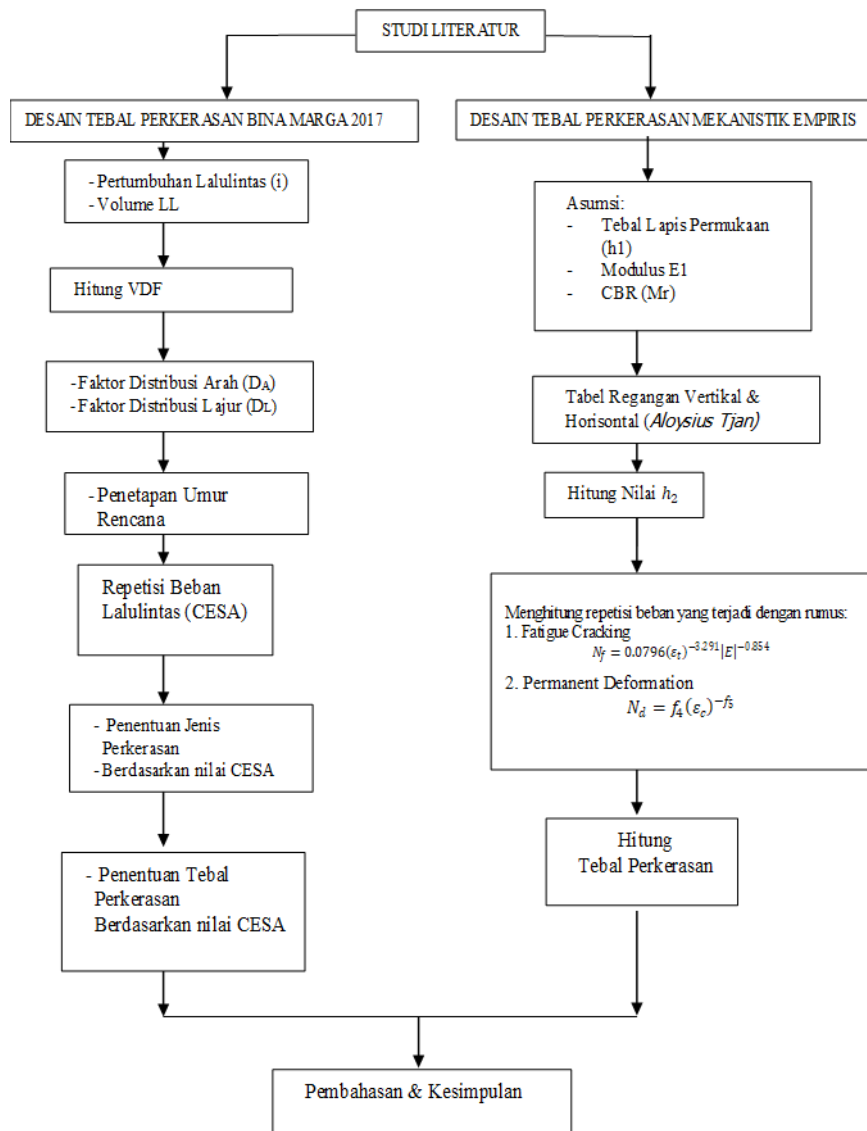
E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu memperoleh hasil tebal perkerasan

terbaik diantara metode MDP 2017 dan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah berupa studi literatur desain tebal pekerasan pada kedua metode tersebut.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Daerah Aliran Sungai

Data yang akan digunakan adalah: Suatu ruas jalan baru (2-lajur 2-arah) yang dibangun di Pulau Sumatera direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2018. Data lalulintas harian yang digunakan

untuk perencanaan diperoleh dari survei pada tahun 2015 adalah sebagai berikut:

- Umur Rencana : 20 Tahun
- Faktor Penyebaran Arah : 50%
- Faktor Penyebaran (2 Lajur 2 arah): 100%

TABEL 1
Data Radius Lengkung Rencana

Gol. Kendaraan	LHR 2015
1,2,3,4	1810
5B	92
6B	988
7A1	15
7A2	280
7C1	14
7C2A	8
7C2B	4
7C3	14
LHR (kend/hari)	3208

Sumber: Hasil Penelitian, 2022.

B. Desain Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017

1. Menghitung Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

Dalam perhitungan ini angka pertumbuhan lalu-lintas per tahun (i) digunakan 5%. karena perhitungan ESA akan dibagi menjadi dua yaitu untuk tahun 2018-2020 dan 2021-2037

Untuk Tahun 2018-2020:

$$R(2018 - 2020) = \frac{(1 + 0.01 \times 5)^3 - 1}{0.01 \times 5} = 3.15250$$

Untuk Tahun 2021-2037:

$$\begin{aligned} R(2021 - 2037) &= \frac{(1 + 0.01 \times 5)^{17} - 1}{0.01 \times 5} \\ &= 25.84037 \end{aligned}$$

Dikarenakan data yang dimiliki adalah data hasil survey dari tahun 2015, maka data tahun 2015 akan dikonversi terlebih dahulu ke tahun 2018 dengan memperhitungkan factor pertumbuhan lalu-lintas untuk 3 tahun (2018-2020).

2. Perhitungan CESA

$$CESA = \sum ESA(2018-2020) + \sum ESA(2021-2037)$$

$$ESA = LHR \times VDF \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Berdasarkan Perhitungan Beban standar kumulatif diatas di dapatkan nilai CESA4 sebesar 35,694,543.83 dan nilai CESA5 sebesar 50,002,154.19.

3. Desain Tebal Perkerasan Lentur

Berdasarkan kemampuan jalan memikul beban dan CBR tanah dasar, pada Tabel 5, dihasilkan tebal perkerasan yang ditampilkan pada Tabel 6.

TABEL 2
Data LHR Tahun 2015, 2018, 2021

Gol. Kendaraan	Lintas Harian Rata-rata Tahun 2015	Lintas Harian Rata-rata Tahun 2018	Lintas Harian Rata-rata Tahun 2021
5B	92	107	117
6B	988	1144	1261
7A1	15	17	19
7A2	280	324	375
7C1	14	16	19
7C2A	8	9	11
7C2B	4	5	5
7C3	14	16	19
Σ	1415	1638	1806

Sumber: Hasil Analisis, 2002

TABEL 3
Hasil Perhitungan Beban Sumbu Standar dan CESA

Gol. Kendaraan	LHR 2018	LHR 2021	VDF4 Aktual	VDF5 Aktual	ESA4 (2018-2020)	ESA4 (2021 - 2037)	ESA5 (2018 - 2020)	ESA5 (2021 - 2037)
5B	92	107	117	1	61273.64112	553727.2791	61273.64112	553727.2791
6B	988	1144	1261	7.4	2961115.309	20218268.22	4869389.619	27354127.59
7A1	15	17	19	18.4	100901.7025	487520.7566	183820.9234	668083.9998
7A2	280	324	357	20	1958092.445	7246604.827	3729699.894	9437438.845
7C1	14	16	18	29.5	148255.5708	589839.9278	275065.3672	808923.3295
7C2A	8	9	10	39	105497.2256	293716.2089	207797.5655	390016.6053
7C2B	4	5	5	42.8	55146.27701	146858.1045	114022.2539	192600.7927
7C3	14	16	18	51.7	228444.1185	539282.2197	482063.7113	674102.7746
				Σ	5618726.289	30075817.54	9923132.976	40079021.22
				Σ	35,694,543.83		50,002,154.19	
					CESA4 (2018-2037)		CESA5 (2018-2037)	

Sumber: Hasil Analisis, 2022

TABEL 4
Bagan Desain – 3B.

STRUKTUR PERKERASAN																
Solusi yang dipilih					Lihat Catatan 2											
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ CESA5)	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9							
> 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	210	245							
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300							
Catatan	1			2			3									

Sumber: Bina marga 2017

TABEL 5
Bagan Desain - 3C Penyesuaian Tebal Lapis Fondasi AgregatA Untuk Tanah Dasar CBR > 7 %

STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ CESA5)	<	≥	>	>	>	>	>	>	>
	2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 200
TEBAL LFA A (mm) PENYESUAIAN TERHADAP BAGAN DESAIN - 3B									
Subgrade CBR > 5.5 - 7	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade CBR > 7- 10	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade CBR > 10 - 15	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade CBR > 15	200	150	150	150	150	150	150	150	150

Sumber: Bina marga 2017

TABEL 6
Hasil desain tebal perkerasan metode Bina Marga 2017

	ACWC	40 mm	40 mm	Lapisan Beraspal.
	ACBC	60 mm	60 mm	
	ACBASE	210 mm	210 mm	
	LPA A	200 mm	150 mm	Lapisan Pondasi.
	CBR	7 -10%	>10 %	
Tebal Total		510 mm	460 mm	

Sumber: Bina marga 2017

C. Desain Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Mekanistik Empiris Prof. Ir. Aloysius Tjan, Ph.D

1. Perhitungan Tebal Perkerasan

E1 = 1600 MPa

E3 = 100 MPa (CBR = 9.67%)

Beban Lalulintas Rencana (Nr) = CESA5 sebesar 50,002,154.19

Hitung regangan tarik ϵ_t dengan rumus Nf:

$$N_f = 0.0796(\epsilon_t)^{-3.291} |E_t|^{-0.854}$$

$$\epsilon_t^{-3.291} = \frac{0.0796}{N_f} \times |E|^{-0.854}$$

Substitusikan CESA5 = 50,002,154.19 sebagai nilai Nf pada persamaan diatas, maka didapat nilai $\epsilon_t = 0.000312731$

Hitung regangan tekan ϵ_c , rumus Nd:

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4.477}$$

$$\epsilon_c^{-4.477} = \frac{N_d}{(1.365 \times 10^{-9})}$$

Substitusikan CESA 5 = 50,002,154.19 sebagai nilai Nd pada persamaan diatas, maka didapat nilai $\epsilon_c = 0.000199633$.

Setelah kita mengetahui nilai ϵ_c dan ϵ_t yang telah dihitung, cari tabel regangan tarik dan tekan pada perkerasan 3 lapis yang mempunyai nilai ϵ_c dan ϵ_t mendekati nilai ϵ_c dan ϵ_t yang telah dihitung untuk E1 = 1600 Mpa dan E3 = 100 Mpa serta memenuhi syarat Nf dan Nd > Nr, maka digunakan Tabel.9.

Jika tabel yang digunakan tidak terdapat nilai E1 = 1600 Mpa maka, dilakukan interpolasi antara untuk E1 = 1000 Mpa dan E1 = 2500 Mpa, maka dihasilkan nilai-nilai baru sebagai berikut:

$$E_t = 0.0001825$$

$$E_c = 0.00026818$$

Hitung kembali Nf dan Nd dengan memasukkan nilai Et = 0.00026818 dan Ec = 0.0001825 dengan syarat Nf dan Nd lebih besar dari Nr.

TABEL 7
Regangan Tarik dan Tekan Pada Perkerasan 3 Lapis Untuk h1 = 125 mm dan h2 = 625 mm

Esg [MPa]	Eac [MPa]	Egb [MPa]	Sumbu Tunggal Roda Ganda			Sumbu Tunggal Roda Tunggal		
			Et	Ec	Rt	Et	Ec	Rt
30	150	201.2	3.871E-04	4.067E-04	8.929E+03	3.976E-04	2.229E-04	1.440E+05
	500	170.3	4.231E-04	3.945E-04	1.371E+04	3.959E-04	2.172E-04	1.594E+05
	1000	154.6	3.703E-04	3.852E-04	9.840E+03	3.269E-04	2.119E-04	9.481E+04
	2500	136.2	2.625E-04	3.639E-04	4.091E+03	2.134E-04	1.982E-04	3.142E+04
	5000	123.6	1.855E+00	3.333E-04	2.821E+16	1.401E-04	1.791E-04	1.238E+04
	7500	116.9	1.473E-04	2.085E-04	7.395E+03	1.070E-04	1.642E-04	7.524E+03
75	150	261.7	3.089E-04	2.375E-04	4.722E+04	3.129E-04	1.319E-04	6.856E+05
	500	221.5	3.505E-04	2.314E-04	8.041E+04	3.295E-04	1.279E-04	9.328E+05
	1000	201.1	3.158E-04	2.253E-04	6.431E+04	2.826E-04	1.240E-04	6.465E+05
	2500	177.1	2.301E-04	2.123E-04	2.960E+04	1.913E-04	1.155E-04	2.460E+05
	5000	160.8	1.637E-04	1.945E-04	1.429E+04	1.275E-04	1.043E-04	1.022E+05
	7500	152.0	1.308E-04	1.806E-04	9.515E+03	9.790E-05	9.576E-04	2.094E+00
100	150	284.2	2.886E-04	1.970E-04	8.720E+04	2.899E-04	1.108E-04	1.164E+06
	500	240.8	3.297E-04	1.920E-04	1.516E+05	3.101E-04	1.067E-04	1.720E+06
	1000	218.4	2.999E-04	1.869E-04	1.252E+05	2.694E-04	1.033E-04	1.251E+06
	2500	192.4	2.206E-04	1.759E-04	5.981E+04	1.846E-04	9.602E-05	5.002E+05
	5000	174.6	1.574E-04	1.612E-04	2.911E+04	1.237E-04	8.679E-05	2.106E+05
	7500	165.1	1.261E-04	1.497E-04	1.954E+04	9.521E-05	7.973E-05	1.301E+05
125	150	303.0	2.730E-04	1.693E-04	1.431E+05	2.731E-04	9.531E-05	1.876E+06
	500	256.5	3.142E-04	1.651E-04	2.544E+05	2.957E-04	9.221E-05	2.827E+06
	1000	232.8	2.880E-04	1.606E-04	2.161E+05	2.593E-04	8.910E-05	2.139E+06
	2500	208.1	2.135E-04	1.510E-04	1.064E+05	1.795E-04	8.275E-05	8.877E+05
	5000	186.2	1.526E-04	1.384E-04	5.202E+04	1.209E-04	7.481E-05	3.798E+05
	7500	176.0	1.225E-04	1.284E-04	3.532E+04	9.318E-05	6.878E-05	2.348E+05
150	150	319.3	2.609E-04	1.490E-04	2.184E+05	2.601E-04	8.431E-05	2.767E+06
	500	270.3	3.019E-04	1.453E-04	3.952E+05	2.642E-04	8.150E-05	3.391E+06
	1000	245.3	2.784E-04	1.412E-04	3.440E+05	2.512E-04	7.867E-05	3.365E+06
	2500	216.1	2.078E-04	1.327E-04	1.735E+05	1.754E-04	7.299E-05	1.443E+06
	5000	196.2	1.489E-04	1.216E-04	8.565E+04	1.186E-04	6.600E-05	6.248E+05
	7500	185.5	1.197E-04	1.131E-04	5.776E+04	9.155E-05	6.072E-05	3.871E+05
175	150	333.7	2.510E-04	1.334E-04	3.155E+05	2.495E-04	7.579E-05	3.888E+06
	500	282.5	2.918E-04	1.300E-04	5.814E+05	2.747E-04	7.322E-05	6.228E+06
	1000	256.4	2.706E-04	1.263E-04	5.162E+05	2.445E-04	7.061E-05	4.994E+06
	2500	225.9	2.031E-04	1.186E-04	2.661E+05	1.719E-04	6.546E-05	2.199E+06
	5000	205.0	1.458E-04	1.087E-04	1.320E+05	1.167E-04	5.920E-05	9.639E+05
	7500	193.9	1.174E-04	1.011E-04	8.954E+04	9.020E-05	5.450E-05	5.981E+05

Sumber: Dasar Perencanaan Perkerasan Lentur Mekanistik-Empiris, 1990

$$N_f = 0.0796(\epsilon_t)^{-3.291} |E|^{-0.854}$$

$$N_f = 0.0796(0.0001825)^{-3.291} |1600|^{-0.854}$$

$$N_f = 82,916,958.793$$

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4.477}$$

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (0.00026818)^{-4.477}$$

$$N_d = 74,723,772.20$$

$$H_{total} = h_1 + h_2$$

$$= 125 \text{ mm} + 625 \text{ mm}$$

$$= 750 \text{ mm} > 510 \text{ mm (Hasil MDP 2017)}$$

D. Perbandingan Kumulatif Beban antara Kedua Metode

Pada MDP 2017 untuk CBR (7 %).
 Lapis Beraspal = 245 s/d 345 mm
 LPA.A = 300 mm
 Pehitungan Mekanistik:

h1 = 245 - 345 mm (Lapis Beraspal)
 h2 = 300 mm (Lapis Pondasi)
 E1 = 1600 MPa
 E3 = 75 MPa
 Hitung nilai Et dan Ec untuk h2 = 300 dan h1 = 75 mm

TABEL 8
Interpolasi Nilai Ec dan Et untuk E1 1600 Mpa pada h1 = 75 mm dan h2 = 225 mm

E1	Et	Ec
1000	0.0002989	0.00072830
1600	0.00029514	0.00071434
2500	0.0002895	0.0006934

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 9
Interpolasi untuk h2 = 375 mm

E1	Et	Ec
1000	0.0002957	0.0004615
1600	0.0002878	0.0004573
2500	0.0002759	0.000451

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 10
Interpolasi untuk h2 = 300 mm

h2	Et	Ec
225	0.00029514	0.00071434
300	0.00029146	0.00058582
375	0.00028778	0.0004573

Sumber: Hasil Analisis

Lakukan perhitungan yang sama untuk:

- Nilai h2 = 300 dan h1 = 100 mm
- Nilai h2 = 300 dan h1 = 125 mm
- Nilai h2 = 300 dan h1 = 150 mm
- Nilai h2 = 300 dan h1 = 175 mm
- Nilai h2 = 300 dan h1 = 200 mm

Rumus: $Et = 0,325(h_2/h_1)^4 - 2,279(h_2/h_1)^3 + 4,961(h_2/h_1)^2 - 2,841(h_2/h_1) + 1,928$

Rumus ini digunakan untuk grafik pada Gambar 2.

Rumus: $Ec = 0,211(h_2/h_1)^3 - 2,094(h_2/h_1)^2 + 7,395(h_2/h_1) - 3,732$

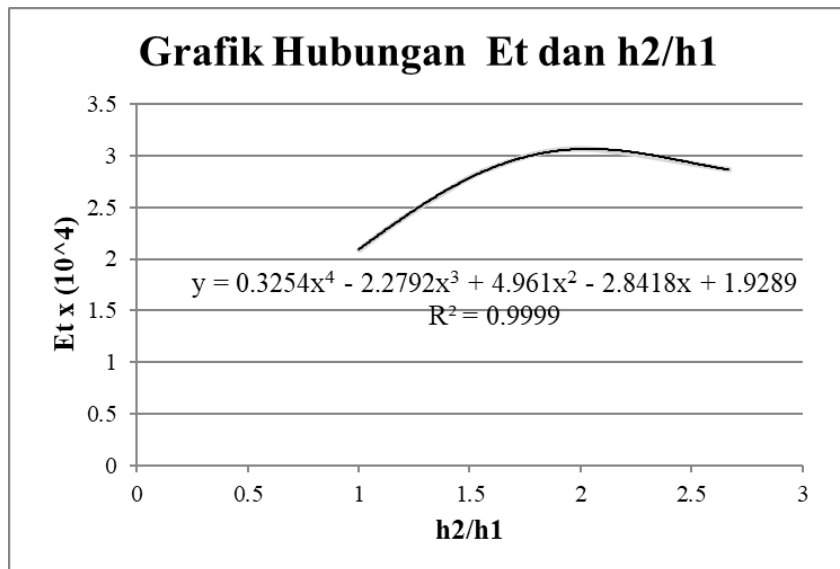
Rumus ini digunakan untuk grafik pada Gambar 3.

Pada Tabel 13, dipilih nilai terkecil adalah Nd.

TABEL 11
Rekapitulasi Hasil Et dan Ec pada setiap h1 untuk E3 = 75 MPa

h1	Et	Ec
75	0.00029146	0.00058582
100	0.0003029	0.00052546
125	0.000296058	0.000500224
150	0.00026374	0.00042504
175	0.000240146	0.00038616
200	0.00021648	0.00033836

Sumber: Hasil Analisis

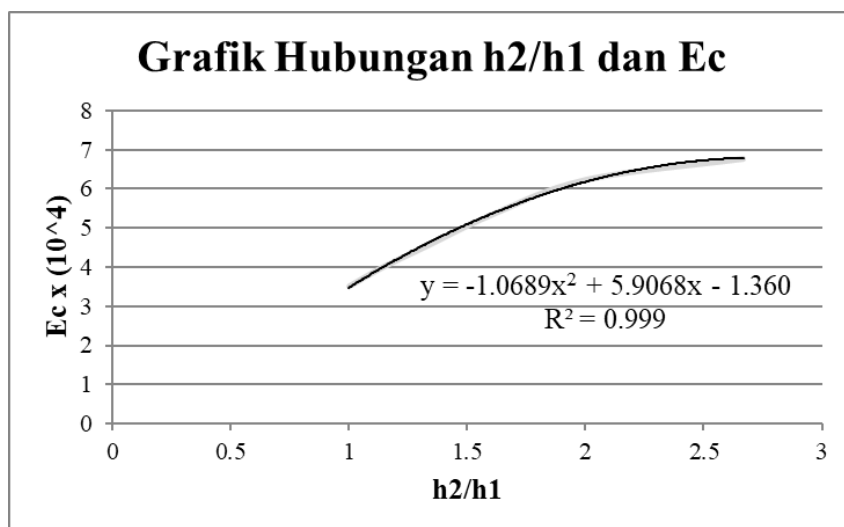


Gambar 2. *Grafik hubungan antara h2/h1 dan Et untuk E3=75 MPa.*

TABEL 12
Hasil Perhitungan Et (Rumus) dan Nf unuk E3= 75 MPa

h1	h2/h1	Et (Rums)	Et	Nf
75	2.6666	2.848197531	0.00028482	68,014,950.292
100	2	3.058	0.0003058	53,829,438.829
125	1.6	2.877696	0.00028777	65,747,280.441
150	1.3333	2.584641975	0.000258464	93,623,507.795
175	1.14285	2.313362766	0.000231336	134,855,433.798
200	1	2.094	0.0002094	187,180,394.137
245	0.81632	1.819340783	0.000181934	297,315,429.116
260	0.76923	1.754586254	0.000175459	334,977,464.025
280	0.71428	1.683897543	0.00016839	383,521,535.121
310	0.6451	1.60433847	0.000160434	449,744,100.350
345	0.5797	1.540967471	0.000154097	513,530,554.748

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 3. *Grafik hubungan antara h2/h1 dan Ec untuk E3= 75 MPa*

TABEL 13
Hasil Perhitungan Ec(rumus) dan Nd untuk E3 = 75 MPa

h1	h2/h1	Ec (Pers)	Ec	Nd
75	2.6666	6.794666667	0.000679467	207,737.94
100	2	6.18	0.000618	317,597.63
125	1.6	5.35552	0.000535552	602,958.86
150	1.3333	4.616	0.0004616	1,172,774.90
175	1.1428	3.99477551	0.000399478	2,240,016.78
200	1	3.478	0.0003478	4,164,857.36
245	0.81632	2.749521033	0.000274952	11,928,308.30
260	0.76923	2.55112426	0.000255112	16,679,968.30
280	0.71428	2.313673469	0.000231367	25,831,659.01
310	0.6451	2.00578564	0.000200579	48,955,880.44
345	0.57971	1.704851922	0.000170485	101,361,133.59

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 14
Perbandingan Kumulatif Beban MDP-2017 dan Mekanistik Prof Tjan

CBR Tanah Dasar 10 %	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	11,928,308.30	< 20
FFF6	260	>20 - 30	16,679,968.30	< 30
FFF7	280	>30-50	25,831,659.01	< 50
FFF8	310	>50 - 100	48,955,880.44	< 100
FFF9	345	>100 - 200	101,361,133.59	< 200

Sumber: Hasil Analisis

Dilakukan perhitungan yang sama untuk E3 = 100, 150, dan 175 MPa

TABEL 15
Hasil Perhitungan E3 = 100 MPa

CBR Tanah Dasar 10 %	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	11,928,308.30	< 20
FFF6	260	>20 - 30	16,679,968.30	< 30
FFF7	280	>30-50	25,831,659.01	< 50
FFF8	310	>50 - 100	48,955,880.44	< 100
FFF9	345	>100 - 200	101,361,133.59	< 200

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 16
Hasil Perhitungan E3 = 125 MPa

CBR Tanah Dasar 125 MPa	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10^6 ESA5)	Nd	10^6 ESA5
FFF5	245	>10 - 20	13,417,821.01	< 20
FFF6	260	>20 - 30	17,968,887.52	< 30
FFF7	280	>30-50	26,084,681.60	< 50
FFF8	310	>50 - 100	44,231,689.45	< 100
FFF9	345	>100 - 200	78,758,952.67	< 200

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 17
Hasil Perhitungan E3 = 150 MPa

CBR Tanah Dasar 150MPa	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MDP 2017 (10 ⁶ ESA5)	Nd	10 ⁶ ESA5
FFF5	245	>10 - 20	23,373,648.19	> 20
FFF6	260	>20 -30	31,216,723.86	> 30
FFF7	280	>30-50	45,146,544.01	< 50
FFF8	310	>50 - 100	76,104,541.26	< 100
FFF9	345	>100 - 200	134,523,528.58	< 200

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 18
Hasil Perhitungan E3 = 175 MPa

CBR Tanah Dasar 150MPa	Bagan Desain 3B		Mekanistik Empiris Prof Tjan	
	H1 mm	MD 2017 (10 ⁶ ESA5)	Nd	10 ⁶ ESA5
FFF5	245	>10 - 20	37,901,729.02	> 20
FFF6	260	>20 -30	50,515,386.32	> 30
FFF7	280	>30-50	72,849,153.20	> 50
FFF8	310	>50 - 100	122,255,066.07	> 100
FFF9	345	>100 - 200	214,905,853.95	> 200

Sumber: Hasil Analisis

E. Komparasi Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur dengan Variasi Beban 1 Juta S/d 30 Juta ESAL

Dalam perhitungan sebelumnya telah dihitung tebal perkerasan jalan untuk:

E1 = 1600 MPa

E3 = 75 MPa

h2 = 300 mm (Lapisan Pondasi)

Dan telah dihasilkan grafik hubungan antar h2/h1 dan Ec. Dengan rumus:

$$Ec = 0,211 (h2/h1)^3 - 2,094(h2/h1)^2 + 7,395(h2/h1) - 3,732$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya Nd menjadi nilai penentu tebal perkerasan sebab nilai Nd yang paling cepat bertemu dengan nilai Nr maka pada perhitungan ini hanya dihitung nilai Nd yang merupakan nilai penentu tebal perkerasan.

Beban LalulintasRencana (Nr) = CESA5 sebesar 1.000.000. Setelah menghitung nilai regangan tekan εc dengan memodifikasi rumus Nd didapat nilai εc= 0.000478328

Ec (hitung) = 0,000478328 x 10⁴ = 4.783280558

Masukkan Ec kedalam rumus maka dapat.

h2/h1 = 2,3182

Untuk h2 = 300 mm

h1 = 129.4107497

≈ 129,5 mm

h total = 300 mm + 129,5 mm

≈ 429,5 mm

Dengan cara yang sama dilakukan untuk nilai ESAL 2 Juta s/d 30 Juta.

F. Perhitungan Umur Layanan.

Tinjau pada Hasil hitungan tebal h1 = 310 mm untuk E = 150 MPa bahwa:

- MDP 2017 sampai 100,000,000
- Metode Prof.Tjan sampai 76,104,51,26

Dengan memodifikasi rumus pertumbuhan lalu-lintas hitung umur layanan. Subtitusikan nilai R dan laju pertumbuhan lalulintas per tahun atau *i*= 5 % maka akan didapat persamaan baru sebagai berikut:

[1.05]^{UR}=5.11432051

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dari penulisan skripsi dan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada CBR Tanah Dasar 7 % yaitu E3= 75 MPa
 - Untuk h1 sesuai kolom FFF5 sampai FFF7 Metode MDP-17 mempunyai Kumulatf beban lebih besar dari Metode Mekanistik Empiris Proj.Tjan.
 - Pada Tebal h1 sesuai FFF8 dan, FFF9; Metode Mekanistik Empiris Prof. Tjan mempunyai kumulatif beban lebih besar dari metode MDP-2017.
2. Pada CBR Tanah Dasar 10 % yaitu E3= 100 Mpa, Metode MDP-17 memiliki kumulatif beban lebih besar dari Metode Mekanistik Empiris Proj.Tjan.
3. Pada CBR Tanah Dasar >10 % yaitu E3=125 MPa, Metode MDP-17 mempunyai kumulatif beban lebih besar dari Metode Mekanistik Empiris Proj.Tjan.
4. Pada CBR Tanah Dasar >10 % yaitu E3=150 MPa
 - Untuk h1 sesuai kolom FFF5 dan FFF6 Metode Mekanistik Empiris Prof.Tjan mempunyai kumulatif beban lalulintas lebih besar dari Metode MDP-17.
 - Untuk h1 sesuai FFF7 sampai FFF9, Metode MDP-17 mempunyai kemampuan menerima beban lalulintas lebih besar dari Metode

Mekanistik Empiris Prof.Tjan

5. Pada CBR Tanah Dasar >10 % yaitu E3=175 MPa, Metode Mekanistik Empiris Prof.Tjan mempunyai kumulaif beban lebih besar dari Metode MDP-17.
6. Berdasarkan perhitungan dengan variasi beban 1 juta s/d 30 juta ESAL untuk Tanah Dasar E3= 75 MPa:
 - Pada Beban 1 s/d 2 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih kecil dari metode MDP 2017
 - Pada Beban 3 s/d 10 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih besar dari metode MDP 2017
 - Pada Beban 11 s/d 16 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih kecil dari metode MDP 2017
 - Pada Beban 17 s/d 20 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih besar dari metode MDP 2017
 - Pada Beban 21 s/d 25 Juta Esal, tebal perkerasan metode Prof,Tjan cenderung lebih kecil dari metode MDP 2017
7. Metode MDP 2017 memberikan Umur layanan jalan lebih besar dari Metode Mekanistik Prof.Tjan.

B. Saran

1. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan membandingkan desain tebal perkerasan lentur jalan dengan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dan variasi metode lain (AASHTO, dan metode lainnya).
2. Desain tebal perkerasan lentur jalan dengan

menggunakan metode mekanistik empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D dapat dibuat menjadi program berbasis C++.

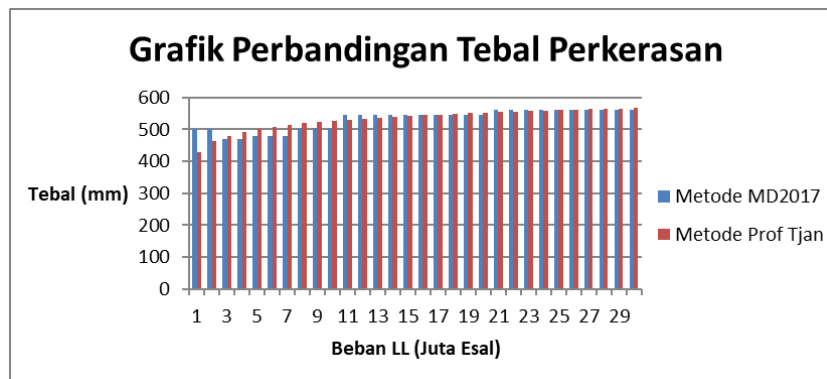
KUTIPAN

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, 1993, Guide for The Design of Pavement Structures, The American Association of State Highway Transportation Officials, Washington DC.
- [2] Asphalt Institute, 1970, Thickness Design – Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets, 8th Edition, Lexington
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2017. Manual Perkerasan Jalan (Revisijuni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017; Direktorat Jenderal Bina Marga Jakarta
- [4] Mantiri C, Sendow TK, dan Manopo M, 2019, “Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Dengan Metode Bina Marga 2017 dibandingkan Metode AASHTO 1993.” Jurnal Sipil Statik Vol.7 2019 Fakultas Teknik Unsrat Manado
- [5] Ratu E R, dan Arung V, 2017 Analisa Tegangan Regangan dan Deformasi Pada Perkerasan Lentur Porus Dan Konvensional; Dengan Skala Semi Lapangan, Skripsi Terpublikasi, Fakultas Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang
- [6] Safitra A, Sendow TK, dan Pandey SV 2019 “Analisa Pengaruh Beban Berlebih Terhadap Umur Rencana Jalan”, Jurnal Sipil Statik Vol.7. 2019 Fakultas Teknik Unsrat Manado.
- [7] Tjan A, dan Kangan S, (1990), Dasar Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Mekanistik Empiris, Fakutas Teknik Jurusan Sipil Universitas KatolikParahiangan 1990
- [8] Widiastuti A. 2018. Analisa Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi – Kanigoro-Planjan, Tugas Akhir FTSP UII

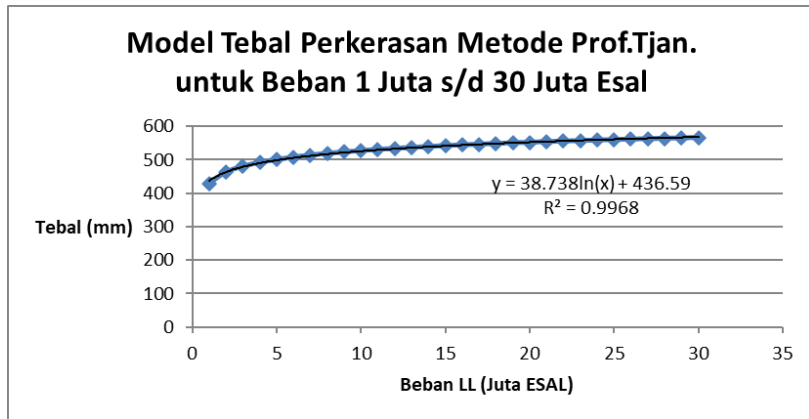
TABEL 18
Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan

PERHITUNGAN METODE PROF TJAN									Metode MDP2017
No	Beban LL/Nd (Juta)	$E_c^{-4.477}$	E_c	$E_c \times 10^4$	h_2/h_1	$E_c \text{ rms}$	h_1 (mm)	H total (mm)	H total (mm)
1	1	7.33E+14	0.00047833	4.78328056	2.3182	4.78333	129.411	429.411	500
2	2	1.47E+15	0.00040972	4.09719499	1.8409	4.09716	162.964	462.964	500
3	3	2.20E+15	0.00037424	3.74243451	1.66377	3.74244	180.313	480.313	470
4	4	2.93E+15	0.00035095	3.50951749	1.562	3.50959	192.062	492.062	470
5	5	3.66E+15	0.00033389	3.33888312	1.493	3.33881	200.938	500.938	480
6	6	4.40E+15	0.00032056	3.20564177	1.44202	3.20563	208.042	508.042	480
7	7	5.13E+15	0.00030971	3.09714469	1.40212	3.09714	213.961	513.961	480
8	8	5.86E+15	0.00030061	3.00613299	1.36968	3.0061	219.029	519.029	505
9	9	6.59E+15	0.00029281	2.92807748	1.34258	2.92808	223.45	523.45	505
10	10	7.33E+15	0.000286	2.85997341	1.31943	2.85998	227.371	527.371	505
11	11	8.06E+15	0.00027997	2.79973138	1.29932	2.79973	230.89	530.89	545
12	12	8.79E+15	0.00027458	2.74584341	1.2816	2.7458	234.082	534.082	545
13	13	9.52E+15	0.00026972	2.69718768	1.26585	2.69718	236.995	536.995	545
14	14	1.03E+16	0.00026529	2.65290851	1.25169	2.65291	239.677	539.677	545
15	15	1.10E+16	0.00026123	2.61233923	1.23885	2.61233	242.161	542.161	545
16	16	1.17E+16	0.0002575	2.57495099	1.22714	2.57495	244.472	544.472	545
17	17	1.25E+16	0.00025403	2.5403177	1.2164	2.54036	246.629	546.629	545
18	18	1.32E+16	0.00025081	2.50809131	1.20647	2.50809	248.659	548.659	545
19	19	1.39E+16	0.0002478	2.4779841	1.19728	2.47798	250.569	550.569	545
20	20	1.47E+16	0.00024498	2.44975568	1.18872	2.44975	252.373	552.373	545
21	21	1.54E+16	0.00024232	2.42320329	1.18067	2.42303	254.093	554.093	560
22	22	1.61E+16	0.00023982	2.39815441	1.17323	2.39815	255.705	555.705	560
23	23	1.68E+16	0.00023745	2.37446116	1.16618	2.37446	257.251	557.251	560
24	24	1.76E+16	0.0002352	2.35199581	1.15953	2.35199	258.726	558.726	560
25	25	1.83E+16	0.00023307	2.33064742	1.15325	2.33065	260.136	560.136	560
26	26	1.90E+16	0.00023103	2.31031898	1.14729	2.31032	261.486	561.486	560
27	27	1.98E+16	0.00022909	2.29092525	1.14163	2.29092	262.781	562.781	560
28	28	2.05E+16	0.00022724	2.27239095	1.13626	2.27239	264.025	564.025	560
29	29	2.12E+16	0.00022547	2.25464927	1.13112	2.25463	265.224	565.224	560
30	30	2.20E+16	0.00022376	2.23764069	1.12623	2.23765	266.375	566.375	560
Jumlah								15989.9	15945
Rerata								532.995	531.5

Sumber: Hasil Analisis, 2022



Gambar 4. Grafik Perbandingan Tebal Perkerasan Jalan

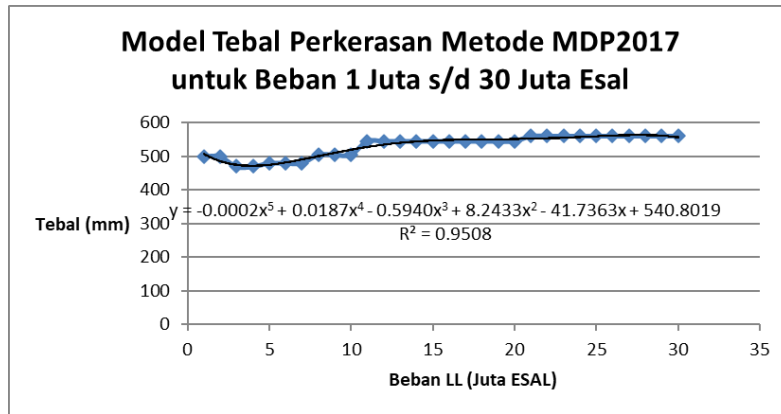


Gambar 5. Grafik Model Tebal Perkerasan Metode Mekanistik Empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D

TABEL 19
Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan Mekanistik Empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D
Menggunakan Rumus Pemodelan Grafik

BEBAN Lalu Lintas	Tebal perkerasan Rumus (mm)	Tebal Perkerasan Hitung (mm)
1,000,000	436.59	429.41075
2,000,000	463.44	462.963768
3,000,000	479.15	480.313385
4,000,000	490.29	492.06146
5,000,000	498.94	500.937709
6,000,000	506	508.041497
7,000,000	511.97	513.961257
8,000,000	517.14	519.029262
9,000,000	521.71	523.450372
10,000,000	525.79	527.37091
11,000,000	529.48	530.890004
12,000,000	532.85	534.082397
13,000,000	535.95	536.994905
14,000,000	538.82	539.676916
15,000,000	541.49	542.161045
16,000,000	543.99	544.47168
17,000,000	546.34	546.629398
18,000,000	548.56	548.659415
19,000,000	550.65	550.568791
20,000,000	552.64	552.373149
21,000,000	554.53	554.093015
22,000,000	556.33	555.705427
23,000,000	558.05	557.251116
24,000,000	559.7	558.726188
25,000,000	561.28	560.135531
26,000,000	562.8	561.485762
27,000,000	564.26	562.781242
28,000,000	565.67	564.025241
29,000,000	567.03	565.223849
30,000,000	568.35	566.37543

Sumber: Hasil Analisis, 2022



Gambar 6. Grafik model tebalperkerasanMetode Bina Marga 2017

TABEL 20
Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan Mekanistik Empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D
Menggunakan Rumus Pemodelan Grafik

BEBAN Lahu Lintas	Tebal perkerasan Rumus (mm)	Tebal Perkerasan Hitung (mm)
1,000,000	506.73	500
2,000,000	485.84	500
3,000,000	475.21	470
4,000,000	472.3	470
5,000,000	474.97	480
6,000,000	481.4	480
7,000,000	490.1	480
8,000,000	499.88	505
9,000,000	509.81	505
10,000,000	519.19	505
11,000,000	527.55	545
12,000,000	534.6	545
13,000,000	540.22	545
14,000,000	544.42	545
15,000,000	547.33	545
16,000,000	549.15	545
17,000,000	550.15	545
18,000,000	550.64	545
19,000,000	550.91	545
20,000,000	551.25	545
21,000,000	551.91	560
22,000,000	553.06	560
23,000,000	554.76	560
24,000,000	556.96	560
25,000,000	559.47	560
26,000,000	561.91	560
27,000,000	563.69	560
28,000,000	564.01	560
29,000,000	561.82	560
30,000,000	555.76	560

Sumber: Hasil Analisis, 2022

TABEL 21
Kesimpulan Hasil Perhitungan Tebal

BEBAN LL (Juta ESAL)	TEBAL PERKERASAN	
	METODE	
	PROF. TJAN	MDP 2017
	Htotal(mm)	Htotal(mm)
1 s/d 2	429,41 - 462,92	500
3 s/d 10	480,3 - 527,37	470 - 505
11 s/d 16	530,89 - 544,47	545
17 s/d 20	546,63 - 552,37	545
21 s/d 25	554,09 - 560,13	560
26 s/d 30	561,48 - 566,37	560

Sumber: Hasil Analisis, 2022

TABEL 22
Repetisi Beban Yang Digunakan Akibat Kelelahan

Gol. Kendaraan	LHR 2015	VDF	$LHR \times VDF \times 365 \times DD \times DL \times R$
5B	92	1	16790 R
6B	988	4.6	829426 R
7A1	15	7.4	20257.5 R
7A2	280	5.6	286160 R
7C1	14	9.6	24528 R
7C2A	8	8.1	11826 R
7C2B	4	8	5840 R
7C3	14	8	20440 R
Σ	1415		1,215,267.50 R

Sumber: Hasil Analisis, 2022

TABEL 23
Perhitungan Umur Layanan Metode Bina Marga Dengan Cara Iterasi

Tahun (x)	1.05^x	
20	2.653	5.114
25	3.386	5.114
33.448	5.114	5.114
35	5.516	5.114

Sumber: Hasil Analisis, 2022

TABEL 24
Perhitungan Umur Layanan Metode Mekanistik Empiris Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D Dengan Cara Iterasi

Tahun (x)	1.05^x	
20	2.653	4.131
25	3.386	4.131
29.079	4.132	4.131
30	4.322	4.131

Sumber: Hasil Analisis