

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Panjang Efektif Lapis Pembeda

Panjang efektif lapis pembeda meliputi panjang antrian kendaraan yang lolos pada waktu hijau dalam kondisi antrian jenuh dan panjang yang diperlukan kendaraan untuk mencapai kecepatan normal (± 50 km/jam) dari keadaan berhenti. Panjang efektif lapis pembeda ini diukur langsung di lokasi simpang empat jalan arteri lingkaran utara (gambar 4.1 dan lampiran 14) dengan membagi ruas jalan dalam pias 5 meter untuk memudahkan pengamatan. Hasil selengkapnya tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Panjang Efektif Persimpangan Gejayan

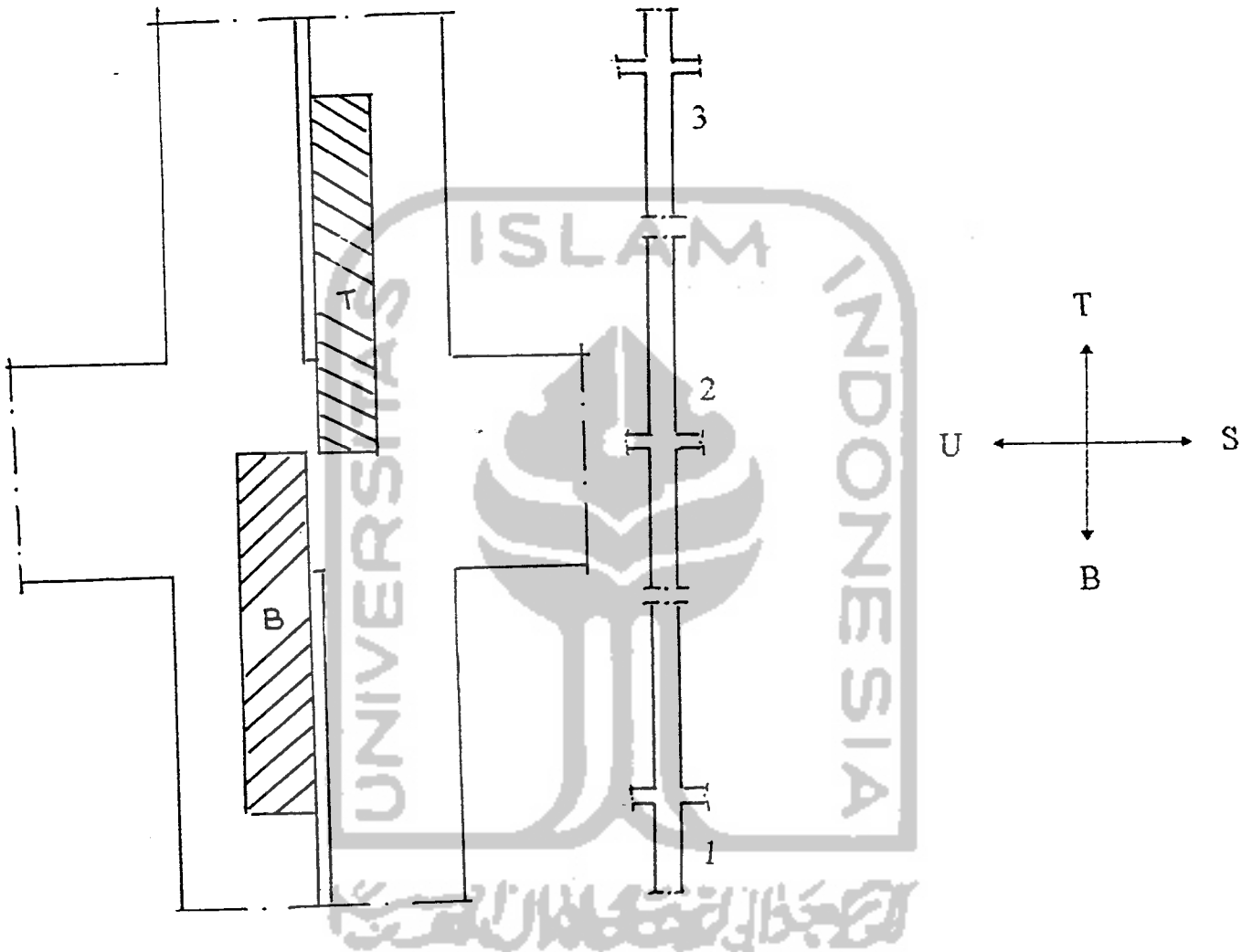
Data	Timur	Barat
Periode hijau	26"	26"
Periode merah	1' 40"	1' 40"
Periode kuning	3"	3"
Panjang antrian lolos	55 M	55 M
Panjang percepatan :		
- mobil penumpang	15 M	15 M
- bis/truk	25 M	25 M
- rata-rata	20 M	20 M
Panjang efektif total	75 M	75 M

Tabel 4.2 Panjang Efektif Persimpangan Kaliurang ✓

Data	Timur	Barat
Periode hijau	20"	20"
Periode merah	1' 45"	1' 45"
Periode kuning	3"	3"
Panjang antrian lolos	50 M	50 M
Panjang percepatan :		
- mobil penumpang	15 M	15 M
- bis/truk	25 M	25 M
- rata-rata	20 M	20 M
Panjang efektif total	70 M	70 M

Tabel 4.3 Panjang Efektif Persimpangan Monjali ✓

Data	Timur	Barat
Periode hijau	20"	20"
Periode merah	1' 15"	1' 15"
Periode kuning	3"	3"
Panjang antrian lolos	50 M	50 M
Panjang percepatan :		
- mobil penumpang	15 M	15 M
- bis/truk	25 M	25 M
- rata-rata	20 M	20 M
Panjang efektif total	70 M	70 M



Keterangan :

- T = Panjang Efektif Sisi Timur
- B = Panjang Efektif Sisi Barat
- 1 = Persimpangan Monjali
- 2 = Persimpangan Jl. Kaliurang
- 3 = Persimpangan Jl. Gejayan

Gambar 4.1 Gambar tanpa sakala lokasi penelitian

4.2 Perhitungan Kekakuan Bitumen (S bit)

Untuk mendapatkan kekakuan lapis perkerasan, terlebih dahulu dihitung kekakuan bitumennya. Data-data yang didapat adalah sebagai berikut ini.

1. Panjang bidang kontak roda kendaraan = 20 Cm
2. Temperatur perkerasan = 46°C
3. Temperatur titik lembek aspal (T RB) = 53°C
4. Penetrasi aspal = 70

Dengan data tersebut diatas dapat dihitung lama pembebanan, selisih temperatur, dan indeks penetrasi aspal. Selanjutnya kekakuan bitumen ditentukan dari pembacaan nomogram Shell.

Pehitungan selisih temperatur, indeks penetrasi aspal, dan lama pembebanan adalah sebagai berikut ini.

- a. Selisih temperatur (T)

$$T = T_{RB} - T_{\text{perkerasan}}$$

$$T = 53 - 46$$

$$= 7^{\circ}\text{C}$$

- b. Indeks penetrasi aspal (PI)

Temperatur titik lembek aspal diasumsikan terjadi pada penetrasi 800, karena pada penetrasi 800 tersebut aspal dalam keadaan lembek/awal cair. Indeks penetrasi aspal dapat dihitung seperti berikut ini.

$$A = \frac{\text{Log pen 2} - \text{Log pen 1}}{T2 - T1}$$

$$PI = \frac{20 - 500(A)}{1 + 50(A)}$$

dengan :

penetrasi 1 = penetrasi 70

penetrasi 2 = penetrasi 800

T1 = 53°C

T2 = 25°C

maka indeks penetrasi asphal adalah :

$$A = \frac{\text{Log 70} - \text{Log 800}}{25 - 53} = 0,04$$

$$PI = \frac{20 - 500(0,04)}{1 + 50(0,04)} = 0$$

Hasil ini menunjukkan bahwa aspal penetrasi 70 tersebut bersifat moderat (tidak begitu peka terhadap perubahan temperatur).

c. Lama Pembebanan

Lama pembebanan berdasarkan kecepatan terlihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Lama pembebanan berdasarkan kecepatan

Kecepatan V (km/jam)	Bidang kontak roda L (cm)	Lama Pembebanan $t = L / V$ (detik)
80	20	0,009
60	20	0,012
40	20	0,018
20	20	0,036

Lama pembebanan berdasarkan waktu hilang adalah sebagai berikut :

- lama periode merah (diambil yang terlama pada jl. kaliurang) = 1 menit 45 detik
= 105 detik
- lama keterlambatan kendaraan dalam bergerak = 5 detik
- lama pembebanan berdasarkan waktu hilang seluruhnya = 105 + 5 = 110 detik

Selanjutnya kekakuan bitumen berdasarkan variasi perubahan lama pembebanan didapat dari pembacaan nomogram Shell (lampiran1), dimana hasilnya seperti tertera pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kekakuan Bitumen (Sbit)

Lama Pembebanan (detik)	Indeks Penetrasi (PI)	Selisih Temperatur (° C)	Kekakuan Bitumen (Sbit) (10 ² N/m ²)
0,009	0	7	7000
0,012	0	7	6600
0,018	0	7	6000
0.036	0	7	5000
110	0	7	3

4.3 Kekakuan Campuran Perkerasan (S mix)

Pekerjaan lapis tambahan (“overlay”) terakhir pada jalan arteri lingkaran utara bagian timur Yogyakarta di lakukan oleh Bina Marga melalui Bagian Proyek Rehabilitasi/Pemeliharaan Jalan Nasional Seksi Sleman pada tahun 1995. Pekerjaan lapis tambahan itu berupa lapis SMA (“Split Mastic Asphalt”).

Data-data yang didapat dari Bina Marga untuk menghitung kekakuan campuran SMA tersebut adalah sebagai berikut ini.

1. Persentase berat aspal dalam campuran = 6,8 %
2. Persentase Void (rongga) = 4 %
3. B_j aspal = 1,0405 gr/cc
4. Berat campuran benda uji = 1257,6 gr
5. Volume campuran benda uji = 536,52 cc

Pada data tersebut persentase aspal berupa persentase berat, maka harus diubah dahulu ke dalam persentase volume. Caranya adalah sebagai berikut ini.

- a. Berat aspal dalam campuran = % berat aspal x berat campuran
= 6,8 % x 1257,6
= 85,52 gr.
- b. Volume aspal dalam campuran = berat aspal : B_j aspal
= 85,52 : 1,0405
= 82,19 cc
- c. Persentase volume aspal dalam campuran = (vol. aspal : vol. camp.) x 100 %
= (82,19 : 536,52) x 100 %
= 15,32 %
- d. Persentase volume agregat dalam campuran = 100 % - % aspal - % rongga
= 100 % - 15,32 % - 4 %
= 80,68 %

Selanjutnya untuk menentukan kekakuan campuran digunakan dua cara sebagai perbandingan, yaitu cara analitis dan cara grafis.

4.3.1 Perhitungan S mix dengan Cara Analitis

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kekakuan campuran perkerasan dengan cara analitis adalah seperti berikut ini (SHELL,1978).

$$S_{mix} = S_{bit} \left[1 + \frac{2,5}{n} \times \frac{C_v}{1 - C_v} \right]^n$$

$$n = 0,83 \text{Log} \left[\frac{4 \times 10^{10}}{S_{bit}} \right]$$

$$C_v = \frac{\text{volume agregat}}{\text{vol. agregat} + \text{vol. bitumen}} = \frac{V_g}{V_g + V_b}$$

keterangan :

C_v = konsentrasi volume (%)

S_{mix} = kekakuan perkerasan (N/m^2) atau Pa

S_{bit} = kekakuan bitumen (N/m^2) atau Pa

Persamaan di atas valid untuk % voids ≤ 3 %, bila % voids > 3 % formula di atas di modifikasi menjadi sebagai berikut :

$$C_v' = \frac{C_v}{1 + (V_v - 0,03)}$$

V_v = % voids (dalam desimal)

Persamaan ini dapat digunakan jika memenuhi syarat sebagai berikut :

$$C_b \geq 2/3 (1 - C_v')$$

$$C_b = \frac{\text{volume bitumen}}{\text{vol. agregat} + \text{vol. bitumen}}$$

C_b = konsentrasi bitumen

Karena dari data diketahui bahwa % void (rongga) = 4 % berarti lebih besar dari 3%, maka terlebih dahulu dilakukan kontrol apakah persamaan tersebut memenuhi syarat untuk digunakan.

$$C_v = \frac{80,68}{80,68 + 15,32} = 0,84$$

$$C_v' = \frac{0,84}{1 + (0,04 - 0,03)} = 0,83$$

$$C_b = \frac{15,32}{80,68 + 15,32} = 0,16$$

$$\frac{2}{3} (1 - C_v') = 0,11$$

ternyata $C_b > \frac{2}{3} (1 - C_v')$, berarti kekakuan campuran perkerasan dapat dihitung dengan persamaan yang ada.

Berikut ini adalah perhitungan kekakuan campuran perkerasan dengan cara analitis pada masing-masing lama pembebanan.

1. Lama pembebanan 0,009 detik dengan $S_{bit} = 7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$$n = 0,83 \text{Log} \left[\frac{4 \times 10^{10}}{7 \times 10^5} \right]$$

$$= 3,95$$

$$S_{mix} = 7 \times 10^5 \left[1 + \frac{2,5}{3,95} \times \frac{0,83}{1 - 0,83} \right]^{3,95}$$

$$= 1,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

2. Lama pembebanan 0,012 detik dengan $S_{bit} = 6,6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$$n = 0,83 \text{Log} \left[\frac{4 \times 10^{10}}{6,6 \times 10^5} \right]$$

$$= 3,97$$

$$S_{mix} = 6,6 \times 10^5 \left[1 + \frac{2,5}{3,97} \times \frac{0,83}{1 - 0,83} \right]^{3,97}$$

$$= 1,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

3. Lama pembebanan 0,018 detik dengan $S_{bit} = 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$$n = 0,83 \text{Log} \left[\frac{4 \times 10^{10}}{6 \times 10^5} \right]$$

$$= 4,00$$

$$S_{mix} = 6,0 \times 10^5 \left[1 + \frac{2,5}{4,00} \times \frac{0,83}{1 - 0,83} \right]^{4,00}$$

$$= 1,6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

4. Lama pembebanan 0,036 detik dengan $S_{bit} = 5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$$n = 0,83 \text{Log} \left[\frac{4 \times 10^{10}}{5 \times 10^5} \right]$$

$$= 4,07$$

$$S_{mix} = 5 \times 10^5 \left[1 + \frac{2,5}{4,07} \times \frac{0,83}{1 - 0,83} \right]^{4,07}$$

$$= 1,4 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

5. Lama pembebanan 110 detik dengan $S_{bit} = 300 \text{ N/m}^2$

$$n = 0,83 \text{Log} \left[\frac{4 \times 10^{10}}{3 \times 10^2} \right]$$

$$= 6,74$$

$$S_{mix} = 3,0 \times 10^2 \left[1 + \frac{2,5}{6,74} \times \frac{0,83}{1 - 0,83} \right]^{6,74}$$

$$= 3,2 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

4.3.2 Perhitungan S_{mix} dengan Cara Grafis

Nilai kekakuan campuran (S_{mix}) dengan cara grafis didapat dengan menghubungkan garis-garis yang ada pada nomogram Shell (lampiran 2), yaitu dengan menghubungkan garis kekakuan butumen dengan garis persen volume bitumen yang kemudian akan berpotongan dengan garis persen volume agregat selanjutnya ditarik garis ke arah garis kekakuan campuran. Hasil lengkap pembacaan nomogram Shell kekakuan lapis perkerasan pada jalan arteri lingkaran utara Yogyakarta ini ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil S mix dengan cara grafis

Lama pembebanan (detik)	S bit ($\times 10^2$ N/m ²)	% aspal (Vb)	% agregat (Vg)	S mix ($\times 10^9$ N/m ²)
0,009	7000	15,32	80,68	1,0
0,012	6600	15,32	80,68	1,0
0,018	6000	15,32	80,68	1,0
0,036	5000	15,32	80,68	1,0
110	3	15,32	80,68	1,0

Hasil yang didapat menunjukkan kekakuan campuran perkerasan dengan cara grafis sama untuk semua kondisi lama pembebanan. Hal ini terjadi karena pada nomogram Shell yang dipergunakan nilai kekakuan aspal terendah 5×10^6 N/m² sedangkan kekakuan aspal yang ada mempunyai nilai tertinggi 7×10^5 N/m² sehingga hasil yang diperoleh tidak akurat. Pada perhitungan selanjutnya, digunakan nilai kekakuan campuran berdasarkan hitungan analitis.

4.4 Perhitungan Tebal Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan lapis pembeda dengan kekakuan yang berbeda dilakukan dengan perancangan tebal perkerasan metoda SHELL 1978.

4.4.1 Tanah Dasar

Dari keterangan Bina Marga diketahui bahwa tanah dasar tempat struktur perkerasan berada mempunyai nilai CBR 10 %, maka dengan pembacaan pada grafik korelasi modulus dinamik (E_3) tanah dasar didapat nilai $E_3 = 10^8 \text{ N/m}^2$

4.4.2 Lalu Lintas

Data lalu lintas pada jalan arteri lingkaran utara Yogyakarta adalah sebagai berikut :

1. kendaraan ringan 2 ton (1 ton asdepan tunggal +1 ton as belakang tunggal)
= 3577 kendaraan
2. bus 8 ton (3 ton as depan tunggal + 5 ton as belakang tunggal)
= 215 kendaraan
3. truck 2 as 13 ton (5 ton as depan tunggal + 8 ton as belakang tunggal)
= 389 kendaraan
4. truck 3 as 20 ton (7,7 ton as depan tunggal + 12,3 ton as belakang ganda)
= 118 kendaraan

Jumlah kumulatif beban gandar standar seperti terlihat pada tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 Jumlah Beban Gandar Standar

Beban gandar Ton (1)	Beban gandar kN (2)	Jumlah gandar / lajur / hari (3)	Faktor konversi (4)	Jumlah gandar / lajur / hari (5) = (3) x (4)
1	9,8	3577	0,0002	0,7154
3	29,4	107,5	0,0179	1,9243
5	49	302	0,1384	41,7968
7,7	75,5	59	0,5315	31,3585
8	78,4	194,5	0,9067	176,3532
12,3	120,5	59	5,0735	299,3365
TOTAL				551,4847

Dihitung total jumlah gandar/lajur/tahun yaitu :

$$N = 551,4847 \times 365$$

$$= 2,01 \times 10^5 \text{ kendaraan / lajur / tahun}$$

4.4.3 Material Berbutir

Bahan untuk material berbutir ini adalah batu pecah dengan CBR 80% (Bina Marga) dari grafik korelasi didapat $E_2 = 8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

4.4.4 Lapis Permukaan Beraspal

Komposisi campuran lapis permukaan beraspal adalah sebagai berikut :

1. Persen volume agregat, $V_a = 80,68\%$
2. Persen volume bitumen, $V_b = 15,32\%$
3. Persen volume void, $V_v = 4\%$

4.4.5 Faktor Regional

Suhu rata-rata bulanan (w-MAAT) di Yogyakarta adalah 28°C (suhu harian berkisar antara 24°C - 32°C).

6.4.6 Mix Code

Mix code untuk menentukan tebal perkerasan dibedakan atas mix code untuk lama pembebanan 0,012 detik dan mix code untuk lama pembebanan 110 detik.

1. Mix code lama pembebanan 0,012 detik

$$S_{bit} = 6,6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

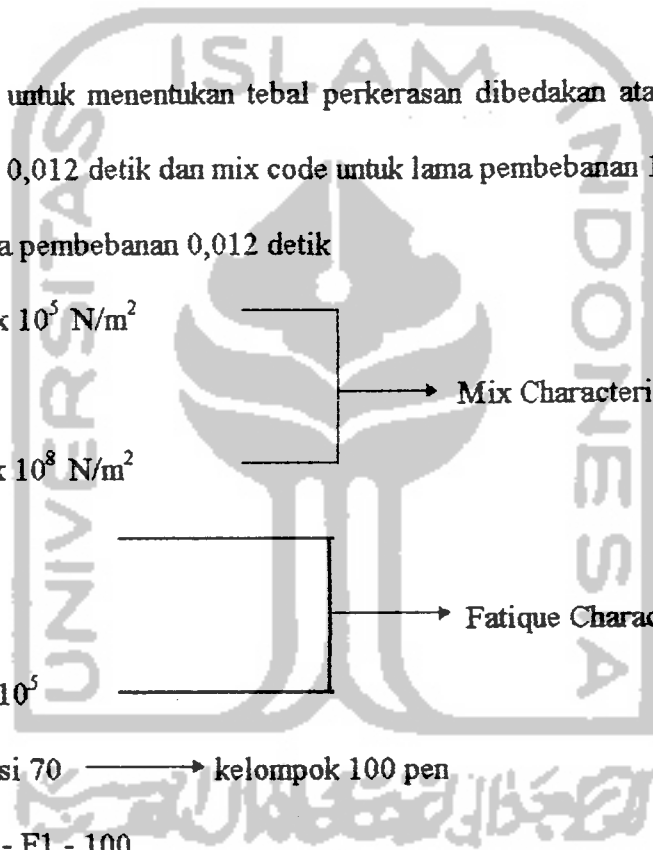
$$S_{mix} = 1,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$V_v = 4\%$$

$$N = 2,01 \times 10^5$$

Aspal penetrasi 70 → kelompok 100 pen

Mix code S2 - F1 - 100



Mix Characteristic = S2

Fatigue Charactersistic = F1

2. Mix code lama pembebanan 110 detik

$$S_{bit} = 3,0 \times 10^2 \text{ N/m}^2$$

$$S_{mix} = 3,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

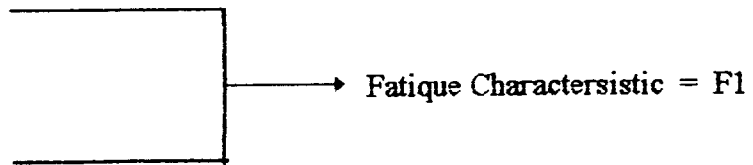
Mix Characteristic = S1

$V_v = 4\%$

$N = 2,01 \times 10^5$

Aspal penetrasi 70 → kelompok 100 pen

Mix code S1 - F1 - 100



4.4.7 Tebal Perkerasan

Tebal perkerasan untuk masing-masing mix code didapat dari grafik pada lampiran 9 yang dibuat menurut kriteria fatigue pada lapisan aspal berdasarkan tegangan yang diijinkan sebagai fungsi dari repetisi beban dan modulus campuran (lihat lampiran 15-21 tentang fatigue).

1. mix code S1 - F1 - 100

tebal lapis pondasi (h_2) = 30 cm

tebal lapis aspal (h_1) = 15 cm

2. mix code S2 - F1 - 100

tebal lapis pondasi (h_2) = 30 cm

tebal lapis aspal (h_1) = 6 cm

4.5 Pembahasan

4.5.1 Panjang Efektif Lapis Pembeda

Dari hasil pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan, ternyata panjang efektif lapis pembeda di simpang empat Gejayan yang terpanjang yaitu 75 meter sedangkan pada simpang empat jalan Kaliurang dan Monumen Yogya Kembali panjangnya sama yaitu 70 meter. Perbedaan panjang efektif ini terletak pada panjang antrian kendaraan yang lolos. Hal ini terjadi karena panjang antrian tersebut dipengaruhi oleh lama periode hijau pada tiap simpang tersebut, dimana periode hijau pada tiap simpang ini satu sama lain belum tentu sama. Sedangkan panjang percepatan kendaraan untuk mencapai kecepatan normal pada dasarnya untuk semua simpang sama. Panjang ini hanya dipengaruhi faktor jenis kendaraan, kemampuan pengemudi, dan kondisi jalan dimana faktor-faktor tersebut untuk setiap simpang relatif sama sehingga didapat hasil yang sama pula.

4.5.2 Lapis Pembeda

Dari hasil perhitungan didapat bahwa untuk lama pembebanan yang berbeda dibutuhkan tebal perkerasan yang berbeda pula. Pada penelitian ini sebagai pembanding adalah tebal lapis aspalnya, dengan tebal lapis pondasi yang sama. Tebal lapis campuran aspal pada lama pembebanan 110 detik = 15 cm lebih tebal dari lama pembebanan 0,012 detik = 6 cm.