

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN DESAIN TEBAL LAPIS TAMBAH
DENGAN METODE BINA MARGA 2024 DAN
AASHTO 1993 MENGGUNAKAN DATA LENDUTAN
FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER
(*COMPARASION OF ADDITIONAL LAYER
THICKNESS DESIGN ACCORDING TO 2024 BINA
MARGA AND 1993 AASHTO METHODS USING
FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER DATA*)**

(Studi kasus: Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



Ilham Fiqri

17511106

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN DESAIN TEBAL LAPIS TAMBAH DENGAN METODE BINA MARGA 2024 DAN AASHTO 1993 MENGGUNAKAN DATA LENDUTAN *FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER* (*COMPARASION OF ADDITIONAL LAYER THICKNESS DESIGN ACCORDING TO 2024 BINA MARGA AND 1993 AASHTO METHODS USING FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER DATA*)

(Studi kasus: Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500)

Disusun oleh

Ilham Fiqri
17511106

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 19 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

Miftahul Fauziah, S.T.,
M.T., Ph.D.
NIK : 955110103

Penguji I

Dr. Eng. Faizul Chasanah,
S.T., M.SC.
NIK : 145110101

Penguji II

Muhamad Abdul Hadi,
S.T., M.T.
NIK : 215111307

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM
NIK : 095110101

28/8/2024

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 19 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Ilham Fiqri

(17511106)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.,

Alhamdulillah rabbi'alam. Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas seluruh curahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Perbandingan Tebal Lapis Tambah Dengan Metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan *Falling Weight Deflectometer*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menempuh ujian sarjana di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari motivasi, saran, kritik, dan bantuan dari berbagai pihak. Maka, pada kesempatan ini dengan rasa hormat penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas arahan, bimbingan, motivasi, dan saran selama penyusunan Tugas Akhir
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.SC., selaku Dosen Penguji I
3. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
5. Orang tua penulis, Bapak Novri Yodi dan Ibu Julia Jusran atas doa, bimbingan, dukungan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
6. Uni Dila, Kang Ogi dan Uni Vani, selalu mendukung dan menyemangati penulis di saat pengerjaan Tugas Akhir.
7. Kepada teman – teman yang telah memberikan semangat dan dorongan agar terselesaikan Tugas Akhir ini.
8. Serta pihak – pihak yang tidak bisa disebutkan yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan yang dimiliki. Penulis mengharapkan saran dan kritik sebagai bahan penyempurnaan makalah Tugas Akhir ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik sipil.

Yogyakarta, 19 Agustus 2024

Penulis,

Ilham Fiqri

DAFTAR ISI

Halamana Pengesahan	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACK	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Tentang Tebal Lapis Tambah	6
2.3 Perbandingan Penelitian Tentang Tebal Lapis Tambah	8
BAB III LANDASAN TEORI	11

3.1	Konstruksi Perkerasan Jalan	11
3.2	Perkerasan Lentur	11
3.2.1	Lapis permukaan (<i>Surface Course</i>)	12
3.2.2	Lapis Pondasi Atas (<i>Base Course</i>)	12
3.2.3	Lapis Pondasi Bawah (<i>Subbase Course</i>)	13
3.2.4	Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	13
3.3	Tebal Lapis Tambah (<i>Overlay</i>)	13
3.4	Alat <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	15
3.4.1	Prinsip Kerja <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	15
3.4.2	Metode Pengukuran <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	16
3.5	Perancangan Tebal Lapis Tambah (<i>Overlay</i>) dengan Metode Lendutan Bina Marga 2024	17
3.5.1	Lalu Lintas	18
3.5.1.1	Analisis Volume Lalu Lintas	18
3.5.1.2	Data Lalu Lintas	18
3.5.1.3	Jenis Kendaraan	18
3.5.1.4	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas	19
3.5.1.5	Lalu Lintas pada Lajur Rencana	24
3.5.1.6	Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>)	24
3.5.1.7	Beban Sumbu Standar Kumulatif	25
3.5.1.8	Umur Rencana	26
3.5.2	Prosedur Desain Tebal <i>Overlay</i> dengan Lendutan Bina Marga 2024	27
3.5.2.1	Tebal <i>Overlay</i> Non-struktural	28
3.5.2.2	Tebal <i>Overlay</i> Berdasarkan Lendutan Maksimum	29

3.5.2.3 Tebal <i>Overlay</i> Berdasarkan Lengkung Lendutan	30
3.6 Perancangan Tebal Lapis Tambah (<i>Overlay</i>) dengan Metode Lendutan AASHTO 1993	35
3.6.1 Analisis Lalu Lintas	36
3.6.1.1 <i>Equivalent Single Axle Load</i> (ESAL)	36
3.6.1.2 Faktor Truk/Faktor Ekuivalensi Beban Sumbu Kendaraan (E)	37
3.6.1.3 Faktor Distribusi Arah dan Faktor Distribusi Lajur	38
3.6.2 Koefisien Lapisan (a_i)	39
3.6.3 Koefisien Drainase (m)	40
3.6.4 <i>Structural Number</i> (SN)	42
3.6.5 Desain Tebal <i>Overlay</i> dengan Metode Lendutan AASHTO 1993	43
3.6.5.1 <i>Modulus Resilient</i> (M_R) Tanah Dasar	43
3.6.5.2 Modulus Efektif Perkerasan (E_p)	45
3.6.5.3 Modulus <i>Resilien</i> Tanah Dasar Perencanaan (M_R desain)	46
3.6.5.4 Kemampuan Pelayanan (<i>Serviceability</i>)	46
3.6.5.5 Reliabilitas (R)	47
3.6.5.6 Deviasi Standar Normal (Z_R)	48
3.6.5.7 Deviasi Standar Keseluruhan (S_0)	49
3.6.5.8 Koefisien Lapisan (a_{OL})	49
3.6.5.9 Angka Struktural Efektif Perkerasan (SN_{eff})	51
3.6.5.10 Penentuan Angka Struktural Rencana (SN_f)	52
3.6.5.11 Tebal Lapis Tambahan Perkerasan	53
BAB IV METODE PENELITIAN	54

4.1 Metode Penelitan	54
4.2 Data Penelitian	54
4.3 Tahapan Penelitian	54
4.4 Metode Analisis Data	56
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	62
5.1 Hasil Pengambilan Data	62
5.1.1 Data Lalu Lintas Harian (LHR)	62
5.1.2 Data Lendutan <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	63
5.2 Metode Bina Marga 2024	63
5.2.1 Analisis Lalu Lintas	64
5.2.1.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas	64
5.2.1.2 Lalu Lintas pada Lajur Rencana	64
5.2.1.3 Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>)	65
5.2.1.4 Beban Sumbu Standar Kumulatif	66
5.2.2 Desain Tebal <i>Overlay</i>	68
5.2.2.1 Menentukan Tebal <i>Overlay</i> Non-struktural	68
5.2.2.2 Faktor Keseragaman Data	69
5.2.2.3 Lendutan Terkoreksi Musim	74
5.2.2.4 Lendutan Terkoreksi Beban Normal	75
5.2.2.5 Lengkung Lendutan	76
5.2.2.6 Lendutan Terkoreksi Temperatur	77
5.2.2.7 Penyesuaian Lendutan (D_0) FWD ke BB	78
5.2.2.8 Menentukan Tebal <i>Overlay</i> Berdasarkan Lendutan Maksimum	79

5.2.2.9 Menentukan Tebal <i>Overlay</i> Berdasarkan Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200})	82
5.3 Metode AASHTO 1993	86
5.3.1 Analisis Lalu Lintas	86
5.3.1.1 <i>Equivalent Single Axle Load</i> (ESAL) per Tahun	87
5.3.1.2 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)	92
5.3.1.3 Jumlah Kumulatif <i>Equivalent Single Axle Load</i> Tahun n (W_{18})	92
5.3.2 Tebal <i>Overlay</i> Metode Lendutan AASHTO 1993	93
5.3.2.1 Perhitungan <i>Modulus Resilien</i> Tanah Dasar (M_R)	93
5.3.2.2 Perhitungan Balik Modulus Efektif Perkerasan (E_p)	95
5.3.2.3 Perhitungan Angka Struktural Efektif Eksisting (SN_{eff})	96
5.3.2.4 Perhitungan Angka Struktural Efektif Rencana (SN_f)	96
5.3.2.5 Perhitungan Tebal <i>Overlay</i> Metode Lendutan AASHTO 1993	97
5.4 Pembahasan	100
5.4.1 Perbandingan Konsep Desain	100
5.4.2 Perbandingan Parameter Desain	101
5.4.3 Perbandingan Prosedur Desain	103
5.4.4 Perbandingan Hasil Desain	105
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	109
6.1 Kesimpulan	109
6.2 Saran	110
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Tentang Tebal Lapis Tambah	9
Tabel 3.1	Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)	19
Tabel 3.2	Klasifikasi dan Konfigurasi Sumbu Kendaraan	20
Tabel 3.3	Faktor Distribusi Lajur (DL)	24
Tabel 3.4	Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>) di Aceh dan Sumatera Utara	25
Tabel 3.5	Umur Rencana Jenis Penanganan Perkerasan Lentur	26
Tabel 3.6	Metode Lapis Tambah	28
Tabel 3.7	Tebal Lapis Tambah untuk Menurunkan IRI (Non-struktural)	29
Tabel 3.8	Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D_0) untuk FWD	33
Tabel 3.9	Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) untuk FWD	34
Tabel 3.10	Faktor Penyesuaian Lengkungan Lendutan (D_0) FWD ke BB	35
Tabel 3.11	Faktor Distribusi Lajur (DL) untuk Perancangan Perkerasan	39
Tabel 3.12	Faktor Distribusi Arah (DD) untuk Perancangan Perkerasan	39
Tabel 3.13	Koefisien Lapisan (a_i)	40
Tabel 3.14	Koefisien Pengaliran (C)	42
Tabel 3.15	Koefisien Drainase (m)	42
Tabel 3.16	Hubungan Kondisi Jalan dan PSI	46
Tabel 3.17	Nilai <i>Reliability</i> (R)	48
Tabel 3.18	Hubungan antara R dan Z_R	48
Tabel 3.19	Koefisien Lapisan (a_i) untuk Perkerasan Lentur Eksisting Setelah Dipengaruhi oleh Kerusakan	50
Tabel 5.1	Data LHR Jalan Peureulak Aceh Timur KM 7+750 - 16+500	62
Tabel 5.2	Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan	65
Tabel 5.3	Rekapitulasi Perhitungan Analisis Lalu Lintas	67
Tabel 5.4	Data IRI	68

Tabel 5.5	Data Lendutan Seragam	71
Tabel 5.6	Perhitungan d_0^2	72
Tabel 5.7	Rekapitulasi Perhitungan D_0 Rata-Rata	79
Tabel 5.8	Rekapitulasi Perhitungan $D_0 - D_{200}$ Rata-Rata	83
Tabel 5.9	Konfigurasi Beban Sumbu Roda Kendaraan	88
Tabel 5.10	Rata-Rata Jumlah Hujan	89
Tabel 5.11	Hasil Rekapitulasi Perhitungan VDF	91
Tabel 5.12	ESAL Kumulatif per Tahun	91
Tabel 5.13	Defleksi STA 6+600 Ruas Jalan Peureulak - Aceh KM 7+750 - 16+500	93
Tabel 5.14	Rekapitulasi Tebal <i>Overlay</i> Ruas Jalan Peureulak - KM 7+750 - 16+500 Metode AASHTO 1993	98
Tabel 5.15	Perbandingan Parameter <i>Input</i> Pada Metode Bina Marga 2024 dan Metode AASHTO 1993	101
Tabel 5.16	Perbandingan Parameter Desain Metode Bina Marga 2024 dan Metode AASHTO 1993	102
Tabel 5.17	Perbandingan Hasil Desain	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Penelitian Tampak Atas	4
Gambar 3.1	Struktur Perkerasan Lentur	12
Gambar 3.2	Trailer Alat <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	15
Gambar 3.3	Solusi <i>Overlay</i> Berdasarkan Lendutan Balik <i>Benkelman Beam</i> untuk WMAPT 41°C	29
Gambar 3.4	Fungsi Lengkung Lendutan	30
Gambar 3.5	Tebal <i>Overlay</i> Aspal Konvensional untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada MAPT > 35 (<i>Overlay</i> Tipis)	31
Gambar 3.6	Tebal <i>Overlay</i> Aspal Konvensional untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada MAPT > 35 (<i>Overlay</i> Tebal)	32
Gambar 3.7	Distribusi Beban Sumbu dan Beban Kendaraan	38
Gambar 3.8	Faktor Penyesuaian Nilai D_0 Terhadap Temperatur untuk Aspal Semen dengan Lapis Pondasi Granuler atau Distabilisasi dengan Aspal	45
Gambar 3.9	Grafik Penentuan Nilai Koefisien Lapisan (a_i)	51
Gambar 3.10	Nomogram Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur	53
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	55
Gambar 4.2	Bagan Alir Perhitungan Tebal Lapis Tambah (<i>Overlay</i>) Metode Lendutan Bina Marga 2024	58
Gambar 4.3	Bagan Alir Perhitungan Tebal Lapis Tambah (<i>Overlay</i>) Metode Lendutan AASHTO 1993	60
Gambar 5.1	Grafik Data Lendutan FWD	63
Gambar 5.2	Grafik Data Lendutan Seragam	72
Gambar 5.3	Menentukan Tebal <i>Overlay</i>	82
Gambar 5.4	Menentukan Tebal <i>Overlay</i> Lapis Tipis	85
Gambar 5.5	Menentukan Tebal <i>Overlay</i> Lapis Tebal	86
Gambar 5.6	Distribusi Beban Sumbu dan Beban Kendaraan	87

Gambar 5.7	Potongan Melintang pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500	88
Gambar 5.8	Perkerasan Eksisting dan Desain Tebal Overlay Bina Marga 2024	107
Gambar 5.9	Perkerasan Eksisting dan Desain Tebal Overlay AASHTO 1993	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Lalu Lintas Harian	114
Lampiran 2	Data <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	118
Lampiran 3	Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode Bina Marga 2024	120
Lampiran 4	Faktor Ekuivalensi Beban Gandar Untuk Perkerasan Lentur Pada Beban Gandar Tunggal Untuk $p_t = 2,5$	124
Lampiran 5	Faktor Ekuivalensi Beban Gandar Untuk Perkerasan Lentur Pada Beban Gandar Tandem Untuk $p_t = 2,5$	125
Lampiran 6	Perhitungan Faktor VDF Kendaraan	127
Lampiran 7	Perhitungan Faktor VDF Kendaraan	130
Lampiran 8	Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode AASHTO 1993	133

ABSTRAK

Pada saat ini transportasi memegang peran sangat penting dalam segala bidang kehidupan masyarakat terutama dalam peningkatan ekonomi daerah terlihat dari meningkatnya volume lalu lintas yang dapat menimbulkan kemacetan dan kerusakan struktur perkerasan jalan. Salah satu upaya peningkatan mutu jalan dengan melakukan pemeliharaan jalan berupa peningkatan mutu struktur jalan dengan *overlay* pada ruas jalan Peureulak - Bts kota Langsa Aceh Timur Provinsi Aceh KM 7+750 - 22+250. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan jalan berdasarkan pemeriksaan secara *non-destructive* menggunakan alat pengukur lendutan perkerasan yaitu *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Metode yang digunakan untuk membandingkan desain tebal *overlay* adalah metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan dari Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Aceh.

Volume kendaraan berdasarkan hasil survei pada bulan April tahun 2023 pada ruas jalan Peureulak - Bts kota Langsa Aceh Timur Provinsi Aceh KM 7+750 - 22+250 adalah 25.474 kend/hari. Perhitungan CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle*) menurut Bina Marga 2024 adalah nilai CESA4 sebesar 9.084.602,570 dan nilai CESA5 adalah sebesar 12.432.766,869. Nilai W_{18} yang didapatkan menggunakan metode AASHTO 1993 adalah sebesar 12.767.337,40. Faktor yang menyebabkan perbedaan hasil tebal *overlay* adalah adanya perbedaan proses perancangan, kriteria dan prosedur penyelesaiannya. Hasil perhitungan tebal lapis tambah (*overlay*) menurut metode Bina Marga 2024 dengan nilai CESA4 adalah 5 cm, CESA5 lapis tipis adalah 4 cm dan CESA5 lapis tebal adalah 12,5 cm, sedangkan untuk metode AASHTO 1993 adalah 2,5 cm.

Kata Kunci: *Overlay*, Bina Marga 2024, AASHTO 1993, *Falling Weight Deflectometer*

ABSTRACT

At this time transportation plays a very important role in all areas of people's lives, especially in improving the regional economy, seen from the increasing volume of traffic that can cause congestion and damage to the structure of the pavement. One of the efforts to improve the quality of the road by carrying out road maintenance in the form of improving the quality of the road structure with overlay on the Peureulak road section - Bts Langsa city East Aceh Aceh Province KM 7 + 750 - 22 + 250. This research aims to calculate the requirement for the thickness of the pavement (overlay) based on non-destructive inspection using a pavement deflection measuring device, namely the Falling Weight Deflectometer (FWD).

The methods used to compare overlay thickness design are 2024 Bina Marga and 1993 AASHTO methods. The data used is secondary data obtained from the Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Aceh.

The volume of vehicles based on the survey results in April 2023 the Peureulak road section - Bts Langsa city East Aceh Aceh Province KM 7+750 – 22+250 is 25,474 vehicles/day. The calculation of CESA (Cumulative Equivalent Single Axle) according to 2024 Bina Marga method is the CESA4 value of 9.084.602,570 and the CESA5 value is 12.432.766,869. The W_{18} value obtained using the 1993 AASHTO method is 12.767.337,40. Factors that cause differences in overlay thickness results are differences in the design process, criteria and settlement procedures. The results of the calculation of the thickness of the overlay according to 2024 Bina Marga method with the value of CESA4 is 5 cm, CESA5 thin layer is 4 cm and CESA5 thick layer is 12,5 cm, while for the AASHTO 1993 method is 2,5 cm.

Keywords: Overlay, 2024 Bina Marga, 1993 AASHTO, Falling Weight Deflectometer

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	Jari-Jari Pelat Beban
a_e	=	Jari-jari Gelembung Tegangan pada Permukaan Batas antar Tanah Dasar dan Struktur Perkerasan
a_{OL}	=	Koefisien Lapisan
AASHTO	=	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
BB	=	<i>Benkelman Beam</i>
C	=	Faktor Koreksi
CBR	=	<i>California Bearing Ratio</i>
CC	=	<i>Characteristic Curvature</i>
CESAL	=	<i>Cumulative Equivalent Single Axle Load</i>
CF	=	<i>Curvature Function</i>
D	=	Tebal Total Lapisan Perkerasan di Atas Tanah Dasar
D_0	=	Lendutan Maksimum
D_0-D_{200}	=	Lengkung Lendutan
DD	=	Faktor Distribusi Arah
DL	=	Faktor Distribusi Lajur
d_r	=	Lendutan pada Jarak r dari Pusat Pembebanan
$\bar{d}_r$	=	Lendutan Rata-rata
E	=	Faktor Ekuivalensi Beban Sumbu Kendaraan
E_p	=	Modulus Efektif Seluruh Lapisan Struktur Perkerasan di Atas Tanah Dasar
ESA	=	<i>Equivalent Standard Axle</i>
ESAL	=	<i>Equivalent Single Axle Load</i>
FK	=	Faktor Keseragaman
f_T	=	Faktor Koreksi Temperatur
FWD	=	<i>Falling Weight Deflectometer</i>

H_{OL}	=	Tebal Lapis Tambahan yang Diperlukan
HRS	=	<i>Hot Rolled Sheet</i>
HRS-WC	=	<i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course</i>
i	=	Faktor Laju Pertumbuhan Lalu lintas
IP_f	=	Indeks Permukaan Jalan Hancur
IRI	=	<i>International Roughness Index</i>
LHRT	=	Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan
M_R	=	Modulus <i>Resilient</i>
N	=	Jumlah Data Lendutan
NDT	=	<i>Non Destructive Test</i>
P	=	Besar Beban yang Digunakan
p	=	Tekanan Akibat Beban pada Pelat FWD
P_O	=	Kemampuan Pelayanan Awal
PSI	=	<i>Present Serviceability Service</i>
R	=	Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu lintas Kumulatif (%)
R	=	Reliabilitas
r	=	Jarak dari Pusat Pembebanan
s	=	Standar Deviasi
SN	=	<i>Structural Number</i>
SN_{eff}	=	Struktural Efektif Perkerasan
SN_f	=	Angka Struktural Rencana
S_o	=	Deviasi Standar Keseluruhan
UR	=	Umur Rencana
VDF	=	<i>Vehicle Damage Factor</i>
W_{18}	=	Perkiraan Jumlah Beban Sumbu Standar Ekuivalen 18- Kip
WMAAT	=	<i>Weighted Mean Annual Air Temperature</i>
WMAPT	=	<i>Weighted Mean Annual Pavement Temperature</i>
Z_R	=	Deviasi Standar Normal
ΔPSI	=	Jumlah Total Kehilangan Kemampuan Pelayanan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota langsa merupakan salah satu kabupaten dari Provinsi Aceh yang lokasinya sangat dekat dengan kota Medan, sehingga menjadikan kota langsa sebagai kota yang strategis dan ramai imigran. Dalam rangka mendukung perkembangan ekonomi, salah satunya adalah melakukan percepatan dalam pengembangan infrastruktur yaitu berupa pengembangan jalan. Jalan merupakan prasarana transportasi yang vital, yang dapat menjangkau berbagai daerah dan metode pembangunannya relatif mudah. Namun pembangunan jalan juga menghadapi berbagai permasalahan termasuk kerusakan jalan, salah satunya pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500. Meningkatkan kualitas konstruksi jalan adalah cara yang relatif mudah untuk mengurangi kerusakan. Mutu konstruksi jalan dapat dijamin apabila pembangunan jalan dan perbaikan jalan mengikuti standar yang berlaku.

Pemeriksaan non-destruktif dengan beban dinamis pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 untuk mengevaluasi kondisi struktural dilakukan oleh Bina Marga Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi Aceh pada bulan April tahun 2023 dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Hasil survei pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 menunjukkan terjadi penurunan kondisi fungsional seperti berlubang (*pothole*), cacat permukaan (*distortion*), retak (*cracking*) dan butiran-butiran yang lepas (*ravelling*). Peningkatan volume lalu lintas atau kenaikan beban gandar kendaraan juga menyebabkan kondisi struktural pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 mengalami penurunan karena beban yang harus dilayani telah melebihi kapasitas jalan tersebut.

Untuk meningkatkan kinerja jalan, pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 memerlukan pemeliharaan dan penambahan kekuatan struktur perkerasan. Tujuan dari penambahan tebal perkerasan (*overlay*) adalah untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan sehingga dapat melayani lalu lintas di masa mendatang.

Salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan saat melakukan perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) adalah metode perencanaan. Tidak tepatnya pemilihan metode perencanaan dapat menyebabkan kerusakan jalan (*under design*) atau konstruksi yang tidak ekonomis (*over design*). Dalam penelitian ini, ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 akan dirancang dengan menggunakan metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 dengan data lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Menurut Purnaningrum (2018), analisis overlay dengan metode Bina Marga yaitu menggunakan data lendutan dan lengkung lendutan dengan pendekatan desain mekanistik empiris untuk rehabilitasi jalan dengan lalu lintas berat. Sedangkan metode AASHTO 1993 menggunakan pendekatan metode empiris. Metode empiris adalah pendekatan yang menghubungkan antara kerusakan jalan dengan parameter-parameter input desain yang diformulasikan berdasarkan hubungan statistik.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian dengan judul “**Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah Dengan Metode Bina Marga 2024 Dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan *Falling Weight Deflectometer***”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan yang muncul dari uraian latar belakang diatas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah kondisi struktural perkerasan ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 sebelum *overlay* berdasarkan data FWD.

2. Berapa hasil tebal *overlay* yang diperlukan dalam meningkatkan nilai struktural perkerasan pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500.
3. Bagaimana perbedaan desain *overlay* metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kondisi struktural perkerasan Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 berdasarkan data lendutan *Falling Weight Deflectometer*.
2. Memperoleh hasil tebal lapis tambah guna meningkatkan nilai struktural perkerasan pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500.
3. Menganalisis perbedaan parameter dan desain *overlay* dengan metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui cara perancangan tebal lapis tambah (*overlay*) dengan menggunakan metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993.
2. Menambah pengetahuan dan wawasan kepada para praktisi dan akademisi dalam pengembangan ilmu teknik sipil.

1.5 Batasan Penelitian

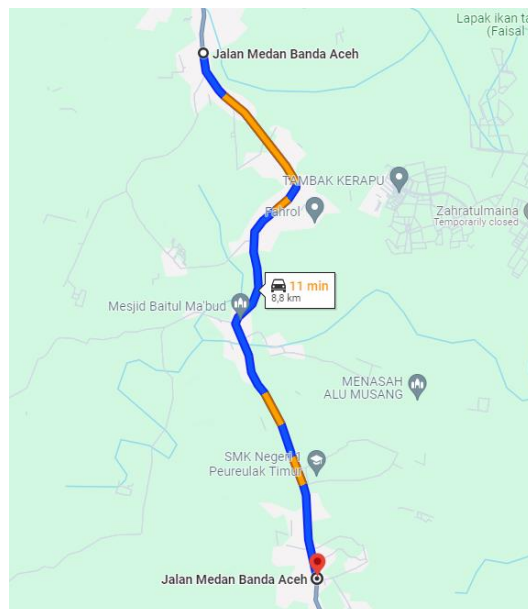
Demi mendapatkan hasil yang optimal dan tepat sasaran sehingga tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka batasan penelitian dijabarkan sebagai berikut.

1. Analisis hanya digunakan untuk tebal lapis perkerasan tambahan pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500.

2. Analisis tebal lapis tambahan menggunakan metode lendutan Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993.
3. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang di dapatkan dari Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Aceh diantaranya sebagai berikut.
 - a. Data Lalu-lintas Harian Rata-rata (LHR) pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500.
 - b. Data lendutan hasil pengujian alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) yang diuji pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500.
 - c. Data *International Roughness Index* (IRI) pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 yang berada di Kabupaten Aceh Timur Provinsi Aceh. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian Tampak Atas
(Sumber: *Google Maps*, 2024)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Menurut Wellyza (2021), jalan merupakan prasarana yang melayani angkutan darat maupun perorangan guna memperlancar kegiatan dalam suatu wilayah dan antar wilayah. Setiap jalan memiliki fungsi dan kapasitas yang disesuaikan dengan kondisi wilayah tempat dibangunnya jalan tersebut agar mampu melayani kegiatan dalam dan antar wilayah tersebut. Konstruksi jalan direncanakan agar mampu melayani sejumlah kendaraan sesuai dengan kapasitas rencana jalan serta direncanakan akan melayani hingga rentang waktu tertentu. Ketika usia jalan sudah mendekati atau mencapai umur rencana jalan maka, akan dijumpai kerusakan jalan terutama pada permukaannya. Sehingga perlu dilakukan analisis untuk mengetahui kondisi jalan tersebut.

Menurut Adven (2021), salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari kerusakan jalan yang parah adalah dengan menambahkan lapisan perkerasan. Tujuan dari perancangan penambahan tebal lapisan adalah untuk mengembalikan kekuatan perkerasan tersebut sehingga dapat memberikan pelayanan yang optimal kepada pengguna jalan. Sehubungan dengan permasalahan diatas tentunya diperlukan metode yang efektif dan efisien untuk merencanakan ketebalan *overlay* agar diperoleh hasil yang baik.

Sebelum melakukan perancangan tebal lapis tambah, diperlukan pengambilan data lendutan pada ruas yang telah ditentukan. *Falling Weight Deflectometer* adalah salah satu alat untuk mengukur nilai lendutan pada perkerasan jalan. Menurut Kamilatun (2018), FWD merupakan alat untuk mengevaluasi kinerja perkerasan yang bersifat tidak merusak (*non destructive*) dan dinamis dengan mengukur lendutan permukaan perkerasan akibat suatu beban tertentu yang diberikan kepada perkerasan tersebut. Setelah melakukan pengambilan data

menggunakan alat FWD, diperlukan analisis data untuk mendapatkan hasil tebal lapis tambah pada ruas yang sudah ditentukan.

Dalam melakukan penelitian mengenai “Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah Dengan Metode Bina Marga 2024 Dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan *Falling Weight Deflectometer*” dilakukan peninjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu. Didapatkan 4 penelitian terdahulu sebagai tinjauan.

2.2 Penelitian Tentang Tebal Lapis Tambah

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis menyertakan penelitian terdahulu dan relevan dengan penelitian yang sedang penulis lakukan. Penelitian terdahulu digunakan sebagai bahan referensi, informasi, acuan maupun sebagai bahan perbandingan penelitian. Penelitian-penelitian sejenis yang sudah dilakukan antara lain sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian Purnaningrum (2018), penelitian dilakukan pada ruas Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250. Data lalu lintas harian rata-rata, data perkerasan jalan, dan data lendutan menggunakan alat FWD didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Bidang Bina Marga Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta. Sehingga data dapat dianalisis dan nilai-nilai yang diperlukan. Berdasarkan metode Bina Marga 2017 didapatkan nilai LHR (Golongan 5a – 7c) sebesar 3.775 kend/hari, nilai CESA sebesar 10.306.628,732, dan tebal *overlay* 4 cm. Berdasarkan metode AASHTO 1993 didapatkan nilai LHR (Golongan 2 – 7c) sebesar 33.079 kend/hari, nilai W_{18} sebesar 12.966.750,64, dan tebal *overlay* 6,5 cm.
2. Manguande (2021) melakukan penelitian mengenai tebal lapis tambah, penelitian dilakukan pada Ruas Jalan Airmadidi – Kairagi, Manado. Pada penelitian ini dilakukan analisis tebal lapis tambah menggunakan dua metode dengan dua alat berbeda, yaitu metode Bina Marga 2017 dengan alat *Benkelman Beam* (BB) dan AASHTO 1993 dengan alat FWD. dari penelitian tersebut didapatkan hasil perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2017 nilai $CESA_4 = 7.632.207,24$ menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar 4 cm, dan $CESA_5 = 11.791.139,12$ menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*)

sebesar 15 cm. Dari kedua hasil tebal lapis tambah diatas, digunakan lapis tambah dengan nilai sebesar 15 cm, karena jika menggunakan tebal lapis tambah sebesar 4 cm tidak mampu menahan retak lelah. Tebal lapis Tambah (*overlay*) yang dihasilkan dari metode AASHTO 1993 dengan nilai $W_{18} = 11.253.968,57$ sebesar 7 cm.

3. Berdasarkan penelitian Manoppo, dkk. (2021), penelitian dilakukan pada Ruas Jalan Yos Sudarso Manado, Nomor Ruas Jalan 5000411. Pada penelitian ini data didapatkan dari uji *Falling Weight Deflectometer* (FWD), dianalisis menggunakan metode Bina Marga Manual Desain Perkerasan 2017 dan AASHTO 1993. Kemudian data yang telah didapatkan dianalisis sehingga mendapatkan nilai CESA4 sebesar 4.601.105, CESA5 sebesar 7.363.800, lendutan wakil (D_{wakil}) sebesar 1,29, lengkung lendutan (D_0 - D_{200}) sebesar 0,1496. Hasil dari tebal lapis tambah berdasarkan lendutan maksimum (D_0) sebesar 6 cm, nilai lengkung lendutan (D_0 - D_{200}) tidak diperlukan karena masih mampu menahan retak lelah. Perhitungan dengan menggunakan metode AASHTO 1993, didapatkan nilai ESAL W_{18} sebesar $3,810352 \times 10^6$ sehingga didapatkan hasil *overlay* sebesar 8,5 cm
4. Gerrit, dkk. (2022) pada penelitiannya menganalisis tebal lapis tambah untuk ruas Jalan Langowan – Ratahan – Belang; STA 0+050 – STA 2+600. Pada penelitian ini data didapatkan dari uji *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dan dianalisis menggunakan metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993. Dari hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 diperoleh nilai LHR (Gol 5a – 7c) = 378 kend/hari, CESA4 = 1.830.552 menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar 1 cm, dan CESA5 = 3.490.650 menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar 11 cm. Berdasarkan lendutan maksimum dengan CESA4 = 1.830.552 ESA menghasilkan tebal lapis tambah yang tidak memenuhi kriteria sehingga dianggap ruas jalan tersebut masih belum membutuhkan penanganan *overlay*. Sedangkan dengan menggunakan metode AASHTO 1993 didapatkan nilai LHR sebesar 5341 kend/hari, ESAL W_{18} sebesar 3.832.657 ESA, dan hasil dari tebal lapis tambah adalah 9 cm.

2.3 Perbandingan Penelitian Tentang Tebal Lapis Tambah

Perbandingan desain lapis tambah (*overlay*) dengan metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 dengan data lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) adalah penelitian yang akan dilakukan sekarang. Penelitian ini dilakukan pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500. Berdasarkan tinjauan yang telah dipaparkan, maka penulis dapat simpulkan terdapat perbedaan penelitian yang akan dilakukan. Berikut adalah perbedaan penelitian sebelumnya dan penelitian yang akan diteliti sekarang yang disajikan pada Tabel 2.1 di halaman selanjutnya.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Tebal Lapis Tambah

Penelitian Terdahulu					Penelitian Saat ini
Nama Peneliti	Purnaningrum	Manguande	Manoppo, dkk.	Kolinug, dkk.	Fiqri
Tahun	2018	2020	2021	2022	2024
Judul	Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan <i>Falling Weight Deflectometer</i>	Analisis Perbandingan Desain <i>Overlay</i> Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Data Lendutan BB dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan FWD	Analisa Perbandingan Desain Lapis Tambah (<i>Overlay</i>) Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993	Analisis Perbandingan Desain Tebal Perkerasan Lentur Lapis Tambah Dengan Metode Desain Perkerasan Jalan 2017 (Revisi 2020) Dan Metode AASHTO 1993	Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah Dengan Metode Bina Marga 2024 Dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan <i>Falling Weight Deflectometer</i>
Lokasi	Jalan Arteri Selatan – Yogyakarta KM 6.750 – 25.250	Ruas Jalan Airmadidi – Kairagi, Manado	Ruas Jalan Yos Sudarso Manado, Nomor Ruas Jalan 5000411	Ruas Jalan Langowan – Ratahan – Belang; STA 0+050 – STA 2+600	Ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500
Alat	<i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	<i>Benkelman Beam</i> (BB) dan <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	<i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	<i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	<i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)
Metode	Bina Marga 2017 Dan AASHTO 1993	Bina Marga 2017 Dan AASHTO 1993	Bina Marga 2017 Dan AASHTO 1993	Bina Marga 2017 Dan AASHTO 1993	Bina Marga 2024 Dan AASHTO 1993

Sumber: Purnaningrum (2018), Manguande (2020), Manoppo, dkk (2021), Gerrit, dkk (2022)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Tebal Lapis Tambah

Penelitian Terdahulu					Penelitian Saat ini
Nama Peneliti	Purnaningrum	Manguande	Manoppo, dkk.	Kolinug, dkk.	Fiqri
Tahun	2018	2021	2021	2022	2024
Hasil	<p>Desain tebal <i>overlay</i> dengan metode AASHTO 1993 menghasilkan desain yang lebih besar dibandingkan metode Bina Marga 2017. Dengan metode Bina Marga 2017 nilai LHR sebesar 3.775 kend/ hari dan CESA sebesar 10.306.628,732. Dengan metode AASHTO 1993 nilai LHR sebesar 33.079 kend/hari dan W_{18} sebesar 12.966.750,64. Metode AASHTO 1993 menghasilkan desain tebal <i>overlay</i> sebesar 6,5 cm, sedangkan metode Bina Marga 2017 menghasilkan desain tebal <i>overlay</i> sebesar 4 cm</p>	<p>Berdasarkan metode Bina Marga 2017 dengan alat BB, nilai CESA4= 7.632.207,24 ESAL dengan tebal <i>overlay</i> = 4 cm dan nilai CESA5= 11.791.139,12 ESAL dengan tebal <i>overlay</i> = 15 cm. Dari kedua hasil tersebut, <i>overlay</i> dengan nilai sebesar 15 cm yang digunakan karena mampu menahan retak lelah. Sedangkan hasil tebal lapis tambah yang dihasilkan dari metode AASHTO 1993 dengan nilai W_{18} sebesar 11.253.968,57 adalah 7 cm.</p>	<p>Berdasarkan metode Bina Marga Manual Desain Perkerasan 2017, nilai CESA4 sebesar 4.601.105, CESA5 sebesar 7.363.800, lendutan wakil (D_{wakil}) sebesar 1,29, lengkung lendutan (D_0-D_{200}) sebesar 0,1496. Hasil dari tebal lapis tambah berdasarkan lendutan maksimum (D_0) sebesar 6 cm, nilai lengkung lendutan (D_0-D_{200}) tidak diperlukan karena masih mampu menahan retak lelah. Perhitungan dengan menggunakan metode AASHTO 1993 didapatkan nilai ESAL W_{18} sebesar 3,810352 x 10^6 sehingga didapatkan hasil <i>overlay</i> sebesar 8,5 cm</p>	<p>Dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 diperoleh nilai LHR = 378 kend/hari, CESA4 = 1.830.552 menghasilkan <i>overlay</i> sebesar 1 cm, dan CESA5 = 3.490.650 menghasilkan <i>overlay</i> sebesar 11 cm. Berdasarkan lendutan maksimum dengan CESA4 = 1.830.552 ESA menghasilkan tebal lapis tambah yang tidak memenuhi kriteria sehingga dianggap ruas jalan tersebut masih belum membutuhkan penanganan <i>overlay</i>. Sedangkan dengan menggunakan metode AASHTO 1993 didapatkan nilai LHR sebesar 5341 kend/hari, ESAL W_{18} sebesar 3.832.657 ESA, dan hasil dari <i>overlay</i> adalah 9 cm.</p>	<p>Besar nilai LHR yang digunakan menggunakan metode Bina Marga 2024 adalah 2.244 kend/hari sehingga didapatkan nilai CESA4 sebesar 9,084602 x 10^6 sehingga menghasilkan <i>overlay</i> sebesar 5 cm dan nilai CESA5 12,432766 x 10^6 sehingga menghasilkan <i>overlay</i> lapis tipis sebesar 4 cm dan lapis tebal sebesar 12, 5 cm. Dengan menggunakan data IRI, didapatkan tebal minimum sebesar 4,5 cm. Tebal <i>overlay</i> yang digunakan adalah 5 cm. Pada Metode AASHTO 1993, nilai LHR sebesar 9.674 kend/hari, sehingga didapatkan nilai W_{18} sebesar 12,767337, x 10^6 sehingga didapatkan hasil <i>overlay</i> sebesar 2,5 cm</p>

Sumber: Purnaningrum (2018), Manguande (2020), Manoppo, dkk (2021), Gerrit, dkk (2022)

BAB III

LANDASAN TEORI

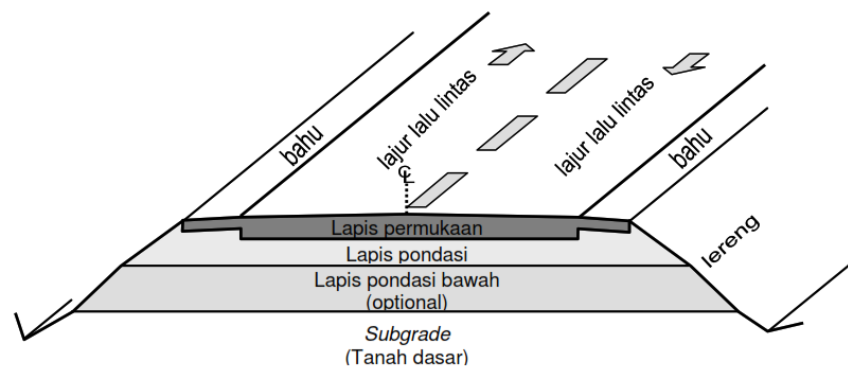
3.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas suatu lapisan perkerasan yang berada di atas tanah dasar (*subgrade*) yang bertujuan mendukung beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Beban tersebut diteruskan ke tanah dasar, sehingga tanah mendapat tekanan tidak melampaui daya dukung tanahnya. Standar yang harus dimiliki konstruksi perkerasan jalan adalah permukaan rata tidak bergelombang, permukaan tidak mengkilap sehingga tidak dapat memantulkan cahaya sinar matahari, dan permukaan yang kasar agar ban kendaraan memiliki cengkraman yang baik dan tidak mudah selip. Konstruksi perkerasan jalan harus memiliki ketebalan yang cukup agar mampu menyebarkan muatan lalu lintas ke tanah dasar. Lapisan ini bersifat kedap air sehingga air hujan yang jatuh di atas permukaan dapat cepat dialirkan dan air tidak langsung meresap ke lapisan tanah.

3.2 Perkerasan Lentur

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dibagi menjadi 3, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit (*composite pavement*). Di Indonesia sendiri, perkerasan lentur masih lebih sering dijumpai daripada perkerasan kaku. Sukirman (1999) menambahkan, perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Apabila perkerasan lentur diberi beban maka perkerasan akan melendut atau melentur sehingga perkerasan lentur lebih optimal dalam memberikan kenyamanan dalam berkendara.

Berdasarkan Sukirman (1999), konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Lapisan-lapisan perkerasan tersebut terdiri dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), dan tanah dasar (*subgrade*). Berikut adalah ilustrasi stuktur perkerasan lentur pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Struktur Perkerasan Lentur

(Sumber: Sukirman, 2010)

3.2.1 Lapis permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan merupakan lapis paling teratas pada struktur perkerasan jalan. Fungsi dari lapis permukaan adalah sebagai berikut ini.

1. Lapisan kedap air agar melindungi badan jalan.
2. Lapisan yang membuat permukaan rata dan tidak licin.
3. Lapisan yang menyalurkan beban vertikal dan horizontal atau gaya geser dari kendaraan.
4. Sebagai lapis aus yang langsung menerima gesekan dan getaran roda.

3.2.2 Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas dibuat diantara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah. Lapis pondasi atas diletakkan langsung diatas permukaan tanah dasar apabila tidak

menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi dari lapis pondasi atas adalah sebagai berikut ini.

1. Lapis pendukung permukaan.
2. Lapis peresapan bagi lapis pondasi bawah.
3. Pemikul beban vertikal dan horizontal.

3.2.3 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah terbuat dari material berbutir (*granular material*) yang dipadatkan. Fungsi dari lapis pondasi bawah adalah sebagai berikut ini.

1. Lapisan peresapan.
2. Lapisan pencegah masuknya tanah dasar ke lapis fondasi.
3. Lapisan yang menyebarkan beban roda.
4. Lapisan pertama pada pembuatan struktur perkerasan.

3.2.4 Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar atau tanah asli merupakan lapisan paling bawah dan merupakan permukaan dasar untuk peletakan bagian bagian perkerasan lainnya. Beban yang diterima oleh lapisan perkerasan akan didistribusikan sampai ke tanah dasar. Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah dimana diatasnya akan diletakkan lapisan pondasi bawah yang dapat berupa tanah asli dipadatkan (jika tanah aslinya baik), tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya.

3.3 Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

Berdasarkan Pd T-05-2005-B, lapis tambah (*overlay*) adalah lapis perkerasan tambahan yang dibangun di atas konstruksi perkerasan yang tidak layak digunakan dengan tujuan meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan pada periode yang akan datang. Beberapa penyebab kerusakan pada perkerasan jalan adalah kelembaban, suhu, pergerakan tanah dasar dan beban lalu lintas yang berkepanjangan. Sehingga perbaikan harus dilakukan secepat mungkin untuk mencegah kerusakan kecil yang dapat menjadi

kegagalan struktur. Lapis tambah (*overlay*) dilakukan jika terjadi kerusakan fungsional yang bisa berdampak untuk kualitas perkerasan jalan. Oleh karena itu tinggi tebal lapisan tambah sangat diperlukan agar mampu menahan beban yang lebih berat daripada beban yang perencanaan diawal.

Salah satu jenis *overlay* yang sering digunakan di Indonesia adalah laston (lapisan aspal beton). Lapis aspal beton adalah lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terbuat dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*) dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas pada suhu tertentu.

Laston terdiri dari tiga macam campuran yaitu lapis aus AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Coarse*), lapis AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Coarse*) dan lapis base AC-Base (*Asphalt Concrete Base*).

1. Laston Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*)

Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan paling atas dan berfungsi sebagai lapisan keausan. Walaupun bersifat non struktural, AC-WC dapat memperkuat perkerasan terhadap penurunan kualitas sehingga dapat meningkatkan umur layanan konstruksi perkerasan tersebut.

2. Laston Lapis Pengikat AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Coarse*)

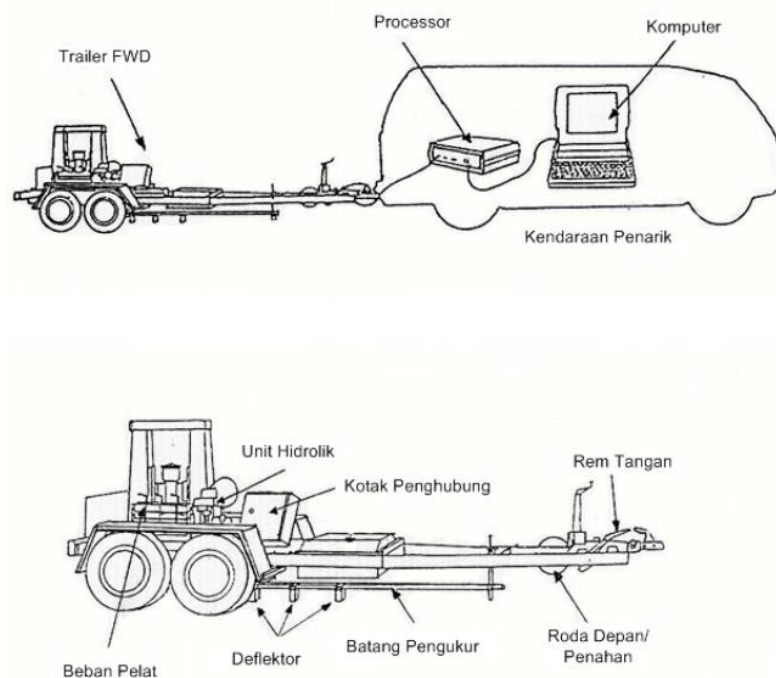
Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan tepat di bawah lapisan keausan dan di atas lapisan pondasi. Lapisan ini tidak berhadapan langsung dengan cuaca, tetapi harus memiliki ketebalan dan kekuatan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas.

3. Laston Lapis Pondasi AC-Base (*Asphalt Concrete Base*)

Lapisan ini merupakan perkerasan yang berada di bawah lapis pengikat, perkerasan tersebut tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang tersebar melalui roda kendaraan. AC-Base berfungsi sebagai penahan lapisan permukaan berupa pengurangan regangan dan tegangan, penyebaran dan meneruskan beban konstruksi jalan dibawahnya (*Sub Grade*).

3.4 Alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Falling Weight Deflectometer (FWD) merupakan salah satu alat untuk uji kinerja struktur perkerasan jalan yang telah dilengkapi dengan sistem komputer (*computerize*). Pengujian kekuatan struktur dengan alat FWD dapat dilaksanakan dengan intensitas yang relatif cepat dan tepat dibandingkan dengan alat uji lainnya yang sejenis. Metode pengukuran yang diuraikan pada penelitian ini adalah pengukuran dengan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Berikut adalah ilustrasi rangkaian alat FWD dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Trailer Alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

(Sumber: Bina Marga, 2005)

3.4.1 Prinsip Kerja *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Prinsip kerja FWD adalah memberikan beban impuls terhadap struktur perkerasan, melalui pelat berbentuk sirkular (bundar), yang efeknya sama dengan beban roda kendaraan. Pelat sirkular diletakkan pada titik pengujian permukaan perkerasan, kemudian beban dilepaskan sehingga menimbulkan beban impuls yang

menghasilkan lendutan (*deflection*). Efek tersebut ditangkap oleh tujuh sampai sembilan buah *deflector* yang diletakkan dengan jarak jarak-jarak tertentu tertentu pada batang pengukur, sehingga secara keseluruhan lendutan itu akan membentuk suatu cekung lendutan (*deflection bowl*).

Hasil pembacaan untuk setiap lokasi pengamatan disimpan secara otomatis melalui suatu mikro-komputer yang menjadi satu kesatuan dengan alat FWD. Data lendutan tersebut dapat ditampilkan kembali untuk diproses, dianalisis atau dicetak.

3.4.2 Metode Pengukuran *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Berikut adalah parameter yang berkaitan dengan pengoperasian alat FWD.

1. Diameter Plat

Alat FWD ini dilengkapi dengan dua macam pelat yang masing-masing berdiameter 300 mm dan 450 mm. Untuk perkerasan lentur, pelat yang biasa digunakan adalah dengan diameter 300 mm sedangkan untuk perkerasan nonaspal atau tanah dasar digunakan pelat dengan diameter 450 mm.

2. Berat Beban Pelat

Berat beban yang dijatuhkan pada pelat sebenarnya mempresentasikan tekanan pada permukaan perkerasan. Berat beban yang digunakan untuk perkerasan normal adalah 200 kg. Di Indonesia, beban as maksimum yang diijinkan adalah 8 ton dan beban as standar 8,2 ton sehingga beban setengah as adalah 41 kN dan tekanan ban sebesar 580 kPa.

3. Tinggi Jatuh Beban

Tinggi jatuh beban yang dimiliki alat FWD adalah 81 mm, 135 mm, 196 mm dan 361 mm. Berat beban dan tinggi jatuh beban merefleksikan beban impuls yang diberikan kepada perkerasan untuk menimbulkan besar lendutan yang diinginkan. Apabila timbul lendutan besar, antara 1 mm dan 1,5 mm, maka berat beban dan tinggi jatuh harus direvisi. Disarankan berat beban adalah 100 kg dan tinggi jatuh nomor 3 (196 mm) yang akan memberikan “*peak load*”: 25 kN dan “*peak stress level*”: 355 kPa.

4. Jarak Antar *Deflector*

Alat FWD mempunyai 9 (sembilan) buah *deflector* yang jarak antar *deflector* dapat diatur/disesuaikan dengan kondisi lapangan. Jarak antar *deflektor* berkaitan erat dengan bentuk cekung lendutan yang diinginkan.

5. Jumlah Titik Pengamatan

6. Pengukuran Temperatur Perkerasan

Alat FWD dilengkapi dengan alat ukur temperatur (permukaan) perkerasan secara otomatis dengan menggunakan sinar infra merah. Hasil pengukuran secara otomatis akan disimpan dalam komputer. Ketelitian pembacaan temperatur akan mempengaruhi hasil perhitungan seluruh modulus lapisan, khususnya modulus lapisan aspal. Pengukuran temperatur permukaan dengan alat infra merah ini dapat dilakukan dengan syarat tidak terjadi perbedaan yang cukup besar antara dua pengukuran yang berurutan. Pengukuran manual pada kedalaman 5 cm dapat mewakili temperatur perkerasan.

3.5 Perancangan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) dengan Metode Lendutan Bina Marga 2024

Manual Desain Perekerasan Jalan No. 03/M/BM/2024 (Bina Marga, 2024) adalah revisi dari edisi tahun 2017 dan disesuaikan dengan Manual Desain Perkerasan dan Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan. Edisi ini juga menggabungkan beberapa pedoman teknis terkait dengan perencanaan teknis atau perancangan perkerasan jalan, preservasi perkerasan jalan dengan memperhatikan daya dukung tanah dasar, dan pembaharuan nilai parameter karakteristik material lokal. Manual Desain Perkerasan 2024 menggunakan pendekatan mekanistik empirik dalam perancangan perkerasan lentur dengan keluaran berupa katalog struktur yang dirancang berdasarkan karakteristik, parameter material, dan respon struktur perkerasan terhadap beban rencana tertentu.

Berdasarkan Manual Desain Perekerasan Jalan No. 03/M/BM/2024 (Bina Marga, 2024), berikut adalah dua kriteria umum pendekatan dalam penentuan *overlay*.

1. Deformasi permanen dengan lendutan maksimum, dan
2. Retak lelah dengan lengkung lendutan.

Faktor – faktor yang dipertimbangkan dalam menentukan tebal lapis tambah metode lendutan Bina Marga tahun 2024 adalah sebagai berikut ini.

3.5.1 Lalu Lintas

Faktor terpenting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang dibutuhkan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang mana akan menentukan perkerasan selama umur rencana. Nilai beban ditentukan dengan cara menghitung volume lalu lintas pada tahun survei, kemudian diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah volume lalu lintas untuk setiap kelas kendaraan dan beban gandar kendaraan niaga dinyatakan dalam beban ekuivalen sumbu standar (ESAL).

3.5.1.1 Analisis Volume Lalu Lintas

Perkiraan volume lalu lintas harus dilaksanakan secara realistis. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi. Dalam analisis lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Penentuan nilai LHRT didasarkan pada data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan faktor k.

3.5.1.2 Data Lalu Lintas

Ketepatan dan ketelitian data lalu lintas adalah suatu hal penting untuk menghasilkan desain perkerasan yang dapat bekerja dengan baik selama umur rencana. Semua jenis kendaraan harus diikuti sertakan untuk menghitung data lalu lintas harian rata-rata.

3.5.1.3 Jenis Kendaraan

Jenis kendaraan yang perlu diperhitungkan dalam analisis adalah kendaraan niaga karena memiliki beban gandar yang besar sehingga berpotensi menimbulkan kerusakan struktur. Sistem pengelompokan kendaraan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

3.5.1.4 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan yang berlaku. Jika data tersebut tidak tersedia maka dapat menggunakan Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,7
Kolektor <i>rural</i>	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber: Bina Marga (2024)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) dapat menggunakan Persamaan 3.1.

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 \times i} \quad (3.1)$$

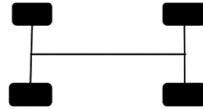
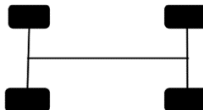
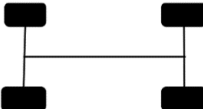
dengan:

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

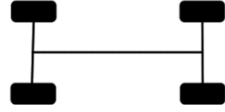
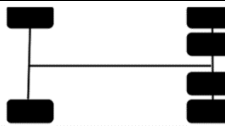
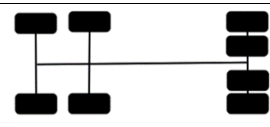
i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%), dan

UR = umur rencana (tahun).

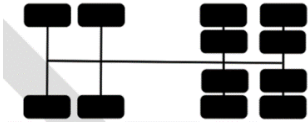
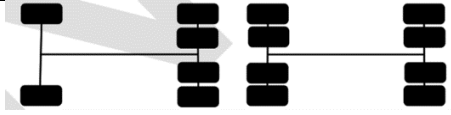
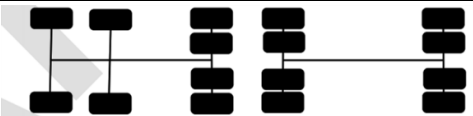
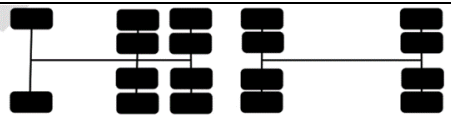
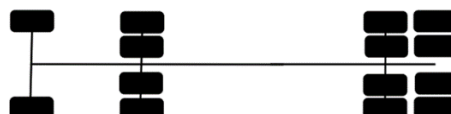
Tabel 3.2 Klasifikasi dan Konfigurasi Sumbu Kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok Sumbu	Skema Konfigurasi	Klasifikasi Kendaraan
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3				
2	Kendaraan ringan - sedan, <i>jeep</i> , dan <i>station wagon</i>	1,1	2		
3	Kendaraan ringan - angkutan umum sedang	1,1	2		
4	Kendaraan ringan - <i>pick up</i> , <i>micro truck</i>	1,1	2		
5A	Bus kecil	1,1	2		

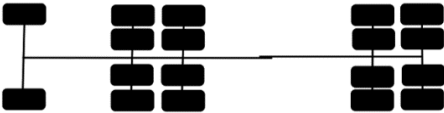
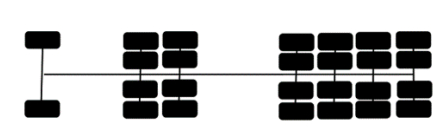
Lanjutan Tabel 3.2 Klasifikasi dan Konfigurasi Sumbu Kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok Sumbu	Skema Konfigurasi	Klasifikasi Kendaraan
5B	Bus besar	1,2	2		
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	1,1	2		
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	1,2	2		
7A1	Truk 3 sumbu-berat	11,2	2		
7A2	Truk 3 sumbu-berat	1,22	2		

Lanjutan Tabel 3.2 Klasifikasi dan Konfigurasi Sumbu Kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok Sumbu	Skema Konfigurasi	Klasifikasi Kendaraan
7A3	Truk 4 sumbu-berat	11,22	2		
7B1	Truk 4 sumbu-berat	1,2+2,2	4		
7B2	Truk 5 sumbu-berat	11,2+2,2	4		
7B3	Truk 5 sumbu-berat	1,22+2,2	3		
7C1	Truk 4 sumbu-berat	1,2-22	3		

Lanjutan Tabel 3.2 Klasifikasi dan Konfigurasi Sumbu Kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok Sumbu	Skema Konfigurasi	Klasifikasi Kendaraan
7C2A	Truk 5 sumbu-berat	1,22-22	3		
7C2B	Truk 5 sumbu-berat	1,2-222	3		
7C3	Truk 6 sumbu-berat	1,22-222	3		
7C4	Truk 7 sumbu-berat	1,22-2222	3		
8	Kendaraan tak bermotor				

Sumber : Bina Marga (2024)

3.5.1.5 Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. 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 dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,5 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu. Faktor distribusi jalan ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber: Bina Marga (2024)

3.5.1.6 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban atau *Vehicle Damage Factor* (VDF). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana yang diperoleh dari nilai VDF tersebut yang merupakan gabungan beban lalu lintas dari berbagai kendaraan dan beban sumbu dapat dikonversi menjadi jumlah total beban ESA.

Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilaksanakan dengan baik adalah dasar perhitungan ESA, jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana teknis dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada Tabel 3.4 dapat digunakan untuk menghitung beban rencana. Namun bilamana untuk kelas kendaraan tertentu yang nilai VDF kendaraannya

tidak tersedia pada Tabel 3.4, maka perencana teknis dapat menggunakan nilai VDF untuk kelas kendaraan pada lokasi terdekat yang diperkirakan mempunyai karakteristik lalu lintas yang sama. Penelitian ini dilakukan di Provinsi Aceh sehingga nilai VDF yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 3.4 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) di Aceh dan Sumatera Utara

Kelas Kendaraan	Kondisi			
	VDF 4		VDF 5	
	Faktual	Normal	Faktual	Normal
Gol 5B	1,2	1,2	1,3	1,3
Gol 6A	0,5	0,5	0,4	0,4
Gol 6B	1,6	0,4	2,2	0,4
Gol 7A1	10,1	3	17,2	3,4
Gol 7A2	10,2	3,9	19,7	5,2
Gol 7A3	-	-	-	-
Gol 7B1	-	-	-	-
Gol 7B2	-	-	-	-
Gol 7B3	-	-	-	-
Gol 7C1	8,2	5,7	11,9	7,2
Gol 7C2A	6,6	5,6	9,2	7,2
Gol 7C2B	11,1	6,8	19,5	9,6
Gol 7C3	16	9	29,4	12,8
Gol 7C4	-	-	-	-

Sumber: Bina Marga (2024)

3.5.1.7 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 ditentukan pada Persamaan 3.2.

$$\text{CESAL} = (\sum \text{LHR}_{\text{JK}} \times \text{VDF}_{\text{JK}}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \quad (3.2)$$

dengan:

LHR_{JK} = lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga,

VDF_{JK} = faktor ekuivalen beban (*vehicle damage factor*) tiap jenis kendaraan niaga,

DD = faktor distribusi arah,

DL = faktor distribusi lajur (Tabel 3.3),

$CESAL$ = kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana, dan

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3.5.1.8 Umur Rencana

Umur rencana untuk berbagai jenis penanganan lapis tambah ditunjukkan pada Tabel 3.5 untuk perkerasan lentur.

Tabel 3.5 Umur Rencana Jenis Penanganan Perkerasan Lentur

Kriteria Beban Lalu Lintas (juta ESA4)	ESA 4 < 10	ESA 4 $\geq$ 10
Umur Rencana Perkerasan Lentur	Seluruh penanganan: 10 tahun	Rekonstruksi - 20 tahun Lapis tambah struktural - 10 tahun Lapis tambah non struktural - 10 tahun Penanganan sementara - sesuai kebutuhan

Sumber : Bina Marga (2024)

Nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 digunakan untuk desain tebal perkerasan tergantung pada model kerusakan (*deterioration model*) dan pendekatan desain yang digunakan. Dalam proses perencanaan teknis, nilai ESA yang sesuai dapat digunakan sebagai berikut.

1. Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (seperti Burtu atau Burda), perkerasan tanpa penutup (*unsealed granular pavement*) dan perencanaan teknis tebal lapis tambah berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur (*rutting*).

2. Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan beton aspal dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan teknis tebal lapis tambah berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak lelah (*fatigue*).
3. ESA AASHTO digunakan untuk desain tebal lapis tambah pada perkerasan lentur dan kaku dengan menggunakan metode AASHTO 1993

Dalam perhitungan lapis tambah menggunakan metode AASHTO 1993 diperlukan perhitungan beban lalu lintas rencana yang dinyatakan dalam ekuivalen sumbu standar sesuai dengan yang tertera pada dokumen AASHTO 1993, dalam MDP ini dinyatakan sebagai ekuivalen beban sumbu standar (ESA) AASHTO.

3.5.2 Prosedur Desain Tebal *Overlay* dengan Lendutan Bina Marga 2024

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan No. 03/M/BM/2024, berikut adalah tiga prosedur tebal lapis tambah campuran aspal di atas perkerasan lentur berdasarkan beban lalu lintas.

1. Lalu lintas lebih kecil atau sama dengan 100.000 ESA4

Retak lelah bukan merupakan kerusakan yang umum terjadi pada jalan dengan lalu lintas ringan dan perkerasan dengan HRS. Berdasarkan pertimbangan tersebut, kinerja *fatigue* lapis tambah pada desain jalan dengan beban lalu lintas rencana lebih kecil dari 100.000 ESA4 dan perkerasan dengan HRS tidak diperlukan. Desain tebal lapis tambah cukup dengan pendekatan lendutan maksimum (D_0).

2. Lalu lintas lebih besar dari $100.000 < \text{ESA4} < 10 \times 10^6 \text{ ESA4}$

Pada jalan dengan lalu lintas lebih besar dari 100.000 ESA4 terdapat potensi retak lelah (*fatigue*) pada lapisan aspal. Dengan demikian, harus diperhitungkan kriteria deformasi permanen dengan pendekatan lendutan maksimum D_0 dan kriteria retak lelah dengan pendekatan lengkung lendutan, D_0 - D_{200} .

3. Lalu Lintas lebih besar 10×10^6 ESA4

Untuk pekerjaan rehabilitasi dengan beban lalu lintas lebih besar daripada 10×10^6 ESA4 harus digunakan prosedur mekanistik empiris atau metode AASHTO 1993. Pada prosedur mekanistik empiris, data lendutan permukaan dan tebal perkerasan eksisting digunakan untuk perhitungan-balik (*back calculation*) nilai modulus lapisan perkerasan. Selanjutnya nilai modulus ini digunakan untuk menentukan solusi desain rekonstruksi atau lapis tambah dengan program analisis perkerasan *multilayer*.

Berikut adalah ringkasan prosedur tebal lapis tambah campuran aspal di atas perkerasan lentur berdasarkan beban lalu lintas pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Metode Lapis Tambah

Kebutuhan Desain	Metoda	Input Beban Lalu Lintas	Satuan Beban Lalu Lintas
Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas Lebih kecil atau sama dengan 100.000 ESA4	Lendutan balik maksimum	VDF4	CESA4
Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas 100.000 ESA4 sampai dengan 10×10^6 ESA4	Lendutan balik maksimum	VDF4	CESA
	Lengkung lendutan	VDF5	CESA5
Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas Lebih Besar dari 10×10^6 ESA4	AASHTO 1993	VDF AASHTO Lentur	CESA AASHTO Lentur

Sumber : Bina Marga (2024)

3.5.2.1 Tebal *Overlay* Non-struktural

Tebal lapis tambah harus lebih besar atau sama dengan tebal minimum. Untuk mencapai tingkat kerataan yang diinginkan, lapis aspal yang lebih tebal diperlukan pada permukaan yang tidak rata. Untuk mendapatkan nilai IRI yang diharapkan,

pengupasan (*milling*) lapis permukaan beraspal perlu diperhitungkan. Jika lapis tambah didesain hanya untuk memperbaiki kerataan saja (non-struktural), pakai tebal lapis tambah dari Tabel 3.7.

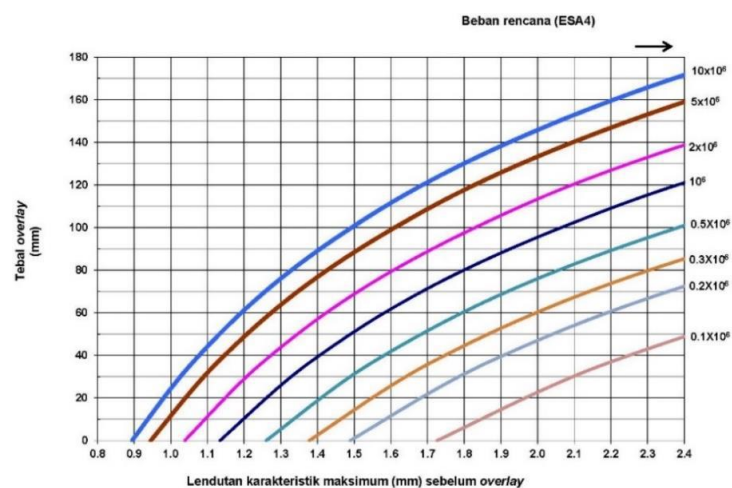
Tabel 3.7 Tebal Lapis Tambah untuk Menurunkan IRI (Non-struktural)

IRI Rata-Rata Perkerasan Eksisting	Tabel Lapis Tambah Minimum Nonstruktural Untuk Mencapai IRI 3 m/km Setelah Lapis Tambah (mm)
4	40
5	45
6	50

Sumber : Bina Marga (2024)

3.5.2.2 Tebal *Overlay* Berdasarkan Lendutan Maksimum

Untuk menentukan tebal lapis tambah berdasarkan lendutan balik maksimum (yang diukur dengan alat *Benkelman Beam*), gunakan bagan desain Gambar 3.3 untuk mengantisipasi deformasi permanen. Nilai lendutan karakteristik dan beban lalu lintas desain (ESA4) dihitung dan dimasukkan ke bagan desain Gambar 3.3. Pada titik pertemuan antara beban rencana dengan lendutan karakteristik tarik garis ke arah sumbu vertikal, sehingga anda mendapatkan nilai tebal *overlay*. Bagan desain Gambar 3.3 berlaku untuk beban rencana sampai dengan 10×10^6 ESA4.



Gambar 3.3 Solusi *Overlay* Berdasarkan Lendutan Balik *Benkelman Beam* untuk WMAPT 41°C

(Sumber: Bina Marga, 2024)

3.5.2.3 Tebal *Overlay* Berdasarkan Lengkung Lendutan

Lengkung lendutan digunakan untuk perkerasan dengan beban lalu lintas desain lebih besar dari 100.000 ESA4. Apabila hasil pengujian lendutan menunjukkan bahwa hanya lapis HRS yang tipis yang diperlukan, pengecekan lengkungan lendutan tidak diperlukan karena lapis HRS-WC memiliki ketahanan yang cukup tinggi terhadap *fatigue*.

Lengkung lendutan dinyatakan pada titik belok lengkungan atau CF (*Curvature Function*) berdasarkan bentuk lengkung lendutan sesuai Persamaan 3.3.

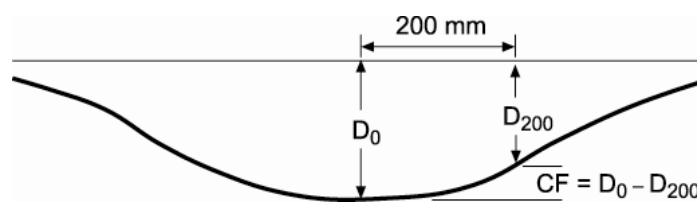
$$CF = D_0 - D_{200} \quad (3.3)$$

dengan:

D_0 = lendutan maksimum pada suatu titik uji (mm), dan

D_{200} = lendutan yang terjadi pada titik yang berjarak 200 mm dari titik uji tersebut (mm).

Gambar 3.4 menunjukkan skema dimensi fungsi lengkung lendutan (*curvature function* atau titik belok).



Gambar 3.4 Fungsi Lengkung Lendutan
Sumber: Austroads (2008)

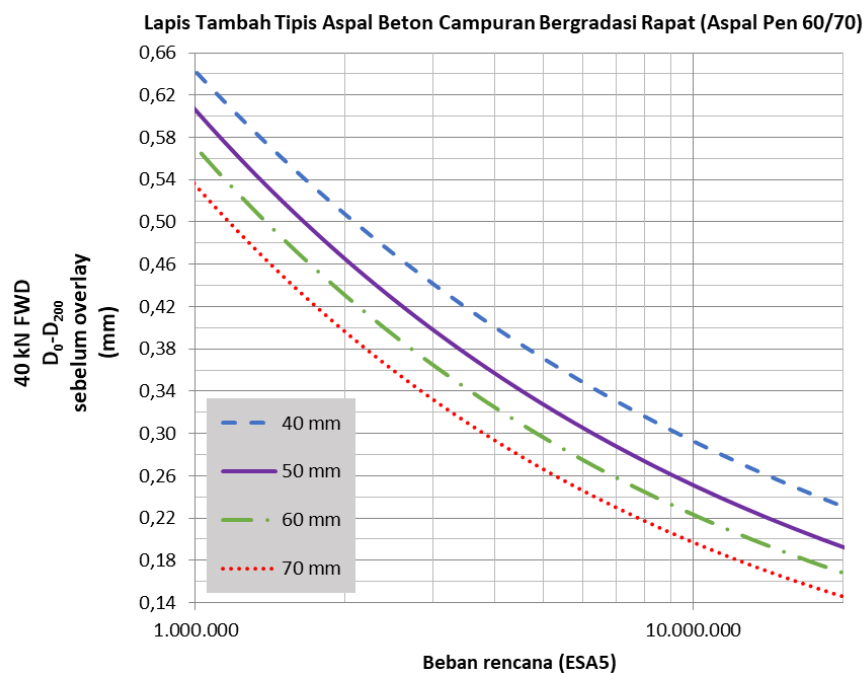
Beberapa faktor yang perlu disesuaikan apabila lengkung lendutan digunakan dalam mendesain kebutuhan *overlay* adalah sebagai berikut.

1. Grafik Desain Lengkung Lendutan pada WMAPT 41°C

Bagan Gambar 3.5 digunakan untuk menentukan tebal *overlay* tipis dan Bagan Gambar 3.6 digunakan untuk menentukan tebal *overlay* tebal.

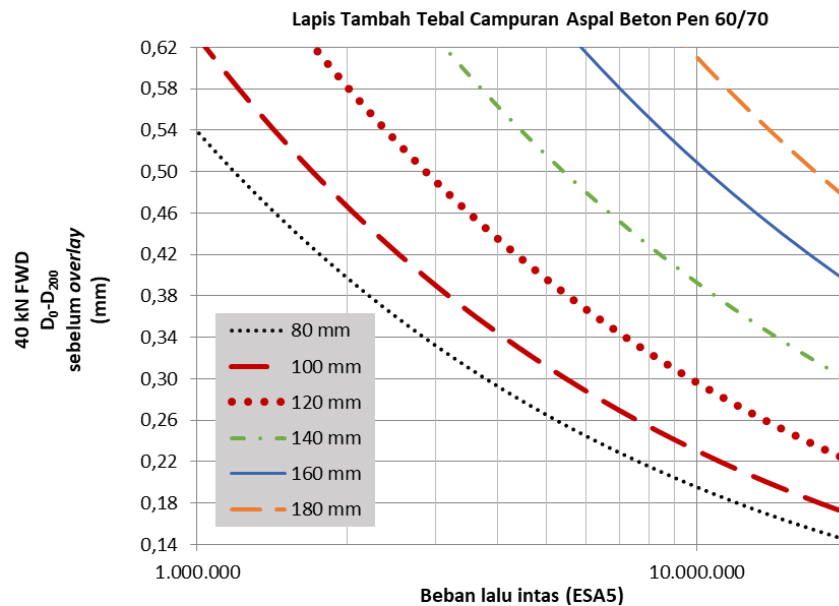
2. Penyesuaian Nilai Pengukuran Lendutan Terhadap Musim

Jenis tanah dan kadar air substrat dapat mempengaruhi besar lendutan pada permukaan perkerasan aspal. Selain ketinggian muka air tanah, kelembaban tanah dasar juga dipengaruhi oleh iklim. Berdasarkan pertimbangan tersebut, telah ditetapkan bahwa musim hujan adalah kondisi paling lemah bagi perkerasan. Faktor koreksi musiman adalah nilai perbandingan antara lendutan maksimum di musim hujan dan di musim kemarau. Jika survei dilakukan pada musim kemarau maka nilai faktor koreksi musim adalah 1,2 dan untuk musim penghujan nilai faktor koreksi musim adalah 1,0. Penggunaan faktor koreksi musim hujan berlaku bila melakukan uji lendutan di musim hujan, atau bila muka air tanah minimal 3 m lebih rendah dari posisi pondasi.



Gambar 3.5 Tebal *Overlay* Aspal Konvensional untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada MAPT > 35 (*Overlay* Tipis)

Sumber: Bina Marga (2024)



Gambar 3.6 Tebal *Overlay* Aspal Konvensional untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada MAPT > 35 (*Overlay* Tebal)

Sumber: Bina Marga (2024)

3. Penyesuaian Nilai Pengukuran Lendutan Terhadap Temperatur Pengujian
 Untuk lapis tambah di atas perkerasan berbutir, hasil pengukuran lendutan perlu dikoreksi. Hal ini dikarenakan temperatur perkerasan mempengaruhi kekakuan dan kinerja perkerasan beraspal dalam merespon beban. Apabila temperatur perkerasan pada saat pengukuran dan pada kondisi pelayanan berbeda secara signifikan, lengkung lendutan yang diukur tidak mewakili respon perkerasan terhadap pembebanan lalu lintas. Untuk itu, diperlukan faktor koreksi temperatur. Temperatur perkerasan harian pada suatu lokasi dipengaruhi oleh temperatur perkerasan tahunan rata-rata (*Weighted Mean Annual Pavement Temperature*, WMAPT). Temperatur perkerasan rata-rata tahunan dapat diperkirakan berdasarkan temperatur rata-rata tahunan (*Weighted Mean Annual Air Temperature*, WMAAT). Temperatur perkerasan rata-rata 41°C digunakan sebagai acuan dalam manual ini. Faktor koreksi temperatur (f_T) untuk pengukuran lendutan dihitung dengan cara Persamaan 3.4.

$$f_T = \frac{W_{MAPT}}{\text{Temperatur perkerasan saat pengukuran lendutan}} \quad (3.4)$$

Faktor koreksi temperatur juga bisa didapatkan melalui Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 untuk pengujian menggunakan FWD. Pengujian lendutan perkerasan dengan tebal permukaan beraspal kurang dari 25 mm tidak memerlukan faktor koreksi temperatur.

Tabel 3.8 Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D₀) untuk FWD

W _{MAPT} Templapangan	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
	25	50	100	150	200	300
0,50	0,93	0,87	0,81	0,75	0,69	0,59
0,60	0,95	0,91	0,86	0,81	0,76	0,68
0,70	0,96	0,94	0,90	0,87	0,83	0,77
0,80	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,85
0,90	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
1,20	1,01	1,02	1,04	1,05	1,08	1,10
1,30	1,02	1,04	1,05	1,08	1,12	1,15
1,40	1,02	1,04	1,07	1,10	1,15	1,19
1,50	1,02	1,05	1,09	1,12	1,18	1,22
1,60	1,03	1,06	1,10	1,14	1,21	1,25
1,70	1,03	1,07	1,12	1,16	1,23	1,27
1,80	1,04	1,09	1,13	1,18	1,25	1,28

Sumber: Bina Marga (2024)

Tabel 3.9 Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) untuk FWD

WMAPT Templapangan	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
	25	50	100	150	200	300
0,50	0,91	0,76	0,63	0,54	0,41	0,31
0,60	0,93	0,81	0,71	0,64	0,53	0,46
0,70	0,95	0,86	0,78	0,73	0,65	0,60
0,80	0,97	0,91	0,86	0,82	0,77	0,73
0,90	0,98	0,95	0,92	0,91	0,88	0,86
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11
1,20	1,02	1,06	1,10	1,14	1,18	1,23
1,30	1,03	1,10	1,15	1,20	1,27	1,35
1,40	1,04	1,13	1,20	1,10	1,36	1,46
1,50	1,05	1,15	1,24	1,32	1,44	1,57
1,60	1,05	1,15	1,24	1,32	1,44	1,57
1,70	1,06	1,15	1,28	1,37	1,52	1,67
1.8	1.06	1.18	1.32	1.41	1.59	1.77

Sumber: Bina Marga (2024)

4. Penyesuaian Nilai Lendutan dan Lengkung Lendutan

Penyesuaian hasil pengukuran perlu dilakukan karena nilai pengujian lendutan dan lengkung lendutan yang diuji menggunakan *Benkelman Beam* dan FWD akan menghasilkan nilai yang berbeda. Oleh karena itu, nilai yang diperoleh dari nilai hasil uji dengan BB perlu dilakukan konversi ke nilai setara FWD dengan mengalikan nilai tersebut dengan Faktor Penyesuaian. Faktor tersebut bervariasi sesuai komposisi perkerasan dan kekuatan tanah dasar. Faktor yang paling akurat adalah yang diperoleh dari pengukuran lapangan yang disejajarkan. Namun demikian untuk memudahkan, asumsi awal faktor penyesuaian dapat digunakan data yang disajikan pada Tabel 3.10. Desain lapis tambah dengan kriteria kelelahan (*fatigue*) perkerasan aspal didasarkan pada lengkung lendutan FWD (Austroads 2008) terlihat pada Gambar 3.5.

Tabel 3.10 Faktor Penyesuaian Lengkungan Lendutan (D_o) FWD ke BB

Tebal Aspal Eksisting (mm)	Faktor	Tebal Aspal Eksisting (mm)	Faktor
0	1,00	160	1,26
20	1,12	180	1,28
40	1,14	200	1,29
60	1,16	220	1,31
80	1,18	240	1,33
100	1,20	260	1,34
120	1,22	280	1,35
140	1,24	300	1,36

Sumber : Bina Marga 2024

5. Lengkung Lendutan Karakteristik (*Characteristic Curvature*)

Lengkung Lendutan Karakteristik harus digunakan untuk lalu lintas lebih besar dari 1×10^6 ESA5 dalam evaluasi desain lapis tambah pada perkerasan lentur. Nilai ini ditentukan sesudah dilakukan koreksi terhadap musim, temperatur dan faktor penyesuaian terhadap masing-masing pengukuran. Nilai lengkung lendutan karakteristik (CC) untuk sub segmen perkerasan yang homogen sama dengan nilai lengkung lendutan rata-rata yang diperoleh dari data survei lendutan.

3.6 Perancangan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) dengan Metode Lendutan AASHTO 1993

Falling Weight Deflectometer (FWD) adalah salah satu alat pengukur defleksi yang paling umum digunakan saat menilai struktur perkerasan. Defleksi permukaan merepresentasikan respon menyeluruh dari sistem perkerasan. Proses evaluasi dan operasi alat uji FWD sepenuhnya dikendalikan dengan program komputer. AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) merekomendasikan penggunaan uji *non-destructive* (NDT) atau uji tidak merusak sebagai metode pengumpulan data untuk evaluasi kapasitas struktural dari sistem perkerasan yang ada. Hasil pengujian menggunakan alat FWD berupa data

defleksi, data tersebut digunakan untuk perhitungan balik (*back calculation*) untuk menentukan sifat setiap lapis perkerasan. Perancangan lapis tambah (*overlay*) metode AASHTO 1993 harus memperhatikan parameter – parameter berikut ini.

3.6.1 Analisis Lalu Lintas

Dalam perancangan lalu lintas terkait besar beban gandar, konfigurasi beban gandar, pengulangan beban dan jumlah beban gandar total, memerlukan estimasi volume dan komposisi lalu-lintas tahun pertama, laju pertumbuhan lalu-lintas, distribusi arah dan distribusi lajur rencana, besar nilai *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) selama umur rencana. Volume lalu-lintas dihitung selama periode waktu tertentu.

3.6.1.1 *Equivalent Single Axle Load* (ESAL)

Semua lintasan lalu-lintas harus dikonversi ke dalam jumlah ekuivalen beban gandar tunggal untuk perencanaan perkerasan jalan. Gandar tunggal, yang dilengkapi dengan ban dobel, menghasilkan beban 18 kip (8,16 ton, atau 80 KN). Persamaan 3.5 digunakan untuk menghitung lalu lintas rencana.

$$LHR_n = \sum_{j=1}^n LHR_j \times (1+i) \quad (3.5)$$

dengan:

i = pertumbuhan lalu lintas,

n = tahun Rencana, dan

LHR = lalu lintas harian rata-rata.

Perhitungan jumlah beban sumbu standar untuk lalu-lintas rencana pada tahun ke- n diselesaikan dengan persamaan 3.6.

$$ESAL_n = \sum_{\text{traktor-trailer}}^{MP} M_n \times 365 \times E \times R \times DD \times DL \quad (3.6)$$

dengan:

$ESAL_n$ = kumulatif ekuivalen beban sumbu standar sampai tahun ke- n ,

M_n = jumlah masing-masing jenis kendaraan sampai tahun ke- n ,

365 = jumlah hari dalam satu tahun,

E = faktor ekuivalen beban sumbu,

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas,

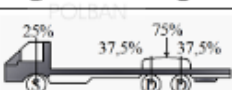
DD = koefisien distribusi arah, dan

DL = koefisien distribusi lajur.

3.6.1.2 Faktor Truk/Faktor Ekuivalensi Beban Sumbu Kendaraan (E)

Jumlah ESAL yang dihasilkan dari satu lintasan kendaraan merupakan definisi dari faktor truk, yang sering digunakan untuk menghitung ESAL untuk perencanaan perkerasan. Faktor ekuivalensi beban sumbu kendaraan, yang didasarkan pada metode AASHTO 1993, dihitung dengan interpolasi dengan tabel faktor ekuivalensi beban gandar untuk perkerasan lentur. Tabel faktor ekuivalensi dapat dilihat pada Lampiran 1 dengan menghitung nilai SN yang akan digunakan terlebih dahulu.

Sedangkan untuk konfigurasi beban standar setiap kendaraan yang disarankan oleh AASHTO 1993 yaitu menggunakan beban setara dengan 18-kips ESAL. Nilai berat total kendaraan dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (Ton)	Beban Muatan Maksimum (Ton)	Berat Total Maksimum (Ton)	
1.1 Mobil Penumpang	1,5	0,5	2	
1.2 Bus	3	6	9	
1.2L Truk	2,3	6	8,3	 <div> (S) Roda Tunggal Pada Ujung Sumbu (D) Roda Ganda Pada Ujung Sumbu </div>
1.2H Truk	4,2	14	18,2	 <div> L = Truk Ringan H = Truk Berat </div>
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 3.7 Distribusi Beban Sumbu dan Beban Kendaraan

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

3.6.1.3 Faktor Distribusi Arah dan Faktor Distribusi Lajur

Jumlah beban gandar harus didistribusikan sesuai dengan arah dan lajunya. Nilai faktor distribusi arah (DD) menurut AASHTO 1993 berkisar antara 0,3 dan 0,7. Secara umum, faktor distribusi arah adalah 0,5 kecuali satu arah dilewati oleh truk penuh muatan dan arah lain dilewati oleh truk kosong. Nilai faktor distribusi lajur (DL) ditentukan oleh jumlah lajur yang tersedia di ruas jalan. Berikut adalah nilai distribusi lajur (DL) sesuai dengan Tabel 3.11 dan nilai distribusi arah (DD) sesuai dengan Tabel 3.12.

Tabel 3.11 Faktor Distribusi Lajur (DL) untuk Perancangan Perkerasan

Jumlah lajur per arah	Faktor distribusi lajur / DL (%)
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-70

Sumber: AASHTO (1993)

Tabel 3.12 Faktor Distribusi Arah (DD) untuk Perancangan Perkerasan

Lebar perkerasan, L_p (m)	Jumlah lajur (n_1)	Koefisien distribusi arah (DD)	
		1 arah	2 arah
$L_p < 5,50$	1	1	1
$5,5 \leq L_p < 8,25$	2	0,7	0,5
$8,25 \leq L_p < 11,25$	3	0,5	0,475
$11,25 \leq L_p < 15,00$	4	-	0,45
$15 \leq L_p < 18,75$	5	-	0,425
$18,75 \leq L_p < 22,00$	6	-	0,4

Sumber: Bina Marga (2003)

3.6.2 Koefisien Lapisan (a_i)

Koefisien lapisan, menurut AASHTO 1993 berdasarkan bahan perkerasan yang digunakan, merupakan ukuran kemampuan relatif material untuk berfungsi sebagai komponen struktur. Ini menggambarkan hubungan empiris antara *Structural Number* (SN) dan ketebalan perkerasan. Berikut adalah nilai koefisien lapisan yang dapat dilihat pada tabel 3.13

Tabel 3.13 Koefisien Lapisan (a_i)

Tipe Material	a_i
Lapis permukaan (<i>Surface Course</i>), a_1 :	
1. Campuran aspal panas gradasi rapat	0,44
2. Aspal panas	0,40
3. Campuran dipakai ulang (<i>recycled</i>) di tempat	0,20
4. Campuran dipakai ulang oleh pabrik	0,40 (0,40 – 0,44)
Lapis pondasi atas (<i>Base Course</i>), a_2 :	
1. Batu pecah	0,14 (0,08 – 0,14)
2. Kerikil berpasir	0,07
3. Pondasi pozolanik	0,28 (0,25 -0,30)
4. Pondasi dirawat kapur	0,22 (0,15 -0,30)
5. Pondasi dirawat semen	0,27
6. Tanah – semen (<i>soil – cement</i>)	0,20
7. Pondasi dirawat aspal, gradasi kasar	0,34
8. Pondasi dirawat aspal, gradasi pasir	0,30
9. Campuran dipakai ulang (<i>recycled</i>) diolah di tempat	0,20
10. Campuran dipakai ulang (<i>recycled</i>) diolah di pabrik	0,40 (0,40 – 0,44)
11. Campuran aspal panas gradasi padar	0,44
Lapis pondasi bawah (<i>Subbase Course</i>), a_3 :	
1. Kerikil berpasir	0,11
2. Lempung berpasir	0,08 (0,05 – 0,10)
3. Tanah dirawat kapur	0,11
4. Lempung dirawat kapur	0,16 (0,14 – 0,18)
5. Batu pecah	0,14 (0,08 – 0,14)

Sumber: AASHTO dalam Lavin (2003)

3.6.3 Koefisien Drainase (m)

Penentuan koefisien drainase (m) didasarkan pada kondisi dari hari efektif hujan dalam setahun yang akan mempengaruhi perkerasan. Koefisien drainase (m), menurut AASHTO ada dua variabel berikut ini.

1. Variabel Pertama

Mutu drainase dengan variasi *excellent*, *good*, *fair*, *poor*, *very poor*. Mutu ini ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan.

2. Variabel Kedua

Persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air (*saturated*) dengan variasi <1 %, 1 – 5 %, 5 – 25 %, > 25%.

Penetapan variabel pertama mengacu pada Tabel 3.15 dan dengan pendekatan sebagai berikut.

1. air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk ke dalam pondasi jalan,
2. air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan, inipun relatif kecil terjadi, juga muka air yang tinggi di bawah tanah dasar, dan
3. pendekatan dengan lama dan frekuensi hujan, yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per hari dan jarang sekali terjadi hujan terus-menerus selama satu minggu.

Penetapan variabel persen perkerasan terkena air, yaitu persen struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat jenuh. Persen struktur terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut pada Persamaan 3.7.

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100 \quad (3.7)$$

dengan:

P_{heff} = persen Harian efektif hujan dalam setahun yang akan berpengaruh terkenanya perkerasan (%),

T_{jam} = rata-rata hujan per hari (jam),

T_{hari} = rata-rata hujan per tahun,

W_L = faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%)

= $100 - C$, dan

C = Koefisien Pengaliran.

Koefisien Pengaliran (C) diambil berdasarkan Bina Marga yang dapat dilihat dalam Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Koefisien Pengaliran (C)

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 – 0,95
2	Bahu Jalan:	
	a. Tanah berbutir halus	0,40 – 0,65
	b. Tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20
	c. Batuan masif keras	0,70 – 0,85
	d. Batuan masif lunak	0,60 – 0,75

Sumber: Bina Marga (1990)

Nilai-nilai koefisien drainase (m) yang direkomendasikan AASHTO 1993 ditunjukkan dalam Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Koefisien Drainase (m)

Kualitas drainase	Waktu air Hilang	Persen waktu struktur perkerasan terbuka terhadap kelembaban yang menuju ke kondisi yang jenuh			
		< 1%	1 – 5 %	4 – 25 %	> 25 %
Baik sekali	2 jam	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	24 jam	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,10	1,00
Sedang	1 minggu	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Buruk	4 minggu	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Sangat buruk	Tidak mengalir	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Sumber: AASHTO (1993)

3.6.4 *Structural Number* (SN)

Structural Number (SN) merupakan fungsi dari ketebalan lapisan, koefisien relatif lapisan (*layer coefficient*) dan koefisien drainase (*drainase coefficient*). Perencanaan untuk *stuctural number* dapat dilihat pada Persamaan 3.8.

$$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3 \quad (3.8)$$

dengan:

SN = nilai *Structural Number*,

a_1, a_2, a_3 = koefisien relatif masing-masing lapisan,

D_1, D_2, D_3 = tebal masing-masing lapisan perkerasan, dan

m_2, m_3 = koefisien drainase masing-masing lapisan.

3.6.5 Desain Tebal *Overlay* dengan Metode Lendutan AASHTO 1993

3.6.5.1 *Modulus Resilient* (M_R) Tanah Dasar

Modulus resilient (MR) digunakan dalam perencanaan perkerasan jalan untuk menunjukkan daya dukung tanah dasar. *Modulus resilient* (MR) didefinisikan sebagai kemampuan tanah atau lapis pondasi granuler pada lapis perkerasan untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh beban yang berulang. Persamaan 3.9 menunjukkan hubungan antara nilai MR dan CBR yang diusulkan oleh Institut Asphalt (MS-23).

$$M_R = 1500 \times CBR \quad (3.9)$$

dengan:

M_R = modulus resilient (Psi), dan

CBR = *california bearing ratio* (%).

Lendutan yang diukur pada jarak yang cukup jauh dari pusat beban mencerminkan nilai *modulus resilien* tanah dasar. Pernyataan ini merupakan dasar dari perhitungan balik (*back calculation*). *Modulus Resilien* (M_R) tanah dasar dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.10.

$$M_R = \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \quad (3.10)$$

dengan:

M_R = modulus resiliensi tanah dasar hasil dari perhitungan balik (psi),

P = beban yang digunakan (lbs),

d_r = lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan (inci), dan

r = jarak dari pusat pembebanan (inci).

Persamaan 3.11 dan Persamaan 3.12 menunjukkan jarak minimum pengukuran lendutan untuk estimasi modulus resiliensi tanah dasar, karena perhitungan modulus resiliensi tanah dasar ini tidak memperhitungkan koreksi temperatur. Oleh karena itu, lendutan yang digunakan untuk perhitungan balik harus diukur cukup jauh dari pusat pembebanan.

$$r > 0,7 a_e \quad (3.11)$$

$$a_e = \sqrt{\left(a^2 + \left\{ D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right\}^2 \right)} \quad (3.12)$$

dengan:

a_e = jari-jari gelembung tegangan pada permukaan batas antara tanah dasar dan struktur perkerasan (inci),

a = jari-jari pelat beban (inci),

D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar (inci),

M_R = modulus resiliensi tanah dasar (psi), dan

E_p = modulus efektif seluruh lapisan struktur perkerasan di atas tanah dasar (psi).

3.6.5.2 Modulus Efektif Perkerasan (E_p)

Besar lendutan pada pusat beban (D_0) harus disesuaikan dengan suhu normal 68°F. Faktor penyesuaian nilai D_0 terhadap temperatur ditentukan dengan Gambar 3.8 dan Persamaan 3.13.

$$D_0 = 1,5 \times p \times a \times \left(\frac{1}{M_R \times \sqrt{1 + \left(\frac{D^3}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{1 - \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}{E_p} \right) \quad (3.13)$$

dengan:

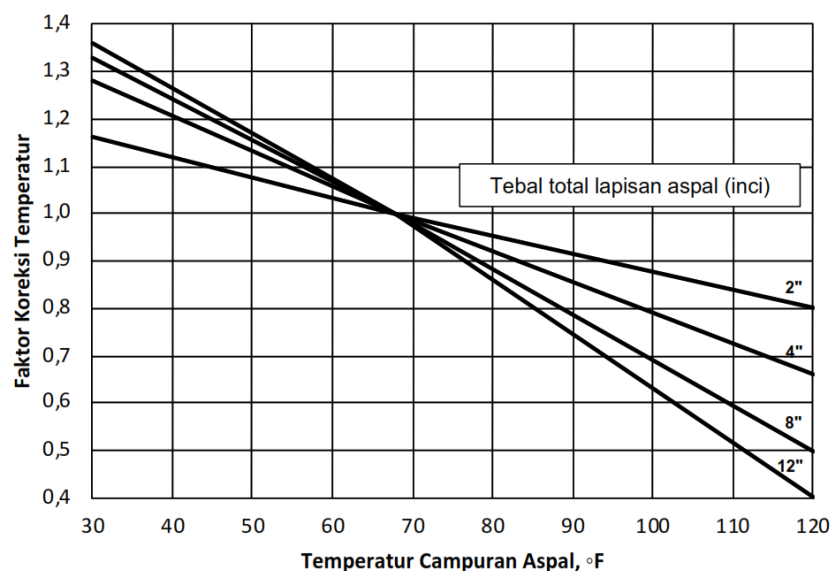
D_0 = lendutan yang diukur pada pusat pembebanan dan untuk temperatur standar 68°F (inci),

p = tekanan akibat beban pada pelat FWD (psi),

a = jari-jari pelat pembebanan (inci),

D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar (inci), dan

E_p = modulus efektif seluruh lapisan perkerasan di atas tanah dasar (psi).



Gambar 3.8 Faktor Penyesuaian Nilai D_0 Terhadap Temperatur untuk Aspal Semen dengan Lapis Pondasi Granuler atau Distabilisasi dengan Aspal
(Sumber: AASHTO, 1993)

3.6.5.3 Modulus *Resilien* Tanah Dasar Perencanaan (MR desain)

Modulus *resilien* tanah dasar untuk perencanaan (MR desain) ditentukan dengan persamaan 3.14.

$$M_R = C \times \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \quad (3.14)$$

dengan:

M_R = Modulus *Resilien* tanah dasar hasil dari perhitungan balik (psi),

P = beban yang digunakan (lbs),

d_r = lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan (inci),

r = jarak dari pusat beban (inci), dan

C = faktor koreksi = 0,33.

3.6.5.4 Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

Serviceability merupakan tingkat pelayanan yang diberikan oleh sistem perkerasan yang kemudian dirasakan oleh pengguna jalan. Dengan parameter utama yang dipertimbangkan adalah *Present Serviceability Service* (PSI). Nilai *serviceability* merupakan nilai yang menjadi penentu tingkat pelayanan fungsional dari suatu sistem perkerasan jalan. Secara numerik *serviceability* merupakan fungsi dari beberapa parameter anatar lain ketidakrataan, jumlah lubang, lubang tambalan, dan lain – lain. AASHTO 1993 menyatakan hubungan kategori kondisi jalan dengan nilai PSI dalam Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Hubungan Kondisi Jalan dan PSI

Skala PSI	Kategori Kondisi
0-1	Sangat buruk
1-2	Buruk
2-3	Sedang
3-4	Baik
4-5	Sangat baik

Sumber: AASHTO (1993)

Dalam perancangan dibutuhkan pemilihan indeks kemampuan pelayanan awal dan akhir, AASHTO 1993 menyarankan nilai-nilai P_t berikut.

1. Jalan raya utama, $P_t = 2,5$,
2. Jalan raya dengan lalu lintas rendah, $P_t = 2,0$, dan
3. Jalan raya relatif minor, $P_t = 1,5$.

Kehilangan kemampuan pelayanan total (*total loss of serviceability*) dinyatakan oleh persamaan 3.15.

$$\Delta PSI = P_O - P_t \quad (3.15)$$

dengan:

ΔPSI = jumlah total kehilangan kemampuan pelayanan,

P_O = kemampuan pelayanan awal dengan nilai 4,2, dan

P_t = kemampuan layanan akhir.

3.6.5.5 Reliabilitas (R)

Reliability (R) didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa tingkat layanan dapat tercapai pada tingkat tertentu dari sisi pengguna jalan selama umur rencana. *Reliability* (R) menyatakan kemungkinan kondisi perkerasan yang dirancang masih tetap memuaskan selama masa layan. Kemungkinan terjadinya selisih antara hasil rancangan dan kenyataan lebih besar jika nilai reliabilitasnya lebih tinggi. Hal ini berarti semakin tinggi Reliabilitas maka hasil rancangan akan menghasilkan desain yang lebih besar (tebal). Tabel 3.17 menunjukkan nilai Reliabilitas untuk tipe jalan dan berdasarkan lingkungannya.

Tabel 3.17 Nilai Reliability (R)

Tipe Jalan	Nilai R (%)	
	Perkotaan (<i>urban</i>)	Pedesaan (<i>rural</i>)
Jalan bebas hambatan	90-99,9	85-99,9
Utama	85-99	80-95
Arteri	80-99	75-95
Kolektor	80-95	75-95
Lokal	50-80	50-80

Sumber: AASHTO (1993)

3.6.5.6 Deviasi Standar Normal (Z_R)

Nilai simpang baku normal (Z_R) ditentukan berdasarkan nilai tingkat Reliabilitas (R) yang didapat dari Tabel kurva normal standar. Hubungan nilai Deviasi Standar Normal (Z_R) dan nilai Deviasi Standar Keseluruhan (S_o) akan menghasilkan Faktor Reliabilitas desain (FR). Hubungan antara tingkat Reliabilitas (R) dan simpang baku normal (Z_R) disajikan dalam Tabel 3.18.

Tabel 3.18 Hubungan antara R dan Z_R

R (%)	Z_R
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,340
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645

Lanjutan Tabel 3.18 Hubungan antara R dan Z_R

R (%)	Z _R
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber: AASHTO (1993)

3.6.5.7 Deviasi Standar Keseluruhan (S₀)

Pengaplikasian dari konsep *Reliability* ini diberikan juga dalam parameter standar deviasi yang mempresentasikan kondisi - kondisi lokal dari ruas jalan yang direncanakan serta tipe perkerasan yang digunakan. Deviasi standar keseluruhan (*overall standar deviation*) merupakan parameter yang digunakan guna memperhitungkan adanya variasi dari input data. Deviasi standar keseluruhan dipilih sesuai dengan kondisi lokal. AASHTO (1993) menyarankan sebagai berikut.

1. Untuk perkerasan lentur : S₀ diantara 0,4 – 0,5, dan
2. Untuk perkerasan kaku : S₀ diantara 0,3 – 0,4.

3.6.5.8 Koefisien Lapisan (a_{OL})

AASHTO 1993 menetapkan nilai koefisien lapisan dengan memperhitungkan penurunan mutu bahan dan akibat kerusakan lainnya untuk mengidentifikasi nilai struktural perkerasan lentur yang ada, disajikan dalam Tabel 3.19. Penentuan koefisien lapisan untuk lapis pondasi atas (*granuler base layer*) dapat dilihat pada Gambar 3.8 atau dengan menggunakan Persamaan 3.16.

$$a_1 = 0,249 (\log_{10} M_R) - 0,97 \quad (3.16)$$

dengan:

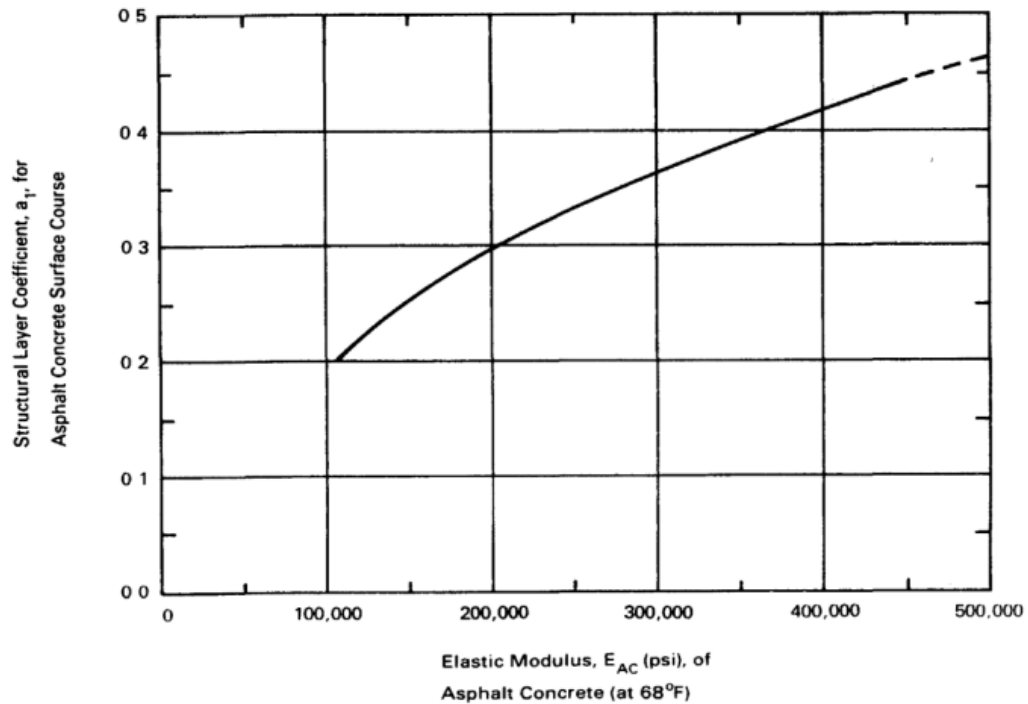
a₁ = koefisien lapisan pondasi atas, dan

M_R = *modulus resilien* (psi).

Tabel 3.19 Koefisien Lapisan (a_i) Untuk Perkerasan Lentur Eksisting Setelah Dipengaruhi oleh Kerusakan

Bahan	Kondisi Permukaan	Koefisien Lapisan (a)
Permukaan aspal semen (ac)	Sedikit atau tidak ada rusak retak kulit buaya dan atau retak melintang tingkat rendah	0,35 – 0,40
	< 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 5 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,25 – 0,35
	> 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau > 5-10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,20 – 0,30
	> 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau < 10% retak buaya tingkat tinggi dan atau > 10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,14 – 0,20
	> 10 % retak buaya tingkat tinggi > 10 % retak melintang tingkat tinggi	0,08 – 0,15
Lapis pondasi distabilisasi (<i>stabilized base</i>)	Sedikit atau tidak ada rusak retak kulit buayadan atau retak melintang tingkat rendah	0,20 – 0,35
	< 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 5 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,15 – 0,25
	> 10 % retak buaya tingkat rendah dan atau < 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau > 5-10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,15 – 0,20
	> 10 % retak buaya tingkat sedang dan atau < 10% retak buaya tingkat tinggi dan atau > 10 % retak melintang tingkat sedang & tinggi	0,10 – 0,20
	> 10 % retak buaya tingkat tinggi > 10 % retak melintang tingkat tinggi	0,08 – 0,15
Lapis pondasi granuler atau lapis pondasi bawah	Tidak ada kenampakan pemompaan (<i>pumping</i>), atau terkontaminasi butiran halus	0,10 – 0,14
	Ada kenampakan pemompan (<i>pumping</i>), degradasi, atau terkontaminasi butiran halus	0,00 – 0,10

(Sumber: AASHTO, 1993)



Gambar 3.9 Grafik Penentuan Nilai Koefisien Lapisan (a_i)

(Sumber: AASHTO, 1993)

3.6.5.9 Angka Struktural Efektif Perkerasan (SN_{eff})

AASHTO 1993 menyatakan bahwa kapasitas struktural perkerasan merupakan fungsi dari tebal total dan kekakuan keseluruhan dari perkerasan yang ditunjukkan pada Angka struktural efektif perkerasan (SN_{eff}). Nilai SN_{eff} ditentukan dengan persamaan 3.17.

$$SN_{eff} = 0,0045 \times D \times \sqrt[3]{E_p} \quad (3.17)$$

dengan:

SN_{eff} = angka Struktural Efektif perkerasan eksisting yang akan diberi lapis tambahan,

D = tebal lapis perkerasan total di atas tanah dasar (inci), dan

E_p = modulus Efektif Perkerasan di atas tanah dasar (psi).

3.6.5.10 Penentuan Angka Struktural Rencana (SNf)

Perhitungan angka struktural rencana (SNf) pada kondisi lalu-lintas yang akan datang sama dengan perhitungan SN untuk kondisi perkerasan baru. Volume lalu-lintas rencana, modulus resilient efektif (MR), kemampuan pelayanan yang hilang reliabilitas ΔPSI , dan deviasi standar keseluruhan (S_0) adalah data yang diperlukan untuk menghitung nilai SNf. SNf dapat dihitung dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan Persamaan 3.18.

$$\log_{10} W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN_f + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} \cdot M_R - 8,07 \quad (3.18)$$

dengan:

W_{18} = perkiraan jumlah beban sumbu standar ekuivalen 18-kip (ESAL),

Z_r = deviasi normal standar,

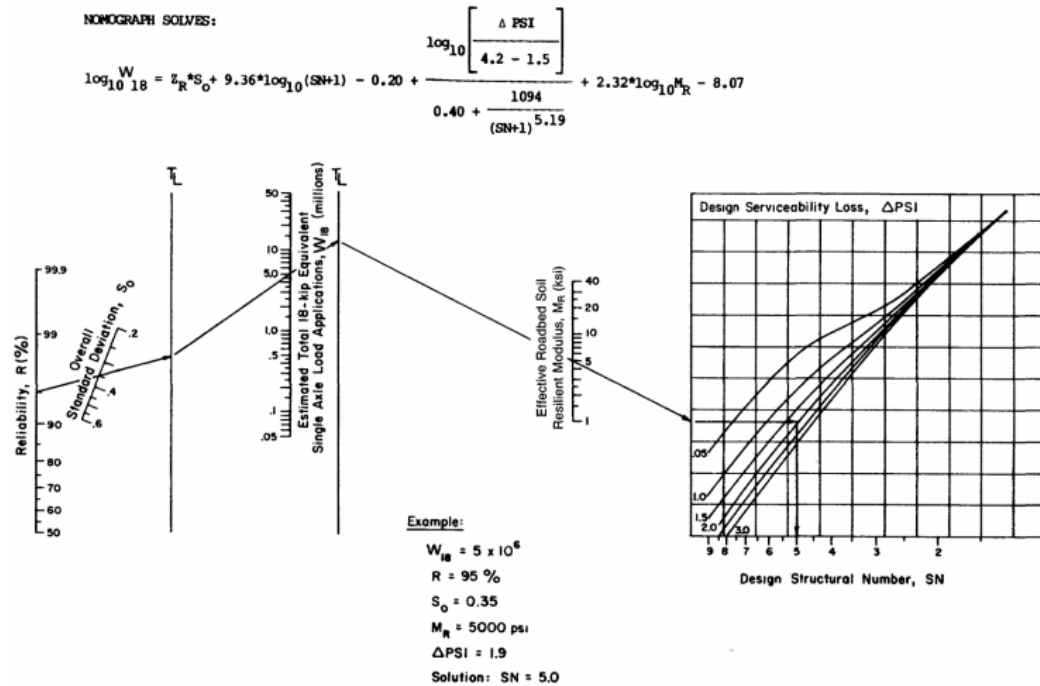
S_0 = deviasi standar keseluruhan (perkiraan lalu-lintas dan kinerja),

SN_f = angka struktural di masa datang (rencana),

ΔPSI = selisih *initial design serviceability index* (IP_0) dengan *design terminal serviceability index* (IP_t),

IP_f = indeks permukaan jalan hancur (minimum 1,5), dan

M_R = modulus resilien tanah dasar hasil dari perhitungan balik (psi).



Gambar 3.10 Nomogram Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur

(Sumber: AASHTO, 1993)

3.6.5.11 Tebal Lapis Tambahan Perkerasan

Tebal lapis tambahan perkerasan dapat dihitung setelah nilai SN_{eff} dan SN_f diketahui. Perhitungan kebutuhan tebal lapis tambahan perkerasan menggunakan Persamaan 3.19.

$$D_{OL} = \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{OL}} \quad (3.19)$$

dengan:

D_{OL} = koefisien lapisan *overlay*,

SN_f = angka Struktural dimasa datang / perencanaan,

SN_{eff} = angka Struktural Efektif perkerasan eksisting yang akan diberi lapis tambahan, dan

a_{OL} = koefisien lapisan *overlay*.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode perhitungan tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500, yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993. Penelitian ini berdasarkan data lendutan yang diperoleh dari hasil uji lendutan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Untuk merencanakan analisis tebal lapis tambah (*overlay*) yang diperlukan, data lendutan digunakan untuk menilai sistem perkerasan.

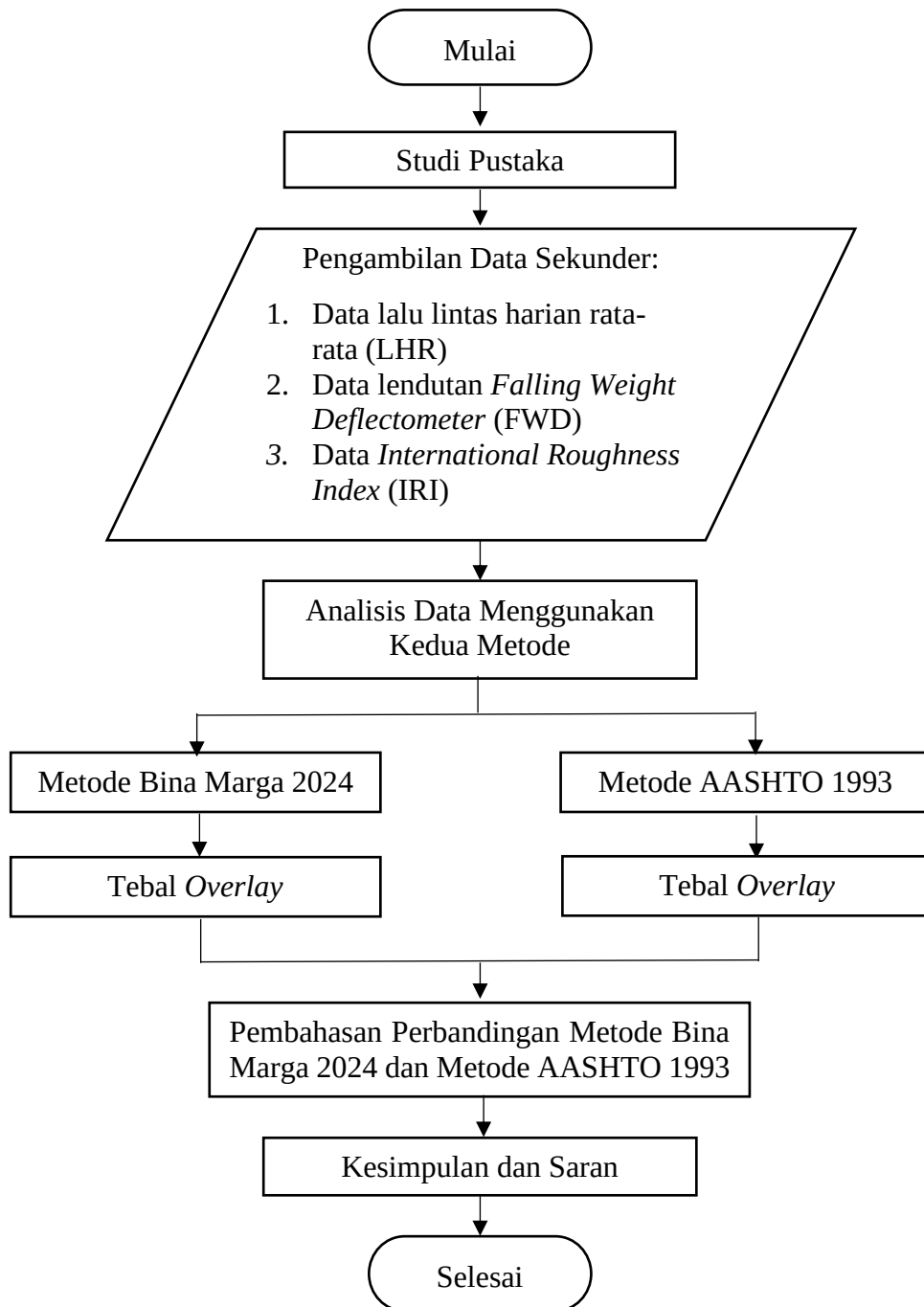
4.2 Data Penelitian

Dalam penelitian ini hanya menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Aceh pada bulan April tahun 2023, berupa:

1. Data jumlah kendaraan / lalu lintas harian rata-rata (LHR)
2. Data lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD)
3. Data *International Roughness Index* (IRI)

4.3 Tahapan Penelitian

Pada ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500, proses perbandingan desain tebal lapis tambah dengan metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 digambarkan pada Gambar 4. bagan alir berikut ini.



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

Tahapan proses penelitian dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Studi Pustaka

Studi pustaka mencakup pencarian penelitian sebelumnya yang memiliki hubungan atau kesamaan dengan penelitian ini dan digunakan sebagai dasar untuk penelitian ini.

2. Pengambilan Data

Tahap Pengambilan dan pengumpulan data pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Aceh. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data lalu lintas harian rata-rata (LHR), data lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD), dan data *International Roughness Index* (IRI).

3. Analisis Menggunakan 2 Metode

Data yang sudah terkumpul selanjutnya akan dihitung untuk mencari tebal *overlay* dengan metode Bina Marga 2024 dan metode AASHTO 1993.

4. Analisis Data dan Pembahasan

Pada tahap ini, data dari kedua metode yang telah ditentukan akan dievaluasi dan dibandingkan dari perspektif konsep, parameter, prosedur, dan hasil desain.

5. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini menjelaskan hasil dari penelitian secara singkat dan memberikan saran untuk calon peneliti selanjutnya.

4.4 Metode Analisis Data

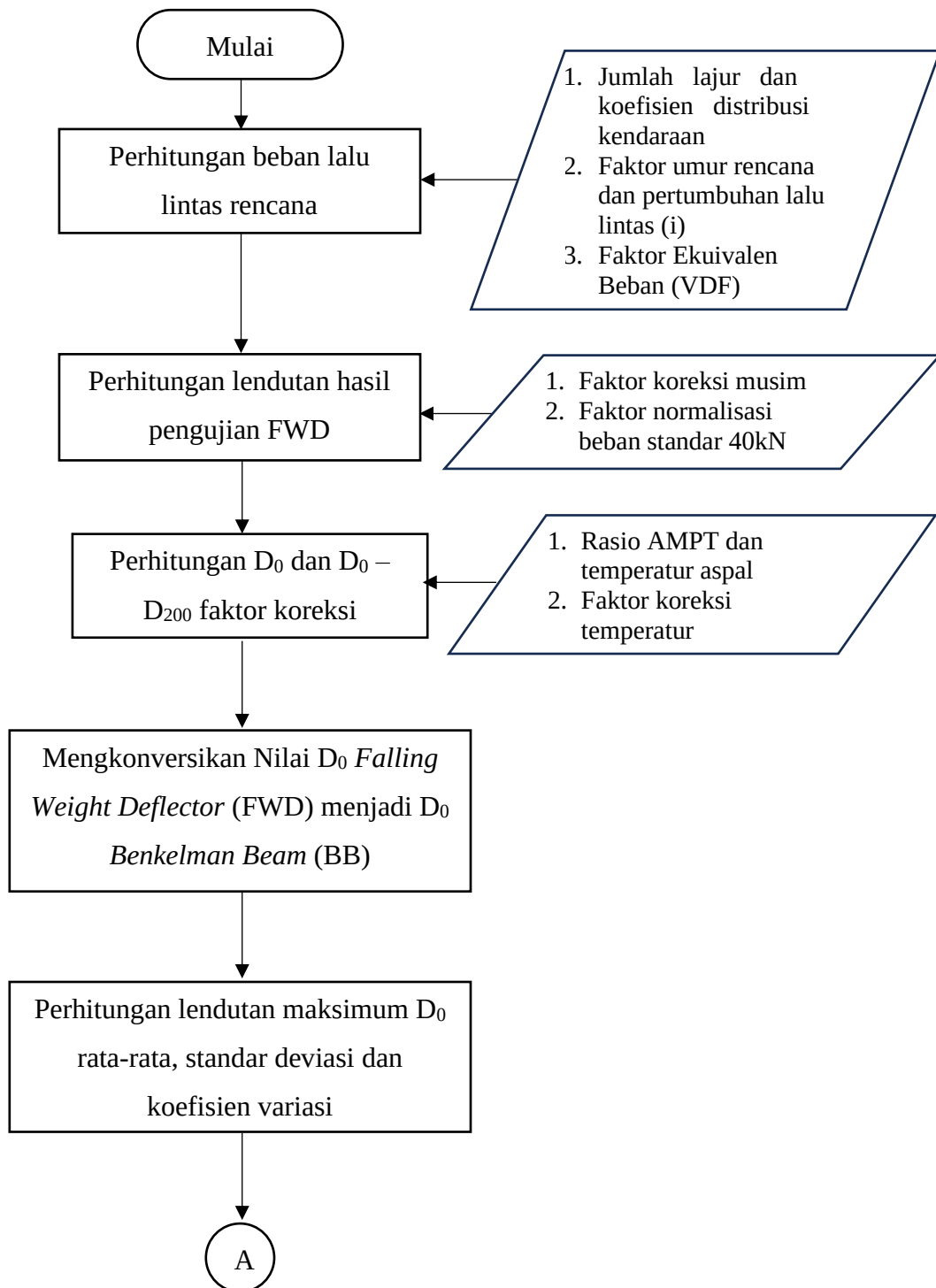
Penelitian ini menggunakan metode yang telah ditentukan untuk menganalisis data dan menghasilkan nilai tebal lapis tambah perkerasan pada ruas jalan yang diteliti. Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993, yang keduanya menggunakan data lendutan dari *Falling Weight Deflectometer*.

1. Metode Bina Marga 2024

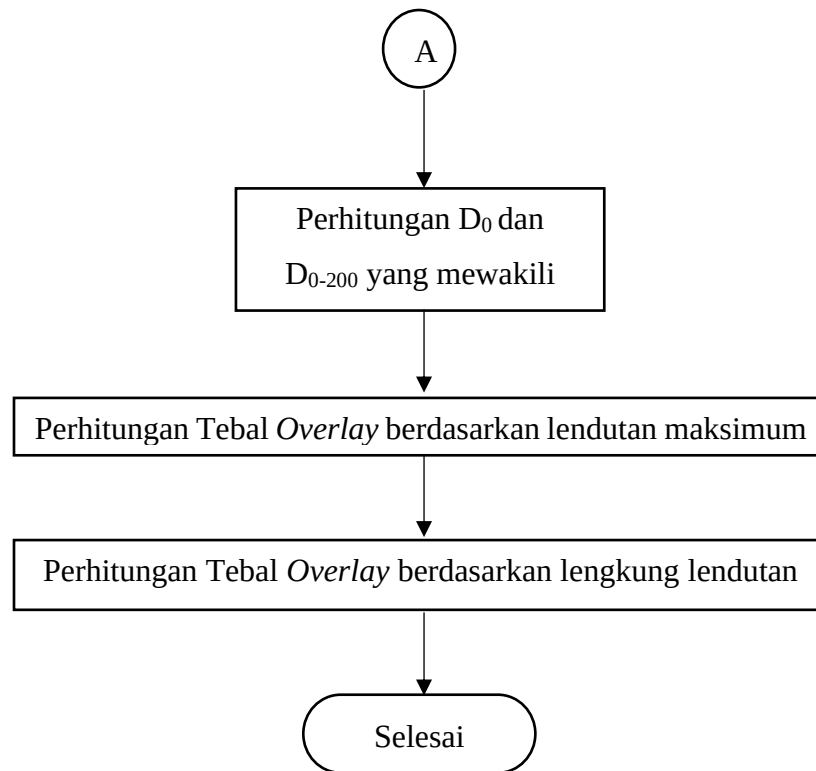
Prosedur dan tahapan perhitungan tebal lapis tambah (*overlay*) dengan metode lendutan Bina Marga 2024 sebagai berikut.

- a. Perhitungan beban lalu lintas rencana (CESA) dalam ESA,
- b. Perhitungan lendutan hasil pengujian dengan faktor koreksi musim,
- c. Perhitungan nilai lendutan yang dinormalkan ke beban standar 40 kN,
- d. Perhitungan $D_0 - D_{200}$,
- e. Perhitungan rasio AMPT dan temperatur aspal saat pengukuran,
- f. Perhitungan faktor koreksi temperatur lendutan D_0 dan koreksi temperatur lendutan $D_0 - D_{200}$,
- g. Perhitungan D_0 dan $D_0 - D_{200}$ faktor koreksi temperatur,
- h. Mengkonversikan nilai D_0 *Falling Weight Deflectometer* (FWD) menjadi D_0 *Benkelman Beam* (BB),
- i. Perhitungan lendutan maksimum D_0 rata-rata, deviasi standar dan koefisien variasi,
- j. Perhitungan nilai D_0 yang mewakili dan periksa apakah segment yang bersangkutan cukup seragam,
- k. Perhitungan nilai lengkung lendutan yang mewakili,
- l. Menentukan tebal *overlay* berdasarkan lendutan maksimum, dan
- m. Menentukan *overlay* tipis dan *overlay* tebal untuk mengatasi retak lelah.

Langkah - langkah perhitungan tebal lapis tambah dengan metode Bina Marga 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Bagan Alir Perhitungan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Metode Lendutan Bina Marga 2024



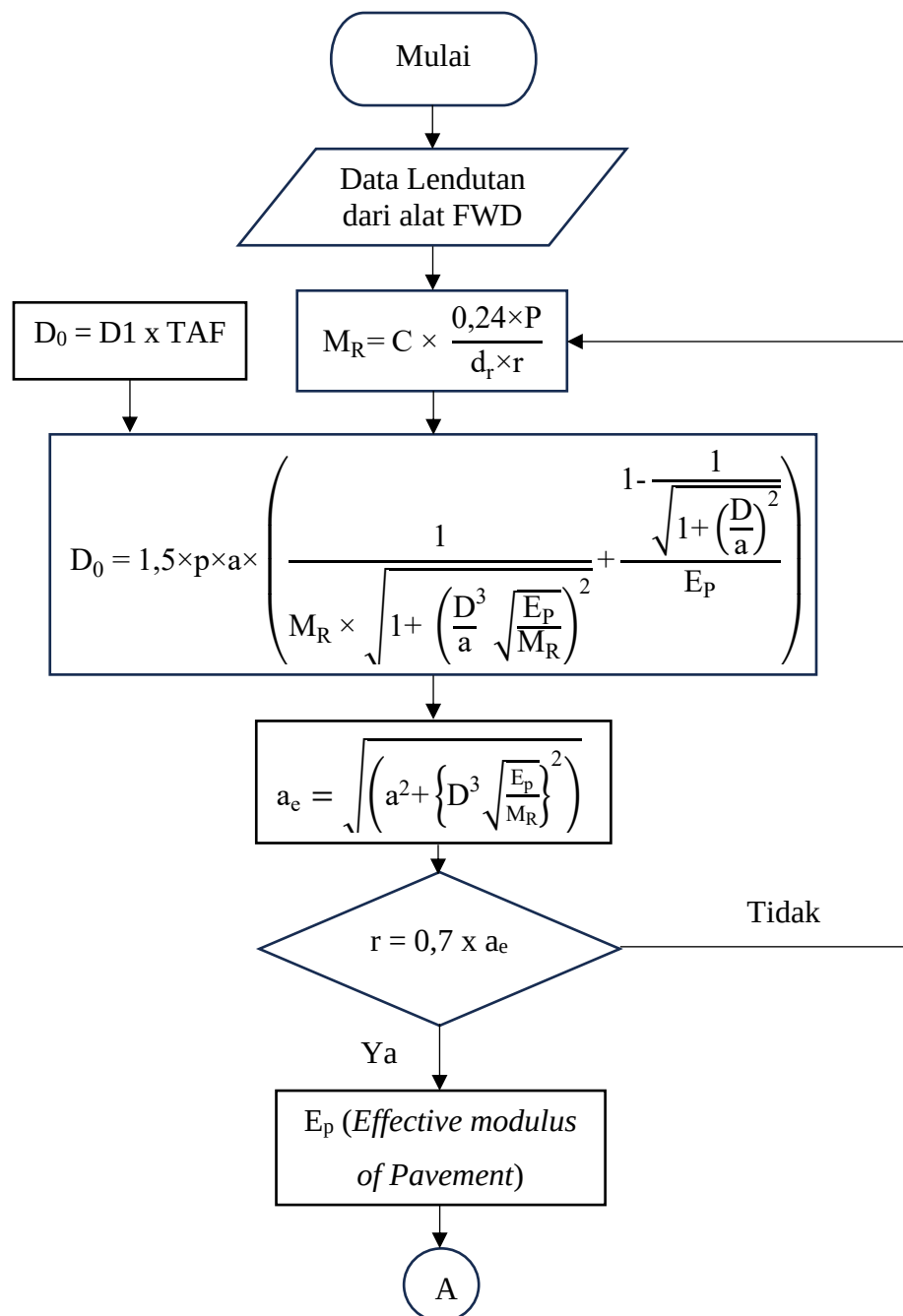
Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Perhitungan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Metode Lendutan Bina Marga 2024

2. Metode AASHTO 1993

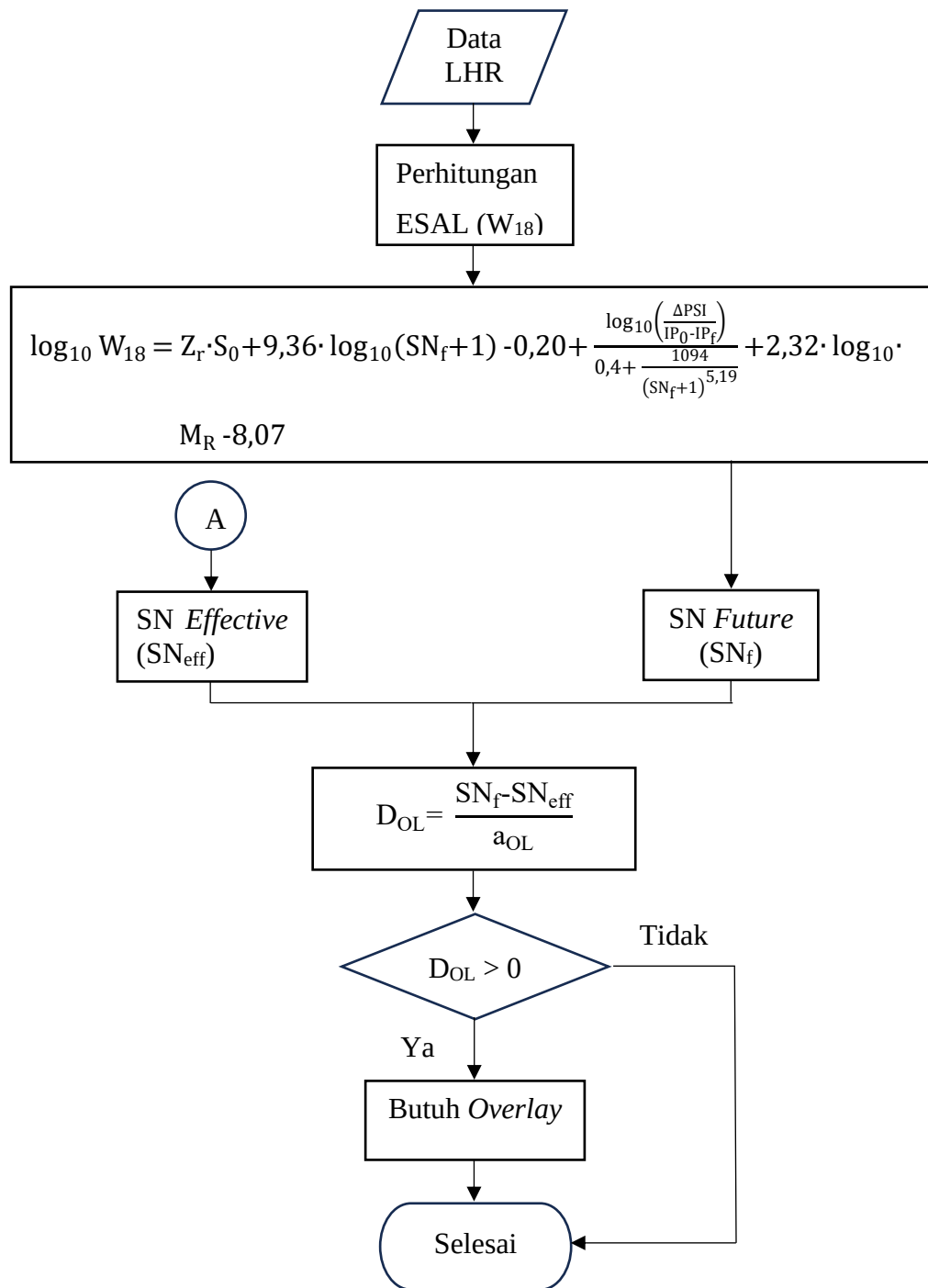
Adapun prosedur dan tahapan perhitungan tebal lapis tambah (*overlay*) dengan metode lendutan AASHTO 1993 sebagai berikut.

- a. Hitung lintas ekuivalen selama umur rencana (W_{18}),
- b. Hitung *modulus resilien* tanah dasar (M_R),
- c. Tentukan *reliability* (R),
- d. Tentukan *serviceability* / indeks pelayanan (p_i dan p_t) pada perkerasan lentur,
- e. Tentukan deviasi standar normal (Z_R),
- f. Tentukan deviasi standar keseluruhan (S_0),
- g. Hitung balik modulus efektif perkerasan (E_p),
- h. Tentukan koefisien lapis bahan aspal (a_{OL}),
- i. Hitung angka struktural efektif eksisting (SN_{eff}),
- j. Hitung angka struktural efektif rencana (SN_f), dan
- k. Hitung tebal *overlay*.

Prosedur perhitungan *overlay* dengan metode lendutan AASHTO 1993 dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Bagan Alir Perhitungan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Metode Lendutan AASHTO 1993



Gambar 4.3 Lanjutan Bagan Alir Perhitungan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Metode Lendutan AASHTO 1993

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengambilan Data

Hasil pengambilan data berupa data sekunder yang didapat dari Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Aceh merupakan hasil survei yang dilaksanakan pada bulan April tahun 2023. Data sekunder tersebut adalah sebagai berikut.

5.1.1 Data Lalu Lintas Harian (LHR)

Data Lalu Lintas Harian (LHR) ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 dapat dilihat pada Tabel 5.1.

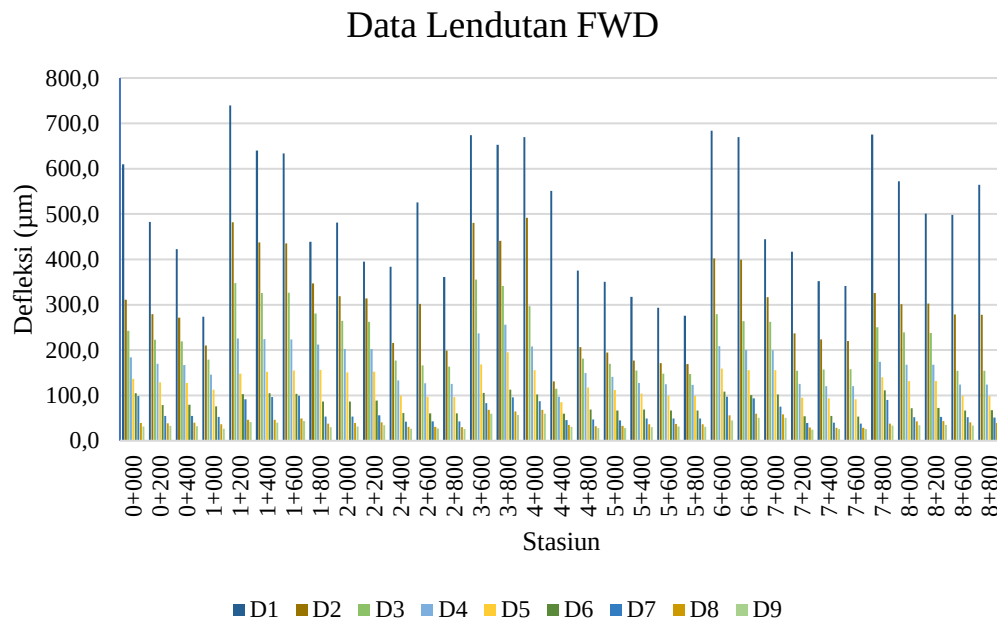
Tabel 5.1 Data LHR Jalan Peureulak Aceh Timur KM 7+750 - 16+500

Jenis Kendaraan	Golongan	LHR (kend/hari)
sepeda motor	1	15.792
sedan, jeep	2	296
pick-up, angkot	3	5.686
pick-up box	4	1.418
bus ¾	5a	30
bus besar	5b	102
truk 2 sumbu 4 roda	6a	84
truk 2 sumbu 6 roda	6b	1.314
truk 3 sumbu	7a	676
semi trailer	7c	68
KTB	8	8

Sumber: Pejabat Pembuat Komitmen Aceh (2023)

5.1.2 Data Lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Data lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) merupakan hasil survei tahunan dan dapat dilihat pada Lampiran 2. Berikut adalah grafik data lendutan dari uji FWD pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Grafik Data Lendutan FWD

Sumber: Pejabat Pembuat Komitmen Aceh (2023)

5.2 Metode Bina Marga 2024

Untuk rehabilitasi jalan dengan lalu lintas yang padat, metode Bina Marga 2024 menggunakan data lendutan dan lengkung lendutan dengan pendekatan mekanistik empiris. Perhitungan perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) dengan metode Bina Marga 2024 didasarkan pada data analisis lalu lintas, nilai lendutan maksimum, dan nilai lengkung lendutan, sehingga hasil perhitungan ini memungkinkan untuk menentukan desain tebal *overlay* yang diperlukan.

5.2.1 Analisis Lalu Lintas

5.2.1.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan kumulatif dengan laju pertumbuhan lalu lintas (i) sebagai dasar perhitungan pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana. Sesuai dengan Tabel 3.1 untuk wilayah Sumatera yaitu sebesar 4,83 % dan dengan umur rencana, $UR = 10$ tahun. Berdasarkan Bina Marga 2024, periode beban normal muatan sumbu terberat (MST) 12 ton terjadi pada 3 tahun setelah pelaksanaan *overlay* beroperasi. Adapun yang perlu diketahui pada penelitian ini adalah pengumpulan data survei LHR dilakukan pada April 2023 dan tahun pertama lalu lintas beroperasi pada tahun 2024. Perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas pada saat dimulainya operasi jalan pada tahun 2024 dapat dihitung seperti pada Persamaan 3.1.

$$\begin{aligned} R_{(2024-2027)} &= \frac{(1+(0,01 \times i))^{UR}-1}{0,01 \times i} \\ &= \frac{(1+(0,01 \times 0,0483))^3-1}{0,01 \times 0,0483} \\ &= 3,15 \end{aligned}$$

Kemudian perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas pada saat periode beban normal muatan sumbu terberat sudah terkendali pada tahun 2027 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R_{(2027-2034)} &= \frac{(1+(0,01 \times i))^{UR}-1}{0,01 \times i} \\ &= \frac{(1+(0,01 \times 0,0483))^7-1}{0,01 \times 0,0483} \\ &= 8,10 \end{aligned}$$

5.2.1.2 Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Volume lalu lintas harus didistribusikan pada suatu arah suatu jalur untuk tujuan perencanaan. 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). Faktor distribusi arah

(DD) biasanya ditentukan pada masing-masing arah sebesar 0,50, tetapi dapat juga berkisar 0,3 – 0,7 dan untuk distribusi jalur (DL), harga-harga yang berbeda diberikan tergantung pada total lajur yang ada pada suatu arah. Sedangkan, untuk jalan dengan empat lajur, seperti pada Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500, faktor distribusi lajur (DL) diambil 0,8 (Tabel 3.3).

5.2.1.3 Faktor Ekuivalen 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 disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan

Jenis kendaraan	Golongan	Kondisi			
		VDF 4		VDF 5	
		Faktual	Normal	Faktual	Normal
Bus besar	5B	1,2	1,2	1,3	1,3
truk 2 sumbu 4 roda	6A	0,5	0,5	0,4	0,4
truk 2 sumbu 6 roda	6B	1,6	0,4	2,2	0,4
Truk 3 sumbu - berat	7A1	10,1	3	17,2	3,4
Truk 4 sumbu - berat	7C1	8,2	5,7	11,9	7,2

Sumber: Bina Marga (2024)

Nilai VDF digunakan bergantung terhadap situasi periode beban normal Muatan Sumbu Terberat (MST). $VDF_{faktual}$ digunakan pada situasi periode beban normal belum terlaksanakan dan VDF_{normal} digunakan pada saat periode beban normal sudah mulai beroperasi. VDF 4 digunakan saat akan mencari nilai CESA 4 untuk tebal *overlay* berdasarkan lendutan maksimum. Sedangkan VDF 5 digunakan untuk mencari nilai CESA 5 agar mendapatkan tebal *overlay* berdasarkan lengkung lendutan.

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 10 tahun, yang diuraikan seperti berikut.

1. CESA 4

Golongan 5B

$$\begin{aligned}
 ESA_{\text{faktual}} &= (LHR_{2024} \times VDF_{\text{faktual}}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (LHR_{2023} \times (1+i/100)^1 \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R_{2024} \\
 &= (102 \times (1+4,83/100)^1 \times 1,2) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 3,15 \\
 &= 58.958,814
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ESA_{\text{normal}} &= (LHR_{2026} \times VDF_{\text{normal}}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (LHR_{2023} \times (1+i/100)^3 \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R_{2026} \\
 &= (102 \times (1+4,83/100)^3 \times 1,2) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 8,10 \\
 &= 174.808,372
 \end{aligned}$$

2. CESA 5

Golongan 5B

$$\begin{aligned}
 ESA_{\text{faktual}} &= (LHR_{2024} \times VDF_{\text{faktual}}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (LHR_{2023} \times (1+i/100)^1 \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R_{2024} \\
 &= (102 \times (1+4,83/100)^1 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 3,15 \\
 &= 63.872,049
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ESA_{\text{normal}} &= (LHR_{2026} \times VDF_{\text{normal}}) \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= (LHR_{2023} \times (1+i/100)^3 \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R_{2026} \\
 &= (102 \times (1+4,83/100)^3 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 8,10 \\
 &= 189.375,736
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan CESA4 dan CESA5 untuk setiap golongan kendaraan lainnya terdapat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Lalu Lintas

Golongan Kendaraan	LHR			VDF4		VDF5		DD	DL	R		CESA4		CESA5	
	2023	2024	2027	Faktual	Normal	Faktual	Normal			(3 tahun) 2024-2027	(7 tahun) 2027-2034	Faktual 2024-2027	Normal 2027-2034	Beban Faktual 2024-2027	Beban Normal 2027-2034
5B	102	106,93	117,51	1,2	1,2	1,3	1,3	0,5	0,8	3,15	8,10	58.958,814	174.808,372	63.872,049	189.375,736
6A	84	88,06	96,77	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,8	3,15	8,10	20.230,966	59.983,265	16.184,773	47.986,612
6B	1.314	1.377,47	1.513,74	1,6	0,4	2,2	0,4	0,5	0,8	3,15	8,10	1.012.704,339	750.647,714	1.392.468,466	750.647,714
7A1	676	708,65	778,76	10,1	3	17,2	3,4	0,5	0,8	3,15	8,10	3.288.784,315	2.896.334,788	5.600.702,001	3.282.512,760
7C1	68	71,28	78,34	8,2	5,7	11,9	7,2	0,5	0,8	3,15	8,10	268.590,154	553.559,844	389.783,272	699.233,487
												4.649.268,587	4.435.333,983	7.463.010,560	4.969.756,309
												9.084.602,570		12.432.766,869	
												9,084602 x 10 ⁶		12,432766 x 10 ⁶	
												CESA4		CESA5	

5.2.2 Desain Tebal *Overlay*

5.2.2.1 Menentukan Tebal *Overlay* Non-struktural

Kondisi suatu ruas jalan dapat dilihat berdasarkan nilai IRI (*International Roughness Index*). IRI merupakan besaran nilai ketidakrataan permukaan jalan, yang diperoleh dari panjang kumulatif turun naiknya permukaan per satuan panjang. Secara matematis, IRI adalah perbandingan antara kumulatif panjang jalan rusak/berlubang (dalam satuan m) terhadap panjang jalan total (dalam satuan km). Sehingga semakin besar nilai IRI (dalam satuan m/km), maka semakin buruk keadaan permukaan jalannya. Berikut merupakan data IRI pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 yang disajikan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Data IRI

No	Stasiun		IRI Rata- rata m/km
	Awal	Akhir	
1	0+000	0+200	4,3
2	0+200	0+400	4,6
3	0+400	1+000	4,2
4	1+000	1+200	5
5	1+200	1+400	2,1
6	1+400	1+600	4,9
7	1+600	1+800	5
8	1+800	2+000	4,6
9	2+000	2+200	4,3
10	2+200	2+400	4,4
11	2+400	2+600	5,2
12	2+600	2+800	4,5
13	2+800	3+600	5,8
14	3+600	3+800	5,9
15	3+800	4+000	5,7
16	4+000	4+400	4,8
17	4+400	4+800	4,2
18	4+800	5+000	4,1
19	5+000	5+400	6,4

Lanjutan Tabel 5.4 Data IRI

No	Stasiun		IRI Rata- rata
	Awal	Akhir	m/km
20	5+400	5+600	4,5
21	5+600	5+800	5
22	5+800	6+600	7,8
23	6+600	6+800	7,2
24	6+800	7+000	4,3
25	7+000	7+200	4,1
26	7+200	7+400	5,4
27	7+400	7+600	4,2
28	7+600	7+800	5,9
29	7+800	8+000	5
30	8+000	8+200	6,8
31	8+200	8+600	5,4
32	8+600	8+800	4,1
Rata-rata			4,97
			5

Sumber: Sumber: Pejabat Pembuat Komitmen Aceh (2023)

Pada Tabel 5.6, didapatkan nilai rata-rata IRI pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 adalah 5 m/km. Berdasarkan Bina Marga 2024, tebal *overlay* non-struktural dapat ditentukan menggunakan Tabel 3.7. Untuk menurunkan nilai IRI dari 5 m/km menjadi 3 m/km diperlukan lapis tambah minimum sebesar 45 mm agar nilai IRI sesuai dengan syarat yang ditentukan Bina Marga 2024.

5.2.2.2 Faktor Keseragaman Data

Data lendutan yang akan digunakan untuk analisis pada metode Bina Marga 2024 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 berikut.

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

$$D_r = \frac{\sum D}{N} \quad (5.2)$$

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

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

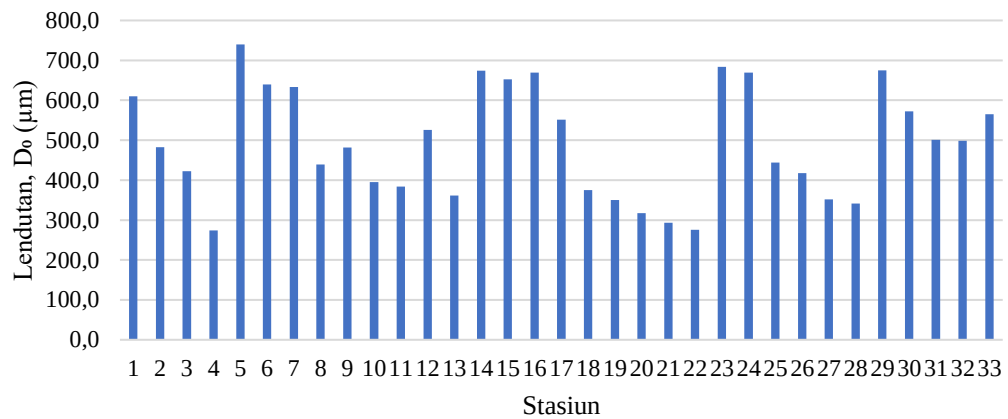
N = jumlah data lendutan

Berdasarkan faktor keseragaman, diperoleh 33 data lendutan dari hasil memilih atau menyaring data lendutan pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 yang memiliki nilai lendutan yang seragam dan cukup besar. Semakin tinggi nilai lendutan menunjukkan kondisi perkerasan yang semakin jelek. Hasil *overlay* rata-rata yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan data lendutan hasil keseragaman, terdapat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.5 Data Lendutan Seragam

No	Stasiun	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)
1	0+000	42,91	609,8	310,8
2	0+200	43,72	482,5	279,2
3	0+400	43,68	422,4	271,5
4	1+000	44,59	273,6	209,9
5	1+200	43,86	739,7	481,6
6	1+400	44,64	640,0	437,6
7	1+600	45,08	633,5	435,3
8	1+800	43,97	439,1	346,7
9	2+000	44,20	481,4	319,1
10	2+200	44,18	395,1	314,1
11	2+400	44,55	384,0	215,7
12	2+600	44,91	525,4	301,5
13	2+800	44,94	361,3	198,4
14	3+600	44,09	674,1	480,7
15	3+800	44,55	652,7	440,8
16	4+000	44,52	669,7	491,5
17	4+400	45,17	551,4	131,0
18	4+800	44,28	375,0	206,4
19	5+000	44,55	350,3	194,4
20	5+400	44,74	317,4	176,8
21	5+600	45,15	293,4	171,2
22	5+800	45,10	275,4	169,0
23	6+600	43,07	683,9	402,3
24	6+800	43,54	669,5	399,4
25	7+000	43,53	444,3	316,6
26	7+200	44,60	417,2	236,6
27	7+400	44,81	352,1	223,6
28	7+600	44,84	341,1	220,2
29	7+800	43,63	675,3	325,6
30	8+000	43,88	572,1	301,0
31	8+200	43,86	500,6	302,8
32	8+600	44,62	498,4	278,3
33	8+800	44,60	564,7	277,6

Sumber: Pejabat Pembuat Komitmen Aceh (2023)



Gambar 5.2 Grafik Data Lendutan Seragam
 Sumber: Pejabat Pembuat Komitmen Aceh (2023)

Kemudian, Persamaan 5.1 – Persamaan 5.3 digunakan untuk menghitung faktor keseragaman dari data – data lendutan tersebut yang hasil perhitungannya terdapat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Perhitungan d_0^2

No	Sta	Beban (kN)	D_0 (μm)
1	0+000	42,9	609,8
2	0+200	43,7	482,5
3	0+400	43,7	422,4
4	1+000	44,6	273,6
5	1+200	43,9	739,7
6	1+400	44,6	640,0
7	1+600	45,1	633,5
8	1+800	44,0	439,1
9	2+000	44,2	481,4
10	2+200	44,2	395,1
11	2+400	44,6	384,0
12	2+600	44,9	525,4
13	2+800	44,9	361,3
14	3+600	44,1	674,1
15	3+800	44,6	652,7

Lanjutan Tabel 5.6 Perhitungan d_0^2

No	Sta	Beban (kN)	D_0 (μm)
16	4+000	44,5	669,7
17	4+400	45,2	551,4
18	4+800	44,3	375,0
19	5+000	44,6	350,3
20	5+400	44,7	317,4
21	5+600	45,2	293,4
22	5+800	45,1	275,4
23	6+600	43,1	683,9
24	6+800	43,5	669,5
25	7+000	43,5	444,3
26	7+200	44,6	417,2
27	7+400	44,8	352,1
28	7+600	44,8	341,1
29	7+800	43,6	675,3
30	8+000	43,9	572,1
31	8+200	43,9	500,6
32	8+600	44,6	498,4
33	8+800	44,6	564,7
$\sum d_0$			16.266,40
$\sum d_0^2$			8.638.640,62

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{N(\sum D_0^2) - (\sum D_0)^2}{N(N-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(33 \times 8.638.640,62) - (16.266,40)^2}{33(33-1)}} \\
 &= 139,260
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_r &= \frac{\sum D_0}{N} \\
 &= \frac{16.266,40}{33} \\
 &= 492,921 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FK &= \frac{s}{D_r} \times 100 \\
 &= \frac{126,459}{450,370} \times 100 \\
 &= 28,252 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai FK sebesar 28,252%. Sehingga nilai FK memenuhi syarat kriteria keseragaman data lendutan cukup baik ($28,252\% < FK_{ijin} = 30\%$) untuk dipergunakan dalam analisis.

5.2.2.3 Lendutan Terkoreksi Musim

Pengujian lendutan FWD pada jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 ini dilakukan pada musim kemarau maka diperlukan adanya faktor koreksi musim, yaitu sebesar 1,2. Contoh perhitungan yang akan diuraikan yaitu pada STA 1+000 – 1+400 yang dapat dilihat di bawah ini.

1. STA 1+000

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi musim} &= D_0 \times 1,2 \\
 &= 273,6 \times 1,2 \\
 &= 328,32 \mu\text{m} \\
 \text{b. } D_{200} \text{ terkoreksi musim} &= D_{200} \times 1,2 \\
 &= 209,9 \times 1,2 \\
 &= 251,88 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. STA 1+200

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi musim} &= D_0 \times 1,2 \\
 &= 739,7 \times 1,2 \\
 &= 887,64 \mu\text{m} \\
 \text{b. } D_{200} \text{ terkoreksi musim} &= D_{200} \times 1,2 \\
 &= 481,6 \times 1,2 \\
 &= 577,92 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

3. STA 1+400

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ terkoreksi musim} &= D_0 \times 1,2 \\
 &= 640,0 \times 1,2 \\
 &= 768,0 \mu\text{m} \\
 \text{b. } D_{200} \text{ terkoreksi musim} &= D_{200} \times 1,2 \\
 &= 437,6 \times 1,2 \\
 &= 525,12 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 atau Lampiran 3.

5.2.2.4 Lendutan Terkoreksi Beban Normal

Deviasi biasanya terjadi pada nilai beban sebenarnya yang tercatat selama pelaksanaan walaupun alat FWD telah diatur untuk beban normal 40 kN. Oleh karena itu, setelah memperoleh nilai lendutan yang telah dikoreksi oleh faktor musim, nilai lendutan tersebut kemudian harus dikoreksi oleh beban normal. Sehingga, nilai lendutan harus dinormalkan ke beban standar 40 kN. Perhitungannya diuraikan sebagai berikut ini.

1. STA 1+000

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_0 \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{44,59} \times 328,32 \\
 &= 294,523 \mu\text{m} \\
 \text{b. } D_{200} \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_{200} \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{44,59} \times 251,88 \\
 &= 225,952 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. STA 1+200

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_0 \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{43,86} \times 887,64 \\
 &= 809,521 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_{200} \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_{200} \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{43,86} \times 577,92 \\
 &= 527,059 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

3. STA 1+400

$$\begin{aligned}
 \text{a. } D_0 \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_0 \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{44,64} \times 768,00 \\
 &= 688,172 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } D_{200} \text{ normal} &= \frac{40}{\text{beban tercatat}} \times D_{200} \text{ terkoreksi musim} \\
 &= \frac{40}{44,64} \times 525,12 \\
 &= 470,538 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 atau Lampiran 3.

5.2.2.5 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 1+000

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= D_0 \text{ normal} - D_{200} \text{ normal} \\
 &= 294,523 - 225,952 \\
 &= 68,571 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. STA 1+200

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= D_0 \text{ normal} - D_{200} \text{ normal} \\
 &= 809,521 - 527,059 \\
 &= 282,462 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

3. STA 1+400

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= D_0 \text{ normal} - D_{200} \text{ normal} \\
 &= 688,172 - 470,538
 \end{aligned}$$

$$= 217,634 \mu\text{m}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 atau Lampiran 3.

5.2.2.6 Lendutan Terkoreksi Temperatur

Nilai lendutan terkoreksi temperatur didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.4 dan menggunakan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9. Temperatur perkerasan rata-rata (MAPT) digunakan sebesar 41°C.

$$\begin{aligned} f_t &= \frac{\text{MAPT}}{\text{Temperatur perkerasan saat pengukuran lendutan}} \\ &= \frac{41}{32,8} \\ &= 1,25 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 dengan AMPT/Temp perkerasan = 1,25 dan tebal aspal existing adalah 180 mm, sehingga nilai faktor koreksi temperatur untuk $D_0 = 1,05$ dan faktor koreksi temperatur untuk $D_0-D_{200} = 1,15$. Berikut adalah perhitungan nilai lendutan terkoreksi berdasarkan faktor koreksi temperatur yang telah diperoleh.

1. STA 1+000

- a. D_0 terkoreksi temperatur $= 1,05 \times D_0 \text{ normal}$
 $= 1,05 \times 294,523$
 $= 309,768 \mu\text{m}$
- b. $D_0 - D_{200}$ terkoreksi temperatur $= 1,15 \times CF$
 $= 1,15 \times 68,571$
 $= 78,570 \mu\text{m}$

2. STA 1+200

- a. D_0 terkoreksi temperatur $= 1,05 \times D_0 \text{ normal}$
 $= 1,05 \times 809,521$
 $= 851,421 \mu\text{m}$
- b. $D_0 - D_{200}$ terkoreksi temperatur $= 1,15 \times CF$

$$= 1,15 \times 282,462$$

$$= 323,651 \mu\text{m}$$

c. STA 1+400

a. D_0 terkoreksi temperatur $= 1,05 \times D_0 \text{ normal}$

$$= 1,05 \times 688,172$$

$$= 723,791 \mu\text{m}$$

b. D_0 - D_{200} terkoreksi temperatur $= 1,15 \times CF$

$$= 1,15 \times 217,634$$

$$= 249,369 \mu\text{m}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 atau Lampiran 3.

5.2.2.7 Penyesuaian Lendutan (D_0) FWD ke BB

Untuk mengubah data lendutan (D_0) yang diperoleh dari alat FWD ke data lendutan *Benkelman Beam*, nilai yang diperoleh harus dikonversi dengan faktor penyesuaian, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.10. Berdasarkan Tabel 3.10, faktor penyesuaian lendutan adalah 1,28, yang berarti ketebalan aspal eksisting adalah 180 mm. Oleh karena itu, perhitungan diuraikan sebagai berikut ini.

1. STA 1+000

$$D_0 \text{ penyesuaian FWD ke BB} = 1,28 \times D_0 \text{ terkoreksi temperatur}$$

$$= 1,28 \times 309,768$$

$$= 396,503 \mu\text{m}$$

2. STA 1+200

$$D_0 \text{ penyesuaian FWD ke BB} = 1,28 \times D_0 \text{ terkoreksi temperatur}$$

$$= 1,28 \times 851,421$$

$$= 1.089,819 \mu\text{m}$$

3. STA 1+400

$$D_0 \text{ penyesuaian FWD ke BB} = 1,28 \times D_0 \text{ terkoreksi temperatur}$$

$$= 1,28 \times 723,791$$

$$= 926,453 \mu\text{m}$$

Rekapitulasi perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 atau Lampiran 3.

5.2.2.8 Menentukan Tebal *Overlay* Berdasarkan Lendutan Maksimum

Dalam menentukan tebal *overlay* berdasarkan lendutan maksimum digunakan grafik pada Gambar 3.3 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. 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 5.7.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan D_0 Rata-Rata

No	Stasiun	D_0 (μm)	D_0 Faktor Koreksi Musim (μm)	D_0 Normal (μm)	D_0 Terkoreksi Temp. (μm)	D_0 Penyesuaian ke BB (μm)	D_0^2 (μm) ²
1	0+000	609,8	731,76	682,135	717,441	918,325	843.320,687
2	0+200	482,5	579,00	529,735	557,153	713,156	508.591,704
3	0+400	422,4	506,88	464,176	488,201	624,897	390.496,821
4	1+000	273,6	328,32	294,523	309,768	396,503	157.214,350
5	1+200	739,7	887,64	809,521	851,421	1.089,819	1.187.705,932
6	1+400	640	768,00	688,172	723,791	926,453	858.314,638
7	1+600	633,5	760,20	674,534	709,447	908,093	824.632,347
8	1+800	439,1	526,92	479,345	504,155	645,319	416.436,594
9	2+000	481,4	577,68	522,787	549,846	703,803	495.339,061
10	2+200	395,1	474,12	429,262	451,480	577,895	333.962,404
11	2+400	384	460,80	413,737	435,152	556,995	310.242,988
12	2+600	525,4	630,48	561,550	590,615	755,987	571.516,759
13	2+800	361,3	433,56	385,901	405,875	519,520	269.901,147
14	3+600	674,1	808,92	733,881	771,866	987,988	976.120,423

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan D_0 Rata-Rata

No	Stasiun	D_0 (μm)	D_0 Faktor Koreksi Musim (μm)	D_0 Normal (μm)	D_0 Terkoreksi Temp. (μm)	D_0 Penyesuaian ke BB (μm)	D_0^2 (μm) ²
15	3+800	652,7	783,24	703,246	739,645	946,746	896.327,563
16	4+000	669,7	803,64	722,049	759,421	972,059	944.898,652
17	4+400	551,4	661,68	585,946	616,274	788,831	622.254,843
18	4+800	375	450,00	406,504	427,544	547,257	299.489,950
19	5+000	350,3	420,36	377,428	396,963	508,113	258.178,338
20	5+400	317,4	380,88	340,527	358,153	458,436	210.163,275
21	5+600	293,4	352,08	311,920	328,065	419,923	176.335,459
22	5+800	275,4	330,48	293,109	308,280	394,598	155.707,571
23	6+600	683,9	820,68	762,182	801,632	1.026,089	1.052.859,468
24	6+800	669,5	803,40	738,080	776,282	993,641	987.323,005
25	7+000	444,3	533,16	489,924	515,282	659,561	435.021,013
26	7+200	417,2	500,64	449,004	472,245	604,473	365.387,617
27	7+400	352,1	422,52	377,166	396,688	507,760	257.820,298
28	7+600	341,1	409,32	365,138	384,037	491,568	241.639,080
29	7+800	675,3	810,36	742,938	781,392	1.000,182	1.000.363,912
30	8+000	572,1	686,52	625,816	658,208	842,506	709.815,699
31	8+200	500,6	600,72	547,852	576,209	737,547	543.975,549
32	8+600	498,4	598,08	536,154	563,905	721,798	520.992,988
33	8+800	564,7	677,64	607,749	639,205	818,183	669.423,264
Jumlah						23.764,02	18.491.773,40
Rata-rata						720,122	
s						207,574	
Koef						28,825%	
D wakil						1135,269	

$$\begin{aligned}
 D_0 \text{ rata - rata} &= \frac{\sum D_0 \text{ penyesuaian BB}}{N} \\
 &= \frac{23.764,024}{33} \\
 &= 720,122 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

2. Standar Deviasi

Standar deviasi dihitung menggunakan Persamaan 5.3 dan perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{N(\sum D_0^2) - (\sum d_0)^2}{N(N-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(33 \times 18.491.773,40) - (23.764,024)^2}{33(33-1)}} \\
 &= 207,574 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

3. 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.

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

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

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

Rumus lendutan karakteristik yang akan digunakan adalah persamaan 5.4, mengingat ruas jalan yang ditinjau adalah ruas jalan arteri.

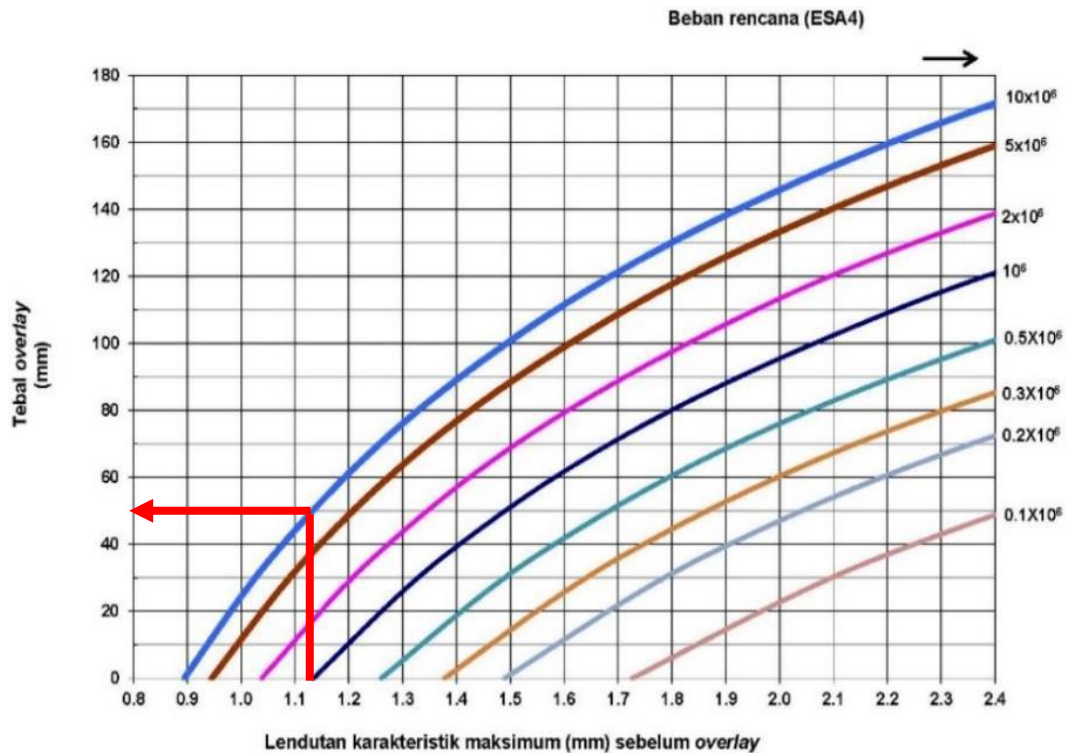
$$\begin{aligned}
 D_{\text{wakil}} &= d_R + 2s \\
 &= 720,122 + 2 \times 207,574 \\
 &= 1.135,269 \mu\text{m} \\
 &= 1,1352 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. Tebal Overlay

Nilai lendutan karakteristik dan nilai beban rencana lalu lintas (ESA4) digunakan untuk menentukan tebal *overlay* dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.

$$\begin{aligned}
 D_{\text{wakil}} &= 1,1352 \text{ mm} \\
 \text{CESA 4} &= 9.084.602,570
 \end{aligned}$$

Maka, selanjutnya tebal *overlay* dapat ditentukan dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Menentukan Tebal Overlay

Dengan beban rencana ESA4 sebesar 9.084.602,570 pada Gambar 5.3 diperoleh tebal lapis tambah (*overlay*) yang dibutuhkan sebesar 50 mm atau 5 cm.

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

Perkerasan dengan beban lalu lintas desain lebih dari 100.000 ESA4 menggunakan lengkung lendutan. Karena desain lendutan maksimum (D_0) tidak bisa menjadi acuan jika lapis tambah berpotensi mengalami retak lelah (*fatigue cracking*), ditambahkan ketentuan tambahan berupa batasan nilai bentuk mangkuk lendutan (*deflection bowl*) atau lengkung lendutan (*deflection curvature*, $D_0 - D_{200}$) dengan harapan lapis *overlay* mampu menahan retak lelah. Perkiraan kinerja berdasarkan retak lelah dihitung menggunakan lengkung lendutan karakteristik ($D_0 - D_{200}$). Untuk langkah perhitungannya diuraikan sebagai berikut ini.

1. $D_0 - D_{200}$ 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 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan $D_0 - D_{200}$ Rata-Rata

No	Stasiun	Beban (kN)	D_0 (μm)	D_{200} (μm)	D_0 Faktor Koreksi Musim	D_{200} Faktor Koreksi Musim	D_0 Normal	D_{200} Normal	$D_0 - D_{200}$	$D_0 - D_{200}$ Terkoreksi Temp.
1	0+000	42,91	609,8	310,8	731,76	372,96	682,13	347,67	334,47	383,24
2	0+200	43,72	482,5	279,2	579	335,04	529,73	306,53	223,20	255,75
3	0+400	43,68	422,4	271,5	506,88	325,8	464,18	298,35	165,82	190,00
4	1+000	44,59	273,6	209,9	328,32	251,88	294,52	225,95	68,57	78,57
5	1+200	43,86	739,7	481,6	887,64	577,92	809,52	527,06	282,46	323,65
6	1+400	44,64	640	437,6	768	525,12	688,17	470,54	217,63	249,37
7	1+600	45,08	633,5	435,3	760,2	522,36	674,53	463,50	211,04	241,81
8	1+800	43,97	439,1	346,7	526,92	416,04	479,35	378,48	100,87	115,58
9	2+000	44,2	481,4	319,1	577,68	382,92	522,79	346,53	176,25	201,95
10	2+200	44,18	395,1	314,1	474,12	376,92	429,26	341,26	88,00	100,84
11	2+400	44,55	384	215,7	460,8	258,84	413,74	232,40	181,33	207,78
12	2+600	44,91	525,4	301,5	630,48	361,8	561,55	322,24	239,31	274,20
13	2+800	44,94	361,3	198,4	433,56	238,08	385,90	211,91	173,99	199,36
14	3+600	44,09	674,1	480,7	808,92	576,84	733,88	523,33	210,55	241,25
15	3+800	44,55	652,7	440,8	783,24	528,96	703,25	474,94	228,31	261,60
16	4+000	44,52	669,7	491,5	803,64	589,8	722,05	529,92	192,13	220,15
17	4+400	45,17	551,4	131	661,68	157,2	585,95	139,21	446,74	511,88
18	4+800	44,28	375	206,4	450	247,68	406,50	223,74	182,76	209,41
19	5+000	44,55	350,3	194,4	420,36	233,28	377,43	209,45	167,97	192,47
20	5+400	44,74	317,4	176,8	380,88	212,16	340,53	189,68	150,84	172,84
21	5+600	45,15	293,4	171,2	352,08	205,44	311,92	182,01	129,91	148,86
22	5+800	45,1	275,4	169	330,48	202,8	293,11	179,87	113,24	129,75
23	6+600	43,07	683,9	402,3	820,68	482,76	762,18	448,35	313,83	359,60

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan $D_0 - D_{200}$ rata-rata

No	Stasiun	Beban (kN)	D_0 (μm)	D_{200} (μm)	D_0 Faktor Koreksi Musim	D_{200} Faktor Koreksi Musim	D_0 Normal	D_{200} Normal	$D_0 - D_{200}$	$D_0 - D_{200}$ Terkoreksi Temp.
24	6+800	43,54	669,5	399,4	803,4	479,28	738,08	440,31	297,77	341,19
25	7+000	43,53	444,3	316,6	533,16	379,92	489,92	349,11	140,81	161,35
26	7+200	44,6	417,2	236,6	500,64	283,92	449,00	254,64	194,37	222,71
27	7+400	44,81	352,1	223,6	422,52	268,32	377,17	239,52	137,65	157,72
28	7+600	44,84	341,1	220,2	409,32	264,24	365,14	235,72	129,42	148,29
29	7+800	43,63	675,3	325,6	810,36	390,72	742,94	358,21	384,73	440,83
30	8+000	43,88	572,1	301	686,52	361,2	625,82	329,26	296,55	339,80
31	8+200	43,86	500,6	302,8	600,72	363,36	547,85	331,38	216,47	248,04
32	8+600	44,62	498,4	278,3	598,08	333,96	536,15	299,38	236,77	271,30
33	8+800	44,6	564,7	277,6	677,64	333,12	607,75	298,76	308,99	354,04
									Jumlah	7.955,17
									Rata-rata	241,066

$$\begin{aligned}
 D_0 - D_{200} \text{ rata-rata} &= \frac{\sum D_0 - D_{200} \text{ terkoreksi temperatur}}{N} \\
 &= \frac{7.955,17}{33} \\
 &= 241,066 \mu\text{m} \\
 &= 0,24106 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

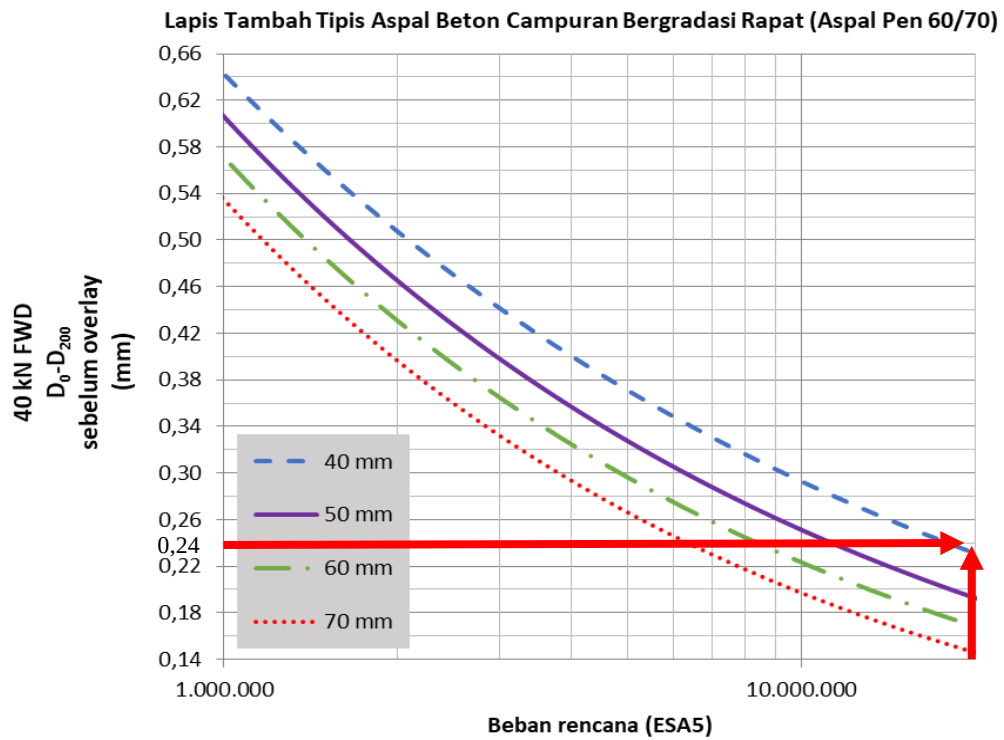
2. Tebal *Overlay*

Mentukan tebal *overlay* dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6, 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.

$$D_0 - D_{200} \text{ rata-rata} = 0,24106 \text{ mm}$$

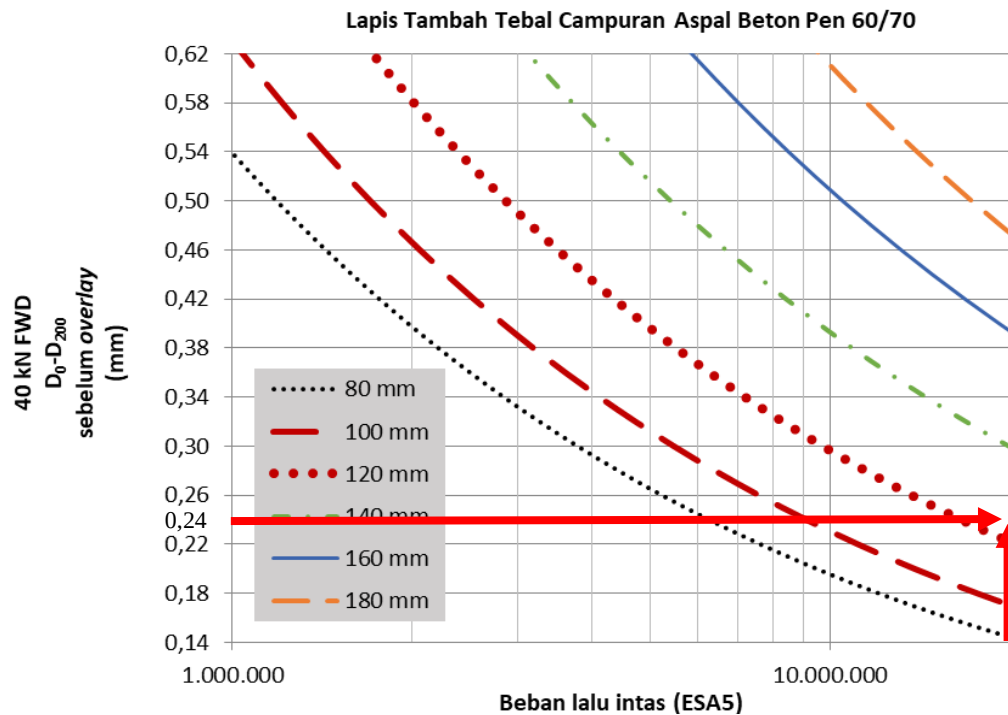
$$\text{CESA5} = 12.432.766,869$$

Maka, selanjutnya tebal *overlay* lapis tipis dan lapis tebal dapat ditentukan dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



Gambar 5.4 Menentukan Tebal *Overlay* Lapis Tipis

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 5.4, dengan data $D_0 - D_{200}$ rata-rata sebesar 0,24106 mm dan ESA5 sebesar 12.432.766,869, maka didapatkan tebal *overlay* lapis tipis sebesar 40 mm atau 4 cm.



Gambar 5.5 Menentukan Tebal Overlay Lapis Tebal

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 5.5, dengan data $D_0 - D_{200}$ rata-rata sebesar 0,24106 mm dan ESA5 sebesar 12.432.766,869, maka didapatkan tebal overlay lapis tebal sebesar 125 mm atau 12,5 cm.

5.3 Metode AASHTO 1993

5.3.1 Analisis Lalu Lintas

Dalam perancangan lalu lintas menggunakan metode AASHTO 1993, beban gandar, konfigurasi beban gandar, pengulangan beban dan jumlah beban gandar total merupakan komponen penting untuk analisis lalu lintas. 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 *Equivalent Single Axle Load (ESAL) per Tahun*

Berdasarkan data dari Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Aceh, Lalu Lintas Harian rata-rata (LHR) pada bulan April tahun 2023 ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500, mempunyai total volume lalu lintas harian sejumlah 25.474 sesuai yang ada pada Tabel 5.1. Dalam Lampiran 4 Faktor Angka Ekuivalen Beban Sumbu kendaraan, konfigurasi beban standar setiap kendaraan diambil dari beban standar tersebut. Konfigurasi beban sumbu dan beban kendaraan tersebut disajikan pada Gambar 5.6 dan Tabel 5.9 di bawah ini.

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (Ton)	Beban Muatan Maksimum (Ton)	Berat Total Maksimum (Ton)	
1.1 Mobil Penumpang	1,5	0,5	2	
1.2 Bus	3	6	9	
1.2L Truk	2,3	6	8,3	 <div> (S) Roda Tunggal Pada Ujung Sumbu (D) Roda Ganda Pada Ujung Sumbu </div>
1.2H Truk	4,2	14	18,2	 <div> L = Truk Ringan H = Truk Berat </div>
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 5.6 Distribusi Beban Sumbu dan Beban Kendaraan

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

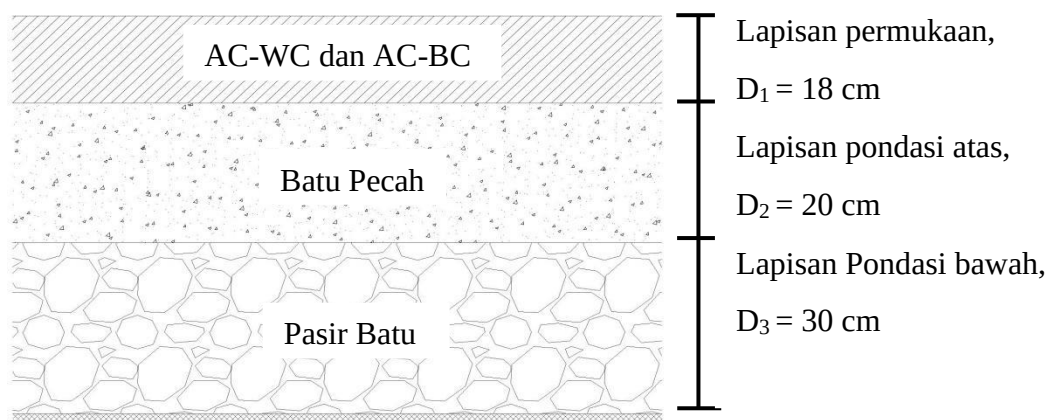
Tabel 5.9 Konfigurasi Beban Sumbu Roda Kendaraan

No	Jenis Kendaraan	Golongan	LHR 2023	Berat Total (kips)	Konfigurasi Beban Sumbu Roda (kips)				
					Depan ST, RT	Belakang			
						ke-1	ke-2	ke-3	ke-4
1	sedan, jeep	2	296	4,409	2,205	2,205			
2	pick-up, angkot	3	5686	18,298	6,221	12,077			
3	pick-up box	4	1418	18,298	6,221	12,077			
4	bus $\frac{3}{4}$	5a	30	18,298	6,221	12,077			
5	bus besar	5b	102	19,841	6,746	13,095			
6	truk 2 sumbu 4 roda	6a	84	33,399	11,356	22,043			
7	truk 2 sumbu 6 roda	6b	1314	33,399	11,356	22,043			
8	truk 3 sumbu	7a	676	55,115	13,779	20,668	20,668		
9	truk gandeng	7b	0	69,224	12,460	19,383	18,691	18,691	
10	semi trailer	7c	68	92,593	12,963	23,148	23,148	16,667	16,667

Faktor ESAL untuk setiap kendaraan dihitung dengan menggunakan faktor angka ekuivalen yang mengacu pada *Structural Number* (SN) dan beban gandar. Perhitungan *Structural Number* (SN) diuraikan sebagai berikut.

1. Koefisien Lapisan (a)

Profil potongan melintang perkerasan pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 berdasarkan desain perencanaan diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Potongan Melintang pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500

Berdasarkan Tabel 3.14, maka koefisien untuk tiap lapisan pada Gambar 5.7 adalah sebagai berikut.

a. Lapis permukaan

$$\begin{aligned} D_1 &= 18 \text{ cm} \\ &= 7,087 \text{ inci} \\ a_1 &= 0,4 \end{aligned}$$

b. Lapis pondasi atas

$$\begin{aligned} D_2 &= 20 \text{ cm} \\ &= 7,874 \text{ inci} \\ a_2 &= 0,14 \end{aligned}$$

c. Lapis pondasi bawah

$$\begin{aligned} D_3 &= 30 \text{ cm} \\ &= 11,811 \text{ inci} \\ a_3 &= 0,11 \end{aligned}$$

2. Koefisien Drainase (m)

a. Rata – rata hujan

Rata-rata hujan untuk wilayah Provinsi Aceh dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rata-Rata Jumlah Hujan

Tahun	Jumlah Hujan (hari)
2013	135
2014	142
2015	150
2016	183
2017	157
2018	149
2019	152
Rata-rata	152,571

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Aceh (2019)

b. Koefisien Drainase

$C = 0,8$ atau 80 % (Tabel 3.14 untuk jalan beton dan jalan aspal)

$T_{jam} = 4$ jam

$T_{hari} = 152,571 = 153$ hari hujan dalam setahun

$W_L = 100 - C$

$= 100 - 80$

$= 20 \%$

P_{heff} dihitung menggunakan Persamaan 3.7 berikut ini.

$$\begin{aligned} P_{heff} &= \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100 \\ &= \frac{4}{24} \times \frac{153}{365} \times 20\% \times 100 \\ &= 1,39 \% > 1 \% \end{aligned}$$

Dengan nilai P_{heff} sebesar 1,39 % dimana nilai $P_{heff} > 1\%$ dan dengan kualitas drainase baik, maka berdasarkan Tabel 3.15 diperoleh koefisien drainase (m) = 1,20.

3. *Structural Number* (SN)

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

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

$$\begin{aligned} SN &= (0,4 \times 7,087) + (0,14 \times 7,874 \times 1,25) + (0,11 \times 11,811 \times 1,25) \\ &= 5,84 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai SN yang digunakan adalah 5,84. Oleh karena itu, ESAL kendaraan dihitung dengan interpolasi dengan tabel faktor ekuivalensi beban gandar untuk perkerasan lentur dengan nilai SN 5,84 dan nilai $P_t = 2,5$ (Lampiran 6). Perhitungan interpolasi faktor VDF untuk setiap kendaraan yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 6, dan hasil rekapitulasi perhitungan faktor VDF untuk setiap kendaraan disajikan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Rekapitulasi Perhitungan VDF

No	Jenis Kendaraan	Golongan	Berat Total (kips)	VDF
1	sedan, jeep	2	4,4092	0,00077
2	pick-up, angkot	3	18,298	0,19615
3	pick-up box	4	18,298	0,19615
4	bus $\frac{3}{4}$	5a	18,298	0,19615
5	bus besar	5b	19,841	0,28695
6	truk 2 sumbu 4 roda	6a	33,399	2,44792
7	truk 2 sumbu 6 roda	6b	33,399	2,44792
8	truk 3 sumbu	7a	55,115	2,76634
9	truk gandeng	7b	69,2244	3,96760
10	semi trailer	7c	92,5932	4,21675

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

1. Golongan 2

$$\begin{aligned}
 \text{ESAL per tahun} &= \text{LHR} \times \text{VDF kendaraan} \times 365 \\
 &= 296 \times 0,00077 \times 365 \\
 &= 83,005
 \end{aligned}$$

2. Golongan 3

$$\begin{aligned}
 \text{ESAL per tahun} &= \text{LHR} \times \text{VDF kendaraan} \times 365 \\
 &= 5686 \times 0,19615 \times 365 \\
 &= 407.095,725
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, rekapitulasi perhitungan kumulatif ESAL per tahun disajikan dalam Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 ESAL Kumulatif per Tahun

No	Jenis Kendaraan	Golongan	LHR 2023	VDF	ESAL per Tahun
1	sedan, jeep	2	296	0,00077	83,005
2	pick-up, angkot	3	5686	0,19615	407.095,725
3	pick-up box	4	1418	0,19615	101.523,345

Lanjutan Tabel 5.12 ESAL Kumulatif per Tahun

No	Jenis Kendaraan	Golongan	LHR 2023	VDF	ESAL per Tahun
4	bus $\frac{3}{4}$	5a	30	0,19615	2.147,885
5	bus besar	5b	102	0,28695	10.683,219
6	truk 2 sumbu 4 roda	6a	84	2,44792	75.053,265
7	truk 2 sumbu 6 roda	6b	1314	2,44792	1.174.047,505
8	truk 3 sumbu	7a	676	2,76634	682.565,729
9	truk gandeng	7b	0	3,96760	0
10	semi trailer	7c	68	4,21675	104.659,641
Jumlah					2.557.859,318

Dari hasil analisis ESAL di atas, maka *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) tahun 2023 sebanyak 2.557.859,318.

5.3.1.2 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

Angka pertumbuhan lalu lintas (i) didasarkan pada angka pertumbuhan ekonomi di Pulau Sumatera, dengan nilai sebesar 4,83%. faktor pertumbuhan lalu lintas (R) dengan umur rencana selama 10 tahun dan tingkat pertumbuhan lalu lintas 4,83%, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{(1+i)^n - 1}{i} \\
 &= \frac{(1+0,00483)^{10} - 1}{0,00483} \\
 &= 12,479
 \end{aligned}$$

Oleh karena itu, didapatkan faktor pertumbuhan lalu lintas selama 10 tahun adalah sebesar $R = 12,479$.

5.3.1.3 Jumlah Kumulatif *Equivalent Single Axle Load* Tahun n (W18)

Ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 terdiri dari 4 lajur dan 2 arah, sesuai dengan Tabel 3.11 faktor distribusi lajur (DL) = 80% = 0,8 dan faktor distribusi arah (DD) = 0,5. Jumlah komulatif *Equivalent Single Axle Load* pada lajur desain selama umur rencana diperoleh sebagai berikut.

$$ESAL_n = ESAL_{2023} \times R \times DD \times DL$$

$$\begin{aligned} ESAL_{10} &= 2.557.859,318 \times 12,479 \times 0,5 \times 0,8 \\ &= 12.767.337,40 \end{aligned}$$

Sehingga untuk nilai ESAL W_{18} untuk ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 diperoleh nilai sebesar 12.767.337,40.

5.3.2 Tebal *Overlay* Metode Lendutan AASHTO 1993

5.3.2.1 Perhitungan *Modulus Resilien* Tanah Dasar (M_R)

Pengukuran defleksi dengan alat FWD dilakukan setiap 200 meter dari STA 0+000 hingga STA 8+800. Untuk mengukur defleksi, *geophone* digunakan pada sembilan titik yang berbeda dari pusat beban. Jarak titik defleksi *geophone* adalah 0 cm; 20 cm; 30 cm; 45 cm; 60 cm; 90 cm; 120 cm; 150 cm; dan 180 cm. Spesifikasi dari pelat beban adalah jari – jari berukuran 15 cm atau 5,91 inci dan pembebanan (P) sebesar 43,1 KN, atau 9.682,52 Pound. Besar defleksi pada STA 6+600 yang tercatat dalam alat FWD ditampilkan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Defleksi STA 6+600 Ruas Jalan Peureulak - Aceh KM 7+750 - 16+500

Jarak Pengukuran (r)	Jarak (r)	Defleksi (d)
	(inci)	(inci)
r_1	0	0,0208
r_2	7,874	0,0122
r_3	11,811	0,0085
r_4	17,717	0,0063
r_5	23,622	0,0048
r_6	35,433	0,0033
r_7	47,244	0,0030
r_8	59,055	0,0017
r_9	70,866	0,0014

Kemudian, perhitungan M_R pada titik pengukuran r_1 sampai r_9 pada STA 6+600 menggunakan Persamaan 3.10.

$$\begin{aligned}
1. \quad M_{R(r1)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 9.682,52}{0,0208 \times 0} \\
&= \infty \\
2. \quad M_{R(r2)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 9.682,52}{0,0122 \times 7,874} \\
&= 24.135,37 \text{ psi} \\
3. \quad M_{R(r3)} &= \frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \\
&= \frac{0,24 \times 9.682,52}{0,0085 \times 11,811} \\
&= 23.159,59 \text{ psi}
\end{aligned}$$

Diketahui nilai r_1 adalah 0 sehingga pada perhitungan nilai M_R menghasilkan nilai tidak terhingga karena titik pengukuran berada pada pusat beban, rekapitulasi nilai m_r lainnya yang diukur cukup jauh dari pusat beban, terdapat pada Lampiran 8. Diperoleh nilai M_R terkecil pada *geophone* ke-7 sebesar 16.614,75 yang digunakan untuk menghitung modulus efektif perkerasan (E_p). Nilai M_R terkecil tidak selalu berada pada *geophone* ke-9, seperti yang ditunjukkan oleh proses perhitungan yang menggunakan metode AASHTO 1993. Perhitungan nilai M_R setiap stasiun dari STA dilihat bahwa nilai M_R tanah dasar rata-rata pada ruas Jalan Peureulak – Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 sebesar 21.504,53 psi atau setara dengan nilai CBR sebesar 14,336% (Persamaan 3.9). Syarat nilai minimum CBR tanah dasar adalah 6%, maka kondisi tanah dasar pada jalan tersebut masih dalam kondisi yang baik dan sesuai dengan spesifikasi.

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 3.8. Temperatur perkerasan yang tercatat pada pengujian FWD adalah 32,8°C atau 91,04°F. Tekanan (p) akibat beban pada pelat FWD yang tercatat pada pengujian pada STA 6+600 sebesar 609 Kpa atau 88,328 psi. Jari-jari plat pembeban (a) yang digunakan sebesar 5,91 inci. Ruas Jalan Peureulak – Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 – 16+500 mempunyai tebal perkerasan di atas tanah dasar (D) sebesar 20,1 inci. Sehingga berdasarkan Gambar 3.8, faktor koreksi suhu untuk d_0 sebesar 0,77. Perhitungan balik nilai E_p pada STA 6+600 menggunakan Persamaan 3.13.

$$d_0 \text{ terkoreksi suhu} = 0,77 \times d_0$$

$$= 0,77 \times 0,00383$$

$$= 0,0030 \text{ inci}$$

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

$$0,0030 = 1,5 \times 88,328 \times 5,91 \times \left(\frac{1}{16.614,75 \times \sqrt{1 + \left(\frac{20,1^3}{5,91^3} \sqrt{\frac{E_p}{16.614,75}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{20,1}{5,91} \right)^2}}}{E_p} \right)$$

Nilai E_p dengan d_0 terkoreksi suhu sebesar 0,0030 inci diperoleh $E_p = 49.447,51$ psi. Perhitungan jarak minimum pengukuran M_R tanah dasar menggunakan Persamaan 3.11 dan Persamaan 3.12.

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

$$= \sqrt{\left(5,91^2 + \left\{20,1^3 \sqrt{\frac{49.447,51}{16.614,75}}\right\}^2\right)}$$

$$= 29,48 \text{ inci}$$

Nilai M_R terkecil adalah pada *geophone* ke tujuh (r_7) dengan jarak dari pusat beban sebesar 47,24 inci. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah $r > 0,7 a_e$ atau $47,24 > 20,64$, maka syarat terpenuhi.

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

Perhitungan SN_{eff} pada STA 6+600 ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 menggunakan Persamaan 3.17.

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

$$= 0,0045 \times 20,1 \times \sqrt[3]{49.447,51}$$

$$= 3,32 \text{ inci}$$

Nilai E_p dan SN_{eff} tiap stasiun pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 disajikan dalam Lampiran 8.

5.3.2.4 Perhitungan Angka Struktural Efektif Rencana (SN_f)

Kebutuhan perkerasan beberapa tahun kemudian dapat diprediksi dengan menggunakan perhitungan balik nilai SN_f . Perhitungan balik tersebut didasarkan pada nilai ESAL rencana yang menunjukkan kondisi lalu lintas dimasa yang akan datang. Nilai kumulatif ekuivalen beban sumbu standar adalah 12.767.337,40 ESAL, dengan $IP_0 = 4,2$ dan $IP_t = 1,7$. Tabel 3.17 dan Tabel 3.18 menunjukkan variabel R dan Z_R untuk kelas jalan arteri perkotaan, dengan $R = 80\%$ dan $Z_R = -0,841$. Sedangkan nilai S_0 untuk perkerasan lentur adalah 0,45.

Persamaan 3.14 digunakan untuk menentukan nilai M_R desain pada STA 6+600 ruas jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500, dan Persamaan 3.18 digunakan untuk menentukan nilai SN_f . Berikut adalah uraian dari kedua perhitungan tersebut.

$$\begin{aligned}
 M_R \text{ desain} &= C \times M_R \text{ tanah dasar} \\
 &= 0,33 \times 16.614,75 \\
 &= 5.482,87 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

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

$$M_R - 8,07$$

$$\begin{aligned}
 \log_{10} (12.767.337,40) &= -0,841 \cdot 0,45 + 9,36 \cdot \log_{10} (SN_f + 1) - 0,20 \\
 &+ \frac{\log_{10} \left(\frac{2,5}{4,2 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5,19}}} + (2,32 \cdot \log_{10} \cdot 5.482,87) \\
 &- 8,07
 \end{aligned}$$

Nilai SNf pada STA 6+600 jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 adalah sebesar 3,80. Rekapitulasi nilai SNf untuk ruas jalan tersebut disajikan dalam Tabel 5.14.

5.3.2.5 Perhitungan Tebal *Overlay* Metode Lendutan AASHTO 1993

Nilai SNf adalah angka struktural rencana berdasarkan tingkat volume lalu-lintas yang direncanakan, sedangkan SNeff adalah angka struktural perkerasan eksisting. Lapis tambahan perkerasan pada STA 6+600 ruas jalan Peureulak - KM 7+750 - 16+500 dihitung menggunakan Persamaan 3.19.

Nilai a_{OL} diambil berdasarkan pada Tabel 3.19, nilai $SN_f = 3,80$ inci dan nilai $SN_{eff} = 3,32$ inci. Kondisi permukaan pada jalan eksisting mengalami sedikit kerusakan berupa retak kulit buaya, maka nilai a_{OL} diambil sebesar 0,4. Tebal *overlay* untuk STA 6+600 dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.19 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 D_{OL} &= \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{OL}} \\
 &= \frac{3,80 - 3,32}{0,4}
 \end{aligned}$$

= 1,20 inci

= 3,05 cm

Tebal lapis tambahan tiap stasiun pada ruas jalan Peureulak - KM 7+750 - 16+500 disajikan dalam Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Tebal *Overlay* Ruas Jalan Peureulak - KM 7+750 - 16+500 Metode AASHTO 1993

Stasiun	MR Desain	W18 x 10 ⁶	S _{Neff}	S _{Nf}	Z _R	S _o	I _{Po}	I _{pt}	I _{pf}	a _{ol}	Tebal <i>Overlay</i>	
	Psi	ESAL	in	in							inci	cm
0+000	5.406,99	12,7673	3,51	3,81	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,76	1,93
0+200	9.964,90	12,7673	3,63	3,12	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,28	-
0+400	9.919,32	12,7673	3,86	3,12	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,84	-
1+000	10.491,04	12,7673	4,79	3,07	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-4,31	-
1+200	5.930,50	12,7673	3,19	3,70	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	1,28	3,26
1+400	5.729,79	12,7673	3,46	3,74	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,70	1,78
1+600	5.634,61	12,7673	3,51	3,76	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,65	1,64
1+800	10.286,61	12,7673	3,78	3,09	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,74	-
2+000	10.320,95	12,7673	3,63	3,08	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,37	-
2+200	9.729,92	12,7673	4,02	3,14	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-2,18	-
2+400	13.183,34	12,7673	3,92	2,84	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-2,71	-
2+600	12.949,90	12,7673	3,43	2,85	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,45	-
2+800	13.019,10	12,7673	4,06	2,85	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-3,02	-
3+000	6.602,40	12,7673	3,29	3,57	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,71	1,80
3+800	5.796,24	12,7673	3,42	3,73	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,78	1,97
4+000	6.308,69	12,7673	3,34	3,63	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,73	1,85
4+400	12.390,92	12,7673	3,39	2,90	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,22	-
4+800	11.731,50	12,7673	4,02	2,95	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-2,66	-
5+000	12.357,54	12,7673	4,13	2,90	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-3,07	-
5+400	11.367,58	12,7673	4,39	2,98	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-3,52	-

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Tebal *Overlay* Ruas Jalan Peureulak - KM 7+750 - 16+500 Metode AASHTO 1993

Stasiun	MR Desain	W18 x 10 ⁶	S _{Neff}	S _{Nf}	Z _R	S _o	I _{Po}	I _{pt}	I _{pf}	a _{ol}	Tebal <i>Overlay</i>	
	Psi	ESAL	in	in							inci	cm
5+600	11.424,93	12,7673	4,58	2,98	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-4,01	-
5+800	11.482,58	12,7673	4,73	2,97	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-4,38	-
6+600	5.482,87	12,7673	3,32	3,80	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	1,20	3,05
6+800	5.755,43	12,7673	3,34	3,74	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,98	2,49
7+000	7.177,33	12,7673	3,95	3,48	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,18	-
7+200	14.215,99	12,7673	3,75	2,76	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-2,46	-
7+400	13.924,96	12,7673	4,06	2,78	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-3,20	-
7+600	14.708,41	12,7673	4,10	2,73	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-3,42	-
7+800	6.010,83	12,7673	3,31	3,69	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	0,93	2,36
8+000	10.442,89	12,7673	3,35	3,07	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-0,69	-
8+200	10.319,29	12,7673	3,56	3,08	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,19	-
8+600	10.680,50	12,7673	3,58	3,05	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-1,33	-
8+800	10.737,90	12,7673	3,38	3,04	-0,841	0,45	4,2	1,7	1,5	0,40	-0,85	-
Tebal Lapis Tambah Rata-rata											0,87	2,21
												2,25

Berdasarkan Tabel 5.14, diperoleh kebutuhan tebal *overlay* rata-rata pada ruas jalan Peureulak - KM 7+750 - 16+500 metode AASHTO 1993 adalah sebesar 0,87 inci atau 2,21 cm dengan nilai pembulatan menjadi 2,5 cm dan ketebalan tertinggi terdapat pada STA 1+200 dengan tebal 3,26 cm. Menurut metode AASHTO 1993, ketebalan *overlay* dapat dipengaruhi oleh lalu lintas harian, daya dukung tanah dasar saat ini, dan lapis perkerasan di atasnya. Nilai M_R tanah dasar untuk ruas jalan Peureulak - KM 7+750 - 16+500 pada STA 1+200 adalah 5.930,50 psi, seperti yang ditunjukkan dalam Lampiran 8. Nilai CBR yang setara dengan M_R tersebut dihitung menggunakan persamaan 3.9.

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

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

$$= \frac{5.930,50}{1.500}$$

$$= 3,954 \%$$

Ketentuan nilai CBR minimum yang digunakan untuk perencanaan perkerasan sebesar 6%. Berdasarkan hasil pada STA 1+200 diperoleh nilai CBR tanah dasar sebesar 3,954 %, maka hal ini menggambarkan kondisi tanah dasar tersebut mempunyai daya dukung yang buruk. Dengan memperhatikan angka struktural efektif (SN_{eff}) sebesar 3,19 inci dan angka struktural rencana (SN_r) sebesar 3,70 inci, kekuatan lapis perkerasan di atas tanah dasar belum memenuhi kebutuhan volume lalu lintas rencana. Sehingga, berdasarkan nilai CBR tanah dasar dan nilai kekuatan lapis perkerasan di atas tanah dasar tersebut, maka *overlay* pada STA 1+200 tersebut sedikit lebih tebal dibandingkan dengan stasiun lainnya.

5.4 Pembahasan

5.4.1 Perbandingan Konsep Desain

Metode mekanistik empiris merupakan pendekatan berdasarkan karakteristik material dan kaidah teoritis, dengan diperkuat oleh respon struktur perkerasan dari perhitungan eksak terhadap beban sumbu kendaraan. Metode mekanistik empiris telah digunakan secara meluas di berbagai negara yang telah berkembang, demikian juga di Indonesia dengan metode Bina Marga 2024 yang ditetapkan oleh Dirjen Bina Marga. Pada metode ini, analisis struktur perkerasan dilakukan menggunakan prinsip-prinsip mekanik yang digunakan untuk memprediksi kinerja struktur berdasarkan pengalaman empiris.

Metode AASHTO 1993 merupakan modifikasi dari metode AASHTO 1972. Metode ini pada dasarnya adalah metode perancangan yang didasarkan pada metode empiris. Metode empiris adalah pendekatan yang menghubungkan antara kerusakan jalan dengan parameter-parameter input desain yang diformulasikan berdasarkan hubungan statistik.

Berikut adalah perbandingan parameter yang digunakan antara Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 pada Tabel 5.15

Tabel 5.15 Perbandingan Parameter *Input* Pada Metode Bina Marga 2024 dan Metode AASHTO 1993

Bina Marga 2024	AASHTO
1. beban lalu lintas, 2. pertumbuhan lalu lintas, 3. faktor ekuivalen beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>), 4. faktor koreksi beban, musim dan temperatur, 5. faktor penyesuaian <i>Benkelman Beam</i> , 6. CBR tanah dasar, dan 7. lendutan maksimum dan lengkung lendutan.	1. beban lalu lintas, 2. pertumbuhan lalu lintas (R), 3. faktor ESAL kendaraan (VDF), 4. <i>structural number</i> (SN), 5. <i>modulus resilient</i> tanah dasar (MR tanah dasar), 6. modulus efektif perkerasan (Ep), 7. <i>reliability</i> (R), 8. simpangan normal standar (Z _R), 9. deviasi standar (So), 10. koefisien lapisan (ai) dan koefisien drainase (m), 11. indeks permukaan awal (IP ₀), 12. indeks permukaan akhir (IP _t), 13. indeks permukaan hancur (IP _f), 14. struktural efektif eksisting (S _{Neff}), dan 15. struktural efektif rencana (S _{Nf}).

5.4.2 Perbandingan Parameter Desain

Metode desain pada Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 menggunakan parameter desain yang berbeda sehingga terdapat perbedaan hasil desain. Perbandingan parameter desain yang digunakan untuk kedua metode ini ditunjukkan pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Perbandingan Parameter Desain Metode Bina Marga 2024 dan Metode AASHTO 1993

No	Parameter	Bina Marga 2024	AASHTO 1993
1	Beban Sumbu Standar	Menggunakan beban sumbu standar 8 kips atau 8,16 ton	
2	Angka ekuivalen (E)	Menggunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan pada Tabel 3.4	Menggunakan interpolasi dengan tabel faktor ekivalensi 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> (MR) 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 (D_0) = 1,05 Koreksi temperatur ($D_0 - D_{200}$) = 1,15 Koreksi penyesuaian FWD ke BB = 1,28	Koreksi temperatur = 0,77

**Lanjutan Tabel 5.16 Perbandingan Parameter Desain Metode Bina Marga
2024 dan Metode AASHTO 1993**

No	Parameter	Bina Marga 2024	AASHTO 1993
5	Parameter lain	Lendutan maksimum (D_0) = 1,1352 mm Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$) = 0,241 mm	Reliability (R) = 80 % Deviasi standar (S_0) = 0,45 Simpangan normal standar (Z_R) = - 0,841 Indeks Permukaan Awal (IP_0) = 4,2 Indeks Permukaan Akhir (IP_t) = 1,7 Indeks Permukaan Hancur (IP_f) = 1,5 Modulus efektif perkerasan (E_p) SNeff dan SNf

5.4.3 Perbandingan Prosedur Desain

Pada perhitungan tebal lapis tambah (*overlay*) menggunakan metode Bina Marga 2024 dibutuhkan analisis desain CESA4 dan nilai lendutan maksimum. Nilai lendutan maksimum didapatkan melalui grafik yang telah ada di Bina Marga 2024. Nilai CESA didapatkan dari beberapa parameter, yaitu lalu lintas harian (LHR), faktor pertumbuhan lalu lintas (R), umur rencana (UR), faktor distribusi arah (DD), faktor distribusi lajur kendaraan niagara (DL), dan faktor ekuivalen beban (VDF). Setelah semua parameter yang diperlukan sudah diketahui, maka didapatkan nilai CESA 4 dan CESA 5. Selanjutnya dalam mencari nilai lendutan maksimum, diperlukan data uji lendutan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) yang didapatkan melalui survei pada daerah setempat. Secara umum, data yang didapatkan dari alat FWD adalah nilai tekanan, sembilan titik nilai lendutan, temperatur aspal, temperatur permukaan dan temperatur udara. Parameter lain yang dibutuhkan dalam mencari nilai lendutan maksimum adalah faktor keseragaman, faktor koreksi musim, faktor koreksi beban, faktor koreksi temperatur dan faktor penyesuaian FWD ke BB. Setelah perhitungan analisis dari parameter tersebut maka didapatkan nilai lendutan maksimum (D_0). Nilai lendutan maksimum tiap

stasiun akan di cari nilai rata – ratanya kemudian dicari nilai standar devisiasi. Kemudian didapatkanlah nilai lendutan wakil dan nilai CESA4 yang sebelumnya sudah dihitung. Nilai lendutan wakil dan nilai CESA4 akan diproyeksikan ke grafik yang telah disediakan dari Bina Marga 2024, sehingga didapatkanlah nilai tebal lapis tambah (*overlay*) yang diperlukan.

Selain analisis perhitungan lendutan maksimum (D_0), terdapat juga perhitungan lengkung lendutan ($D_0 - D_{200}$). Analisis lengkung lendutan digunakan untuk memastikan bahwa lapis *overlay* mampu menahan retak lelah (*fatigue cracking*). Perhitungan pada lengkung lendutan hampir menyerupai dengan perhitungan lendutan maksimum. Perbedaan pada kedua perhitungan tersebut adalah pada lendutan maksimum menggunakan CESA4 sedangkan lengkung lendutan menggunakan CESA 5 dan nilai lengkung lendutan rata – rata terkoreksi.

Pada proses perhitungan tebal lapis tambah menggunakan metode AASHTO 1993 diperlukan beberapa parameter desain yaitu, lalu lintas harian (LHR), faktor pertumbuhan lalu lintas (R), umur rencana (UR), faktor distribusi arah (DD), faktor distribusi lajur kendaraan niagara (DL), dan faktor ekuivalen beban (VDF). Perhitungan LHR akan dibedakan dengan LHR pada Tahun Pertama dan LHR pada awal periode beban normal. Nilai VDF didapatkan dari interpolasi antara tabel faktor ekivalensi beban gandar. Nilai SN diperoleh dari tebal perkerasan, koefisien lapisan dan koefisien drainase. Data parameter kemudian dilakukan perhitungan kemudian didapatkan nilai jumlah kumulatif *Equivalent Single Axle Load* selama umur rencana (W_{18}).

Setelah mendapatkan nilai W_{18} , diperlukan parameter lainnya untuk mencari nilai D_{OL} yaitu *reliability* (R), simpangan normal Standar (Z_R), devisiasi standar (S_0), indeks permukaan awal (IP_0), indeks permukaan akhir (IP_t), dan indeks permukaan hancur (IP_f). Kemudian data FWD akan dianalisis sehingga mendapatkan nilai *modulus resilient* (M_R). Selanjutnya nilai M_R digunakan untuk mencari nilai modulus efektif perkerasan (E_p) yang dilakukan dengan cara perhitungan balik sampai diketahui nilai E_p yang menghasilkan besar D_0 yang sama dengan defleksi terukur di lapangan. Lalu, nilai tebal lapis tambah (D_{OL}) ditentukan menggunakan nilai angka struktural efektif eksisting (SN_{eff}), angka struktural

efektif rencana (SN_f), dan koefisien lapisan (a_{OL}). Untuk mencari nilai SN_f diperlukan cara perhitungan balik untuk setiap stasiunnya. Nilai a_{OL} diambil berdasarkan kondisi permukaan pada lapis perkerasan yang sedang diteliti. Dari nilai SN_{eff} , nilai SN_f dan nilai a_{OL} yang diperoleh tersebut, maka akan diperoleh tebal *overlay* rata-rata yang dibutuhkan.

5.4.4 Perbandingan Hasil Desain

Pada penelitian ini, mencari tebal lapis tambah dengan metode Bina Marga 2024 dan metode AASHTO 1993 memiliki perbedaan pada konsep desain, parameter desain dan prosedur desain. Sehingga hasil pada kedua metode akan mempunyai perbedaan. Nilai yang dihasilkan dengan menggunakan metode Bina Marga 2024 lebih besar dibandingkan dengan metode AASHTO 1993. Perbandingan hasil desain kedua metode dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Perbandingan Hasil Desain

Parameter	Bina Marga 2024	AASHTO 1993
<i>Design Traffic</i>	LHR (Golongan 5B – 7C) = 2.244 kend/hari CESA4 = 9.084.602,570 CESA5 = 12.432.766.869	LHR (Golongan 2 – 7C) = 9.674 kend/hari $W_{18} = 12.767.337,40$
Tebal <i>Overlay</i>	IRI = 4,5 cm Lendutan maksimum (D_0) = 5 cm Lengkung lendutan (D_0 - D_{200}): a) Lapis tipis 4 cm b) Lapis tebal 12,5 cm	Tebal <i>overlay</i> rata-rata = 2,5 cm

Dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.17, metode Bina Marga memiliki *design traffic* sebesar 9.084.602,570 sehingga menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar 5 cm, sedangkan metode AASHTO 1993 memiliki *design traffic* sebesar 12.432.766.869 sehingga menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar

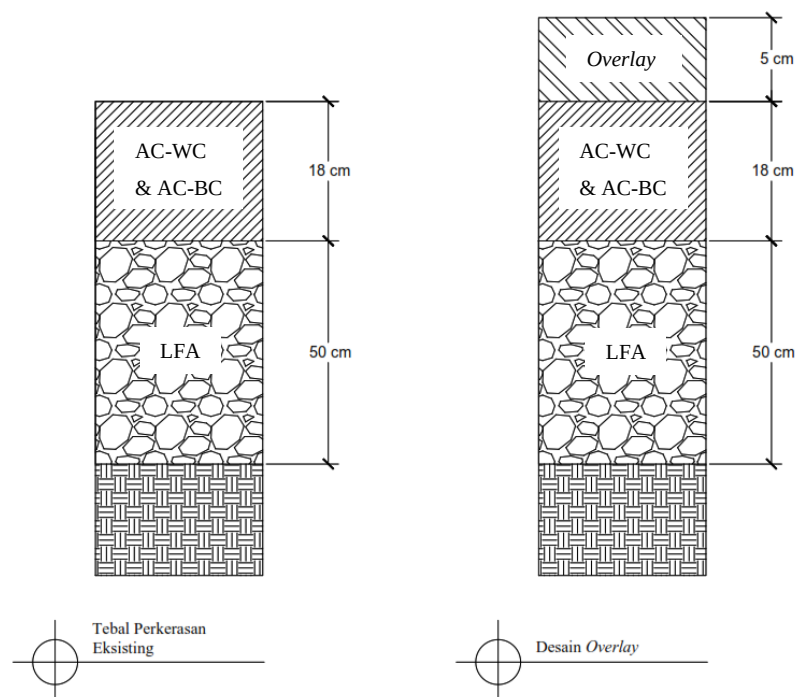
2,5 cm. Penyebab perbedaan hasil tebal *overlay* antara kedua metode tersebut dapat terjadi karena perbedaan *design traffic* yang dihasilkan. Pada metode Bina Marga 2024, hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis, sedangkan pada metode AASHTO 1993 kendaraan ringan hingga berat juga perlu diperhitungkan dalam analisis, sehingga metode AASHTO 1993 menghasilkan *design traffic* yang lebih besar dibandingkan metode Bina Marga 2024.

Pada perhitungan *overlay* menggunakan metode Bina Marga 2024, diperoleh empat *output* dari metode tersebut yaitu *overlay* berdasarkan nilai IRI, lendutan maksimum, lengkung lendutan lapis tipis, dan lengkung lendutan lapis tebal. Nilai IRI rata – rata perkerasan eksisting adalah 5 m/km. Berdasarkan ketentuan Bina Marga 2024 nilai IRI minimum adalah 3 m/km, sehingga untuk menurunkan nilai iri diperlukan tebal *overlay* sebesar 4,5 cm. Tebal *overlay* yang didapatkan dari hasil perhitungan lendutan maksimum sebesar 5 cm, sedangkan lengkung lendutan lapis tipis sebesar 4 cm, dan lengkung lendutan lapis tebal sebesar 12,5 cm. Pada perhitungan lendutan maksimum sebesar 5 cm, telah memenuhi kedua kriteria struktural (deformasi permanen dan retak lelah) dan kebutuhan tebal minimum untuk menurunkan IRI, sehingga nilai lengkung lendutan lapis tebal sebesar 12,5 cm tidak dipilih sebagai tebal lapis tambah minimum. Gambar perkerasan eksisting dan desain tebal *overlay* Bina Marga 2024 dapat dilihat pada Gambar 5.8

Perhitungan *overlay* dengan metode AASHTO 1993, memerlukan data lendutan yang didapatkan dari alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Nilai lendutan ($d_1 - d_9$) tersebut digunakan untuk memperoleh nilai M_R tanah dasar. M_R tanah dasar terkecil akan digunakan untuk menghitung nilai modulus efektif perkerasan (E_p). Angka struktural efektif eksisting (SN_{eff}) dipengaruhi oleh tebal permukaan tanah (D) dan nilai E_p , sedangkan angka struktural efektif rencana (SN_f) dipengaruhi oleh perkiraan jumlah beban sumbu standar (W_{18}), Diviasi standar (S_0), Simpangan Normal Standar (Z_R), indeks permukaan dan M_R tanah dasar. Oleh karena itu, ketebalan *overlay* berdasarkan AASHTO 1993 ini dianalisis pada setiap stasiun untuk mendapatkan tebal *overlay* rata-rata yang dibutuhkan. Daya dukung

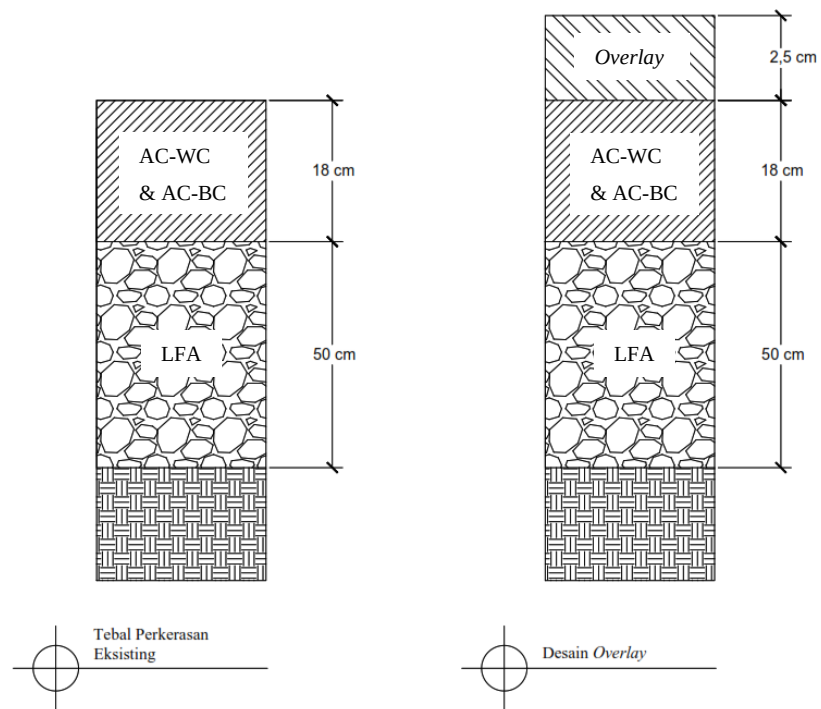
tanah dasar eksisting dan lapis perkerasan di atasnya adalah beberapa faktor yang mempengaruhi hasil ketebalan *overlay* berdasarkan metode AASHTO 1993. Pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 kendaraan yang melintasi jalan tersebut didominasi oleh kendaraan dengan gandar kecil. Sehingga, metode AASHTO 1993 menghasilkan tebal *overlay* sebesar 2,5 cm. Gambar perkerasan eksisting dan desain tebal *overlay* AASHTO 1993 dapat dilihat pada Gambar 5.9

Berdasarkan pengamatan peneliti terhadap penelitian sebelumnya bahwa perhitungan tebal lapis tambah (*overlay*) dengan menggunakan metode AASHTO 1993 cenderung menghasilkan nilai *overlay* lebih besar daripada metode Bina Marga 2024. Tetapi hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa hasil *overlay* menggunakan metode Bina Marga 2024 lebih besar daripada metode AASHTO 1993. Hal ini disebabkan dari perbandingan volume kendaraan ringan melebihi kendaraan berat yang melewati ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500.



Gambar 5. 8 Perkerasan Eksisting dan Desain Tebal Overlay Bina Marga

2024



Gambar 5. 9 Perkerasan Eksisting dan Desain Tebal Overlay AASHTO 1993

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian dengan menggunakan metode lendutan Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 ini yaitu sebagai berikut.

1. Berdasarkan pembacaan nilai data lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 dapat dilihat bahwa kondisi struktural perkerasan di beberapa titik stasiun menghasilkan nilai lendutan pada pusat beban (D0) dan nilai lengkung lendutan (D0 – D200) yang cukup besar. Nilai lendutan tersebut menunjukkan bahwa kondisi struktural ruas jalan tersebut buruk, karena semakin tinggi nilai lendutan yang dihasilkan, semakin buruk kondisi struktural ruas jalan tersebut.
2. Pada ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500 diperlukan tebal lapis tambah (*overlay*) untuk meningkatkan nilai struktural perkerasan agar dapat mencegah deformasi permanen dan retak lelah pada *subbase* dan tanah dasar. Tebal *overlay* rata-rata yang dihasilkan dari metode Bina Marga 2024 adalah sebesar 5 cm dan hasil tebal *overlay* rata-rata dari metode AASHTO 1993 adalah sebesar 2,5 cm.
3. Perbedaan hasil desain tebal *overlay* yang diperoleh dari metode Bina Marga 2024 dan metode AASHTO 1993 dipengaruhi oleh adanya perbedaan konsep, parameter dan prosedur desain pada kedua metode tersebut. Metode Bina Marga 2024 menggunakan mekanistik empiris sebagai konsep desain, sedangkan pada metode AASHTO 1993 menggunakan metode empiris. Pada parameter beban lalu lintas, metode Bina Marga 2024 dan metode AASHTO 1993 memiliki kesamaan yaitu menggunakan beban sumbu standar 18 kips ESAL atau setara dengan 8,16 ton. Untuk menghitung beban sumbu standar menggunakan metode Bina Marga 2024, hanya memerlukan data kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih, adapun pada metode AASHTO

1993 menggunakan data kendaraan ringan hingga kendaraan berat. Dalam mendesain tebal *overlay* menggunakan metode Bina Marga 2024, ada beberapa faktor yang perlu dilakukan penyesuaian yaitu, faktor koreksi beban, faktor musim, faktor temperatur dan penyesuaian FWD ke BB. Adapun faktor penyesuaian yang perlu dilakukan pada metode AASHTO 1993 adalah faktor koreksi suhu. Pada metode Bina Marga 2024 digunakan grafik berdasarkan nilai CESA4 dan nilai lendutan wakil dalam prosedur desain, sedangkan pada metode AASHTO 1993 untuk mendapatkan nilai S_{Neff} , S_{Nf} dan koefisien lapisan menggunakan nilai lintas ekuivalen, nilai MR tanah dasar, dan nilai E_p . Berdasarkan aspek yang telah didapatkan, dilakukan analisis untuk menghasilkan tebal *overlay* pada setiap stasiunnya.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan hasil kesimpulan dari penelitian ini, maka saran dari penulis adalah sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan data lendutan FWD pada kondisi optimal, sebaiknya melakukan survei pada musim penghujan. Karena jenis tanah, ketinggian muka air tanah dan kelembaban tanah dasar mempengaruhi besarnya lendutan permukaan perkerasan aspal. Oleh karena itu, pengukuran harus dilakukan pada kondisi cuaca terlemah, yaitu saat musim penghujan.
2. Dalam merencanakan tebal lapis tambah (*overlay*) sebaiknya menggunakan beberapa metode perhitungan. Hal ini bertujuan agar diperoleh hasil perhitungan yang efektif, sehingga tebal lapis tambah (*overlay*) mampu menahan beban lalu lintas yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, A.H. 2018. Evaluasi Struktural Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Metode Bina Marga 2013. *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *Guide for Design of Pavement Structure*. The American Association of State Highway Transportation Officials. Washington, D.C.
- Austroroads. 2008. *A Guide to the Structural Design of Pavements*. Australian Road Research Board. Sydney.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2024. Manual Perkerasan Jalan. Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Indriani, M.N. 2018. *Metode – Metode Perhitungan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan*. Social Politic Genius. Denpasar.
- Karnurin, F., Fauziah, M. (2020). Perbandingan Desain Perkerasan Lentur Metode Empirik Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Milir-Sentolo. *Naskah Publikasi*. Yogyakarta
- Kolinug, G.A.H., Lalamentik, L.G.J., dan Manoppo, M.R.E. 2022. Analisa Perbandingan Desain Tebal Perkerasan Lentur Lapis Tambah Dengan Metode Desain Perkerasan Jalan 2017 (Revisi 2020) Dan Metode AASHTO 1993. *Jurnal Tekno*. Vol.XX No.82. Manado.
- Manguande, J., Manoppo, M.R.E., Sendow, T.K. 2020. Analisis Perbandingan Desain Overlay Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Data Lendutan BB Dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan FWB. *Jurnal Sipil Statik* Vol.8 No.1. Manado
- Manoppo, C.N., Sendow, T.K., Manoppo, M.R.E. 2021. Analisa Perbandingan Desain Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993. *Jurnal Sipil Statik* Vol.9 No.4. Manado

- Lavin, P. G. 2003. *Asphalt Pavement – A Practical Guide to Design, Production, and Maintenance for Engineer and Architects*. Spon Press. New York. USA.
- Pambudi, R. A. (2021). Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program KENPAVE menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik Studi Kasus: Jalan Simpang Pundu - Tumbang Samba. *Naskah Publikasi*. Yogyakarta
- Purnaingrum, K.N. 2018. Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan AASHTO 1993 Menggunakan Data Lendutan Falling Wiegth Deflectometer. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rizki, W. 2021. Evaluasi Kondisi Perkerasan Dan Perencanaan Perbaikan. 2021. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Simatupang, A.P. 2021. Analisis Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan 2017. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Medan Area. Medan.
- Sukirman, S. 1993. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova. Bandung.
- Sukirman, S. 1999. *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik*. Penerbit Nova. Bandung.
- Sukirman, S. 2010. *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Penerbit Nova. Bandung.
- Suwanda, M.A., Kushari, B. (2020). Analisis Perbandingan DesaiN Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik Dan Elastik Pada Ruas Jalan Tempel – Pakem. *Naskah Publikasi*. Yogyakarta
- Widiastuti, A.P., Kushari, B. (2020). Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris Dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi – Kanigoro – Planjan. *Naskah Publikasi*. Yogyakarta
- Yuspita, Y. 2021. Analisis Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Bina Marga T-05-2005 B Dan Metode Manual Desain Perkerasan 2017. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Medan Area. Medan.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Harian

JUMLAH LALU LINTAS 24 JAM TERTINGGI

Ruas Nomor 011.1

Nama Ruas PEUREULAK - BTS KOTA LANGSA ACEH TIMUR

Jumlah Total Kendaraan (4 arah):

Golongan	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c	8	JUMLAH	
Pukul	Sepeda Motor, Sekuler dan Kendaraan Roda Tiga	Sedan, Jeep dan Station Wagon	Opetet, Pick-Up-opelet, Suburban, Combi dan Mini Bus	Pick-up, Micro Truck dan Mobil hantaran	Bus Kecil	Bus Besar	Truck Ringan 2 Sumbu	Truck Sedang 2 Sumbu	Truck 3 Sumbu	Truck Gandengan	Truck Semi Trailer	Kendaraan Tidak Bermotor	Gol. 1 sd 7c	Gol. 2 sd 7c
08.45	300	0	114	18	2	0	2	4	2	0	0	4	442	142
09.00	258	6	82	32	0	0	4	8	4	0	0	0	394	136
09.00 - 09.15	300	0	90	28	6	2	2	10	2	0	0	0	440	140
09.30	264	0	96	20	0	0	4	14	4	0	0	0	402	138
09.45	306	2	98	24	0	0	0	10	0	0	0	0	440	134
10.00	286	0	92	26	0	0	6	18	8	0	0	0	436	150
10.00 - 10.15	322	2	74	0	0	0	2	2	8	0	0	0	410	88
10.30	282	0	86	18	0	0	0	14	2	0	0	0	402	120
10.45	292	2	90	8	0	0	0	14	4	0	0	0	410	118
11.00	252	2	100	18	0	0	2	8	2	0	0	0	384	132
11.00 - 11.15	264	0	62	16	0	0	0	24	8	0	0	0	374	110
11.30	234	6	100	22	0	0	2	22	2	0	0	0	388	154
11.45	284	2	84	12	0	0	2	18	0	0	0	0	402	118
12.00	188	2	78	24	0	0	2	16	0	0	0	0	310	122

Golongan	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c	8	JUMLAH	
12.00 - 12.15	236	2	70	14	0	0	14	2	2	0	0	0	340	104
12.30	234	0	54	16	0	0	0	16	2	0	0	0	322	88
12.45	172	0	70	8	0	0	2	16	10	0	0	0	278	106
13.00	208	0	80	8	0	0	2	6	0	0	0	0	304	96
13.00 - 13.15	214	0	58	6	0	0	4	12	0	0	0	0	294	80
13.30	196	0	86	16	0	0	0	12	2	0	2	0	314	118
13.45	206	0	42	8	2	0	0	6	4	0	0	0	268	62
14.00	218	6	74	18	0	0	2	10	0	0	0	0	328	110
14.00 - 14.15	260	0	78	16	0	0	0	12	6	0	2	0	374	114
14.30	248	6	74	6	0	0	2	6	6	0	0	0	348	100
14.45	298	0	76	20	0	0	2	14	10	0	2	0	422	124
15.00	230	0	82	22	2	0	0	18	2	0	0	0	356	126
15.00 - 15.15	294	2	68	18	0	0	0	20	6	0	0	0	408	114
15.30	276	4	80	16	0	0	0	20	0	0	2	0	398	122
15.45	300	0	78	22	0	0	0	10	4	0	0	0	414	114
16.00	236	0	60	18	0	0	0	10	4	0	0	0	328	92
16.00 - 16.15	246	2	70	70	0	0	0	22	4	0	2	0	416	170
16.30	310	2	86	20	0	2	0	18	6	0	6	0	450	140
16.45	232	0	84	18	0	0	0	12	4	0	0	0	350	118
17.00	278	2	72	14	0	0	0	10	6	0	0	0	382	104
17.00 - 17.15	238	2	66	18	0	0	2	38	12	0	0	2	376	138
17.30	266	0	66	14	0	0	0	12	4	0	4	0	366	100
17.45	268	2	68	38	0	2	0	22	10	0	0	0	410	142
18.00	228	2	76	32	0	2	0	22	6	0	2	0	370	142
18.00 - 18.15	228	0	68	16	0	0	0	22	10	0	0	0	344	116
18.30	228	8	98	0	0	0	2	12	6	0	0	0	354	126
18.45	178	0	70	16	0	0	0	10	6	0	2	0	282	104
19.00	130	2	84	8	4	0	2	10	4	0	0	0	244	114

Golongan	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c	8	JUMLAH	
19.00 - 19.15	110	0	42	18	0	0	0	14	6	0	0	0	190	80
19.30	144	0	64	12	0	0	0	14	4	0	0	0	238	94
19.45	190	0	102	8	2	0	0	6	0	0	0	0	308	118
20.00	294	0	46	6	0	0	0	10	4	0	0	0	360	66
20.00 - 20.15	316	2	64	10	0	2	0	18	8	0	0	0	420	104
20.30	318	2	48	12	0	0	0	12	10	0	2	0	404	86
20.45	302	0	60	14	0	0	0	16	10	0	4	0	406	104
21.00	290	0	52	14	0	0	0	12	2	0	0	0	370	80
21.00 - 21.15	254	0	62	8	0	0	0	2	6	0	0	0	332	78
21.30	234	0	44	6	0	0	0	10	4	0	0	0	298	64
21.45	152	0	36	8	0	0	2	8	14	0	2	0	222	70
22.00	152	2	38	12	0	0	0	10	16	0	0	0	230	78
22.00 - 22.15	132	0	60	16	0	4	0	4	4	0	0	0	220	88
22.30	116	0	68	20	0	0	0	18	2	0	0	0	224	108
22.45	68	0	70	14	0	0	0	20	12	0	4	0	188	120
23.00	80	0	72	4	0	0	0	14	8	0	0	0	178	98
23.00 - 23.15	80	0	60	18	0	0	0	14	10	0	0	0	182	102
23.30	60	0	76	16	0	0	0	18	6	0	0	0	176	116
23.45	54	0	44	4	0	0	0	10	6	0	4	0	122	68
24.00	44	0	86	10	0	0	0	24	12	0	0	0	176	132
00.00 - 00.15	76	2	64	10	0	4	0	12	4	0	0	0	172	96
00.30	54	0	42	4	2	2	2	8	4	0	2	0	120	66
00.45	28	0	66	8	0	8	4	10	6	0	0	0	130	102
01.00	10	0	44	0	0	8	2	2	0	0	0	0	66	56
01.00 - 01.15	24	12	30	8	0	12	2	10	12	0	0	0	110	86
01.30	12	12	46	4	2	8	0	16	10	0	0	0	110	98
01.45	28	2	32	10	0	4	0	20	8	0	0	0	104	76
02.00	14	2	26	18	0	10	0	18	18	0	4	0	110	96

Golongan	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c	8	JUMLAH	
02.00 - 02.15	6	2	26	12	0	2	0	16	4	0	2	0	70	64
02.30	8	12	20	16	0	0	2	14	6	0	4	0	82	74
02.45	14	2	50	12	0	8	0	28	22	0	0	0	136	122
03.00	10	12	40	20	0	2	0	8	6	0	0	0	98	88
03.00 - 03.15	4	8	32	16	0	0	0	24	22	0	0	0	106	102
03.30	12	6	28	8	0	6	0	14	0	0	4	0	78	66
03.45	8	6	16	12	0	6	0	24	14	0	2	0	88	80
04.00	2	8	32	20	0	4	0	18	10	0	2	0	96	94
04.00 - 04.15	12	6	16	16	0	2	0	30	14	0	0	0	96	84
04.30	4	4	20	12	0	0	2	28	12	0	0	0	82	78
04.45	6	0	10	16	0	0	0	18	6	0	0	0	56	50
05.00	18	4	16	12	0	0	0	12	6	0	0	0	68	50
05.00 - 05.15	12	4	12	12	0	0	0	18	16	0	0	0	74	62
05.30	18	0	16	16	0	0	0	22	8	0	0	0	80	62
05.45	20	4	4	6	0	0	0	6	14	0	2	0	56	36
06.00	36	8	20	14	0	2	0	6	14	0	0	0	100	64
06.00 - 06.15	52	2	14	16	0	0	0	10	20	0	2	0	116	64
06.30	72	8	20	4	0	0	0	6	16	0	4	0	130	58
06.45	120	8	42	16	0	0	0	6	14	0	0	0	206	86
07.00	102	2	64	18	0	0	2	12	8	0	0	0	208	106
07.00 - 07.15	100	10	80	12	0	0	0	8	6	0	0	0	216	116
07.30	136	12	64	18	0	0	0	10	14	0	0	0	254	118
07.45	188	22	46	4	2	0	2	20	8	0	0	0	292	104
08.00	206	12	66	18	2	0	0	16	8	0	0	0	328	122
08.00 - 08.15	240	18	52	14	0	0	0	2	12	0	0	2	338	98
08.30	262	14	52	24	4	0	2	6	8	0	0	0	372	110
JUMLAH	15792	296	5686	1418	30	102	84	1314	676	0	68	8		

Lampiran 2 Data *Falling Weight Deflectometer*

Sta	Lat	Long	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	Asphalt	Surface	Air
			kpa	kN	micron	micron	micron	micron	micron	micron	micron	micron	micron	°C	°C	°C
0+000	4,775347	97,890941	607,0	42,9	609,8	310,8	242,7	183,8	136,9	104,7	98,4	39,2	31,5	32,8	35,4	29,6
0+200	4,773542	97,891183	619,0	43,7	482,5	279,2	222,6	170,1	128,6	78,7	54,4	38,6	32,5	32,8	35,4	29,6
0+400	4,771847	97,891772	618,0	43,7	422,4	271,5	218,9	167,1	127,6	79,4	54,6	40,2	32,2	32,8	35,4	29,6
1+000	4,767849	97,895515	631,0	44,6	273,6	209,9	179,2	145,5	112,7	75,8	52,7	36,4	26,7	32,8	35,4	29,6
1+200	4,766634	97,896785	621,0	43,9	739,7	481,6	347,7	225,5	148,0	102,4	91,7	46,2	41,5	32,8	35,4	29,6
1+400	4,765301	97,897911	632,0	44,6	640,0	437,6	326,1	224,1	152,3	104,8	96,6	46,0	40,1	32,8	35,4	29,6
1+600	4,763829	97,899046	638,0	45,1	633,5	435,3	326,3	223,8	154,9	103,4	99,2	49,0	43,5	32,8	35,4	29,6
1+800	4,762478	97,900121	622,0	44,0	439,1	346,7	280,5	211,8	156,5	86,6	53,0	37,9	30,3	32,8	35,4	29,6
2+000	4,761002	97,901257	625,0	44,2	481,4	319,1	264,6	202,5	150,5	86,6	53,1	39,1	31,7	32,8	35,4	29,6
2+200	4,759541	97,902310	625,0	44,2	395,1	314,1	262,4	202,6	152,0	88,4	56,3	40,8	34,4	32,8	35,4	29,6
2+400	4,757994	97,903238	630,0	44,6	384,0	215,7	176,9	133,3	100,0	60,8	41,9	30,8	26,4	32,8	35,4	29,6
2+600	4,756322	97,902825	635,0	44,9	525,4	301,5	166,1	126,9	97,2	60,6	43,0	30,6	26,9	32,8	35,4	29,6
2+800	4,755009	97,901690	636,0	44,9	361,3	198,4	163,6	125,5	96,5	60,1	42,8	30,3	26,0	32,8	35,4	29,6
3+600	4,749423	97,897684	624,0	44,1	674,1	480,7	355,6	236,6	168,6	105,5	82,8	68,1	59,3	32,8	35,4	29,6
3+800	4,747572	97,897895	630,0	44,6	652,7	440,8	341,2	256,1	195,1	112,7	95,3	64,5	56,7	32,8	35,4	29,6
4+000	4,745815	97,898255	630,0	44,5	669,7	491,5	296,9	207,8	155,5	101,9	87,5	67,8	59,7	32,8	35,4	29,6
4+400	4,741720	97,897637	639,0	45,2	551,4	131,0	114,8	96,9	85,0	59,6	45,2	34,6	30,5	32,8	35,4	29,6
4+800	4,738759	97,895460	627,0	44,3	375,0	206,4	181,4	149,2	117,3	68,9	46,8	32,4	28,1	32,8	35,4	29,6
5+000	4,737248	97,896091	630,0	44,6	350,3	194,4	170,0	141,0	111,7	66,6	44,7	32,7	28,1	32,8	35,4	29,6
5+400	4,734131	97,897106	633,0	44,7	317,4	176,8	154,9	127,6	103,9	68,8	48,8	36,3	30,1	32,8	35,4	29,6

Sta	Lat	Long	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	Asphalt	Surface	Air
			kpa	kN	micron	micron	micron	micron	micron	micron	micron	micron	micron	°C	°C	°C
5+600	4,732616	97,897488	639,0	45,2	293,4	171,2	148,2	124,7	99,5	67,0	49,0	37,3	31,6	32,8	35,4	29,6
5+800	4,731012	97,898377	638,0	45,1	275,4	169,0	147,3	123,0	98,9	66,6	48,7	36,6	30,5	32,8	35,4	29,6
6+600	4,724621	97,901885	609,0	43,1	683,9	402,3	279,5	208,4	159,0	108,4	97,4	56,1	44,8	32,8	35,4	29,6
6+800	4,722884	97,902417	616,0	43,5	669,5	399,4	263,5	200,2	155,8	100,9	93,8	59,3	50,7	32,8	35,4	29,6
7+000	4,721140	97,903018	616,0	43,5	444,3	316,6	262,1	199,6	155,8	101,8	75,2	58,1	50,5	32,8	35,4	29,6
7+200	4,719441	97,903626	631,0	44,6	417,2	236,6	153,9	125,3	95,0	53,8	38,9	29,0	24,5	32,8	35,4	29,6
7+400	4,717776	97,904302	634,0	44,8	352,1	223,6	156,9	120,7	93,2	55,0	39,9	28,8	25,5	32,8	35,4	29,6
7+600	4,715961	97,904684	634,0	44,8	341,1	220,2	157,5	120,1	91,2	53,1	37,8	28,4	25,6	32,8	35,4	29,6
7+800	4,714057	97,904821	617,0	43,6	675,3	325,6	250,0	173,7	139,8	111,4	90,0	37,7	33,8	32,8	35,4	29,6
8+000	4,712737	97,904007	621,0	43,9	572,1	301,0	238,8	167,8	131,9	71,6	52,1	42,7	34,5	32,8	35,4	29,6
8+200	4,712263	97,904945	621,0	43,9	500,6	302,8	237,6	167,8	131,9	72,3	52,7	43,3	35,1	32,8	35,4	29,6
8+600	4,707921	97,905628	631,0	44,6	498,4	278,3	154,2	123,6	99,4	67,0	51,8	40,3	33,3	32,8	35,4	29,6
8+800	4,705271	97,906174	631,0	44,6	564,7	277,6	153,9	123,8	98,8	67,1	51,5	39,4	32,7	32,8	35,4	29,6

Lampiran 3 Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode Bina Marga 2024

No	Stasiun	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)	Temp. Aspal	Tebal Aspal (mm)	D ₀ Faktor Koreksi Musim	D ₂₀₀ Faktor Koreksi Musim	D ₀ Normal	D ₂₀₀ Normal	D ₀ - D ₂₀₀
1	0+000	42,91	609,8	310,8	32,8	180	731,76	372,96	682,135	347,667	334,467
2	0+200	43,72	482,5	279,2	32,8	180	579,00	335,04	529,735	306,532	223,202
3	0+400	43,68	422,4	271,5	32,8	180	506,88	325,80	464,176	298,352	165,824
4	1+000	44,59	273,6	209,9	32,8	180	328,32	251,88	294,523	225,952	68,571
5	1+200	43,86	739,7	481,6	32,8	180	887,64	577,92	809,521	527,059	282,462
6	1+400	44,64	640,0	437,6	32,8	180	768,00	525,12	688,172	470,538	217,634
7	1+600	45,08	633,5	435,3	32,8	180	760,20	522,36	674,534	463,496	211,038
8	1+800	43,97	439,1	346,7	32,8	180	526,92	416,04	479,345	378,476	100,869
9	2+000	44,20	481,4	319,1	32,8	180	577,68	382,92	522,787	346,534	176,253
10	2+200	44,18	395,1	314,1	32,8	180	474,12	376,92	429,262	341,258	88,004
11	2+400	44,55	384,0	215,7	32,8	180	460,80	258,84	413,737	232,404	181,333
12	2+600	44,91	525,4	301,5	32,8	180	630,48	361,80	561,550	322,244	239,305
13	2+800	44,94	361,3	198,4	32,8	180	433,56	238,08	385,901	211,909	173,992
14	3+600	44,09	674,1	480,7	32,8	180	808,92	576,84	733,881	523,330	210,551
15	3+800	44,55	652,7	440,8	32,8	180	783,24	528,96	703,246	474,936	228,310
16	4+000	44,52	669,7	491,5	32,8	180	803,64	589,80	722,049	529,919	192,129
17	4+400	45,17	551,4	131,0	32,8	180	661,68	157,20	585,946	139,207	446,739
18	4+800	44,28	375,0	206,4	32,8	180	450,00	247,68	406,504	223,740	182,764

No	Stasiun	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)	Temp. Aspal	Tebal Aspal (mm)	D ₀ Faktor Koreksi Musim	D ₂₀₀ Faktor Koreksi Musim	D ₀ Normal	D ₂₀₀ Normal	D ₀ - D ₂₀₀
19	5+000	44,55	350,3	194,4	32,8	180	420,36	233,28	377,428	209,455	167,973
20	5+400	44,74	317,4	176,8	32,8	180	380,88	212,16	340,527	189,683	150,845
21	5+600	45,15	293,4	171,2	32,8	180	352,08	205,44	311,920	182,007	129,914
22	5+800	45,10	275,4	169,0	32,8	180	330,48	202,80	293,109	179,867	113,242
23	6+600	43,07	683,9	402,3	32,8	180	820,68	482,76	762,182	448,349	313,833
24	6+800	43,54	669,5	399,4	32,8	180	803,40	479,28	738,080	440,312	297,768
25	7+000	43,53	444,3	316,6	32,8	180	533,16	379,92	489,924	349,111	140,813
26	7+200	44,60	417,2	236,6	32,8	180	500,64	283,92	449,004	254,637	194,368
27	7+400	44,81	352,1	223,6	32,8	180	422,52	268,32	377,166	239,518	137,648
28	7+600	44,84	341,1	220,2	32,8	180	409,32	264,24	365,138	235,718	129,420
29	7+800	43,63	675,3	325,6	32,8	180	810,36	390,72	742,938	358,212	384,726
30	8+000	43,88	572,1	301,0	32,8	180	686,52	361,20	625,816	329,262	296,554
31	8+200	43,86	500,6	302,8	32,8	180	600,72	363,36	547,852	331,382	216,471
32	8+600	44,62	498,4	278,3	32,8	180	598,08	333,96	536,154	299,381	236,773
33	8+800	44,60	564,7	277,6	32,8	180	677,64	333,12	607,749	298,762	308,987

Lampiran 3 Lanjutan Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode Bina Marga 2024

No	Stasiun	AMPT/TLap	D ₀ Faktor Koreksi Temp.	D ₀ - D ₂₀₀ Faktor Koreksi Temp.	D ₀ Terkoreksi Temp.	D ₀ - D ₂₀₀ Terkoreksi Temp.	D ₀ Penyesuaian ke BB	D ₀ ² (μm) ²
1	0+000	1,25	1,05	1,15	717,441	383,239	918,325	843.320,687
2	0+200	1,25	1,05	1,15	557,153	255,749	713,156	508.591,704
3	0+400	1,25	1,05	1,15	488,201	190,004	624,897	390.496,821
4	1+000	1,25	1,05	1,15	309,768	78,570	396,503	157.214,350
5	1+200	1,25	1,05	1,15	851,421	323,651	1.089,819	1.187.705,932
6	1+400	1,25	1,05	1,15	723,791	249,369	926,453	858.314,638
7	1+600	1,25	1,05	1,15	709,447	241,811	908,093	824.632,347
8	1+800	1,25	1,05	1,15	504,155	115,577	645,319	416.436,594
9	2+000	1,25	1,05	1,15	549,846	201,954	703,803	495.339,061
10	2+200	1,25	1,05	1,15	451,480	100,836	577,895	333.962,404
11	2+400	1,25	1,05	1,15	435,152	207,775	556,995	310.242,988
12	2+600	1,25	1,05	1,15	590,615	274,200	755,987	571.516,759
13	2+800	1,25	1,05	1,15	405,875	199,363	519,520	269.901,147
14	3+600	1,25	1,05	1,15	771,866	241,253	987,988	976.120,423
15	3+800	1,25	1,05	1,15	739,645	261,602	946,746	896.327,563
16	4+000	1,25	1,05	1,15	759,421	220,145	972,059	944.898,652
17	4+400	1,25	1,05	1,15	616,274	511,882	788,831	622.254,843
18	4+800	1,25	1,05	1,15	427,544	209,415	547,257	299.489,950

No	Stasiun	AMPT/TLap	D ₀ Faktor Koreksi Temp.	D ₀ - D ₂₀₀ Faktor Koreksi Temp.	D ₀ Terkoreksi Temp.	D ₀ - D ₂₀₀ Terkoreksi Temp.	D ₀ Penyesuaian ke BB	D ₀ ² (μm) ²
19	5+000	1,25	1,05	1,15	396,963	192,467	508,113	258.178,338
20	5+400	1,25	1,05	1,15	358,153	172,841	458,436	210.163,275
21	5+600	1,25	1,05	1,15	328,065	148,857	419,923	176.335,459
22	5+800	1,25	1,05	1,15	308,280	129,754	394,598	155.707,571
23	6+600	1,25	1,05	1,15	801,632	359,596	1.026,089	1.052.859,468
24	6+800	1,25	1,05	1,15	776,282	341,188	993,641	987.323,005
25	7+000	1,25	1,05	1,15	515,282	161,346	659,561	435.021,013
26	7+200	1,25	1,05	1,15	472,245	222,710	604,473	365.387,617
27	7+400	1,25	1,05	1,15	396,688	157,719	507,760	257.820,298
28	7+600	1,25	1,05	1,15	384,037	148,292	491,568	241.639,080
29	7+800	1,25	1,05	1,15	781,392	440,826	1.000,182	1.000.363,912
30	8+000	1,25	1,05	1,15	658,208	339,797	842,506	709.815,699
31	8+200	1,25	1,05	1,15	576,209	248,036	737,547	543.975,549
32	8+600	1,25	1,05	1,15	563,905	271,299	721,798	520.992,988
33	8+800	1,25	1,05	1,15	639,205	354,042	818,183	669.423,264

**Lampiran 4 Faktor Ekuivalensi Beban Gandar Untuk Perkerasan Lentur
Pada Beban Gandar Tunggal Untuk $p_t = 2,5$**

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
4	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
6	0,011	0,017	0,017	0,013	0,010	0,09
8	0,032	0,047	0,051	0,041	0,034	0,031
10	0,078	0,102	0,118	0,102	0,088	0,080
12	0,168	0,198	0,229	0,213	0,189	0,176
14	0,328	0,358	0,399	0,388	0,360	0,342
16	0,591	0,613	0,646	0,645	0,623	0,606
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,61	1,57	1,49	1,47	1,51	1,55
22	2,48	2,38	2	2,09	2,18	2,30
24	3,69	3,49	3,09	2,89	3,03	3,27
26	5,33	4,99	4,31	3,91	4,09	4,48
28	7,49	6,98	5,90	5,21	5,39	5,98
30	10,3	9,5	7,9	6,8	7,0	7,8
32	13,9	12,8	10,5	8,8	8,9	10,0
34	18,4	16,9	13,7	11,3	11,2	12,5
36	24,0	22,0	17,7	14,4	13,9	15,5
38	30,9	28,3	22,6	18,1	17,2	19,0
40	39,3	35,9	28,5	22,5	21,1	23,0
42	49,3	45,0	35,6	27,8	25,6	27,7
44	61,3	55,9	44,0	34,0	31,0	33,1
46	75,5	38,8	54,0	41,4	37,2	39,3
48	92,2	83,9	65,7	50,1	44,5	46,5
50	112	102	79	60	53	55

**Lampiran 5 Faktor Ekuivalensi Beban Gandar Untuk Perkerasan Lentur
Pada Beban Gandar Tandem Untuk $p_t = 2,5$**

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002
6	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
8	0,004	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003
10	0,008	0,013	0,011	0,009	0,007	0,006
12	0,015	0,024	0,023	0,018	0,014	0,013
14	0,026	0,041	0,042	0,033	0,027	0,024
16	0,044	0,065	0,070	0,057	0,047	0,043
18	0,070	0,097	0,109	0,092	0,077	0,070
20	0,107	0,141	0,162	0,141	0,121	0,110
22	0,160	0,198	0,229	0,207	0,180	0,166
24	0,231	0,273	0,315	0,292	0,260	0,242
26	0,327	0,370	0,420	0,401	0,364	0,342
28	0,451	0,493	0,548	0,534	0,495	0,470
30	0,611	0,648	0,703	0,695	0,658	0,633
32	0,813	0,843	0,889	0,887	0,857	0,834
34	1,06	1,08	1,11	1,11	1,09	1,08
36	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	1,75	1,73	1,69	1,68	1,70	1,73
40	2,21	2,16	2,06	2,03	2,08	2,14
42	2,76	2,67	2,49	2,43	2,51	2,61
44	3,41	3,27	2,99	2,88	3,00	3,16
46	4,18	3,98	3,58	3,40	3,55	3,79
48	5,08	4,80	4,25	3,98	4,17	4,49
50	6,12	5,76	5,03	4,64	4,86	5,28
52	7,33	6,87	5,93	5,38	5,63	6,17
54	8,72	8,14	6,95	6,22	6,47	7,15
56	10,3	9,6	8,1	7,2	7,4	8,2
58	12,1	11,3	9,4	8,2	8,4	9,4
60	14,2	13,1	10,9	9,4	9,6	10,7
62	16,5	15,3	12,6	10,7	10,8	12,1
64	19,1	17,6	14,5	12,2	12,2	13,7
66	22,1	20,3	16,6	13,8	13,7	15,4

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
68	25,3	23,3	18,9	15,6	15,4	17,2
70	29,0	26,6	21,5	17,6	17,2	19,2
72	33,0	30,3	24,4	19,8	19,2	21,3
74	37,5	34,4	27,6	22,2	21,3	23,6
76	42,5	38,9	31,1	24,8	23,7	26,1
78	48,0	43,9	35,0	27,8	26,2	28,8
80	54,0	49,4	39,2	30,9	29,0	31,7
82	60,6	55,4	43,9	34,4	32,0	34,8
84	67,8	61,9	49,0	38,2	35,3	38,1
86	75,7	69,1	54,5	42,3	38,8	41,7
88	84,3	76,9	60,6	46,8	42,6	45,6
90	93,7	85,4	67,1	51,7	46,8	49,7

Lampiran 6 Perhitungan Faktor VDF Kendaraan

1. Golongan 2

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (2)	SN	Beban Gandar (4)	SN	Beban Gandar (2)	SN	Beban Gandar (4)
5	0,0002	5	0,002	5	0,0002	5	0,002
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,0002	6	0,002	6	0,0002	6	0,002
diperoleh x	0,0002	diperoleh x	0,002	diperoleh x	0,0002	diperoleh x	0,002
VDF(2 kips)	0,0002	VDF(4 kips)	0,0020	VDF(2 kips)	0,0002	VDF(4 kips)	0,0020

2. Golongan 3

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (6)	SN	Beban Gandar (8)	SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (14)
5	0,01	5	0,034	5	0,189	5	0,36
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,009	6	0,031	6	0,176	6	0,342
diperoleh x	0,0092	diperoleh x	0,0315	diperoleh x	0,1781	diperoleh x	0,3449
VDF(6 kips)	0,0092	VDF(8 kips)	0,0315	VDF(12 kips)	0,1781	VDF(14 kips)	0,3449

3. Golongan 4

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (6)	SN	Beban Gandar (8)	SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (14)
5	0,01	5	0,034	5	0,189	5	0,36
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,009	6	0,031	6	0,176	6	0,342
diperoleh x	0,0092	diperoleh x	0,0315	diperoleh x	0,1781	diperoleh x	0,3449
VDF(6 kips)	0,0092	VDF(8 kips)	0,0315	VDF(12 kips)	0,1781	VDF(14 kips)	0,3449

4. Golongan 5A

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (6)	SN	Beban Gandar (8)	SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (14)
5	0,01	5	0,034	5	0,189	5	0,36
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,009	6	0,031	6	0,176	6	0,342
diperoleh x	0,0092	diperoleh x	0,0315	diperoleh x	0,1781	diperoleh x	0,3449
VDF(6 kips)	0,0092	VDF(8 kips)	0,0315	VDF(12 kips)	0,1781	VDF(14 kips)	0,3449

5. Golongan 5B

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (6)	SN	Beban Gandar (8)	SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (14)
5	0,01	5	0,034	5	0,189	5	0,36
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,009	6	0,031	6	0,176	6	0,342
diperoleh x	0,0092	diperoleh x	0,0315	diperoleh x	0,1781	diperoleh x	0,3449
VDF(6 kips)	0,0092	VDF(8 kips)	0,0315	VDF(12 kips)	0,1781	VDF(14 kips)	0,3449

6. Golongan 6A

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (10)	SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (22)	SN	Beban Gandar (24)
5	0,088	5	0,189	5	2,18	5	3,03
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,08	6	0,176	6	2,3	6	3,27
diperoleh x	0,0813	diperoleh x	0,1781	diperoleh x	2,2804	diperoleh x	3,2308
VDF(10 kips)	0,0813	VDF(12 kips)	0,1781	VDF(22 kips)	2,2804	VDF(24 kips)	3,2308

7. Golongan 6B

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (10)	SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (22)	SN	Beban Gandar (24)
5	0,088	5	0,189	5	2,18	5	3,03
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,08	6	0,176	6	2,3	6	3,27
diperoleh x	0,0813	diperoleh x	0,1781	diperoleh x	2,2804	diperoleh x	3,2308
VDF(10 kips)	0,0813	VDF(12 kips)	0,1781	VDF(22 kips)	2,2804	VDF(24 kips)	3,2308

8. Golongan 7A

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tandem) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (14)	SN	Beban Gandar (40)	SN	Beban Gandar (42)
5	0,189	5	0,36	5	2,08	5	2,51
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,176	6	0,342	6	2,14	6	2,61
diperoleh x	0,1781	diperoleh x	0,3449	diperoleh x	2,1302	diperoleh x	2,5937
VDF(12 kips)	0,1781	VDF(14 kips)	0,3449	VDF(40 kips)	2,1302	VDF(42 kips)	2,5937

9. Golongan 7B

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tunggal) (SN 5,84)			
SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (14)	SN	Beban Gandar (18)	SN	Beban Gandar (20)
5	0,189	5	0,36	5	1	5	1,51
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,176	6	0,342	6	1	6	1,55
diperoleh x	0,1781	diperoleh x	0,3449	diperoleh x	1,0000	diperoleh x	1,5435
VDF(12 kips)	0,1781	VDF(14 kips)	0,3449	VDF(18 kips)	1,0000	VDF(20 kips)	1,5435

10. Golongan 7C

Roda Depan (tunggal) (SN 5,84)				Roda Belakang (tandem) (SN 5,84)							
SN	Beban Gandar (12)	SN	Beban Gandar (14)	SN	Beban Gandar (46)	SN	Beban Gandar (48)	SN	Beban Gandar (16)	SN	Beban Gandar (18)
5	0,189	5	0,36	5	3,55	5	4,17	5	0,047	5	0,077
5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x	5,84	x
6	0,176	6	0,342	6	3,79	6	4,49	6	0,043	6	0,07
diperoleh x	0,1781	diperoleh x	0,3449	diperoleh x	3,7508	diperoleh x	4,4377	diperoleh x	0,0437	diperoleh x	0,0711
VDF(12 kips)	0,1781	VDF(14 kips)	0,3449	VDF(46 kips)	3,7508	VDF(48 kips)	4,4377	VDF(16 kips)	0,0437	VDF(18 kips)	0,0711

Lampiran 7 Perhitungan Faktor VDF Kendaraan yang Digunakan

1. Golongan 2

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
2	0,0002	2	0,0002
2,2046	x	2,2046	y
4	0,0020	4	0,0020
diperoleh x	0,000384	diperoleh y	0,000384
VDF	0,000768		

2. Golongan 3

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
6	0,0092	12	0,1781
6,2213	x	12,0767	y
8	0,0315	14	0,3449
diperoleh x	0,011634	diperoleh y	0,184520
VDF	0,196154		

3. Golongan 4

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
6	0,0092	12	0,1781
6,2213	x	12,0767	y
8	0,0315	14	0,3449
diperoleh x	0,011634	diperoleh y	0,184520
VDF	0,196154		

4. Golongan 5A

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
6	0,0092	12	0,1781
6,2213	x	12,0767	y
8	0,0315	14	0,3449
diperoleh x	0,011634	diperoleh y	0,184520
VDF	0,196154		

5. Golongan 5B

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
6	0,0092	12	0,1781
6,7459	x	13,0951	y
8	0,0315	14	0,3449
diperoleh x	0,017491	diperoleh y	0,269461
VDF	0,286952		

6. Golongan 6A

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
10	0,0813	22	2,2804
11,3557	x	22,0433	y
12	0,1781	24	3,2308
diperoleh x	0,146933	diperoleh y	2,300989
VDF	2,447921		

7. Golongan 6B

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
10	0,0813	22	2,2804
11,3557	x	22,0433	y
12	0,1781	24	3,2308
diperoleh x	0,146933	diperoleh y	2,300989
VDF	2,447921		

8. Golongan 7A

Roda Depan (tunggal)		Roda Belakang (tunggal)	
Beban Gandar (kips)	SN (5,84)	Beban Gandar (kips)	SN (5,84)
12	0,1781	40	2,1302
13,7788	x	41,33625	y
14	0,3449	42	2,5937
diperoleh x	0,326487	diperoleh y	2,4398
VDF	2,766336		

Lampiran 8 Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode AASHTO 1993

Stasiun	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	Temp. Aspal	D	Dasp
	kPa	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°c	in	in
0+000	607,0	42,9	609,8	310,8	242,7	183,8	136,9	104,7	98,4	39,2	31,5	32,8	20,1	7,09
0+200	619,0	43,7	482,5	279,2	222,6	170,1	128,6	78,7	54,4	38,6	32,5	32,8	20,1	7,09
0+400	618,0	43,7	422,4	271,5	218,9	167,1	127,6	79,4	54,6	40,2	32,2	32,8	20,1	7,09
1+000	631,0	44,6	273,6	209,9	179,2	145,5	112,7	75,8	52,7	36,4	26,7	32,8	20,1	7,09
1+200	621,0	43,9	739,7	481,6	347,7	225,5	148,0	102,4	91,7	46,2	41,5	32,8	20,1	7,09
1+400	632,0	44,6	640,0	437,6	326,1	224,1	152,3	104,8	96,6	46,0	40,1	32,8	20,1	7,09
1+600	638,0	45,1	633,5	435,3	326,3	223,8	154,9	103,4	99,2	49,0	43,5	32,8	20,1	7,09
1+800	622,0	44,0	439,1	346,7	280,5	211,8	156,5	86,6	53,0	37,9	30,3	32,8	20,1	7,09
2+000	625,0	44,2	481,4	319,1	264,6	202,5	150,5	86,6	53,1	39,1	31,7	32,8	20,1	7,09
2+200	625,0	44,2	395,1	314,1	262,4	202,6	152,0	88,4	56,3	40,8	34,4	32,8	20,1	7,09
2+400	630,0	44,6	384,0	215,7	176,9	133,3	100,0	60,8	41,9	30,8	26,4	32,8	20,1	7,09
2+600	635,0	44,9	525,4	301,5	166,1	126,9	97,2	60,6	43,0	30,6	26,9	32,8	20,1	7,09
2+800	636,0	44,9	361,3	198,4	163,6	125,5	96,5	60,1	42,8	30,3	26,0	32,8	20,1	7,09
3+600	624,0	44,1	674,1	480,7	355,6	236,6	168,6	105,5	82,8	68,1	59,3	32,8	20,1	7,09
3+800	630,0	44,6	652,7	440,8	341,2	256,1	195,1	112,7	95,3	64,5	56,7	32,8	20,1	7,09
4+000	630,0	44,5	669,7	491,5	296,9	207,8	155,5	101,9	87,5	67,8	59,7	32,8	20,1	7,09
4+400	639,0	45,2	551,4	131,0	114,8	96,9	85,0	59,6	45,2	34,6	30,5	32,8	20,1	7,09
4+800	627,0	44,3	375,0	206,4	181,4	149,2	117,3	68,9	46,8	32,4	28,1	32,8	20,1	7,09
5+000	630,0	44,6	350,3	194,4	170,0	141,0	111,7	66,6	44,7	32,7	28,1	32,8	20,1	7,09

Stasiun	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	Temp. Aspal	D	Dasp
	kPa	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°c	in	in
5+600	639,0	45,2	293,4	171,2	148,2	124,7	99,5	67,0	49,0	37,3	31,6	32,8	20,1	7,09
5+800	638,0	45,1	275,4	169,0	147,3	123,0	98,9	66,6	48,7	36,6	30,5	32,8	20,1	7,09
6+600	609,0	43,1	683,9	402,3	279,5	208,4	159,0	108,4	97,4	56,1	44,8	32,8	20,1	7,09
6+800	616,0	43,5	669,5	399,4	263,5	200,2	155,8	100,9	93,8	59,3	50,7	32,8	20,1	7,09
7+000	616,0	43,5	444,3	316,6	262,1	199,6	155,8	101,8	75,2	58,1	50,5	32,8	20,1	7,09
7+200	631,0	44,6	417,2	236,6	153,9	125,3	95,0	53,8	38,9	29,0	24,5	32,8	20,1	7,09
7+400	634,0	44,8	352,1	223,6	156,9	120,7	93,2	55,0	39,9	28,8	25,5	32,8	20,1	7,09
7+600	634,0	44,8	341,1	220,2	157,5	120,1	91,2	53,1	37,8	28,4	25,6	32,8	20,1	7,09
7+800	617,0	43,6	675,3	325,6	250,0	173,7	139,8	111,4	90,0	37,7	33,8	32,8	20,1	7,09
8+000	621,0	43,9	572,1	301,0	238,8	167,8	131,9	71,6	52,1	42,7	34,5	32,8	20,1	7,09
8+200	621,0	43,9	500,6	302,8	237,6	167,8	131,9	72,3	52,7	43,3	35,1	32,8	20,1	7,09
8+600	631,0	44,6	498,4	278,3	154,2	123,6	99,4	67,0	51,8	40,3	33,3	32,8	20,1	7,09
8+800	631,0	44,6	564,7	277,6	153,9	123,8	98,8	67,1	51,5	39,4	32,7	32,8	20,1	7,09

Lampiran 8 Lanjutan Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode AASHTO 1993

Stasiun	Defleksi (d)											
	fT	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
		psi	lbs	in	in	in	in	in	in	in	in	in
0+000	0,77	88,038	9.646,55	0,0185	0,0094	0,0074	0,0056	0,0042	0,0032	0,0030	0,0012	0,0010
0+200	0,77	89,779	9.828,65	0,0147	0,0085	0,0068	0,0052	0,0039	0,0024	0,0017	0,0012	0,0010
0+400	0,77	89,633	9.819,65	0,0128	0,0083	0,0067	0,0051	0,0039	0,0024	0,0017	0,0012	0,0010
1+000	0,77	91,519	10.024,23	0,0083	0,0064	0,0054	0,0044	0,0034	0,0023	0,0016	0,0011	0,0008
1+200	0,77	90,069	9.860,12	0,0225	0,0146	0,0106	0,0069	0,0045	0,0031	0,0028	0,0014	0,0013
1+400	0,77	91,664	10.035,47	0,0195	0,0133	0,0099	0,0068	0,0046	0,0032	0,0029	0,0014	0,0012
1+600	0,77	92,534	10.134,39	0,0193	0,0132	0,0099	0,0068	0,0047	0,0031	0,0030	0,0015	0,0013
1+800	0,77	90,214	9.884,85	0,0133	0,0105	0,0085	0,0064	0,0048	0,0026	0,0016	0,0012	0,0009
2+000	0,77	90,649	9.936,55	0,0146	0,0097	0,0080	0,0062	0,0046	0,0026	0,0016	0,0012	0,0010
2+200	0,77	90,649	9.932,06	0,0120	0,0095	0,0080	0,0062	0,0046	0,0027	0,0017	0,0012	0,0010
2+400	0,77	91,374	10.015,24	0,0117	0,0066	0,0054	0,0041	0,0030	0,0018	0,0013	0,0009	0,0008
2+600	0,77	92,099	10.096,17	0,0160	0,0092	0,0050	0,0039	0,0030	0,0018	0,0013	0,0009	0,0008
2+800	0,77	92,244	10.102,91	0,0110	0,0060	0,0050	0,0038	0,0029	0,0018	0,0013	0,0009	0,0008
3+600	0,77	90,504	9.911,82	0,0205	0,0146	0,0108	0,0072	0,0051	0,0032	0,0025	0,0021	0,0018
3+800	0,77	91,374	10.015,24	0,0198	0,0134	0,0104	0,0078	0,0059	0,0034	0,0029	0,0020	0,0017
4+000	0,77	91,374	10.008,49	0,0204	0,0149	0,0090	0,0063	0,0047	0,0031	0,0027	0,0021	0,0018
4+400	0,77	92,679	10.154,62	0,0168	0,0040	0,0035	0,0029	0,0026	0,0018	0,0014	0,0011	0,0009
4+800	0,77	90,939	9.954,54	0,0114	0,0063	0,0055	0,0045	0,0036	0,0021	0,0014	0,0010	0,0009
5+000	0,77	91,374	10.015,24	0,0106	0,0059	0,0052	0,0043	0,0034	0,0020	0,0014	0,0010	0,0009

Stasiun	Defleksi (d)											
	fT	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
		psi	lbs	in	in	in	in	in	in	in	in	in
5+400	0,77	91,809	10.057,95	0,0096	0,0054	0,0047	0,0039	0,0032	0,0021	0,0015	0,0011	0,0009
5+600	0,77	92,679	10.150,12	0,0089	0,0052	0,0045	0,0038	0,0030	0,0020	0,0015	0,0011	0,0010
5+800	0,77	92,534	10.138,88	0,0084	0,0051	0,0045	0,0037	0,0030	0,0020	0,0015	0,0011	0,0009
6+600	0,77	88,328	9.682,52	0,0208	0,0122	0,0085	0,0063	0,0048	0,0033	0,0030	0,0017	0,0014
6+800	0,77	89,343	9.788,18	0,0203	0,0121	0,0080	0,0061	0,0047	0,0031	0,0029	0,0018	0,0015
7+000	0,77	89,343	9.785,93	0,0135	0,0096	0,0080	0,0061	0,0047	0,0031	0,0023	0,0018	0,0015
7+200	0,77	91,519	10.026,48	0,0127	0,0072	0,0047	0,0038	0,0029	0,0016	0,0012	0,0009	0,0007
7+400	0,77	91,954	10.073,69	0,0107	0,0068	0,0048	0,0037	0,0028	0,0017	0,0012	0,0009	0,0008
7+600	0,77	91,954	10.080,43	0,0104	0,0067	0,0048	0,0037	0,0028	0,0016	0,0011	0,0009	0,0008
7+800	0,77	89,488	9.808,41	0,0205	0,0099	0,0076	0,0053	0,0042	0,0034	0,0027	0,0011	0,0010
8+000	0,77	90,069	9.864,61	0,0174	0,0091	0,0073	0,0051	0,0040	0,0022	0,0016	0,0013	0,0010
8+200	0,77	90,069	9.860,12	0,0152	0,0092	0,0072	0,0051	0,0040	0,0022	0,0016	0,0013	0,0011
8+600	0,77	91,519	10.030,97	0,0151	0,0085	0,0047	0,0038	0,0030	0,0020	0,0016	0,0012	0,0010
8+800	0,77	91,519	10.026,48	0,0172	0,0084	0,0047	0,0038	0,0030	0,0020	0,0016	0,0012	0,0010

Lampiran 8 Lanjutan Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode AASHTO 1993

Stasiun	Modulus Resilient (Mr)							
	Mr2	Mr3	Mr4	Mr5	Mr6	Mr7	Mr8	Mr9
	psi	psi	psi	psi	psi	psi	psi	psi
0+000	31.124,80	26.572,14	23.391,58	23.553,91	20.531,87	16.384,81	32.903,36	34.122,01
0+200	35.301,56	29.518,40	25.752,68	25.547,42	27.830,57	30.196,68	34.045,58	33.696,39
0+400	36.269,53	29.989,88	26.191,04	25.724,08	27.559,97	30.058,54	32.660,62	33.979,22
1+000	47.891,03	37.397,05	30.705,85	29.731,82	29.470,32	31.791,04	36.821,71	41.832,40
1+200	20.531,06	18.958,41	19.488,06	22.269,72	21.457,80	17.971,20	28.536,09	26.473,24
1+400	22.997,26	20.573,65	19.958,55	22.025,82	21.339,27	17.363,01	29.169,85	27.884,73
1+600	23.346,64	20.763,70	20.182,29	21.869,58	21.841,38	17.074,58	27.653,86	25.958,60
1+800	28.591,16	23.559,25	20.800,66	21.113,00	25.436,37	31.171,56	34.872,66	36.349,67
2+000	31.226,59	25.105,58	21.869,75	22.069,56	25.569,43	31.275,60	33.979,22	34.926,06
2+200	31.709,32	25.304,62	21.849,07	21.841,88	25.037,45	29.484,60	32.548,68	32.170,21
2+400	46.561,47	37.849,29	33.486,07	33.477,70	36.708,00	39.949,52	43.477,53	42.269,82
2+600	33.580,32	40.636,03	35.459,13	34.720,40	37.126,76	39.242,12	44.115,33	41.819,36
2+800	51.064,67	41.284,56	35.878,64	34.995,61	37.460,64	39.451,83	44.581,87	43.295,86
3+600	20.677,36	18.634,43	18.671,19	19.651,26	20.936,51	20.007,26	19.460,81	18.623,96
3+800	22.784,28	19.623,50	17.429,49	17.159,25	19.803,43	17.564,37	20.761,36	19.681,19
4+000	20.420,24	22.536,31	21.466,25	21.514,57	21.887,57	19.117,23	19.737,55	18.679,59
4+400	77.733,45	59.135,20	46.706,03	39.933,65	37.968,24	37.548,24	39.241,16	37.096,84
4+800	48.364,54	36.686,66	29.736,20	28.367,27	32.196,23	35.550,00	41.080,00	39.471,89
5+000	51.663,11	39.385,53	31.657,40	29.971,08	33.511,21	37.447,09	40.951,31	39.712,57

Stasiun	Modulus Resilient (Mr)							
	Mr2	Mr3	Mr4	Mr5	Mr6	Mr7	Mr8	Mr9
	psi	psi	psi	psi	psi	psi	psi	psi
5+400	57.048,32	43.409,26	35.131,11	32.358,49	32.577,98	34.447,21	37.047,36	37.231,98
5+600	59.454,28	45.787,55	36.277,55	34.099,07	33.759,78	34.621,00	36.384,53	35.789,64
5+800	60.161,54	46.016,30	36.738,21	34.267,95	33.924,93	34.795,69	37.039,35	37.039,35
6+600	24.135,37	23.159,59	20.707,31	20.355,68	19.905,00	16.614,75	23.077,03	24.081,50
6+800	24.575,90	24.833,94	21.790,69	21.000,46	21.617,92	17.440,68	22.069,96	21.511,32
7+000	30.996,09	24.960,86	21.851,17	20.995,64	21.421,88	21.749,47	22.520,62	21.591,55
7+200	42.496,12	43.554,61	35.664,03	35.279,23	41.530,69	43.078,75	46.227,96	45.599,01
7+400	45.178,55	42.922,98	37.197,55	36.129,91	40.815,85	42.196,84	46.768,16	44.017,10
7+600	45.906,84	42.788,09	37.408,41	36.946,95	42.304,61	44.570,93	47.458,62	43.874,51
7+800	30.208,55	26.229,08	25.167,03	23.452,33	19.620,80	18.214,64	34.786,58	32.333,68
8+000	32.864,67	27.616,60	26.201,21	24.999,41	30.702,25	31.645,12	30.889,20	31.859,15
8+200	32.654,41	27.743,42	26.189,26	24.988,01	30.391,14	31.270,58	30.447,29	31.300,27
8+600	36.144,77	43.489,36	36.170,77	33.732,70	33.363,48	32.365,15	33.280,69	33.563,86
8+800	36.219,67	43.554,61	36.096,15	33.922,34	33.298,83	32.539,10	34.025,66	34.164,39

Lampiran 8 Lanjutan Tabel Perhitungan Tebal Lapis Tambah Metode AASHTO 1993

Stasiun	MR	MR Desain	$r_{\min} \leq r$		EP	S _{Neff}	S _{Nf}	log W ₁₈	DESAIN IDEAL		
									aol	D _{OL}	
	psi	psi	in		psi	in	in			in	cm
0+000	16.384,81	5.406,99	21,89	OK	58.607,36	3,51	3,81	7,11	0,40	0,76	1,93
0+200	30.196,68	9.964,90	18,60	OK	64.837,26	3,63	3,12	7,11	0,40	-1,28	-
0+400	30.058,54	9.919,32	19,76	OK	78.103,77	3,86	3,12	7,11	0,40	-1,84	-
1+000	31.791,04	10.491,04	23,89	OK	149.198,18	4,79	3,07	7,11	0,40	-4,31	-
1+200	17.971,20	5.930,50	19,38	OK	43.953,85	3,19	3,70	7,11	0,40	1,28	3,26
1+400	17.363,01	5.729,79	21,21	OK	56.285,89	3,46	3,74	7,11	0,40	0,70	1,78
1+600	17.074,58	5.634,61	21,57	OK	58.383,01	3,51	3,76	7,11	0,40	0,65	1,64
1+800	31.171,56	10.286,61	19,15	OK	73.406,95	3,78	3,09	7,11	0,40	-1,74	-
2+000	31.275,60	10.320,95	18,41	OK	65.008,69	3,63	3,08	7,11	0,40	-1,37	-
2+200	29.484,60	9.729,92	20,64	OK	87.858,05	4,02	3,14	7,11	0,40	-2,18	-
2+400	39.949,52	13.183,34	18,32	OK	81.864,07	3,92	2,84	7,11	0,40	-2,71	-
2+600	39.242,12	12.949,90	16,25	OK	54.848,43	3,43	2,85	7,11	0,40	-1,45	-
2+800	39.451,83	13.019,10	19,00	OK	90.652,33	4,06	2,85	7,11	0,40	-3,02	-
3+600	20.007,26	6.602,40	19,31	OK	48.339,44	3,29	3,57	7,11	0,40	0,71	1,80
3+800	17.564,37	5.796,24	20,87	OK	54.173,98	3,42	3,73	7,11	0,40	0,78	1,97
4+000	19.117,23	6.308,69	19,85	OK	50.380,18	3,34	3,63	7,11	0,40	0,73	1,85
4+400	37.548,24	12.390,92	16,26	OK	52.599,44	3,39	2,90	7,11	0,40	-1,22	-
4+800	35.550,00	11.731,50	19,44	OK	87.789,20	4,02	2,95	7,11	0,40	-2,66	-
5+000	37.447,09	12.357,54	19,64	OK	95.428,48	4,13	2,90	7,11	0,40	-3,07	-

Stasiun	MR	MR Desain	r min ≤ r		EP	S _{Neff}	S _{Nf}	log W ₁₈	DESAIN IDEAL		
									aol	D _{OL}	
	psi	psi	in		psi	in	in			in	cm
5+400	34.447,21	11.367,58	21,40	OK	114.903,86	4,39	2,98	7,11	0,40	-3,52	-
5+600	34.621,00	11.424,93	22,26	OK	130.532,27	4,58	2,98	7,11	0,40	-4,01	-
5+800	34.795,69	11.482,58	22,89	OK	143.062,69	4,73	2,97	7,11	0,40	-4,38	-
6+600	16.614,75	5.482,87	20,64	OK	49.447,51	3,32	3,80	7,11	0,40	1,20	3,05
6+800	17.440,68	5.755,43	20,49	OK	50.735,26	3,34	3,74	7,11	0,40	0,98	2,49
7+000	21.749,47	7.177,33	22,40	OK	83.550,92	3,95	3,48	7,11	0,40	-1,18	-
7+200	43.078,75	14.215,99	17,14	OK	71.444,01	3,75	2,76	7,11	0,40	-2,46	-
7+400	42.196,84	13.924,96	18,63	OK	91.031,99	4,06	2,78	7,11	0,40	-3,20	-
7+600	44.570,93	14.708,41	18,45	OK	93.334,35	4,10	2,73	7,11	0,40	-3,42	-
7+800	18.214,64	6.010,83	20,03	OK	49.352,65	3,31	3,69	7,11	0,40	0,93	2,36
8+000	31.645,12	10.442,89	16,98	OK	50.883,52	3,35	3,07	7,11	0,40	-0,69	-
8+200	31.270,58	10.319,29	18,05	OK	61.066,10	3,56	3,08	7,11	0,40	-1,19	-
8+600	32.365,15	10.680,50	17,95	OK	62.112,67	3,58	3,05	7,11	0,40	-1,33	-
8+800	32.539,10	10.737,90	16,99	OK	52.441,85	3,38	3,04	7,11	0,40	-0,85	-