

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Metode Bina Marga 1987 Eksisting

1. Hasil data Eksisting

Data lalu lintas ruas Jalan Imogiri Timur adalah data sekunder yang didapat dari laporan Departemen Pekerjaan Umum (DPU) Kasub Dinas Bina Marga Yogyakarta tahun 2016. Data lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut.

- Pertumbuhan lalu lintas (i) = 5 %
 Umur Rencana (UR) = 20 tahun
 Distribusi kendaraan = 2 jalur, 4 lajur, dan 2 arah ($C = 0,5$)
 Susunan lapis perkerasan
- 1.) *Surface Course* = Laston MS 590
 - 2.) *Base Course* = Batu pecah agregat kelas A
 - 3.) *Sub base course* = Sirtu kelas A

2. Hasil Rekapitulasi Perhitungan

Perhitungan lintas harian rata-rata (LHR) yang diperoleh dari hasil survei volume lalu lintas. Distribusi kendaraan adalah 0,5 karena ruas jalan imogiri timur menggunakan jalan 2 jalur, 4 lajur, dan 2 arah. Lintas *Ekivalen* Rerata (LEP) dan Lintas *Ekivalen* Akhir (LEA). Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Angka *Ekivalen* Bina Marga 1987

Golongan	Konfigurasi Sumbu		Total Berat (Mpa)	Angka Ekivalen
1 dan 2	1000	1000	2000	0,00045
3	2621,4	5088,6	7710	0,16188
4	2822	5478	8300	0,21741
5a	3060	5940	9000	0,30057
5b	3060	5940	9000	0,30057
6a	6188	12012	18200	5,02641

Tabel Lanjutan 5.1 Angka Ekuivalen Bina Marga 1987

Golongan	Konfigurasi Sumbu				Total Berat (Mpa)	Angka Ekuivalen
6b	6250	9375	9375		25000	2,74157
7a	4716	10472	10472		26200	4,24393
7b	5338	10990	7536	7536	31400	4,92829

Perhitungan lintas ekuivalen dapat dilihat pada tabel 5.2 sebagai berikut.

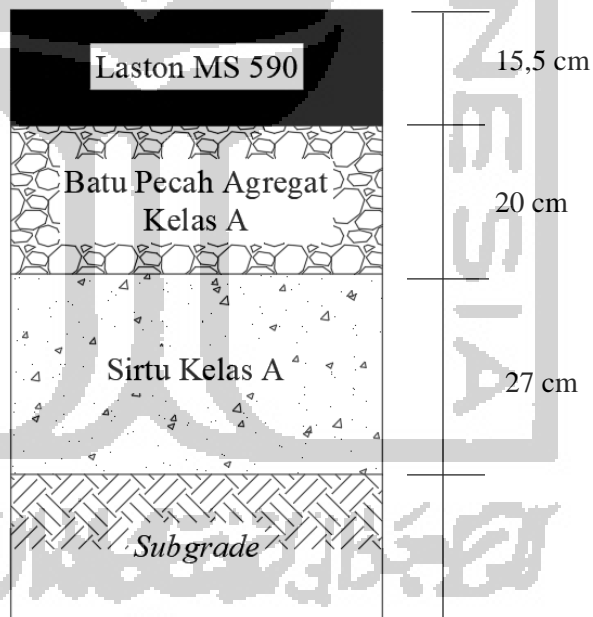


Tabel 5.2 Rekapitulasi perhitungan Lintas *Ekivalen*

Golongan	Jenis kendaraan	Tipe Gandar	Jumlah Kendaraan 2016	LHR 2019	c	LEP 2019	LEA
				Kendaraan	SNI hal 9	<i>Esal</i>	<i>Esal</i>
1	Motor	1,1	2239	2592	0,5	0,5846	1,0975
2	Sedan, Jeep	1,1	2145	2484	0,5	0,5603	1,0517
3	Minibus	1,2	1356	1570	0,5	127,0748	238,6092
4	Pick-up	1.2L	1221	1414	0,5	153,7107	288,6151
5A	Bus Kecil	1,2	74	86	0,5	12,9244	24,3460
5B	Bus Besar	1,2	7	9	0,5	1,3526	2,5548
6A	Truk 2 sumbu 4 roda	1.2H	88	102	0,5	256,3468	482,5352
6B	Truk 2 sumbu 6 roda	1,22	154	179	0,5	245,3707	461,9550
7A	Truk 3 sumbu	1.2.2	68	79	0,5	167,6352	316,1727
7B	Truk Gandengan	1.2+2.2	16	19	0,5	46,8187	88,7092
7C	Truk Semi trailer	1.2.2+2.2	0	0	0,5	0,0000	0,0000
8	Kend. Tidak Bermotor	1.2.2+2.2.2	0	0	0,5	0,0000	0,0000
		Jumlah	7368	8534		1012,3788	1905,6464

Tabel 5.3 Perhitungan Tebal Perkerasan

Perhitungan Tebal Perkerasan					
Subjek	Nilai	ITP	Tebal (cm)	Tebal Min (cm)	Dipakai (cm)
DDT 1	10,3	5,4	15,4285	5	15,5
LER	1459,0126				
FR	2				
DDT 2	9,6	6	4,1071	20	20
LER	1459,0126				
FR	2				
DDT 3	4,9	11,7	26,7307	10	27
LER	1459,0126				
FR	2				



Gambar 5.2 Tebal Lapisan Lentur Eksisting Bina Marga 1987

5.2 Perhitungan dengan Metode Bina Marga 2013

1. Kondisi Lalu Lintas

Data lalu lintas ruas jalan Imogiri Timur adalah data sekunder yang didapat dari laporan . Data lalu lintas ruas jalan Imogiri Timur dapat dilihat pada Tabel 5.4 dalam Manual Desain Perkerasan Lentur Nomor 02/M/BM/2013 dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 5.4 Data Lalu Lintas Ruas Jalan Imogiri Timur

No.	Data	Keterangan
1	Jenis jalan	Lokal
2	Umur Rencana (UR)	20 tahun (2016-2035)
3	Pertumbuhan lalu lintas (i)	5%
4	Distribusi kendaraan	2 jalur 4 lajur 2 arah

2. Analisis Lalu Lintas

Data sekunder mengenai jumlah kendaraan pada tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Volume Kendaraan Lalu Lintas Ruas jalan Imogiri Timur

No.	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan
1	Mobil Penumpang, Minibus, Pick-Up, dll.	4755
2	Bus Besar dan Kecil Golongan 5a	74
3	Bus Besar dan Kecil Golongan 5b	7
4	Truk 2 Sumbu 4 roda 6a	88
5	Truk 2 sumbu 6 roda 6b	154
6	Truk 3 Sumbu 7a	68
7	Truk Gandeng 7b	16

3. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas pada jalan tersebut dari tahun 2016 sampai 2029 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut:

Tabel 5.6 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Tahun	%/Tahun
2016 – 2019	5
2019 - 2029	6,5

Sumber : BINA MARGA (2017)

4. Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Nilai distribusi lajur untuk kendaraan niaga (truk dan bus) untuk jalan Imogiri timur ditetapkan dalam Tabel 5.7 Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur pada setiap tahun selama umur rencana.

Tabel 5.7 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Jumlah Lajur Setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (%terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber: Bina Marga (2013)

4. *VDF (Vehicle Damage Factor)*

Beban kendaraan mempunyai angka ekivalen atau *VDF (Vehicle Damage Factor)* merupakan perhitungan beban lalu lintas yang diperoleh dari sumbu depan dan sumbu belakang.

5. *Traffic multiplier (TM)*

Nilai *Traffic multiplier (TM)* untuk kondisi pembebanan berlebih di Indonesia sekitar 1,8 – 2. Nilai *TM* digunakan adalah $TM = 2$, dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana

Jenis Kendaraan		LHR/hari	VDF	DL	R	ESA_4 (Esal)	ESA_5 (Esal)
Gol 2,3,4	Mobil Penumpang	4755	0	0,8	20,979	0	0
Gol 5a	Bus Kecil	74	1	0,8	20,979	135994,269	271988,539
Gol 5b	Bus Besar	7	1	0,8	20,979	42881,076	85762,152
Gol 6a	Truk 2 gandar sedang	88	0,55	0,8	20,979	161722,915	323445,830
Gol 6b	Truk 2 gandar besar	154	5,3	0,8	20,979	660368,570	1320737,141
Gol 7a	Truk 3 Sumbu	68	8,2	0,8	20,979	3165848,582	6331697,165
Gol 7b	Truk Gandeng	16	11,8	0,8	20,979	3616712,467	7233424,934
CESA 20 TAHUN						7783527,881	15567055,76

Dari perhitungan Tabel 5.5 di atas, diperoleh hasil $CESA$ sebagai berikut.

$$CESA_4 = 7783527,881 \text{ Esal}$$

$$CESA_5 = 15567055,760 \text{ Esal}$$

6. Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan untuk lapis perkerasan lentur dihitung dari nilai $CESAL$ umur rencana,, selanjutnya hitung tebal perkerasan menggunakan

Bagan Desain 3 pada Bina Marga 2013 yang terdapat pada Tabel 3.6 pada bab sebelumnya.

Pemilihan jenis perkerasan dapat dilihat dari nilai *ESA* 20 tahun (juta) yang disajikan pada Tabel 3.4 pada bab sebelumnya. Didapatkan jenis perkerasan untuk *ESA* 20 tahun sebesar **7.783.527,881** dapat dilihat pada rincian pemilihan jenis perkerasan dan perencanaan tebal perkerasan yang dapat dilihat pada tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Pemilihan Jenis Perkerasan yang Digunakan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 - 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan $CBR \geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber: Bina Marga (2013)

Tebal lapis perkerasan lentur yang diperoleh dari nilai *CESA5* adalah **15.567.055,76**. Tebal tiap lapis perkerasan disajikan pada Tabel 3.6 pada bab

sebelumnya. sesuai dengan Bagan Desain 3 Bina Marga 2013 dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.



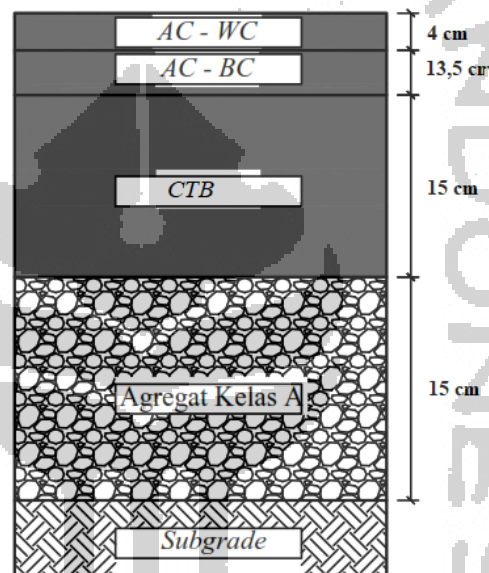
Tabel 5.10 Desain Tebal Perkerasan Lentur yang Digunakan

		STRUKTUR PERKERASAN							
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
		Lihat Desain 5 & 6					Lihat Bagan Desain 4 Untuk alternatif lebih murah ³		
	Pengulangan beban desain 20 tahun terkoreksi di Ljur desain	<0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 4,0	4,0 - 30	30 - 50	50 - 100	100 – 200	200 - 500
	Jenis permukaan berpangkat	HRS, SS, atau Penmac	HRS (6)		AC _c , atau AC _f	AC _c			
	Jenis lapis pondasi dan lapis pondasi bawah	Lapis Pondasi Berbutir A				Cement Treated Base (CTB)			
		KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)							
	HRS WC	30	30	30					
	HRS Base	35	35	35					
	AC WC				40	40	40	50	50
Lapisan beraspal	AC BC ⁵				135	155	185	220	280
CTB atau LPA Kelas A	CTB ⁴				150	150	150	150	150
	LPA Kelas A ²	150	250	250	150	150	150	150	150
LPA Kelas A, LPA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR >10%		150	250	125					

Sumber : Bina Marga (2013)

Hasil dari Tabel 5.10 di atas diperoleh tebal lapis perkerasan lentur yang disajikan pada Gambar 5.3 berikut.

1. *AC-WC* = 40 mm
2. *AC-BC* = 135 mm
3. *CTB* = 150 mm
4. *LPA Kelas A* = 150 mm.



Gambar 5.3 Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2013

5.3 Perhitungan dengan Metode Bina Marga 2017

Metode Bina Marga 2017

Dalam perancangan perkerasan lentur menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 membutuhkan tahapan penyelesaian. Berikut proses tahapan dari metode Bina Marga 2017.

1. Umur rencana jalan

Umur rencana rusa jalan Imogiri Timur adalah 20 tahun.

2. Data lalu lintas harian

Data lalu lintas harian ruas jalan Imogiri Timur dapat dilihat pada Tabel 5.2.

3. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas biasanya di tuliskan dalam persen per tahun (%/tahun). Dengan menggunakan rumus dari persamaan Tabel 3.1. Dari persamaan tersebut didapatkan faktor pertumbuhan lalu lintas dengan umur rencana 20 tahun sebesar 20,979%.

4. Faktor distribusi lajur (D_L)

Nilai distribusi lajur untuk ruas jalan Imogiri Timur Bernilai 0.8 didapatkan dari Tabel 5.4 adalah 80% karena jumlah lajur per arah adalah 2.

5. Faktor Distribusi arah (D_D)

Nilai distribusi arah untuk ruas jalan Imogiri Timur yang menggunakan jalan 2 arah faktor distribusi arah (D_D) umumnya diambil 0,50.

6. *VDF (Vehicle Damage Factor)*

Dalam desain perkeasan jenis kendaraan mempunyai angka ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*) yang didapat dari akumulasi angka ekivalen dari sumbu depan dan sumbu belakang kendaraan. *Vehicle Damage Factor* setiap golongan berdasarkan Bina Marga 2017 pada kondisi . Didapatkan dari Tabel

7. *Traffic multiplier (TM)*

Nilai *Traffic multiplier (TM)* untuk kondisi pembebanan berlebih di Indonesia sekitar 1,8 – 2. Nilai *TM* digunakan adalah $TM = 2$.

8. Beban sumbu standar kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana.

Sehingga perhitungan jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut

Tabel 5.11 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana

No	Gol	Jenis Kendaraan	Tp Gdr	Jml Kend 2016	VDF4	VDF5	DD	DL	R	ESA4 (Esal)	ESA5 (Esal)
1	1,2,3	Mobil	1,1	4722	0	0	0,5	0,8	20,979	0	0
2	5A	Bus Kecil	1,2	74	0,3	0,3	0,5	0,8	20,979	67997,134	67997,134
3	5B	Bus Besar	1,2	7	1	1	0,5	0,8	20,979	21440,538	21440,538
4	6A	Truk 2 sumbu 4 roda	1.2H	88	0,55	0,5	0,5	0,8	20,979	148246,005	134769,096
5	6B	Truk 2 sumbu 6 roda	1,22	154	4	5,1	0,5	0,8	20,979	1886767,344	2405628,364
6	7A	Truk 3 sumbu	1.2.2	68	4,7	6,4	0,5	0,8	20,979	978913,706	1332988,877
7	7B	Truk Gandengan	1.2+2.2	16	9,4	13	0,5	0,8	20,979	460665,273	637090,272
<i>CESA 20 Tahun</i>										3564030,002	4599914,281

Maka dari perhitungan Tabel 5.11 di atas didapat nilai :

a. $Cesa_4 = 4.024.924,996$ Esal

b. $Cesa_5 = 8.049.849,992$ Esal

9. Perhitungan tebal lapis perkerasan

Perhitungan tebal lapis perkerasan lentur dihitung berdasarkan nilai *CESAL* umur rencana kemudian tebal struktur perkerasan menggunakan Bagan Desain 3 pada Bina Marga 2017. Penyelesaian menggunakan perkerasan ini dipilih dengan mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana dan keterbatasan. Pemilihan jenis perkerasan dilihat pada nilai *ESA* 20 tahun (juta). Sehingga didapatkan nilai *ESA* 20 tahun sebesar 4.024.924,996 *ESAL* adalah struktur *AC-WC* modifikasi *AC* tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (*ESA* pangkat 5) dengan desain 3 Tabel 5.8 berikut adalah rincian pemilihan perkerasan dan perencanaan tebal perkerasan pada Tabel 5.12 berikut .

Tabel 5.12 Pemilihan Jenis Perkerasan yang Digunakan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 - 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan $CBR \geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga 2017

Tebal lapis perkerasannlentur diperoleh dari nilai *CESA5* sebesar 8.049.849,992
Esal Berikut adalah tebal tiap lapis perkerasan yang tertera pada Tabel 5.13 ynsng
 sesuai dengan bagan desain 3 dari Bina Marga 2017.

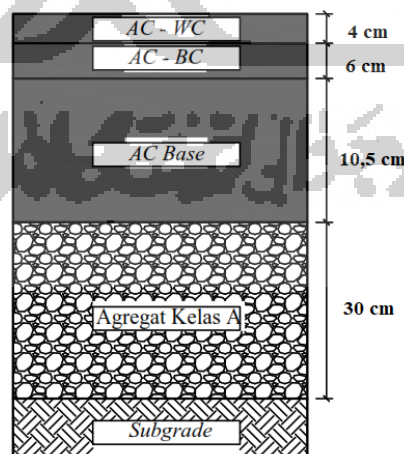
Tabel 5.13 Desain Tebal Perkerasan Lentur yang Digunakan

STRUKTUR PERKERASAN										
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9	
Solusi yang dipilih				Lihat Catatan 2						
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10)	< 2	≥ 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)										
<i>AC WC</i>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
<i>AC BC</i>	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
<i>AC Base</i>	0	70	80	105	145	160	180	210	245	
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300	
Catatan	1			2			3			

Sumber : Bina Marga (2017)

Dari Tabel 5.9 di atas maka diperoleh tebal lapis perkerasan lentur tiap lapis yang di sajikan dalam Gambar 5.4 berikut.

- 1) *AC-WC* = 40 mm
- 2) *AC-BC* = 60 mm
- 3) *AC Base* = 105 mm
- 4) LPA Kelas A = 300 mm



Gambar 5.4 Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

5.4 Perhitungan Dengan Metode AASHTO 1993

Perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993* dijelaskan sebagai berikut.

1. Umur rencana

Umur rencana perkerasan adalah 20 tahun.

2. Menentukan Nilai Indeks Pelayanan (P_o dan P_t)

Menentukan P_o dan P_t bergantung pada fungsi jalan dan kategori pembangunan sebagai berikut.

Fungsi jalan = Kolektor

Kategori pembangunan = Pelebaran jalan

Nilai P_o = 4,2 (Rekomendasi (AASHTO 1993))

Nilai P_t = 2,5

ΔPSI = $P_o - P_t$

ΔPSI = $4,2 - 2,5 = 1,7$

3. CBR Design

CBR diperoleh 5,68% dari nilai CBR 90%, karena nilainya <6% maka dilakukan pemadatan tambahan hingga mencapai nilai CBR desain sebesar 6%.

4. Modulus *resullient* tanah dasar (MR)

Ruas jalan Imogiri Timur nilai MR dihitung dengan rumus:

$MR (Psi) = 1500 \times CBR$

$MR = 1500 \times 5,68 = 8520 \text{ Psi}$

5. Koefisien distribusi kendaraan (C)

Ruas jalan 2 arah, sehingga faktor distribusi arah (DD) = 50%. Faktor distribusi lajur mengacu pada Tabel 3.8 didapatkan (D_L) = 80 % (2 lajur, 2 arah).

6. *Realiabilitas* (R)

Fungsi jalan merupakan jalan kolektor, daerah rural, berdasarkan Tabel 3.10

Tingkat *Realiabilitas* = 75% - 95% diambil 80%

7. Simpangan Baku (S_o)

Dengan nilai $R = 80\%$, maka berdasarkan Tabel 3.11 Nilai Simpangan Baku Normal (Z_R) = -0,841. $S_o = 0,44$ karena perkerasan lentur.

8. Angka *Ekivalen* (E)

Menghitung angka ekivalen (E) sebagai perbandingan umur perkerasan akibat beban lalu lintas standar (18 *Kips*) terhadap umur perkerasan akibat beban lalu lintas tidak standar (x *Kips*). Untuk hasil nilai angka *ekivalen* dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.



Tabel 5.14 Angka Ekuivalen AASHTO 1993

Tipe Kendaraan			Angka Ekuivalen				Angka Ekuivalen	
No	Gol	Jenis Kendaraan	Beban Sumbu (<i>Kips</i>)	Depan	Belakang			
1	1,2,3	Mobil (2 ton)	2,2 - 2,2	0,00023	0,00023		0,00046	
2	5A	Bus Kecil (6 ton)	4,5 - 5,1	0,00391	0,05547		0,05938	
3	5B	Bus Besar (9 ton)	6,73 - 13,07	0,01978	0,24148		0,26126	
4	6A	Truk 2 sumbu 4 roda (8,3 ton)	6,21 - 12,05	0,0143	0,20311		0,21741	
5	6B	Truk 2 sumbu 6 roda (18,2 ton)	13,61 - 24,43	0,3307	4,0383		4,369	
6	7A	Truk 3 sumbu (25 ton)	13,75 - 20,63 - 20,63	0,34416	1,49838	1,49838		3,34092
7	7B	Truk Gandengan (31,4 ton)	12,44 - 19,34 - 18,65 - 18,65	0,23017	0,0283	0,02447	0,02447	0,30741

9. Lintas Ekivalen Permulaan (LEP)

Untuk menghitung nilai LEP dapat digunakan Persamaan 3.11 pada bab sebelumnya. Hasil nilai Lintas Ekivalen Permulaan (LEP) dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Lintas Ekivalen Permulaan (LEP)

No	Jenis Kendaraan	LHR 2016	E	DD	DL	LEP
1	Mobil (2 ton)	4722	0,00046	0,5	0,8	0,868848
2	Bus Kecil (6 ton)	74	0,05938	0,5	0,8	1,757648
3	Bus Besar (9 ton)	7	0,26126	0,5	0,8	0,731528
4	Truk 2 sumbu 4 roda (8,3 ton)	88	0,21741	0,5	0,8	7,652832
5	Truk 2 sumbu 6 roda (18,2 ton)	154	4,369	0,5	0,8	269,1304
6	Truk 3 sumbu (25 ton)	68	3,34092	0,5	0,8	90,873024
7	Truk Gandengan (31,4 ton)	16	0,30741	0,5	0,8	1,967424
	Jumlah	5129	8,55584			372,981704

10. Lintas ekivalen selama umur rencana (w18)

Nilai lintas ekivalen selama umur rencana (w18) diperoleh menggunakan Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13 pada bab sebelumnya. Dalam perancangan ini , Umur rencana (UR) = 20 tahun, $i = 5\%$, Sehingga nilai $N = 12,577$ Hasil (w18) dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Lintas Ekuivalen Selama Umur Rencana (W18)

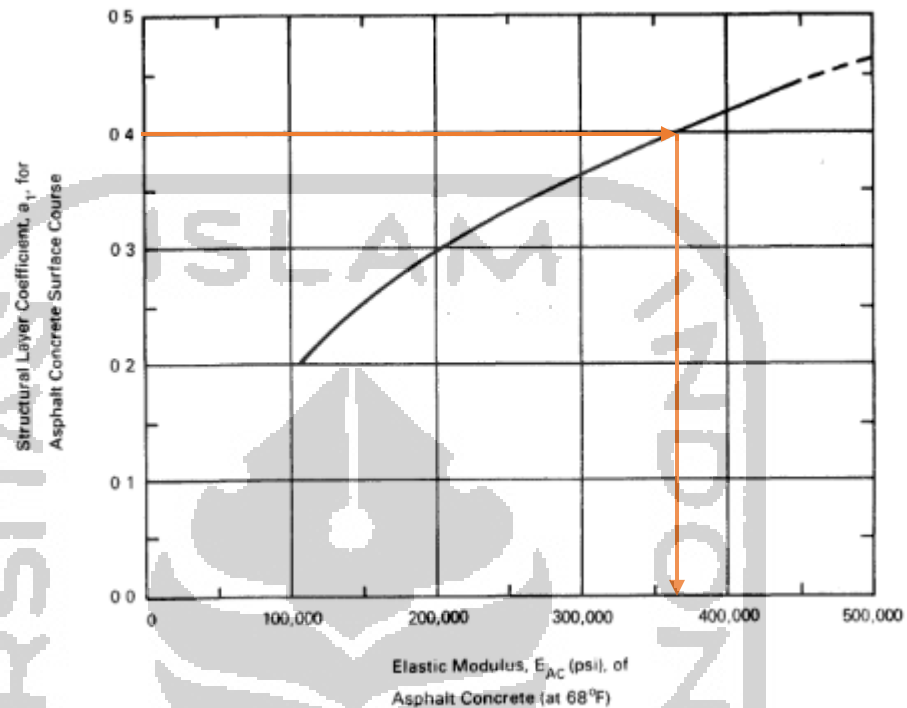
No	Jenis Kendaraan	I (%)	N	LEP	Hari	W18
1	Mobil (2 ton)	5	12,57	0,8688	365	3988,537
2	Bus Kecil (6 ton)	5	12,57	1,7576	365	8068,667
3	Bus Besar (9 ton)	5	12,57	0,7315	365	3358,156
4	Truk 2 sumbu 4 roda (8,3 ton)	5	12,57	7,652	365	35131,128
5	Truk 2 sumbu 6 roda (18,2 ton)	5	12,57	269,130	365	1235471,360
6	Truk 3 sumbu (25 ton)	5	12,57	90,8730	365	417162,158
7	Truk Gandengan (31,4 ton)	5	12,57	1,967	365	9031,666
	Jumlah			372,981		1712211,67

11. Koefisien Relatif Lapisan (a)

Pada ruas Jalan Imogiri Timur nilai koefisien lapisan (a) dapat diketahui dari perhitungan di bawah ini :

a. Lapis permukaan (*Surface Course*)

Nilai koefisien lapisan (a) pada bahan Lasbutag adalah 0,40 sehingga dapat di ketahui koefisien lapisan beton aspal a_1 atau nilai *Elastic Modulus* (E_{AC}) dengan Gambar 3.2 berikut sebesar 365.000 Psi,Dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Nilai Modulus Resilient (M_R) E_{AC}

b. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Nilai koefisien lapisan (a_2) pada bahan batu pecah adalah 0,14, karena bahan ini termasuk jenis granular, maka koefisien kekuatan relatif dapat diperoleh dari Persamaan 3.14 dan Gambar 3.3 untuk perhitungan nilai *Modulus Resilient* (M_R) sebagai berikut.

$$a_2 = (0,249 \times (\log_{10} ESB)) - 0,977$$

$$0,14 = (0,249 \times (\log_{10} ESB)) - 0,977$$

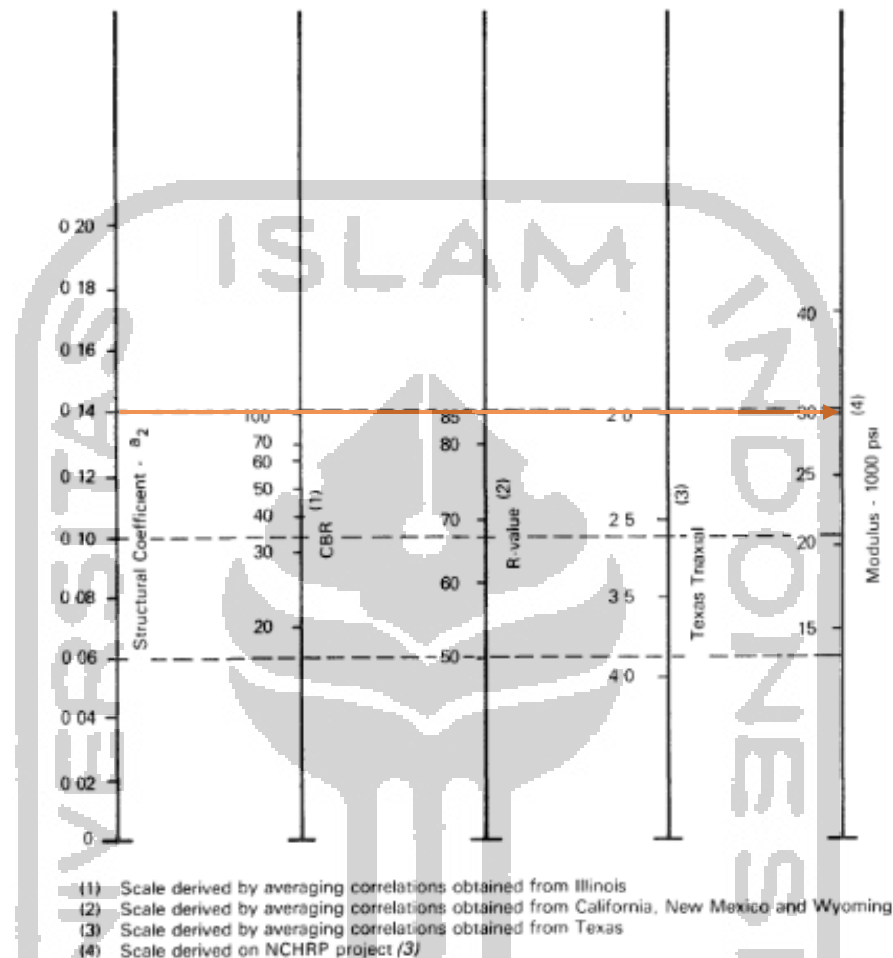
$$0,14 + 0,977 = (0,249 \times (\log_{10} ESB))$$

$$1,117 = (0,249 \times (\log_{10} ESB))$$

$$1,117/0,249 = \log_{10} ESB$$

$$4,486 = \log_{10} ESB$$

$$ESB = 30.619,63 \text{ Psi}$$



Gambar 5.6 Nilai Modulus Resilient (M_R) ESB

c. Lapis Pondai Bawah (*Sub Base Course*)

Nilai Koefisien lapisan (a_3) pada bahan Sirtu adalah 0,11 karena bahan ini termasuk jenis granular, maka koefisien kekuatan relative dapat diperoleh dari Persamaan 3.15 dan Gambar 3.4 untuk perhitungan nilai Modulus Resilient (M_R) sebagai berikut.

$$a_3 = (0,227 \times (\log_{10} E_{SB})) - 0,839$$

$$0,11 = (0,227 \times (\log_{10} E_{SB})) - 0,839$$

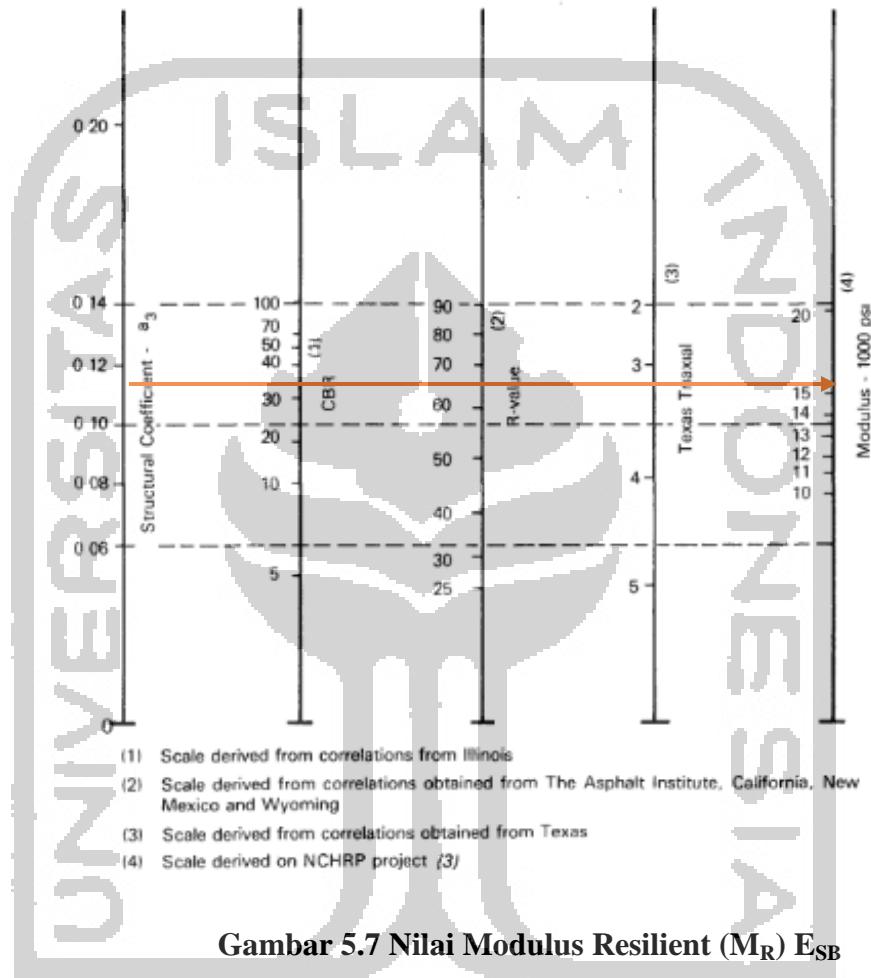
$$0,11 + 0,839 = (0,227 \times (\log_{10} E_{SB}))$$

$$0,949 = (0,227 \times (\log_{10} E_{SB}))$$

$$0,949/0,227 = (\log_{10} E_{SB})$$

$$4,181 = (\log_{10} E_{SB})$$

$$E_{SB} = 15.170,5 \text{ Psi}$$



Gambar 5.7 Nilai Modulus Resilient (M_R) E_{SB}

12. Struktural Number (SN)

Perhitungan *Struktural Number* (SN) digunakan untuk mencari nilai ketebalan masing-masing lapisan (D_i) dengan nomograph dan Persamaan 3.16, 3.17 dan 3.18. Dengan memasukkan nilai SN, koefisien drainase (m), dan koefisien lapisan (a). Berikut data-data yang digunakan dalam perhitungan lapis perkerasan menggunakan nomogram, dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Parameter Nilai SN

No	Parameter SN	Nilai
1	Umur rencana (UR)	20 tahun
2	Perkembangan lalu lintas (i)	5 %
3	Faktor distribusi lajur (DD)	0,8
4	Faktor distribusi arah (DL)	0,5
5	Lalu lintas pada lajur rencana (w18)	1712211,675 ESAL
6	<i>Modulus Resilient</i> (MR)	8520 Psi
7	Koefisien drainase (m ₂ dan m ₃)	1
8	Indeks kemampuan pelayanan awal (Po)	4,2
9	Indeks kemampuan pelayanan akhir (Pt)	2,5
10	Nilai total indeks pelayanan (ΔPSI)	1,7
11	<i>Reliabilitas</i> (R)	80%
12	Simpangan baku keseluruhan (So)	0,44
13	Standar deviasi normal (ZR)	-0,841
14	MR subgrade	8520 Psi
15	MR base	30000 Psi
16	MR Subbase	16000 Psi

Nilai SN dicari menggunakan rumus.

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

8,07

$$1) \text{Log } 1712211,675 = -0,841 \times 0,44 + 9,36 \log (\text{SN} + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log\left(\frac{1,7}{4,5-1,7}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] +$$

$$2,32 \log 7320 - 8,07$$

$$6,2335 = -0,3700 + 9,36 \log (\text{SN} + 1) - 0,2 + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] + 8,9656 - 8,07$$

$$6,2335 + 0,3700 + 0,2 - 8,9656 + 8,07 = 9,36 \log (\text{SN} + 1) + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$5,9079 = 9,36 \log (\text{SN} + 1) + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$\text{SN} = 3,6200$$

$$2) \text{Log } 1712211,675 = -0,841 \times 0,44 + 9,36 \log (\text{SN} + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log\left(\frac{1,7}{4,5-1,7}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] +$$

$$2,32 \log 30000 - 8,07$$

$$6,2335 = -0,3700 + 9,36 \log (\text{SN} + 1) - 0,2 + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] + 10,3869 - 8,07$$

$$6,2335 + 0,3700 + 0,2 - 10,3869 + 8,07 = 9,36 \log (\text{SN} + 1) + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$4,4866 = 9,36 \log (\text{SN} + 1) + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$\text{SN}_1 = 2,0656$$

$$3) \text{Log } 1712211,675 = -0,841 \times 0,44 + 9,36 \log (\text{SN} + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log\left(\frac{1,7}{4,5-1,7}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] +$$

$$2,32 \log 16000 - 8,07$$

$$6,2335 = -0,3700 + 9,36 \log (\text{SN} + 1) - 0,2 + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right] + 9,7536 - 8,07$$

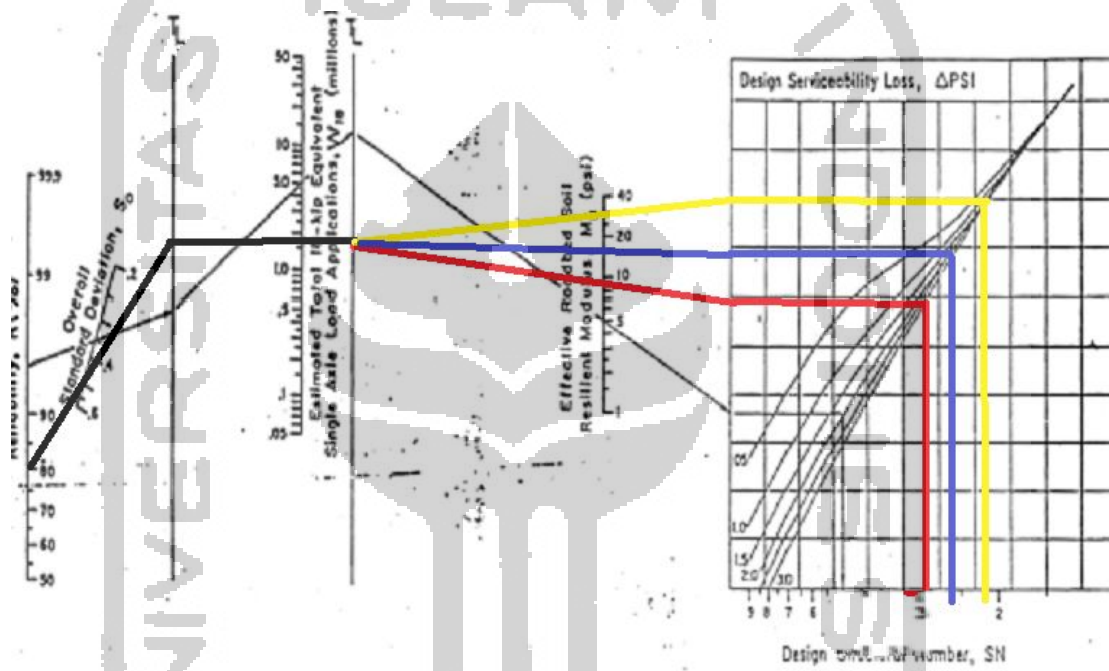
$$6,2335 + 0,3700 + 0,2 - 9,7536 + 8,07 = 9,36 \log (\text{SN} + 1) + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$5,1199 = 9,36 \log (\text{SN} + 1) + \left[\frac{-0,2466}{0,4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} \right]$$

$$SN_2 = 2,6501$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan nilai SN :

- 1) SN = 3,6200
- 2) SN₁ = 2,0656
- 3) SN₂ = 2,6501



Gambar 5.8 Nomograph Structural Number (SN)

Dari nomograph di atas didapat nilai *Structural Number (SN)* pada masing-masing lapisan berikut.

$$SN = 3,1$$

$$SN_2 = 2,8$$

$$SN_3 = 2,3$$

Sehingga tebal masing-masing perkerasan (D_i) dapat dihitung dengan persamaan 3.16, 3.17, dan 3.18 berikut.

a. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{2,3}{0,4}$$

$$= 5,75 \text{ inc} = 14,65 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm (D}_1\text{)}$$

b. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

$$D_2 = \frac{SN_2 - a_1 \cdot D_1}{a_2 \cdot m_2}$$

$$= \frac{2,8 - 0,4 \cdot \left(\frac{15}{2,54}\right)}{0,4 \cdot 1}$$

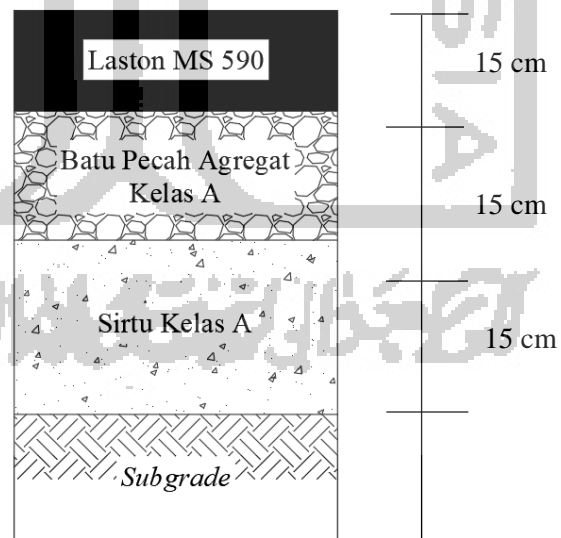
$$= 3,13 \text{ inc} = 7,95 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm (D}_2\text{)}$$

c. Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

$$D_3 = \frac{SN - a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2}{a_3 \cdot m_3}$$

$$= \frac{3,1 - 0,4 \cdot \frac{15}{2,54} + 0,14 \cdot \frac{10}{2,54}}{0,11 \cdot 1}$$

$$= 4,42 \text{ inc} = 11,23 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm (D}_3\text{)}$$



Gambar 5.9 Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993

5.5 Analisis Tebal Perkerasan Dengan Program Kenpave

Bersarkan hasil nilai tebal perkerasan dengan Metode Bina Marga 1987, tebal perkerasan tersebut dianalisis menggunakan program *kenpave* pada bagian *KENLAYER*. Data yang dihasilkan adalah nilai tegangan, regangan, dan lendutan.

1. Analisis Tebal Perkerasan Metode Bina Marga 1987

Tebal perkerasan menggunakan metode Bina Marga 1987 direncanakan terdiri dari 4 lapis. Data yang diperlukan berdasarkan nilai bahan dan hasil tebal perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Data untuk Input Program *Kenpave*

Lapis Perkerasan	Modulus Elastisitas, E (kPa)	Poisson ratio, μ	Tebal Perkerasan (cm)
<i>Surface</i>	1100000	0,40	35,5
<i>Base</i>	1600000	0,35	30
<i>Sub base</i>	1600000	0,40	27
<i>Subgrade</i>	56800	0,45	

2. Analisis tebal perkerasan dengan program *Kenpave*

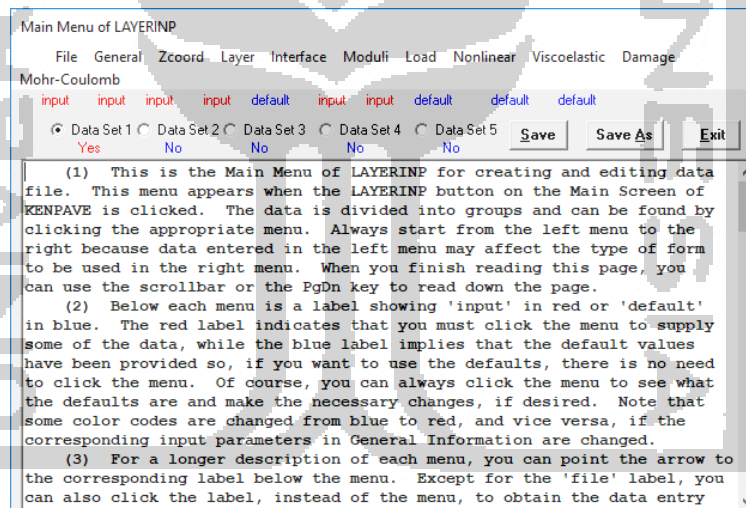
Langkah analisis tebal perkerasan metode Bina Marga 1987 menggunakan program *kenpave* layar utama dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

- a. Menu utama program *Kenpave*.



Gambar 5.10 Tampilan awal program *kenpave*

- b. Pilih menu LAYERINP kemudian pilih menu *file*, pilih *new* untuk memulai pekerjaan baru seperti Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Tampilan menu LAYERINP

- c. Pilih menu *general* isi judul pada *Title*, kemudian masukkan nilai-nilai sesuai data seperti Gambar 5.12 berikut.

General Information of LAYERINP for Set No. 1

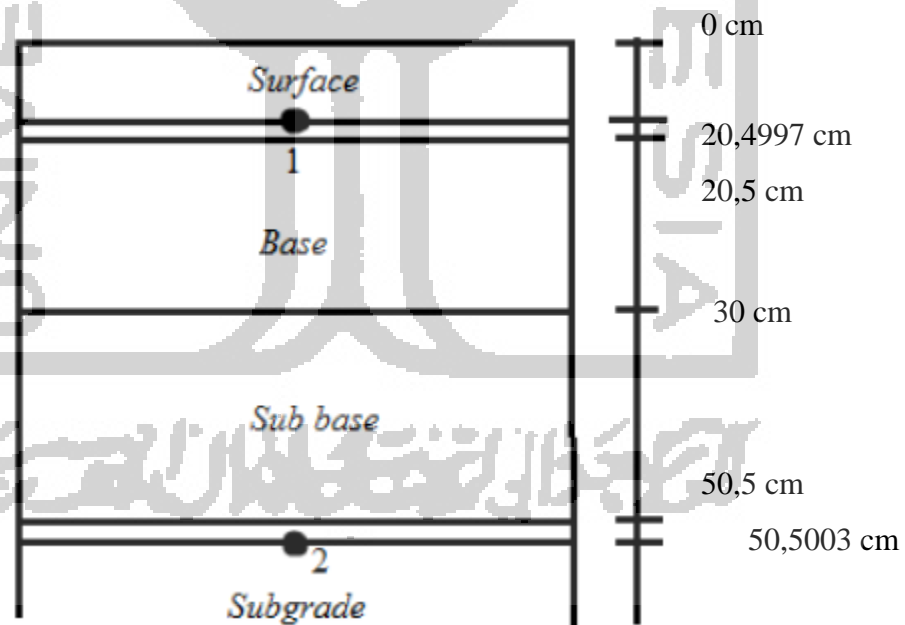
TITLE	Bina Marga 2017	
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0,001
Number of layers	(NL)	4
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	5
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	0
Number of layers for top compression	(NLTC)	0
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	1

(1) This form appears when the 'General' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the entire text, you can click this textbox to make it active and then use the PgDn key.

(2) When creating a new file, this form must be entered first because some default values to be used in the other forms vary with the system.

Gambar 5.12 Tampilan masukan data pada menu *general*

- d. Pada menu *Zcoord* masukan data ketebalan arah vertical yang akan dianalisa program. Letak titik kerusakan dapat dilihat pada Gambar 5.13 Data input *Zcoord* dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.13 Titik Kerusakan yang Ditinjau

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Point No.	ZC
1	0
2	20.4997
3	20.5
4	50.5
5	50.5003

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. To read this textbox by the PgDn key, you have to click anywhere in the box to make it active. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press

Print

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Gambar 5.14 Tampilan masukan data *Zcoord*

- e. Pilih menu *Layer* yang akan diisi dengan nilai *poisson ratio* tiap lapisan dan tebal perkerasannya seperti Gambar 5.15 berikut.

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight for Data Set No. 1

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

Layer No.	TH	PR
1	10	0.40
2	10.5	0.35
3	30	0.40
4	XXXXXXXXXX	0.45

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you should click this textbox to make it active. When you finish reading, you should click the cell to make it active before typing in the data. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can

Print

OK

Gambar 5.15 Tampilan data masukan *Layer*

- f. Pilih menu *Moduli* yang diisi adalah nilai modulus elastis setiap lapisan seperti Gambar 5.16 berikut.

Layer Moduli for Period No. 1 and Data Set No. 1

Layer No.	E
1	1100000
2	1600000
3	1600000
4	56800

(1) This form appears when the period button on the Layer Modulus of Each Period is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu.

(2) E (elastic modulus of each layer): If more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for visco-elastic layer. For a nonlinear layer, E is the assumed modulus for the first iteration and a convenient E to be assumed for both granular base and clayey subgrade is their K1 value

(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

(4) You can delete a line, or one

Print

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Gambar 5.16 Tampilan masukan data Moduli

- g. Pada menu *Load*, data yang dimasukan berdasarkan penelitian sebelumnya (Ramadhani,2018) dengan memilih kendaraan truk semi trailer roda ganda sebagai asumsi kendaraan terberat, untuk nilai *NPT* or *NR* diisi sesuai keinginan yaitu 3. Kemudian klik dua kali pada *NR* or *NPT* lalu isi jarak spasi roda pada kolom *XPT* dan *YPT* seperti Gambar 5.17 berikut.

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit	cm	kPa	cm	cm		
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	1	11	550	33	0	3

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8 for axle arrangements.

(2) LOAD (type of loading): Assign 0 for single axle with single tire, 1 for single axle with dual tires, 2 for tandem axles, and 3 for tridem axles.

(3) CR (contact radius of circular loaded ares).

(4) CP (contact pressure on circular loaded ares).

(5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y

Print

OK

Gambar 5.17 Tampilan masukan menu Load

- h. Setelah data sudah terisi lengkap kemudian di *save as, exit*.

- i. Setelah itu di run klik *Kenlayer*.
- j. Pilih menu *EDITOR*, klik *file*, open keluar hasil output analisis *KENLAYER* merupakan nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Nilai Vertical Strain dan Tangential Strain

Pengulangan Beban	Tangential Strain	Vertical Strain	Vertical Strain
1	0,0000198	0,0000574	0,000025
2	0,0000218	0,0000605	0,0000598
3	0,0000221	0,0000601	0,0000607
Maksimum	0,0000221	0,0000605	0,0000607

Dari data di atas didapat nilai regangan *tangential strain* di bawah lapis permukaan sebesar 0,0000221 untuk analisa kerusakann *fatigue cracking*. Nilai *vertical strain* atau regangan tekannya di bawah pondasi sebesar 0,0000605 untuk kerusakan *rutting* dan 0,0000607 untuk kerusakan *permanent deformation*.

Hasil tersebut dianalisis menentukan jumlah repetisi beban dengan menganalisis *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.

Perhitungan nilai *Nf* dan *Nd*

Menghitung nilai *Nf* untuk *fatigue cracking*

$$N_f = 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} I E^* I^{-0,854}$$

$$N_f = 0,0796 (0,0000221)^{-3,921} 11100000 I^{-0,854}$$

$$N_f = 991.292.018.664 \text{ Esal}$$

Menghitung nilai *Nd* untuk *rutting*

$$N_{dr} = f_4(\epsilon t)^{-f_5}$$

$$N_{dr} = 1,365 \times 10^{-9} (0,0000605)^{-4,477}$$

$$N_{dr} = 10.476.442.629 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai *Nd* untuk *permanent deformation*

$$N_{dp} = f_4(\epsilon t)^{-f_5}$$

$$N_{dp} = 1,365 \times 10^{-9} (0,0000607)^{-4,477}$$

$$Ndp = 10.322.784.985 \text{ ESAL}$$

Berdasarkan hasil analisa di atas, tebal perkerasan dengan metode Bina Marga 1987 dengan program *KENPAVE* dilanjutkan sampai mendapatkan jumlah repetisi beban berdasarkan nilai tegangan dan regangan. Analisa menggunakan nilai *Nf* dan *Nd* dari kedua metode di atas, analisa beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.20 Analisa Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas rencana (Nr)	Repetisi beban (ESAL)		Analisa beban lalu lintas
8.049.849,992 ESAL	Nf	991.292.018.664	Nf>Nr (YA)
8.049.849,992 ESAL	Ndr	10.476.442.629	Ndr>Nr (YA)
8.049.849,992 ESAL	Ndp	10.322.784.985	Ndp>Nr (YA)

Dari hasil evaluasi pada Tabel 5.12 di atas tebal perkerasan metode Bina Marga 2017 menggunakan program *KENPAVE*, dari hasil tersebut *Nf*, *Nd rutting*, dan *Nd deformation* lebih besar dari nilai *Nr*. Dapat disimpulkan tebal perkerasan yang direncanakan mampu menahan beban lalu lintas yang direncanakan selama umur rencana.

Karena terdapat perbedaan nilai yang *Nf* dan *Nd* yang jauh dari nilai *Nr*, maka perlu dilakukan percobaan alternatif ekstrem untuk membandingkan dan mendapatkan nilai *Nf* dan *Nd* yang minimum, dan mampu menahan beban selama umur rencana.

3. Alternatif Tebal Lapis Perkerasan

Dari hasil perhitungan dan analisis dengan metode mekanistik-empirik (Program *Kenpave*) dan metode Bina Marga 1987 diperoleh hasil tebal lapis perkerasan sebagai berikut.

1. AC-WC = 5 cm
2. AC-BC = 10,5 cm
3. AC Base = 30 cm
4. LPA Kelas A = 27 cm

Pada metode dilakukan percobaan desain tebal lapis perkerasan dengan melakukan alternative tebal perkerasan untuk mendapatkan nilai minimum N_f dan N_d . Alternatif ekstrem tebal lapis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.



Tabel 5.21 Rekapitulasi Alternatif Tebal Perkerasan

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan (cm)							
	Bina Marga 1987		Bina Marga 2013		Bina Marga 2017		AASHTO93	
	EKSISTING	KENPAVE	MANUAL	KENPAVE	MANUAL	KENPAVE	MANUAL	KENPAVE
AC-WC	4	5	4	7	4	7	4	6
AC-BC	11,5		13,5		6		11	
AC-BASE	-	-	-	-	10,5	10,5	-	-
CTB	-	-	15	15	-	-	-	-
LP-A	20	20	15	15	30	30	15	15
LP-B	27	27	-	-	-	-	15	15

Tabel 5.22 Rekapitulasi Perbandingan SN (Structural Number)

No	Lapisan SN	Tebal Perkerasan (cm)							
		Bina Marga 1987		Bina Marga 2013		Bina Marga 2017		AASHTO93	
		EKSISTING	KENPAVE	MANUAL	KENPAVE	MANUAL	KENPAVE	MANUAL	KENPAVE
1	SN ₁	5,4	1,75	3,5	2,45	3,5	2,47	3,1	2,1
2	SN ₂	6	2,8	2,1	2,1	1,47	1,47	2,8	2,1
3	SN ₃	11,7	3,51	1,95	1,95	3,9	3,9	2,3	1,95
	Total SN	23,1	8,06	7,55	6,5	8,87	7,82	8,2	6,15

Setelah data *input* dimasukkan, hasil tegangan dan regangan akan keluar. *Output* dari alternatif tebal perkerasan *KENLAYER* dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.23 Vertical Strain dan Tangential Strain pada Tebal Perencanaan

<i>Kenpave</i>	Pengulangan Beban	Tangential Strain	Vertical Strain	Vertical Strain
Bina Marga 1987	1	0,0000198	0,0000574	0,0000250
	2	0,0000218	0,0000605	0,0000598
	3	0,0000221	0,0000601	0,0000607
	Maksimum	0,0000221	0,0000605	0,0000607
Bina Marga 87 Minimum	1	0,0000145	0,0002350	0,0001120
	2	0,0000142	0,0001190	0,0001180
	3	0,0000059	0,0000577	0,0001190
	Maksimum	0,0000145	0,0002350	0,0001190
Bina Marga 2013	1	0,0000355	0,0001340	0,0001820
	2	0,0000321	0,0000832	0,0001940
	3	0,0000293	0,0000553	0,0001950
	Maksimum	0,0000355	0,0001340	0,0001950
Bina Marga 2013 Minimum	1	0,0000110	0,0002120	0,0002650
	2	0,0000019	0,0000723	0,0002790
	3	0,0000185	0,0000675	0,0002800
	Maksimum	0,0000185	0,0002120	0,0002800
Bina Marga 2017	1	0,0000378	0,0001220	0,0000726
	2	0,0000375	0,0000927	0,0000757
	3	0,0000360	0,0000760	0,0000766
	Maksimum	0,0000378	0,0001220	0,0000766
Bina Marga 17 Minimum	1	0,0000385	0,0002510	0,0000985
	2	0,0000314	0,0001150	0,0001030
	3	0,0000151	0,0000242	0,0001040
	Maksimum	0,0000385	0,0002510	0,0001040
AASHTO 1993	1	0,0000372	0,0001570	0,0001980
	2	0,0000309	0,0000837	0,0002100
	3	0,0000262	0,0000419	0,0002120
	Maksimum	0,0000372	0,0001570	0,0002120
AASHTO 1993 Minimum	1	0,0000003	0,0002040	0,0002900
	2	0,0000129	0,0000702	0,0002900
	3	0,0000316	0,0000886	0,0002910
	Maksimum	0,0000316	0,0002040	0,0002910

Dari hasil Tabel 5.22 di atas maka diperoleh nilai N_f dan N_d . Hasil perhitungan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dapat dilihat

pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24. Nilai Nf dan Nd dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.24 Regangan pada Jenis Kerusakan

Alternatif	<i>Fatigue Cracking</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
Bina Marga 1987	0,0000221	0,0000605	0,0000607
Bina Marga 87 Minimum	0,0000145	0,0002350	0,0001190
Bina Marga 2013	0,0000355	0,0001340	0,0000195
Bina Marga 13 Minimum	0,0000185	0,0002120	0,0002800
Bina Marga 2017	0,0000378	0,0001220	0,0000766
Bina Marga 17 Minimum	0,0000385	0,0002510	0,0001040
AASHTO 93	0,0000372	0,0001570	0,0002120
AASHTO 93 Minimum	0,0000316	0,0002040	0,0002910

Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban

Alternatif	Repetisi beban	Beban lalu Lintas Rencana (Nr) (Esal)	Nilai Repetisi Beban (ESSAL)	Tegangan (kPa)	Analisa Beban Lalu lintas
Bina Marga 1987	Nf	8.049.850	991.292.018.664	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	10.476.442.629	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	10.322.784.985	550	Nf>Nr (YA)
Bina Marga 1987 Minimum	Nf	8.049.850	5.174.159.090.000	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	24.091.389	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	506.884.376	550	Nf>Nr (YA)
Bina Marga 2013	Nf	8.049.850	154.567.556.821	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	453.418.974	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	3.642.842.961	550	Nf>Nr (YA)
Bina Marga 2013 Minimum	Nf	8.049.850	1.990.597.102.347	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	38.205.598	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	10.995.276	550	Nf>Nr (YA)
Bina Marga 2017	Nf	8.049.850	7.057.660.730	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	453.418.974	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	3.642.842.961	550	Nf>Nr (YA)
Bina	Nf	8.049.850	112.453.297.322	550	Nf>Nr (YA)

Marga 2017	Nd	8.049.850	17.938.801	550	Nf>Nr (YA)
Minimum	Nd	8.049.850	926.561.800	550	Nf>Nr (YA)

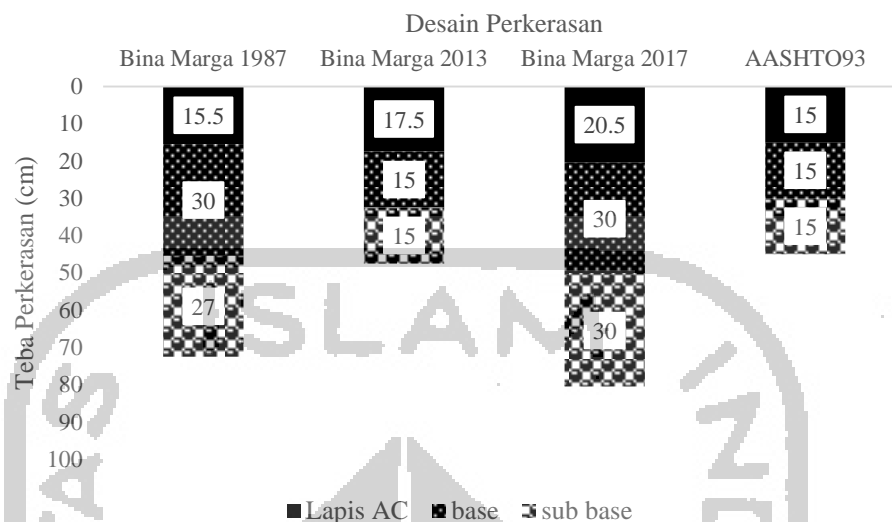
Tabel Lanjutan 5.25 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban

<i>Alternatif</i>	Repetisi beban	Beban lalu Lintas Rencana (Nr) (Esal)	Nilai Repetisi Beban (ESSAL)	Tegangan (kPa)	Analisa Beban Lalu lintas
<i>AASHTO 1993</i>	Nf	8.049.850	128.666.310.373	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	146.585.127	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	38.205.598	550	Nf>Nr (YA)
<i>AASHTO 1993 Minimum</i>	Nf	8.049.850	243.944.293.720	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	45.385.632	550	Nf>Nr (YA)
	Nd	8.049.850	9.253.025	550	Nf>Nr (YA)

5.6 Pembahasan

1. Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode Bina Marga 1987, Bina Marga 2013, Bina Marga 2017 dan *AASHTO 1993*

Jalan Imogiri Timur ialah jalan yang menggunakan jenis perkerasan lentur dan mulai beroperasi tahun 2016 dengan jenis rekonstruksi rehabilitasi jalan. Pada data yang didapat dari perencana dan pengawas Jalan Nasional D.I.Yogyakarta yang menggunakan metode Bina Marga 1987 dengan perkerasan eksisting Jalan Imogiri Timur. Dalam perencanaan tebal lapis perkerasan, metode Bina Marga 2013 dan Bina Marga 2017 menggunakan nilai *CESA* sebagai jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada setiap jalur dengan pertimbangan *VDF* dan *Traffic Multiplier* sedangkan *AASHTO 1993* menggunakan nilai indeks pelayanan (P_o dan P_t) dan angka *Ekuivalen*. Berdasarkan Tabel 5.21 diperoleh grafik tebal perkerasan pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5.18 Desain Tebal Perkerasan Manual

2. Tegangan dan Regangan (Kontrol dengan *Kenpave*)

a. Kontrol metode perhitungan manual menggunakan program *Kenpave*

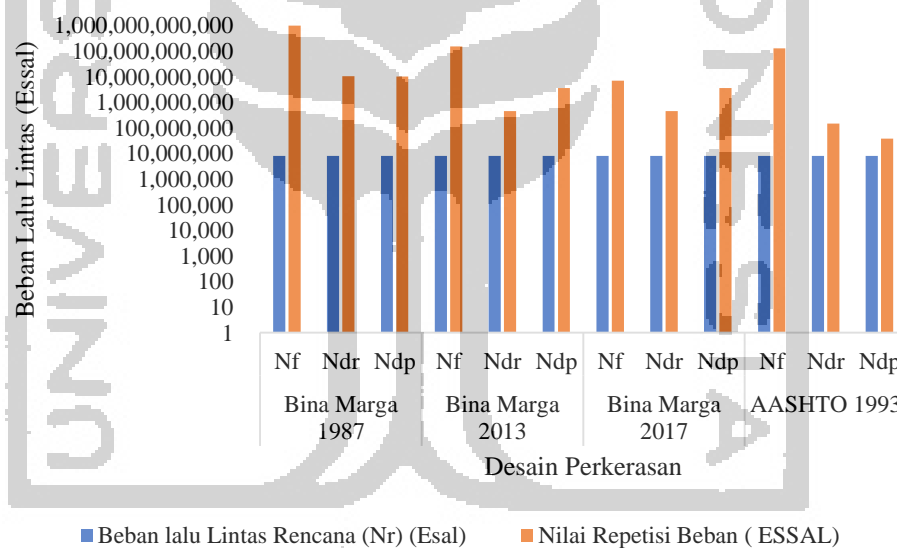
Dalam perencanaan lapis tebal perkerasan dengan metode mekanistik-empiris menggunakan tebal perkerasan dari hasil perhitungan empiris Bina Marga 2013, Bina Marga 2017, dan *AASHTO 1993* yang dikontrol dengan program *Kenpave*. Pada metode Bina Marga 1987 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0000221, *rutting* sebesar 0,0000605, dan *permanent deformation* sebesar 0,0000607. Analisis repetisi beban diperoleh $991.292.018.664 \text{ ESAL } N_f > N_r$ lapis permukaan masih dalam batas aman dan masih mampu menahan selama umur rencana desain.

Pada metode Bina Marga 2013 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0000355, *rutting* sebesar 0,000134, dan *permanent deformation* sebesar 0,0000195. Analisis repetisi beban diperoleh $154.567.556.821 \text{ ESAL } N_f > N_r$ lapis permukaan masih dalam batas aman dan masih mampu menahan selama umur rencana desain.

Pada metode Bina Marga 2017 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue*

cracking sebesar 0,0000378, *rutting* sebesar 0,000122, dan *permanent deformation* sebesar 0,0000766 . Analisis repetisi beban diperoleh 7.057.660.730 $ESAL N_f > N_r$ lapis permukaan masih dalam batas aman dan masih mampu menahan selama umur rencana desain.

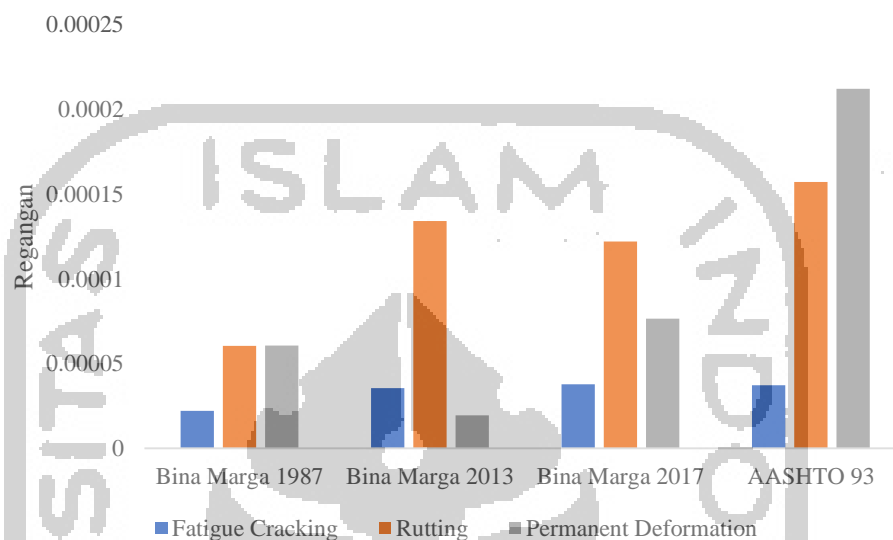
Pada metode *AASHTO 1993* didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0000372, *rutting* sebesar 0,000157, dan *permanent deformation* sebesar 0,0000212 . Analisis repetisi beban diperoleh 128.666.310.373 $ESAL N_f > N_r$ lapis permukaan masih dalam batas aman dan masih mampu menahan selama umur rencana desain. Berdasarkan Tabel 5.24 diperoleh grafik nilai repetisi beban pada perhitungan manual, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.19 sebagai berikut.



Gambar 5.19 Nilai Beban Lalu Lintas

Pada prediksi kerusakan dari perhitungan manual yang mengalami kerusakan terlebih dahulu *rutting* dahulu karena nilai repetisi beban yang dihasilkan mendekati nilai beban lalu lintas rencana. Pada penelitian yang dilakukan (Ramadhani, 2018) juga diperoleh hasil nilai regangan penyebab kerusakan *rutting* lebih besar daripada regangan penyebab *fatigue cracking* dan *permanent deformation*. Berdasarkan Tabel 5.23 diperoleh grafik *fatigue*

cracking, rutting, permanent deformation, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.20 sebagai berikut.



Gambar 5.20 Desain Tebal Perkerasan Kontrol *Kenpave*

- b. Kontrol metode perhitungan tebal minimum ekstrem menggunakan program *Kenpave*

Dari hasil tebal perkerasan minimum ekstrem menggunakan beberapa metode yang di kontrol dengan program *Kenpave* yang aman dan mampu menahan beban selama umur rencana bila angka diturunkan akan berubah menjadi tidak aman dalam perhitungan dengan program *Kenpave*. Alternatif tersebut dimaksudkan untuk perbandingan desain tebal lapis paling minimum yang mencapai titik minimum dalam desain.

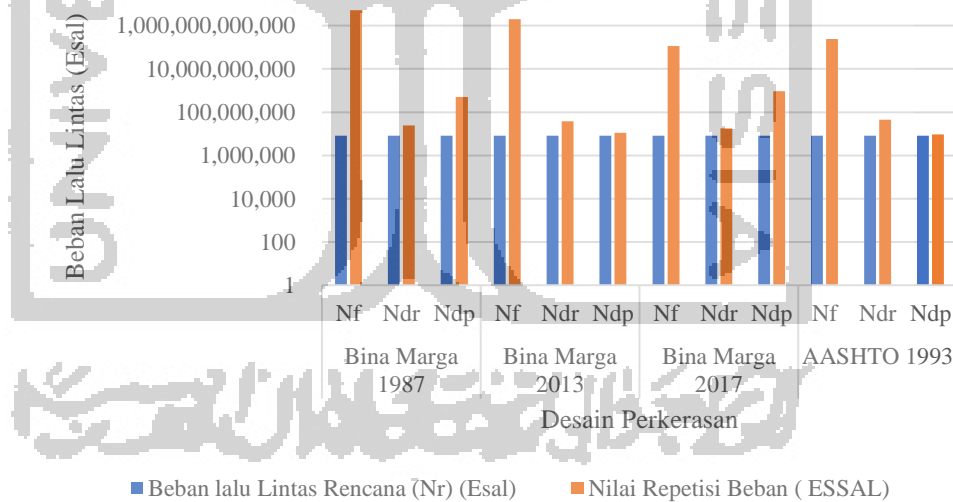
Pada metode Bina Marga 1987 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa nilai tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0000145, *rutting* 0,000235, dan *permanent deformation* sebesar 0,000119. Analisis repetisi beban diperoleh 10.476.442.629 *ESAL* (N_f lebih besar dari nilai N_r).

Pada metode Bina Marga 2013 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa nilai tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0000185, *rutting* 0,000212, dan *permanent deformation*

sebesar 0,00028. Analisis repetisi beban diperoleh 1.990.597.102.347 *ESAL* (*Nf* lebih besar dari nilai *Nr*).

Pada metode Bina Marga 2017 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa diperoleh nilai tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0000385, *rutting* 0,000251, dan *permanent deformation* sebesar 0,000104. Analisis repetisi beban diperoleh 112.453.297.322 *ESAL* (*Nf* lebih besar dari nilai *Nr*).

Pada metode Bina Marga 2017 didapatkan nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa diperoleh nilai tegangan sebesar 550 kPa dan nilai regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0000316, *rutting* 0,000204, dan *permanent deformation* sebesar 0,000291. Analisis repetisi beban diperoleh 243.944.293.720 *ESAL* (*Nf* lebih besar dari nilai *Nr*). Berdasarkan Tabel 5.24 diperoleh grafik repetisi beban pada kondisi minimum, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan grafik *fatigue cracking*, *rutting*, *permanent deformation*, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.22 sebagai berikut.



Gambar 5.21 Nilai Repetisi Beban Minimum



Gambar 5.22 Desain Tebal Perkerasan Minimum

3. Perbandingan Hasil Analisis nilai SN

Setiap metode memiliki perbedaan lapis tebal perkerasan masing-masing. Tidak semua metode memiliki hasil yang sama, walaupun jenis perkerasannya sama tetapi belum pasti memiliki tebal lapis yang sama. Beberapa metode berikut ini diantaranya adalah Metode Bina Marga 1987, Bina Marga 2013, Bina Marga 2017, dan AASHTO 1993. Hasil dari analisis perhitungan manual tersebut dibandingkan berdasarkan nilai *SN* (*Structural Number*) yang disajikan pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5.24 Perbandingan nilai SN Perhitungan Manual

No	Lapisan SN	Eksisting	Bina Marga 2013	Bina Marga 2017	AASHTO 93
1	SN_1	5,40	3,50	3,50	3,10
2	SN_2	6,00	2,10	1,47	2,80
3	SN_3	11,70	1,95	3,90	2,30
	Total SN	23,10	7,55	8,87	8,20

Tabel 5.25 Perbandingan nilai SN Perhitungan *Kenpave*

No	Lapisan SN	Eksisting	Bina Marga 2013	Bina Marga 2017	AASHTO 93
1	SN_1	1,75	2,45	2,47	2,10
2	SN_2	2,80	2,10	1,47	2,10
3	SN_3	3,51	1,95	3,90	1,95
Total SN		8,06	6,50	7,82	6,15

Dari hasil perbandingan berdasarkan SN (*Structural Number*) di atas di ketahui bahwa SN metode Bina Marga 1987 dan AASHTO 1993 dicari menggunakan nomogram, sedangkan SN dengan metode Bina Marga 2013 dan Bina Marga 2017 dicari menggunakan rumus $SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3 .D_3.m_3$. Pada penelitian yang dilakukan (Gunawan, 2019) diperoleh nilai SN AASHTO 1993 (12,57) lebih besar dari pada Bina Marga 1987 (11,48). Berdasarkan dari hasil perbandingan nilai SN dengan cara perhitungan manual diperoleh nilai Bina Marga 1987 sebesar 23,10 , Bina Marga 2013 sebesar 7,55 , Bina Marga 2017 sebesar 8,87 dan AASHTO 1993 sebesar 8,20 . Sedangkan setelah dikontrol dengan cara *Kenpave* diperoleh nilai Bina Marga 1987 sebesar 8,06 , Bina Marga 2013 sebesar 6,50 , Bina Marga 2017 sebesar 7,82 dan AASHTO 1993 sebesar 6,15 . Dengan perbandingan cara manual, hasil SN Bina Marga 1987 dan Bina Marga 2017 mempunyai selisih yang banyak yaitu 14,23 , sedangkan AASHTO 1993 dan Bina Marga 2013 mempunyai selisih yang sedikit yaitu 0,65. Dengan perbandingan setelah dikontrol dengan *Kenpave* hasil SN Bina Marga 1987 dan Bina Marga 2017 mempunyai selisih yang lebih sedikit yaitu 0,24 , sedangkan AASHTO 1993 dan Bina Marga 2013 mempunyai selisih yang sedikit yaitu 0,35.