

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengambilan Data

5.1.1 Data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

Data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) pada ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 diperoleh langsung dari Dinas Pekerjaan Umum Bidang Bina Marga Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta. Survei lalu lintas harian yang dilakukan oleh Satker P2JN Yogyakarta ini dilaksanakan pada Tahun 2017. Data Lalu Lintas Harian (LHR) ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Data LHR Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250

Jenis Kendaraan	Golongan	LHR (kend/hari)
sepeda motor	1	50.743
sedan, jeep	2	23.822
pick-up, angkot	3	1.454
pick-up box	4	4.028
bus $\frac{3}{4}$	5a	676
bus besar	5b	1.250
truk 2 sumbu 4 roda	6a	395
truk 2 sumbu 6 roda	6b	1.070
truk 3 sumbu	7a	283
truk gandeng	7b	43
semi trailer	7c	58
KTB	8	874

Sumber: Satker P2JN Yogyakarta (2017)

5.1.2 Data Lentutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Data lentutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) diperoleh juga dari hasil survei tahunan yang dilakukan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bidang Bina Marga Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta. Survei lentutan FWD dilaksanakan pada bulan April 2017. Data lentutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dapat dilihat pada Lampiran 2.

5.2 Metode Bina Marga 2017

Analisis *overlay* dengan metode Bina Marga 2017 yaitu menggunakan data lendutan dan lengkung lendutan dengan pendekatan desain mekanistik empiris untuk rehabilitasi jalan dengan lalu lintas berat. Perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) dengan metode Bina Marga 2017 diterapkan berdasarkan analisis lalu lintas, nilai lendutan maksimum dan nilai lengkung lendutan, sehingga nantinya dapat ditentukan desain tebal *overlay* yang dibutuhkan.

5.2.1 Analisis Lalu Lintas

5.2.1.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif dengan laju pertumbuhan lalu lintas (*i*) untuk wilayah Pulau Jawa yaitu sebesar 4,8% (lihat Tabel 3.1) dan dengan umur rencana, UR = 10 tahun. Sehingga faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung seperti pada persamaan 3.1.

$$\begin{aligned} R &= \frac{(1+(0,01 \times i))^{UR} - 1}{0,01 \times i} \\ &= \frac{(1+(0,01 \times 0,048))^{10} - 1}{0,01 \times 0,048} \\ &= 10,0216277 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapat nilai faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif selama umur rencana (UR) 10 tahun, yaitu $R = 10,0216277$.

5.2.1.2 Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dengan dua arah, seperti pada Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50. Sedangkan, untuk jalan ini dengan dua lajur, faktor distribusi lajur (DL) diambil 0,8 (Tabel 3.2).

5.2.1.3 Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Berdasarkan nilai VDF masing-masing jenis kendaraan niaga yang ditunjukkan oleh Tabel 3.4, maka nilai VDF 4 dan VDF 5 masing-masing jenis kendaraan diperoleh seperti pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Golongan	VDF 4	VDF 5
bus $\frac{3}{4}$	5a	0,3	0,2
bus besar	5b	1	1
truk 2 sumbu 4 roda	6a	0,8	0,8
truk 2 sumbu 6 roda	6b	0,7	0,7
truk 3 sumbu	7a	7,6	11,2
truk gandeng	7b	36,9	90,4
semi trailer	7c	13,6	24

5.2.1.4 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, yang diuraikan seperti berikut ini.

1. CESA 4

a. Golongan 5a

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (676 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 296.728,3694 \end{aligned}$$

b. Golongan 5b

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (1.250 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 1.828.947,05 \end{aligned}$$

c. Golongan 6a

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (395 \times 0,8) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 462.357,8142 \end{aligned}$$

d. Golongan 6b

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (1.070 \times 0,7) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 1.095.905,072 \end{aligned}$$

e. Golongan 7a

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (283 \times 7,6) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 3.146.959,452 \end{aligned}$$

f. Golongan 7b

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (43 \times 36,9) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 2.321.592,227 \end{aligned}$$

g. Golongan 7c

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (58 \times 13,6) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 1.154.138,746 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CESA 4} &= 296.728,3694 + 1.828.947,05 + 173.384,1803 + 1.095.905,072 \\ &\quad + 3.146.959,452 + 2.321.592,227 + 1.154.138,746 \\ &= 10.306.628,732 \text{ ESA4.} \end{aligned}$$

2. CESA 5

a. Golongan 5a

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (676 \times 0,2) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 197.818,9129 \end{aligned}$$

b. Golongan 5b

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (1.250 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 1.828.947,05 \end{aligned}$$

c. Golongan 6a

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (395 \times 0,8) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 462.357,8142 \end{aligned}$$

d. Golongan 6b

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (1.070 \times 0,7) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 1.095.905,072 \end{aligned}$$

e. Golongan 7a

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (283 \times 11,2) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 4.637.624,456 \end{aligned}$$

f. Golongan 7b

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (43 \times 90,4) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 5.687.586,378 \end{aligned}$$

g. Golongan 7c

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\text{LHRJK} \times \text{VDFJK}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (58 \times 24) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10,216277 \\ &= 2.036.715,435 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CESA 5} &= 197.818,9129 + 1.828.947,05 + 462.357,8142 + 17.534.481,16 \\ &\quad + 4.637.624,456 + 5.687.586,378 + 2.036.715,435 \\ &= 15.946.955,118 \text{ ESA5.} \end{aligned}$$

5.2.2 Desain Tebal *Overlay*

5.2.2.1 Faktor Keseragaman Data

Data lendutan yang akan digunakan untuk analisis pada metode Bina Marga 2017 adalah data lendutan pada pusat beban (d_0) dan data lendutan pada jarak 200 mm dari pusat beban (d_{200}). Namun, sebelumnya perlu dilakukan

keseragaman data dengan faktor keseragaman kurang dari 30% dengan menggunakan persamaan:

$$FK = \frac{s}{d_r} \times 100 < FK_{ijin} \quad (5.1)$$

$$d_r = \frac{\sum d}{N} \quad (5.2)$$

$$s = \sqrt{\frac{N(\sum d^2) - (\sum d)^2}{N(N-1)}} \quad (5.3)$$

dengan:

FK = Faktor Keseragaman,

FK_{ijin} = Faktor Keseragaman yang diijinkan:

(0 – 10%, keseragaman sangat baik)

(11 – 20%, keseragaman baik)

(21 – 30%, keseragaman cukup baik),

d_r = lendutan rata-rata,

s = standar deviasi,

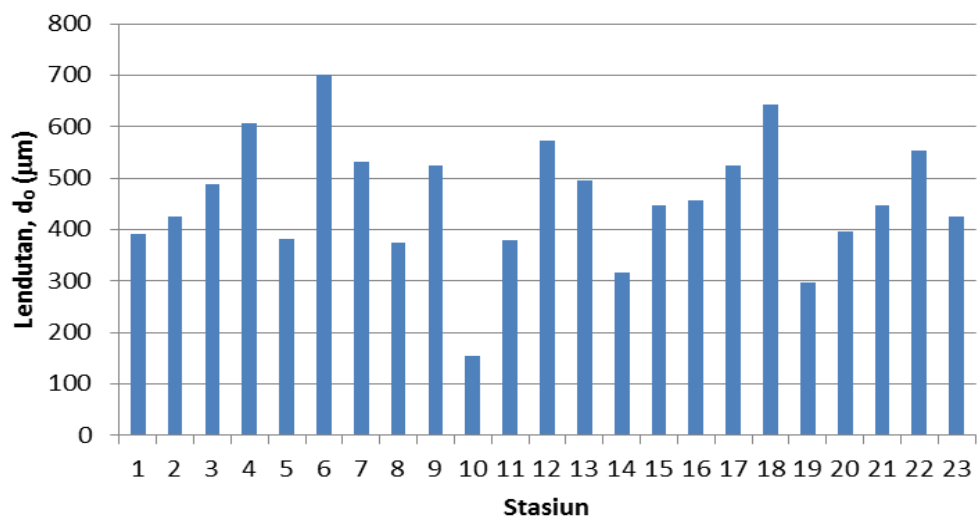
d = lendutan pada suatu titik, dan

N = jumlah data lendutan.

Keseragaman data lendutan pada ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 ini dilakukan dengan memilih atau menyaring data lendutan yang memiliki nilai lendutan yang seragam dan cukup besar, sebab semakin tinggi lendutan menunjukkan kondisi perkerasan yang semakin jelek. Sehingga, berdasarkan faktor keseragaman terdapat 23 data lendutan pada ruas ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 yang akan dihitung tebal lapis tambah rata-rata yang dibutuhkan. Data lendutan hasil keseragaman dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.1 berikut ini.

Tabel 5.3 Data Lendutan Seragam

No	STA	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)
1	2+000	39,70	392	288
2	2+400	39,80	425	316
3	2+800	39,90	487	357
4	3+600	39,80	607	533
5	4+400	39,70	381	276
6	5+200	40,00	701	566
7	6+000	39,40	531	435
8	6+400	40,20	375	283
9	7+200	39,70	524	412
10	7+600	41,10	155	110
11	8+000	38,80	380	287
12	10+400	39,00	573	445
13	10+800	40,40	496	370
14	11+600	39,30	317	261
15	12+000	40,80	448	329
16	14+000	40,00	456	369
17	15+200	39,90	525	438
18	15+600	40,10	644	501
19	16+000	40,00	297	214
20	17+200	40,70	396	307
21	17+600	40,50	447	321
22	18+000	40,40	554	438
23	18+400	41,00	425	354

**Gambar 5.1 Grafik Data Lendutan Seragam**

Selanjutnya, data-data lendutan tersebut dihitung faktor keseragamannya dengan menggunakan persamaan 5.1 – persamaan 5.3 seperti yang ada di atas, maka perhitungannya diuraikan sebagai berikut ini.

Tabel 5.4 Perhitungan d_0^2

No	STA	Beban (kN)	D_0 (μm)	D_{200} (μm)
1	2+000	39,70	392	288
2	2+400	39,80	425	316
3	2+800	39,90	487	357
4	3+600	39,80	607	533
5	4+400	39,70	381	276
6	5+200	40,00	701	566
7	6+000	39,40	531	435
8	6+400	40,20	375	283
9	7+200	39,70	524	412
10	7+600	41,10	155	110
11	8+000	38,80	380	287
12	10+400	39,00	573	445
13	10+800	40,40	496	370
14	11+600	39,30	317	261
15	12+000	40,80	448	329
16	14+000	40,00	456	369
17	15+200	39,90	525	438
18	15+600	40,10	644	501
19	16+000	40,00	297	214
20	17+200	40,70	396	307
21	17+600	40,50	447	321
22	18+000	40,40	554	438
23	18+400	41,00	425	354
Σ			10.456	5.129.866

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{N(\sum d^2) - (\sum d)^2}{N(N-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(23 \times 5.129.866) - (10.456)^2}{23 \times (23-1)}} \\
 &= 130,8152
 \end{aligned}$$

$$d_r = \frac{\sum d}{N}$$

$$= \frac{10.456}{23}$$

$$= 454,6087 \mu\text{m}$$

$$FK = \frac{s}{d_r} \times 100$$

$$= \frac{130,8152}{454,6087} \times 100$$

$$= 28,77534 \% < FK_{ijin} = 30\%$$

5.2.2.2 Lendutan Terkoreksi Musim

Pengujian lendutan FWD pada jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 ini dilakukan pada musim kemarau maka diperlukan adanya faktor koreksi musim, yaitu sebesar 1,2. Contoh perhitungan yang akan diuraikan yaitu pada STA 2+000 – 2+800 yang dapat dilihat di bawah ini.

1. STA 2+000

$$\begin{aligned} \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi musim} &= Df_1 \times 1,2 \\ &= 392 \times 1,2 \\ &= 470,4 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } D_{200} \text{ terkoreksi musim} &= Df_2 \times 1,2 \\ &= 288 \times 1,2 \\ &= 345,6 \mu\text{m} \end{aligned}$$

2. STA 2+400

$$\begin{aligned} \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi musim} &= Df_1 \times 1,2 \\ &= 425 \times 1,2 \\ &= 510 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } D_{200} \text{ terkoreksi musim} &= Df_2 \times 1,2 \\ &= 316 \times 1,2 \\ &= 379,2 \mu\text{m} \end{aligned}$$

3. STA 2+800

$$\begin{aligned} \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi musim} &= Df_1 \times 1,2 \\ &= 487 \times 1,2 \\ &= 584,4 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_{200} \text{ terkoreksi musim} &= Df_2 \times 1,2 \\
 &= 357 \times 1,2 \\
 &= 428,4 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

5.2.2.3 Lendutan Terkoreksi Beban Normal

Setelah didapat nilai lendutan yang sudah dikoreksi oleh faktor musim, maka selanjutnya nilai lendutan tersebut harus dikoreksi oleh beban normal. Sebab, walaupun alat FWD telah diset untuk beban normal 40 kN, tetapi di dalam pelaksanaan pada umumnya selalu terjadi penyimpangan nilai beban sebenarnya yang tercatat. Oleh sebab itu, nilai lendutan tersebut harus dinormalkan nilai lendutan ke beban standar 40 kN. Perhitungannya diuraikan sebagai berikut ini.

1. STA 2+000

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_0 \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{39,7} \times 470,4 \\
 &= 473,95466 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_{200} \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_{200} \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{39,7} \times 345,6 \\
 &= 348,21158 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. STA 2+400

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_0 \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{39,8} \times 510 \\
 &= 512,56281 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_{200} \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_{200} \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{39,8} \times 379,2 \\
 &= 381,10553 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

3. STA 2+800

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_0 \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{39,9} \times 584,4 \\
 &= 585,86466 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_{200} \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_{200} \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{39,9} \times 428,4 \\
 &= 429,47368 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

5.2.2.4 Lengkung Lendutan

Lengkung lendutan digunakan untuk perkerasan dengan beban lalu lintas desain lebih besar dari 100.000 ESA4. Lengkung lendutan dinyatakan pada titik belok lengkungan atau CF (*curvature function*) berdasarkan bentuk lengkung lendutan yang telah dikoreksi oleh beban normal sesuai dengan persamaan 3.3.

1. STA 2+000

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= D_0 \text{ normal} - D_{200} \text{ normal} \\
 &= 473,95466 - 348,211587 \\
 &= 125,74307 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. STA 2+400

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= D_0 \text{ normal} - D_{200} \text{ normal} \\
 &= 512,56281 - 381,10553 \\
 &= 131,45729 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

3. STA 2+800

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= D_0 \text{ normal} - D_{200} \text{ normal} \\
 &= 585,86466 - 429,47368 \\
 &= 156,39098 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

5.2.2.5 Lendutan Terkoreksi Temperatur

Faktor koreksi temperatur untuk pengukuran lendutan dihitung sesuai dengan persamaan 3.4 lalu menggunakan Tabel 3.7 dan Tabel 3.8. Temperatur perkerasan rata-rata (MAPT) digunakan sebesar 41°C.

$$\begin{aligned}
 f_t &= \frac{\text{MAPT}}{\text{Temperatur perkerasan saat pengukuran lendutan}} \\
 &= \frac{41}{40} \\
 &= 1,025
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 dengan $\text{AMPT}/\text{Temp}_{\text{perkerasan}} = 1,025$ dan data perkerasan tebal aspal *existing* = 120 mm, maka didapat faktor koreksi temperatur untuk $D_0 = 1$ dan juga faktor koreksi temperatur untuk $D_0 - D_{200} = 1$. Selanjutnya, nilai lendutan dikoreksi menggunakan faktor koreksi temperatur yang sudah diperoleh tersebut.

1. STA 2+000

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi temperatur} &= 1 \times D_0 \text{ normal} \\
 &= 1 \times 473,95466 \\
 &= 473,95466 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_0 - D_{200} \text{ terkoreksi temperatur} &= 1 \times \text{CF} \\
 &= 1 \times 125,7430 \\
 &= 125,7430 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. STA 2+400

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi temperatur} &= 1 \times D_0 \text{ normal} \\
 &= 1 \times 512,56281 \\
 &= 512,56281 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_0 - D_{200} \text{ terkoreksi temperatur} &= 1 \times \text{CF} \\
 &= 1 \times 131,45729 \\
 &= 131,45729 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

3. STA 2+800

$$\text{a. } D_0 \text{ terkoreksi temperatur} = 1 \times D_0 \text{ normal}$$

$$= 1 \times 585,86466$$

$$= 585,86466 \mu\text{m}$$

b. $D_0 - D_{200}$ terkoreksi temperatur = $1 \times CF$

$$= 1 \times 156,39098$$

$$= 156,39098 \mu\text{m}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

5.2.2.6 Penyesuaian Lendutan (D_0) FWD ke BB

Apabila data lendutan diperoleh dari hasil alat FWD maka data lendutan (D_0) tersebut harus dikonversi ke dalam data lendutan *Benkelman Beam* dengan mengalikan nilai yang diperoleh dengan faktor penyesuaian seperti ditunjukkan pada Tabel 3.10. Berdasarkan Tabel 3.10 dengan tebal aspal eksisting = 120 mm, maka didapat faktor penyesuaian lendutan = 1,22. Sehingga, perhitungan selanjutnya diuraikan sebagai berikut ini.

1. STA 2+000

$$D_0 \text{ penyesuaian FWD ke BB} = 1,22 \times D_0 \text{ terkoreksi temperatur}$$

$$= 1,22 \times 473,95466$$

$$= 578,22468 \mu\text{m}$$

2. STA 2+400

$$D_0 \text{ penyesuaian FWD ke BB} = 1,22 \times D_0 \text{ terkoreksi temperatur}$$

$$= 1,22 \times 512,56281$$

$$= 625,32663 \mu\text{m}$$

3. STA 2+800

$$D_0 \text{ penyesuaian FWD ke BB} = 1,22 \times D_0 \text{ terkoreksi temperatur}$$

$$= 1,22 \times 585,86466$$

$$= 714,75489 \mu\text{m}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

5.2.2.7 Menentukan Tebal *Overlay* Berdasarkan Lendutan Maksimum

Dalam menentukan tebal *overlay* berdasarkan lendutan maksimum digunakan grafik pada Gambar 3.1 dengan cara menghitung dan memasukkan

nilai lendutan karakteristik dan beban lalu lintas desain (ESA4) ke dalam grafik tersebut. Untuk langkah perhitungannya diuraikan sebagai berikut ini.

1. Hitung D_0 rata-rata

D_0 rata-rata dihitung berdasarkan nilai D_0 yang telah seragam dan telah dikoreksi dengan beban standar 40 kN, faktor musim, faktor temperatur dan juga dengan faktor penyesuaian FWD ke *Benkelman Beam*. Perhitungan D_0 rata-rata selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan D_0 rata-rata

No	STA	D_0 (μm)	D_0 terkoreksi musim (μm)	D_0 normal (μm)	D_0 terkoreksi temp. (μm)	D_0 Penyesuaian ke BB (μm)	D_0^2 (μm) ²
1	2+000	392	470,40	473,95	473,95	578,22	334.343,79
2	2+400	425	510,00	512,56	512,56	625,33	391.033,40
3	2+800	487	584,40	585,86	585,86	714,75	510.874,55
4	3+600	607	728,40	732,06	732,06	893,11	797.651,85
5	4+400	381	457,20	460,65	460,65	562,00	315.842,87
6	5+200	701	841,20	841,20	841,20	1.026,26	1.053.217,80
7	6+000	531	637,20	646,90	646,90	789,22	622.871,89
8	6+400	375	450,00	447,76	447,76	546,27	298.409,45
9	7+200	524	628,80	633,55	633,55	772,93	597.425,42
10	7+600	155	186,00	181,02	181,02	220,85	48.773,27
11	8+000	380	456,00	470,10	470,10	573,53	328.931,81
12	10+400	573	687,60	705,23	705,23	860,38	740.256,39
13	10+800	496	595,20	589,31	589,31	718,95	516.895,51
14	11+600	317	380,40	387,18	387,18	472,35	223.118,49
15	12+000	448	537,60	527,06	527,06	643,01	413.464,13
16	14+000	456	547,20	547,20	547,20	667,58	445.668,40
17	15+200	525	630,00	631,58	631,58	770,53	593.710,80
18	15+600	644	772,80	770,87	770,87	940,46	884.474,11
19	16+000	297	356,40	356,40	356,40	434,81	189.058,00
20	17+200	396	475,20	467,03	467,03	569,77	324.641,24
21	17+600	447	536,40	529,78	529,78	646,33	417.741,03
22	18+000	554	664,80	658,22	658,22	803,03	644.850,34
23	18+400	425	510,00	497,56	497,56	607,02	368.478,61
Σ						15.322,73	11.024.379,21

$$\begin{aligned}
 D_0 \text{rata-rata} &= \frac{\sum D_0 \text{penyesuaian BB}}{N} \\
 &= \frac{15.322,7309}{23} \\
 &= 666,2057 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. Hitung Standar Deviasi

Standar Deviasi dapat dihitung menggunakan persamaan 5.3 di atas. Maka, perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{N(\sum d^2) - (\sum d)^2}{N(N-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(23 \times 11.024.379,21) - (15.322,73095)^2}{23 \times (23-1)}} \\
 &= 192,6240
 \end{aligned}$$

3. Hitung Lendutan Maksimum (Lendutan Karakteristik)

Lendutan maksimum atau lendutan karakteristik yaitu besarnya nilai lendutan yang mewakili suatu sub ruas atau seksi jalan yang disesuaikan dengan fungsi atau kelas jalan dan ditentukan dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 2s \quad (\text{untuk jalan arteri / tol}) \quad (5.4)$$

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,64s \quad (\text{untuk jalan kolektor}) \quad (5.5)$$

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,28s \quad (\text{untuk jalan lokal}) \quad (5.6)$$

Ruas Jalan yang ditinjau pada penelitian ini adalah jalan arteri, sehingga berdasarkan rumus persamaan di atas, maka rumus lendutan karakteristik yang akan digunakan, yaitu persamaan 5.4.

$$\begin{aligned}
 D_{\text{wakil}} &= d_R + 2s \\
 &= 666,2057 + (2 \times 192,6240) \\
 &= 1.051,4538 \mu\text{m} \\
 &= 1,0514 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

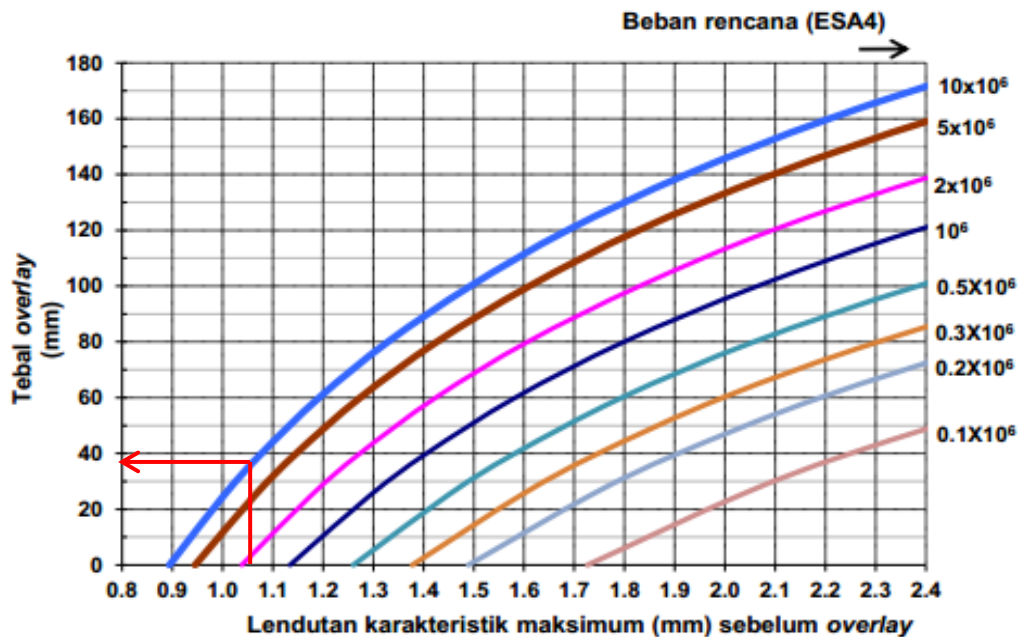
4. Hitung Tebal *Overlay*

Tentukan tebal *overlay* dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, berdasarkan nilai lendutan karakteristik dan nilai beban rencana lalu lintas (ESA4), dengan data-data yang sudah diperoleh sebagai berikut ini.

$$D_{\text{wakil}} = 1,0514 \text{ mm}$$

$$\text{CESA 4} = 10.306.628,732$$

Maka, selanjutnya tebal *overlay* dapat ditentukan dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.2 Menentukan Tebal *Overlay*

Sehingga, berdasarkan Gambar 5.4 di atas menunjukkan bahwa tebal lapis tambah (*overlay*) yang dibutuhkan untuk beban rencana ESA4 sebesar 10.306.628,732, yaitu sebesar 40 mm atau 4 cm.

5.2.2.8 Menentukan Tebal *Overlay* Berdasarkan Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$)

Lengkung lendutan digunakan untuk perkerasan dengan beban lalu lintas desain lebih besar dari 100.000 ESA4. Desain berdasarkan lendutan maksimum (D_0) tidak cukup untuk menilai apakah lapis tambah berpotensi mengalami retak lelah (*fatigue cracking*). Untuk mengakomodasi retak lelah berlaku ketentuan tambahan berupa batasan nilai bentuk mangkuk lendutan (*deflection bowl*) atau lengkung lendutan (*deflection curvature*, $D_0 - D_{200}$) yang harus diperiksa untuk memastikan bahwa lapis *overlay* mampu menahan retak lelah. Perkiraan kinerja

berdasarkan retak leleh dihitung menggunakan lengkung lendutan karakteristik ($D_0 - D_{200}$). Untuk langkah perhitungannya diuraikan sebagai berikut ini.

1. Hitung $D_0 - D_{200}$ rata-rata

$D_0 - D_{200}$ rata-rata dihitung berdasarkan nilai $D_0 - D_{200}$ yang telah seragam dan telah dikoreksi dengan beban standar 40 kN, faktor musim dan faktor temperatur. Perhitungan $D_0 - D_{200}$ rata-rata selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan $D_0 - D_{200}$ rata-rata

No	STA	Beban (kN)	D_0 (μm)	D_{200} (μm)	D_0 terkoreksi musim (μm)	D_{200} terkoreksi musim (μm)	D_0 normal (μm)	D_{200} normal (μm)	$D_0 - D_{200}$ (μm)	$D_0 - D_{200}$ terkoreksi temp. (μm)
1	2+000	39,7	392	288	470,4	345,6	473,955	348,212	125,743	125,743
2	2+400	39,8	425	316	510,0	379,2	512,563	381,106	131,457	131,457
3	2+800	39,9	487	357	584,4	428,4	585,865	429,474	156,391	156,391
4	3+600	39,8	607	533	728,4	639,6	732,060	642,814	89,246	89,246
5	4+400	39,7	381	276	457,2	331,2	460,655	333,703	126,952	126,952
6	5+200	40,0	701	566	841,2	679,2	841,200	679,200	162,000	162,000
7	6+000	39,4	531	435	637,2	522,0	646,904	529,949	116,954	116,954
8	6+400	40,2	375	283	450,0	339,6	447,761	337,910	109,851	109,851
9	7+200	39,7	524	412	628,8	494,4	633,552	498,136	135,416	135,416
10	7+600	41,1	155	110	186,0	132,0	181,022	128,467	52,555	52,555
11	8+000	38,8	380	287	456,0	344,4	470,103	355,052	115,052	115,052
12	10+400	39,0	573	445	687,6	534,0	705,231	547,692	157,538	157,538
13	10+800	40,4	496	370	595,2	444,0	589,307	439,604	149,703	149,703
14	11+600	39,3	317	261	380,4	313,2	387,176	318,779	68,397	68,397
15	12+000	40,8	448	329	537,6	394,8	527,059	387,059	140,000	140,000
16	14+000	40,0	456	369	547,2	442,8	547,200	442,800	104,400	104,400
17	15+200	39,9	525	438	630,0	525,6	631,579	526,917	104,662	104,662
18	15+600	40,1	644	501	772,8	601,2	770,873	599,701	171,172	171,172
19	16+000	40,0	297	214	356,4	256,8	356,400	256,800	99,600	99,600
20	17+200	40,7	396	307	475,2	368,4	467,027	362,064	104,963	104,963
21	17+600	40,5	447	321	536,4	385,2	529,778	380,444	149,333	149,333
22	18+000	40,4	554	438	664,8	525,6	658,218	520,396	137,822	137,822
23	18+400	41,0	425	354	510,0	424,8	497,561	414,439	83,122	83,122
Σ										2.743,278

$$\begin{aligned}
 D_0-D_{200} \text{ rata-rata} &= \frac{\sum D_0-D_{200} \text{ terkoreksi temperatur}}{N} \\
 &= \frac{2.743,2779}{23} \\
 &= 119,2729 \mu\text{m} \\
 &= 0,11927 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Hitung Tebal *Overlay*

Tentukan tebal *overlay* dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4, berdasarkan nilai lengkung lendutan rata-rata ($D_0 - D_{200}$ rata-rata) dan nilai beban rencana lalu lintas (ESA5), dengan data-data yang sudah diperoleh sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 D_0 - D_{200} \text{ rata-rata} &= 0,11927 \text{ mm} \\
 \text{CESA5} &= 15.946.955,118
 \end{aligned}$$

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3 maupun Gambar 3.4, dengan data $D_0 - D_{200}$ rata-rata sebesar 0,11927 mm, maka dapat dilihat bahwa jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 masih mampu menahan retak leleh, sehingga belum diperlukan *overlay* tipis maupun *overlay* tebal.

5.3 Metode AASHTO 1993

5.3.1 Analisis Lalu Lintas

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan lalu-lintas mencakup besar beban gandar, konfigurasi beban gandar, pengulangan beban dan jumlah beban gandar total. Dalam menentukan lalu-lintas rancangan perlu diestimasi volume dan komposisi lalu-lintas tahun pertama, laju pertumbuhan lalu-lintas, distribusi arah dan distribusi lajur rencana serta besar nilai *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) selama umur rencana.

5.3.1.1 ESAL per Tahun

Berdasarkan data dari P2JN Provinsi D.I Yogyakarta, Lalu Lintas Harian rata-rata (LHR) pada Tahun 2017 ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 mempunyai total volume lalu lintas harian sejumlah 83.822 sesuai

yang ada pada Tabel 5.1. Konfigurasi beban standar setiap kendaraan diambil berdasarkan beban standar yang dapat dilihat dalam Lampiran 1 Faktor Angka Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan. Untuk konfigurasi beban sumbu dan beban kendaraan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Tabel 5.7 berikut ini.

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (Ton)	Beban Muatan Maksimum (Ton)	Berat Total Maksimum (Ton)	Diagram Distribusi Beban
1.1 Mobil Penumpang	1,5	0,5	2	
1.2 Bus	3	6	9	
1.2L Truk	2,3	6	8,3	
1.2H Truk	4,2	14	18,2	
1.22 Truk	5	20	25	
1.2+2.2 Trailer	6,4	25	31,4	
1.2+2 Trailer	6,2	20	26,2	
1.2+2.2 Trailer	10	32	42	
1.2+2.2.2 Trailer	11	34	45	

Gambar 5.3 Distribusi Beban Sumbu dan Beban Kendaraan

Sumber: Bina Marga (1983) dan Pemenhub No 14 (2007)

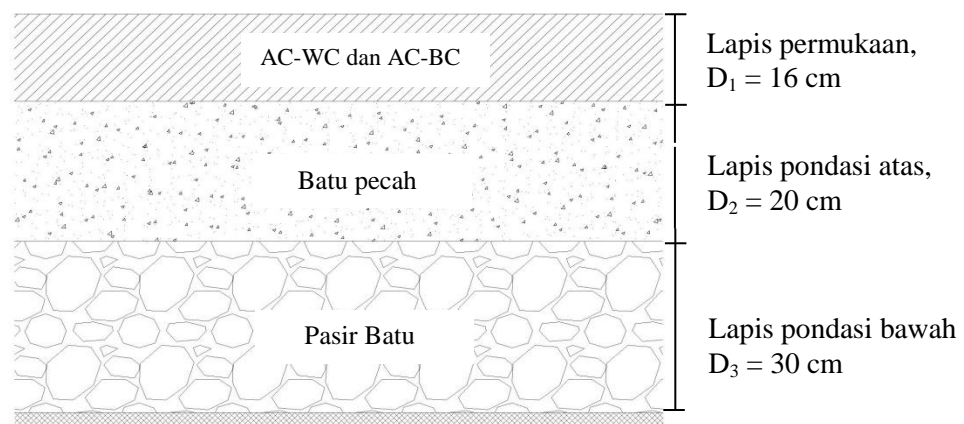
Tabel 5.7 Konfigurasi Beban Sumbu Roda Kendaraan

No	Jenis Kendaraan	Golongan	LHR 2017	Berat Total (kips)	Konfigurasi Beban Sumbu Roda (kips)				
					Depan ST, RT	Belakang			
						ke-1	ke-2	ke-3	ke-4
1	sedan, jeep	2	23.822	4,4092	2,2046	2,204			
2	pick-up, angkot	3	1.454	18,298	6,2213	12,07			
3	pick-up box	4	4.028	18,298	6,2213	12,07			
4	bus 3/4	5a	676	18,298	6,2213	12,07			
5	bus besar	5b	1.250	19,841	6,7460	13,09			
6	truk 2 sumbu 4 roda	6a	395	33,399	11,355	22,04			
7	truk 2 sumbu 6 roda	6b	1.070	33,399	11,35589	22,04			
8	truk 3 sumbu	7a	283	55,115	13,77875	20,668	20,6681		
9	truk gandeng	7b	43	69,22444	12,4603992	19,377	18,6936	18,694	
10	semi trailer	7c	58	92,5932	12,963048	23,25	23,2497	16,275	16,856

Faktor ESAL tiap kendaraan diperoleh berdasarkan faktor angka ekuivalen yang mengacu pada *Structural Number* (SN) dan beban gandar. Untuk perhitungan *Structural Number* (SN) diuraikan sebagai berikut ini.

1. Koefisien Lapisan (a)

Profil potongan melintang perkerasan jalan Arteri Selatan KM 6.750 – 25.250 berdasarkan desain perencanaan diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4 Potongan Melintang Jalan Arteri Selatan KM 6.750 – 25.250

Berdasarkan Tabel 3.15, maka koefisien untuk tiap lapisan pada Gambar 5.4 di atas adalah:

- a. Lapis permukaan: $D_1 = 16 \text{ cm} = 6,2992 \text{ inci}$
 $a_1 = 0,4$
- b. Lapis pondasi atas: $D_2 = 20 \text{ cm} = 7,874 \text{ inci}$
 $a_2 = 0,14$
- c. Lapis pondasi bawah: $D_3 = 30 \text{ cm} = 11,811 \text{ inci}$
 $a_3 = 0,11$

2. Koefisien Drainase (m)

Ditentukan dengan beberapa asumsi dan pendekatan berdasarkan pendekatan hidrologi dan dari referensi serta literatur yang ada nilai koefisien drainase dapat didekati dengan penetapan variabel presen perkerasan terkena air. Nilai persen struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut:

a. Rata-rata Hujan

Rata-rata hujan untuk wilayah D.I Yogyakarta dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini:

Tabel 5.8 Rata-rata Hujan Tahun 2011 – 2016 Wilayah D.I Yogyakarta

Tahun	Jumlah Hujan (hari)
2011	170
2012	163
2013	149
2014	160
2015	119
2016	236
Rata-rata	166,1667

Sumber: Dinas Statistika (2017)

b. Koefisien Drainase

$C = 0,8$ atau 80 % (Tabel 3.15 untuk jalan beton dan jalan aspal)

$T_{jam} = 3$ jam, pendekatan lama dan frekuensi hujan untuk rata-rata yang terjadi hujan selama 3 jam/hari dan jarang sekali terjadi hujan terus menerus selama satu minggu

$T_{hari} = 166,1667 = 167$ hari hujan dalam setahun

$$\begin{aligned} W_L &= 100 - C \\ &= 100 - 80 \\ &= 20\% \end{aligned}$$

P_{heff} dihitung menggunakan persamaan 3.7 berikut ini:

$$\begin{aligned} P_{heff} &= \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100 \\ &= \frac{3}{24} \times \frac{167}{365} \times 20\% \times 100 \\ &= 1,1438 \% > 1 \% \end{aligned}$$

Dengan nilai P_{heff} sebesar 1,1438 % dimana nilai $P_{heff} > 1\%$ dan dengan kualitas drainase baik, maka berdasarkan Tabel 3.16 diperoleh koefisien drainase (m) = 1,20.

3. Structural Number (SN)

Nilai *Structural Number* (SN) dihitung menggunakan persamaan 3.8 berikut.

$$SN = (a_1 \times D_1) + (a_2 \times D_2 \times m_2) + (a_3 \times D_3 \times m_3)$$

$$\begin{aligned} SN &= (0,4 \times 6,2992) + (0,14 \times 7,874 \times 1,20) + (0,11 \times 11,811 \times 1,20) \\ &= 5,40. \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai SN di atas, maka nilai SN yang digunakan adalah SN 5,40. Maka, ESAL kendaraan (VDF) dihitung dengan menggunakan interpolasi dengan tabel faktor ekivalensi beban gandar untuk perkerasan lentur berdasarkan nilai SN 5,40 dan nilai $P_t = 2,5$ (Lampiran 4). Perhitungan interpolasi faktor VDF kendaraan yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 5. Sehingga, berdasarkan perhitungan interpolasi VDF pada Lampiran 5, maka hasil rekapitulasi perhitungan faktor VDF setiap kendaraan dapat disajikan pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Hasil Rekapitulasi Perhitungan VDF

No	Jenis Kendaraan	Golongan	Berat Total (kips)	VDF
1	sedan, jeep	2	4,4092	0,0007683
2	pick-up, angkot	3	18,29818	0,2024577
3	pick-up box	4	18,29818	0,2024577
4	bus 3/4	5a	18,29818	0,2024577
5	bus besar	5b	19,8414	0,2946094
6	truk 2 sumbu 4 roda	6a	33,39969	2,3995809
7	truk 2 sumbu 6 roda	6b	33,39969	2,3995809
8	truk 3 sumbu	7a	55,115	2,7360881
9	truk gandeng	7b	69,22444	3,9496465
10	semi trailer	7c	92,5932	4,1810622

Selanjutnya, dilakukan perhitungan ESAL per tahun dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Kendaraan Sedan, Jeep (Golongan 2)

$$\begin{aligned} \text{ESAL per tahun} &= \text{LHR} \times \text{VDF kendaraan} \times 365 \\ &= 23.822 \times 0,0007683 \times 365 \\ &= 6.680,2176 \end{aligned}$$

2. Kendaraan *Pick-up*, angkot (Golongan 3)

$$\begin{aligned} \text{ESAL per tahun} &= \text{LHR} \times \text{VDF kendaraan} \times 365 \\ &= 1.454 \times 0,20245 \times 365 \\ &= 107.446,346 \end{aligned}$$

3. Kendaraan *Pick-up*, bus (Golongan 4)

$$\begin{aligned} \text{ESAL per tahun} &= \text{LHR} \times \text{VDF kendaraan} \times 365 \\ &= 4.028 \times 0,20245 \times 365 \\ &= 297.657,416 \end{aligned}$$

4. Kendaraan *Bus* (Golongan 5a)

$$\begin{aligned} \text{ESAL per tahun} &= \text{LHR} \times \text{VDF kendaraan} \times 365 \\ &= 676 \times 0,20245 \times 365 \\ &= 49.954,422 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, rekapitulasi perhitungan kumulatif ESAL per tahun disajikan dalam Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 ESAL Kumulatif per Tahun

No	Jenis Kendaraan	Golongan	LHR 2017	VDF	ESAL per Tahun
1	sedan, jeep	2	23.822	0,0007683	6.680,218
2	pick-up, angkot	3	1.454	0,2024577	107.446,346
3	pick-up box	4	4.028	0,2024577	297.657,416
4	bus 3/4	5a	676	0,2024577	49.954,422
5	bus besar	5b	1.250	0,2946094	134.415,520
6	truk 2 sumbu 4 roda	6a	395	2,3995809	345.959,579
7	truk 2 sumbu 6 roda	6b	1.070	2,3995809	937.156,327
8	truk 3 sumbu	7a	283	2,7360881	282.624,223
9	truk gandeng	7b	43	3,9496465	61.989,701
10	semi trailer	7c	58	4,1810622	88.513,086
Jumlah					2.312.396,839

Dari hasil analisis ESAL di atas, maka *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) tahun 2017 sebanyak 2.312.396,839.

5.3.1.2 Faktor Pertumbuhan Lalu lintas (R)

Angka pertumbuhan lalu lintas (i) diambil sebesar 4,8%. Nilai ini didasarkan pada angka pertumbuhan ekonomi di Pulau Jawa. Dengan umur rencana (n) = 10 tahun dan pertumbuhan lalu lintas 4,8%, maka faktor pertumbuhan lalu lintas (R) dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= \frac{(1+i)^n - 1}{i} \\ &= \frac{(1+0,048)^{10} - 1}{0,048} \\ &= 12,46109 \end{aligned}$$

Sehingga, dari perhitungan di atas, maka faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana 10 tahun, yaitu sebesar $R = 12,46109$.

5.3.1.3 Jumlah Kumulatif *Equivalent Single Axle Load* Tahun n (W_{18})

Ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 terdiri dari 2 lajur dan 2 arah, sesuai dengan Tabel 3.12 faktor distribusi lajur (DL) = 90% = 0,9 dan faktor distribusi arah (DD) = 0,5. Volume lalu lintas pada tahun ke-10 diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} ESAL_n &= ESAL_{2017} \times R \times DD \times DL \\ ESAL_{10} &= 2.312.396,839 \times 12,46109 \times 0,5 \times 0,9 \\ &= 12.966.750,64 \end{aligned}$$

Sehingga untuk nilai ESAL W_{18} untuk ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 diperoleh nilai sebesar $12,966750 \times 10^6$.

5.3.2 Desain Tebal *Overlay* Metode Lendutan AASHTO 1993

5.3.2.1 Perhitungan Modulus Resilien Tanah Dasar (M_R)

Pengukuran defleksi dengan alat FWD pada ruas ini dilakukan per 400 meter dari STA 0+000 sampai STA 18+400. Defleksi diukur dengan *geophone* pada sembilan titik berbeda dengan jarak tertentu dari pusat beban. Jarak titik pengukuran defleksi dari pusat beban pada penelitian ini berturut turut adalah 0 cm; 30 cm; 60 cm; 75 cm; 90 cm; 120 cm; 150 cm; 180 cm; dan 210 cm. Pelat beban yang digunakan dalam pengukuran defleksi mempunyai jari-jari sebesar 15

cm atau 5,906 inci. Pengukuran defleksi pada STA 2+000 dengan pembebanan (P) sebesar 39,7 KN atau 8924,9 Pound. Besar defleksi pada STA 2+000 yang tercatat dalam alat FWD ditampilkan dalam Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Defleksi STA 2+000 Ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250

Jarak Pengukuran (r)	Jarak (r)	Defleksi (d)
	(inci)	(inci)
r ₀	0	0,01543
r ₁	11,811	0,01133
r ₂	23,622	0,00870
r ₃	29,527	0,00618
r ₄	35,433	0,00437
r ₅	47,244	0,00287
r ₆	59,055	0,00212
r ₇	70,866	0,00181
r ₈	82,677	0,00169

Selanjutnya, untuk perhitungan M_R pada titik pengukuran r₀ sampai r₈ pada STA 2+000 menggunakan persamaan 3.10.

$$\begin{aligned}
 1. \quad M_{R(r_0)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
 &= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,01543 \times 0} \\
 &= \infty \\
 2. \quad M_{R(r_1)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
 &= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,01133 \times 11,811} \\
 &= 15.994,43947 \text{ psi} \\
 3. \quad M_{R(r_2)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
 &= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,00870 \times 23,622} \\
 &= 10.421,71621 \text{ psi} \\
 4. \quad M_{R(r_3)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
 &= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,00618 \times 29,527} \\
 &= 11.736,0473 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
5. M_{R(r4)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,00437 \times 35,433} \\
&= 13.833,02873 \text{ psi} \\
6. M_{R(r5)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,00287 \times 47,244} \\
&= 15.775,33756 \text{ psi} \\
7. M_{R(r6)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,00212 \times 59,055} \\
&= 17.060,73543 \text{ psi} \\
8. M_{R(r7)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,00181 \times 70,866} \\
&= 16.689,86988 \text{ psi} \\
9. M_{R(r8)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 8.924,9}{0,00169 \times 82,677} \\
&= 15.303,64972 \text{ psi}
\end{aligned}$$

Perhitungan nilai M_R dilakukan pada setiap titik pengukuran lendutan. Nilai M_R pada titik pengukuran pusat beban adalah tidak terhingga, karena nilai r_0 sama dengan nol. Lendutan yang mencerminkan nilai M_R tanah dasar adalah lendutan yang diukur cukup jauh dari pusat beban, sehingga nilai M_R yang digunakan untuk menghitung modulus efektif perkerasan (E_p) adalah nilai M_R terkecil pada *geophone* ke-8 yaitu $M_{R(r8)} = 15.303,64972$ psi. Proses perhitungan menggunakan metode AASHTO 1993 menunjukkan bahwa nilai M_R terkecil tidak selalu berada pada *geophone* ke-8. Perhitungan nilai M_R setiap stasiun dari STA 0+000 – 18+400 pada ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6+750 sampai KM 25+250 dilampirkan dalam Lampiran 6. Berdasarkan Lampiran 6 dapat

dilihat bahwa nilai M_R tanah dasar rata-rata pada ruas Jalan Arteri Selatan KM 6.750 – 25.250 sebesar 17.273,2656 psi atau setara dengan nilai CBR sebesar 11,515% (persamaan 3.9). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kondisi tanah dasar pada ruas jalan tersebut masih baik, sesuai dengan spesifikasi yang mensyaratkan nilai minimum CBR tanah dasar sebesar 7%.

5.3.2.2 Perhitungan Balik Modulus Efektif Perkerasan (E_p)

Perhitungan balik untuk mencari nilai E_p dilakukan dengan cara coba-coba sampai diketahui nilai E_p yang menghasilkan besar d_0 (defleksi pada jarak $r = 0$) yang sama dengan defleksi terukur di lapangan. Pada lapisan aspal panas diperlukan penyesuaian nilai defleksi sesuai dengan temperatur standar 20°C (68°F). Faktor penyesuaian untuk d_0 ditentukan sesuai dengan Gambar 3.6. Temperatur perkerasan yang tercatat pada pengujian FWD adalah 40°C atau 104°F. Tekanan (p) akibat beban pada pelat FWD yang tercatat pada pengujian pada STA 2+000 sebesar 562 Kpa atau 81,5112 psi. Jari-jari plat pembeban (a) yang digunakan sebesar 5,906 inci. Ruas Jalan Arteri Selatan mempunyai tebal perkerasan di atas tanah dasar (D) sebesar 25,9842 inci. Sehingga berdasarkan Gambar 3.6, faktor koreksi suhu untuk d_0 sebesar 0,72. Perhitungan balik nilai E_p pada STA 2+000 menggunakan Persamaan 3.13.

$$\begin{aligned} d_0 \text{ terkoreksi suhu} &= 0,72 \times d_0 \\ &= 0,72 \times 0,01543 \\ &= 0,0111118 \text{ inci} \end{aligned}$$

$$d_0 \text{ terkoreksi suhu} = 1,5 \times p \times a \times \left(\frac{1}{M_R \times \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \times \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right)$$

$$0,0111118 = 1,5 \times 81,5112 \times 5,906 \times$$

$$\left(\frac{1}{15.303,6497 \times \sqrt{1 + \left(\frac{25,9842}{5,906} \times \sqrt[3]{\frac{E_p}{15.303,6497}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{25,9842}{5,906} \right)^2}}}{E_p} \right)$$

Perhitungan balik yang diuraikan di atas menghasilkan $E_p = 102.785,8906$ Psi. Perhitungan jarak minimum pengukuran M_R tanah dasar menggunakan persamaan 3.11 dan persamaan 3.12.

$$a_e = \sqrt{\left(a^2 + \left\{ D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right\}^2 \right)}$$

$$a_e = \sqrt{\left(5,906^2 + \left\{ 25,9842 \times \sqrt[3]{\frac{102.785,8906}{15.303,6497}} \right\}^2 \right)}$$

$$= 49,38007 \text{ inci}$$

Nilai M_R terkecil adalah pada *geophone* ke delapan (r_8) dengan jarak dari pusat beban sebesar 82,6772 inci. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah $r > 0,7 a_e$ atau $82,6772 > 0,7 \times 49,38007$ atau $82,6772 > 34,56605$ (terpenuhi).

5.3.2.3 Perhitungan Angka Struktural Efektif Eksisting (SN_{eff})

Nilai SN_{eff} merupakan fungsi dari tebal total lapisan perkerasan dan kekakuan keseluruhan dari lapisan perkerasan. Perhitungan SN_{eff} pada STA 2+000 ruas jalan Arteri Selatan KM 6+750 - KM 25+250 menggunakan persamaan 3.17.

$$SN_{\text{eff}} = 0,0045 \times D \times \sqrt[3]{E_p}$$

$$SN_{\text{eff}} = 0,0045 \times 25,9842 \times \sqrt[3]{102.785,8906}$$

$$= 5,4773$$

Nilai E_p dan SN_{eff} tiap stasiun pada ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6+750 sampai KM 25+250 disajikan dalam Lampiran 7.

5.3.2.4 Perhitungan Angka Struktural Efektif Rencana (SN_f)

Perhitungan balik nilai SN_f digunakan untuk memprediksi kebutuhan perkerasan dimasa yang akan datang. Perhitungan balik tersebut berdasarkan nilai

ESAL rencana yang mencerminkan kondisi lalu-lintas pada masa mendatang. Diketahui bahwa kumulatif ekivalen beban sumbu standar sebesar 12.966.750,64 ESAL, $IP_0 = 4,2$ dan $IP_t = 1,5$. Variabel R dan Z_R ditentukan berdasarkan Tabel 3.18 dan Tabel 3.19 dimana untuk kelas jalan arteri perkotaan, $R = 95\%$ dan $Z_R = -1,645$. Sedangkan untuk S_0 untuk perkerasan lentur diambil nilai sebesar 0,45.

Perhitungan nilai M_R desain pada STA 2+000 ruas jalan Arteri Selatan - Yogyakarta KM 6+750 - KM 25+250 menggunakan Persamaan 3.14. Sedangkan perhitungan nilai SN_f menggunakan Persamaan 3.18. Kedua perhitungan tersebut diuraikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} M_{R\text{desain}} &= C \times M_{R\text{ tanah dasar}} \\ &= 0,33 \times 15.303,6497 \\ &= 5.050,20441 \text{ Psi} \end{aligned}$$

$$\log_{10} W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN_f + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} \cdot M_R - 8,07$$

$$\log_{10}(12,966750 \times 10^6) = (-1,645 \times 0,45) + (9,36 \times \log_{10}(SN_f + 1)) - 0,20 +$$

$$\frac{\log_{10}\left(\frac{4,2 - 2,5}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5,19}}} + ((2,32 \times \log_{10} 5.050,20441) - 8,07)$$

Melalui proses perhitungan balik diperoleh nilai SN_f pada STA 2+000 jalan Arteri Selatan adalah sebesar 6,134. Rekapitulasi nilai SN_f ruas jalan Arteri Selatan KM 6+750 sampai KM 25+250 disajikan dalam Tabel 5.12.

5.3.2.5 Perhitungan Tebal *Overlay* Metode Lendutan AASHTO 1993

Lapis tambahan perkerasan pada STA 2+000 ruas jalan Arteri Selatan KM 6+750 sampai KM 25+250 dihitung menggunakan persamaan 3.19. Diketahui nilai $SN_f = 6,134$ dan nilai $SN_{\text{eff}} = 5,4773$. Nilai SN_{eff} merupakan angka struktural perkerasan eksisting yang ditinjau, sedangkan nilai SN_f merupakan

angka struktural rencana sesuai dengan tingkat volume lalu-lintas yang direncanakan.

Nilai a_{OL} diambil berdasarkan pada Tabel 3.20 yang disesuaikan dengan kondisi permukaan pada lapis perkerasan. Sehingga, nilai a_{OL} diambil sebesar 0,4 yang menunjukkan bahwa kondisi permukaan pada jalan Arteri Selatan mengalami sedikit kerusakan berupa retak kulit buaya. Maka, tebal *overlay* untuk STA 2+000 dapat dihitung menggunakan persamaan 3.19 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 H_{OL} &= \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{OL}} \\
 &= \frac{6,134 - 5,477}{0,4} \\
 &= 1,642 \text{ inci} \\
 &= 4,170 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tebal lapis tambahan tiap stasiun pada ruas jalan Arteri Selatan KM 6+750 sampai KM 25+250 disajikan dalam Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Tebal *Overlay* Ruas Jalan Arteri Selatan KM 6+750 – 25+250 Metode AASHTO 1993

STA	Mr desain	$W_{18} \times 10^6$	Sneff	Zr	S ₀	IP ₀	I _{pt}	I _{pf}	SN _f	a _{OL}	Tebal <i>Overlay</i>	
	Psi	ESAL									inch	cm
0+000	4.862,218	12,967	10,204	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,205	0,4	-9,998	-
0+400	5.334,636	12,967	7,036	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,032	0,4	-2,509	-
0+800	3.446,097	12,967	7,017	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,877	0,4	-0,349	-
1+200	6.187,658	12,967	7,041	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,762	0,4	-3,197	-
1+600	4.640,515	12,967	6,372	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,294	0,4	-0,195	-
2+000	5.050,204	12,967	5,477	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,134	0,4	1,642	4,170
2+400	5.750,719	12,967	5,160	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,894	0,4	1,835	4,662
2+800	5.178,880	12,967	4,917	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,087	0,4	2,926	7,432
3+200	6.501,147	12,967	7,479	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,674	0,4	-4,514	-
3+600	2.770,801	12,967	4,878	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	7,329	0,4	6,127	15,563
4+000	5.427,770	12,967	6,721	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6	0,4	-1,802	-
4+400	5.630,043	12,967	5,456	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,933	0,4	1,193	3,031
4+800	4.259,103	12,967	7,097	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,458	0,4	-1,597	-
5+200	2.805,125	12,967	4,534	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	7,303	0,4	6,922	17,583
5+600	4.995,928	12,967	9,278	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,154	0,4	-7,810	-

**Lanjutan Tabel 5.12 Rekapitulasi Tebal *Overlay* Ruas Jalan Arteri Selatan
KM 6+750 – 25+250 Metode AASHTO 1993**

STA	Mr desain	$W_{18} \times 10^6$	SNeff	Zr	S ₀	IP ₀	I _{pt}	I _{pf}	SNf	aOL	Tebal <i>Overlay</i>	
	Psi	ESAL									inch	cm
6+000	4.946,310	12,967	4,722	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,173	0,4	3,629	9,217
6+400	6.036,300	12,967	5,471	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,807	0,4	0,840	2,134
6+800	10.440,397	12,967	8,250	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	4,866	0,4	-8,460	-
7+200	6.080,446	12,967	4,641	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,793	0,4	2,881	7,318
7+600	6.902,270	12,967	14,388	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,568	0,4	-22,051	-
8+000	8.253,614	12,967	5,120	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,258	0,4	0,344	0,875
8+400	4.572,272	12,967	5,845	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,322	0,4	1,192	3,029
8+800	7.420,959	12,967	5,695	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,441	0,4	-0,634	-
9+200	3.897,722	12,967	5,738	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,631	0,4	2,2317	5,669
9+600	7.402,726	12,967	6,15	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,445	0,4	-1,762	-
10+000	5.743,494	12,967	6,4	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,897	0,4	-1,257	-
10+400	6.070,360	12,967	4,423	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,796	0,4	3,4331	8,72
10+800	7.620,268	12,967	4,672	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,395	0,4	1,8083	4,593
11+200	7.545,924	12,967	9,518	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,412	0,4	-10,27	-
11+600	5.374,270	12,967	6,014	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,019	0,4	0,0121	0,031
12+000	6.248,922	12,967	5,032	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,744	0,4	1,7804	4,522
12+400	8.361,700	12,967	6,343	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,236	0,4	-2,767	-
12+800	4.217,141	12,967	7,312	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,477	0,4	-2,087	-
13+200	5.890,764	12,967	6,194	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,851	0,4	-0,858	-
13+600	5.456,320	12,967	6,739	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,991	0,4	-1,869	-
14+000	3.978,178	12,967	5,309	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,591	0,4	3,2043	8,139
14+400	4.196,160	12,967	5,86	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,487	0,4	1,5665	3,979
14+800	3.433,190	12,967	5,969	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,885	0,4	2,2899	5,816
15+200	4.074,052	12,967	4,914	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,544	0,4	4,0756	10,35
15+600	3.489,608	12,967	4,566	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,852	0,4	5,7152	14,52
16+000	15.015,672	12,967	5,426	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	4,292	0,4	-2,834	-
16+400	6.202,974	12,967	6,125	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,757	0,4	-0,921	-
16+800	5.851,862	12,967	5,761	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,863	0,4	0,2555	0,649
17+200	6.547,905	12,967	5,295	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,661	0,4	0,9147	2,323
17+600	6.461,431	12,967	4,994	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	5,684	0,4	1,7243	4,38
18+000	3.256,662	12,967	5,008	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,992	0,4	4,9597	12,6
18+400	4.077,632	12,967	5,553	-1,645	0,45	4,2	2,5	1,5	6,543	0,4	2,4741	6,284
Tebal Lapis Tambahan Rata-rata											2,5376	6,446

Berdasarkan Tabel 5.12 di atas, maka kebutuhan tebal *overlay* rata-rata pada ruas jalan Arteri Selatan KM 6+750 – 25+250 metode AASHTO 1993

adalah sebesar 2,537 inci atau 6,446 cm. *Overlay* dengan ketebalan tertinggi pada ruas jalan Arteri Selatan KM 6+750 – 25+250 terdapat pada STA 5+200 dengan tebal 17,583 cm. Faktor yang mempengaruhi hasil ketebalan *overlay* berdasarkan metode AASHTO 1993 diantaranya adalah daya dukung tanah dasar eksisting dan lapis perkerasan di atasnya. Lampiran 6 menunjukkan bahwa ruas jalan Arteri Selatan KM 6+750 – 25+250 pada STA 5+200 mempunyai nilai M_R tanah dasar sebesar 8.500,380 psi. Persamaan 3.9 digunakan untuk menentukan nilai CBR yang setara dengan nilai M_R tersebut.

$$M_R = 1.500 \times \text{CBR}$$

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= \frac{M_R}{1.500} \\ &= \frac{8.500,380}{1500} \\ &= 5,67\% \end{aligned}$$

Nilai CBR tanah dasar pada STA 5+200 sebesar 5,67% menunjukkan bahwa tanah dasar tersebut mempunyai daya dukung yang jelek, karena nilai CBR minimum yang digunakan untuk perencanaan perkerasan sebesar 6%. Kekuatan lapis perkerasan di atas tanah dasar diwakili oleh angka struktural efektif (SN_{eff}) sebesar 4,534. Apabila dibandingkan dengan angka struktural rencana (SN_f) sebesar 7,303, kekuatan perkerasan tersebut belum memenuhi kebutuhan volume lalu lintas rencana. Sehingga, berdasarkan nilai CBR tanah dasar dan nilai kekuatan lapis perkerasan di atas tanah dasar tersebut, wajar apabila *overlay* pada STA 5+200 tersebut cukup tinggi.

5.4 Pembahasan

5.4.1 Perbandingan Konsep Desain

Metode desain yang digunakan pada metode Bina Marga 2017 adalah metode mekanistik empiris yang telah digunakan secara meluas di berbagai negara yang telah berkembang. Dengan metode ini analisis struktur perkerasan dilakukan menggunakan prinsip-prinsip mekanik yang digunakan untuk

memprediksi kinerja struktur berdasarkan pengalaman empiris. Bina Marga 2017 mempertajam pendekatan dalam Pedoman Interim No.002/P/BM/2011.

Parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan tebal *overlay* perkerasan lentur metode Bina Marga adalah:

1. beban lalu lintas,
2. pertumbuhan lalu lintas,
3. faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*),
4. faktor koreksi beban, musim dan temperatur,
5. faktor penyesuaian *Benkelman Beam*,
6. CBR tanah dasar, dan
7. lendutan maksimum dan lengkung lendutan.

Metode AASHTO 1993 merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam perencanaan untuk tebal perkerasan jalan. Metode ini telah dipakai secara umum di dunia untuk perencanaan serta diadopsi sebagai standar perencanaan di berbagai negara. Metode AASHTO 1993 merupakan modifikasi dari metode AASHTO 1972. Metode ini pada dasarnya adalah metode perancangan yang didasarkan pada metode empiris. Parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan tebal *overlay* perkerasan lentur metode AASHTO 1993 adalah:

1. beban lalu lintas,
2. pertumbuhan lalu lintas,
3. faktor ESAL kendaraan (VDF),
4. *Structural Number* (SN),
5. *Modulus Resilient* tanah dasar (M_R tanah dasar),
6. Modulus Efektif Perkerasan (E_p),
7. *Reliability* (R),
8. deviasi standar normal (Z_R),
9. deviasi standar keseluruhan (S_o),
10. koefisien lapisan (a_i) dan koefisien drainase (m), dan
11. Struktural Efektif Eksisting (SN_{eff}) dan Struktural Efektif Rencana (SN_f).

5.4.2 Perbandingan Parameter Desain

Perbedaan parameter desain yang digunakan pada metode Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993 menyebabkan hasil desain yang berbeda pula. Untuk perbandingan parameter desain yang digunakan pada metode Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993 dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Perbandingan Parameter Desain Metode Bina Marga 2017 dan Metode AASHTO 1993

No	Parameter	Bina Marga 2017	AASHTO 1993
1	Beban Sumbu Standar	Menggunakan beban sumbu standar 8,16 ton atau setara dengan 18 kips ESAL	
2	Angka Ekuivalen (E)	Menggunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan pada Tabel 3.4	Menggunakan interpolasi dengan tabel faktor ekuivalensi beban gandar dengan mencari nilai SN berdasarkan tebal pekerasan, koefisien lapisan dan koefisien drainase
3	Tanah dasar	Syarat CBR tanah dasar minimum 7%	- <i>Modulus Resilient</i> (M_R) tanah dasar yang diperoleh dari hasil lendutan FWD = 17.273,2656 psi. - CBR = 11,515% (Syarat CBR minimum 6%)
4	Faktor penyesuaian	- Koreksi beban normal = 40 kN - Koreksi musim = 1,2 - Koreksi temperatur = 1,0 - Koreksi penyesuaian FWD ke BB = 1,22	- Koreksi temperatur = 0,72
5	Parameter lain	- Lendutan maksimum (D_0) = 1051,4538 μm = 1,051 mm - Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$) = 119,2729 μm = 0,11927 mm	- Modulus efektif perkerasan (E_p) - SN_{eff} dan SN_f - $SN = 5,40$ - deviasi standar normal (Z_R) = -1,645 - deviasi standar keseluruhan (S_o) = 0,45 - <i>Reliability</i> (R) = 95%

Berdasarkan Tabel 5.13 di atas, pada metode Bina Marga 2017 menggunakan beban sumbu standar 8,16 ton atau yang setara dengan metode AASHTO 1993 sebesar 18-kips ESAL. Angka ekuivalen atau nilai VDF yang digunakan pada Bina Marga 2017 yaitu berupa tabel VDF yang telah disajikan oleh Bina Marga yang didasarkan oleh survei beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa,

sedangkan VDF yang digunakan pada AASHTO 1993 yaitu menggunakan interpolasi dengan tabel faktor ekivalensi beban gandar untuk perkerasan lentur berdasarkan nilai SN yang diperoleh dari tebal perkerasan, koefisien lapisan dan koefisien drainase.

Pada metode Bina Marga 2017, hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis, karena beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Adapun pada metode AASHTO 1993, perhitungan analisis pada *design traffic* yaitu berupa kendaraan ringan hingga kendaraan berat. Hal tersebut menjadi salah satu penyebab perbedaan hasil tebal *overlay* yang diperoleh antara metode Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993.

Pada metode lendutan AASHTO 1993, tanah dasar diperoleh berdasarkan nilai *Modulus Resilient* (M_R). Lendutan yang mencerminkan nilai M_R tanah dasar adalah lendutan yang diukur cukup jauh dari pusat beban, yaitu nilai M_R terkecil, sedangkan pada metode Bina Marga 2017 yaitu berupa syarat minimum CBR sebesar 7%. Pada metode Bina Marga 2017, hasil lendutan FWD harus dikoreksi dengan beberapa faktor penyesuaian, yaitu berupa koreksi beban normal 40 kN, koreksi musim, koreksi temperatur dan penyesuaian FWD ke *Benkelman Beam* (BB), sedangkan pada metode AASHTO 1993 hanya berupa faktor koreksi temperatur.

Pada metode Bina Marga 2017 terdapat parameter lainnya berupa lendutan maksimum (D_0) dan lengkung lendutan ($D_0 - D_{200}$). Lendutan maksimum digunakan untuk menentukan tebal *overlay* dalam menahan deformasi permanen, sedangkan lengkung lendutan digunakan untuk memastikan bahwa lapisan *overlay* dapat menahan retak lelah. Adapun pada metode AASHTO 1993 terdapat pula beberapa parameter seperti modulus efektif perkerasan (E_p), SN_{eff} , SN_f , deviasi standar normal (Z_R), deviasi standar keseluruhan (S_o) dan *Reliability* (R). Nilai Modulus Efektif Perkerasan (E_p) didasarkan pada besaran lendutan yang terjadi di bawah pusat beban pelat (d_0) yang telah dikoreksi dengan faktor koreksi temperatur. SN_{eff} yaitu angka struktural efektif perkerasan yang menunjukkan

kapasitas struktural perkerasan eksisting, sedangkan SN_f merupakan angka struktural pada kondisi lalu lintas yang akan datang. Deviasi standar keseluruhan (S_o) merupakan parameter yang digunakan guna memperhitungkan adanya variasi dari input data. Adapun *reliability* adalah kemungkinan kondisi perkerasan yang dirancang masih tetap memuaskan selama masa layan. Semakin tinggi nilai *reliability*, maka semakin tinggi kemungkinan terjadinya selisih antara hasil rancangan dan kenyataan. Sedangkan, deviasi standar normal (Z_R) ditentukan berdasarkan nilai tingkat *reliability* yang didapat dari tabel kurva normal standar.

5.4.3 Perbandingan Prosedur Desain

Prosedur perhitungan metode Bina Marga 2017 untuk mendapatkan tebal *overlay* berdasarkan lendutan maksimum yaitu dengan menggunakan grafik yang telah disediakan oleh Bina Marga 2017 dengan memasukkan nilai CESA4 dan nilai lendutan maksimum wakil. Nilai CESA4 dihitung berdasarkan beberapa parameter, yaitu lalu lintas harian (LHR), umur rencana (UR), faktor pertumbuhan lalu lintas (R), faktor distribusi arah dan lajur kendaraan dan juga faktor ekuivalen beban (VDF). Sedangkan, untuk nilai lendutan maksimum diperoleh berdasarkan uji lendutan menggunakan alat FWD. Hasil uji lendutan tersebut dianalisis berdasarkan faktor keseragaman, faktor koreksi musim, faktor koreksi beban, faktor koreksi temperatur dan faktor penyesuaian FWD ke BB. Dari hasil faktor koreksi tersebut akan diperoleh nilai lendutan maksimum (D_0) untuk setiap stasiun. Kemudian nilai tersebut dirata-rata lalu dicari nilai standar deviasinya. Selanjutnya, besarnya lendutan wakil disesuaikan dengan fungsi/kelas jalan yang sedang diteliti. Setelah diperoleh nilai lendutan wakil dan nilai CESA4, maka grafik pada Bina Marga 2017 dapat digunakan untuk memperoleh tebal *overlay* yang dibutuhkan.

Pada metode Bina Marga 2017 terdapat parameter lainnya, yaitu berupa lengkung lendutan ($D_0 - D_{200}$). Analisis lengkung lendutan ($D_0 - D_{200}$) diperlukan untuk memastikan bahwa lapis *overlay* mampu menahan retak lelah (*fatigue cracking*). Prosedur perhitungan tebal *overlay* berdasarkan lengkung lendutan pada dasarnya sama seperti prosedur perhitungan tebal *overlay* berdasarkan

lendutan maksimum, hanya saja pada perhitungan tebal *overlay* berdasarkan lengkung lendutan menggunakan nilai CESA5 dan nilai lengkung lendutan ($D_0 - D_{200}$) rata-rata terkoreksi.

Prosedur perhitungan metode AASHTO 1993 untuk mendapatkan tebal *overlay* yaitu dengan menghitung lintas ekuivalen selama umur rencana (W_{18}), Modulus *Resilient* tanah dasar (M_R tanah dasar), Modulus Efektif Perkerasan (E_p), nilai SN_{eff} dan nilai SN_f . Lintas ekuivalen selama umur rencana (W_{18}) dihitung berdasarkan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), umur rencana (UR), faktor pertumbuhan lalu lintas (R), faktor distribusi arah dan lajur kendaraan serta faktor ekivalen beban (VDF). Nilai VDF diperoleh menggunakan interpolasi dengan tabel faktor ekivalensi beban gandar, dimana nilai SN diperoleh berdasarkan tebal perkerasan, koefisien lapisan dan koefisien drainase. Nilai SN inilah yang menjadi salah satu perbedaan parameter antara metode Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993, sebab pada metode Bina Marga 2017 tidak mencari nilai SN seperti yang dilakukan pada metode AASHTO 1993. Nilai M_R tanah dasar diperoleh dari hasil uji lendutan FWD. Lendutan yang mencerminkan nilai M_R tanah dasar adalah lendutan yang diukur cukup jauh dari pusat beban. Perhitungan nilai M_R dilakukan pada setiap titik pengukuran lendutan untuk memperoleh nilai M_R terkecil.

Perhitungan balik untuk mencari nilai E_p dilakukan dengan cara coba-coba sampai diketahui nilai E_p yang menghasilkan besar d_0 yang sama dengan defleksi terukur di lapangan. Lalu, tebal *overlay* ditentukan menggunakan nilai SN_{eff} , nilai SN_f dan koefisien lapisan (a_{OL}). Nilai a_{OL} diambil berdasarkan kondisi permukaan pada lapis perkerasan yang sedang diteliti. Dari nilai SN_{eff} , nilai SN_f dan koefisien lapisan (a_{OL}) yang diperoleh tersebut, maka akan diperoleh tebal *overlay* rata-rata yang dibutuhkan.

5.4.4 Perbandingan Hasil Desain

Berdasarkan adanya perbedaan konsep desain, parameter desain dan prosedur desain yang digunakan pada metode Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993, maka akan menghasilkan hasil desain yang berbeda pula. Metode AASHTO 1993 menghasilkan hasil desain yang lebih besar dibandingkan metode

Bina Marga 2017. Perbandingan hasil desain kedua metode dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Perbandingan Hasil Desain

Parameter	Bina Marga 2017	AASHTO 1993
<i>Design Traffic</i>	- LHR (Golongan 5a – 7c) = 3.775 kend/hari - CESA = 10.306.628,732	- LHR (Golongan 2 – 7c) = 33.079 kend/hari - W_{18} = 12.966.750,640
Tebal <i>Overlay</i> (cm)	4	6,5

Berdasarkan Tabel 5.14 di atas, metode AASHTO 1993 menghasilkan tebal *overlay* sebesar 6,5 cm dengan *design traffic* sebesar 12.966.750,64, sedangkan metode Bina Marga 2017 menghasilkan tebal *overlay* sebesar 4 cm dengan *design traffic* sebesar 10.306.628,732. Penyebab perbedaan hasil tebal *overlay* antara kedua metode tersebut dapat terjadi karena perbedaan *design traffic* yang dihasilkan. Pada metode Bina Marga 2017, hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis, sedangkan pada metode AASHTO 1993 kendaraan ringan hingga berat juga perlu diperhitungkan dalam analisis, sehingga metode AASHTO 1993 menghasilkan *design traffic* yang lebih besar dibandingkan metode Bina Marga 2017. Hal ini yang membuat desain tebal *overlay* metode AASHTO 1993 lebih besar dibandingkan metode Bina Marga 2017, sebab tebal *overlay* juga dipengaruhi oleh *design traffic* suatu ruas jalan.

Berdasarkan analisis lendutan maksimum pada metode Bina Marga 2017, diperoleh tebal *overlay* sebesar 4 cm, sedangkan berdasarkan analisis lengkung lendutan rata-rata ($D_0 - D_{200}$) diperoleh nilai lengkung lendutan di bawah minimum nilai lengkung lendutan yang ada, maka jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250 dianggap masih mampu menahan retak lelah, sehingga belum diperlukan *overlay* tebal maupun *overlay* tipis. Sebab, semakin rendah nilai lendutan yang dihasilkan, maka kondisi struktural suatu ruas jalan akan semakin baik. Sehingga, dengan desain tebal *overlay* berdasarkan nilai lendutan maksimum sebesar 4 cm dinilai sudah cukup untuk meningkatkan nilai struktural perkerasan yaitu berupa mencegah terjadinya alur dan perubahan bentuk

permanen pada *subbase* dan tanah dasar pada ruas jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250

Pada metode AASHTO 1993, analisis lendutan yang dipakai yaitu seluruh nilai lendutan (d_1-d_9), guna memperoleh nilai M_R tanah dasar yang terkecil yaitu lendutan yang diukur cukup jauh dari pusat beban. Nilai M_R tanah dasar terkecil inilah yang nantinya digunakan untuk menghitung E_p . Oleh karena itu, tebal *overlay* pada AASHTO 1993 ini dianalisis pada setiap stasiunnya untuk memperoleh tebal *overlay* rata-rata yang dibutuhkan. Faktor yang mempengaruhi hasil ketebalan *overlay* berdasarkan metode AASHTO 1993 diantaranya adalah daya dukung tanah dasar eksisting dan lapis perkerasan di atasnya. Sehingga, metode AASHTO 1993 menghasilkan tebal *overlay* yang lebih besar yaitu 6,5 cm dibandingkan dengan metode Bina Marga 2017 dengan tebal *overlay* sebesar 4 cm.