



Analisa Tebal Perkerasan Jalan Untuk Beban Berlebih, Temperatur Perkerasan Tinggi, Curah Hujan Tinggi Dan Tanah Lunak Pada Desain Perkerasan Jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III Tahap 1 Dengan MDP 2017

Gisella P. Montolalu^{#a}, Theo K. Sendow^{#b}, Joice E. Waani^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^agisellapricilia@gmail.com, ^btheosendow@unsrat.ac.id, ^cjoice.waani@unsrat.ac.id

Abstrak

Jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III Tahap 1 adalah jalan yang baru, maka perlu dilakukan analisa untuk pengaruh beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi dan tanah lunak terhadap tebal perkerasan jalan, untuk melakukan analisa tersebut digunakan metode manual desain perkerasan (MDP) 2017. Selanjutnya dihitung nilai CESA untuk menghitung desain struktur dan tebal perkerasan eksisting yang kemudian digunakan sebagai acuan untuk menghitung tebal perkerasan jalan pada kondisi beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi dan tanah lunak. Dapat disimpulkan bahwa untuk beban berlebih semakin tinggi nilai cesa maka tebal lapisannya akan semakin tebal, untuk temperatur tinggi tebal perkerasannya akan semakin tebal pada temperatur yang lebih tinggi, untuk curah hujan tinggi tebal perkerasannya akan lebih tebal dibandingkan dengan curah hujan rendah, untuk tanah lunak semakin rendah nilai CBR tanah dasar maka akan semakin tebal perkerasannya.

Kata kunci: beban berlebih; curah hujan tinggi, MDP 2017, perkerasan lentur, temperatur perkerasan tinggi, tanah lunak

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Kota Manado merupakan salah satu kota pariwisata di provinsi Sulawesi Utara. Untuk menunjang pertumbuhan infrastruktur dan prasarana transportasi darat dari kota Manado, perlu dilakukan pembangunan jalan raya sebagai penunjang berbagai aktivitas manusia seperti perpindahan orang atau barang, baik berjalan kaki maupun menggunakan kendaraan beroda dua atau beroda empat.

Konstruksi perkerasan jalan yang baik tentunya akan sangat menunjang aktivitas manusia dalam menghemat waktu dan tenaga sehingga pada penelitian ini akan dianalisa tebal perkerasan untuk beban berlebih, temperatur tinggi, curah hujan tinggi dan tanah lunak dengan menggunakan metode manual desain perkerasan (MDP) 2017, karena keempat unsur tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas sebuah struktur jalan.

Penelitian ini dilaksanakan di jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III tahap 1 yang merupakan rute jalan baru di kota Manado, jalan ini merupakan salah satu program pemerintah provinsi Sulawesi Utara agar bisa meminimalisir kemacetan dan kerusakan jalan yang sering terjadi di kota Manado. Konstruksi jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III dilakukan dalam beberapa tahapan yang merupakan bagian-bagian hingga tercapainya jalan menuju ke kelurahan winangun, namun dalam penelitian ini hanya dilaksanakan pada tahap 1 pembuatan jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III. Panjang jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III seluruhnya

adalah 11,324 kilometer, namun yang akan diteliti dalam penelitian ini hanya pelaksanaan tahap 1 dengan panjang 1,690 kilometer yang direncanakan oleh Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Sulawesi Utara dan dilaksanakan oleh PT. Cahaya Abadi Lestari.

1.2 Rumusan masalah

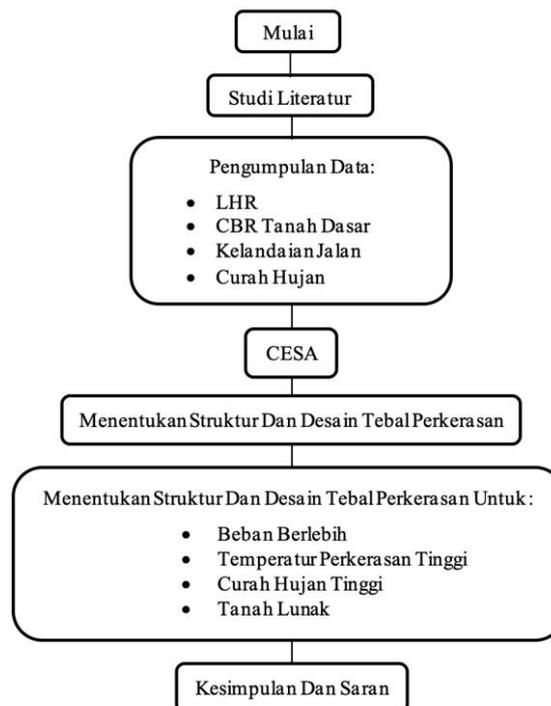
Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat ditemui rumusan masalah yaitu bagaimana menganalisa desain tebal perkerasan jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III tahap 1 menggunakan MDP 2017 dengan jumlah beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi, dan tanah dasar lunak.

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan penelitian pada penelitian ini, yaitu mengetahui tebal perkerasan jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III tahap 1 untuk beban berlebih dengan variasi beban lalu lintas, menghitung tebal perkerasan jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III tahap 1 untuk temperatur perkerasan tinggi, mengetahui perbandingan tebal perkerasan jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III tahap 1 untuk curah hujan tinggi dan curah hujan rendah, dan menghitung tebal perkerasan jalan dengan variasi nilai CBR tanah dasar di bawah 7% untuk jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III tahap 1 dengan menggunakan MDP 2017.

2. Metode

Metode penelitian yang dilakukan berupa studi literatur desain tebal pekerasan menggunakan MDP 2017 pada Jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III Tahap 1.



Gambar 1. Bagan Alir

3. Hasil dan Pembahasan.

3.1 Presentasi data

Umur rencana	= 20 tahun
Kelas jalan	= Arteri – Antar Kota
Pertumbuhan lalu lintas (i)	= 4,75% (MDP 2017, P.4-2)

Faktor distribusi arah (DD)	= 0,50 (MDP 2017, P.4-3)
Faktor distribusi lajur (DL)	= 100% (MDP 2017, P.4-3)
CBR	= 10% (data CBR pada proyek jalan MORR 3 tahap 1)

3.2 Analisis beban sumbu secara menyeluruh

Diperlukan nilai VDF_5 (MDP 2017 P.4-5) untuk menghitung nilai CESA, kemudian harus mencari nilai R (Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif) terlebih dahulu dengan menggunakan rumus:

$$R = \frac{(1+0.01 \times 0,0475)^{20} - 1}{0.01 \times 0,0475} = 20.090 \quad (1)$$

Kemudian nilai R dimasukkan dalam rumus berikut untuk menghitung nilai CESA.

$$ESA_5 = (\sum LHRJK \times VDFJK) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2)$$

Berikut merupakan hasil perhitungan nilai CESA menggunakan nilai VDF_5 .

Tabel 1. Perhitungan Beban Sumbu Standar Menggunakan VDF_5 (ESA_5) (Hasil Analisa Data, 2023)

No	Jenis Kendaraan	LHR (2021)	LHR (2041)	VDF_5	ESA_5
1	1	2495	50120,9625	0	0
2	2	5443	109341,26	0	0
3	3	51	1024,59	0	0
4	4	1214	24386,39	0	0
5	5A	36	715,3188	0,2	26109,79605
6	5B	32	647,472	1,0	118163,64
7	6A	105	2110,3684	0,5	192571,12
8	6B	920	18477,2896	9,0	30348948,17
9	7A	267	5371,3198	11,4	11175030,84
10	7C	107	2150,6058	25,5	10008381,74
		10669		$CESA_5$	51.870.516

Dari hasil perhitungan lalu lintas perkerasan untuk beban berlebih dengan umur rencana 20 Tahun menggunakan MDP 2017 maka diperoleh nilai $CESA_5$ sebesar 52.000.000 ESAL.

3.3 Koreksi faktor iklim

Dalam penelitian ini akan dihitung faktor regional untuk iklim dengan curah hujan yang tinggi dan faktor regional untuk iklim dengan curah hujan yang rendah.

Untuk memperoleh nilai faktor regional, maka diperlukan data persen kelandaian, data persen kendaraan berat, serta data curah hujan. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan rata-rata tahun 2021 daerah pos Kalasey, kabupaten Minahasa, provinsi Sulawesi Utara yang didapat dari pihak BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) stasiun Klimatologi Minahasa Utara yaitu 248,25 mm/th, data kelandaian jalan yang diperoleh dari pihak pelaksana jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III tahap 1 adalah 10% dan perhitungan persen kendaraan berat diperoleh 0,13%.

Dari data yang telah diperoleh, maka dapat ditentukan faktor regional menggunakan Tabel 2. Dengan demikian, maka diperoleh nilai faktor regional 1,0 untuk curah hujan yang kurang dari 900 mm/th sesuai data curah hujan tahun 2021 dan faktor regional 2,0 untuk curah hujan yang lebih dari 900 mm/th.

3.4 Katalog desain

Ada prosedur dalam menggunakan bagan desain untuk mencapai hasil yang maksimal secara teknis dan optimal secara ekonomis yaitu yang pertama menentukan umur rencana sesuai Tabel 3.

Tabel 2. Faktor Regional (Hasil Analisa Data, 2023)

		(< 6%)		(6-10%)		(> 10%)	
		% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
		≤ 30%	>30%	≤ 30%	>30%	≤ 30%	>30%
Curah Hujan	Iklm I < 900 mm/th	0,5	1,0-1,5	1,0	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
	Iklm II > 900 mm/th	1,5	2,0-2,5	2,0	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Tabel 3. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR) (Hasil Analisa Data, 2023)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan.	40
<i>Cemen Treated Based (CTB)</i>		
Perkerasan Kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Kemudian menentukan nilai-nilai ESA_4 dan atau ESA_5 seperti perhitungan pada subbab sebelumnya sesuai umur rencana yang dipilih, setelah itu tentukan tipe perkerasan sesuai metode MDP 2017 yaitu penentuan dan pemilihan jenis perkerasan berdasarkan nilai $CESAL_5$ yang didapat ditentukan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Pemilihan Jenis Perkerasan (Hasil Analisa Data, 2023)

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 (di atas tanah dengan $CBR \geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (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 ≥ 100 mm 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	-	-	-	-

Berdasarkan nilai CESAL₅ yang didapat yaitu 52.000.000 ESAL, maka jenis perkerasan yang akan digunakan mengikuti rentang >30-200 dan diperoleh struktur perkerasan AC dengan CTB yang bisa ditinjau dalam bagan desain 3.

Setelah itu tentukan segmen tanah dasar dengan daya dukung yang seragam. Nilai daya dukung tanah dasar atau CBR adalah 10% (didapat dari pihak pelaksana). Kemudian tentukan struktur perkerasan, untuk menentukan struktur fondasi perkerasan jalan menggunakan metode MDP 2017, maka sangat perlu untuk memperhatikan hal perbaikan tanah dasar, dengan melihat kondisi CBR tanah dasar dan nilai CESAL₅ yang akan diterima perkerasan. Apabila nilai CBR perkerasan adalah 10% dan nilai CESAL₅ adalah 52.000.000 ESAL maka dapat diperoleh hasil solusi desain pondasi pada Bagan Desain di bawah ini.

Tabel 5. Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum (Hasil Analisa Data, 2023)

CBR Tanah dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)			
			< 2	2 – 4	> 4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≥6	SG6	Perbaikan Tanah dasar dapat	Tidak diperlukan perbaikan			
5	SG5	berupa stabilisasi semen atau	-	-	100	300
4	SG4	material timbunan pilihan (sesuai	100	150	200	
3	SG3	persyaratan Spesifikasi Umum,	150	200	300	
2,5	SG2.5	Devisi 3- Pekerjaan Tanah)	175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuai > 5%)		(Pemadatan Lapisan < 200 mm tebal gembur)	400	500	600	
Perkerasan di atas tanah lunak	SG1	Lapis Penopang	1000	1100	1200	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
		atau lapis penopang dan geogrid	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis Penopang berbutir	1000	1250	1500	

Dari Tabel 5 diperoleh dasar desain pondasi yang tidak memerlukan perbaikan tanah dasar. Tahapan terakhir adalah menentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat dari Bagan Desain - 3 atau Bagan Desain lainnya yang sesuai. Pada MDP 2017, penentuan tebal perkerasan lentur sudah dipermudah dengan berdasarkan pertimbangan biaya terkecil. Solusi dari perkerasan lentur yang banyak dipilih tercantum dalam bagan desain 3 yaitu desain perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB, bagan desain 3A yaitu desain perkerasan lentur dengan HRS, dan alternatif bagan desain 3A yaitu desain perkerasan lentur – aspal dengan lapis fondasi berbutir. Untuk kondisi yang berbeda dapat menggunakan solusi lain yang sesuai dengan kondisinya, tetapi lebih disarankan agar menggunakan bagan untuk semua perancangan tebal perkerasan lentur.

Berdasarkan nilai CESAL₅ yang telah didapatkan, maka bagan desain yang akan digunakan adalah bagan desain 3 yaitu desain perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB karena untuk desain perkerasan lentur dengan beban >10 juta CESAL₅, diutamakan menggunakan Bagan Desain – 3. Berikut merupakan struktur perkerasan dengan CESAL₅ 52.000.000 yang tercantum dalam Tabel Bagan Desain di bawah ini.

Tabel 6. Bagan Desain – 3. Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB (Hasil Analisa Data, 2023)

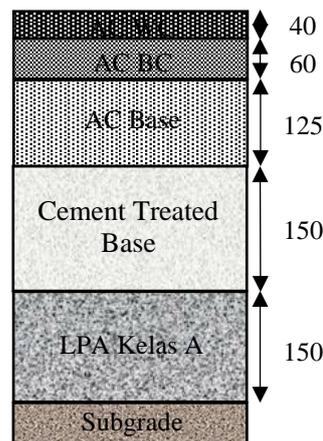
	F1	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagandesain 3A – 3B dan 3 C		Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku		
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ₅)	> 10 – 30	> 30 – 50	> 50 – 100	> 100 – 200	> 200 – 500
Jenis permukaan berpengikat	AC		AC		
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				

AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Berdasarkan Tabel Bagan Desain di atas, didapatkan hasil desain tebal perkerasan lentur untuk jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III Tahap 1 yaitu:

AC-WC	= 40 mm
AC-BC	= 60 mm
AC-BASE	= 125 mm
CTB	= 150 mm
Pondasi Agregat Kelas A	= 150 mm

Dengan demikian tebal perkerasan jalan untuk jalan Manado Outer Ringroad MORR III dengan CESA 52.000.000 ESAL telah didapatkan dan dapat ditinjau melalui Gambar di bawah ini.



Gambar 2. Tebal Lapisan Perkerasan Jalan dengan CESA 52 (10^6) ESAL menggunakan Bagan Desain 3 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB pada MDP 2017 (Hasil Analisa Data, 2023)

3.5. Beban berlebih

Menurut MDP 2017 (P.4-4) beban berlebih merupakan beban yang lebih besar dari 12 ton setelah direvisi pada tahun 2020. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan dengan memvariasikan jumlah beban lalu lintas di atas beban lalu lintas eksisting yaitu dari 52.000.000 ESAL sampai 75.000.000 ESAL menggunakan rumus:

$$\text{Log } W_{18} = Z_r \times S_0 + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 + \log(MR) - 8.07 \quad (3)$$

Dimana:

- Log W_{18} = Log ESAL yang diperkirakan (52.000.000)
- ZR = Simpangan baku normal (AASHTO 1993)
- S0 = Deviasi standar keseluruhan, bernilai antara 0,4 - 0,5 (AASHTO 1993)
- SN = *Structural Number*, angka struktural relatif perkerasan, inci (AASHTO 1993)

Data yang diperlukan antara lain:

Tabel 7. Data Untuk Menghitung Beban Berlebih (Hasil Analisa Data, 2023)

Keterangan	CBR	Mpa	MR	Diambil	a
Surface	-	1600	232060,38	230000	0,323
LPA	-	500	72518,900	73000	0,234
LPB	90	-	45509,924	46000	0,219
Subgrade	10	-	11152,980	12000	-

Berikut merupakan contoh perhitungan tebal perkerasan jalan dengan variasi CESA = 53.000.000 dengan MR AC = 230.000 psi.

Tabel 8. Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan Dengan CESA = 53.000.000 ESAL (Hasil Analisa Data, 2023)

MR	W18	Log(W18)	ZR	So	A	ΔPSI	B	C	D	SUM	SN(nc)	(cm)	a			
LPA	73000	53.000.000,00	7,72427587	-1,645	0,45	4,67282664	1,7	-0,2009148	-0,1614325	3,21290904	7,724	2,97820973	7,56465272	SN1	0,323	
LPB	46000	53.000.000,00	7,72427587	-1,645	0,45	5,22205022	1,7	-0,2009148	-0,24535	2,74759817	7,724	3,55371104	9,02642443	SN2	0,234	
CBR	10%	12000	53.000.000,00	7,72427587	-1,645	0,45	6,76916791	1,7	-0,2009148	-0,4385743	1,39370049	7,724	5,66278439	14,3834723	SN	0,219

D1	D1* (diambil)	SN1*	D2	D2*	SN2*	SN1*+SN2*	D3	D3*	SN3*	SN1*+SN2*+SN3*	Dtot
23,4199774	23,5	7,5905								15,74	53,5
			5,11369098	15	4,21	11,80				> SN	
			minimum				9,82105155	15	3,94		

Berdasarkan perhitungan tersebut telah didapatkan grafik hubungan antara nilai CESA dan tebal perkerasan yang dapat ditinjau di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Nilai CESA Dan Tebal Perkerasan (Hasil Analisa Data, 2023)

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai CESA maka lapis perkerasan juga akan semakin tebal.

3.6. *Temperature perkerasan tinggi*

Tabel 9 merupakan hasil survey data temperatur yang didapatkan dari jalan Manado Outer Ringroad (MORR) III Tahap 1 dari STA 0+000 – STA 1+600.

Dalam MDP 2017 faktor koreksi modulus hanya sampai 42°C, oleh karena itu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan faktor koreksi modulus sampai 50°C yang merupakan temperatur tertinggi dapat dilihat pada Tabel di atas sesuai dengan hasil survey yang telah dilakukan. Hasil perhitungan untuk mendapatkan faktor koreksi modulus sampai temperatur 50°C dapat ditinjau pada Tabel 10.

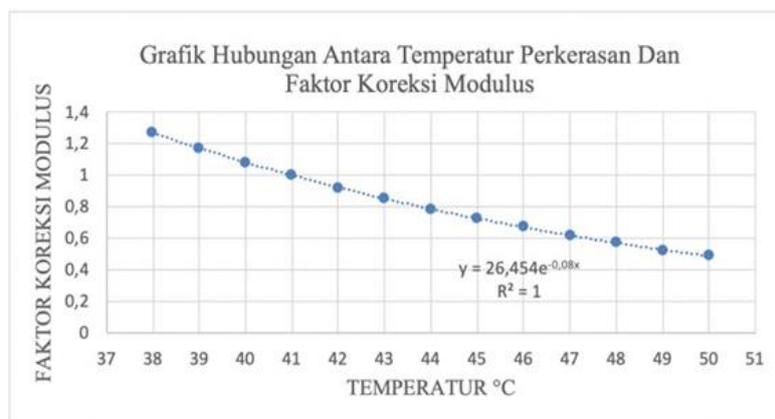
Tabel 9. Data Temperatur Jalan Manado Outer Ringroad (MORR) 3 Tahap 1 (Hasil Analisa Data, 2023)

STA	Temperatur°C
0 + 000	41
0 + 100	41
0 + 200	45
0 + 300	47
0 + 400	43
0 + 500	44
0 + 600	48
0 + 700	46
0 + 800	45
0 + 900	47
1 + 000	46
1 + 100	47
1 + 200	46
1 + 300	49
1 + 400	45
1 + 500	50
1 + 600	49

Tabel 10. Faktor Koreksi Modulus Campuran Beraspal (Hasil Analisa Data, 2023)

Temperatur Aspal (°C)	Faktor Koreksi Modulus
38	1,271
39	1,174
40	1,083
41	1
42	0,923
43	0,853048888
44	0,787463373
45	0,726920312
46	0,671032023
47	0,619440629
48	0,57181577
49	0,527852485
50	0,487269257

Berdasarkan data yang didapatkan melalui Tabel di atas, dinyatakan bahwa temperatur aspal pada 50°C yang merupakan temperatur aspal tertinggi sesuai hasil survey yang telah dilakukan pada jalan Manado Outer Ringroad (MORR) 3 Tahap 1 memiliki faktor koreksi modulus 0,487269257. Berikut merupakan grafik yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur, maka faktor koreksi modulus akan semakin rendah.

**Gambar 4.** Grafik Hubungan Antara Temperatur Perkerasan Dan Faktor Koreksi Modulus (Hasil Analisa Data, 2023)

Faktor koreksi yang dihasilkan digunakan untuk menghitung tebal perkerasan jalan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Log } W_{18} = Z_r \times S_0 + 9.36 \times \log(\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1.094}{(\text{SN}+1)^{5.19}}} + 2.32 + \log(\text{MR}) - 8.07 \quad (4)$$

Dimana:

- Log W₁₈ = log ESAL yang diperkirakan (52.000.000)
- ZR = simpangan baku normal (AASHTO 1993)
- S₀ = deviasi standar keseluruhan, bernilai antara 0,4 - 0,5 (AASHTO 1993)
- SN = *Structural Number*, angka struktural relatif perkerasan, inci (AASHTO 1993)

Tabel 11. Perhitungan Tebal Perkerasan MR Surface = 230.000 psi Dengan Faktor Koreksi = 1 (41°C) (Hasil Analisa Data, 2023)

	MR	W18	Log (W18)	ZR	So	A	ΔPSI	B	C	D	SUM	SN(inc)	(cm)	a
LPA	73000	52.000.000,00	7,71600334	1,645	0,45	4,66336028	1,7	-0,2009148	-0,1601113	3,21290904	7,716	2,96895626	7,54114889	SN1 0,323
LPB	46000	52.000.000,00	7,71600334	1,645	0,45	5,21223693	1,7	-0,2009148	-0,2437777	2,74759817	7,716	3,54273057	8,99853564	SN2 0,234
CBR 10%	12000	52.000.000,00	7,71600334	1,645	0,45	6,75972526	1,7	-0,2009148	-0,4379005	1,39370049	7,716	5,64732526	14,3442062	SN 0,219

D1	D1*(diambil)	SN1*	D2	D2*	SN2*	SN1*+SN2*	D3	D3*	SN3*	SN1*+SN2*+SN3*	Dtot
23,3472102	23,5	7,5905								15,74	53,5
			5,01437194	15	4,21	11,80				> SN	
			minimum				9,67163685	15	3,94		

Tabel 12. Perhitungan Tebal Perkerasan MR Surface = 112.056 psi Dengan Faktor Koreksi = 0,4872 (50°C) (Hasil Analisa Data, 2023)

	MR	W18	Log (W18)	ZR	So	A	ΔPSI	B	C	D	SUM	SN(inc)	(cm)	a
LPA	73000	52.000.000,00	7,71600334	1,645	0,45	4,66336028	1,7	-0,2009148	-0,1601113	3,21290904	7,716	2,96895626	7,54114889	SN1 0,293
LPB	46000	52.000.000,00	7,71600334	1,645	0,45	5,21223693	1,7	-0,2009148	-0,2437777	2,74759817	7,716	3,54273057	8,99853564	SN2 0,234
CBR 10%	12000	52.000.000,00	7,71600334	1,645	0,45	6,75972526	1,7	-0,2009148	-0,4379005	1,39370049	7,716	5,64732526	14,3442062	SN 0,219

D1	D1*(diambil)	SN1*	D2	D2*	SN2*	SN1*+SN2*	D3	D3*	SN3*	SN1*+SN2*+SN3*	Dtot
25,7377095	26	7,618								15,77	56
			4,91643746	15	4,21	11,83				> SN	
			minimum				9,56699454	15	3,94		

Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat bahwa, temperatur berpengaruh terhadap mutu material perkerasan yang mengakibatkan adanya pertambahan tebal perkerasan jalan sebesar 2,5 cm pada temperatur tertinggi sesuai hasil survey (50°C).

3.7. Curah hujan tinggi

Pada sub bab ini, akan dilakukan perbandingan faktor regional pada iklim curah hujan tinggi dan iklim curah hujan rendah dengan beban lalu lintas yang telah didapatkan untuk jalan Manado Outer Ringroad MORR III Tahap 1 yaitu 52.000.000 ESAL. Faktor regional yang akan digunakan adalah 1 pada curah hujan rendah dan 2 pada curah hujan tinggi yang telah dihitung pada sub bab sebelumnya.

Data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut.

- CESA = 52.000.000 ESAL
- Log (N desain) = 7,716 SS
- IP_o = 4 cm (Nilai indeks awal perkerasan jalan; AASHTO 1972)
- IP_t = 2,5 cm (Nilai indeks akhir perkerasan jalan; AASHTO 1972)
- d_{1 min} = 10 cm (AASHTO 1972)
- d_{2 min} = 20 cm (AASHTO 1972)
- d_{3 min} = 10 cm (AASHTO 1972)
- CBR Base = 100% = 100
- CBR Subgrade = 50% = 50
- CBR Subgrade = 2,5% = 2,5
- a₁ = 0,4 (Koefisien kekuatan relatif untuk *surface*; AASHTO 1972)
- a₂ = 0,14 (Koefisien kekuatan relatif untuk *base*; AASHTO 1972)

a3 = 0,12 (Koefisien kekuatan relatif untuk *subbase*; AASHTO 1972)
 RF = 1 untuk curah hujan rendah
 = 2 untuk curah hujan tinggi

Dapat menggunakan rumus di bawah ini untuk mendapatkan pembuktian perubahan umur rencana terhadap FR dengan memaksimalkan setiap lapisan perkerasan.

$$\text{Log (N desain)} = 9,36 \text{ Log} \left(\frac{\text{ITP 2 atau 3 atau 4}}{2,54} + 1 \right) - 0,2 + \left(\frac{\text{Log} \left(\frac{\text{IPo-IPt}}{4,2-1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{\left(\frac{\text{ITP 2 atau 3 atau 4}}{2,54} + 1 \right)^{5,19}}} \right) + \text{Log} \left(\frac{1}{\text{RF}} \right) + 0,372 ((4,3 \text{ Log CBR lapisan tertentu} + 1,7) - 3) \quad (5)$$

Berikut merupakan pembuktian dari perubahan faktor regional dari 1 menjadi 2 yang dapat ditinjau melalui Tabel di bawah ini dengan menggunakan rumus:

$$(b) = (a) \times (1/\text{RF}) \quad (6)$$

Tabel 13. Tabel Pembuktian Perubahan Umur Rencana Terhadap FR Dengan Memaksimalkan Setiap Lapisan Perkerasan (Hasil Analisa Data, 2023)

FR	Ket.	MEMAKSIMALKAN SURFACE		
		UR SURFACE (%)	UR BASE (%)	UR SUB BASE (%)
1	(a)	5407,9467769231	7146,2359297592	102,8508204226
2	(b)	2703,9733884615	3573,1179648796	51,4254102113
2	(a) * (1/2)	2703,973388	3573,117965	51,42541021
(TERBUKTI)				
FR	Ket.	MEMAKSIMALKAN BASE		
		UR SURFACE (%)	UR BASE (%)	UR SUB BASE (%)
1	(a)	121,2712942308	7013,0640244442	101,0211891093
2	(b)	60,6356461538	3506,5320122221	50,5105945547
2	(a) * (1/2)	60,63564712	3506,532012	50,51059455
(TERBUKTI)				
FR	Ket.	MEMAKSIMALKAN SUB BASE		
		UR SURFACE (%)	UR BASE (%)	UR SUB BASE (%)
1	(a)	121,2712942308	269,7270208046	110,4756074413
2	(b)	60,6356461538	134,8635104023	55,2378037207
2	(a) * (1/2)	60,63564712	134,8635104	55,23780372
(TERBUKTI)				

Dengan demikian, melalui perhitungan di atas telah dibuktikan bahwa jalan dengan curah hujan tinggi umur rencananya akan lebih pendek daripada jalan dengan curah hujan rendah yang dapat mengakibatkan perbedaan ketebalan pada setiap lapisannya, dimana jalan dengan curah hujan yang tinggi akan mempunyai lapisan yang cenderung lebih tebal daripada jalan dengan curah hujan yang rendah.

3.8. Tanah lunak

Untuk mendapatkan tebal perkerasan jalan dengan variasi CBR tanah dasar di bawah 7% (jelek) yaitu dari 0,5% sampai 6,5% dengan kelipatan 0,5%, perhitungannya menggunakan rumus:

$$\text{Log } W_{18} = Z_r \times S_0 + 9,36 \times \log(\text{SN} + 1) - 0,20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} + 2,32 + \log(\text{MR}) - 8,07 \quad (7)$$

Dimana:

Log W_{18} = log ESAL yang diperkirakan (52.000.000)

ZR = simpangan baku normal (AASHTO 1993)

S0 = deviasi standar keseluruhan, bernilai antara 0,4 - 0,5 (AASHTO 1993)

SN = *Structural Number*, angka struktural relatif perkerasan, inci (AASHTO 1993)

Data yang diperlukan antara lain:

Tabel 14. MR Tiap CBR (%) (Hasil Analisa Data, 2023)

Kekuatan Tanah Dasar / CBR (%)	Modulus Resilien (MR = 2555 x CBR ^{0.64}) (psi)	Diambil
0,5	1639,58	1700
1	2555,00	3000
1,5	3311,99	3400
2	3981,53	4000
2,5	4592,75	4600
3	5161,17	5200
3,5	5696,32	5700
4	6204,54	6200
4,5	6690,32	6700
5	7157,01	7200
5,5	7607,17	7600
6	8042,81	8100
6,5	8465,56	8500

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan tebal perkerasan jalan dengan variasi nilai CBR tanah dasar = 0,5% dan MR AC = 230.000 psi.

Tabel 15. Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan Dengan CBR Subgrade = 0,5% (Hasil Analisa Data, 2023)

MR	W18	Log(W18)	ZR	So	A	ΔPSI	B	C	D	SUM	SN(inc)	(cm)	a	
LPA 73000	52.000.000,00	7,71600334	-1,645	0,45	4,66336028	1,7	-0,2009148	-0,1601113	3,21290904	7,716	2,96895626	7,54114889	SN1 0,323	
LPB 46000	52.000.000,00	7,71600334	-1,645	0,45	5,21223693	1,7	-0,2009148	-0,2437777	2,74759817	7,716	3,54273057	8,99853564	SN2 0,234	
CBR 0,5%	1700	52.000.000,00	7,71600334	-1,645	0,45	8,7878192	1,7	-0,2009148	-0,4968037	-0,5753585	7,716	9,94771877	25,2672057	SN 0,219

D1	D1*(diambil)	SN1*	D2	D2*	SN2*	SN1*+SN2*	D3	D3*	SN3*	SN1*+SN2*+SN3*	Dtot
23,3472102	23,5	7,5905								25,34	90
			5,01507078	15	4,21	11,80				> SN	
			minimum				51,2377953	51,5	13,53		

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan grafik hubungan antara nilai CBR tanah dasar dan tebal perkerasan yang dapat ditinjau di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara CBR Tanah Dasar Dengan Tebal Perkerasan Jalan (Hasil Analisa Data, 2023)

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai CBR maka lapis perkerasan akan semakin tipis sehingga anggaran yang dibutuhkan untuk perkerasan tersebut juga akan semakin berkurang.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa dari hasil variasi beban lalu lintas dari 52.000.000 sampai 75.000.000 ESAL, telah didapatkan tebal lapisan perkerasan jalan yaitu pada beban lalu lintas 52.000.000 ESAL sampai 55.000.000 ESAL tebal total perkerasannya = 53,5 cm, pada beban lalu lintas 56.000.000 ESAL sampai 63.000.000 ESAL tebal total perkerasannya = 54 cm, pada beban lalu lintas 64.000.000 ESAL sampai 70.000.000 ESAL tebal total perkerasannya = 54,5 cm, pada beban lalu lintas 71.000.000 ESAL sampai 75.000.000 ESAL tebal total perkerasannya = 55 cm, dengan demikian melalui perhitungan tebal perkerasan jalan dengan variasi CESA tersebut didapatkan grafik yang menyimpulkan bahwa semakin besar nilai CESA maka lapis perkerasan juga akan semakin tebal. Telah dilakukan perhitungan tebal perkerasan jalan pada temperatur 41°C yang merupakan temperatur rata-rata yang telah ditetapkan pada MDP 2017 dan dibandingkan dengan perhitungan tebal perkerasan jalan pada temperatur 50°C yang merupakan temperatur aspal tertinggi sesuai hasil survey yang telah dilakukan pada jalan Manado Outer Ringroad (MORR) 3 Tahap 1. Dari perbandingan hasil perhitungan tebal perkerasan jalan menggunakan kedua temperatur tersebut, maka dapat dilihat bahwa temperatur berpengaruh terhadap mutu material perkerasan yang mengakibatkan adanya pertambahan tebal perkerasan jalan sebesar 2,5 cm pada temperatur tertinggi sesuai hasil survey (50°C), yang bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur akan semakin tebal pula ketebalan lapisan perkerasannya. Telah dilakukan pembuktian pada perubahan faktor regional dari 1 menjadi 2. Untuk curah hujan rendah menggunakan faktor regional 1 sedangkan untuk curah hujan tinggi menggunakan faktor regional 2. Hal ini menyimpulkan bahwa jalan dengan curah hujan yang tinggi umur rencananya akan lebih pendek daripada jalan dengan curah hujan yang rendah sehingga berakibat pada perbedaan ketebalan di setiap lapisannya yaitu daerah dengan curah hujan yang tinggi cenderung akan mempunyai lapisan yang lebih tebal daripada daerah dengan curah hujan yang rendah. Telah dilakukan perhitungan tebal perkerasan jalan dengan variasi CBR tanah dasar di bawah 7% yaitu dari 0,5% sampai 6,5% dengan kelipatan 0,5% menggunakan CESA 52.000.000 ESAL. Hasil perhitungannya adalah CBR 0,5% memiliki tebal total = 90 cm, CBR 1% memiliki tebal total = 76 cm, CBR 1,5% memiliki tebal total = 73 cm, CBR 2% memiliki tebal total = 69,5 cm, CBR 2,5% memiliki tebal total = 66,5 cm, CBR 3% memiliki tebal total = 64 cm, CBR 3,5% memiliki tebal total = 62 cm, CBR 4% memiliki tebal total = 60,5 cm, CBR 4,5% memiliki tebal total = 59 cm, CBR 5% memiliki tebal total = 57,5 cm, CBR 5,5% memiliki tebal total = 56,5 cm, CBR 6% memiliki tebal total = 55,5 cm, CBR 6,5% memiliki tebal total = 54,5 cm, dengan demikian melalui perhitungan tersebut telah didapatkan grafik yang menyatakan bahwa semakin besar nilai CBR maka lapis perkerasan akan semakin tipis sehingga anggaran yang dibutuhkan untuk perkerasan tersebut juga akan semakin berkurang. Adapun saran yang dapat diberikan berkaitan dengan penelitian ini yaitu pada penelitian selanjutnya disarankan untuk tidak menyertakan unsur beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi, dan tanah lunak karena telah diteliti dapat berakibat buruk bagi perkerasan jalan, untuk penelitian selanjutnya perlu dicantumkan faktor M pada perhitungan curah hujan tinggi, perlunya dilakukan penelitian lanjutan untuk CBR dengan kondisi tanah terendam, dan perlunya dilakukan penelitian lanjutan untuk *time of loading*.

Referensi

- Materi Pekerjaan Umum. (2017). *Manual Perkerasan Jalan (Revisi 2017) Nomor 02/M/BM/2017*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Mantiri, C. C. (2016). *Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Dengan Metode Bina Marga 2017 Dibandingkan Metode AASHTO 1993*. Manado: Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.10 Oktober 2019 (1303-1316) ISSN: 2337-6732.
- Assa, T. F. (2022). *Perbandingan Analisa Tebal Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) Dan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Terhadap Rencana Anggaran Biaya*. Manado: Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Manado.
- Lalamentik, L. G. J. (2020). *Bahan Ajar Bab III Konstruksi Perkerasan*. Manado: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.
- Ricky, Sendow, T., Jansen, F. (2016). *Analisis Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Menggunakan*

- Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2013*. Manado: Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.12 Desember 2016 (725-735) ISSN: 2337-6732.
- Wowor, F. S. E., Waani, J., Sendow, T. (2019). *Pengaruh Hubungan Beban Lalu Lintas & CBR Subgarde Terhadap Desain Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Pada Daerah Iklim I & Daerah Iklim II*. Manado: Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.1 Januari 2019 (147-160) ISSN: 2337-6732.
- Safitri, P. A., Sendow, T., Pandey, S. (2019). *Analisa Pengaruh Beban Berlebih Terhadap Umur Rencana Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado-Bitung)*. Manado: Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.3 Maret 2019 (319-328) ISSN: 2337-6732.
- Tjan dan Al-Ghifari. (2020). *Kajian Temperatur Rata-rata Tertimbang (WMAPT) pada Desain Perkerasan Lentur Studi Kasus Ruas Cikampek-Pamanukan STA 20+100*. Bandung: Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil ISSN 0853-2982.
- Hardiyatmo, H. C. (2016). *Alternatif Solusi Pembangunan Perkerasan Jalan Pada Subgrade Berdaya Dukung Rendah*. Banjarmasin: Prosiding Seminar Nasional Geoteknik 2016 PS S1 Teknik Sipil Unlam, Banjarmasin, ISBN: 978-602-6483-02-7.
- Sudana, W. (2011). *Geosintetik Untuk Perencanaan Perkerasan Lentur di Atas Tanah Lunak di Gresik-Lamongan STA 27+250 – 32+550*. Jawa Timur: UPN "Veteran" Jatim.
- Bamher, B. G. (2020). *Analisis Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Pada Proyek Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani, Buleleng*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Sumarsono, S., dan Gultom, H. J. H. (2018). *Perbandingan Analisa Perkerasan Metode Bina Marga Revisi Juni 2017 dan AASHTO 1993 (Studi Kasus pada Pekerjaan Rencana Preservasi Ruas Jalan Jatibarang-Langut TA 2017)*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Bandung: NOVA.
- Walukow, P. (2022). *Analisa Pengaruh Kualitas Material Struktur Perkerasan Terhadap Umur Jalan Pada Perkerasan Lentur Dengan Metode AASHTO 1993*. Manado: Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Manado.