

Analisis Tebal Lapis Perkerasan Jalan dengan Meninjau Sifat Fisik Agregat Lapis Fondasi Bawah pada Ruas Jalan Sofi-Wayabula Pulau Morotai

NURUL FAUZIAH ENDAH NINGTYAS, SAMUN HARIS

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: nurulfendah@gmail.com

ABSTRAK

Jalan sebagai sarana penunjang transportasi darat memiliki peran penting untuk memenuhi kebutuhan manusia. Salah satu material penting dalam pembuatan jalan adalah agregat. Sifat fisik agregat menjadi salah satu faktor penentu tebal lapisan struktur perkerasan. Ruas jalan Sofi-Wayabula adalah ruas jalan nasional strategis di Pulau Morotai dengan menggunakan perkerasan lentur. Agregat yang digunakan untuk lapis fondasi bawah pada ruas jalan ini adalah kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Eks. Morotai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tebal lapis fondasi bawah berdasarkan koefisien kekuatan relatif (a_3) yang didapat dari nilai CBR kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Eks. Morotai dan agregat Eks. Palu pada struktur perkerasan lentur. Dari hasil perhitungan metode Manual Perkerasan Jalan 2017 didapatkan tebal lapis fondasi bawah sebesar 15 cm, bernilai sama, baik menggunakan kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Eks. Morotai, maupun agregat Eks. Palu. Sedangkan, dengan menggunakan Pedoman Perkerasan Jalan Lentur 2011 didapat tebal lapis fondasi bawah sebesar 15,054 cm untuk kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Eks. Morotai dan 14,608 cm untuk agregat Eks. Palu.

Kata Kunci: perkerasan lentur, koefisien kekuatan relatif, lapis fondasi bawah.

ABSTRACT

Roads as a means of supporting land transportation have an important role to meet human needs. One of important material in road construction is aggregate. The aggregate physical properties become one of the determinants of the pavement thickness structure layer. The road segment of Sofi-Wayabula is a strategic national road in Morotai Island by using flexible pavement. The aggregate used for the sub-base course of the road is combination of aggregate Ex. Palu with Ex. Morotai aggregate. The purpose of this research is to analyze the thickness of the sub-base course based on relative strength coefficient (a_3) obtained from the value of CBR combination of aggregate Ex. Palu with Ex. Morotai aggregate and aggregate Ex. Palu on flexible pavement structures. From the calculation results of the Pavement Road Manual method 2017, the thick of sub-base course is 15 cm, have equal value using the combination of Ex. Palu aggregate with Ex. Morotai aggregate or the Ex.Palu aggregate. Meanwhile, by using Flexible Road Pavement Guideline 2011 the thickness of the sub-base course is 15,054 cm for combination of Ex.Palu aggregate with Ex. Morotai aggregate and 14,608 cm for Ex.Palu.

Keywords: flexible pavement, relative strength coefficient, sub-base course.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan zaman, manusia sering melakukan pergerakan dari suatu tempat ke tempat yang lain demi memenuhi kebutuhan. Sehingga dibutuhkan ketersediaan akan prasarana yang menunjang kegiatan tersebut, seperti jalan. Dengan adanya prasarana tersebut juga dapat menunjang suatu daerah agar lebih maju dari sebelumnya. Jalan harus didesain dengan baik, agar pengguna merasa aman dan nyaman ketika menggunakan. Salah satu material penting dalam pembuatan jalan adalah agregat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang tebal lapis fondasi bawah berdasarkan koefisien kekuatan relatif (a_3) yang didapat dari nilai CBR kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Eks. Morotai dan agregat Eks. Palu pada struktur perkerasan. Untuk menghitung tebal perkerasan lentur menggunakan metode Manual Perkerasan Jalan 2017 dan metode Pedoman Perkerasan Jalan Lentur 2011 untuk lapis fondasi bawah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Pada umumnya perkerasan lentur baik digunakan untuk jalan yang melayani beban lalu lintas ringan sampai sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas terletak di bawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap (Sukirman, 2010).

2.2 Lapis Fondasi Bawah

Salah satu fungsi lapis fondasi bawah (*sub-base course*) adalah sebagai bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke lapis tanah dasar. Lapis ini harus cukup stabil dan mempunyai CBR sama atau lebih besar dari 20%, serta Indeks Plastis sama atau lebih kecil dari 10% (Sukirman, 2010).

2.3 Sifat Fisik Agregat

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya ikat aspal dengan agregat. Sifat agregat yang menentukan tebal lapisan perkerasan adalah besar nilai CBR (Sukirman, 2016).

2.4 Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) seperti pada **Gambar 1**.

Golongan	Kelompok jenis kendaraan	Jenis kendaraan	Konfigurasi sumbu	Kode
1	Sepeda motor, kendaraan roda-3			
2	Sedan, jeep, station wagon			1.1
3	Angkutan penumpang sedang			1.1
4	Pick up, micro truk dan mobil hantaran			1.1
5a	Bus kecil			1.1
5b	Bus besar			1.2
6a	Truk ringan 2 sumbu			1.1
6b	Truk sedang 2 sumbu			1.2
7a	Truk 3 sumbu			1.2.2
7b	Truk gandengan			1.2.2 - 2.2
7c	Truk semitrailer			1.2.2.2
8	Kendaraan tidak bermotor			

Gambar 1. Golongan dan kelompok jenis kendaraan (Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2004)

2.5 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Besar nilai faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dilihat pada **Tabel 1** dan untuk faktor pengali pertumbuhan lalu lintas dihitung dengan **Persamaan 1** sebagai berikut:

Tabel 1. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

$$R = \frac{(1 + 0,01 i)^{UR} - 1}{0,001 i} \quad \dots(1)$$

halmana:

- R* = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,
i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan [%] **Tabel 1**,
UR = umur rencana [tahun].

2.6 Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50. Sedangkan, faktor distribusi jalan yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga pada Lajur Desain
	(% Terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

2.7 Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Manual Perkerasan Jalan 2017

Berdasarkan metode Manual Perkerasan Jalan 2017, perhitungan beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) dengan VDF masing-masing kendaraan niaga ditentukan menggunakan **Persamaan 2** sebagai berikut:

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} * VDF_{JK}) * 365 * D_D * D_L * R \quad \dots(2)$$

halmana:

ESA_{TH-1} = kumulatif lintasan Sumbu Standar Ekuivalen (*Equivalent Standard Axle*) pada tahun pertama,

LHR_{JK} = lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga [satuan kendaraan perhari],

VDF_{JK} = faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga (**Tabel 3**),

D_D = faktor distribusi arah (0,5),

D_L = faktor distribusi lajur (**Tabel 2**),

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dengan **Persamaan 1**.

Setelah besar nilai $CESA_5$ telah diperoleh maka dapat menentukan tebal lapisan struktur perkerasan lentur pada bagan desain seperti pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 3. Nilai VDF Masing – Masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis kendaraan	Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua	
	VDF 5 Beban Aktual	VDF 5 Normal
5B	1,0	1,0
6A	0,5	0,5
6B	4,0	3,0
7A2	9,7	6,0
7C1	11,9	8,0

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Tabel 4. Bagan Desain Perkerasan dengan HRS

Kumulatif Beban Sumbu 20 Tahun pada Lajur Rencana (10^6 $CESA_5$)	FF1 < 0,5	$0,5 \leq FF2 < 4,0$
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi Macadam	HRS
Struktur Perkerasan	Tebal Lapisan [mm]	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA Kelas B dengan kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10%	150	125

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Tabel 5. Bagan Desain Lapis Perkerasan Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
	Solusi yang dipilih					Lihat Catatan 2			
Kumulatif Beban Sumbu 20 Tahun pada Lajur Rencana (10^6 ESA5)	< 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

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

2.8 Perhitungan Tebal Struktur berdasarkan Pedoman Perkerasan Jalan Lentur 2011

Berdasarkan Pedoman Perkerasan Jalan Lentur 2011, untuk lalu lintas ringan dengan jumlah repetisi beban lalu lintas ≤ 1 juta ESA dapat digunakan jenis semi struktural. Tebal lapis permukaan adalah 5 cm dengan menggunakan HRS WC. Untuk menghitung tebal lapis fondasi (*base*) menggunakan **Persamaan 3** dan untuk tebal lapis fondasi bawah (*sub-base*) menggunakan **Persamaan 4** sebagai berikut:

$$T_{base} = 1,9126 (\ln L) + 15,645 \quad \dots(3)$$

$$T_{sub - base} = 3,6708 (\ln L) - 4,1875 CBR + 51,046 \quad \dots(4)$$

halmana:

L = repetisi beban lalu lintas [juta ESA],

CBR = $CBR_{sub-grade}$ [%],

T_{base} = tebal Lapis Fondasi Agregat Kelas A (CBR 90%), [cm],

$T_{sub - base}$ = tebal Lapis Fondasi Agregat Kelas B (CBR 60%), [cm].

2.9 Nilai *Structural Number* (SN) Berdasarkan Metode AASTHO

Nilai *Structural Number* (SN) adalah angka yang menunjukkan jumlah tebal lapis perkerasan. Nilai *Structural Number* (SN) dalam metode AASHTO dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 5** sebagai berikut:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \quad \dots(5)$$

halmana:

SN = angka struktural (*structural number*),

a_1 = koefisien kekuatan relatif lapis permukaan,

a_2 = koefisien kekuatan relatif lapis fondasi,

a_3 = koefisien kekuatan relatif lapis fondasi bawah,

D_1 = tebal lapis permukaan,

D_2 = tebal lapis fondasi,

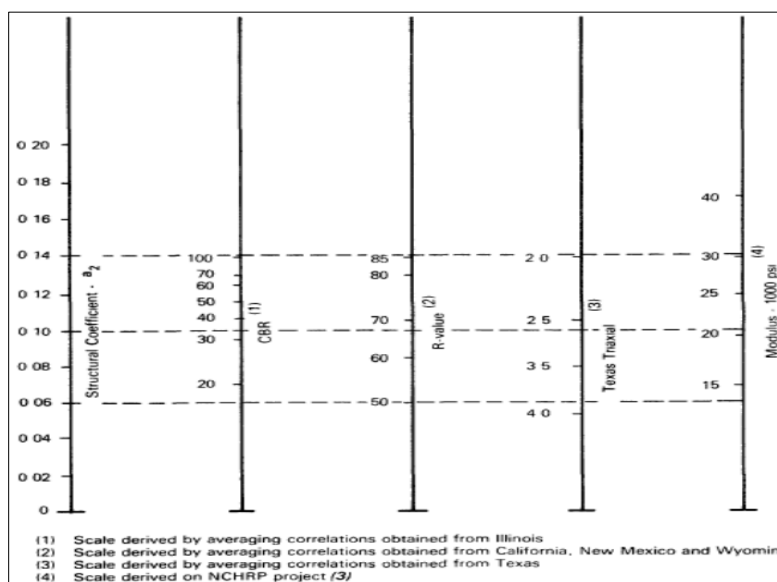
D_3 = tebal lapis fondasi bawah.

Nilai koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan dapat dilihat pada **Tabel 6**. Untuk lapisan fondasi dan lapisan fondasi bawah berdasarkan **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

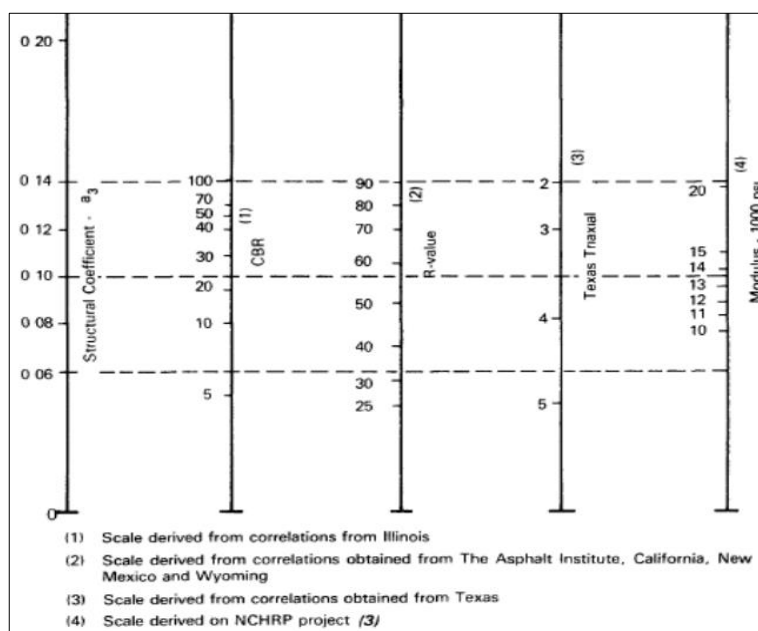
Tabel 6. Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Permukaan (a_1)

Jenis Perkerasan	Modulus Tipikal (MPa)	Koefisien Relatif (a_1)
HRS WC	800	0,28
HRS BC	900	0,28

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2012)



Gambar 2. Koefisien kekuatan relatif, (a_2)
(Sumber: AASHTO, 1993)

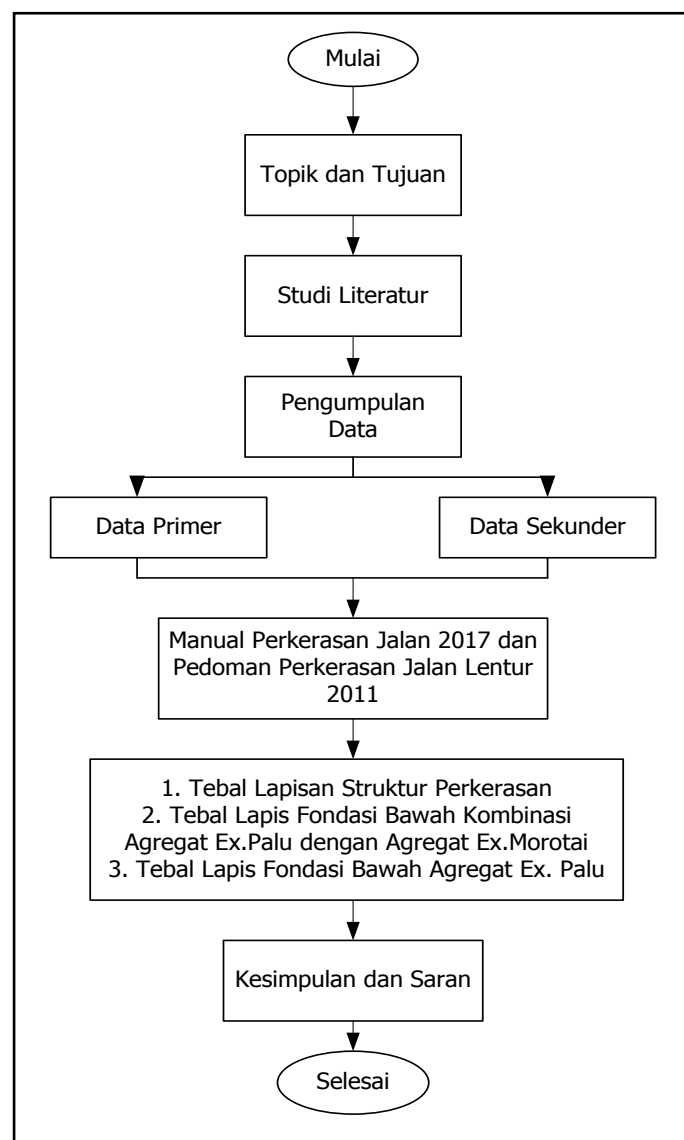


Gambar 3. Koefisien kekuatan relatif, (a_3)
(Sumber: AASHTO, 1993)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan dengan prosedur seperti pada **Gambar 4**. Data sekunder diperoleh dari PT. Laosindo Pratama dan Penataan Ruang Provinsi Sulawesi Tengah. Data sekunder meliputi data CBR tanah dasar dan data pengujian sifat fisik agregat Eks. Palu dan kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Morotai. Sedangkan data primer, yaitu data lalu lintas harian.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Manual Perkerasan Jalan 2017 untuk tebal lapisan struktur perkerasan dan untuk tebal lapis fondasi bawah berdasarkan nilai CBR agregat menggunakan metode Pedoman Perkerasan Jalan Lentur 2011 dengan koefisien kekuatan relatif mengacu pada metode AASHTO 1993.



Gambar 4. Prosedur penelitian

4. ANALISIS DATA

4.1 Data Penelitian

Data hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 7**. Spesifikasi yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 untuk agregat kelas B. **Tabel 8** memperlihatkan data LHR tahun 2018.

Tabel 7. Data Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian			
		Agregat Eks. Palu	Kombinasi Agregat Eks. Palu dan Agregat Eks. Morotai	% Lolos Spesifikasi	
	Analisis Saringan:	[Satuan]			
1	Ukuran 2"	%	100	100	100
	Ukuran 1,5"	%	94	94	88 - 95
	Ukuran 1"	%	77	82	70 - 85
	Ukuran 3/8"	%	33	47	30 - 65
	Ukuran No.4	%	27	32	25 - 55
	Ukuran No.10	%	19	25	15 - 40
	Ukuran No.40	%	11	13	8 - 20
	Ukuran No.200	%	7	3	2 - 8
2	Abrasi	%	20	25,7	Maks. 40
3	$\gamma_{Dry Lab}$	g/cm ³	2,2	2,08	-
4	Kadar air optimum	%	5,7	7,5	-
5	CBR	%	88	72	Min. 60

(Sumber: PT. Laosindo Pratama, 2017, dan Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Provinsi Sulawesi Tengah, 2018)

Tabel 8. Data LHR Tahun 2018

Golongan	Jenis Kendaraan	LHR 2018 [Kend/hari/2 arah]
1	Sepeda Motor	164
2	Sedan, Jeep, St. Wagon	102
3	Pick-up, Combi	16
4	Micro Truck, Mobil Hantaran	8
5a	Bus Kecil	2
5b	Bus Besar	4
6a	Truk 2 Sumbu, 4 roda	14
6b	Truk 2 Sumbu, 6 roda	8

4.2 Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Manual Perkerasan Jalan 2017

Tabel 8 memperlihatkan besar nilai CESA dengan umur rencana 20 tahun, pertumbuhan lalu lintas 3,5 % dan nilai VDF. Besar nilai CESA dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2**. **Tabel 10** memperlihatkan tebal lapis perkerasan yang diperoleh berdasarkan nilai CESA₅, yaitu sebesar 0,139 juta ESA₅.

Tabel 9. Perhitungan Nilai CESA

Jenis Kendaraan	Lintas Harian Rata-rata (2 Arah)	LHR 2018	LHR 2024	VDF 5 FAKTUAL	VDF 5 NORMAL	ESA ₅	ESA ₅
						('18-'20)	('21-'38)
Mobil penumpang dan kendaraan ringan lain	292	292	347	-	-	-	-
5B	4	4	4	1	1	1463	14105
6A	14	14	15	0,5	0,5	2559	24683
6B	8	8	9	4	3	11700	84628
Jumlah ESA ₅						15812	123416
CESA ₅ ('18-'38)						139.138	

Tabel 10. Tebal Lapisan Struktur Perkerasan

Struktur Perkerasan	Tebal Lapisan [mm]
HRS WC	50
HRS BASE	-
LPA Kelas A	150
LPB Kelas B	150

4.3 Perhitungan Tebal Lapisan Struktur Perkerasan Berdasarkan Pedoman Perkerasan Jalan Lentur 2011

Dengan nilai CESA sebesar 0,139 juta ESA dan CBR *sub-grade* adalah 6% didapat tebal lapis perkerasan seperti pada **Tabel 11**. Nilai koefisien kekuatan relatif untuk a_1 dari **Tabel 6**, a_2 dari **Gambar 2** dan a_3 dari **Gambar 3**.

Tabel 11. Tebal Lapisan Struktur Perkerasan Koefisien Kekuatan Relatif

Struktur Perkerasan	Tebal Lapisan [cm]	Koefisien Kekuatan Relatif (a)
HRS WC	5	0,28
Lapis Fondasi (CBR 90%)	11,873	0,134
Lapis Fondasi Bawah (CBR 60%)	18,681	0,128

Dari **Tabel 11** diperoleh nilai SN adalah 2,119 inci dengan menggunakan **Persamaan 5**. Karena tebal lapis fondasi pada metode ini berbeda dengan Manual Perkerasan Jalan 2017 sehingga menggunakan **Persamaan 5**, untuk mencari tebal lapis fondasi bawah (D_3) dengan parameter koefisien kekuatan relatif (a) sesuai seperti pada **Tabel 11** dan untuk tebal lapis permukaan (D_1) dan tebal lapis fondasi (D_2) sesuai seperti **Tabel 10**. **Tabel 12** berikut ini memperlihatkan tebal lapisan struktur perkerasan yang akan digunakan untuk mencari tebal lapis fondasi bawah berdasarkan nilai CBR agregat.

Tabel 12. Tebal Lapisan Struktur Perkerasan

Struktur Perkerasan	Tebal Lapisan [cm]
HRS WC	5
Lapis Fondasi (CBR 90%)	15
Lapis Fondasi Bawah (CBR 60%)	15,407

4.4 Perhitungan Tebal Lapis Fondasi Bawah Berdasarkan Nilai CBR

Dari data pengujian diperoleh nilai CBR untuk kombinasi agregat Eks. Palu dan agregat Morotai sebesar 72%. Dengan menggunakan **Gambar 3**, nilai Koefisien kekuatan relatif (a_3) adalah sebesar 0,131. Tebal lapis fondasi bawah dapat dihitung dengan mengacu pada **Persamaan 5**.

$$(D_3 * a_3)_{\text{agregat 60\%}} = (D_3 * a_3)_{\text{agregat 72\%}}$$

$$(15,407 * 0,128) = (D_3 * 0,131),$$

$$D_3 \text{ agregat 72\%} = 15,054 \text{ cm.}$$

Dari data pengujian diperoleh nilai CBR untuk agregat Eks. Palu sebesar 88%. Dengan menggunakan **Gambar 3**, nilai Koefisien kekuatan relatif (a_3) adalah sebesar 0,135. Tebal lapis fondasi bawah dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 5**.

$$(D_3 * a_3)_{\text{agregat 60\%}} = (D_3 * a_3)_{\text{agregat 72\%}}$$

$$(15,407 * 0,128) = (D_3 * 0,135),$$

$$D_3 \text{ agregat 88\%} = 14,608 \text{ cm.}$$

Tabel 13 berikut ini memperlihatkan perbedaan tebal lapis fondasi bawah berdasarkan koefisien kekuatan relatif.

Tabel 13. Perbedaan Tebal Lapis Fondasi Bawah

Lapisan Struktur Perkerasan	Manual Perkerasan Jalan 2017		Pedoman Perkerasan Jalan Lentur 2011	
	Kombinasi agregat Eks. Palu dengan Agregat Eks. Morotai	Agregat Eks. Palu (CBR 88%)	Kombinasi Agregat Eks. Palu dengan Agregat Eks. Morotai	Agregat Eks. Palu (CBR 88%)
Lapis Permukaan [cm]	5	5	5	5
Lapis Fondasi [cm]	15	15	15	15
Lapis Fondasi Bawah [cm]	15	15	15,054	14,608

5. KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan tebal lapis fondasi bawah yang telah dilakukan, dengan metode Manual Perkerasan Jalan 2017 didapat tebal lapis fondasi bawah sebesar 15 cm, baik menggunakan kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Eks. Morotai, maupun agregat Eks. Palu. Sedangkan, dengan metode Manual Perkerasan Jalan Lentur 2011 didapat tebal lapis fondasi bawah sebesar 15,054 cm menggunakan kombinasi agregat Eks. Palu dengan agregat Eks. Morotai dan 14,608 cm menggunakan agregat Eks. Palu. Sehingga, agregat Eks. Palu lebih menguntungkan dengan nilai CBR 88%.

DAFTAR RUJUKAN

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2012). *tentang Guide for Design of Pavement Structure*. Washington DC: AASHTO.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *Survei Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Manual Perkerasan Jalan*, Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2012). *Manual Desain Perkerasan Lentur*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- PT. Laosindo Pratama. (2017). *Material Pengujian Kombinasi Agregat Eks. Palu dengan Agregat Morotai*. Morotai: PT. Laosindo Pratama.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Bandung: NOVA.