

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

4.1.1. Data beban Overloading

Pada penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan data-data jumlah kendaraan yang melanggar pada Jembatan Timbang. Data-data tersebut dihimpun dari Jembatan Timbang dan pengumpulan data dari Dinas Perhubungan. Jembatan Timbang yang terdapat pada Ruas Jalan Raya Solo – Yogyakarta KM 9 – 15 pada tahun 2015 yaitu Jembatan Timbang Kalitirto dan Jembatan Timbang Tamanmartani merekam beberapa kendaraan yang melanggar dan tidak melanggar setiap bulan dalam kurun waktu satu tahun. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 , sedangkan diagram rekapitulasi data pelanggaran dapat dilihat pada Gambar 4.1

Tabel 4. 1 Data jumlah kendaraan beban berlebih (overloading) pada Jembatan Kalitirto

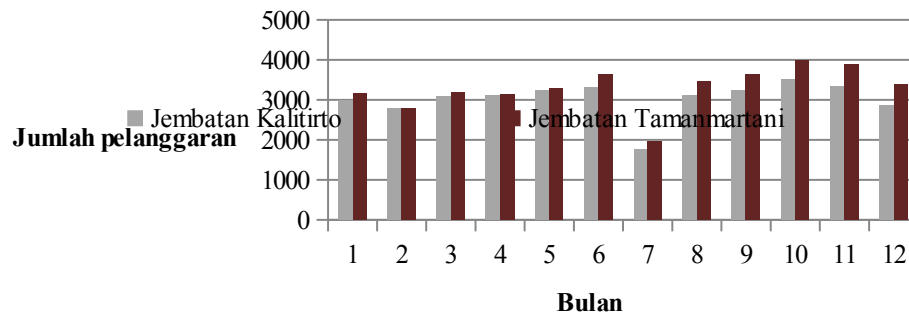
No	Bulan	Jumlah Kendaraan yang Melanggar	Jumlah Kendaraan yang Tidak melanggar	Total yang ditimbang
1	Januari	2979	15496	18475
2	Februari	2789	14130	16919
3	Maret	3095	15703	18798
4	April	3123	16021	19144
5	Mei	3233	16991	20224
6	Juni	3306	16483	19789
7	Juli	1757	8328	10085
8	Agustus	3121	16220	19341
9	September	3232	15710	18942
10	Oktober	3512	17065	20577
11	November	3340	15854	19194
12	Desember	2857	14658	17515
	Jumlah	36344	182659	219003

Tabel 4. 2 Data jumlah kendaraan beban berlebih (overloading) pada Jembatan

Tamanmartani

No	Bulan	Jumlah Kendaraan yang Melanggar	Jumlah Kendaraan yang Tidak melanggar	Total yang ditimbang
1	Januari	3175	16046	19221
2	Februari	2784	15121	17905
3	Maret	3183	16605	19788
4	April	3145	15354	18499
5	Mei	3297	16570	19867
6	Juni	3629	15985	19614
7	Juli	1969	8163	10132
8	Agustus	3453	15882	19335
9	September	3641	16227	19868
10	Oktober	3998	17167	21165
11	November	3894	16407	20301
12	Desember	3382	15619	19001
Jumlah		39550	185146	224696

**Rekapitulasi Pelanggaran Jembatan Timbang
Periode Januari - Desember Tahun 2015**



Gambar 4.1 Diagram Rekapitulasi pelanggaran pada jembatan timbang
Tamanmartani-Kalitrto periode Januari-Desember 2015

Dari rekapitulasi dapat disimpulkan bahwa pada jembatan timbang Tamanmartani memiliki jumlah pelanggaran yang banyak. Jembatan Tamanmartani yang melayani penimbangan untuk ruas Solo – Yogyakarta KM 9 – 15. Dari rekapitulasi pelanggaran tersebut, didapatkan jumlah presentase pelanggaran berdasarkan golongan kendaraan setiap JBI (Jumlah Berat Ijin). Untuk mendapatkan nilai presentasi tersebut, dihitung dari perbandingan antara total jumlah pelanggaran setiap golongan JBI dan jumlah total pelanggaran kendaraan dalam satu tahun yang hasilnya dikalikan 100 % .

Berdasarkan data yang didapat dari penelitian sebelumnya, jumlah pelanggaran beban berlebih berdasarkan golongan kendaraan setiap JBI disajikan pada Tabel 4.3 sedangkan jumlah presentase pelanggaran disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Data pelanggaran kendaraan dengan beban berlebih pada Jembatan
Timbang Kalitirto dan Tamanmartani

Golongan	JBI Kendaraan	Pelanggaran	
		Kalitirto	Tamanmartani
I	JBI < 8 ton	8650	11780
II	8 ton ≤ JBI ≤ 14 ton	13723	13894
III	14 ton < JBI ≤ 21 ton	6992	7302
IV	21 ton < JBI ≤ 28 ton	5564	5871
	Jumlah	34929	38847

Tabel 4. 4 Data presentase pelanggaran kendaraan dengan beban berlebih pada Jembatan Timbang Kalitirto dan Tamanmartani

Golongan	JBI Kendaraan	Presentase		Rata-Rata
		Kalitirto	Tamanmartani	
I	JBI < 8 ton	24,8 %	30,3 %	27,5 %
II	8 ton ≤ JBI ≤ 14 ton	39,3 %	35,8 %	37,5 %
III	14 ton < JBI ≤ 21 ton	20 %	18,8 %	19,4 %
IV	21 ton < JBI ≤ 28 ton	15,9 %	15,1 %	15,5 %

Berdasarkan dari data Tabel 4.4 bahwa jumlah presentase pelanggaran yang paling tinggi terjadi pada golongan II yaitu dengan jumlah rata-rata presentasinya adalah 37,5 % . Sedangkan jumlah presentase pelanggar yang paling rendah yaitu dari golongan IV dengan nilai sebesar 15,5 %.

Nilai rata-rata akibat beban berlebih pada Jembatan Timbang Kalitirto – Tamanmartani dapat diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan hasil survey yang telah dilakukann. Data tersebut disajikan pada Tabel 4.5 .

Tabel 4. 5 Data beban berlebih (overloading) pada jeembatan timbang Kalitirto dan Tamanmartani

JBI Kendaraan	<i>(overloading)</i>			
	Jumla h	Beban (kg)	Rata-rata (kg)	Presentase
JBI < 8 ton	65	144300	2220	15,1 %
8 ton ≤ JBI ≤ 14 ton	23	116816	5079	12,3 %
14 ton < JBI ≤ 21 ton	19	280969	14788	29,5 %
21 ton < JBI ≤ 28 ton	24	410820	17118	43,1 %

Dari data di atas dapat dikeathui bahwa rata-rata *overloadiung* pada JBI < 8 ton memiliki nilai 2220 kg dengan presentase 15,1 % , JBI 8 ton ≤ JBI ≤ 14 ton memiliki nilai 5079 kg dengan presentase 12,3 % , JBI 14 ton < JBI ≤ 21 ton memiliki nilai 14788 kg dengan presentase 29,5 % , 21 ton < JBI ≤ 28 ton memiliki nilai 17118kg dengan presentase 43,1 % . BBerdasarkan hasil ata tersebut, dapat

ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi nilai JBI, maka semakin tinggi pula resiko terjadinya pelanggaran beban berlebih pada ruas jalan.

4.2. Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode AASHTO

4.2.1. Koefisien Kekuatan Relatif

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya oleh Lutfiyanto,2018 bahwa pengaruh beban berlebih terhadap kinerja tebal perkerasan pada ruas Jalan Raya Solo – Yogyakarta Km 11,5 – 13 yang dalam perhitungannya diperlukan data – data susunan lapisan perkerasan lama pada Ruas Jalan Raya Solo – Yogyakarta Km 11,5 – 13 yang terlampir pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Susunan Lapis Perkerasan Lama Ruas Jalan Raya Yogyakarta – Solo
Km 9 - 15

Lapis perkerasan	Jenis material	Tebal
Lapis permukaan	AC	4 cm
	ATB	5 cm
Lapis pondasi	Agregat Kelas A	20 cm
Lapis pondasi bawah	Agregat Kelas B	30 cm
CBR tanah dasar	CBR 5,4 %	-

Berdasarkan data pada Tabel 4.6 dapat diketahui nilai koefisien relatif senagai berikut

$$a_1 = 0,40$$

$$a_2 = 0,14$$

$$a_3 = 0,12$$

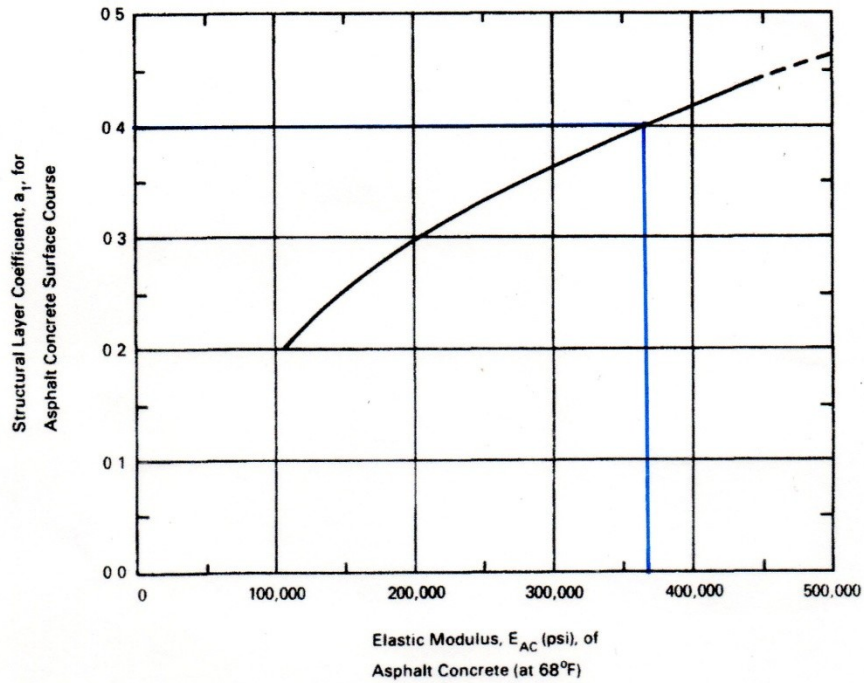
4.2.2. Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas pada lapis permukaan, lapis pondasi, lapis pondasi bawah dapat didapatkan dengan menggunakan grafik pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4. dari penarikan garis pada grafik diperoleh nilai modulus elastisitas sebagai berikut.

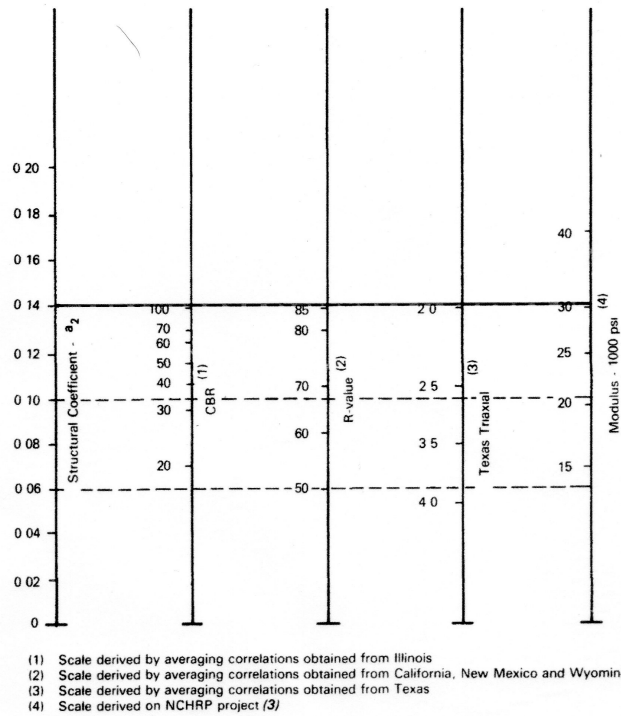
$$\text{Modulus elastisitas lapis permukaan beton aspal } (E_{AC}) = 360.000 \text{ psi}$$

$$\text{Modulus elastisitas lapis pondasi granular } (E_{BS}) = 30.000 \text{ psi}$$

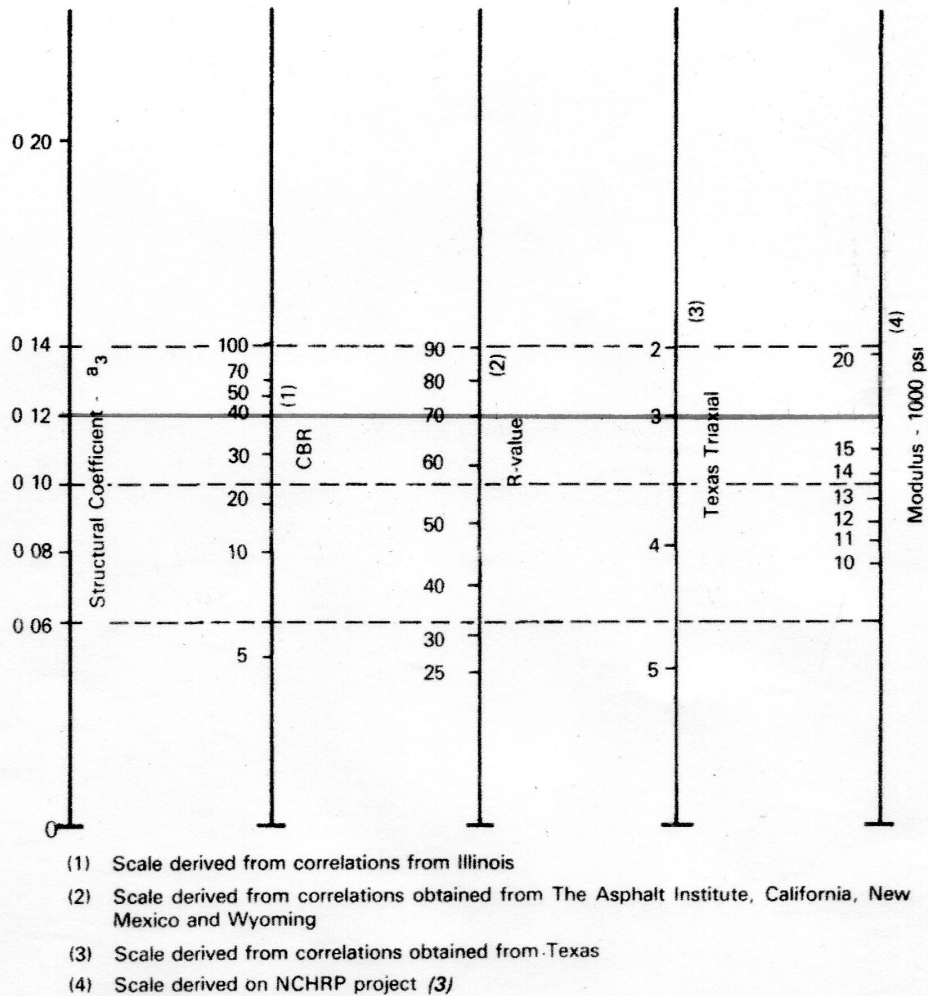
$$\text{Modulus elastisitas lapis pondasi bawah granular } (E_{SB}) = 17.000 \text{ psi}$$



Gambar 4.2 Grafik Menentukan Modulus Elastisitas Aspal Beton (EAC) (AASHTO,1993)



Gambar 4.3 Grafik Menentukan Modulus Elastisitas Pondasi Atas Granular (EBS) (AASHTO,1993)



Gambar 4 4 Grafik Menentukan Modulus Elastisitas Pondasi Bawah Granular (EBS) (AASHTO,1993)

4.2.3. Koefisien Drainase

Kondisi drainase pada Jalan Raya Yogyakarta – Solo Km 9 – 15 bisa dikatakan baik. Berdasarkan Tabel 2.3 koefisien drainase dengan kualitas drainase baik dengan nilai 1,15.

Tabel 4. 7 Koefisien drainase untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif material untreated base dan subbase pada perkerasan lentur (AASHTO, 1993)

Kualitas drainase	Persen Waktu Struktur Perkerasan dipengaruhi oleh kadar 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	0,08 - 0,75	0,60 - 0,40	0,40

4.2.4. Faktor Distribusi arah (DD) dan Faktor Distribusi Lajur (DL)

Tipe Jalan Raya Yogyakarta – Solo Km 9 – 15 adalah jalan terbagi menjadi dua arah dengan terbagi median. Distribusi arah jalan Raya Yogyakarta – Solo Km 9 – 15 terbagi dua jalur dengan empat lajur dan dua arah. Sehingga dari Tabel 4. 8 didapatkan nilai DL sebesar 50 % dan nilai DD sebesar 0,50.

Tabel 4. 8 Faktor distribusi lajur (D_L) (AASHTO, 1993)

Jumlah lajur per arah	% beban gandar standar dalam lajur rencana
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 - 75

4.2.5. Reliabilitas

Nilai reliabilitas untuk jalan Raya Yogyakarta – Solo Km 9 – 15 dapat dilihat pada Tabel 4.9 . Klasifikasi jalan Raya Yogyakarta – Solo Km 9 – 15 merupakan jalan arteri antar kota. Sehingga didapatkan nilai 95 %.

Tabel 4. 9 Rekomendasi tingkat reliabilitas untuk berbagai macam klasifikasi jalan
(AASHTO, 1993)

Antar Kota	Rekomendai 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

Nilai standar deviasi (S_0) berdasarkan peraturan metode AASHTO dengan jenis perkerasan lentur, maka nilai S_0 yang digunakan pada sebesar 0,35.

4.2.6. Serviceability

Nilai *serviceability* untuk menentukan tingkat pelayanan fungsional dari sistem sebuah prkerasan jalan. Tingkat pelayanan menggunakan parameter *present serviceability index* dengan nilai P_0 dan P_t diketahui melalui

- Untuk perkerasan yang baru dibuka (*open traffic*), nilai *serviceability* ini diberikan sebesar 4,0 – 4,2. Nilai ini dalam terminologi perkerasan diberikan sebagai nilai *initial serviceability* (P_0).
- Untuk perkerasan yang harus dilakukan perbaikan pelayanannya, nilai *serviceability* ini diberikan sebesar 2,0. Nilai ini dalam terminologi perkerasan diberikan sebagai nilai *terminal serviceability* (P_t).
- Untuk perkerasan yang sudah rusak dan tidak bisa dilewati, maka nilai *serviceability* ini akan diberikan sebesar 1,5. Nilai ini diberikan dalam terminologi *failure serviceability* (P_f).

Dari keterangan di atas maka untuk nilai P_0 digunakan adalah nilai 4,0 dan untuk

nilai P_t digunakan nilai 2,0. Maka dari itu diperoleh nilai Δ PSI sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta \text{ PSI} &= P_o - P_t \\ &= 4,0 - 2,0 \\ &= 2,0\end{aligned}$$

4.2.7. Lalu Lintas Harian (LHR)

Data lalu lintas harian berfungsi untuk digunakan menganalisis pelayanan jalan. Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Lutffyanto. (2018) didapatkan data hasil survei volume lalu lintas harian rata – rata pada ruas Jalan Raya Solo – Yogyakarta Km 9 – 15 selama 3 × 12 jam dalam jarak waktu 15 menit sekali dimulai pukul 07.00 hingga pukul 19.00 WIB. Hasil survei dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 Data lalu lintas harian rata - rata

No.	JKI	Golongan	Jenis Kendaraan	LHR rata- rata
1	I	1	Sepeda motor	58063
2	I	2	Sedan	33977
3	I	3	Mobil Pick up	
			mobil hantaran	2097
			mobil box	
4	I	4	Angkutan non bus	282
5	I	5A	Bus sedang	378
6	II	5B	Bus Besar	694
7	III	6B	Truk sedang	1702
8	IV	7A	Truks besar	809
9	IV	7B	Truk gandeng	68
10	IV	7C	Truks trailer	79

4.2.8. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (g)

Data untuk menentukan perkiraan pertumbuhan lalu lintas pada jalan raya solo – Yogyakarta km 9 – 15 setiap tahunnya yaitu data volume lalu lintas yang dikelompoknya berdasarkan jenis kendaraan. Data pertumbuhan lalu lintas yang digunakan adalah data lima tahun terakhir dari tahun 2014 hingga 2018. Data tersebut disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Data pertumbuhan lalu lintas dari tahun 2014 – 2018 berdasarkan jenis kendaraan (Lutfiyanto, 2018)

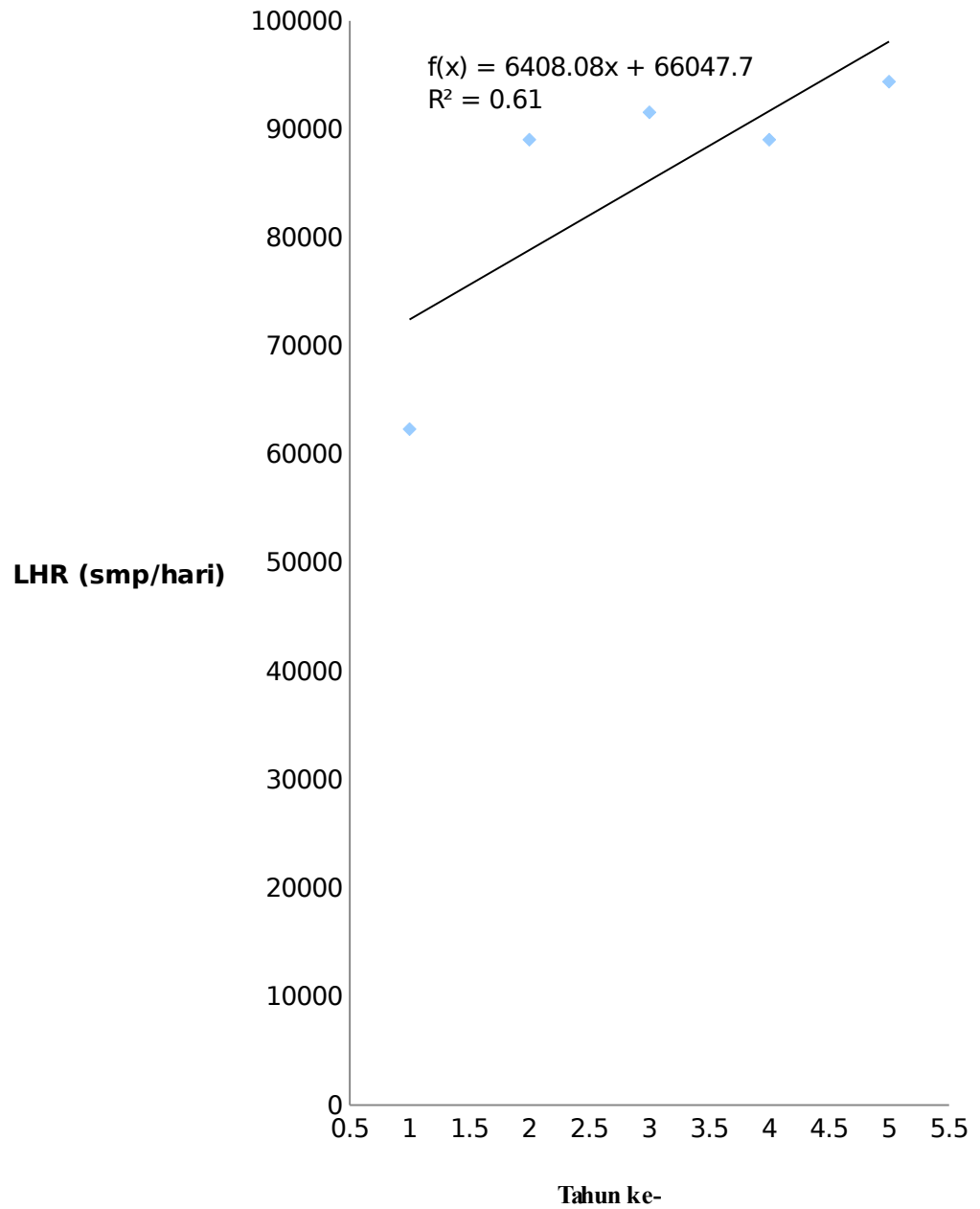
Jenis kendaraan	em p	Volume Lalu Lintas (LHR) (smp/hari)				
		2014	2015	2016	2017	2018
Kendaraan berat menengah (MHV)	1,3	5716	8229	4949	8229	49971
Kendaraan ringan (LV)	1	23190	35148	37420	35148	39601
Sepeda motor	0,5	33435	45659	49196	45659	49971

Perhitungan untuk memperkiraan angka pertumbuhan digunakan metode regresi linear. Perhitungan yang dilakukan pada penelitian sebelumnya terlampir pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 hasil perhitungan angka pertumbuhan lalu lintas (Lutfiyanto, 2018)

Tahun	X	$\frac{LHR}{Y}$	$\frac{X - X_r}{X}$	$\frac{Y - Y_r}{\bar{Y}}$	X^2	$X \times \bar{Y}$
2014	1	62341	-2	-22931	4	45862
2015	2	89036	-1	3764	1	-3764
2016	3	91565	0	6293	0	0
2017	4	89036	1	3764	1	3764
2018	5	94382	2	9110	4	18219
Jumlah		426360	0	0	10	64081

Regresi Linier



Gambar 4.5 Grafik regresi linear

$$X_r = \frac{\sum X}{n}$$

$$= \frac{15}{5}$$

$$= 3$$

$$Y_r = \frac{\sum Y}{n}$$

$$= \frac{426360}{5}$$

$$= 85272$$

$$\sum Y = n \times a + b \times \sum \dot{X}$$

$$426360 = 5 \times a + b \times 0$$

$$a = \frac{426360}{5}$$

$$a = 85272$$

$$\sum \dot{X} \times \bar{Y} = a \times \sum \dot{X} + b \times \dot{X}^2$$

$$64081 = a \times 0 + b \times 10$$

$$b = \frac{64081}{10}$$

$$b = 6408,1$$

Pertumbuhan lalu lintas (%)

$$g = \frac{b}{a} \times 100\%$$

$$= 7,5 \%$$

$$= 0,075$$

4.2.9. Angka Ekivalen Kendaraan

Angka ekivalen beban sumbu kendaraan yaitu angka dimana digunakan untuk menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal atau ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton. Perhitungan angka ekivalen pada beban standar dan beban berlebih sebagai berikut dan disajikan pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

a. Angka Ekivalen Kendaraan Beban Standar

1) Golongan I (Mobil penumpang)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 2000 \text{ kg} \\ E &= \left[\frac{50 \times 2000}{8160} \right]^4 + \left[\frac{50 \times 2000}{8160} \right]^4 \\ &= 0,00045 \end{aligned}$$

2) Golongan I (Mobil pick up, mobil hantara, mobil box)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 3500 \text{ kg} \\ E &= \left[\frac{50 \times 3500}{8160} \right]^4 + \left[\frac{50 \times 3500}{8160} \right]^4 \\ &= 0,00423 \end{aligned}$$

3) Golongan I (Angkutan non bus)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 5000 \\ E &= \left[\frac{50 \times 5000}{8160} \right]^4 + \left[\frac{50 \times 5000}{8160} \right]^4 \\ &= 0,01762 \end{aligned}$$

4) Golongan I (Bus sedang)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 6000 \text{ kg} \\ E &= \left[\frac{34 \times 6000}{8160} \right]^4 + \left[\frac{66 \times 6000}{8160} \right]^4 \end{aligned}$$

$$= 0,05937$$

5) Golongan II (Bus besar)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 9000 \text{ kg} \\ E &= \left[\frac{34 \times 9000}{8160} \right]^4 + \left[\frac{66 \times 9000}{8160} \right]^4 \times 0,086 \\ &= 0,04392 \end{aligned}$$

6) Golongan III (Truk sedang 2 As)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 18200 \text{ kg} \\ E &= \left[\frac{34 \times 18200}{8160} \right]^4 + \left[\frac{66 \times 18200}{8160} \right]^4 \times 0,086 \\ &= 0,73454 \end{aligned}$$

7) Golongan IV (Truk besar 3 As)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 25000 \text{ kg} \\ E &= \left[\frac{25 \times 25000}{8160} \right]^4 + \left[\frac{37,5 \times 25000}{8160} \right]^4 \times 0,086 + \left[\frac{37,5 \times 25000}{8160} \right]^4 \times \\ &0,086 \\ &= 0,64384 \end{aligned}$$

8) Golongan IV (Truk gandeng)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 31400 \text{ kg} \\ E &= \left[\frac{18 \times 31400}{8160} \right]^4 + \left[\frac{28 \times 31400}{8160} \right]^4 \times 0,086 + \left[\frac{27 \times 31400}{8160} \right]^4 \times \\ &0,086 \\ &+ \left[\frac{27 \times 31400}{8160} \right]^4 \times 0,086 \\ &= 0,54649 \end{aligned}$$

9) Golongan IV (Truk trailer)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat beban kendaraan} &= 42000 \text{ kg} \\
 E &= \left[\frac{18 \times 4200}{8160} \right]^4 + \left[\frac{28 \times 42000}{8160} \right]^4 \times 0,086 + \left[\frac{27 \times 42000}{8160} \right]^4 \times 0,086 \\
 &+ \left[\frac{27 \times 42000}{8160} \right]^4 \times 0,086 \\
 &= 1,74929
 \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Nilai angka ekivalen pada kendaraan akibat beban standar

JKI	Golongan	Jenis Kendaraan	berat beban kendaraan	E
I	2	mobil penumpang	2000	0,00045
I	3	Mobil Pick up	3500	0,00423
		mobil hantaran		
		mobil box		
I	4	Angkutan non bus	5000	0,01762
I	5A	Bus sedang	6000	0,05937
II	5B	Bus Besar	9000	0,04392
III	6B	Truk sedang 2 As	18200	0,73454
IV	7A	Truk besar 3 As	25000	0,64384
IV	7B	Truk gandeng	31400	0,54649
IV	7C	Truks trailer	42000	1,74929

b. Angka Ekivalen Kendaraan Beban Berlebih

1) Golongan I (Mobil pick up, mobil hantara, mobil box)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat beban kendaraan} &= 3500 + 2220 = 5720 \text{ Kg} \\
 E &= \left[\frac{50 \times 5720}{8160} \right]^4 + \left[\frac{50 \times 5720}{8160} \right]^4 \\
 &= 0,03018
 \end{aligned}$$

2) Golongan III (Truk sedang 2 As)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 18200 + 14788 = 32988 \text{ Kg} \\ E &= \left[\frac{34 \times 32988}{8160} \right]^4 + \left[\frac{66 \times 32988}{8160} \right]^4 \times 0,086 \\ &= 7,92777 \end{aligned}$$

3) Golongan IV (Truks besar 3 As)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 25000 + 17188 = 42188 \text{ Kg} \\ E &= \left[\frac{25 \times 42188}{8160} \right]^4 + \left[\frac{37,5 \times 42188}{8160} \right]^4 \times 0,086 + \left[\frac{37,5 \times 42188}{8160} \right]^4 \times \\ &0,086 \\ &= 5,22121 \end{aligned}$$

4) Golongan IV (Truk gandeng)

$$\begin{aligned} \text{Berat beban kendaraan} &= 31400 + 17188 = 48518 \text{ Kg} \\ E &= \left[\frac{18 \times 48518}{8160} \right]^4 + \left[\frac{28 \times 48518}{8160} \right]^4 \times 0,086 + \left[\frac{27 \times 48518}{8160} \right]^4 \times \\ &0,086 + \left[\frac{27 \times 48518}{8160} \right]^4 \times 0,086 \\ &= 3,11513 \end{aligned}$$

Tabel 4. 14 angka ekivalen pada kendaraan akibat beban berlebih

JBI	Golongan	Jenis Kendaraan	berat beban kendaraan	Total berat akibat beban kendaraan berlebih	E	E beban berlebih
I	2	mobil penumpang	2000	-	0,00045	-
I	3	Mobil Pick up		5720		0,03018
		mobil hantaran	3500		0,00423	
I	4	mobil box Angkutan	5000	-	0,01762	-

		non bus				
I	5A	Bus sedang	6000	-	0,05937	-
II	5B	Bus Besar	9000	-	0,04392	-
III	6B	Truk sedang 2 As	18200	32988	0,73454	7,92777
IV	7A	Truks besar 3 As	25000	42188	0,64384	5,22121
IV	7B	Truk gandeng	31400	48518	0,54649	3,11513
IV	7C	Truks trailer	42000	-	1,74929	-

4.2.8. Beban Gandar Tunggal Standar Kumulatif (Wt)

Memperoleh nilai beban gandar tunggal standar harus diketahui beban gandar standar kumulatif selama satu tahun, sehingga diperoleh nilai Wt untuk beban standar pada Tabel 4.15 dan beban berlebih pada Tabel 4.16 . Untuk menghitung beban gandar standar kumulatif menggunakan rumus :

$$\hat{W}_{18} = LHR \times E \times D_D \times D_L \times 365$$

a. Beban standar

1) Golongan I (Mobil penumpang)

$$\begin{aligned} \hat{W}_{18} &= 33977 \times 0,00045 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 1395,18 \\ W_t &= 1395,18 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 60410,83 \end{aligned}$$

2) Golongan I (Mobil pick up, mobil box, mobil hantaran)

$$\begin{aligned} \hat{W}_{18} &= 2097 \times 0,00423 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 809,42 \\ W_t &= 809,42 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 35051,68 \end{aligned}$$

3) Golongan I (Angkutan non bus)

$$\begin{aligned}\hat{W}_{18} &= 282 \times 0,01762 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 453,41 \\ W_t &= 453,41 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 19634,78\end{aligned}$$

4) Golongan I (Bus sedang)

$$\begin{aligned}\hat{W}_{18} &= 378 \times 0,05937 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 2047,82 \\ W_t &= 2047,82 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 88680,19\end{aligned}$$

5) Golongan II (Bus Besar)

$$\begin{aligned}\hat{W}_{18} &= 694 \times 0,04392 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 2781,34 \\ W_t &= 2781,34 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 120445,04\end{aligned}$$

6) Golongan III (Truk Sedang)

$$\begin{aligned}\hat{W}_{18} &= 1702 \times 0,73454 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 114079,57 \\ W_t &= 114079,57 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 4940179,43\end{aligned}$$

7) Golongan IV (Truk Besar)

$$\hat{W}_{18} = 809 \times 0,64384 \times 0,5 \times 0,5 \times 365$$

$$= 47529,07$$

$$W_t = 47529,07 \times \frac{(1+0,075)^{20} - 1}{0,075}$$

$$= 2058231,23$$

8) Golongan IV (Truk Gandeng)

$$\hat{W}_{18} = 68 \times 0,54649 \times 0,5 \times 0,5 \times 365$$

$$= 3390,97$$

$$W_t = 3390,97 \times \frac{(1+0,075)^{20} - 1}{0,075}$$

$$= 146844,88$$

9) Golongan IV (Truk Trailer)

$$\hat{W}_{18} = 79 \times 1,74929 \times 0,5 \times 0,5 \times 365$$

$$= 12610,19$$

$$W_t = 12610,19 \times \frac{(1+0,075)^{20} - 1}{0,075}$$

$$= 546080,26$$

JBI	Golongan	Jenis Kendaraan	LHR	DD	DL	E
I	2	Sedan	33977	0,5	0,5	0,00045
I	3	Mobil Pick up mobil hantaran mobil box	2097	0,5	0,5	0,00423
I	4	Angkutan non bus	282	0,5	0,5	0,01762
I	5A	Bus sedang	378	0,5	0,5	0,05937
II	5B	Bus Besar	694	0,5	0,5	0,04392
III	6B	Truk sedang	1702	0,5	0,5	0,73454
IV	7A	Truks besar	809	0,5	0,5	0,64384
IV	7B	Truk gandeng	68	0,5	0,5	0,54649

IV	7C	Truk trailer	79	0,5	0,5	1,74929	1
Jumlah							

Tabel 4. 15 Hasil perhitungan nilai beban gandar standar kumulatif (\hat{W}_{18}) dan

Jumlah beban gandar standar kumulatif (W_t) akibat beban standar

b. Beban berlebih

1) Golongan I (mobil pick up, mobil box, mobil hantaran)

$$\begin{aligned} \text{LHR} &= 2097 \times 27,5 \% &&= 577 \\ \hat{W}_{18} &= 577 \times 0,03018 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 1589,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_t &= 1589,01 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 68811,78 \end{aligned}$$

2) Golongan III (Truk Sedang 2 As)

$$\begin{aligned} \text{LHR} &= 1702 \times 37,5 \% &&= 638 \\ \hat{W}_{18} &= 638 \times 7,92777 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 461534,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_t &= 461534,95 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075} \\ &= 19986623,93 \end{aligned}$$

3) Golongan IV (Truk Besar 3 As)

$$\begin{aligned} \text{LHR} &= 809 \times 19,4 \% &&= 157 \\ \hat{W}_{18} &= 157 \times 5,22121 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \\ &= 74800,36 \end{aligned}$$

$$W_t = 74800,36 \times \frac{(1+0,075)^{20}-1}{0,075}$$

JBI	Golongan	Presentase	LHR	LHR *)	DD	DL	E	\hat{W}_{18}	W_t
I	2	100%	33977	33977	0,5	0,5	0,00045	1395,18	60417,85
I	3	27,5%	2097	577	0,5	0,5	0,03018	1589,01	68811,78
		72,7%		1525	0,5	0,5	0,00423	588,63	25490,48
I	4	100%	282	282	0,5	0,5	0,01762	453,41	19634,63
I	5A	100%	378	378	0,5	0,5	0,05937	2047,82	88680,18
II	5B	100%	694	694	0,5	0,5	0,04392	2781,34	120445,21
III	6B	37,5%	1702	638	0,5	0,5	7,92777	461534,95	19986623,93
		62,5%		1064	0,5	0,5	0,73454	71316,49	3088337,81
IV	7A	19,4%	809	157	0,5	0,5	5,22121	74800,36	3239205,74
		80,6%		652	0,5	0,5	0,64384	38305,26	1658797,11
IV	7B	15,5%	68	11	0,5	0,5	3,11513	3126,81	135405,59
		84,5%		57	0,5	0,5	0,54649	2842,43	123090,57
IV	7C	100%	79	79	0,5	0,5	1,74929	12610,19	546080,45
Jumlah								673.424,53	29.161.021,33

$$= 3239205,74$$

4) Golongan IV (Truk Gandeng)

$$\begin{aligned} \text{LHR} &= 68 \cdot 15,5 \% = 11 \\ \hat{W}_{18} &= 11 \times 3,11513 \times 0,5 \times 0,5 \times 365 \end{aligned}$$

$$= 3126,81$$

$$W_t = 3126,81 \times \frac{(1+0,075)^{20} - 1}{0,075}$$

$$= 135405,59$$

Tabel 4. 16 Hasil perhitungan nilai beban gandar standar kumulatif (\hat{W}_{18}) dan Jumlah

beban gandar standar kumulatif (W_t) akibat beban berlebih

Hasil dari perhitungan nilai beban gandar standar kumulatif (\hat{W}_{18}) dan Jumlah beban gandar standar kumulatif (W_t) didapatkan jumlah keseluruhan

akibat beban standard an beban berlebih. Nilai beban gandar standar kumulatif dalam satu tahun akibat beban standar diperoleh nilai 185.906,39 dan akibat beban berlebih diperoleh nilai 673.424,53 dengan nilai selisih dari kedua nilai tersebut adalah 487.518,14. Nilai jumlah beban gandar standar kumulatif (Wt) akibat beban standar diperoleh sebesar 8.015.565,30 dan akibat beban berlebih diperoleh nilai sebesar 29.161.021,33 dengan selisih nilai keduanya yaitu sebesar 21.145.456,03

Umur layan jalan jika diperhitungkan karena terkena beban berlebih, maka sisa umur layan tersebut dapat diketahui dengan membagi hasil jumlah beban gandar standar kumulatif untuk beban standar dan berlebih.

$$\begin{aligned} \text{Sisa umur layan} &= \frac{8.015.565,30}{29.161.021,33} \\ &= 5 \\ \text{Sisa umur layan} &= 20 - 5 \\ &= 15 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Jadi sisa umur layan jalan karena dampak beban berlebih yang diterima pada jalan yaitu 15 tahun.

4.2.9. Nilai CBR Tanah Dasar

Nilai CBR tanah dasar pada penelitian ini menggunakan CBR 5,4 % berdasarkan susunan lapisan perkerasan lama yang telah digunakan pada jalan tersebut. Dari nilai CBR yang digunakan, maka dapat diketahui nilai Modulus Resilien dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} Mr &= 1500 \times \text{CBR} \\ Mr &= 1500 \times 5,4 \\ &= 8100 \text{ psi} \end{aligned}$$

4.2.10. Tebal Perkerasan

Analisis tebal perkerasan lentur akibat beban standard an beban berlebih (overloading) pada penelitian ini menggunakan metode AASHTO 1993 yang mana dengan menggunakan grafik nomogram untuk menentukan

nilai SN selanjutnya dilanjutkan dengan perhitungan untuk mendapatkan nilai ketebalan lapis perkerasan disetiap layernya. Dengan data – data yang telah diketahui, perhitungan dapat dilakukan dan adapun langkah – langkahnya adalah sebagai berikut.

4.1. Beban Standar

Dari penarikan garis pada grafik nomogram, diperoleh nilai SN (*Structural*

Number) untuk masing – masing lapis perkerasan.

$$\text{SN (Mr = 8100)} = 4,7$$

$$\text{SN}_1 (\text{Mr} = E_{\text{BS}} = 30.000 \text{ psi}) = 3$$

$$\text{SN}_2 (\text{Mr} = E_{\text{SB}} = 17.000 \text{ psi}) = 3,7$$

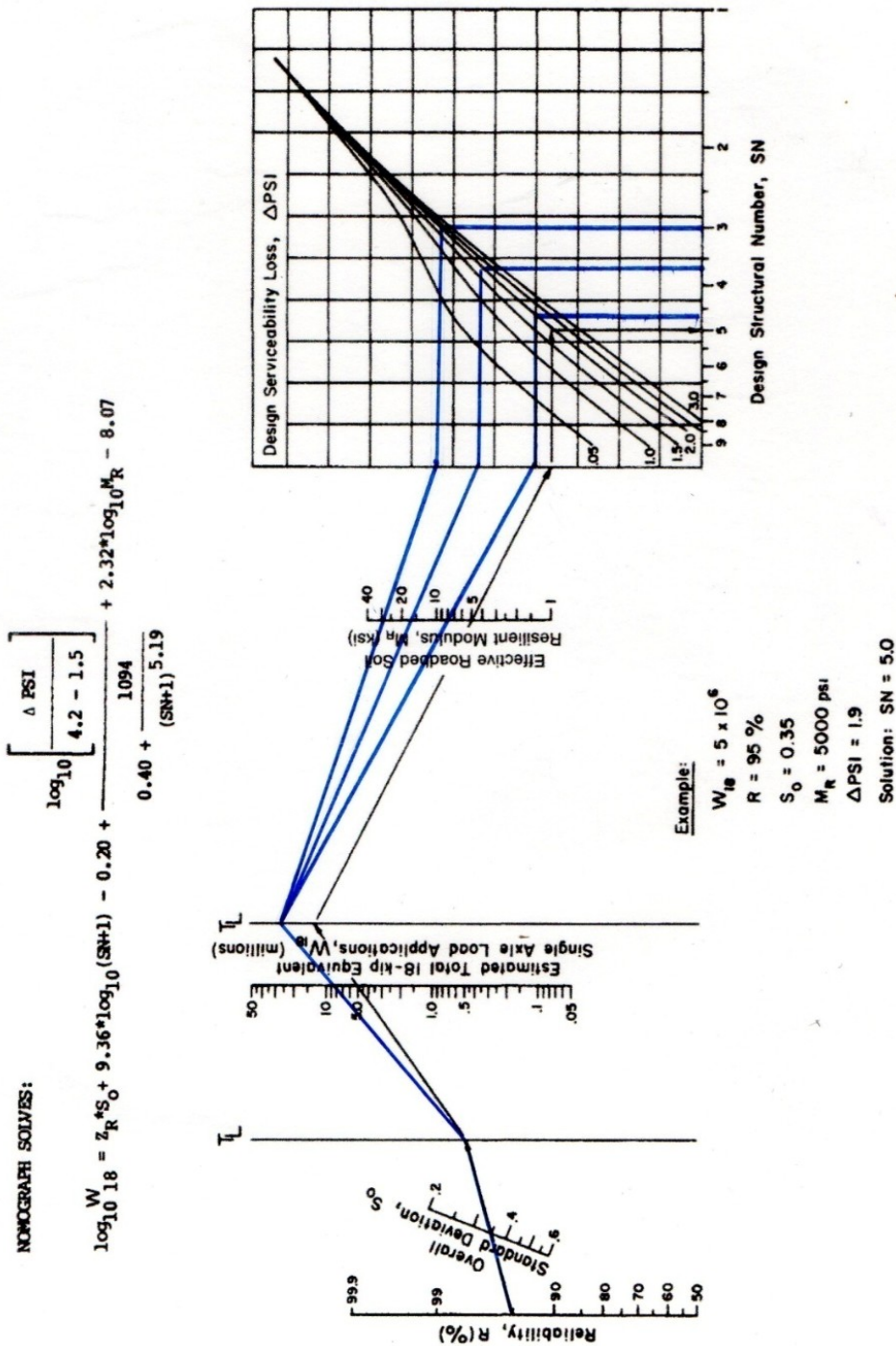


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

Gambar 4. 6 Menentukan nilai *Structural Number* pada beban standar

Setelah diketahui nilai Sn untuk setiap lapis perkerasan, dapat menghitung untuk mendapatkan nilai tebal perkerasan untuk masing – masing lapis perkerasan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

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

Dengan ketentuan susunan tebal perkerasan sebagai berikut,

$$D_1^i \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^i = a_1 D_1^i \geq SN_1$$

$$D_2^i \geq \frac{SN_2 - SN_1^i}{a_2 m_2}$$

$$SN_1^i + SN_2^i \geq SN_2$$

$$D_3^i \geq \frac{SN_3 - (SN_1^i + SN_2^i)}{a_3 m_3}$$

Maka perhitungan tersebut adalah,

$$D_1^i \geq \frac{3}{0,4}$$

$$D_1^i \geq 7,5 \text{ inchi}$$

$$SN_1^i = 0,4 \times 7,5 \geq 3$$

$$= 3$$

$$D_2^i \geq \frac{3,7 - 3}{0,14 \times 1,15}$$

$$D_2^i \geq 4,3 \text{ inchi}$$

$$SN_1^i + SN_2^i \geq SN_2$$

$$3 + (0,14 \times 4,3 \times 1,15) \geq 3,7$$

$$3,7 \geq 3,7$$

$$D_3^i \geq \frac{4,7 - (3 + 0,7)}{0,12 \times 1,15}$$

$$\geq 7,3 \text{ inchi}$$

Dari perhitungan diatas, dapat diketahui tebal perkerasan:

$$D_1 = 7,5 \text{ inchi} = 191 \text{ mm}$$

$$D_2 = 4,3 \text{ inchi} = 109 \text{ mm}$$

$$D_3 = 7,3 \text{ inchi} = 185 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} D_1 + D_2 + D_3 &= 7,5 + 4,3 + 7,3 \\ &= 19,1 \text{ inchi} \end{aligned}$$

4.2. Beban Berlebih

Dari penarikan garis pada grafik nomogram, diperoleh nilai SN

(*Structural Number*) untuk masing – masing lapis perkerasan.

$$SN (Mr = 8100) = 5,5$$

$$SN_1 (Mr = E_{BS} = 30.000 \text{ psi}) = 3,5$$

$$SN_2 (Mr = E_{SB} = 17.000 \text{ psi}) = 4,1$$

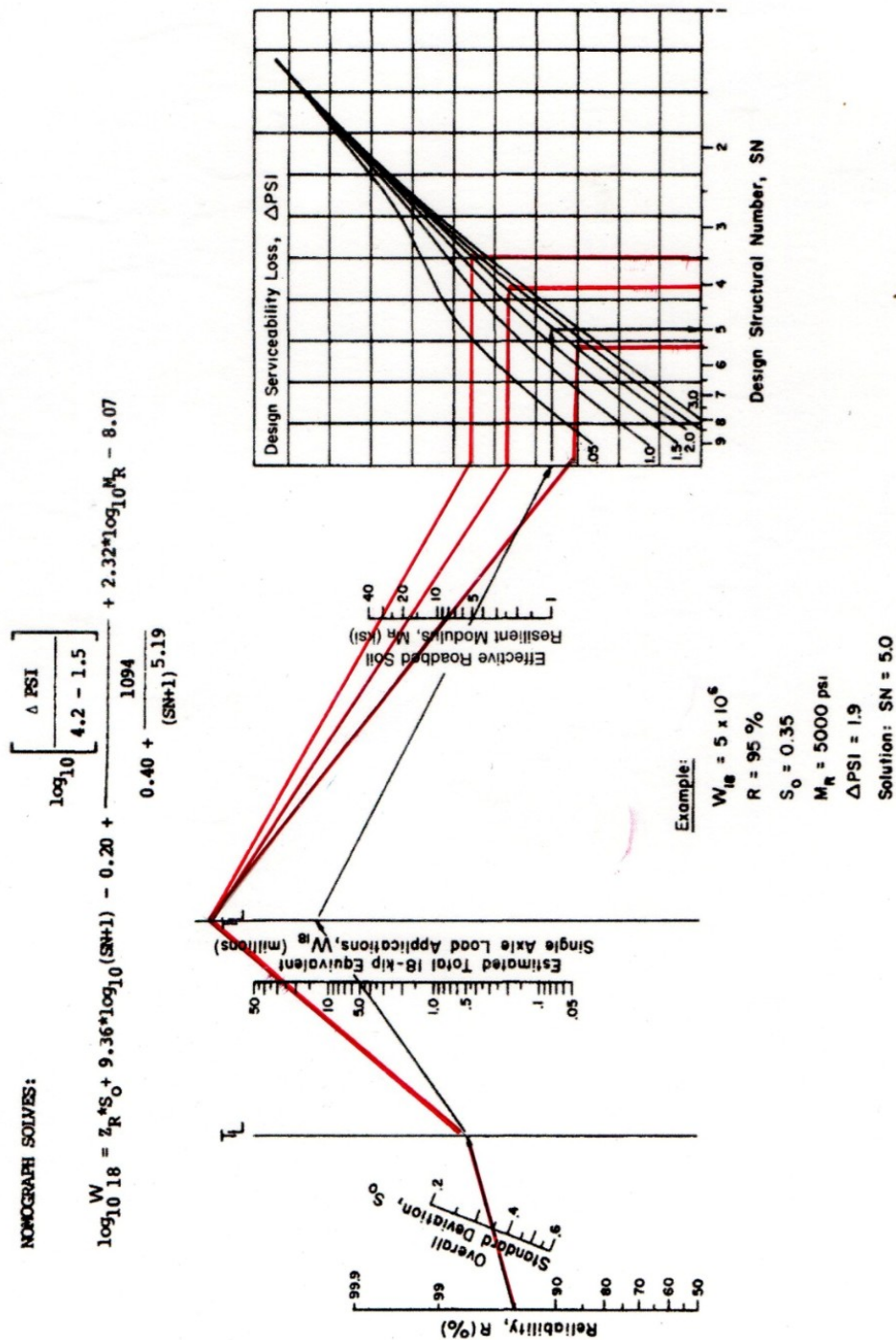


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

Gambar 4. 7 Menentukan nilai *Structural Number* pada beban berlebih.

Setelah diketahui nilai Sn untuk setiap lapis perkerasan, dapat menghitung untuk mendapatkan nilai tebal perkerasan untuk masing – masing lapis perkerasan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

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

Dengan ketentuan susunan tebal perkerasan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 D_1^i &\geq \frac{SN_1}{a_1} \\
 SN_1^i &= a_1 D_1^i \geq SN_1 \\
 D_2^i &\geq \frac{SN_2 - SN_1^i}{a_2 m_2} \\
 SN_1^i + SN_2^i &\geq SN_2 \\
 D_3^i &\geq \frac{SN_3 - (SN_1^i + SN_2^i)}{a_3 m_3}
 \end{aligned}$$

Maka perhitungan tersebut adalah,

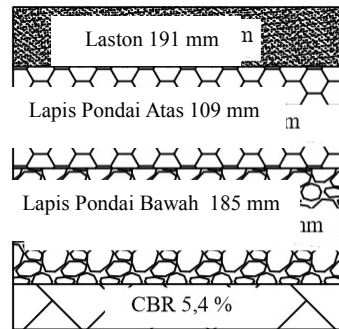
$$\begin{aligned}
 D_1^i &\geq \frac{3,5}{0,4} \\
 D_1^i &\geq 8,75 \text{ inchi} \\
 SN_1^i &= 0,4 \times 8,75 \geq 3,5 \\
 &= 3,5 \\
 D_2^i &\geq \frac{4,1 - 3,5}{0,14 \times 1,15} \\
 D_2^i &\geq 3,7 \text{ inchi} \\
 SN_1^i + SN_2^i &\geq SN_2 \\
 3,5 + (0,14 \times 3,7 \times 1,15) &\geq 4,1 \\
 4,1 &\geq 4,2 \\
 D_3^i &\geq \frac{5,5 - (3,7 + 0,6)}{0,12 \times 1,15} \\
 &\geq 8,7 \text{ inchi}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat diketahui tebal perkerasan:

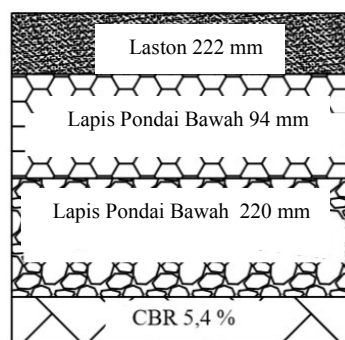
$$\begin{aligned}
 D_1 &= 8,75 \text{ inchi} = 222 \text{ mm} \\
 D_2 &= 3,7 \text{ inchi} = 94 \text{ mm} \\
 D_3 &= 8,7 \text{ inchi} = 220 \text{ mm} \\
 D_1 + D_2 + D_3 &= 8,75 + 3,7 + 8,7 \\
 &= 21,15 \text{ inchi}
 \end{aligned}$$

4.2.10. Tebal Perkerasan

Setelah dilakukan perhitungan dan didapatkan tebal lapis perkerasan, maka dapat di gambarkan tebal lapis perkerasan pada Gambar 4.4 dan 4.5



Gambar 4. 8 Tebal lapis perkerasan dengan beban standar



Gambar 4. 9 Tebal lapis perkerasan dengan beban berlebih

4.3. Perhitungan dengan program *Circlly 6.0*

4.3.1. Data – Data Material yang Digunakan

Material yang akan dianalisis pada program *circlly* berupa lapisan laston , lapis pondasi atas granular, dan lapis pondasi bawah granular.

4.3.2. Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas dibutuhkan untuk mengetahui kemampuan suatu benda menahan beban yang akan diterima sehingga menyebabkan terjadinya suatu semakin besar pula deformasi atau lendutan. Jika nilai modulus elastisitas semakin besar, maka semakin besar pula nilai kekakuan benda tersebut dan ketidakmampuan untuk menahan beban yang akan diterimanya. Nilai modulus elastisitas digunakan untuk material dan struktur tanah dasar berbeda. Untuk modulus elastisitas yang digunakan berdasarkan lapis perkerasan terdapat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Nilai modulus elastisitas

Lapis perkerasan	Modulus	Modulus
	Elastisitas (Psi)	Elastisitas (MPa)
Laston	360.000	2500
Lapis pondasi atas granular	30.000	207
Lapis pondasi bawah granular	17.000	117

Nilai modulus elastisitas untuk tanah dasar menggunakan persamaan modulus resilien yang diketahui nilai CBR tanah dasar dari perkerasan lama dalah 5,4. Maka nilai modulusnya adalah :

$$Mr = 1500 \times CBR$$

$$Mr = 1500 \times 5,4$$

$$= 8100 \text{ psi}$$

$$= 54 \text{ MPa}$$

4.3.4. Nilai poisson's ratio

Nilai *poisson's ratio* yang digunakan pada lapis perkerasan berdasarkan jenis tanahnya. Untuk nilai passion ratio pada tanah menggunakan berdasarkan Bowles (1992) .Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19

Tabel 4.18 Nilai poisson's ratio untuk lapis perkerasan

	jenis material	<i>poission's ratio</i>	
Tabel 4.19	Laston	0,4	Nilai poisson's
	Lapis pondasi atas granular	0,35	
	Lapis pondasi bawah granular	0,35	

ratio menurut Bowles (1992)

	jenis tanah	<i>poission's ratio</i>
	lempung jenuh	0,4 - 0,5
	lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
	lempung berpasir	0,2 - 0,3
	lanau	0,3 - 0,35
	pasir	0,1 - 1,0
	batuan	0,1 - 0,4
	umum dipakai untuk tanah	0,3 - 0,4

4.3.5. Nilai Performance Exponent (b)

Nilai *performance exponent* yang digunakan berdasarkan jenis materialnya. Berdasarkan materialnya diinput ke program Circly pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Nilai performance exponent

Jenis Material	<i>performance exponent</i>
Aspal	5
Tanah dasar	7

4.3.6. Pengolahan data

Pengolahan data dengan program Circly dilakukan setelah semua nilai parameter diinput pada program. Dapat dilihat pada Tabel 4.21

Tabel 4.21 Nilai yang diinput pada Circly 6.0

Jenis material	Modulus	<i>poisson' s ratio</i>	<i>performan ce exponent</i>
Laston	2500	0,4	5
Lapis pondasi atas granular	207	0,35	-
Lapis pondasi bawah granular	117	0,35	-
Tanah dasar	54	0,45	7

4.3.7. Hasil output

a. Hasil nilai CDF (*cumulative Damage Factor*)

1) Beban standar

No.	ID	Title	Current Thickness	CDF
1	laston	laston	191.00	2.01E-01
2	PONDASI ATAS	GRANULAR 207 MPa	109.00	
3	PONDASI BAWAH	GRANULAR 117 MPa	225.00	
4	CBR	CBR 5,4	0.00	2.30E-03

Gambar 4. 10 Hasil *output* beban standar dengan nilai CDF sudah memenuhi.

2) Beban Berlebih

No.	ID	Title	Current Thickness	CDF
1	laston	laston	222.00	3.39E-01
2	PONDASI ATAS	GRANULAR 207 MPa	94.00	
3	PONDASI BAWAH	GRANULAR 117 MPa	209.00	
4	CBR	CBR 5,4	0.00	3.61E-03

Gambar 4. 11 Hasil *output* beban berlebih dengan nilai CDF sudah memenuhi.

- b. Nilai Regangan
1) Beban Standar

Tabel 4.22 Hasil output nilai regangan

Jenis material	Tebal (mm)	Regangan Tarik Horizontal	Regangan Tekan Vertikal
Laston	191	0,000192	-
Lapis pondasi atas granular	109	-	-
Lapis pondasi bawah granular	225	-	-
Tanah dasar		-	0,000403

- 2) Beban Berlebih

Tabel 4.23 Hasil output nilai regangan

Jenis material	Tebal (mm)	Regangan Tarik Horizontal	Regangan Tekan Vertikal
Laston	222	0,000165	-
Lapis pondasi atas granular	94	-	-
Lapis pondasi bawah granular	209	-	-
Tanah dasar		-	0,000358

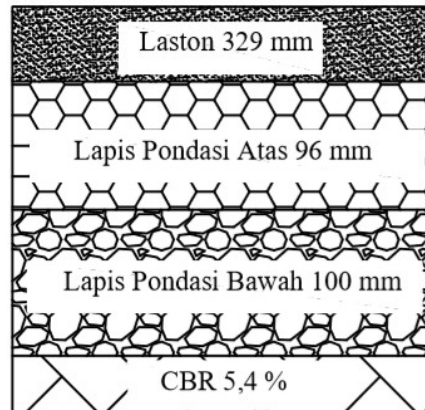
Dari hasil analisis menggunakan program, dapat diketahui untuk beban standar dengan ketebalan laston 191 mm, ketebalan lapis pondasi atas 110 mm, dan lapis pondasi bawah 224mm sudah memenuhi dengan kriteria karena *output* nilai CDF $2,01 \times 10^{-1}$ yang berarti kapasitas umur berlebih dan mewakili proporsi umur perkerasan yang dikonsumsi oleh lalu lintas desain. Dari analisis tersebut menghasilkan nilai regangan tarik

horizontal pada laston sebesar 0,000192 dan nilai regangan tekan vertikal 0,000403.

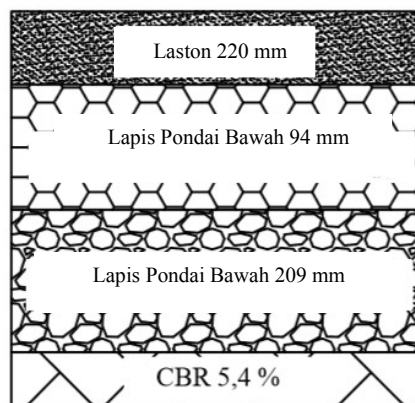
Untuk tebal perkerasan beban berlebih setelah dilakukan analisis tebal perkerasan didapat nilai yang sudah memenuhi dengan ketebalan laston 222 mm, ketebalan lapis pondasi atas 209 mm, dan lapis pondasi bawah 94 mm telah memenuhi kriteria karena *output* nilai CDF $3,3 \times 10^{-1}$ yang berarti kapasitas umur berlebih dan mewakili proporsi umur perkerasan yang dikonsumsi oleh lalu lintas desain. Dari analisis tersebut menghasilkan nilai regangan tarik horizontal pada laston sebesar 0,000165 dan nilai regangan tekan vertikal 0,000358.

Regangan kritikal yang terjadi pada kedua perkerasan dengan beban standar dan beban berlebih berbeda. Regangan kritikal yang terjadi pada suatu perkerasan terdiri dari regangan tarik horizontal serta regangan tekan vertikal. Dari hasil analisis menggunakan program Circlay, material Laston mengalami regangan tarik horizontal yang mana mengalami penyusutan dan tanah dasar mengalami regangan tekan vertikal yang berarti terkena deformasi. Tanah dasar mengalami regangan tekan vertikal yang diartikan karena dampak terkena deformasi oleh beban yang diterima di atasnya. Regangan tekan vertikal tanah dasar pada beban standar mengalami gaya lebih besar dibandingkan dengan beban berlebih. Beban yang terjadi pada suatu perkerasan jalan karena beban berlebih, maka mengalami penyusutan atau deformasi.

c. Tebal Perkerasan



Gambar 4. 12 Tebal lapis perkerasan dengan beban standar.



Gambar 4. 13 Tebal lapis perkerasan dengan beban berlebih.

Dari hasil analisis perhitungan hingga analisis menggunakan program Circlly, diperoleh tebal perkerasan yang telah memenuhi kriteria dengan beban yang melintasi yaitu beban standar dan beban berlebih. Diperoleh tebal perkerasan untuk beban standar yaitu dengan laston 191 mm, lapis pondasi atas 109, dan lapis pondasi bawah 225 mm. Sedangkan untuk beban berlebih yang sudah memenuhi kriteria yaitu depan lapis laston 222 mm , lapis pondasi atas 94 mm, dan lapis pondasi bawah 209. Dampak dari beban berlebih pada jalan mengakibatkan pengurangan umur

laya jalan menjadi 15 tahun dengan umur rencana awal adalah 20 tahun. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Wandi dkk.(2016) bahwa dampak beban berlebih atau *overloading* pada jalan mengakibatkan perbedaan beban standard an beban berlbih untuk desain perkerasan jalan. Untuk tebal perkerasan pada beban standar yaitu lapis permukaan ac-wc 40 mm dan 60mm, lapis pondasi atas 150 mm, dan lapis pondasi bawah 200 mm. sedangkan tebal perkerasan pada beban berlebih yaitu dengan lapis permukaan ac-wc 40 mm dan 60 mm, lapis pondasi atas 250 mm, an lapis pondasi bawah 320 mm. Pada perkerasan jalan tersebut juga mengalami pengurangan umur laya jalan yaitu menjadi 11 tahun dari umur rencana awal adalah 20 tahun.