

ANALISIS TEBAL PERKERASAN LENTUR JALAN BARU MENGUNAKAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN (MDP) 2013

Ricky

Theo K. Sendow, Freddy Jansen

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Email: rickyyauri@gmail.com

ABSTRAK

Pada Bina Marga 2013 dijelaskan bahwa empat tantangan terkait isu kinerja aset jalan di Indonesia sudah diakomodir. Keempat tantangan tersebut berupa beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi, dan tanah lunak. Empat tantangan diuraikan sebagai parameter yang harus diuji pada pedoman sebelumnya. Pedoman desain perkerasan yang ada diantaranya Pt T-01-2002-B dan Pd T-05-2005 tetap valid namun solusi desain harus memenuhi persyaratan dalam manual ini terutama dengan umur rencana, faktor kerusakan (VDF), desain pondasi jalan, dan beban berlebih.

Untuk mempersingkat proses perhitungan tebal perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2002, pada penelitian ini dibuat dalam bentuk grafik/nomogram desain hubungan antara kumulatif beban sumbu standar, W_{18} dan tebal perkerasan untuk lapis pondasi berbutir dan lapis pondasi CTB. Kisaran W_{18} adalah 300.000 ESAL ~ 30.000.000 ESAL serta nilai CBR tanah dasar berkisar 2% ~ 10% dengan kenaikan 1%.

Dari hasil perhitungan, dengan data LHR sebesar 11.880 kend/hari dimana proporsi LV= 95% dan HV = 5% pada ruas jalan Mapanget – Kairagi tahun 2016, perhitungan W_{18} menurut Bina Marga 2002 adalah sebesar 7.535.757 ESAL, perhitungan CESA menurut Bina Marga 2005 adalah sebesar 9.165.713 ESAL, dan perhitungan CESA₄ menurut Bina Marga 2013 adalah sebesar 10.413.211 ESAL. Berdasarkan Bina Marga 2013, dengan penajaman desain terhadap umur rencana dan faktor kerusakan (VDF), maka perkerasan harus didesain dengan menggunakan desain 3 yaitu menggunakan struktur perkerasan AC-WC dan CTB. Sedangkan penajaman untuk tanah lunak (CBR \leq 6%), penanganan berupa penggunaan lapis penopang (capping layer) setebal 300 mm. Setelah dilakukan koreksi terhadap temperatur maka total tebal lapis beraspal dikali dengan faktor sebesar 0,91. Penajaman desain memperlihatkan bahwa desain tebal perkerasan berubah dari 655 mm menjadi 1110 mm, suatu indikasi tebal perkerasan semakin kuat. Namun dengan menggunakan CTB maka tebal perkerasan beraspal berkurang dari 195 mm menjadi 60 mm, suatu pengurangan yang sangat berarti yaitu sebesar 135 mm, merupakan indikasi perkerasan yang semakin ekonomis. Jika kontraktor kurang berkompeten serta sumber daya tidak memadai untuk mengerjakan konstruksi CTB, maka solusi menggunakan lapis pondasi Agregat Kelas A dapat digunakan.

Kata kunci : CESA, CBR, tebal lapis perkerasan, grafik/nomogram desain, penajaman desain

PENDAHULUAN

Latar belakang

Pada Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 dijelaskan bahwa empat tantangan terkait isu kinerja aset jalan di Indonesia sudah diakomodir. Keempat tantangan tersebut berupa beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi, dan tanah lunak. Empat tantangan diuraikan sebagai parameter yang harus diuji pada pedoman sebelumnya. Pedoman desain perkerasan yang ada diantaranya Pt T-01-2002-B dan Pd T-05-

2005 tetap valid namun solusi desain harus memenuhi persyaratan dalam manual ini terutama dengan umur rencana, faktor kerusakan (VDF), desain pondasi jalan, dan beban berlebih. Dengan kata lain, kedua pedoman tersebut tetap harus konsisten terhadap ketentuan-ketentuan yang ada dalam Bina Marga 2013. Ketiga metode yaitu Bina Marga 2002, Bina Marga 2005, serta Bina Marga 2013 menggunakan tiga cara yang berbeda untuk mendapatkan tebal perkerasan.

Peran perencana harus kritis terkait kondisi lapangan, pelaksanaannya praktis di lapangan,

serta dapat dipercaya dan ekonomis. Tantangan kelima yaitu terkait mutu konstruksi yang harus ditingkatkan dengan adanya peningkatan profesionalisme industri konstruksi jalan. Bina Marga 2013 ini telah mewakili salah satu langkah penting dalam peningkatan manajemen dan kinerja aset jalan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka penulis tertarik untuk mengambil suatu penelitian dengan judul “Analisis Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2013” sebagai suatu penelitian studi literatur.

Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Perhitungan tebal perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2002, Bina Marga 2005, dan Bina Marga 2013.
2. Data LHR untuk perhitungan CESA diambil dari data sekunder pada ruas jalan Mapanget – Kairagi tahun 2016.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghitung serta membandingkan tebal lapis perkerasan menggunakan Bina Marga 2002, Bina Marga 2005, dan Bina Marga 2013. Analisis perhitungan akan didasarkan pada data LHR (data sekunder) yang sama (jumlah dan komposisi kendaraan) sedangkan perhitungan CESA adalah menurut ketentuan masing-masing metode yaitu yang berhubungan dengan nilai Angka Ekuivalen dan VDF.
2. Menguraikan penajaman desain terhadap hasil perhitungan tebal yang diperoleh berdasarkan Bina Marga 2002 dan Bina Marga 2005 dengan ketentuan yang ada dalam Bina Marga 2013.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai alternatif cara singkat dan praktis untuk perhitungan tebal lapis perkerasan lentur jalan baru yang menggunakan Bina Marga 2002.
2. Sebagai bahan referensi terkait Bina Marga 2013 bagi mahasiswa yang mempelajari

perancangan perkerasan jalan dan semua pihak yang membutuhkan.

LANDASAN TEORI

Bina Marga 2002

Perhitungan nilai SN menggunakan rumus umum dari AASHTO 1993 seperti dibawah ini:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}\left(\frac{SN}{2,54} + 1\right) - 0,20 +$$

$$\frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right]}{0,40 + \frac{SN}{(2,54+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07$$

Dimana :

W_{18} = Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen 18-kip

Z_R = Deviasi normal standar

S_0 = Deviasi standar keseluruhan

SN = *Structural Number* (cm)

ΔPSI = Perbedaan indeks pelayanan di awal dan akhir umur rencana

M_R = Modulus resilien (1.500 x CBR) (psi)

Perhitungan tebal perkerasan dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Dimana:

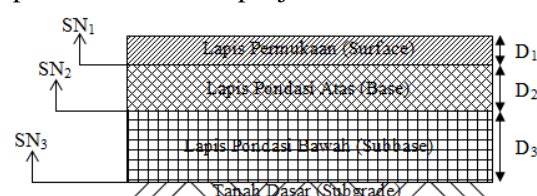
SN = *Structural Number* (cm)

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan

D_1, D_2, D_3 = Tebal masing – masing lapis perkerasan (cm)

m_2, m_3 = Koefisien drainase untuk lapis pondasi atas (m_2), dan lapis pondasi bawah (m_3).

Gambar 1 adalah susunan lapisan perkerasan beserta penjabaran dari nilai SN.



Gambar 1 Penjabaran Nilai SN Berdasarkan Susunan Lapis Perkerasan Jalan

Penjabaran rumus SN dapat dijabarkan seperti dibawah ini:

$$D_1 = SN_1 / a_1$$

D_1^* (tebal rencana)

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* \geq SN_1$$

$$D_2 = SN_2 - SN_1^* / a_2 m_2$$

$$D_2^* \text{ (tebal rencana)}$$

$$SN_2^* = a_2 \times D_2^* \times m_2$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3 = \{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)\} / a_3 m_3$$

$$D_3^* \text{ (tebal rencana)}$$

$$SN_3^* = a_3 \times D_3^* \times m_3$$

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_3$$

Keterangan:

D_1^*, D_2^*, D_3^* =Tebal lapis perkerasan rencana (cm)

SN_1^*, SN_2^*, SN_3^* = *Structural Number* akhir yang diperoleh setelah dibulatkannya nilai D_1 .

Parameter variabel desain yang dibutuhkan adalah:

1. Angka Ekuivalen (E)

Untuk roda tunggal rumus berikut ini harus dipergunakan.

$$\text{Angka Ekuivalen STRT} = \left(\frac{\text{Beban Sumbu (kN)}}{53 \text{ kN}} \right)^4$$

Untuk STRG, SGRG, STrRG dapat dilihat pada tabel Lampian D.

Menurut Bina Marga 2005, perhitungan angka ekuivalen ditentukan menurut rumus berikut ini:

$$\text{Angka Ekuivalen STRT} = \left(\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{5,40} \right)^4$$

$$\text{Angka Ekuivalen STRG} = \left(\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{8,16} \right)^4$$

$$\text{Angka Ekuivalen SDRG} = \left(\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{13,76} \right)^4$$

$$\text{Angka Ekuivalen STrRG} = \left(\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{18,45} \right)^4$$

2. Reliabilitas

Tabel 1 Rekomendasi Tingkat Reliabilitas untuk Bermacam-macam Klasifikasi Jalan

Klasifikasi Jalan	Rekomendasi Tingkat Reliabilitas	
	Perkotaan	Antar Kota
Bebas Hambatan	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Sumber: Bina Marga 2002 hal 5

Deviasi standar (S_0) harus dipilih yang mewakili kondisi setempat. Rentang nilai S_0 adalah 0,40 ~ 0,50.

Tabel 2 Nilai Penyimpangan Normal Standar untuk Tingkat Reliabilitas Tertentu

Reliabilitas, R (%)	Standar Normal Deviate, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber: Bina Marga 2002 hal 6

3. Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lalu lintas pada lajur rencana:

$$w_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18}$$

Dimana :

D_D = faktor distribusi arah

D_L = faktor distribusi lajur

\hat{w}_{18} = beban gandar standar kumulatif untuk dua arah

Lalu lintas kumulatif dapat dilihat seperti rumus berikut:

$$W_t = w_{18} \times \frac{(1 + g)^n}{g}$$

Dimana:

W_t = kumulatif beban sumbu standar ekuivalen 18-kip (ESAL)

w_{18} = beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

n = umur pelayanan (tahun)

g = perkembangan lalu lintas (%)

4. Koefisien Drainase

Tabel 3 Koefisien Drainase (m)

Kualitas drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	< 1%	1 – 5%	5 – 25%	> 25%
Baik sekali	1,40 – 1,30	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Sedang	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Jelek	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Jelek sekali	1,05 – 0,95	0,80 – 0,75	0,60 – 0,40	0,40

Sumber: Bina Marga 2002 hal 7

5. Indeks Permukaan (IP)

Tabel 4 Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IP_t)

Klasifikasi Jalan			
Lokal	Kolektor	Arteri	Bebas hambatan
1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
1,5	1,5 – 2,0	2,0	-
1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	-
-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber: Bina Marga 2002 hal 8

Tabel 5 Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (IP₀)

Jenis Lapis Perkerasan	IP ₀	Ketidakrataan *) (IRI, m/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1,0
	3,9 – 3,5	> 1,0
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2,0
	3,4 – 3,0	> 2,0
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3,0
	2,9 – 2,5	> 3,0

Sumber: Bina Marga 2002 hal 8

6. Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Berdasarkan jenis dan fungsi material lapis perkerasan, estimasi koefisien kekuatan relatif dikelompokkan kedalam 4 kategori, yaitu : beton aspal (*asphalt concrete*), lapis pondasi granular (*granular base*), lapis pondasi bawah granular (*granular subbase*), *cement treated base* (CTB).

Bina Marga 2013

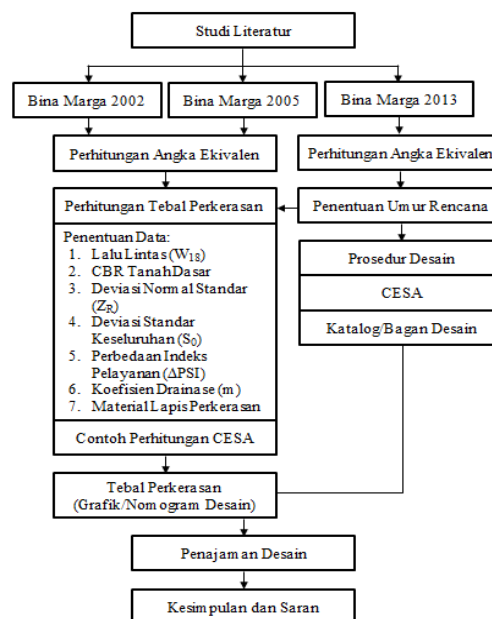
Prosedur dalam menggunakan Bagan Desain dalam Manual ini untuk mencapai solusi optimum adalah sebagai berikut:

1. Menentukan umur rencana dari Tabel Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru
2. Menentukan nilai – nilai CESA₄ untuk umur desain yang telah dipilih
3. Menentukan nilai *Traffic Multiplier* (TM)
4. Menghitung CESA₅ = TM x CESA₄
5. Menentukan tipe perkerasan
6. seragam dan daya dukung subgrade
7. Menentukan struktur pondasi jalan
8. Menentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat desain 3 atau 3A atau bagan lainnya
9. Periksa apakah setiap hasil perhitungan secara struktur sudah cukup kuat menggunakan Bina Marga 2002
10. Menentukan standar drainase bawah permukaan yang dibutuhkan
11. Menentukan kebutuhan daya dukung tepi perkerasan
12. Menetapkan kebutuhan pelapisan (sealing) bahu jalan

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir

Secara ringkas langkah–langkah penelitian dilakukan seperti diagram alir pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Bina Marga 2002

Untuk menghitung tebal perkerasan, digunakan rumus umum dari AASHTO 1993 seperti dibawah ini:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}\left(\frac{SN}{2,54} + 1\right) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right]}{0,40 + \frac{1094}{\left(\frac{SN}{2,54} + 1\right)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07$$

Perhitungan tiap lapis tebal perkerasan, dihitung menggunakan rumus seperti dibawah ini:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Dalam penelitian ini, penetapan parameter variabel desain dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lalu Lintas (W₁₈)

Tabel 6 Klasifikasi Beban Lalu Lintas (W₁₈)

No	W ₁₈ (ESAL)
1	≤ 300.000
2	300.000 – 700.000
3	700.000 – 1.500.000
4	1.500.000 – 3.000.000
5	3.000.000 – 6.000.000
6	6.000.000 – 10.000.000
7	10.000.000 – 17.000.000
8	17.000.000 – 30.000.000

2. Kekuatan Tanah Dasar

Tabel 7 Klasifikasi Nilai CBR *Subgrade* Beserta Nilai M_R

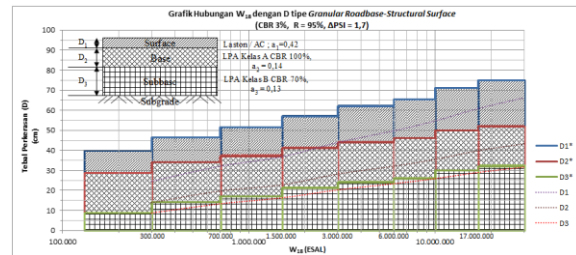
No	Kekuatan Tanah Dasar / CBR (%)	Modulus Resilien ($M_R = 1.500 \times \text{CBR}$) (psi)
1	2	3.000
2	3	4.500
3	4	6.000
4	5	7.500
5	6	9.000
6	7	10.500
7	8	12.000
8	9	13.500
9	10	15.000

- Deviasi normal standar (Z_R) adalah -1,645
- Deviasi standar keseluruhan (S_0) adalah 0,45
- Nilai ΔPSI adalah 1,7
- Koefisien drainase (m) adalah 1,20
- Koefisien kekuatan relatif bahan (a)
 - $E_{AC} = 400.000 \text{ psi}$;
 $a_1 = 0,42$ (Laston)
 - $E_{BS} = 30.000 \text{ psi}$; (*granular*)
 $a_2 = 0,14$
 - $E_C = 800.000 \text{ psi}$; (*CTB*)
 $a_2 = 0,22$
 - $E_{SB} = 18.000 \text{ psi}$;
 $a_3 = 0,13$

Setelah diperoleh hasil perhitungan tebal tiap lapisan, dibuat grafik/nomogram desain hubungan W_{18} dengan D baik untuk struktur perkerasan *granular roadbase* maupun *cement treated base* seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4. Grafik ini dibuat untuk mempersingkat proses perhitungan tebal lapisan perkerasan sesuai dengan beban lalu lintas serta kekuatan tanah dasarnya.

Tabel 8 Perhitungan Tebal Perkerasan tipe *Granular Roadbase – Structural Surface* ($R = 95\%$, $\Delta \text{PSI} = 1,7$)

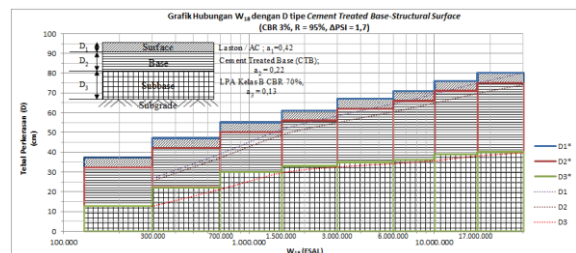
CBR Subgrade (%)	W_{18} (ESAL)	SN_1	D_1 (cm)	D_1^* (cm)	SN_1^*	SN_2	D_2 (cm)	D_2^* (cm)	SN_2^*	SN_3	D_3 (cm)	D_3^* (cm)	SN_3^*
3	300.000	4,482	10,671	11,0	4,620	5,488	5,167	20,0	3,360	9,351	8,788	9,0	1,404
	700.000	5,184	12,343	12,5	5,250	6,323	6,387	20,0	3,360	10,694	13,359	14,0	2,184
	1.500.000	5,892	14,029	14,5	6,090	7,176	6,464	20,0	3,360	11,995	16,314	17,0	2,652
	3.000.000	6,613	15,745	16,0	6,720	8,050	7,917	20,0	3,360	13,248	20,308	21,0	3,276
	6.000.000	7,420	17,667	18,0	7,560	9,022	8,702	20,0	3,360	14,571	23,404	24,0	3,744
	10.000.000	8,076	19,229	19,5	8,190	9,798	9,571	20,0	3,360	15,594	25,923	26,0	4,056
	17.000.000	8,814	20,986	21,0	8,820	10,650	10,893	20,0	3,360	16,706	29,013	30,0	4,680
	30.000.000	9,664	23,010	23,0	9,660	11,610	11,607	20,0	3,360	17,956	31,641	32,0	4,992



Gambar 3 Grafik Hubungan W_{18} dengan D pada CBR 3% tipe *Granular Roadbase – Structural Surface* ($R=95\%$, $\Delta \text{PSI}=1,7$)

Tabel 9 Perhitungan Tebal Perkerasan tipe *Cement Treated Base – Structural Surface* ($R = 95\%$, $\Delta \text{PSI} = 1,7$)

CBR Subgrade (%)	W_{18} (ESAL)	SN_1	D_1 (cm)	D_1^* (cm)	SN_1^*	SN_2	D_2 (cm)	D_2^* (cm)	SN_2^*	SN_3	D_3 (cm)	D_3^* (cm)	SN_3^*
3	300.000	0,547	1,302	5,0	2,100	5,488	12,833	20,0	5,280	9,351	12,635	13,0	2,028
	700.000	0,840	2,000	5,0	2,100	6,323	15,996	20,0	5,280	10,694	21,244	22,0	3,432
	1.500.000	1,127	2,683	5,0	2,100	7,176	19,227	20,0	5,280	11,995	29,583	30,0	4,680
	3.000.000	1,409	3,355	5,0	2,100	8,050	22,538	23,0	6,072	13,248	32,538	33,0	5,148
	6.000.000	1,713	4,079	5,0	2,100	9,022	26,220	27,0	7,128	14,570	34,244	35,0	5,460
	10.000.000	1,953	4,650	5,0	2,100	9,798	29,159	30,0	7,920	15,595	35,737	36,0	5,616
	17.000.000	2,216	5,276	5,5	2,310	10,650	31,591	32,0	8,448	16,706	38,128	39,0	6,084
	30.000.000	2,516	5,990	6,0	2,520	11,610	34,432	35,0	9,240	17,956	39,718	40,0	6,240



Gambar 4 Grafik Hubungan W_{18} dengan D pada CBR 3% tipe *Cement Treated Base – Structural Surface* ($R=95\%$, $\Delta \text{PSI}=1,7$)

Contoh Perhitungan Kumulatif Beban Sumbu Standar Menurut Bina Marga 2002, Bina Marga 2005, dan Bina Marga 2013.

Contoh perhitungan kumulatif beban sumbu standar (CESA) dalam penelitian ini, digunakan data LHR Ruas Jalan Kairagi – Mapanget, 2016, 4-lajur 2-arah terbagi (4/2 D). Data LHR yang digunakan adalah data LHR dari arah Mapanget – Kairagi seperti dibawah ini:

- Sedan, Jeep, St. Wagon 2 ton : 8349 kend/hari
- Opelet, Mikrolet, Minibus 2 ton : 1548 kend/hari
- Pick Up/Mobil Kanvas 5 ton : 1350 kend/hari
- Bus Kecil 8 ton : 27 kend/hari

Bus Besar 13 ton : 67
kend/hari
Truk 2 Sumbu Ringan 13 ton : 191
kend/hari
Truk 2 Sumbu Sedang 14 ton : 318
kend/hari
Truk 3 Sumbu 24 ton : 30
kend/hari

Klasifikasi Jalan = Kolektor – Antar Kota

Umur Rencana (UR) = 20 tahun

Pertumbuhan Lalulintas (i) = 3,5 %.

IPt = 2,5

SN = 6 (Asumsi)

Faktor Distribusi Arah (DD) = 0,5

Faktor Distribusi Lajur (DL) = 1,0

Koefisien Distribusi Kendaraan (C) :

- 60% untuk kendaraan ringan
- 90% untuk kendaraan berat (bus dan truk)

1. W_{18} Menurut Bina Marga 2002

Tabel 10 Hasil Perhitungan Beban Gandar Standar Kumulatif (\hat{w}_{18})

Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	LHR	Angka Ekuivalen	\hat{w}_{18}
Sedan, Jeep, St. Wagon (2,2 + 2,2) kip	1.1	8349	0,0025	21,162
Opelet, Mikrolet, Minibus (2,2 + 2,2) kip	1.1	1548	0,0025	3,924
Pick Up/Mobil Kanvas (4,4 + 6,6) kip	1.1	1350	0,1229	165,959
Bus Kecil (6,6 + 11) kip	1.2	27	0,2307	6,228
Bus Besar (11 + 17,6) kip	1.2	67	1,7133	114,791
Truk 2 Sumbu Ringan (11 + 17,6) kip	1.2	191	1,7133	327,239
Truk 2 Sumbu Sedang (11 + 19,8) kip	1.2	318	2,2321	709,806
Truk 3 Sumbu (13,2 + 39,6) kip	1.22	30	3,7005	111,015
		11880	\hat{w}_{18}	1460,123

Lalu lintas pada lajur rencana pertahun:

$$w_{18} = DD \times DL \times \hat{w}_{18} \times 365 \\ = 0,5 \times 1,0 \times 1460,123 \times 365 \\ = 266.472 \text{ ESAL}$$

Lalu lintas kumulatif selama umur rencana:

$$W_{18} = w_{18} \times ((1+g)^n - 1) / g \\ = 266.472 \times ((1+0,035)^{20} - 1) / 0,035 \\ = 7.535.757 \text{ ESAL}$$

2. CESA Menurut Bina Marga 2005

Tabel 11 Hasil Perhitungan Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP_0) pada Lajur Rencana

Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	LHR	C	E	LEP_0
Sedan, Jeep, St. Wagon (1 + 1) Ton	1.1	8349	0,6	0,00235	11,783
Opelet, Mikrolet, Minibus (1 + 1) Ton	1.1	1548	0,6	0,00235	2,185
Pick Up/Mobil Kanvas (2 + 3) Ton	1.1	1350	0,6	0,11408	92,402
Bus Kecil (3 + 5) Ton	1.2	27	0,9	0,23623	5,740
Bus Besar (5 + 8) Ton	1.2	67	0,9	1,65888	100,030
Truk 2 Sumbu Ringan (5 + 8) Ton	1.2	191	0,9	1,65888	285,161
Truk 2 Sumbu Sedang (5 + 9) Ton	1.2	318	0,9	2,21485	633,891
Truk 3 Sumbu (6 + 18) Ton	1.22	30	0,9	4,45246	120,216
		11880		LEP_0	1251,407

$$R = \frac{(1 + 0.01i)^{UR} - 1}{0.01i} \\ = \frac{(1 + 0.01 \times 0,035)^{20} - 1}{0.01 \times 0,035} \\ = 20,067$$

Sehingga, nilai CESA selama umur rencana 20 tahun adalah:

$$CESA = LEP_0 \times 365 \times R \\ = 1251,407 \times 365 \times 20,067 \\ = 9.165.713 \text{ ESAL}$$

3. CESA Menurut Bina Marga 2013

Tabel 12 Hasil Perhitungan Beban Sumbu Standar Menggunakan VDF_4 (ESA_4)

Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	LHR	C	VDF_4	ESA_4
Sedan, Jeep, St. Wagon	1.1	8349	0,6	0	0
Opelet, Mikrolet, Minibus	1.1	1548	0,6	0	0
Pick Up/Mobil Kanvas	1.1	1350	0,6	0	0
Bus Kecil	1.2	27	0,9	0,3	7,29
Bus Besar	1.2	67	0,9	1,0	60,3
Truk 2 Sumbu Ringan	1.2	191	0,9	0,8	137,52
Truk 2 Sumbu Sedang	1.2	318	0,9	1,6	457,92
Truk 3 Sumbu	1.22	30	0,9	28,1	758,7
		11880		ESA_4	1421,73

$$R = \frac{(1 + 0.01i)^{UR} - 1}{0.01i} \\ = \frac{(1 + 0.01 \times 0,035)^{20} - 1}{0.01 \times 0,035} \\ = 20,067$$

$$\begin{aligned}
 CESA_4 &= ESA_4 \times 365 \times R \\
 &= 1421,73 \times 365 \times 20,067 \\
 &= 10.413.211 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

Tabel 13 Hasil Perhitungan Beban Sumbu Standar Menggunakan VDF₅ (ESA₅)

Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	LHR	C	VDF ₄	ESA ₅
Sedan, Jeep, St. Wagon	1.1	8349	0,6	0	0
Opelet, Mikrolet, Minibus	1.1	1548	0,6	0	0
Pick Up/Mobil Kanvas	1.1	1350	0,6	0	0
Bus Kecil	1.2	27	0,9	0,2	4,86
Bus Besar	1.2	67	0,9	1,0	60,3
Truk 2 Sumbu Ringan	1.2	191	0,9	0,8	137,52
Truk 2 Sumbu Sedang	1.2	318	0,9	1,7	486,54
Truk 3 Sumbu	1.22	30	0,9	64,4	1738,8
		11880		ESA ₅	2428,02

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{(1 + 0.01i)^{UR} - 1}{0.01i} \\
 &= \frac{(1 + 0.01 \times 0,035)^{20} - 1}{0.01 \times 0,035} \\
 &= 20,067
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CESA_5 &= ESA_5 \times 365 \times R \\
 &= 2428,02 \times 365 \times 20,067 \\
 &= 17.783.604 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CESA_5 &= TM \times CESA_4 \\
 &= 1,8 \times 10.413.211 \\
 &= 18.743.779 \text{ ESAL}
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan menggunakan data yang sama menghasilkan nilai yang CESA yang berbeda. CESA menurut Bina Marga 2005 lebih besar dibandingkan dengan CESA yang diperoleh dari Bina Marga 2002. Hal ini terjadi karena perhitungan angka ekivalen dari masing-masing metode yang berbeda.

Penentuan tebal lapis perkerasan menggunakan grafik/nomogram dengan nilai CESA yang diperoleh dari contoh perhitungan menggunakan Bina Marga 2002 dan Bina Marga 2005 dapat dilihat Tabel 14 berikut ini:

Tabel 14 Tebal Lapis Perkerasan Menggunakan CESA Menurut Bina Marga 2002 dan CESA Menurut Bina Marga 2005

Lapisan	Tebal Perkerasan (mm)	
	CESA Bina Marga 2002	CESA Bina Marga 2005
Surface	195	195
Base	200	200
Subbase	260	260

Penajaman Desain

Hasil desain tebal perkerasan dari Bina Marga 2002 harus dikoreksi terhadap ketentuan-ketentuan yang ada pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 (penajaman desain). Ketentuan-ketentuan tersebut adalah pada hal-hal berikut:

Umur Rencana Optimum

Umur rencana lapis perkerasan jalan baru, perkerasan lentur, menurut Bina Marga 2013 ditetapkan adalah selama 20 tahun. Sedangkan pondasi jalan, dan semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang (jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan) umur rencananya 40 tahun.

Desain tebal perkerasan pada contoh menggunakan umur rencana 20 tahun. Lokasi jalan dianggap tidak pada jalan yang areanya tidak diijinkan sering ditinggikan sehingga umur rencana cukup 20 tahun.

Analisis Beban Sumbu Secara Menyeluruh

Analisis volume lalu lintas secara menyeluruh didasarkan pada:

- Survey lalu lintas dilakukan dengan durasi minimal 7 x 24 jam
- Studi jembatan timbang
- Data WIM Regional dari Direktorat Bina Teknik.
- Bina Marga 2013 memberikan tabel nilai VDF₄ dan VDF₅ yang dapat dilihat pada Tabel 15 berikut ini:

Tabel 15 Klasifikasi Kendaraan dan Nilai VDF Standar

Jenis Kendaraan	Klasifikasi Rata Rata Lintas	Alternatif	Urutan	Konfigurasi sumbu	Muster ¹ yang diangkat	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF)	
						Kelompok sumbu	Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF ₄ Pangkat ⁴
1	1	1	1	1.1	1	2	36,4		
2, 3, 4	2, 3, 4	1	1	1.1	1	2	51,7	74,3	
5A	5A	1	1	1.2	1	4	3,9	10,8	0,3
5B	5B	1	1	1.2	1	2	10,1	10,8	0,3
6A.1	6A.1	1	1	1.2	1	2			0,3
6A.2	6A.2	1	1	1.2	1	4	4,8	8,8	0,3
6B.1	6B.1	1	1	1.2	1	2			0,3
6B.2	6B.2	1	1	1.2	1	2			0,3
7A.1	7A.1	1	1	1.2	1	2	3,8	8,8	0,3
7A.2	7A.2	1	1	1.2	1	2			0,3
7B.1	7B.1	1	1	1.22	1	3	3,9	8,8	0,3
7B.2	7B.2	1	1	1.22	1	3			0,3
7C.1	7C.1	1	1	1.22	1	3	10,1	10,8	0,3
7C.2	7C.2	1	1	1.22	1	3			0,3
7D.1	7D.1	1	1	1.22	1	4	0,5	0,7	0,3
7D.2	7D.2	1	1	1.22	1	4	0,5	0,7	0,3
7E.1	7E.1	1	1	1.22	1	5	0,7	1,0	0,3
7E.2	7E.2	1	1	1.22	1	5			0,3
7F.1	7F.1	1	1	1.22	1	6	0,3	0,3	0,3

Sumber : Bina Marga 2013 hal 19

- Bina Marga 2013 memberikan faktor pertumbuhan lalu lintas minimum yang dapat dilihat pada Tabel 16 dibawah ini:

Tabel 16 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i)
Minimum untuk Desain

	2011 – 2020	> 2021 – 2030
Arteri dan perkotaan (%)	5	4
Kolektor rural (%)	3,5	2,5
Jalan desa (%)	1	1

Sumber : Bina Marga 2013 hal 15

Pada contoh perhitungan CESA menurut Bina Marga 2013, digunakan faktor pertumbuhan lalu lintas minimum sebesar 3,5 % selama umur rencana 20 tahun. Hal ini perlu dikoreksi dimana dari tahun 2016 – 2020 (UR 5 tahun) tetap menggunakan faktor pertumbuhan lalu lintas sebesar 3,5 %, sedangkan dari tahun 2021 – 2035 (UR 15 tahun) menggunakan faktor pertumbuhan lalu lintas sebesar 2,5 %. Berikut hasil perhitungan CESA₄ dan CESA₅ setelah dilakukan koreksi terhadap faktor pertumbuhan lalu lintas (i):

$$CESA_4 = 10.394.082 \text{ ESAL}$$



$$CESA_5 = 17.750.937 \text{ ESAL}$$

$$CESA_5 = 18.709.348 \text{ ESAL (TM x CESA}_4)$$

Pengenalan Struktur Perkerasan Cement Treated Base

Tabel 17 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	desain	ESA20 tahun (juta) (pangkat 4 kecuali disebutkan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	4 – 10	10 – 30	> 30
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	4			2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (desa dan daerah perkotaan)	4A		1,2			
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (pangkat 5)	3				2	
AC dengan CTB (pangkat 5)	3			2		
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5)	3A			1,2		
AC atau HRS tipis diatas lapis pondasi berbutir	3		1,2			
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	Gambar 6	3	3			
Lapis Pondasi Soil Cement	6	1	1			
Perkerasan tanpa penutup	Gambar 6	1				

 Solusi yang lebih diutamakan (lebih murah)
 Alternatif – lihat catatan

Catatan: tingkat kesulitan: 1 kontraktor kecil - medium
 2 kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai
 3 membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus – dibutuhkan kontraktor spesialis Burda

Sumber : Bina Marga 2013 hal 11

Nilai CESA yang diperoleh dari contoh perhitungan menurut Bina Marga 2005 sebesar 9.165.713 ESAL. Berdasarkan Tabel 17, maka struktur perkerasan yang dapat digunakan ada 2 jenis, yaitu AC dengan CTB (pangkat 5) dengan desain 3 atau AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5) dengan desain 3A, atau AC dengan CTB (pangkat 5) dengan desain

3 atau AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5) dengan desain 3A. Nilai CESA yang digunakan adalah CESA₅ dari contoh perhitungan menurut Bina Marga 2013 terbesar (setelah dilakukan koreksi faktor 'i'). Nilai CESA₅ yang diambil sebesar 18.709.348 ESAL.

Struktur perkerasan yang diperoleh setelah dilakukan penajaman untuk nilai CESA₅ dapat dilihat pada Gambar 18 berikut ini:

Tabel 18 Struktur Perkerasan dan Tebal Lapis Perkerasan Setelah Dilakukan Penajaman Terhadap Pengenalan CTB

Lapisan	Tebal Lapisan (mm)
Surface (AC WC Modifikasi atau SMA Modifikasi)	60
Base (Cement Treated Base)	350
Subbase (Lapis Pondasi Agregat Kelas B)	400

Pengaruh Temperatur

Bina Marga 2013 mengasumsikan temperatur perkerasan rata-rata (siang dan malam) sebesar 41°C. Sebagai perkiraan interim (sementara), diberikan faktor penyesuaian tebal, faktor pengali ini sebagai koreksi temperatur berlaku pada total tebal lapis beraspal yang dapat dilihat pada tabel 19.

Tabel 19 Faktor Koreksi Temperatur Perkerasan Interim untuk Tebal Lapis Beraspal Desain – MAPT Standar 41°C

Temperatur perkerasan rata-rata MAPT (°C)	34 – 38	39 – 43	44 – 48
Faktor koreksi tebal aspal	0,91	1	1,09

Sumber : Bina Marga 2013 hal 27

Temperatur perkerasan rata rata tahunan untuk Propinsi Sulawesi Utara, untuk kota Manado yaitu 34,4°C. Total tebal lapis beraspal yang diperoleh untuk tipe *cement treated base – structural surface* sebesar 60 mm, setelah dilakukan koreksi temperatur, tebal yang digunakan tetap 60 mm.

Koreksi Terhadap Faktor Iklim

Dalam desain perkerasan, iklim mempengaruhi:

- Temperatur lapisan aspal dan nilai modulusnya
- Kadar air di lapisan tanah dan lapisan perkerasan berbutir

Zona iklim diperlukan untuk dapat menggunakan Bagan Desain 1. Bagan Desain 1 digunakan untuk memperkirakan nilai CBR tanah dasar, sehubungan dengan jenis tanah, LHRT, koefisien drainase 'm', serta melihat muka tanah asli apakah lebih kecil atau lebih besar dari 1 meter. Nilai CBR tanah dasar yang digunakan dalam contoh perhitungan sebesar 3% dan nilai ini dianggap telah mewakili perkiraan nilai CBR tanah dasar.

Pengenalan Prosedur Rinci untuk Desain Pondasi Jalan

Desain pondasi jalan untuk tanah dengan nilai CBR < 6% adalah perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*capping layer*). Bagan Desain 2 memberikan solusi untuk desain pondasi jalan minimum dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20 Bagan Desain 2 : Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur desain pondasi	Deskripsi struktur pondasi jalan	lebar lintang lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA ₅)
				< 2 2 - 4 > 4
≥ 6	SG6	A	Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤ 200 mm tebal lapis)	Tebal minimum peningkatan tanah dasar
5	SG5			Tidak perlu peningkatan
4	SG4			100
3	SG3			100 150 200
2.5	SG2.5			150 200 300
Tanah ekspansif (potensial swell > 5%)		AE		175 250 350
				400 500 600
Perkerasan lentur diatas tanah lunak ⁽¹⁾	SG1 aluvial ⁽²⁾	B	Lapis penopang (<i>capping layer</i>) ⁽³⁾⁽⁴⁾	1000 1100 1200
			Atau lapis penopang dan geogrid ⁽³⁾⁽⁴⁾	650 750 850
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk jalan kecil (nilai minimum – peraturan lain digunakan)		D	Lapis penopang berbuntut ⁽³⁾⁽⁴⁾	1000 1250 1500

- (1) Nilai CBR lapisan CBR rendaman tidak relevan.
 (2) Datas lapis penopang harus didasarkan memiliki nilai CBR ekuivalen 2.5%.
 (3) Ketebalan perlapisan mengkilat berlapis, desain harus memperhatikan semua itu kritis.
 (4) Tebal lapis penopang dasar diluruskan 300 mm jika tanah asli dipadatkan (tanah lunak kering pada saat konstruksi).
 (5) Dianda oleh kepadatan yang rendah dan CBR lapisan yang rendah di bawah daerah yang dipadatkan

Sumber : Bina Marga 2013 hal 39

Untuk CBR tanah dasar 3% dan CESA₅ sebesar 18.709.348 ESAL maka penanganan desain pondasi jalan menggunakan metode desain A (untuk tanah normal). Untuk kondisi tersebut, dilakukan perbaikan tanah dasar menggunakan lapis penopang (*capping layer*) sebesar 300 mm.

Katalog Desain

Desain perkerasan dalam Bina Marga 2013 telah memudahkan desainer untuk menentukan tebal lapis perkerasan yang didasarkan pada pembebanan pertimbangan biaya terkecil diberikan dalam desain 3 maupun 3A.

Nilai CESA₅ yang yang digunakan sebesar 18.709.348 ESAL. Tebal lapis perkerasannya dapat dilihat seperti Tabel 21 berikut ini:

Tabel 21 Alternatif Bagan Desain 3A : Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir

Solusi yang dipilih	STRUKTUR PERKERASAN							
	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun di jalur rencana (pangkat 5) (juta CESA ₅)	1-2	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
AC Binder	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	125	145	160	180	210
LPA	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2	2	2	3	3	3	3

- Catatan Bagan Desain 3A:
 1. FF1 dan FF2 harus lebih dikurangkan daripada solusi FF1 dan FF2 atau dalam situasi jika HRS beroperasi sering.
 2. FF3 akan lebih efektif biaya relatif terhadap solusi FF4 pada kondisi tertentu.
 3. CTR dan jalur perkerasan lain (Bagian Desain 3) dapat lebih efektif biaya tapi dapat menjadi tidak praktis jika jumlah daya yang dibutuhkan tidak tersedia. Tebal dari FF5-FF8 dapat lebih praktis daripada solusi Bagan Desain 3 atau 4 untuk situasi kontrol lalu lintas. Contoh jika perkerasan lalu atau CTR bisa menjadi tidak praktis, perbaikan perkerasan lentur alternatif atau desain awal yang membantu alternatif atau pengurangan tidak mungkin (jika perkerasan lalu atau jika sumber daya kontrol tidak tersedia).
 4. Faktor reliabilitas 85% digunakan untuk solusi ini.
 5. Bagan Desain 3A digunakan jika HRS atau CTR sulit untuk diimplementasikan. Untuk desain perkerasan lentur, lebih disarankan menggunakan Bagan Desain 3.

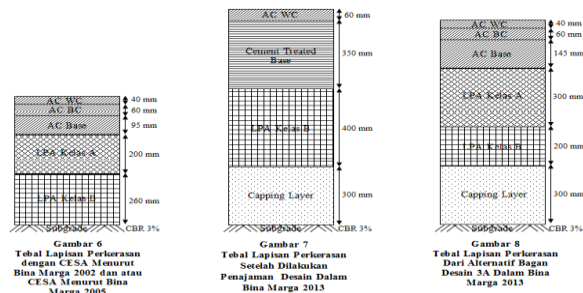
Sumber : Bina Marga 2013 hal 60

Dari Bagan Desain diatas, untuk nilai CESA₅ tersebut, tebal lapis perkerasan dapat dilihat seperti pada Tabel 22 dibawah ini:

Tabel 22 Tebal Lapis Perkerasan dari Katalog Desain Dalam Bina Marga 2013

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan (mm)
	Alternatif Bagan Desain 3A
AC WC	40
AC BC	60
AC Base	145
LPA	300
Capping Layer	300

Setelah diperoleh tebal lapis perkerasan baik CESA dari Bina Marga 2002 dan atau Bina Marga 2005, tebal lapis perkerasan setelah penajaman desain dalam Bina Marga 2013 dan tebal lapis perkerasan dari katalog desain dalam Bina Marga 2013 dapat dilihat pada seperti Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 berikut ini:



Ringkasan Tahapan Penajaman Desain

- Berdasarkan data LHR ruas jalan Mapanget-Kairagi sebesar 11.880 kend/hari dengan proporsi LV = 95% dan HV = 5%, hasil perhitungan tebal perkerasan diatas tanah dasar dengan nilai CBR 3% adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Tebal perkerasan didesain tanpa mempertimbangkan lapis penopang dan penggunaan CTB pada lapis pondasi perkerasan.

- Berdasarkan Bina Marga 2013, dengan penajaman desain terhadap umur rencana dan faktor kerusakan (VDF), maka perkerasan harus didesain dengan menggunakan desain 3 yaitu menggunakan struktur perkerasan AC WC dan CTB. Sedangkan penajaman untuk tanah lunak, yaitu tanah dasar dengan $CBR = 3\%$ ($CBR \leq 6\%$), penggunaan lapis penopang (*capping layer*) berdasarkan Bagan Desain 2 harus diambil setebal 300 mm. Setelah dilakukan koreksi terhadap temperatur maka total tebal lapis beraspal dikali dengan faktor sebesar 0.91 dan hasil perhitungan tebal perkerasan dapat dilihat pada Gambar 7.
- Penajaman desain memperlihatkan bahwa desain tebal perkerasan berubah dari 655 mm menjadi 1110 mm, suatu indikasi tebal perkerasan semakin kuat. Namun dengan menggunakan CTB maka tebal perkerasan beraspal berkurang dari 195 mm menjadi 60 mm, suatu pengurangan yang sangat berarti yaitu sebesar 135 mm, merupakan indikasi perkerasan yang semakin ekonomis.
- Jika sumber daya tidak memadai untuk mengerjakan konstruksi CTB, maka solusi yang ditunjukkan pada alternatif desain 3A dapat digunakan. Lapis pondasi Agregat Kelas A digunakan sebagai pengganti CTB. Struktur perkerasan dari desain tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan penelitian dalam skripsi ini yang berjudul “Analisis Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013” adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan Bina Marga 2013, dengan penajaman desain terhadap umur rencana dan faktor kerusakan (VDF), maka perkerasan didesain dengan menggunakan desain 3 yaitu menggunakan struktur perkerasan AC WC dan CTB. Sedangkan penajaman untuk tanah lunak, yaitu tanah dasar dengan $CBR = 3\%$ ($CBR \leq 6\%$), penggunaan lapis penopang berdasarkan Bagan Desain 2 diambil setebal 300 mm. Setelah dilakukan koreksi terhadap temperatur maka total tebal lapis beraspal dikali dengan faktor sebesar 0.91.

Penajaman desain memperlihatkan bahwa desain tebal perkerasan, pada Bina Marga 2002, berubah dari 655 mm menjadi 1110 mm, suatu indikasi perkerasan semakin kuat. Namun dengan menggunakan CTB maka tebal perkerasan beraspal berkurang dari 195 mm menjadi 60 mm, suatu pengurangan yang sangat berarti yaitu sebesar 135 mm, merupakan indikasi perkerasan yang semakin ekonomis. Jika sumber daya tidak memadai untuk mengerjakan konstruksi CTB, maka solusi yang ditunjukkan pada alternatif desain 3A dengan menggunakan lapis pondasi Agregat Kelas A dapat digunakan.

2. Penajaman desain pada Bina Marga 2002 terhadap Bina Marga 2013 adalah sebagai berikut:

- Umur rencana pada perkerasan baru untuk perkerasan lentur dengan elemen perkerasan lapisan aspal, lapisan berbutir, dan CTB ditetapkan yaitu 20 tahun. Sedangkan untuk pondasi jalan, yaitu 40 tahun.
- Analisis beban sumbu harus dilakukan secara menyeluruh. Hal ini berupa survey yang dilakukan minimal 7 x 24 jam, studi jembatan timbang, atau data WIM Regional.
- Pengenalan struktur perkerasan menggunakan *cement treated base* (CTB). Struktur perkerasan CTB mulai digunakan untuk nilai CESA dari 4 juta sampai 30 juta dengan menggunakan desain 3 maupun desain 3A.
- Pengaruh temperatur perkerasan lapisan beraspal diakomodir. Hal ini berupa koreksi temperatur dilakukan terhadap total tebal lapisan beraspal namun bersifat interim.
- Pengaruh iklim dalam prosedur perencanaan tebal perkerasan dinyatakan dengan menggunakan Bagan Desain 1, yaitu suatu cara untuk memperkirakan nilai CBR tanah dasar, sehubungan dengan jenis tanah, posisi muka air tanah, LHRT dan menetapkan nilai koefisien drainase.
- Prosedur rinci untuk desain pondasi jalan harus dilakukan. Tanah dasar dengan nilai $CBR < 6\%$ harus dilakukan perbaikan tanah dasar yaitu dengan lapis penopang (*capping layer*).

Saran

1. Untuk mendapatkan desain perkerasan yang lebih akurat, maka disarankan untuk dilakukan penelitian nilai VDF berdasarkan studi jembatan timbang pada jalan-jalan arteri atau kolektor di Sulawesi Utara.
2. Pada penelitian ini dilakukan dengan studi literatur, untuk itu disarankan aplikasi perencanaan tebal perkerasan jalan baru menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 dengan studi kasus pada ruas jalan tertentu seperti ruas jalan Manado – Bitung.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1993. *Guide for Design of Pavement Structures* 1993. American Association of State Highways and Transportation Officials, Washington , D.C, USA.
- DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA. 1983. *Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam No. 01/MN/B/1983*. Jakarta.
- DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM. 2002. *Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Pt-T-01-2002-B)*. Jakarta.
- DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM. 2005. *Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd-T-05-2005-B)*. Jakarta
- KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA. 2010. *Spesifikasi Umum Revisi 3*. Jakarta.
- KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA. 2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013*. Jakarta.
- Romauli, Theresia Dwiriani. 2016. *Analisis Perhitungan Tebal Lapis Tambahan (Overlay) pada Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 (Studi Kasus : Ruas Jalan Kairagi – Mapanget)*. Manado.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung. Nova
- TRANSPORT RESEARCH LABORATORY. 1993. *OVERSEAS ROAD NOTE 31 – A Guide to The Structural Design of Bitumen – Surfaces Roads in Tropical and Sub Tropical Countries*. Berkshire.