

BAB V

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Perhitungan

Dalam menganalisis tebal lapis keras suatu jalan, tentu tidak bisa lepas dari data yang ada, baik data primer maupun data sekunder. Dengan demikian hasil dari analisis akan dapat memberikan suatu gambaran kondisi dan situasi jalan tersebut pada saat ini, sehingga dapat diproyeksikan untuk masa yang akan datang, dalam hal ini peneliti memproyeksikan untuk masa pelayanan lalu lintas 20 tahun mendatang. Disamping itu dari hasil analisis akan dapat pula diketahui permasalahan-permasalahan yang timbul dan yang akan timbul di lapangan nantinya.

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam menganalisis jalan khususnya pada jalan lingkaran utara ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Data LHR (lalu lintas harian rata-rata)
2. Data Faktor Regional (FR), yaitu keadaan topografi dan kelandaian
3. Data Agregat kelas A untuk pondasi atas
4. Data Agregat kelas B untuk pondasi bawah
5. Data CBR tanah dasar
6. Data ATB, ATBL dan HRS untuk lapis permukaan jalan

1. Metode Bina Marqa 1987 (Analisa Komponen 1987)

a. Perhitungan Perencanaan Tebal Lapis Keras

1. Data Lalulintas Harian Rata-rata (LHR)

Lalulintas Harian Rata-rata merupakan hal yang sangat dominan sebagai dasar acuan dalam menentukan perkerasan suatu jalan. Untuk itu perlu diketahui jumlah lalulintas pada saat sebelum, sedang dan sesudah pengerjaan perkerasan suatu jalan. Berkaitan dengan hal tersebut untuk mengetahui perkembangan lalulintas pada periode berikutnya, maka diadakan perhitungan perkembangan lalulintas dengan menggunakan rumus $(1 + i)^n$.

Data LHR yang dipakai dalam perhitungan tebal lapis keras pada analisis ini adalah sesuai dengan hasil survai perhitungan lalulintas dari Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, pada tanggal 28 Pebruari 1993, adalah sebagai berikut seperti pada Tabel 5.1 :

Tabel 5.1. Data Lalulintas Harian Rata-rata

Jenis Kendaraan	SMP
a. sepeda motor, sekuter, sepeda kumbang dan sepeda	15.225,00
b. sedan, jeep dan station wagon	8.470,00
c. opelet, pickup opelet, suburban combi dan mini bus	1.469,00
d. pickup, mikro truk dan mobil-hantaran	2.899,00
e. bus	441,00
f. truk 2 as	2.457,00
g. trailer truk 3 as atau lebih gandengan	444,00
h. kendaraan tidak bermotor	2.600,00

sumber : DPU, Dirjen Bina Marga Prop. DIY 1993

Untuk jenis kendaraan a dan h diabaikan dalam perhitungan, mengingat kedua jenis kendaraan tersebut sangat ringan (< 750 kg).

Maka akan didapatkan data hasil sebagai berikut

(tabel 5.2) :

Tabel 5.2. Data Lalulintas Harian Rata-rata)¹

Jenis Kendaraan	SMP
Kendaraan ringan 2 ton	12.838,00
Bus	441,00
Truk 2 as	2457,00
Truk 3 as	296,00
Truk 5 as	148,00
JUMLAH	16.180,00

sumber : DPU, Dirjen Bina Marga Prop. DIY 1993

- 1) Untuk jenis kendaraan a dan h diabaikan dalam perhitungan, mengingat kedua jenis kendaraan tersebut sangat ringan (< 750 kg). Untuk memudahkan dalam memahami pengabaian itu, maka dapat membandingkan angka ekivalen untuk kendaraan ringan yang lebih kecil dari 750 kg (0,00007) dengan berat kendaraan ringan yang dipertimbangkan dengan berat 2 ton - 8 ton (0,0036 - 0,9238). Hal ini dapat dilihat di beberapa perhitungan tebal lapis keras pada buku terbitan DPU, lihat Bina Marga No: 04/BM/1977 dan Sukirman hal 102.

Hitungan :

LHR pada tahun 1994 (dengan pertumbuhan 5 %).

$$\text{Kendaraan ringan 2 ton} = 12.838 (1+0,05)^1 = 13.479,90$$

$$\text{Bus} = 441 (1+0,05)^1 = 463,05$$

$$\text{Truk 2 as} = 2457 (1+0,05)^1 = 2.579,85$$

$$\text{Truk 3 as} = 296 (1+0,05)^1 = 310,80$$

$$\text{Truk 5 as} = 148 (1+0,05)^1 = 155,40$$

$$\Sigma \text{ LHR} = 16.989,00$$

LHR untuk 20 tahun mendatang dengan pertumbuhan
6 % (tahun 2013).

$$\text{Kendaraan ringan 2 ton} = 12.838 (1+0,06)^{20} = 41.173,21$$

$$\text{Bus} = 441 (1+0,06)^{20} = 1.414,35$$

$$\text{Truk 2 as} = 2457 (1+0,06)^{20} = 7.879,93$$

$$\text{Truk 3 as} = 296 (1+0,06)^{20} = 949,31$$

$$\text{Truk 5 as} = 148 (1+0,06)^{20} = 474,66$$

$$\Sigma \text{ LHR}_{20} = 51.891,45$$

Tabel 5.3. Jumlah Lalulintas Harian Rata-rata berdasarkan hitungan dengan rumus $(1+i)^n$

Jenis kendaraan	Data th 1993	Perkiraan	
		1994	2013
Kendaraan ringan	12.838	13.479,90	41.173,21
Bus	441	463,05	1.414,35
Truk 2 as	2.457	2.579,85	7.879,93
Truk 3 as	296	310,80	949,31
Truk 5 as	148	155,40	319,52
JUMLAH	16.180	16.989,00	51.891,45

2. Angka Ekuivalen (E)

Angka ekuivalen dari beban kendaraan (gandar tunggal dan gandar ganda) dihitung dengan menggunakan tabel 3.5.

1. Kendaraan ringan 2 ton (as depan 1 ton + as belakang 1 ton)

$$\begin{aligned}
 E &= 0,0002 + 0,0002 \\
 &= 0,0004
 \end{aligned}$$

2. Bus 8 ton (as depan 3 ton + as belakang 5 ton)

$$\begin{aligned}
 E &= 0,0183 + 0,1410 \\
 &= 0,1593
 \end{aligned}$$

3. Truk ringan 13 ton (as depan 5 ton + as belakang (ganda) 8 ton)

$$E = 0,1410 + 0,0794$$

$$= 0,2204$$

4. Truk sedang 20 ton (as depan 6 ton + 2 as belakang (ganda) 7 ton)

$$E = 0,2923 + 2 \times 0,7452$$

$$= 1,0375$$

5. Truk berat 30 ton (as depan 6 ton + 2 as belakang masing-masing (ganda) 7 ton + 2 as gandengan masing-masing 5 ton)

$$E = 0,2923 + 2 \times 0,7452 + 2 \times 0,1410$$

$$= 1,3195$$

3. Faktor Distribusi Kendaraan (c)

Pada perencanaan tebal lapis keras pada jalan lingkar utara yogyakarta, yang merupakan jalan 2 jalur 2 arah, sesuai dengan tabel 3.3 diambil nilai (c) sebesar : 0,5.

4. Menghitung Lintas Ekuivalen

a. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)

Dalam menentukan Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP) di gunakan rumus :

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j$$

1. Kendaraan ringan 2 ton

$$LEP = 12.838 \times 0,5 \times 0,0004 = 2,568$$

2. Bus

$$LEP = 441 \times 0,5 \times 0,1593 = 35,126$$

3. Truk ringan 2 as

$$LEP = 2.475 \times 0,5 \times 0,2204 = 270,761$$

4. Truk sedang 3 as

$$LEP = 296 \times 0,5 \times 1,0375 = 153,550$$

5. Truk berat 5 as

$$LEP = 148 \times 0,5 \times 1,3195 = 97,643$$

$$\Sigma LEP = 559,648$$

b. Lintas Ekuivalen Akhir (LEA)

Dalam menentukan nilai Lintas Ekuivalen Akhir (LEA) digunakan rumus sebagai berikut :

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR (1 + i)^{UR_j} \times C_j \times E_j$$

1. Kendaraan ringan 2 ton

$$LEA = 41.173,21 \times 0,5 \times 0,0004 = 8,23$$

2. Bus

$$LEA = 1.414,34 \times 0,5 \times 0,1593 = 112,65$$

3. Truk ringan 2 as

$$LEA = 7.879,93 \times 0,5 \times 0,2204 = 868,37$$

4. Truk sedang 3 as

$$LEA = 949,31 \times 0,5 \times 1,0375 = 492,46$$

5. Truk berat 5 as

$$LEA = 474,67 \times 0,5 \times 1,3195 = 313,15$$

$$\Sigma LEA_{20} = 1.794,87$$

c. Lintas Ekuivalen Tengah (LET)

Dalam menentukan nilai Lintas Ekuivalen Tengah (LET) digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{LET} = 1/2 (\text{LEP} + \text{LEA})$$

$$\begin{aligned} \text{LET} &= 1/2 (559,648 + 1.794,87) \\ &= 1.177,27 \end{aligned}$$

d. Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

Untuk menentukan nilai Lintas Ekuivalen Rencana (LER) digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{LER} = \text{LET} \times \text{UR}/10$$

$$\begin{aligned} \text{LER} &= 1.177,27 \times 20/10 \\ &= 2.354,51 \end{aligned}$$

5. Mencari besarnya Daya Dukung Tanah (DDT)

Dengan menggunakan nomogram korelasi CBR (gambar 3.1) nilai Daya Dukung Tanah (DDT) dapat ditentukan dengan menarik garis horisontal kekiri tepat pada nilai CBR. Selanjutnya menentukan nilai indek permukaan (tabel 2.2). Dari nomogram dan tabel tersebut di dapatkan nilai-nilai antara lain :

1) $\text{CBR} = 8,0 \%$

Dari tabel kolerasi CBR (gambar 3.1.) diperoleh besarnya harga DDT = 5,5

2) Jalan lingkar utara adalah termasuk jalan arteri dengan diperolehnya harga LER maka

dari tabel 2.1 dan tabel 2.2 diperoleh IPO = 3,9 - 3,5 dan IPT = 2,0

6. Menentukan Faktor Regional (FR) berdasarkan pada tabel 3.6 , untuk daerah lingkaran utara Yogyakarta diambil FR (FR = 1,0)

7. Mencari besar dari Indeks Tebal Permukaan (ITP) berdasarkan data-data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{LER} &= 2.354,51 \\ \text{FR} &= 1,0 \\ \text{DDT} &= 5,5 \\ \text{IPO} &= 3,9 - 3,5 \\ \text{IPT} &= 2,0 \end{aligned}$$

Dari lampiran 1 sampai 9 maka didapat ITP = 9,9

Nilai ITP ini selanjutnya dimasukkan kepersamaan untuk mencari tebal perkerasan. Untuk menentukan tebal masing-masing lapisan setelah nilai ITP didapatkan maka dapat diperoleh dari tabel 3.7. dan nilai koefisien kekuatan relatif (a) dapat ditentukan dengan menggunakan tabel 3.8 dan 3.9.

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

a_1 = Koefisien kekuatan relatif laston = 0,32

$$a_2 = \text{Koefisien kekuatan relatif base klas A} \\ = 0,14$$

$$a_3 = \text{Koefisien kekuatan relatif subbase klas B} \\ = 0,12$$

D_1 = Tebal lapis permukaan

D_2 = Tebal lapis pondasi = 20 cm

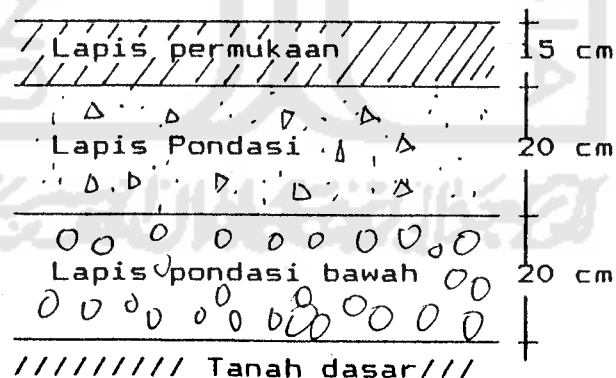
D_3 = Tebal lapis pondasi bawah = 20 cm

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$9,9 = 0,32 \cdot D_1 + 0,14 \cdot 20 + 0,12 \cdot 20$$

$$D_1 = 14,6875 \text{ cm} \text{ ----? diambil } 15 \text{ cm}$$

Susunan perkerasan :



Gambar 5.1. Tebal lapis keras dari hitungan Metode Analisa Komponen Bina - Marga, 1987.

B. Menentukan Umur Rencana Jalan

Hasil uji bahan masing-masing lapisan dilaboratorium adalah sebagai berikut :

- lapis permukaan, HRS (MS : 843) : 0,275
- lapis permukaan, ATBL (MS : 746) : 0,2438
- lapis permukaan, ATB (MS : 1232) : 0,41

- lapis pondasi (A) (CBR 80%) : 0,13
- lapis pondasi (B) (CBR 30%) : 0,12

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + \dots + a_n D_n$$

$$\begin{aligned} \text{ITP} &= 0,275.3 + 0.2348.5 + 0,41.5 + 0,13.20 + \\ & \quad 0,12.20 \\ &= 9,094 \end{aligned}$$

Besarnya nilai lintas ekuivalen rencana yang terjadi = 2355

Lamanya umur rencana perkerasan jalan lingkaran utara Yogyakarta sebelum overlay dilakukan adalah :

$$\begin{aligned} \text{LER} &= \text{LET}_{20} \cdot \text{UR}/10 \\ 2355 &= 2354,51 \cdot \text{UR}/10 \\ \text{UR} &= 20,0041 \text{ tahun.} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Overlay jalan lama

Pada jalan lingkaran utara Yogyakarta untuk sekarang ini telah terjadi perubahan pelebaran jalan guna mengimbangi pertumbuhan lalu lintas yang terus meningkat tiap tahunnya, untuk itu pada perkerasan jalan tersebut telah terjadi perubahan pada lapis permukaan perkerasan, sehingga jalan tersebut perlu direncanakan adanya penambahan lapis perkerasan pada jalan lama (*overlay*).

- Laston (MS : 746) = 15 cm
- Agregat kelas A (CBR : 80 %) = 20 cm

- Agregat kelas B (CBR : 30 %) = 20 cm

Dari hasil penelitian dilapangan terhadap kondisi jalan lama menunjukkan bahwa pada lapis permukaan terdapat beberapa kerusakan walaupun masih cukup stabil, yaitu retak sedang dan penurunan pada jalur roda akibat pengaruh pertumbuhan lalu lintas. Keadaan yang demikian mengakibatkan kondisi lapis permukaan berkurang sampai 40 % dari awal jalan tersebut dibuka.

Adapun data dari jalan tersebut adalah :

- $LER_{20} = 2.354,51$
- FR = 1,0
- DDT = 5,8 (CBR = 9,1 %)
- IPT = 2,0
- maka diperoleh ITP = 9,5 (lampiran 4)

Berdasarkan data tersebut diatas maka perhitungan penambahan tebal lapisan perkerasan dapat ditentukan sebagai berikut :

- 60 % . 15 . 0,32 = 2,88
- 100% . 20 . 0,14 = 2,8
- 100% . 15 . 0,12 = 1,8

$$\Sigma \text{ ITP} = 7,48$$

- $LER_{2014} = 2.354,51$

maka tebal lapis hingga umur rencana tahun ke-20 (th 2013) :

$$ITP = ITP_{2014} - \Sigma ITP$$

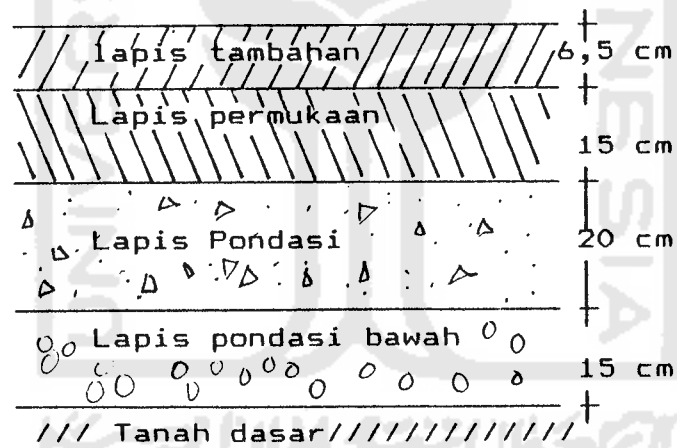
$$= 9,5 - 7,48$$

$$= 2,02$$

$$2,02 = 0,32 D_1$$

$$D_1 = 6,3125 \text{ cm} \text{ -----? diambil } 6,5 \text{ cm.}$$

Susunan lapis perkerasan :



Gambar 5.1. Tebal lapis keras dari hitungan penamahan lapisan Metode Analisa Komponen Bina Marga, 1987.

2. Perhitungan Metode AASHTO 1986

- a. Data lalulintas yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum seperti pada tabel 5.4. dibawah ini :

Tabel 5.4. Data lalulintas tahun 1993.

Jenis kendraan	Jumlah kendaraan th 1993
-Kend. ringan 2 ton	12.838
-Bus 8 ton	441
-Truk 2 as	2.457
-Truk 3 as	296
-Truk 5 as	148

Sumber : Disain final jalan arteri lingkar utara.

Data-data lain sebagai berikut :

- Periode analisis : 20 tahun
- Angka pertumbuhan lalulintas : 6 %
- Fungsi jalan : Urban
- Klasifikasi jalan : Arteri
- Tanah dasar (CBR) : 8 %
- Indek plastisitas : 12,00

Data-data yang diasumsikan :

- Tingkat pelayanan awal (Po) : 4,2 (lapis permukaan beton aspal)
- Keandalan (R)

* Jalan arteri urban diambil : 90 %

* Untuk 2 tahap (perkerasan awal dan 1 kali overlay)
maka $R = 0,9^{\frac{1}{2}} = 95 \%$.

* Z_r (simpangan baku normal) untuk $R = 95 \%$ adalah
-1,645.

Dapat dilihat pada tabel 3.13 dan 3.14.

- Koefisien drainase (m)

* Diambil 0,8 untuk keadaan drainase cukup dan waktu pengeringan dalam keadaan lembab sampai jenuh, > 25 %, terlihat pada tabel 3.15 dan 3.16.

- Standar deviasi keseluruhan (S_o)

* Untuk perencanaan antara 0,4 - 0,5 diambil 0,45 menurut AASHTO 1986 bagian I bab 4 subbab 4.3 - halaman I-62.

- Tanah dasar ($M_r = \text{modulus resilien}$)

* $M_r = 1500 \times \text{CBR}$
 $= 1500 \times 8$
 $= 12.000 \text{ Psi}$

a. Analisis lalulintas

Dengan asumsi $SN_{\text{awal}} = 3,3$ dan $P_t = 2,0$ diperoleh faktor ekivalen masing-masing kendaraan seperti tabel 5.5 dibawah ini :

Tabel 5.5. Faktor ekivalen kendaraan

Jenis kendaraan	Faktor ekivalen
-Kendaraan ringan 2 ton as depan 1 ton = 2,24 kip as belakang 1 ton = 2,24 kip	0,0008
-Bus 8 ton as depan 3 ton = 6,72 kip as belakang 5 ton = 11,2 kip	0,1672
-Truk 2 as = 13 ton as depan 5 ton as belangkang (ganda) 7ton =31,4 k	0,8029
-Truk 3 as = 20 ton as depan 6 ton = 13,4 k as belakang (tandem) = 31,4 kip	1,0865
-Truk 5 as = 30 ton as depan 6 ton = 13,4 kip as belakang (ganda) 14 ton = 31,4 k as gandeng depan 5 ton as gandeng belakang 5 ton	1,1389

Dari tabel 5.5 dan Faktor ekivalen beban gandar (a) pada tabel 3.10 dan 3.11 maka dapat di hitung jumlah kendaraan untuk tahun pertama seperti terlihat pada tabel 5.6. :

Tabel 5.6. Jumlah kendaraan ekuivalen 18-kip ESAL

Jenis kendaraan	jumlah kend. tahun I (a)	Angka pertum- buhan l.l. (b)	Perencanaan l.l. tahun I (c)	Faktor ekuivalen (d)	Perencanaan 18-k ESAL (e)
	6 %				
-Kend. ringan 2 ton	12838	36,79	472310,02	0,0008	377,848
-Bus 8 ton	441	36,79	16224,39	0,1672	2712,7181
-Truk 2 as = 13 ton	2457	36,79	90393,03	0,8029	72576,5638
-Truk 3 as = 20 ton	296	36,79	10889,84	1,0865	11831,8112
-Truk 5 as = 30 ton	148	36,79	5444,09	1,3819	7524,3349
jumlah total	16180		595262,20	18k-ESAL (W_{18})	95023,2759

Keterangan :

(a) Jumlah lalulintas harian rata-rata awal tahun perencanaan (LHR).

(b) Faktor pertumbuhan lalulintas yang diperoleh dari persamaan :

$$* \text{faktor} = \frac{(1+g)^t - 1}{g}$$

$$g = \frac{\text{angka pertumbuhan lalulintas}}{100}$$

diperoleh dari lampiran 16.

(c) Perencanaan lalulintas pada tahun pertama yaitu (a) x (b).

(d) Faktor ekuivalen, tabel 5.5.

(e) Perencanaan jumlah kendaraan ekuivalen 18-k ESAL = (d) x (e).

Sehingga pengulangan kumulatif 18-kip ESAL perarah pada lajur rencana tahun pertama :

$$W_{18t} = D_D \cdot D_L \cdot W_{18}$$

dengan :

D_D = faktor distribusi arah 50 %

D_L = faktor distribusi lajur 100 %

$$\begin{aligned} W_{18t} &= 0,5 \times 1 \times 95023,2759 \\ &= 47511,6370 \text{ 18-kip ESAL} \\ &= 0,5 \cdot 10^6 \text{ 18-Kip ESAL} \end{aligned}$$

untuk menentukan pengulangan beban dalam perencanaan fungsi waktu, dibuat gambar perkiraan kumulatif pengulangan 18-KipESAL dalam periode analisis . (seperti pada contoh gambar 3.2.) yang diperoleh dari persamaan :

$$W_{18t} = W_{18'} \left| \frac{(1 + g)^t - 1}{g} \right|$$

dengan :

W_{18t} = Kumulatif pengulangan 18-Kip ESAL perarah pada lajur rencana fungsi waktu.

$W_{18'}$ = Kumulatif pengulangan 18-kip ESAL pada tahun pertama

g = angka pertumbuhan lalulintas 6 %

t = waktu (tahun perencanaan)

Tabel 5.7. Kumulatif 18-Kip ESAL terhadap waktu

X	Y	X	Y
0	00000,0	11	748582,1318
1	47511,6380	12	843497,0598
2	103000	13	944106,8833
3	159180	14	1050753,296
4	218773,080	15	1163798,494
5	281854,6479	16	1283626,404
6	348765,9268	17	141064,3988
7	419691,8824	18	1545282,627
8	494873,3954	19	1687999,585
9	574565,7991	20	1839279,5600
10	659039,7471		

Keterangan :

X = waktu tahun

Y = Kumulatif 18-Kip beban ekivalen sumbu tunggal perarah pada lajur rencana.

b. Perkiraan Periode Perencanaan

Diperkirakan periode perencanaan konstruksi 20 tahun dihitung SN maksimum selama periode perencanaan. Untuk menghitung SN dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = 95 \%$$

$$Z_r = -1,645$$

$$S_o = 0,45$$

$$M_r = 12000 \text{ psi}$$

$$PSI = P_o - P_t$$

$$= 4,2 - 2,0 = 2,2$$

W_{20t} dari gambar 3.4 diperoleh $0,8 \times 10^6$ 18-Kip ESAL

Dari persamaan diatas diperoleh SN mak = 3,35

c. Pengaruh pengembangan tanah dasar

Dihitung pengaruh pengembangan tanah dasar yang menyebabkan berkurangnya tingkat pelayanan.

Diketahui :

- ketebalan badan jalan = 46 cm
- indek plastisitas = 12

Dari lampiran 10 diperoleh potensi pengembangan vertikal (Vr) = 0,32 inchi.

Swell Rate Constant (θ) = 0,07 untuk PI > 20 menurut AASHTO halaman H-4.

Dari persamaan :

$$\Delta PSI_{sw} = 0,00335 \cdot VR \cdot Ps \cdot (1 - e^{-\theta t})$$

Di buat gambar ΔPSI_{sw} fungsi waktu, dengan Ps = 80 % (timbunan tanah dasar, diasumsikan mempunyai swelling yang sama).

Hasil perhitungan ΔPSI_{sw} seperti pada tabel 5.8.



Tabel 5.8. Δ PSIsw terhadap waktu

X	Y	X	Y
0	0,00000	10,5	0,0252
1	0,0012	11	0,0261
1,5	0,0036	11,5	0,0276
2	0,0048	12	0,0288
2,5	0,0060	12,5	0,0300
3	0,0072	13	0,0312
3,5	0,0084	13,5	0,0324
4	0,0096	14	0,0336
4,5	0,0108	14,5	0,0348
5	0,0120	15	0,0360
5,5	0,0132	15,5	0,0372
6	0,0144	16	0,0384
6,5	0,0156	16,5	0,0396
7	0,0168	17	0,0408
7,5	0,0180	17,5	0,0420
8	0,0192	18	0,0432
8,5	0,0204	18,5	0,0444
9	0,0216	19	0,0456
9,5	0,0228	19,5	0,0468
10	0,0240	20	0,0480

Keterangan :

X = waktu tahun

Y = Δ PSIsw

d. Perhitungan Umur Aktual

Di cari umur aktual karena pengaruh swelling untuk menentukan kapan overlay akan dilakukan.

Diketahui SN awal = 3,35

Maksimum periode perencanaan 20 tahun

PSI = 2,2

Tabel 5.8. Perhitungan Umur aktual

iterasi	Taksiran th perenc aktual	PSI _{sw}	PSI _{TR}	Kumulatif pengulangan beban yang di iijinkan	tahun perencanaan yang sesuai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	18	0,0432	2,1568	785484,8687	20,3
2	19	0,0456	2,1544	785454,2020	20,2
3	19,5	0,0468	2,1532	785438,8550	20,1

Keterangan :

- (2) Taksiran perencanaan tahun aktual
- (3) Taksiran nilai Δ PSI_{sw} berdasarkan tahun pada (2) memakai gambar 3.3.
- (4) PSI - (3)
- (5) kumulatif pengulangan beban yang diizinkan dari persamaan (3.8) halaman 42 dengan data seperti penentuan SN_{maks} kecuali PSI diganti dengan (4).
- (6) Memakai gambar 3.3 dengan (5) dicari tahun perencanaan yang sesuai.

Dari iterasi diperoleh tahun aktual 20 tahun dengan $W = 1,8 \times 10^6$ 18 -Kip ESAL.

e. Perencanaan Tebal Lapisan Perkerasan Awal

Untuk konstruksi dengan umur 20 tahun, dipakai pendekatan analisis lapisan untuk menentukan ketebalan lapisan.

Perkerasan terdiri dari 3 lapis dengan jenis lapis perkerasan yang dipakai sebagai berikut :

Lapisan permukaan beton aspal

$$E = 40000 \text{ Psi}, \quad a_1 = 0,42$$

Lapisan Pondasi atas batu pecah kelas A

$$E = 30000 \text{ Psi}, \quad a_2 = 0,14$$

Lapisan pondasi bawah agregat kelas B

$$E = 11000 \text{ Psi}, \quad a_3 = 0,08$$

Perhitungan penentuan ketebalan masing-masing lapisan.

Lapis permukaan :

$$R = 95 \%$$

$$S_o = 0,45$$

$$W_{20} = 1,8 \times 10^6 \text{ 18-Kip ESAL}$$

$$\text{Pondasi atas } 30000 \text{ Psi}, \quad \text{PSI}_{TR} = 2,1532$$

$$\text{Dari persamaan diperoleh } \text{SN}_1 = 2,1$$

Ketebalan beton aspal :

$$\begin{aligned} D^*_1 &= \text{SN}_1 / a_1 \\ &= 2,1 / 0,42 \\ &= 5 \text{ inch} = 12,7 \text{ cm} \text{ ----- } 13 \text{ cm} = 5,118 \text{ inch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SN}^*_1 &= a_1 D^*_1 \\ &= 0,42 \cdot 5,118 \\ &= 2,148 > \text{SN}_1 = 2,1 \end{aligned}$$

Lapis pondasi atas :

Dengan data yang sama kecuali $E = 11000 \text{ Psi}$ diperoleh $\text{SN}_2 = 2,90$

Ketebalan batu pecah klas A (CBR = 80%)

$$\begin{aligned} D^*_2 &= SN_2 - SN^*_1 / (a_2 m_2) \\ &= 2,90 - 2,149 / (0,14 \cdot 0,8) \\ &= 6,705 \text{ inch} = 17,03 \text{ cm} \text{ -- } 17,5 \text{ cm} = 6,9 \text{ inch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SN^*_2 &= a_2 D^*_2 m_2 \\ &= 0,14 \cdot 6,9 \cdot 0,8 \\ &= 0,77 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SN^*_1 + SN^*_2 &> SN_2 \\ 2,148 + 0,77 &= 2,919 > 2,9 \end{aligned}$$

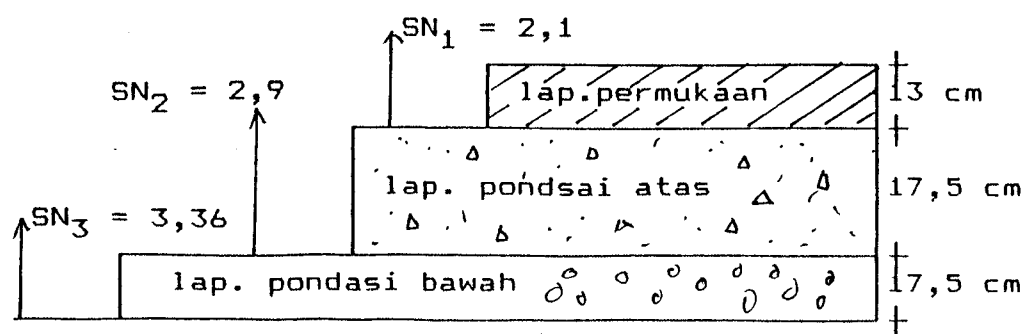
Lapis pondasi bawah :

Ketebalan agregat klas B (CBR 100 %)

$$\begin{aligned} D^*_3 &= (SN_3 - (SN^*_2 + SN^*_1)) / a_3 m_3 \\ &= (3,35 - (0,77 + 2,148)) / 0,08 \cdot 0,8 \\ &= 6,734 \text{ inch} = 17,105 \text{ cm} \text{ -- } 17,5 \text{ cm} = 6,9 \text{ inc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SN_{\text{total}} &= 0,42 \cdot 5,118 + 0,14 \cdot 6,9 \cdot 0,8 + 0,08 \cdot 6,9 \cdot 0,8 \\ &= 3,36 \end{aligned}$$

Susunan perkerasan :



Gambar 5.3. Tebal lapis keras berdasarkan hitungan metode AASHTO 1986.

Hasil Stabilitas Marshal Test Lapis Permukaan

-HRS (843 kg)	= 0,21
-ATBL (746 KG)	= 0,19
-ATB (1232 KG)	= 0,255

$$a_1 = 0,655$$

Hasi test mix design test :

- Agregat base klas A (CBR 80%) , $a_2 = 0,13$
- Agregat subbase klas B (CBR 30%), $a_3 = 0,109$

Besarnya koefisien kekuatan relatif bahan terlihat pada lampiran 11,12,13,14 dan 15.

Perhitungan penentuan tebal lapis masing-masing perkerasan dengan data hasil stabilitas marshal test lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah berdasarkan persamaan diatas maka diperoleh tebal masing-masing lapis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} D^*_1 &= SN_1/a_1 \\ &= 2,1/0,655 \\ &= 3,206 \text{ inch} = 8,14 \text{ cm} = 8,5 \text{ cm} \text{ -- } = 3,346 \text{ inch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SN^*_1 &= a_1 \cdot D_1 \\ &= 0,655 \cdot 3,346 \\ &= 2,1919 > SN_1 = 2,1 \end{aligned}$$

Lapis pondasi atas :

$$\begin{aligned}
 D^*_2 &= \frac{SN_2 - SN^*_1}{(a_2 \cdot m_2)} \\
 &= \frac{2,9 - 2,1919}{(0,13 \cdot 0,8)} \\
 &= 6,808 \text{ inch} = 17,29 \text{ cm} \approx 17,5 \text{ cm} = 6,9 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SN^*_2 &= a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 \\
 &= 0,13 \cdot 6,9 \cdot 0,8 \\
 &= 0,7176
 \end{aligned}$$

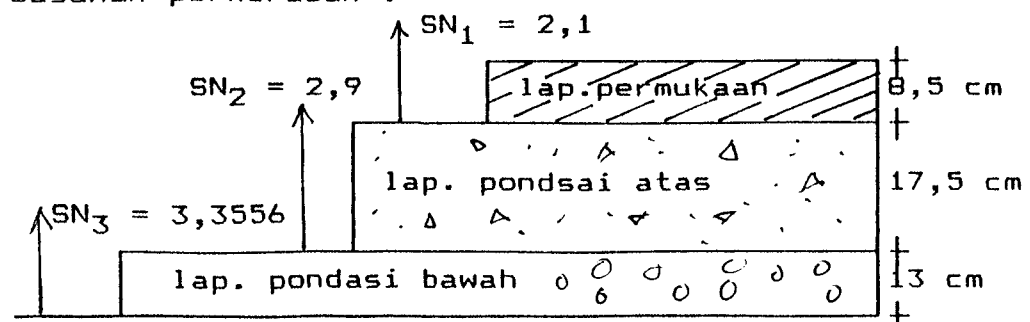
$$\begin{aligned}
 SN^*_1 + SN^*_2 &> SN_2 \\
 2,1919 + 0,7176 &= 2,909 > SN_2 = 2,9
 \end{aligned}$$

Lapis pondasi bawah :

$$\begin{aligned}
 D^*_3 &= \frac{\{SN_3 - (SN^*_2 + SN^*_1)\}}{(a_3 \cdot m_3)} \\
 &= \frac{\{3,35 - 2,909\}}{(0,109 \cdot 0,8)} \\
 &= 5,05 \text{ inch} = 12,8 \text{ cm} \approx 13 \text{ cm} = 5,12 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SN_{\text{total}} &= 0,655 \cdot 3,346 + 0,13 \cdot 6,9 \cdot 0,8 + 0,109 \cdot 5,12 \cdot 0,8 \\
 &= 3,3556
 \end{aligned}$$

Susunan perkerasan :



Gambar 5.3. Tebal lapis keras berdasarkan hasil Marshal Test dengan metode AASHTO 1986

3. Perhitungan perkerasan jalan lama (overlay)

- Laston (MS 746) $a_1 = 0,445$ (= 13 cm)
- Lapis pondasi, klas A (CBR 80%) $a_2 = 0,13$ (17,5 cm)
- Lapis pondasi bawah, klas B (CBR 30%) $a_3 = 0,109$

- CBR tanah dasar 9,1 %

- $S_o = 0,45$

- $R = 95 \%$

- $M_r = 1500 \times \text{CBR}$
 $= 1500 \times 9,1$
 $= 13650$

- $W_{PV_{18t}} = 1,8 \times 10^6$ 18-K ESAL

Berdasarkan data-data diatas maka dari gambar 3.4 diperoleh nilai $SN = 3,5$. Maka perhitugan tebal lapis keras tambahan adalah sebagai berikut :

- $60\% \cdot 13 \cdot 0,455 = 3,471$ cm

- $100\% \cdot 17,5 \cdot 0,13 = 2,275$ cm

- $100\% \cdot 17,5 \cdot 0,109 = 1,9075$ cm

$\Sigma SN = 7,6535$ cm
 $= 3,013$ inch

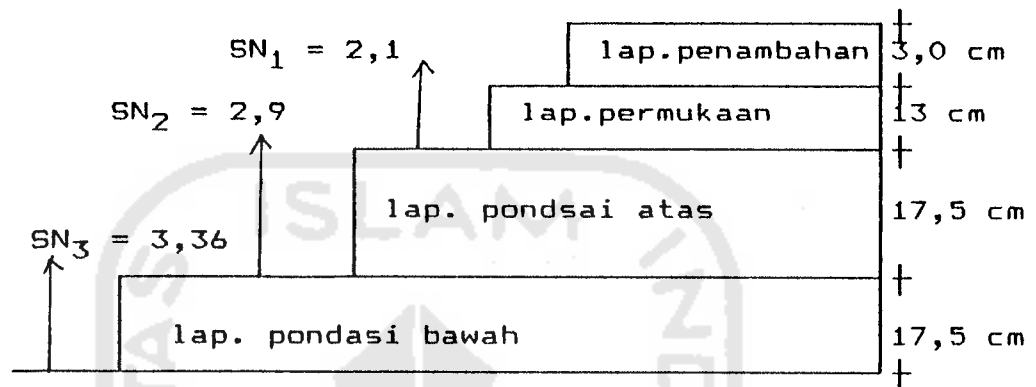
$SN - \Sigma SN = 0,455 \cdot D_1$

$3,5 - 3,013 = 0,455 \cdot D_1$

$D_1 = 1,0944$ inch

$= 2,779$ cm = 3 cm.

Susunan perkerasan :



Gambar 5.3. Tebal lapis keras berdasarkan hitungan metode AASHTO 1986.

Hasil perhitungan dari analisa komponen 1987 dan metode AASHTO 1986 seperti terlihat pada tabel 5.9, 5.10 dan 5.11.

Tabel 5.9. Hasil hitungan lapis keras

Hasil perhitungan lapis keras	Analisa komponen 1987(cm)	AASHTO 1986 (cm)	Hasil lapangan (cm)
-lap. permukaan	15,0	13,0	15,0
-lap. pondasi	20,0	17,5	20,0
-lap. pondasi bawah	20,0	17,5	20,0

Tabel 5.10. Hasil hitungan lapis keras berdasarkan hasil test Marshal Test

Hasil perhitungan lapis keras	Analisa komponen 1987 (cm)	AASHTO 1986 (cm)	Hasil lapangan (cm)
-lap. permukaan	13,0	8,5	13,0
-lap. pondasi	20,0	17,5	20,0
-lap. pondasi bawah	20,0	13,0	20,0

Tabel 5.11. Hasil hitungan lapis keras penambahan (overlay)

Hasil perhitungan lapis keras	Analisa komponen 1987 (cm)	AASHTO 1986 (cm)	Hasil lapangan (cm)
-lap. tambahan	6,5	3,0	6,5
-lap. permukaan	15,0	13,0	15,0
-lap. pondasi	20,0	17,5	20,0
-lap. pondasi bawah	15,0	13,0	17,5

B. PEMBAHASAN

Umumnya yang seringkali dilakukan dalam menganalisis tebal perkerasan suatu jalan, menghitungnya kedalam dua metode atau lebih. Walaupun persoalan yang akan dihadapi sangatlah bersifat kondisional. Namun begitu, dengan menggunakan dua atau lebih metoda, perhitungan yang diberikan lebih menggambarkan hasil yang relatif benar.

Penentuan Tebal Perkerasan

Empat faktor yang sangat berpengaruh pada perencanaan tebal perkerasan lentur yaitu lalulintas (LHR), tanah dasar (*subgrade*), bahan perkerasan dan faktor regional.

Perencanaan tebal perkerasan direncanakan berdasarkan atas keempat faktor tersebut sehingga sesuai dengan tingkat pelayanan yang diharapkan selama umur rencana.

1. Lalulintas

a. Metode analisa komponen 1987 (Bina Marga)

Lalulintas yang lewat dikorelasikan terhadap beban standar sebesar 8160 kg (18 kip/80 KN) dengan suatu angka ekuivalen. Angka ekuivalen menurut Bina Marga tergantung hanya pada beban gandar dan jenis gandar tunggal atau ganda tanpa dipengaruhi oleh nilai indek tebal perkerasan (ITP).

b. Metode AASHTO 1986

Dalam meengkorelasikan beban gandar yang ada dengan beban standar 18 kip (8160 kg/80 KN) digunakan

angka ekivalen kumulatif 18-K ESAL angka kumulatif ini dipengaruhi oleh :

1. Faktor distribusi arah kendaraan dan lajur.
2. Faktor ekivalen kendaraan berdasarkan beban gandar dan jenis gandar kendaraan.
3. Structural Number (SN).
4. Indek Permukaan (Pt).
5. Angka pertumbuhan lalu lintas berdasarkan umur perencanaan jalan dan persen pertumbuhan lalu lintas.
6. Simpangan baku dan standar deviasi keseluruhan berdasarkan jenis klasifikasi jalan.
7. Koefisien kekuatan bahan.

2. Bahan Perkerasan

a. Metode Bina Marga 1987 dan AASHTO 1986

Bahan perkerasan lentur terdiri dari lapis permukaan beraspal dan unbound layer. Kedua metode tersebut menyatakan bahan kedalam koefisien kekuatan relatif (a).

Koefisien kekuatan relatif (a) masing-masing bahan dan kegunaannya bagi lapis permukaan, pondasi, pondasi bawah ditentukan secara korelasi sesuai nilai Marshal test untuk bahan dengan aspal, kuat tekan untuk bahan yang distabilisasikan dengan semen dan kapur, atau CBR untuk bahan lapis pondasi atau lapis pondasi bawah.

3. Tanah Dasar (Subgrade)

a. Metode Bina Marga 1987

Kekuatan tanah dasar dinyatakan dalam Daya Dukung Tanah (DDT), penentuan nilai DDT dengan cara mengkorelasikan dengan nilai CBR subgrade.

b. Metoda AASHTO 1986

Kekuatan tanah dasar dinyatakan dalam Modulus Resillien (Mr) . Penentuan Mr dengan menggalikan angka penentuan dari AASHTO yaitu 1500 dengan CBR tanah dasarnya.

4. Faktor Regional

a. Metode Bina Marga

Keadaan yang dipertimbangkan oleh Bina Marga untuk menentukan Faktor Regional antara lain bentuk alinemen (kelandaian dan tikungan), prosentase kendaraan berat serta iklim (banyak curah hujan yang terjadi). Faktor regional yang diambil oleh Bina Marga mirip dengan AASHTO yang telah disesuaikan dengan keadaan di Indonesia, hal ini dikarenakan rumus - rumus yang di pergunakan oleh Bina Marga diambil dari AASHTO Road Test. Semakin tinggi nilai FR yang ditetapkan di suatu tempat menggambarkan kondisi tempat tersebut relatif lebih buruk.

b. Metoda AASHTO 1986

Keadaan yang dipertimbangkan untuk faktor regional antara lain : topografi, kesamaan dengan lokasi jalan yang diadakan oleh AASHTO test, kondisi lingkungan, faktor drainasi, adanya pengaruh pen-

gembangan tanah (*swelling*) terhadap daya dukung tanah yang dipengaruhi oleh nilai indeks plastisitas tanah dasar, perbedaan musim dan temperatur.

Nilai indeks permukaan akibat dari kondisi lingkungan dan sifat material yang digunakan. Besarnya penurunan indeks permukaan akibat pengembangan (*swelling*) dipengaruhi oleh tingkat pengembangan (*swell Ratio Constant*), kemungkinan pengembangan (*swell probability*) dan besarnya potensi merembes keatas (*potential vertical rise*) yang dipergunakan untuk menentukan besarnya nilai indeks permukaan (PSI) akibat pengembangan.

Pada perhitungan analisis tebal lapis keras dengan menggunakan dua metoda, yaitu pada perhitungan pada bab-bab sebelumnya terdapat beberapa perbedaan dan persamaan pada perhitungan kedua metoda diatas. Perbedaan dan persamaan ini disebabkan karena adanya perbedaan kondisi setempat pada masing-masing negara, terutama untuk perhitungan dengan metoda Bina Marga 1987 banyak mengacu pada perhitungan dengan metoda AASHTO 1986.

Persamaan dan perbedaan pada perhitungan kedua metoda tersebut seperti terlihat pada tabel 5.12.

Berdasarkan hasil analisis pada perhitungan tebal perkerasan pada masing-masing lapis maka pada perhitungan metoda Bina Marga hasilnya lebih besar dari pada AASHTO, yaitu 15 cm untuk Bina Marga dan 13 cm untuk AASHTO untuk masing-masing pada lapis permukaan (tabel 5.9 samapi

5.11). Hal tersebut bisa terjadi karena letak dan kondisi tiap negara adalah berbeda-beda sehingga bahan perkerasan dan iklim pada negara tersebut berbeda-beda. Pada perhitungan ini Bina Marga banyak mengacu pada perhitungan AASHTO 1986.

Tabel 5.12. Perbedaan pada perhitungan lapis keras dengan menggunakan metode AASHTO 1986 dan metode Bina Marga 1987

Uraian	Bina Marga 1987	AASHTO 1986
1. Parameter daya dukung tanah (DDT)	Dikonversikan terhadap nilai CBR	Dinyatakan dalam modulus Resillien (MR) yang dapat diperoleh dengan pemeriksaan AASTHO T 274 atau korelasi dengan CBR
2. Kondisi lingkungan	Dinyatakan dengan besarnya nilai Faktor Regional (FR)	Dipengaruhi oleh besarnya pengembangan tanah (swell) yang diperoleh dengan rumus $PSI_{swell} = 0,00335 \cdot V_r \cdot P_s \cdot (1 - e^{0t})$
3. Lintas ekuivalen selama umur rencana	Ditentukan berdasarkan besarnya nilai : -LEP, LEA, LET, LER	Dengan menggunakan rumus : $W_{18t} = D_D \times D_L \times W_{18}$
4. Parameter lain yang tidak terdapat pada metoda Bina Marga	-	-Reliabilitas -Simpangan Baku keseluruhan -faktor distribusi jalur -kualitas drainasi
5. Nilai indeks tebal perkerasan	$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$	$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$

Sedangkan persamaan metode Bina Marga 1987 dan AASHTO 1986 pada perhitungan lapis keras adalah :

1. Koefisien kekuatan relatif bahan ditentukan berdasarkan hasil test laboratorium.
2. Kondisi lingkungan masing-masing negara sangat berpengaruh terhadap umur rencana jalan.
3. Koefisien distribusi kendaraan pada kedua perhitungan tersebut untuk jalan lingkaran utara adalah 0,5.
4. Kondisi fisik jalan ditentukan dengan besarnya nilai indeks permukaan (IP).
5. Beban gandar masing-masing kendaraan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (SMP) sebesar 18 kip.