

## **ANALISA PENGARUH KUALITAS MATERIAL STRUKTUR PERKERASAN TERHADAP UMUR JALAN PADA PERKERASAN LENTUR DENGAN METODE AASHTO 1993**

**Priliani Alice Vabiola Walukow**

**Lucia G. J. Lalamentik, Joice E. Waani**

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas SamRatulangi Manado

Email: rilywalukow@gmail.com

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh kualitas material pada struktur perkerasan jalan terhadap umur jalan dan tebal perkerasan jalan. Analisa awal dilakukan untuk menghitung tebal perkerasan dengan menggunakan variable Modulus Resilien (MR) setiap lapis, Kumulatif beban ESAL, Structural Number (SN), serta beberapa variabel dalam metode AASHTO 1993. Kajian selanjutnya menggunakan variabel hasil perhitungan tebal perkerasan awal tersebut untuk menganalisa perubahan Kumulatif Beban ESAL, dan umur layanan jalan dengan cara menurunkan nilai Modulus Resilien (MR). Hasil analisis memberikan nilai umur layanan jalan pada setiap perubahan Modulus Resilien lapisan. Semakin kecil nilai MR maka semakin kecil pula umur layanan jalan. Perhitungan kumulatif beban ESAL menunjukkan bahwa semakin kecil nilai MR maka semakin kecil pula kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas, dan semakin besar tebal minimum perkerasan lentur.

***Kata kunci: AASHTO 1993, Modulus Resilien, Perkerasan Lentur***

### **ABSTRACT**

*This study aims to analyze the effect of material quality on the pavement structure on the age of the road and the thickness of the pavement. The first initial analysis was used to calculate the thickness of the pavement using each of the variables Resilience Modulus (MR) for each layer, Cumulative ESAL load, Structural Number (SN), as well other few variables in the AASHTO 93 method. The next study used the variables resulting from the calculation of the initial pavement thickness to analyze cumulative changes ESAL load, and service life of the road by reducing the value of the Resilient Modulus (MR). The results of the analysis provide the value of the service life of the road for each change in the layer's Resilience Modulus. The smaller the value of MR, the smaller the service life of the road. The calculation of the cumulative ESAL load shows that the smaller the MR value, the smaller the ability of the pavement layer to receive traffic loads, and the greater the minimum thickness of flexible pavement.*

***Keywords: AASHTO 1993, Resilience Modulus, Flexible Pavement.***

## **Pendahuluan**

### **Latar Belakang**

Peranan transportasi darat sangat penting dalam sektor perhubungan terutama untuk distribusi barang dan jasa. Oleh sebab itu sarana penunjang berupa jalan harus nyaman dan aman untuk di kendarai, supaya kegiatan transportasi berjalan dengan lancar. Penggunaan prasarana jalan terus meningkat dari waktu ke waktu sehingga konstruksi jalan mengalami pembebanan (volume lalu lintas dan beban sumbu) yang terus meningkat. Struktur perkerasan jalan sering mengalami kerusakan yang disebabkan oleh meningkatnya beban lalu lintas. Oleh karena itu, sangat diperlukan perencanaan jalan dengan melakukan penelitian tentang perkerasan lentur.

Pada umumnya konstruksi perkerasan yang biasa digunakan di Indonesia yaitu lapis perkerasan lentur. Lapis perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat yang terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan tersebut antara lain lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), dan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Fungsi lapisan tersebut yaitu untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya menuju lapisan yang ada dibawahnya. Dikarenakan fungsi demikian, terdapat beberapa kerusakan yang diakibatkan dari fungsi tersebut. Kerusakan jalan yang biasa terjadi pada perkerasan lentur antara lain timbulnya *rutting* (lendutan pada jalur roda), jalan bergelombang, lubang dan retak. Hal ini diakibatkan oleh repetisi beban, penurunan tanah dasar, dan perubahan temperatur dan mutu material yang rendah (Khan and Mrawira, 2010; Li et al., 2010). AASHTO 93 mensyaratkan material yang digunakan untuk lapis pondasi atas adalah material yang cukup kuat berupa campuran tanpa bahan pengikat, dan umumnya menggunakan material dengan nilai CBR > 50% dan Indeks plastisitas (PI) < 6%, mutu material yang lebih rendah dari yang ditentukan dalam persyaratan ini tidak cukup kuat untuk memikul beban lalu-lintas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh kualitas material pada struktur perkerasan jalan terhadap umur jalan dan tebal perkerasan jalan. Material pembentuk lapis perkerasan jalan menentukan mutu stabilitas struktur perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas selama masa pelayanannya. Stabilitas struktur lapis perkerasan sering dinyatakan dengan nilai CBR atau dengan Modulus Resilien (MR), baik untuk tanah dasar maupun untuk setiap lapis perkerasan diatas tanah dasar. Pengkajian umur jalan dan tebal perkerasan dilakukan menggunakan metode AASTHO 1993 dengan memvariasikan parameter Modulus Resilien (MR) setiap lapisan perkerasan. Parameter Modulus Resilien (MR) dikorelasikan dengan angka Kekuatan Relatif ( $a$ ) dan selanjutnya akan dapat dihitung tebal setiap lapis perkerasan.

### **Metodologi Penelitian**

#### **Langkah Perencanaan**

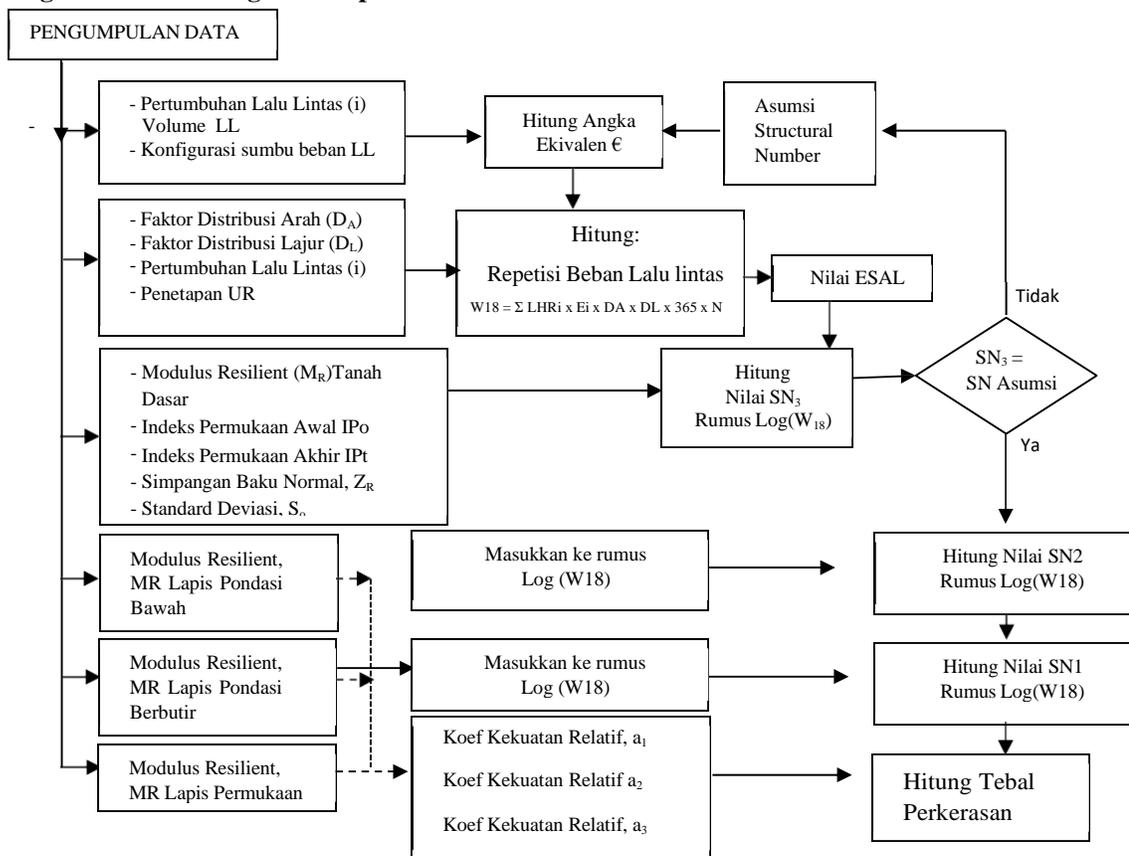
Metode yang digunakan adalah Metode ASSHTO 1993 dengan langkah-langkah perencanaan sebagai berikut:

Tahap I. Langkah Perhitungan Tebal Perkerasan Minimum.

- a. Mengumpulkan data LHR sebagai data sekunder yang bersumber dari instansi terkait atau dari jurnal yang tersedia.
- b. Menentukan Indeks Permukaan awal ( $IP_0$ ) yaitu kinerja struktur perkerasan dengan menggunakan tabel khusus untuk jenis perkerasan yang dipergunakan untuk lapis permukaan.
- c. Menentukan Indeks Permukaan akhir ( $IP_t$ )
- d. Mengasumsikan nilai SN yang digunakan untuk menentukan angka ekuivalen.
- e. Menghitung angka ekuivalen setiap jenis kendaraan
- f. Menghitung nilai ESAL
- g. Menentukan faktor distribus iarah ( $D_A$ ) jika volume lalulintas yang tersedia dalam 2 arah,  $D_A$  berkisar antara 0,3 – 0,7. Untuk perencanaan pada umumnya diambil nilai  $D_A$  senilai 0,5.
- h. Menentukan faktor distribusi lajur ( $D_L$ ) yaitu faktor distribusi kelajur rencana.
- i. Menetapkan Umur Rencana
- j. Menghitung ( $W_{18}$ ).

- k. Menentukan Reabilitas/*Reability*:  
 $Z_R = -1.645$  dan  $S_o = 0.45$ .
- l. Menentukan MR tanah dasar berdasarkan korelasi dengan nilai CBR
- m. Menghitung SN awal dari rumus nilai log ( $W_{18}$ ) dengan cara coba coba, sehingga  $W_{18}$  sama dengan nilai  $W_{18}$  umur rencana pada point (j). Nilai SN tersebut sebagai  $SN_3$ .
- n. Hitung  $SN_2$  dengan menggantikan nilai MR tanah dasar dengan nilai MR Lapis Pondasi Bawah (E2) pada rumus Log ( $W_{18}$ )
- o. Hitung  $SN_1$  dengan menggantikan nilai MR tanah dasar dengan nilai MR Lapis Pondasi Berbutir (E1) pada rumus Log ( $W_{18}$ ) point (m).
- p. Hitung tebal perkerasan minimum.

**Bagan Alir Perhitungan Tahap 1**



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian Tahap 1

**Tahap II. Langkah Perhitungan Pengaruh Perubahan MR.**

**Konfigurasi I.** Variasikan nilai MR Lapis Permukaan ( $MR < MR$  awal) untuk Lapis Pondasi dan Pondasi Bawah nilai MR tetap.

- q. Hitung kekuatan *relative* ( $a_1$  baru) dari nilai MR tersebut, kemudian hitung  $SN_1$  (baru) =  $a_1 \times D_1$  (hasil perhitungan awal diatas).
- r. Masukkan nilai  $SN_1$  (baru) ke persamaan Log ( $W_{18}$ ) Lapis Permukaan maka akan menghasilkan Repetisi Beban  $W_{18}$  Lapis Permukaan baru (sebagai pengaruh pada Repetisi Beban).
- s. Hitung Tebal Perkerasan Minimum (sebagai pengaruh pada tebal perkerasan)

**Konfigurasi II.** Variasikan MR Lapis Pondasi Berbutir ( $< MR$  awal) untuk Lapis Permukaan dan Lapis Pondasi Bawah MR tetap.

- t. Kemudian masukkan ke rumus Log ( $W_{18}$ ) Lapis Permukaan, maka dihasilkan  $W_{18}$  baru

(sebagai pengaruh pada Repetisi Beban Lapis Permukaan)

u. Hitung Tebal Perkerasan Minimum (sebagai pengaruh pada tebal perkerasan)

**Konfigurasi III.** Variasikan MR Lapis Pondasi Bawah (< MR awal) untuk Lapis Permukaan dan Lapis Pondasi Atas MR tetap.

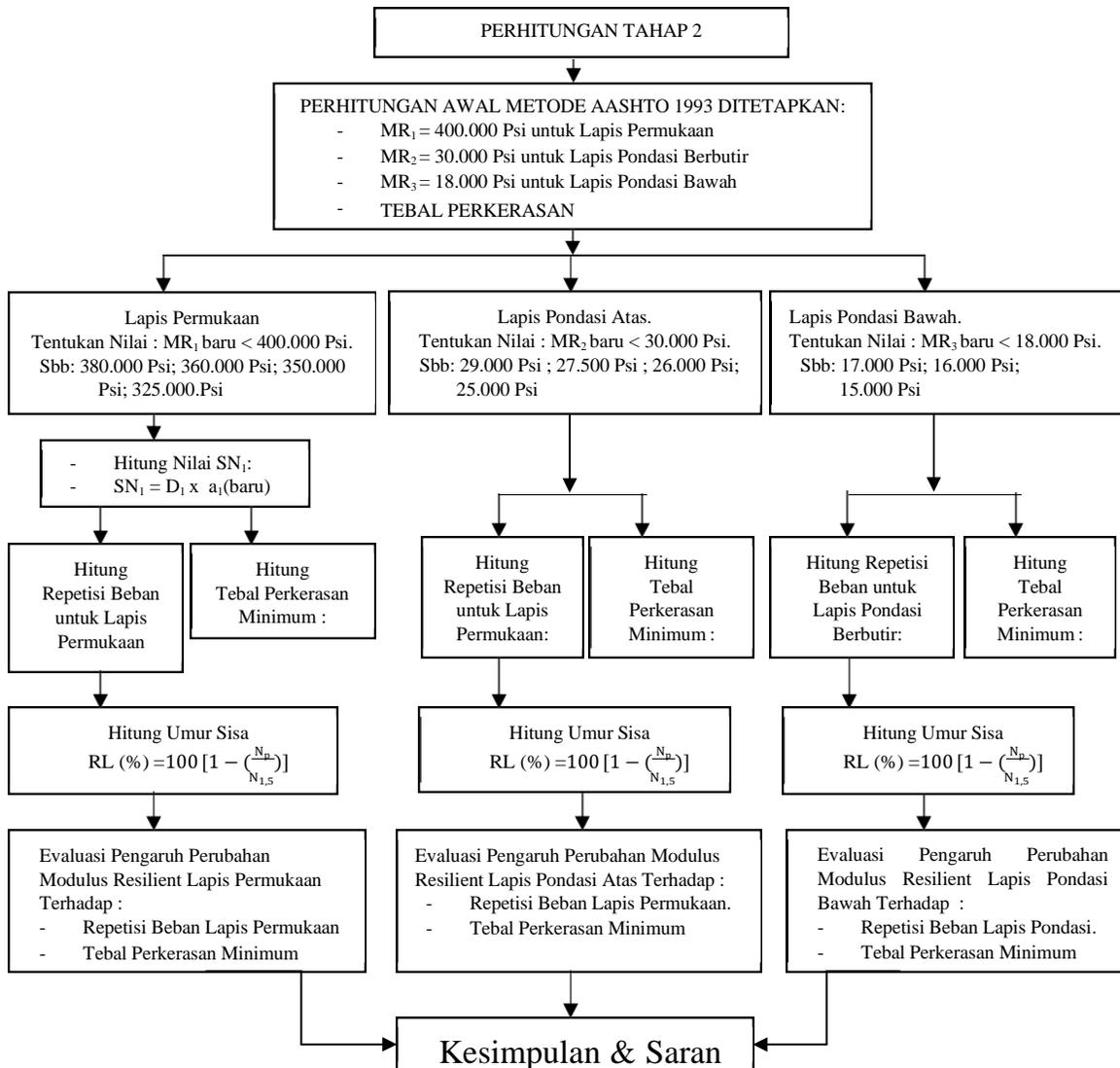
v. Kemudian memasukkan ke rumus Log ( $W_{18}$ ) Lapis Pondasi Berbutir akan menghasilkan Repetisi Beban  $W_{18}$  Lapis Pondasi Atas

w. Evaluasi dari pembahasan untuk masing-masing tahap

x. Lakukan Perhitungan Umur Layanan pada masing-masing tahap tersebut

- Hitung angka pertumbuhan setiap tahun selama umur rencana dari tahun pertama sampai tahun ke-n
- Hitung nilai  $N_p$  dari tahun pertama sampai tahun ke-n
- Hitung nilai RL (%) sebagai sisa umur jalan
- Buat grafik antara Tahun Layanan dan RL (%)
- Evaluasi dan Pembahasan Umur Layanan

**Bagan Alir Perhitungan Tahap 2**



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian Tahap 2

**Presentasi Data**

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini di ambil dari data yang sudah ada sebelumnya atau disebut data sekunder dimana akan dilakukan perhitungan desain tebal perkerasan lentur jalan baru pada sebuah Jalan Arteri Luar Kota 2 lajur 2 arah adalah sebagai berikut:

- Umur rencana: 10 tahun
- Faktor penyebaran arah kendaraan: 50 % ( $D_A = 0,5$ ). Faktor penyebaran arah ( $D_A$ ) biasanya berkisar 0,3 – 0,7 dan umumnya diambil 0.5 (AASHTO1993 hal. II-9).
- Faktor penyebaran lajur (2 lajur 2 arah): 100% ( $D_L = 1$ ) mengacu pada tabel faktor distribusi  $D_L$  (AASHTO 1993 hal. II-9).
- Faktor Pertumbuhan Lalu lintas,  $i = 6\%$  (sebagai asumsi)
- Volume Lalu lintas.

Data volume dan jenis kendaraan yang akan dipakai adalah bersumber dari data jurnal yang telah ada sebagai berikut:

Tabel 1. Data Lalu Lintas Harian Rata-rata

Kendaraan	Berat Kendaraan (T)	Volume (Kendaraan/ hari)
Mobil Pribadi	2	4987
Bus Besar	8	3097
Truck 2 as	10	1022
Truck 3 as	24	866
Truck Gandeng	40	789
Truck Semi Trailer	50	538

Sumber: Jurnal 2019. *Analisa Tebal Perkerasan (Cynthia Claudia Mantiri)*

**Analisis Data dan Pembahasan**

**Analisa Lalu Lintas dan Perhitungan ESAL**

Dalam penelitian ini untuk menentukan nilai tebal perkerasan lentur menggunakan metode AASHTO 1993, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan kumulatif beban sumbu standar (ESAL) dengan menggunakan data LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata).

**Distribusi Beban Kendaraan**

Distribusi beban kendaraan adalah kondisi aktual distribusi beban pada kendaraan angkutan barang menurut konfigurasi sumbu (*axle*) dan kodenya berdasarkan Jenis Klasifikasi Serta muatan.

Tabel 2. Konfigurasi Sumbu

Kendaraan	Volume (kendaraan/ hari)	Konfigurasi	Sumbu	
			$Sb_1$	$Sb_2$
Mobil Pribadi 2 Ton	4987	1.1	1+1	0
Bus Besar 8 Ton	3097	1.2	3+5	0
Truck 2 as 10 Ton	1022	1.2	4+6	0
Truck 3 as 24 Ton	866	1.22	6	18
Truck Gandeng 40 Ton	789	1.22 + 22	6+8+8	18
Truck Semi Trailer 50 Ton	538	1.22 + 22	6	22+22

**Perhitungan Angka Ekuivalen Beban Sumbu**

Untuk perhitungan digunakan nilai SN (hasil coba-coba) sebesar 5,77 dengan CBR = 6 % dan MR = 8.100 psi.

**Mobil Pribadi 2t Sumbu Tunggal**

Beban Sumbu Tunggal 2T ( $L_x$ ) = 2,2036 kilopon (1 Ton)

SN = 5,77 (dihitung dengan cara coba-coba)

Pt = 2,5 (AASHTO 1993 Hal. II-10)

Dengan menggunakan rumus:

$$\frac{W_x}{W_{18}} = \left[ \frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2s}} \right]^{4.79} \left[ \frac{10^{G/\beta_x}}{10^{G/\beta_{18}}} \right] \left[ \frac{L_x}{L_{2s}} \right]^{4.33} \tag{1}$$

Dihasilkan:

Angka Ekuivalen = 0,000226876

Untuk Mobil Pribadi 2t = 0,000454

Dengan cara yang sama dihitung angka ekuivalen jenis kendaraan lainnya dan hasil perhitungannya seperti yang terangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan angka ekuivalen

Kendaraan	Faktor Ekuivalen ( $E_i$ )		Volume ( $LHRT_i$ ) (Kend/ hari)	$LHRT_i \times E_i$
	$Sb_1$	$Sb$		
Mobil Pribadi 2 Ton	0,00045		4987	2,262865801
Bus Besar 8 Ton	0,1377		3097	426,3839481
Truck 2 as 10 Ton	0,3177		1022	324,6848835
Truck 3 as 24 Ton	0,2701	18,268	866	1.815,991238
Truck Gandeng 40 Ton	21,0340	18,268	789	3.101,001497
Truck Semi Trailer 50 Ton	0,2701	8,1781244	538	4.545,166485
			$\Sigma LHRT_i \times E_i$	10.215,49092

**Faktor Umur Rencana (N)**

Umur Rencana : 10 Tahun

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas diasumsikan ( $i$ ): 6 %

Sehingga N:  $N = \frac{[(1+i)^{UR}-1]}{i} = \frac{[(1+0,06)^{10}-1]}{0,06} = 13,18079494 \%$  (2)

**Repitisi Beban Selama Umur Rencana**

$W_{18} = \Sigma LHR_i \times E_i \times D_A \times D_L \times 365 \times N$  (3)

$= \Sigma 10.215,49092 \times 0,5 \times 1 \times 365 \times 13,18079 .$

**$W_{18} = 24.573.313,11$  ESAL**

**Perhitungan Nilai Structural Number (SN)**

Untuk menghitung nilai struktural number (SN) digunakan rumus:

$\log W_{18} = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1.024}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 + \log(MR) - 8.07$  (4)

Dimana:

$\log W_{18} = \text{Log} (24.573.313,11) = 7,390463714$

$Z_R = -1,645$

$S_0 = 0,45$

$IP_t = 2,5$

$$IP_0 = 4,2$$

$$\Delta PSI = 1,7$$

MR= 8.100 Psi dan nilai SN coba-coba dan angka-angka ini dimasukkan dalam Persamaan (4) dan didapatkan nilai ruas kiri sama dengan nilai ruas kanan diperoleh nilai SN= 5,77. Jadi SN Total adalah sebesar 5,77.

### Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Minimum

Untuk Menghitung tebal dari tiap lapis perkerasan, dengan cara yg sama yaitu dengan mengambil nilai SN (coba2) dimasukkan dalam persamaan (4) Log  $W_{18}$ .

Penentuan tebal lapisan konstruksi:

SN yang diperlukan di atas Lapis Pondasi Atas (AC) dengan MR = 30.000 psi untuk lalu lintas rencana sebanyak 24.573.313,11 ESAL, maka dengan menggunakan Persamaan (4) diperoleh  $SN_1 = 3,6847 \text{ inch}$  (9,358884 cm).

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} = \frac{3,6849}{0,42} = 8,774 \text{ Inch (22,28392 m)}; \text{ dibulatkan } D_1^* = 22,5 \text{ cm.} \quad (5)$$

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* > SN_1 = 0,42 \times 8,8582 = 3,72047 \text{ inch} > 3,6846 \dots \text{ok.} \quad (6)$$

Dengan cara seperti di atas, tentukan SN bagian perkerasan di atas Lapis Pondasi Bawah dengan memasukkan MR lapis pondasi bawah 18.000 psi dan parameter lain ke dalam Persamaan (4) diperoleh nilai  $SN_2$  sebesar  $4,4367 \text{ inch}$  (11,269 cm). Pada saat analisis koefisien drainase (m) tebal lapis pondasi ditetapkan

$D_2^* = 15 \text{ cm}$  (0,49 feet atau  $5,906 \text{ inch}$ ) dan  $m = 1,2$ . Untuk itu, nilai  $SN_2^*$  untuk lapis fondasi agregat kelas A adalah:

$$SN_2^* = a_2 \cdot m_2 \cdot D_2^* = 5,906 \times 1,2 \times 0,138 = 0,975647 \text{ inch (2,478 cm)}$$

$$SN_2^* > SN_2 - SN_1^* \quad (7)$$

$$0,975647 > 4,4367 - 3,72047 = 0,716399 \dots \dots \dots \text{OK}$$

Untuk menghitung tebal Lapis Pondasi Bawah maka sesuai dengan cara seperti di atas, tentukan SN bagian perkerasan di atas tanah dasar dengan CBR 6% atau memasukkan Modulus Resilien (MR = 8.100 psi) dan parameter lain ke dalam Persamaan 4, maka diperoleh nilai SN sebesar 5,77. Berdasarkan nilai SN tersebut, tebal Lapis Pondasi Bawah yang diperlukan adalah:

$$SN_3 = \frac{SN_{total}}{1,077024} - (SN_1^* + SN_2^*) = 5,77 - (3,72047 + 0,975647) = 1,077024 \text{ in (2,7356 cm)} \quad (9)$$

$$D_3^* > \frac{SN_3}{a_{3,m_3}} = \frac{1,077024}{0,127 \cdot 1,2} = 7,070047 \text{ inch (17,95 cm)}; \text{ dibulatkan } 18 \text{ cm} \quad (10)$$

Dapat juga digunakan rumus SN seperti dibawah ini

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3 \quad (11)$$

- dengan: SN = Angka struktural (*structural number*) inci
- $a_1$  = Koefisien kekuatan relatif lapis permukaan
  - $a_2$  = Koefisien kekuatan relatif lapis pondasi
  - $a_3$  = Koefisien kekuatan relatif lapis pondasi bawah
  - $D_1$  = Tebal lapis permukaan (inci)
  - $D_2$  = Tebal lapis pondasi (inci)
  - $D_3$  = Tebal lapis pondasi bawah (inci)
  - $m_2 \cdot m_3$  = Koefisien drainase untuk lapis pondasi dan pondasi bawah

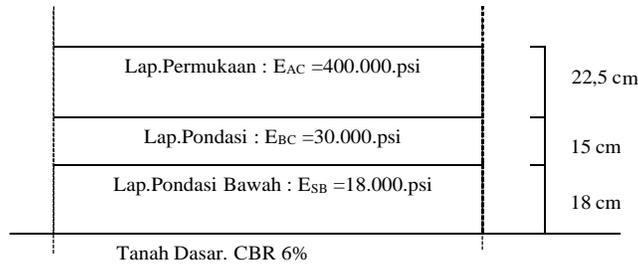
$$SN = 0,42 \times 8,8582 + 0,138 \times 1,2 \times 5,906 + 0,127 \times 1,2 \times 7,07 = 5,775 \text{ inch}$$

### Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Minimum

- Lapis Permukaan (MR) = 400.000 Psi (Laston); Koefisien Relatif  $a_1 = 0,42$
  - Lapis Pondasi MR = 30.000 Psi; Koefisien  $a_2 = 0,138$
  - Lapis Pondasi Bawah MR = 18.000 Psi; Koefisien  $a_3 = 0,127$
  - Lapis Tanah Dasar MR = 8.100 Psi
- Dari perhitungan ketiga lapisan diatas maka tebal total  $D_1^*$ ,  $D_2^*$  dan  $D_3^*$  yaitu:

$$D_1^* + D_2^* + D_3^* = 22,5 + 15 + 18 = 55,5 \text{ cm}$$

Jadi, Total Tebal Minimum Perkerasan yang didapat adalah 55,5 cm



Gambar 2. Hasil Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993

**Pengaruh Perubahan Kualitas Material Lapis Permukaan**

Sebagai data awal:

- Tebal Perkerasan Jalan minimum tersebut diatas adalah 55,5 cm
- Modulus Resilien (MR) setiap lapisan yaitu Lapis Permukaan MR, = 400.000 Psi, Lapis Pondasi MR= 30.000 Psi, Lapis Pondasi Bawah MR = 18.000 Psi
- Beban Lalu lintas,  $W_{18} = 24.573.313.11$  ESAL.

**Pengaruh Pada Beban Lalu Lintas**

- Material yang digunakan diturunkan menjadi  $MR = 380.000$  Psi (Laston), maka nilai kekuatan relative  $a_1 = 0,416$
- Tebal lapis permukaan  $D_1 = 22,28392$  ( $D_1^* = 22,5$  cm)
- Nilai  $SN_1 = a_1 \times D$  dimana;  $SN_1 = 0,416 \times 22,28392$
- $SN_1 = 9,270111$  cm (3,64965 inch)
- Dengan memasukkan nilai berikut ini:

$Z_r = -1,645$ ;  $S_0 = 0,45$ ;  $SN = 3,64965$  inch;  $\Delta PSI = 1,7$

$MR =$  Modulus Resillient,  $E_{BC} = 30.000$  Psi (Lapis Pondasi)

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

Maka,  $\log W_{18} = 7,36479$

•  $W_{18} = 10^{7,364686673} = 23.162.765$  ESAL < 24.573.313.11 ESAL

Penurunan nilai MR pada lapis permukaan dari  $MR = 400.000$  Psi menjadi  $380.000$  Psi , akan mengakibatkan menurunnya kemampuan perkerasan jalan dalam menahan beban dari 24.573.313.11 ESAL menjadi 23.162.765 ESAL.

**Pengaruh Pada Tebal Perkerasan**

Menghitung tebal minimum perkerasan

Tebal  $D_1 = 22,283057$  ( $D_1^* = 22,5$  cm)

$SN_1^* = a_1 \times D_1^* > SN_1$   
 $= 0,416 \times 22,5 > 9,35888$  cm  
 $= 9,36$  cm > 9,35888 cm

$D_2^* > \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{(0,138 \times 1,2)}$  ; diambil,  $m_2 = 1,2$  (12)

$D_2^* > \frac{(9,36 - 9,36)}{(0,138 \times 1,2)}$  ;  $D_2^* > 11,54819$  cm diambil  $D_2^* = 15$  cm (minimum)

$15$  cm >  $11,54819$  cm ; OK  
 $SN_2^* = a_2 \times m_2 \times D_2^* = 0,138 \times 1,2 \times 15 = 2,48$

$SN_1^* + SN_2^* > SN_2$   
 $9,36 + 2,48 > 11,168872$  cm

$11,84$  cm >  $11,168872$  cm

$D_3^* = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{0,127 \times 1,2} = \frac{14,663 - (9,36 + 2,48)}{0,127 \times 1,2} = 18,5335$  cm ,diambil  $D_3^* = 19$  cm (13)

$SN_3^* = D_3^* \times a_3 = 19 \times 0,127 = 2,89$  cm (14)

Kontrol:  
 $SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$  (15)

$9,36 + 2,48 + 2,89 > 14,66342$

$14,7348$  cm >  $14,66342$  cm..... OK

Dari perhitungan ketiga lapisan diatas maka tebal  $D_1^*, D_2^*$  dan  $D_3^*$  yaitu:  $D_1^* + D_2^* + D_3^* = 22,5 + 15 + 19 = 56,5 \text{ cm}$

Jadi, Total Tebal Minimum Perkerasan yang didapat  $56,5 \text{ cm} > 55,5 \text{ cm}$ .

Penurunan nilai MR pada lapis permukaan dari  $MR = 400.000 \text{ Psi}$  menjadi  $380.000 \text{ Psi}$ , mengakibatkan terjadinya peningkatan tebal minimum perkerasan dari  $55,5 \text{ cm}$  menjadi  $56,5 \text{ cm}$ . Hal ini menunjukkan bahwa perkerasan jalan dengan tebal  $55,5 \text{ cm}$  tidak mampu melayani beban lalu lintas  $24.573.313,11 \text{ ESAL}$ .

Tabel 4. Hasil Perhitungan Beban Lalu lintas dan Tebal Perkerasan

$MR \text{ (Psi)}$	Beban Lalu Lintas (ESAL)	$D_1$ (cm)	$D_1^*$ (cm)	$D_2$ (cm)	$D_2^*$ (cm)	$D_3$ (cm)	$D_3^*$ (cm)	Total (cm)
400.000	24.573.313,11	22.283	22.5	11	15	17.94	18	55.5
380.000	23.157.233,43	22.283	22.5	11.5455	15	18.53	19	56.5
360.000	19.937.254,36	22.283	22.5	12.906	15	20.01	20.5	58
350.000	18.198.785,61	22.283	22.5	13.722	15	20.89	21	58.5
325.000	11.325.887,94	22.283	22.5	15.49	16	22	22.5	60.5

**Perubahan Kualitas Material Lapis Pondasi Pengaruh Pada Beban Lalu Lintas**

Material yang digunakan di turunkan dari  $MR = 30.000 \text{ Psi}$  (*granular*) menjadi  $MR = 29.000 \text{ Psi}$ , dengan nilai kekuatan *relative*,  $a_2 = 0,134$

Tebal Lapis Permukaan  $D_1^* = 22,5 \text{ cm}$ , merupakan pembulatan dari  $D_1 = 22,283057$

Nilai  $SN_1 = a_1 \times D_1 = 0,42 \times 22,283922 = 9,359247576 \text{ cm}$  ( $3,6847 \text{ inch}$ )

Beban lalu lintas yang dapat dipikul oleh Lapis Permukaan adalah:

$\log W_{18}$

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

Dengan memasukkan nilai berikut ini:

$Z_r = -1,645$ ;  $S_0 = 0,45$ ;  $SN = 3,6847 \text{ inch}$ ;  $\Delta PSI = 1,7$

$MR = \text{Modulus Resillient} = 29.000 \text{ Psi}$  (Lapis Pondasi)

Maka,  $\log W_{18} = \text{Log} (24.573.313,11) = 7.356305759$

$W_{18} = 10^{7.356305759} = 22.714.634,81 \text{ ESAL} < 24.573.313,11 \text{ ESAL}$

Penurunan nilai MR pada lapis pondasi  $30.000 \text{ Psi}$  menjadi  $29.000 \text{ Psi}$ , akan mengakibatkan menurunnya kemampuan perkerasan jalan Lapis Permukaan dalam menahan beban dari  $24.573.313,11 \text{ ESAL}$  menjadi  $22.714.634,81 \text{ ESAL}$ .

**Pengaruh Pada Tebal Perkerasan**

Menghitung Tebal Minimum Perkerasan

$$D_1^* = 22,28305714 \text{ cm} (D_1^* = 22,5 \text{ cm})$$

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* > SN_1 = 0,42 \times 22,5 > 9,359247576$$

$$= 9,45 \text{ cm} > 9,359247576 \text{ cm}$$

$$D_2^* > D_2$$

$$D_2 = \frac{(SN_1 - SN_1^*)}{9,359247576 - 9,45}, \text{ diambil } m_2 = 1,2$$

$$D_2 = \frac{(9,359247576 - 9,45)}{0,134 \times 1,2} = 11,3046 \text{ cm}, \text{ diambil } D_2^* = 15 \text{ cm} \text{ (tebal minimum)}$$

$$SN_2^* = a_2 \times m_2 \times D_2^* = 0,134 \times 1,2 \times 15 = 2,41 \text{ cm}$$

$$SN_1^* + SN_2^* > SN_2^*$$

$$9,45 + 2,41 > 11,269653$$

$$11,86 \text{ cm} > 11,269653 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$D_3^* > D_3$$

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + S_2)}{a_3^{m_3}} = \frac{14,66378413 - (11,86)}{0,127^{1,2}} = 18,3759 \text{ cm} ; \text{ diambil } D_3 = 18,5 \text{ cm}$$

$$SN_3^* = D_3^{a_3} \times a_3^{m_3} = 18,5 \times 0,127^{1,2} = 2,82 \text{ cm}$$

Kontrol:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$$

$$9,45 + 2,41 + 2,82 > SN$$

$$14,68 \text{ cm} > 14,66378413 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Dari perhitungan ketiga lapisan diatas maka tebal  $D_1^*$ ,  $D_2^*$  dan  $D_3^*$  yaitu:  $D_1^* + D_2^* + D_3^* = 22,5 + 15 + 18,5 = 56 \text{ cm} > 55,5 \text{ cm}$ .

Terjadi peningkatan tebal minimum perkerasan dari 55,5 cm menjadi 56 cm, menunjukkan bahwa perkerasan jalan dengan tebal 55,5 cm tidak mampu melayani beban lalu lintas 24.573.313,11 ESAL.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Perubahan MR Lapis Pondasi Atas

MR (Psi)	Beban Lalu Lintas (ESAL)	D <sub>1</sub> (cm)	D <sub>1</sub> <sup>*</sup> (cm)	D <sub>2</sub> (cm)	D <sub>2</sub> <sup>*</sup> (cm)	D <sub>3</sub> (cm)	D <sub>3</sub> <sup>*</sup> (cm)	D <sub>Total</sub> (cm)
30.000	24.573.313,13	22,283	22,5	11	15	17,94	18	55,5
29.000	22.714.634,81	22,283	22,5	11,3	15	18,37	18,5	56,0
27.500	20.081.412,33	22,283	22,5	11,99	15	19,28	19,5	57,0
26.000	17.631.147,19	22,283	22,5	12,39	15	19,76	20	57,5
25.000	16.097.677,55	22,283	22,5	12,84	15	20,27	20,5	58

**Perubahan Kualitas Material Lapis Pondasi Bawah**

Perubahan ini akan berpengaruh pada Lapis Pondasi Atas.

Dengan cara hitung yang sama dihasilkan bahwa:

Penurunan nilai MR pada lapis pondasi bawah dari 18.000 Psi menjadi 17.000 Psi, mengakibatkan:

- Menurunnya kemampuan perkerasan jalan Lapis Pondasi Atas dalam menahan beban dari 24.573.313,11 ESAL menjadi 21.521.523,11 ESAL.
- Terjadinya peningkatan tebal minimum perkerasan dari 55,5 cm menjadi 56,5 cm. Hal ini menunjukkan bahwa perkerasan jalan dengan tebal 55,5 cm tidak mampu melayani beban lalu lintas 24.573.313,13 ESAL.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Perubahan MR Lapis Pondasi Bawah

MR (Psi)	Beban Lalu Lintas (ESAL)	D <sub>1</sub> (cm)	D <sub>1</sub> <sup>*</sup> (cm)	D <sub>2</sub> (cm)	D <sub>2</sub> <sup>*</sup> (cm)	D <sub>3</sub> (cm)	D <sub>3</sub> <sup>*</sup> (cm)	D <sub>Total</sub> (cm)
18.000	24.573.313,11	22,283	22,5	11,0039	15	17,94	18	55,5
17.000	21.521.524,71	22,283	22,5	11,0039	15	18,77	19	56,5
16.000	18.697.773,66	22,283	22,5	11,0039	15	19,74	20	57,5
15.000	16.097.678,87	22,283	22,5	11,0039	15	20,89	21	58,5
14.000	13.716.666,55	22,283	22,5	11,0039	15	22,29	22,5	60

**Pengaruh pada kemampuan pembebanan dan tebal perkerasan**

- MR = 400.000 Psi, perkerasan jalan mampu menerima beban lalu lintas 24.573.313,11 ESAL dengan tebal perkerasan minimum 55,5 cm.
- MR= 380.000 Psi maka kemampuan menerima beban lalu lintas menurun menjadi 23.162.765,69 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 56 cm.
- MR= 360.000 Psi maka kemampuan menerima beban lalu lintas menurun menjadi 19.942.008,03 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 58 cm.

- MR= 350.000 Psi maka kemampuan menerima beban lalu lintas menurun menjadi 18.203.111,50 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 58,5 cm.
- MR= 325.000 Psi maka kemampuan menerima beban lalu lintas menurun menjadi 14.879.460,37 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 60,5 cm.

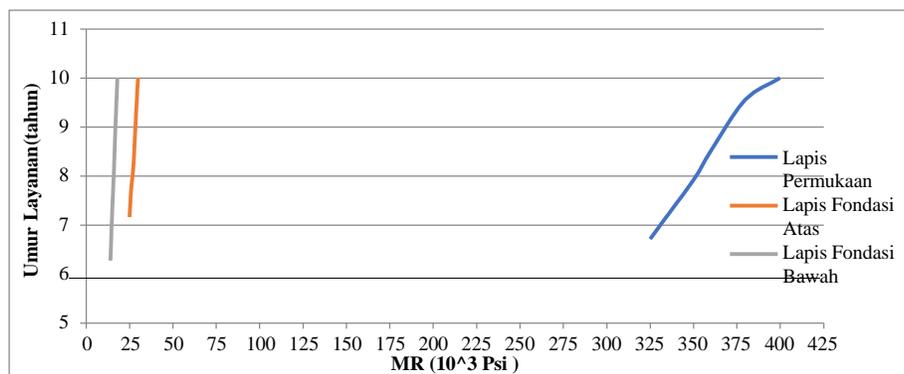
**Pengaruh Pada Umur Layanan**

Menurunnya mutu material perkerasan akan menurunkan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalulintas yang berakibat pada menurunnya umur layanan jalan.

- Pada beban lalu lintas 24.573.313,11 ESAL, perkerasan jalan dapat melayani selama 10 tahun sesuai umur rencana dengan faktor pertumbuhan  $N = 13,18079 \%$
- Beban lalu lintas 23.162.765,69 ESAL maka faktor pertumbuhan  $N = 23.162.765,69 / 24.573.313,11 \times 13,18079 = 12,4242$  dengan umur layanan 9,56 tahun.
- Beban lalu lintas 19.942.008,03 ESAL, maka umur layanan 8,508 tahun.
- Beban lalu lintas 18.203.111,50 ESAL, maka umur layanan 7,913 tahun.
- Beban lalu lintas 14.879.460,37 ESAL, maka umur layanan 6,715 tahun.

Tabel 7. Perhitungan Pengaruh MR Terhadap Umur Layanan

Lapis Permukaan		Lapis Pondasi Atas		Lapis Pondasi Bawah	
MR (10 <sup>3</sup> Psi)	Umur Layanan (Tahun)	MR (10 <sup>3</sup> Psi)	Umur Layanan (Tahun)	MR (10 <sup>3</sup> Psi)	Umur Layanan (Tahun)
400	10	30	10	18	10
380	9,56	29	9,417	17	9,033
360	8,508	27,5	8,272	16	8,08
350	7,913	26	7,713	15	7,165
325	6,715	25	7,165	14	6,275



Gambar 1. Grafik Pengaruh MR Terhadap Umur Layanan

**Kesimpulan**

1. Pengaruh perubahan kualitas material Lapis Permukaan ( $Mr < 400.000$  psi)  
MR Lapis Permukaan 400.000 Psi maka kemampuan perkerasan jalan menerima repetisi beban lalu lintas sebesar 24.573.313,11 ESAL.

Jika MR menurun menjadi:

- MR= 380.000 Psi maka kemampuan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 23.162.765,69 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 56 cm.
- MR= 360.000 Psi maka kemampuan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 19.942.008,03 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 58 cm.
- MR= 350.000 Psi maka kemampuan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 18.203.111,50 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 58,5 cm.
- MR= 325.000 Psi maka kemampuan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 14.879.460,37 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 60,5 cm.

Dalam melayani repetisi beban lalu lintas 24.573.313,11 ESAL, maka:

- MR = 400.000 Psi, perkerasan jalan dapat melayani selama 10 tahun.
  - MR = 380.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 9,56 tahun
  - MR = 360.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 8,508 tahun
  - MR = 350.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 7,913 tahun
  - MR = 325.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 6,715 tahun
2. Pengaruh perubahan kualitas material Lapis Pondasi ( $MR < 30.000$  Psi)
- Menurunnya MR Lapis Pondasi Atas dari 30.000 Psi akan menurunkan kemampuan Lapis Permukaan perkerasan jalan dalam menerima repetisi beban lalu lintas serta akan meningkatkan tebal perkerasan minimum  $> 55,5$  cm
- Pada Perencanaan awal telah dihitung bahwa untuk Lapis Pondasi Atas MR = 30.000 Psi, perkerasan jalan mampu menerima repetisi beban lalu lintas 24,573,313,11 ESAL dengan tebal perkerasan minimum 55,5 cm. Jika MR menurun menjadi:
- MR= 29.000 Psi maka kemampuan lapis permukaan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 22.714.634,81 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 56 cm.
  - MR= 27.500 Psi maka kemampuan lapis permukaan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 19.244.486,91 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 57 cm.
  - MR= 26.000 Psi maka kemampuan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 17.631.147,19 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 57,5 cm.
  - MR= 25.000 Psi maka kemampuan lapis permukaan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 16.097.677,55 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 58 cm.
- Dalam melayani repetisi beban lalu lintas 24.573.313,11 ESAL, maka:
- MR = 30.000 Psi, perkerasan jalan dapat melayani selama 10 tahun sesuai UR
  - MR = 29.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 9,417 tahun
  - MR = 27.500 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 8,272 tahun
  - MR = 26.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 7,713 tahun
  - MR = 25.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 7,165 tahun
3. Pengaruh perubahan kualitas material Lapis Pondasi Bawah ( $MR < 18.000$  Psi)
- Menurunnya MR Lapis Pondasi Bawah dari 18.000 Psi akan menurunkan kemampuan Lapis Pondasi Atas perkerasan jalan menerima repetisi beban lalu lintas serta akan meningkatkan tebal perkerasan minimum  $> 55,5$  cm.
- Pada Perencanaan awal telah dihitung bahwa untuk Lapis Pondasi Bawah MR = 18.000 Psi, perkerasan jalan mampu menerima repetisi beban lalu lintas 24.573.313,11 ESAL dengan tebal perkerasan minimum 55,5 cm. Jika MR menurun menjadi:
- MR= 17.000 Psi maka kemampuan lapis pondasi atas menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 21.521.523,11 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 56,5 cm.
  - MR= 16.000 Psi maka kemampuan lapis pondasi atas menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 18.697.772,26 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 57,5 cm.
  - MR= 15.000 Psi maka kemampuan lapis pondasi atas menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 16.097.677,67 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 58,5 cm.
  - MR= 14.000 Psi maka kemampuan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 13.716.665,53 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 60 cm.
- Dalam melayani repetisi beban lalu lintas 24.573.313,11 ESAL, maka:
- MR =18.000 Psi, perkerasan jalan dapat melayani selama 10 tahun sesuai UR.
  - MR =17.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 9,033 tahun.
  - MR =16.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 8,08 tahun.
  - MR =15.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 7,165 tahun.
  - MR =14.000 Psi, maka perkerasan jalan dapat melayani selama 6,275 tahun.

4. Kombinasi susunan perkerasan.

Dari hasil perhitungan pada konfigurasi perkerasan maka untuk kombinasi susunan perkerasan terbaik adalah sebagai berikut:

- Lapis permukaan MR= 400.000 Psi dan tebal minimum 22,5 cm
- Lapis Pondasi Atas MR = 30.000 Psi dan tebal minimum 15 cm
- Lapis Pondasi Bawah MR = 18.000 Psi tebal minimum 22,5 cm.

### Saran

Berdasarkan hasil studi maka penulis ingin memberikan saran sebagai berikut:

- Jika MR lapis permukaan diturunkan menjadi < 400.000 maka disarankan penurunan MR sebesar 380.000 Psi dengan kemampuan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 23.162.765,69 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 56 cm.
- Jika MR lapis pondasi diturunkan menjadi < 30.000 Psi maka disarankan penurunan MR sebesar 29.000 Psi dengan kemampuan lapis permukaan menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 22.714.634,81 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 56 cm.
- Jika MR lapis pondasi bawah diturunkan menjadi < 18.000 Psi maka disarankan penurunan MR sebesar 17.000 Psi dengan kemampuan lapis pondasi atas menerima Repetisi Beban Lalu lintas menurun menjadi 21.521.523,11 ESAL dengan tebal perkerasan minimum meningkat 56,5 cm.

### DAFTAR PUSTAKA

AASHTO *guide for design of pavement structures*, 1993. *The American Association of State Highway Transportation Officials*, Washington DC.

Bina Marga. Manual Perkerasan Jalan (Revisi juni 2017) Nomor 02/M/BM/2017: Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta. 2017.

Emor, E. K. M., L. G. J. Lalamentik, dan J. E. Waani, 2018. Pengaruh Beban Gandar Kumulatif Terhadap Penurunan Kinerja Jalan: Jurnal Sipil Statik Vol.6. 2018. Fakultas Teknik Unsrat Manado.

Khan, A. and Mrawira, D., 2010. "Investigation the Use of Lightweight Aggregate Hot-Mixed Asphalt in Flexible Pavements in Frost Susceptible Areas". of *Journal materials in Civil Engineering*, Vol. 22, No. 2, ASCE, pp 171-178.

Li, X., Marasteanu, M.O., Kvasnak, A., Bausano, J. Williams, R.C., and Worel, B. 2010. "Factors Study in Low-Temperatures Fractures Resistance of Asphalt Concrete". *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 22, No. 2, ASCE. Pp 145-152.

Mantiri, C. C., T. K. Sendow, dan M. R. E. Manoppo, 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.

Safitra, P. A., T. K. Sendow, dan S. V. Pandey, 2019. Analisa Pengaruh Beban Berlebih Terhadap Umur Rencana Jalan. Jurnal Sipil Statik Vol.7.

Halaman ini sengaja dikosongkan