

TUGAS AKHIR

MENGEVALUASI TEBAL LAPIS TAMBAH (OVERLAY) DENGAN METODE AASHTO 1993 DENGAN DATA FWD (Studi Kasus: Jalan Lingkar Luar Binjai)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

DISUSUN OLEH:

VANISA GUSTIAWAN
1807210136



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

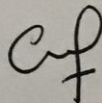
Nama : Vanisa Gustiawan
NPM : 1807210136
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Mengevaluasi Tebal Lapis Tambah (Overlay)
dengan Metode AASHTO 1993 dengan Data FWD
(Studi Kasus: Jalan Lingkar Luar Binjai)
Bidang Ilmu : Transportasi

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 19 September 2022

Dosen Pembimbing



Muhammad Husin Gultom ST.,MT

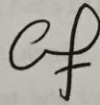
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Vanisa Gustiawan
NPM : 1807210136
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Mengevaluasi Tebal Lapis Tambah (Overlay)
dengan Metode AASHTO 1993 dengan Data FWD
(Studi Kasus: Jalan Lingkar Luar Binjai)
Bidang Ilmu : Transportasi

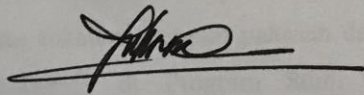
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 19 September 2022
Dosen Pembimbing



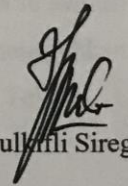
Muhammad Husin Gultom ST., MT

Dosen Penguji I



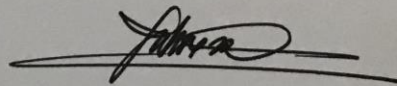
Dr. Fahrizal Zulkarnain ST.,M.Sc

Dosen Penguji II



Zulfidli Siregar ST.,MT

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain ST.,M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Vanisa Gustiawan
Tempat, Tanggal Lahir : Padang, 05 Juli 2000
NPM : 1807210136
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul "Mengevaluasi Tebal Lapis Tambah (Overlay) dengan Metode AASHTO 1993 dengan Data FWD (Studi Kasus: Jalan Lingkar Luar Binjai)"

Bukan merupakan plagiatisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian anatara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat serupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 19 September 2022



Vanisa Gustiawan

ABSTRAK

MENGEVALUASI TEBAL LAPIS TAMBAH (OVERLAY) DENGAN METODE AASHTO 1993 DENGAN DATA FWD (Studi Kasus: Jalan Lingkar Luar Binjai)

Vanisa Gustiawan

1807210136

Muhammad Husin Gultom ST., MT

Analisis kondisi struktur perkerasan dengan data lendutan hasil pengukuran alat FWD (*Falling Weight Deflectometer*) adalah untuk mengevaluasi kekuatan struktur perkerasan terpasanga yang bersifat tidak merusak (*non-destructive test*). Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan menggunakan Metode AASHTO 1993 pada studi kasus ruas jalan Lingkar Luar Binjai. Menggunakan ESAL rencana tahun 2021 hingga 2031 sebesar 22.985.580 pada ruas jalan Lingkar Luar Binjai, Metode AASHTO 1993 yang menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) pada ruas jalan Lingkar Luar Binjai sebesar 9,92 cm. Dalam analisis kondisi struktural data lendutan FWD (*Falling Weight Deflectometer*) digunakan untuk menghitung beberapa variabel dalam Metode AASHTO 1993, yaitu: nilai Modulus Resilien dari *Subgrade* (M_R), nilai Modulus Efektif di atas tanah dasar (E_p). Kemudian perhitungan dilanjutkan dengan menggunakan data tebal perkerasan dan nilai PSI untuk mendapatkan *Structural Number Original* (SN_O), kumulatif ESAL aktual, *Structural Number Effective* (SN_{eff}), umur sisa perkerasan dan *Structural Number in Future* (SN_f). Pengasumsian tebal lapisan perkerasan mempengaruhi nilai Modulus Elastisitas pada saat proses perhitungan balik (*Back Calculation*). Hasil ini juga menentukan nilai Modulus Elastisitas yang diambil pada jarak yang memenuhi syarat $r \geq 0,7 a_e$ yang nantinya akan mempengaruhi nilai SN_{eff} dan SN_f yang selanjutnya digunakan untuk menentukan tebal lapis tambah (*Overlay*)

Kata kunci: Tebal Lapis Tambah (*Overlay*), Metode AASHTO1993, Data lendutan FWD.

ABSTRACT

EVALUATING THE OVERLAY WITH AASHTO 1993 METHOD WITH FWD DATA

(Case Study: Binjai Outer Ring Road)

Vanisa Gustiawan

1807210136

Muhammad Husin Gultom ST., MT

Analysis of the condition of the pavement structure with deflection data from the FWD (Falling Weight Deflectometer) measurement tool is to evaluate the strength of the installed pavement structure which is non-destructive (non-destructive test). The purpose of this study was to evaluate the thickness of the extra layer of flexible pavement using the Method AASHTO 1993 in the case study of the Binjai Outer Ring Road section. Using the planned ESAL from 2021 to 2031 of 22.985.580 on the Binjai Outer Ring Road section, the Method AASHTO 1993 which produces an overlay on the Binjai Ring Road section of 9,92 cm. in the analysis of structural condition, FWD (Falling Weight Deflectometer) deflection data is used to calculate several variables in the Method AASHTO 1993, namely: the value of the Resilience Modulus of subgrade (M_R), the value of the Effective Modulus above the subgrade (E_p). Then the calculation is continued by using the pavement table data and PSI values to get the Structural Number Original (SN_0), actual cumulative ESAL. Stuctural Number Effective (SN_{eff}), pavement remaining life and Structural Number in Future (SN_f). Assuming the thickness of the pavement layer affects the value of Elasticity Modulus during the back calculation process. This result also determines the value of the Elasticity Modulus taken at a distance that meets the requirements of $r \geq 0,7 a_e$ which will affect the values of (SN_{eff}) and (SN_f) which are then used to determine the thickness of the overlay.

Keywords: Overlay thickness, method AASHTO 1993, deflection data FWD.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhana Wa Ta'ala yang telah memberi rahmat dan karunia yang melimpah sehingga penulis dapat menjalankan penulisan tugas akhir dengan lancar. Kemudian sholawat dan salam kepada nabi besar kita nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kegelepan hingga zaman terang benderang seperti pada saat ini. Alhamdulillah nikmat jasmani dan rohani berkat dari keduanya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “MENGEVALUASI TEBAL LAPIS TAMBAH (OVERLAY) DENGAN METODE AASHTO 1993 DENGAN DATA FWD (Studi Kasus: Jalan Lingkaran luar Binjai)”. Penelitian ini untuk sebagai syarat untuk meraih gelar sarjana program Teknik Sipil kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Terimakasih banyak kepada pihak- pihak yang telah tulus membantu penulis, sehingga penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom S.T.,M.T selaku dosen pembimbing I, yang telah membimbing penulis hingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahirzal Zulkarnain S.T.,M.Sc selaku dosen penguji I dan sekaligus ketua Program Studi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Zulkifli Siregar S.T.,M.T selaku dosen penguji II yang memberi koreksi pada tugas akhir ini agar lebih lancar.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.,M.T.,M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Seluruh Bapak/Ibu Selaku Dosen Program Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Pegawai Staf Biro Administrasi Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Kepada kedua orang tua yang penulis sayangi, sehingga dapat mendukung menyelesaikan proposal tugas akhir ini baik dalam segi moral, maupun materi.
8. Kepada seluruh teman stambuk 2018 terkhusus untuk fakultas teknik sipil yang telah menemani serta menjadi pendukung pengerjaan tugas akhir ini.

Pada tugas akhir ini masih tergolong jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis berharap mendapatkan kritik dan masukan demi kesempurnaan untuk menjadi bahan pembelajaran di masa depan.

Medan, 19 September 2022



Vanisa Gustiawan

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Struktur Perkerasan Lentur	4
2.2 Kinerja Struktur Perkerasan	6
2.2.1 Pemeriksaan Destruktif (<i>Destructive Test</i>)	8
2.2.2 Pemeriksaan Non-Destruktif (<i>Non-Destructive Test</i>)	8
2.3 <i>Falling Weight Deflectometer (FWD)</i>	9
2.3.1 Prosedur pengujian FWD pada perkerasan lentur	11
2.3.2 Parameter-parameter yang berkaitan dengan pengoperasian alat	

FWD	12
2.4 Kondisi Struktural Jalan Berdasarkan Lendutan	14
2.4.1 Lendutan dengan <i>Falling Weight Defloctometer</i> (FWD)	14
2.4.2 Lendutan dengan <i>Benkelmen Beam</i> (BB)	15
2.4.3 Faktor koreksi tebal lapis tambah	15
2.4.4 Prosedur perhitungan	16
2.5 Kapasitas Struktural	19
2.6 Analisa Lalu Lintas (<i>Traffic analysis</i>)	21
2.7 Metode Perhitungan Mundur (<i>Back Calculation</i>)	21
2.8 Perencanaan Tebal Lapis Tambah (<i>Overlay</i>)	23
2.8.1 Perhitungan Tebal lapis Tambah (<i>Overlay</i>)	23
2.9 Volume Lalu-lintas Rencana untuk Perencanaan Perkerasan	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Jenis Penelitian	37
3.2 Tahap Desain Data	37
3.3 Tahap Perhitungan Data	39
3.3.1 Tahap Pengumpulan Data	39
3.3.2 Metode Perhitungan Metode AASHTO 1993	39
3.4 Tahap Evaluasi Metode AASHTO 1993	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Data Lalu-Lintas Harian Rata-rata (LHR)	42
4.2 Data Lalu-Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT)	44
4.3 Data Sturktur Perkerasan	43
4.4 Data Lendutan	44
4.4.1 Perhitungan Data Lendutan dengan Alat FWD	45
4.4.2 Perhitungan Tebal Lapis Tambah Berdasarkan Data Lendutan FWD	45
4.5 Perencanaan Tebal lapis Tambah dengan Metode AASHTO 1993	46
4.6 Evaluasi Data	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	50

5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	53
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Distribusi beban lalu lintas pada perkerasan	4
Gambar 2.2	: Model umum perkerasan lentur	5
Gambar 2.3	: Model umum perkerasan kaku	6
Gambar 2.4	: Penurunan tingkat pelayanan dan kapasitas structural terhadap kumulatif beban kendaraan	8
Gambar 2.5	: Foto Alat FWD	9
Gambar 2.6	: Rangkaian alat <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	10
Gambar 2.7	: Detail Alat <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	10
Gambar 2.8	: Konfigurasi Geophone untuk Pengujian Perkerasan Lentur	11
Gambar 2.9	: Faktor koreksi tebal lapis tambah/ <i>overlay</i> (F_o)	16
Gambar 2.10	: Hubungan antara lendutan rencana dan lalu lintas	17
Gambar 2.11	: Tebal lapis tambah/ <i>Overlay</i> (H_o)	18
Gambar 2.12	: Representasi dari metodologi <i>Back calculation</i>	22
Gambar 2.13	: Penentuan E_p/M_R	25
Gambar 2.14	: Koreksi nilai d_o untuk perkerasan lentur dengan lapis pondasi granular dan yang distabilisasi dengan aspal	25
Gambar 2.15	: Koreksi nilai d_o untuk perkerasan lentur dengan lapis pondasi yang distabilisasi dengan aspal atau pozzolan	26
Gambar 2.16	: Nomogram untuk perencanaan tebal perkerasan lentur	27
Gambar 3.1	: Asumsi Perkerasan Eksisting Jalan Lingkar Luar Binjai	36
Gambar 3.2	: Bagan Alir Penelitian	39
Gambar 4.1	: Data Struktur Perkerasan Jalan	42
Gambar 4.2	: Lendutan FWD	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Lama Perhitungan Lalu-lintas	29
Tabel 2.2 : Kategori Jenis Kendaraan	29
Tabel 2.3 : Faktor Musiman (Minggu), $N=7 \times 24$ jam	32
Tabel 4.1 : Data Lalu-lintas Harian Rata-rata (LHR)	40
Tabel 4.2 : Data Lalu-lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT)	41

DAFTAR NOTASI

C	: Koefisien distribusi kendaraan
Ca	: Faktor pengaruh muka air tanah
Drencana	: Lendutan rencana
Dsbl ov	: Lendutan sebelum overlay
Dstl ov	: Lendutan setelah overlay
Dwakil	: Lendutan wakil
d	: Lendutan
d1	: Lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran
d3	: Lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter dari titik pengukuran
df1	: Lendutan langsung pada pusat beban
dL	: Lendutan langsung
dR	: Lendutan rencana
E	: Ekuivalen beban sumbu kendaraan
FK	: Faktor keseragaman
FKijin	: Faktor keseragaman yang diijinkan
Fo	: Faktor koreksi tebal lapis tambah atau overlay
Ft	: Faktor penyesuaian lendutan terhadap temperature standar 35 ^o
FKB-FWD	: Faktor koreksi beban uji FWD
Ho	: Tebal lapis tambah sebelum dikoreksi
HL	: Tebal lapis beraspal
r	: Angka pertumbuhan lalu-lintas
S	: Deviasi standar atau simpangan baku
n	: Umur rencana
TL	: Temperatur lapis beraspal
Tp	: Temperatur permukaan perkerasan beraspal
Tt	: Temperatur tengah lapisan beraspal
Tu	: Temperatur udara

- SN_o : Kapasitas struktural awal
- SN_f : Kapasitas struktural perencanaan pada suatu umur rencana yang telah ditetapkan
- SN_{eff} : Nilai kapasitas struktural

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan pertumbuhan kendaraan baik dari segi jumlah dan beban kendaraan yang diangkut sehingga melebihi batas yang diizinkan, mengakibatkan kerusakan pada kondisi struktur perkerasan jalan. Untuk mengatasi kerusakan tersebut, diperlukan usaha-usaha pembinaan yang tepat untuk menjaga kondisi jalan agar tetap pada tingkat pelayanan yang diinginkan. Salah satu usaha yang dilakukan dalam melakukan perbaikan atau pemeliharaan agar kondisi jalan yang ada tetap terjaga adalah dengan pelaksanaan lapis tambah perkerasan (*Overlay*) (Rizko et al. 2011).

Overlay adalah lapis perkerasan tambahan yang dipasang di atas struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang didesain selama kurun waktu yang akan datang. *Overlay* digunakan jika umur rencana struktur perkerasan sudah tercapai sebagai pemeliharaan jalan atau jika kondisi struktur perkerasan sudah menurun, yaitu tegangan yang terjadi pada struktur perkerasan sudah melebihi tegangan izinnnya sehingga perlu dibuat lapisan baru yang dapat mendukung kerja struktur perkerasan tersebut (Anindita et al. 2008).

Metode yang dapat dilakukan untuk menentukan tingkat kemampuan perkerasan dalam menerima beban lalu lintas adalah dengan menghitung besarnya lendutan yang terjadi akibat pembebanan. Besarnya lendutan pada permukaan jalan dipengaruhi oleh *Relatif Stiffness* dari komponen-komponen pembentuk konstruksi, yaitu harga Modulus Elastisitas Bahan tiap lapisan atau juga keseluruhan. Faktor-faktor yang menentukan adalah besarnya beban dan intensitas lalu lintas serta pengaruh alam terhadap struktur perkerasan. Untuk memenuhi penyelenggaraan, pemulihan dan perbaikan sistem perkerasan diperlukan suatu metode pengujian yang sesuai. Pendekatan melalui Metode AASHTO 1993 dan pengujian berdasarkan metode lendutan yang menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dapat memenuhi kebutuhan ini. Alat FWD adalah alat yang dipakai untuk melakukan evaluasi kekuatan struktur perkerasan dan bersifat tidak

merusak (*Non Destructive Test*). Dari nilai lendutan yang dihasilkan alat FWD dapat mengevaluasi nilai yang didapat dan digunakan untuk mendesain *overlay* (AASHTO,1993).

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan pada kutipan latar belakang diatas, maka diambil rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana Metode AASHTO 1993 dalam menentukan tebal lapis tambah perkerasan?
2. Bagaimana pengujian Metode Lendutan dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) untuk memenuhi perbaikan system perkerasan lentur?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengevaluasi tebal lapis tambah perkerasan dengan menggunakan Metode AASHTO 1993.
2. Untuk menentukan nilai lendutan wakil yang menggunakan data FWD dalam memperbaiki struktur perkerasan lentur

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui cara yang digunakan oleh Metode AASHTO 1993 dalam menentukan lapis tambah perkerasan (*overlay*).
2. Untuk mengetahui cara pengujian metode lendutan dengan menggunakan alat FWD dalam memenuhi sistem perkerasan lentur.

1.5 Batasan Masalah

Lingkup pembahasan dibatasi pada:

1. Jenis perkerasan yang ditinjau adalah perkerasan lentur yaitu di ruas jalan
Lingkar Luar Binjai (Jl. Megawati – Jl. Toer) dengan panjang ruas 8 km.
2. Data lendutan diperoleh dengan menggunakan alat FWD yang dilaksanakan oleh
Balai Besar Jalan Nasional Sumatera Utara.
3. Pedoman yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode AASHTO 1993.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penelitian ini akan dibagi kedalam 5 bagian utama dan ditambah dengan lampiran-lampiran dan daftar pustaka. Adapun deskripsi dari masing-masing bab adalah sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan

manfaat penelitian, pembatasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memuat tentang teori-teori yang mendasari pembahasan sesuai

dengan perumusan masalah yang direncanakan.

BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang metode yang dipakai dalam penelitian ini, termasuk pengambilan lokasi penelitian, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, serta tahap evaluasi data.

BAB 4: HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang pengolahan data dan penyajiannya menggunakan Metode

AASHTO 1993, lalu mengevaluasi datanya.

BAB 5: KESIMPULAN

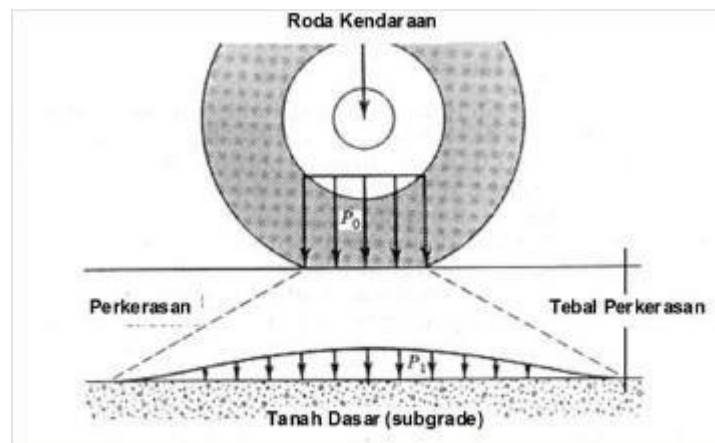
Pada bab ini merupakan penutup yang memuat tentang kesimpulan dari hasil pembahasan dan merupakan jawaban dari rumusan masalah serta saran-saran dari penulis.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Perkerasan Lentur

Perkerasan (*pavement*) adalah suatu lapisan yang relative stabil yang dibangun diatas tanah dasar atau tanah asli yang berfungsi untuk menahan dan mendistribusikan beban kendaraan serta sebagai lapisan penutup permukaan. Pada prinsipnya, saat struktur perkerasan dibebani, maka beban akan menyebar dalam bentuk tegangan dari lapisan teratas ke lapisan di bawahnya hingga mencapai tanah dasar. Tegangan yang disebarkan ini akan menyebabkan lendutan dan akhirnya menyebabkan keruntuhan (Bina Marga,2018).



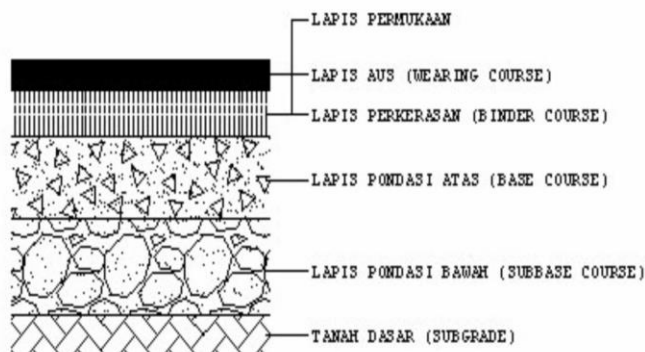
Gambar 2.1 Distribusi beban lalu lintas pada perkerasan (Sukirman, 1999)

Gambar di atas merupakan pendistribusian beban lalu lintas pada struktur perkerasan. P_0 adalah beban kendaraan dan P_1 adalah beban yang diterima oleh tanah dasar. Besaran P_1 yang diterima tanah dasar bergantung pada kualitas dan tebal lapis perkerasan. Semakin baik kualitas material perkerasan atau semakin tebal lapis perkerasan yang digunakan, maka akan menghasilkan nilai P_1 yang rendah. Atau pada kondisi tanah dasar dan besar beban yang sama, maka struktur perkerasan dengan material yang lebih baik akan menghasilkan tebal perkerasan yang lebih tipis (Bina Marga,2018).

Berdasarkan karakteristik menahan beban dan mendistribusikan beban, maka perkerasan dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

(1) Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

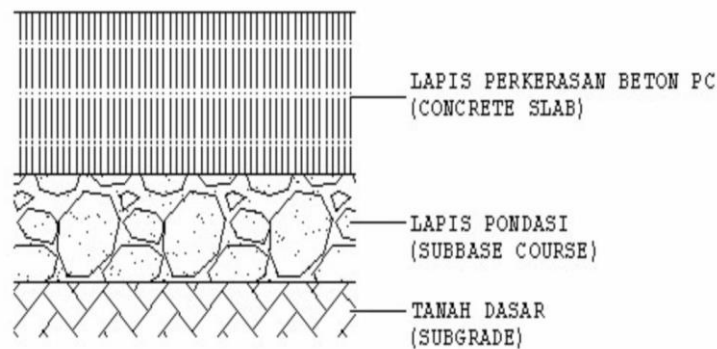
Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan material aspal sebagai bahan pengikat material lainnya. Perkerasan lentur terdiri beberapa lapisan dan umumnya lapis permukaannya menggunakan bahan campuran beraspal sedangkan lapisan di bawahnya merupakan material berbutir. Lapisan teratasnya memiliki kualitas yang sangat baik bahkan lebih baik dibandingkan lapisan di bawahnya, karena lapisan ini mengalami kontak langsung dengan beban lalu lintas. Susunan lapisan perkerasan lentur secara umum terdiri atas: lapisan tanah dasar (*sub grade*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan permukaan/penutup (*surface course*).



Gambar 2.2 Model umum perkerasan lentur (Bina Marga,2018)

(2) Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku merupakan struktur perkerasan yang menggunakan material beton (*Portland cement concrete*). Perkerasan ini memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi sehingga lendutan yang terjadi akibat beban lalu lintas, sangat kecil. Karena sifatnya yang relatif kaku, struktur perkerasan ini mendistribusikan serta menyebarkan beban pada area yang lebih luas dibandingkan struktur perkerasan lentur.



Gambar 2.3 Model umum perkerasan kaku (Bina Marga,2018)

2.2 Kinerja Struktur Perkerasan

Kemerosotan struktur didefinisikan sebagai kondisi yang menyebabkan menurun atau berkurangnya kapasitas struktur perkerasan dalam menanggung beban lalu lintas dari waktu ke waktu. Hal ini adalah wajar bahwa suatu struktur perkerasan didesain berdasarkan umur rencana tertentu sehingga memungkinkan terjadinya penurunan kapasitas struktural. Dalam melihat kinerja struktur perkerasan, terdapat dua macam evaluasi perkerasan yang sering digunakan, yaitu evaluasi fungsional dan struktural. Evaluasi fungsional berfungsi untuk mengetahui dampak yang dirasakan pengguna jalan. Sedangkan evaluasi struktural berfungsi untuk mengetahui kemampuan perkerasan untuk mendukung repetisi beban lalu lintas kendaraan selama umur desain (Mardiyah S.,2004).

(1) Evaluasi Fungsional

Merupakan evaluasi berupa informasi tentang karakteristik perkerasan jalan yang secara langsung mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan serta pelayanan jalan. *Present Serviceability Index* (PSI) atau Indeks Permukaan (IP) didasarkan pada konsep hubungan pendapat pengguna jalan dengan karakteristik utama yang disurvei pada evaluasi fungsional ini adalah hal kekesatan permukaan jalan (*skid resistance*), tekstur permukaan jalan (*surface texture*), serta ketidak rataan jalan (*road roughness*) dalam hal pelayanan (*serviceability*). PSI diformulasikan dari penilaian terhadap ruas perkerasan yang dinilai oleh tim penilai yang berkendara di atas perkerasan dan menilai perkerasan

dengan skala 0 sampai 5 dimana penilaian kualitatif dari perkerasan tersebut dinilai dengan skala tersebut.

(2) Evaluasi Struktural

Merupakan evaluasi berupa informasi tentang kinerja struktur perkerasan terhadap beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Dalam hal ini, survei karakteristik juga membantu dalam memperoleh informasi tentang kinerja struktur perkerasan, kerusakan perkerasan dan sifat mekanikal/struktural jalan. Disamping itu, bahwa kinerja struktural perkerasan berkaitan erat dengan kondisi fisik yang ditunjukkan oleh adanya retak, pelepasan butir atau cacat lain yang menurunkan daya dukung perkerasan atau membutuhkan pemeliharaan. Pada konteks tersebut, kenyamanan pengguna jalan merupakan karakteristik dominan dari pada kinerja fungsional. Dengan kata lain, tujuan utama dari evaluasi kapasitas struktural adalah untuk menentukan kapasitas struktural efektif dari perkerasan eksisting.

(Mardiyah S.,2004) Menyatakan bahwa metode evaluasi kapasitas struktural perkerasan terpasang diantaranya dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

(1) Survei visual dan pengujian material (*visual survei and materials testing*).

Survei yang dilakukan untuk mengetahui semua informasi yang tersedia mengenai desain, pelaksanaan konstruksi dan pemeliharaan yang telah dilakukan dan juga survei terinci untuk mengidentifikasi tipe, jumlah kerusakan perkerasan atau kemerosotan perkerasan, dan lokasi-lokasi yang berbahaya serta kondisi drainase.

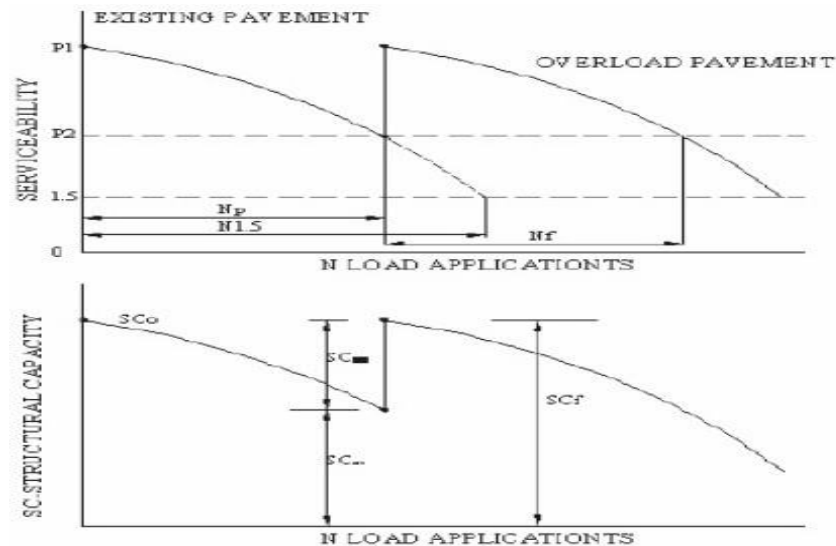
(2) Pengujian lendutan yang tidak merusak (*non destructive deflection testing*).

Dilakukan diantaranya dengan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) untuk mengetahui kekuatan struktur perkerasan dan mengetahui *modulus resilient* tanah dasar.

(3) Kerusakan kelelahan/runtuh karena lalu lintas (*fatigue damage from traffic*).

Kelelahan material lapis perkerasan yang secara berangsur-angsur diakibatkan oleh repetisi beban kendaraan yang telah terjadi dan selama

umur rencana sehingga dapat dihitung nilai umur sisa rencana (*residual life*).



Gambar 2.4 Penurunan tingkat pelayanan dan kapasitas struktural terhadap kumulatif beban kendaraan (AASHTO 1993)

2.2.1 Pemeriksaan Destruktif (*Destructive Test*)

Metode DT merupakan metode konvensional yang melalui tahapan pengeboran (*core drilling*), perbaikan lubang jalan akibat pengambilan sampel, pemadatan ulang, pengujian benda uji di laboratorium hingga proses analisis data. Kelemahan dari metode ini antara lain memberi efek gangguan yang cukup signifikan terhadap perjalanan kendaraan, memerlukan biaya yang tinggi, dan memerlukan waktu yang lama. Contoh metode DT yang umumnya digunakan antara lain *core drilling* dan *Marshall* (Sukirman, Silvia 2010).

2.2.2 Pemeriksaan Non-Destruktif (*Non-Destructive Test*)

Metode NDT merupakan suatu metode yang melalui pengamatan perilaku defleksi dan perpindahan partikel yang diakibatkan oleh beban statik atau dinamik. Keunggulan metode ini dibandingkan dengan metode DT (*Destructive Test*) dalam RMS (*Road Management System*) antara lain proses pengujiannya yang cepat dan tidak menimbulkan kerusakan pada struktur perkerasan jalan.

Metode NDT yang berkembang saat ini diantaranya *Benkelman Beam*, *Falling Weight Defletometer*, dan *Ground Penetrating Radar* (Sukirman, Silvia 2010).

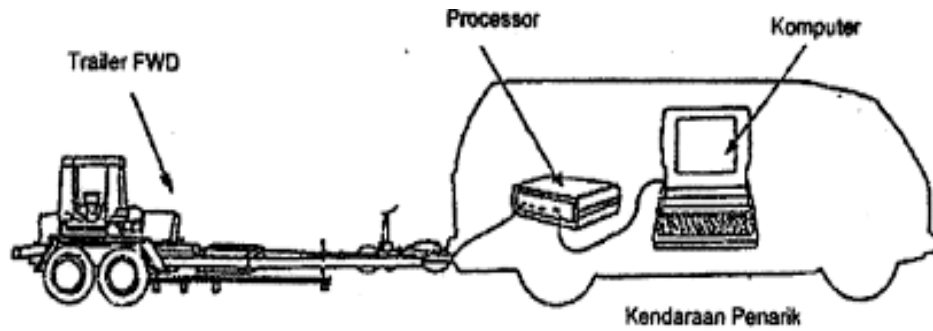
2.3 *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

Alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* digunakan untuk mengukur lendutan permukaan dari sistem perkerasan jalan. Nilai lendutan ini biasanya digunakan untuk menghitung besarnya tebal lapis tambah yang diperlukan, dan juga untuk evaluasi karakteristik dari masing-masing lapis perkerasan jalan (Pd T-05-2005-B, Konstruksi dan Bangunan).

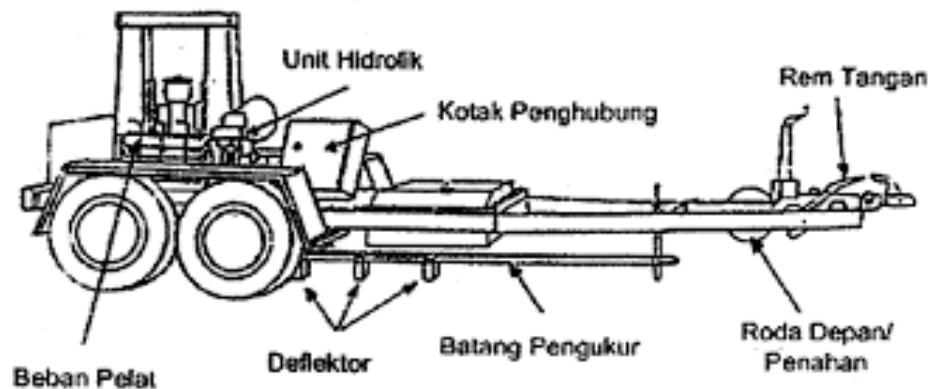
Falling Weight Deflectometer (FWD) ini digunakan untuk mengukur lendutan permukaan jalan dari hasil beban jatuhan pada satu titik permukaan jalan. Lendutan diukur pada pusat pembebanan dan beberapa titik terluarnya. Nilai lendutan ini bisa berkorelasi langsung dengan kinerja sistem perkerasan. Selain itu, data lendutan ini juga digunakan untuk evaluasi kekuatan struktural, *load transfer efficiency* (efisiensi transfer beban), menghitung tebal lapis tambah yang dibutuhkan untuk jalan raya atau lapangan terbang serta analisis keberadaan rongga dibawah perkerasan beton (Pd T-05-2005-B).



Gambar 2.5 Foto Alat FWD (Google,2019)



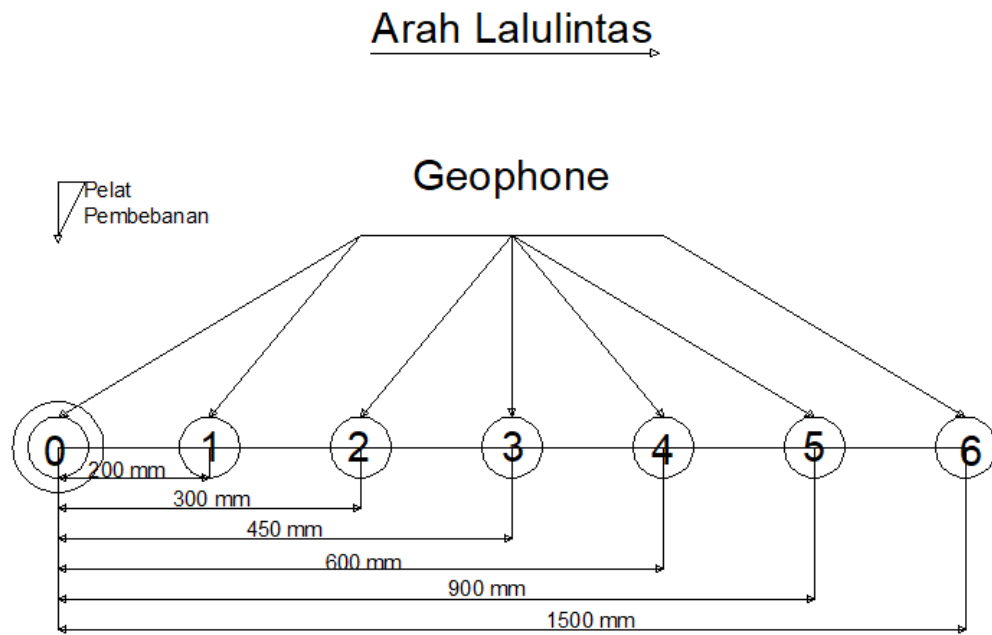
Gambar 2.6 Rangkaian alat Falling Weight Deflectometer/FWD
(Pd T-05-2005-B, Konstruksi dan Bangunan)



Gambar 2.7 Detail Alat Falling Weight Deflectometer/FWD
(Pd T-05-2005-B, Konstruksi dan Bangunan)

FWD merupakan salah satu alat ukur tidak merusak (*Non Destructive Test*) yang mengukur lendutan permukaan perkerasan pada pembebanan tertentu. Alat ini terdiri atas pelat pembebanan berdiameter 30 cm, sebuah load cell, geophone, odometer, sensor pengukuran temperatur, dan sebuah prosesor. Beban dijatuhkan pada ketinggian tertentu dan menimpa karet buffer yang kemudian menghasilkan lendutan di permukaan perkerasan. Lendutan ini dibaca oleh sensor geophone melalui sistem rangkaian elektronik pada prosesor (Pd-03-2018-B Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil).

Untuk pengujian pada perkerasan lentur digunakan 7 buah geophone dengan konfigurasi 0 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, dan 1500 mm seperti ditunjukkan pada skematik gambar dibawah ini



Gambar 2.8: Konfigurasi Geophone untuk Pengujian Perkerasan Lentur
(Pd 03-2018-B, Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil)

2.3.1 Prosedur pengujian FWD pada perkerasan lentur

Pengujian FWD pada perkerasan lentur ditujukan untuk mendapatkan data lendutan permukaan dengan konfigurasi jarak geophone tertentu. Data ini pada umumnya digunakan untuk perancangan, perencanaan, serta data untuk perhitungan balik (*Back Calculaton*). Prosedur pengujian pada perkerasan lentur sebagai berikut :

1. Pengujian boleh dilakukan siang ataupun malam hari. Pada saat pengujian perlu diperhatikan pengaturan lalu lintas sehingga tidak menimbulkan kemacetan.
2. Titik pengujian lendutan menggunakan FWD biasa dilakukan di jejak roda luar, diantara jejak roda, ataupun di jejak roda dalam.
3. Untuk perencanaan pada ruas jalan yang mempunyai 2 lajur atau lebih, panjang jalan yang diuji minimum 1500 meter dengan jarak antar titik pengujian maksimum 500 meter, pengujian dilakukan pada tiap lajur.

4. Untuk perencanaan pada ruas jalan yang mempunyai 2 lajur atau lebih, panjang yang diuji minimum 750 meter dengan jarak antar titik pengujian maksimum 100 meter. Pengujian dilakukan pada tiap lajur.
5. Permukaan jalan yang diuji harus bersih dan rata.
6. Untuk setiap ruas yang diuji informasi-informasi yang harus dicatat antara lain, nama jalan/nomor ruas, nama operator, tanggal dan waktu pengujian serta temperature perkerasan.
7. Pada pengujian perkerasan lentur beban yang digunakan sebesar 41 KN.
8. Minimum digunakan 2 kali drop beban. Drop pertaman digunakan sebagai penyesuaian perletakkan pelat pembebanan pada permukaan perkerasan. Drop kedua digunakan untuk pengambilan data lendutan permukaan jalan.

2.3.2 Parameter-parameter yang berkaitan dengan pengoperasian alat FWD

1. Diameter Pelat

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 non-aspal (*unbound material*) atau tanah dasar digunakan pelat dengan diameter 450 mm.

2. Berat Beban Pelat

Berat beban yang dijatuhkan pada pelat sebenarnya mempresentasikan tekanan ban 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 standard adalah 8,2 ton (AASHTO *Road Test*) sehingga beban as (dua ban) adalah 41 kN, dan tekanan ban sebesar 580 kPa.

(1) Tinggi Jatuh Beban

Tinggi jatuh beban yang dimiliki alat FWD adalah 81 mm, 135 mm, 196 mm, dan 361 mm (LAPI ITB, 1992). 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 direduksi. Disarankan berat beban adalah 100 kg dan tinggi jatuh nomor 3 (196 mm), yang akan memberikan *peak load* (beban puncak) 25 kN dan *peak stress level* (level tertinggi) 355 kPa.

(2) Jarak Antar Deflektor

Alat FWD mempunyai tujuh buah deflektor yang dapat diatur/disesuaikan jarak antar deflektornya sesuai dengan tebal total perkerasan (LAPI ITB, 1992), antara lain:

- a. Untuk tebal total perkerasan = 300 mm (tipis), digunakan jarak deflector: 0;200; 300; 450; 600; 900; 1200 (mm).
- b. Untuk tebal total perkerasan = 300-700 mm (normal), digunakan jarak deflector: 0; 300; 600; 750; 900; 1200; 1500 (mm).
- c. Untuk tebal total perkerasan >700 mm (normal), digunakan jarak deflector: 0;300; 600; 900; 1200; 1500; 1800 (mm).

3. Pembacaan 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 (*layer modulus*), 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 3 cm dapat mewakili temperatur perkerasan.

Beberapa keuntungan dari alat FWD adalah (Nefiadi, E.N., 1990):

- (1) Dapat memberikan ide menyeluruh mengenai *pavement performance* melalui pengukuran lendutan, dan memberikan nilai layer modulus struktur perkerasan.
- (2) Dapat melakukan pengukuran secara tepat, dengan ketelitian yang cukup tinggi, dan alat dapat dioperasikan secara relative mudah.
- (3) Beban pelat dan tinggi jatuh dapat diatur, sehingga menyamai intensitas beban yang diinginkan, baik beban kendaraan ataupun beban roda pesawat.

2.4 Kondisi Struktural Jalan Berdasarkan Lendutan

Lendutan merupakan respon suatu perkerasan yang menggambarkan kondisi struktur jalan. Pada struktur perkerasan lentur, defleksi memiliki arah vertikal sesuai dengan respon yang diberikan oleh beban di permukaan. Ketika suatu beban diterapkan ke permukaan, semua lapisan struktur perkerasan akan mengalami defleksi, dan tegangan, regangan pada setiap lapisan (Frisky Ridwan, et al).

Lendutan pada struktur perkerasan dipengaruhi oleh komposisi dan ketebalan lapisan permukaan (Modulus Elastisitas dan *Rasio Poisson*), pengaturan beban roda kendaraan dan kondisi lingkungan saat uji FWD dijalankan. Besarnya defleksi merupakan indikator yang sangat penting dari kondisi struktural perkerasan dan salah satu parameter penting yang digunakan untuk desain *overlay*. Lendutan maksimum dan komposisi lapisan perkerasan yang diketahui akan membantu dalam mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada lapisan perkerasan. Data dari lendutan ini nantinya akan diolah dengan menggunakan Metode AASHTO 1993 untuk mendapatkan tebal lapisan perkerasan jalan (Frisky Ridwan, et al).

2.4.1 Lendutan dengan *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Lendutan yang digunakan dalam perhitungan dengan hasil pengujian alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) yaitu lendutan pada pusat beban (d_{f1}). Nilai lendutan ini harus dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim) dan koreksi temperatur serta faktor koreksi beban uji (bila beban uji tidak tepat sebesar 4,08 ton). Besarnya lendutan langsung adalah :

$$d_L = d_{f1} \times Ft \times Ca \times FK_{B-FWD} \quad (2.4.1)$$

Dimana:

d_L = Lendutan langsung (mm)

d_{f1} = Lendutan langsung pada beban (mm)

F_t = Faktor penyesuaian lendutan terhadap temperature standar 35⁰C

C_a = Faktor muka air tanah (Faktor Musim)/1,2 muka air tanah rendah/0,9 muka air tanah tinggi

FK_{B-FWD} = Faktor koreksi beban uji FWD (4,08 x (beban uji dalam ton)⁽⁻¹⁾)

2.4.2 Lendutan dengan *Benkelmen Beam* (BB)

Lendutan yang digunakan untuk perencanaan adalah lendutan balik. Nilai lendutan tersebut harus dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim) dan koreksi temperatur serta faktor koreksi benda uji (bila benda uji tidak tepat sebesar 8,16 ton). Besarnya lendutan balik adalah :

$$d_B = 2 \times (d_3 - d_1) \times F_t \times C_a \times FK_{B-BB} \quad (2.4.2)$$

Dimana:

d_B = Lendutan balik (mm)

d_1 = Lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran

d_3 = Lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter dari titik pengukuran

F_t = Faktor penyesuaian lendutan terhadap temperature standar 35⁰C

C_a = Faktor pengaruh muka air tanah (Faktor Musim)/1,2 muka air tanah rendah/0,9 muka air tanah tinggi

FK_{B-BB} = Faktor koreksi beban uji *Benkelmen Beam* (77,343 x (beban uji dalam ton)^(-2,0715))

2.4.3 Faktor koreksi tebal lapis tambah

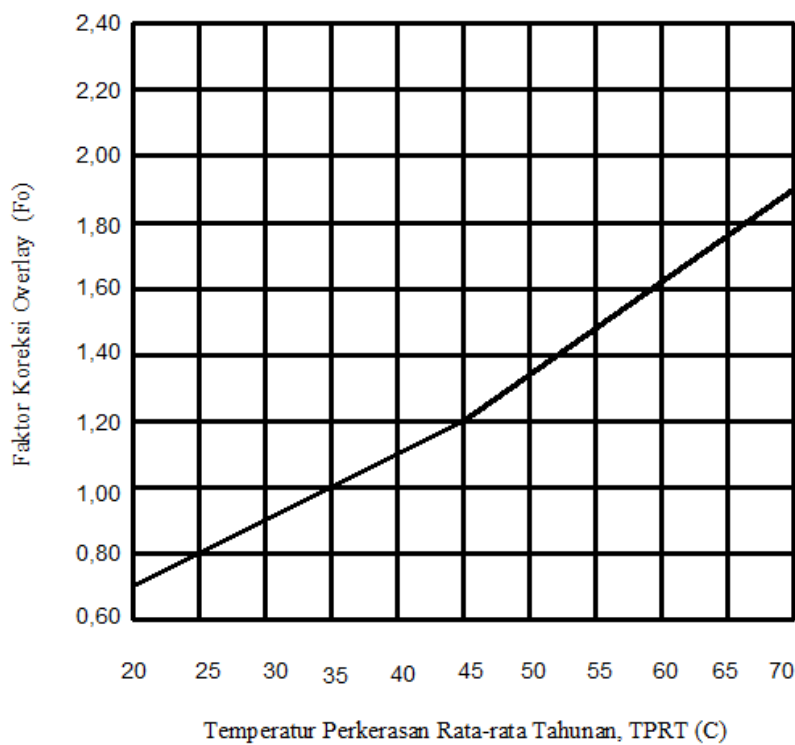
Tebal lapis tambah (*Overlay*) yang diperoleh adalah berdasarkan temperatur standar 35°C, maka untuk masing-masing daerah perlu dikoreksi karena memiliki temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) yang berbeda. Faktor koreksi tebal lapis tambah/*overlay* (F_o) adalah :

$$F_o = 0,5032 \times EXP^{(0,0194 \times TPRT)} \quad (2.4.3)$$

Dimana:

F_o = Faktor koreksi tebal lapis tambah/*overlay*

TPRT = temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk daerah/kota tertentu



Gambar 2.9: Faktor koreksi tebal lapis tambah/*overlay* (F_o)

(Pd T-05-2005-B, Konstruksi dan Bangunan)

2.4.4 Prosedur perhitungan

Perhitungan tebal lapis tambah berdasarkan lendutan yang diukur dengan alat FWD, pengukuran lendutan dengan alat FWD dilakukan pada jejak roda luar (jejak roda kiri). Pengukuran lendutan pada perkerasan yang mengalami kerusakan berat dan deformasi plastis untuk dapat dihindari. Perhitungan tebal lapis tambah perkerasan lentur dapat menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

1. Hitung repetisi beban lalu lintas rencana (CESA) dalam ESA
2. Hitung lendutan hasil pengujian dengan alat FWD dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim, Ca) dan faktor temperatur standar (Ft) serta faktor beban uji FK_{B-FWD} untuk pengujian dengan FWD bila beban uji tidak tepat sebesar 8,16 ton.
3. Tentukan panjang seksi yang memiliki keseragaman (Fk) yang sesuai dengan tingkat keseragaman yang diinginkan.
4. Hitung lendutan wakil (D_{wakil}) untuk masing-masing seksi jalan yang tergantung dari kelas jalan.
5. Hitung lendutan rencana/ijin ($D_{rencana}$) dengan menggunakan rumus

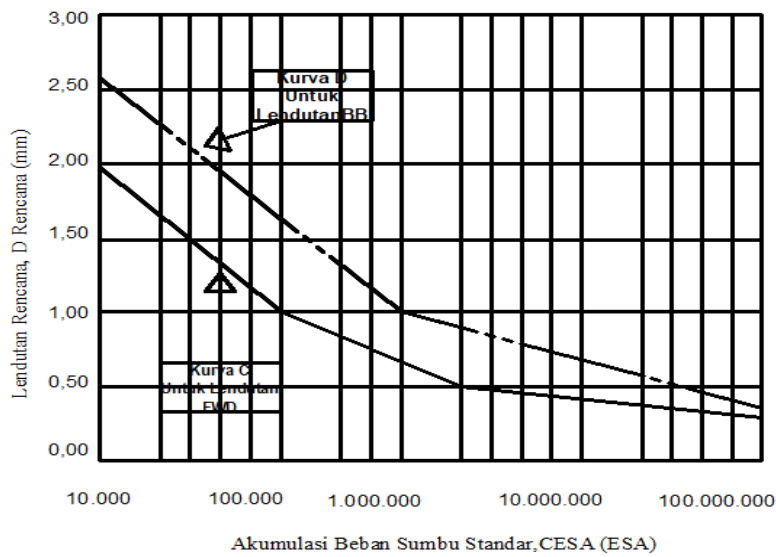
$$D_{rencana} = 17,004 \times C^{(-0,2307)}$$

$$D_{rencana} = 22,208 \times C^{(-0,2307)}$$

Dimana:

$D_{rencana}$ = Lendutan rencana, dalam satuan millimeter

$CESA$ = Akumulasi ekivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA



Gambar 2.10: Hubungan antara lendutan rencana dan lalu lintas
(Pd T-05-2005-B, Konstruksi dan Bangunan)

6. Hitung tebal lapis tambah/*overlay* (H_o) dengan menggunakan rumus :

$$H_o = \frac{[Ln(1,0364) + Ln(D_{sbl\ ov}) - Ln(D_{stl\ ov})]}{0,0597} \quad (2.4.4)$$

Dimana:

H_o = Tebal lapis tambah sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan

daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

$D_{sbl\ ov}$ = Lendutan sebelum lapis tambah/ D_{wakil} , dalam satuan milimeter

$D_{stl\ ov}$ = Lendutan setelah lapis tambah atau lendutan rencana, dalam satuan millimeter.

7. Hitung tebal lapis tambah/*overlay* terkoreksi (H_t) dengan mengkalikan H_o dengan faktor koreksi *overlay* (F_o), yaitu sesuai dengan :

$$H_t = H_o \times F_o \quad (2.4.5)$$

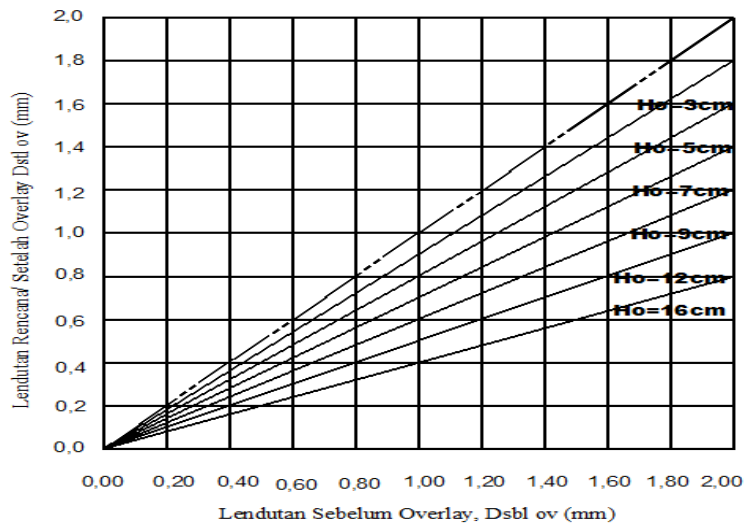
Dimana:

H_t = Tebal lapis tambah/*overlay* laston setelah dikoreksi dengan temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

H_o = Tebal lapis tambah laston sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter

F_o = Faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay

8. Bila jenis atau sifat campuran beraspal yang akan digunakan tidak sesuai dengan ketentuan di atas maka tebal lapis tambah harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL}) sesuai dengan tabel dibawah ini:



Gambar 2.11: Tebal lapis tambah/Overlay (H_o)
(Pd T-05-2005-B, Konstruksi dan Bangunan)

2.5 Kapasitas Struktural

Perencanaan lapis tambah (*overlay*) dilakukan untuk meningkatkan SN_o (*Structural Number Original*) atau kapasitas struktural awal sebesar SN_{ol} (*Struktural Number Overlay*) sehingga menjadikan SN_f (*Struktural Number in Future*), yaitu kapasitas struktural perencanaan pada suatu umur rencana yang telah ditetapkan. Kapasitas struktural awal atau “*Capacity of Struktural*” (SC_o) dalam analisa struktur dinyatakan dalam “*Struktural Number Original*” (SN_o), akan terus menurun menjadi SN_{eff} sejalan bertambahnya waktu dan beban lalu lintas.

1. *Struktural Number Original* (SN_o)

$$SN_o = a_1 D_1 + a_2 D_{2m2} + a_3 D_{3m3} \quad (2.5.1)$$

Dimana:

$D_{1,2,3}$ = Tebal dari tiap lapis perkerasan perencanaan

$a_{1,2,3}$ = Koefisien material dari tiap lapis perkerasan rencana

m_2m_3 = Koefisien drainase material base dan subbase

a) *Struktural Number Effective* (SN_{eff})

Merupakan nilai kapasitas struktural pada saat ini setelah mengalami kemerosotan struktural. Terdapat 3 (tiga) nilai SN_{eff} , yang nilainya dipengaruhi oleh beberapa factor, adalah sebagai berikut :

(i) faktor kondisi dan kapasitas struktural awal

$$SN_{eff} = CF * SN_o \quad (2.5.2)$$

Dimana:

$$CF = \frac{SC_n}{SC_o}$$

CF = Faktor kondisi

SC_n = Kapasitas struktural setelah N_p ESAL

SC_o = Kapasitas struktural original

(ii) tebal dan nilai modulus lapis perkerasan di atas tanah dasar (E_p)

$$SN_{eff} = 0,0045 D^3 \sqrt{E_p} \quad (2.5.3)$$

Dimana:

D = Total tebal lapisan perkerasan di atas subgrade (inch)

E_p = Modulus elastisitas efektif (psi)

(iii) kekuatan relative bahan lapis perkerasan (a) dan sistem drainase (m)

$$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (2.5.4)$$

Dimana:

$D_{1,2,3}$ = Tebal dari tiap lapis perkerasan perencanaan

$a_{1,2,3}$ = Koefisien material dari tiap lapis perkerasan rencana

m_2m_3 = Koefisien drainase material base dan subbase

2. *Struktural Number Rencana* (SN_f)

“Structural Number for Future Traffic” (SN_f), dapat ditentukan dengan menggunakan nomogram dan grafik, atau menggunakan persamaan dibawah ini (AASHTO 1993), dengan “trial and error” hingga didapat nilai W_{18} sama dengan nilai “Future Design ESAL” (N_f) dan nilai M_R memenuhi syarat $r \geq 0,7 a_e$.

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9,36 \times \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}_{10} \frac{\Delta PSI}{4,2-2,5}}{0,4 + \frac{1}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \text{Log}_{10}(M_R) - 8,07 \quad (2.5.5)$$

Dimana:

Z_R = Standar Deviasi

S_o = Overall Standar Deviation (0,40 ~ 0,50 for flexible pavement)

R = Overlay Design Reliability

ΔPSI = Design PSI Loss ($P_o - P_1$) ($\Delta PSI = 4,2 - 2,5$)

$P_o = 4,2 \rightarrow$ indeks pelayanan awal (AASHTO Road Test for flexible pavement)

$P_{2,5} = 2,5 \rightarrow$ indeks pelayanan akhir, yaitu PSI terendah sebelum dilakukan rehabilitas pada jalan

Design $M_{RD} = C * M_R$, ($C=0,33$)

2.6 Analisa Lalu Lintas (*Traffic Analysis*)

- a) Kumulatif ESAL pada saat ini atau “Melewati komulatif 18-Kip ESAL didesign lajur” (N_p)

Dimana:

D_D = Distribution Faktor arah (30-70%)

D_L = Distribution Faktor lajur

W_{18} = komulatif dua arah 18-Kip ESAL selama periode analisis M *faktor ESAL

- b) Kumulatif ESAL pada akhir umur rencana atau “Masa kumulatif 18 ESAL, di jalur design selama priode design”(SNf)

Dimana:

TGF = Faktor pertumbuhan lalu-lintas

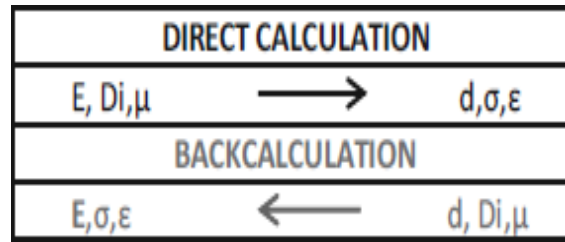
Konfigurasi beban dan tekana ban merupakan beban standar yang didefinisikan sebagai roda tunggal (*single wheel*), ekivalen roda tunggal (*equivalent single wheel*), roda ganda (*dual wheel*) dan dua roda ganda tandem (*two dual wheel tandem*).

2.7 Metode Perhitungan Mundur (*Back calculation*)

Dalam kasus bahan elastis, modulus elastisitas akan berkurang dengan bertambahnya beban. Proses pengubahan pengukuran lendutan permukaan perkerasan menjadi modulus elastisitas disebut perhitungan balik. Prinsip dasar dari konsep ini adalah perhitungan modulus perkerasan dengan melakukan proses iterasi sehingga defleksi cekung teoritis memiliki kurva tren yang sama dengan defleksi dari survei FWD (Murillo dan Bajarano,2013).

Perhitungan ke belakang mengambil pengukuran lendutan permukaan dan mencoba menyamakannya dengan perhitungan lendutan permukaan struktur perkerasan serupa dengan menggunakan asumsi kekakuan lapisan (modulus). Asumsi modulus lapisan dari model perhitungan disesuaikan untuk menghasilkan defleksi permukaan yang hampir sama dengan yang diukur. Kombinasi lapisan kekakuan yang diasumsikan dari hasil yang cocok kemudian diasumsikan mendekati modulus aktual untuk berbagai lapisan perkerasan (Murillo et al, 2009).

Hasil keluaran dari perhitungan mundur adalah modulus elastisitas struktur perkerasan, jumlah efektif struktur perkerasan dari lapisan perkerasan dan modulus ketahanan tanah dasar. Gambar di bawah menunjukkan prinsip-prinsip dasar metodologi hitung mundur.



Gambar 2.12 Representasi dari metodologi *Back calculation*
(Murillo dan Bajarano, 2013)

Ada beberapa metodologi perhitungan mundur yang diterapkan, banyak diantaranya menggunakan fungsi dari lendutan yang didapat hanya di bawah beban dinamis termasuk di dalamnya adalah metode AASHTO 1993 yang menggunakan analisis dari lendutan yang didapat dari FWD. Nilai yang didapatkan dari proses perhitungan mundur ini nantinya digunakan untuk menentukan desain *overlay*, estimasi umur rencana serta area lemah pada struktur perkerasan (Murillo et al, 2009).

2.8 Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

Perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) untuk perkerasan terpasang (eksisting) digunakan untuk meningkatkan kapasitas beban perkerasan terpasang atau untuk mengembalikan kondisi permukaan awal perkerasan terpasang. Perencanaan tebal lapis tambah ini berdasarkan pada data lendutan yang diukur dengan alat FWD. Pengukuran lendutan disarankan pada jejak roda luar dengan interval 100-1000 kaki (35-350 m). Lokasi - lokasi rusak atau yang akan diperbaiki seharusnya dihindari untuk diukur lendutannya. Pengukuran lendutan, disarankan menggunakan beban sekitar 9000 lbs (4,5 ton) (Pt T-01-2002-B).

2.8.1 Perhitungan tebal lapis tambah (*Overlay*)

1) Modulus resilien tanah dasar

Untuk jarak yang cukup jauh dari pusat beban, lendutan yang diukur mencerminkan nilai modulus resilien tanah dasar. Perhitungan ini merupakan

dasar dari perhitungan balik (*back calculation*) untuk modulus resilien sebagai berikut:

$$M_R = \frac{0,24 P}{d_r r} \quad (2.8.1)$$

Dimana:

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 pembebanan, inci

Pada perhitungan modulus resilien tanah dasar ini tidak dibutuhkan koreksi temperature karena lendutan yang digunakan hanya akibat deformasi tanah dasar.

Lendutan yang digunakan untuk perhitungan balik harus diukur cukup jauh dari pusat pembebanan sehingga memberikan estimasi yang cukup akurat untuk perhitungan modulus resilien tanah dasar. Jarak minimum pengukuran lendutan untuk estimasi modulus resilien tanah dasar adalah: $r \geq 0,7 a_e$

Dimana:

$$a_e = \sqrt{\left[a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2 \right]} \quad (2.8.2)$$

Dimana:

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

P = Tegangan pada pelat pembebanan, psi

a = Jari-jari pelat pembebanan, inci

D = Tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar, inci

M_R = Modulus resilien tanah dasar, psi

E_p = Modulus efektif seluruh lapis struktur perkerasan di atas tanah dasar,
psi

2) Modulus efektif perkerasan (E_p)

Apabila modulus resilien tanah dasar dan tebal total lapisan di atas tanah dasar diketahui atau diasumsikan, maka modulus efektif seluruh lapisan perkerasan di atas tanah dasar harus memenuhi persamaan berikut ini :

$$d_o = 1,5 p a \left\{ \left[\frac{1}{M_r \sqrt{1 + \left(\frac{D^3 E_p}{a^3 M_r} \right)^2}} + \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right] \right] \right\} \quad (2.8.3)$$

Dimana:

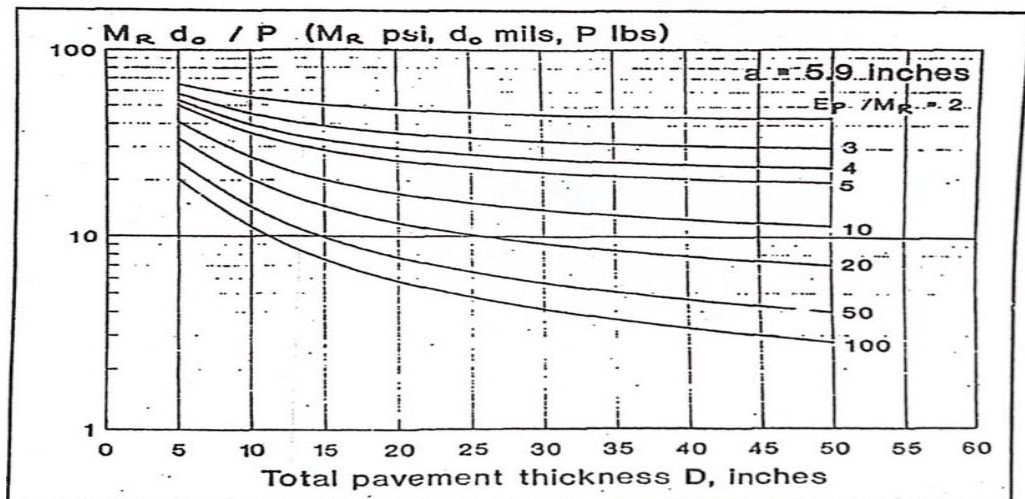
d_o = Lendutan yang di ukur pada pusat pembebanan dan untuk temperatur standar 68°F, inci

a = Jari-jari pelat pembebanan, inci

D = Tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar, inci

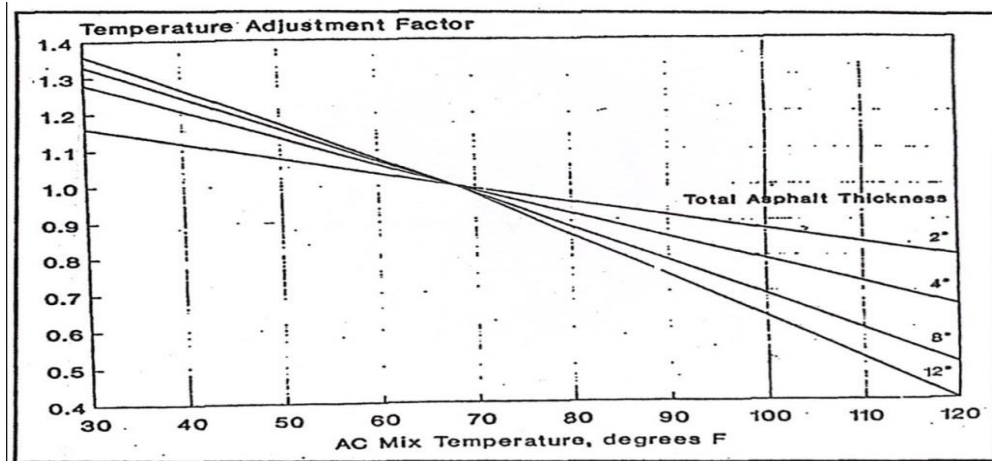
E_p = Modulus efektif seluruh lapisan perkerasan di atas tanah dasar, psi

Untuk pelat pebebanan yang berjari-jari 5,9 inci, gambar 2.13 dapat digunakan untuk menghitung rasio E_p/M_R , kemudian dapat E_p dihitung apabila M_R telah diketahui.

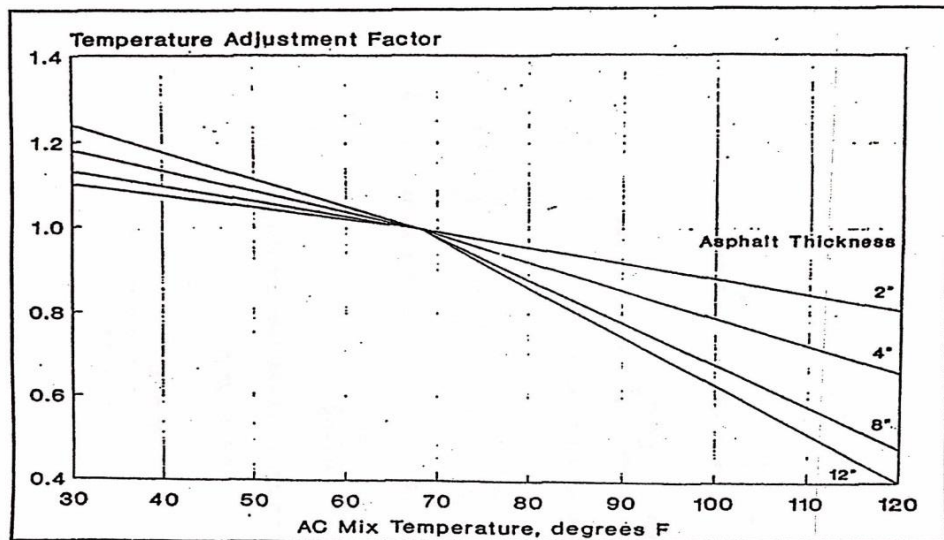


Gambar 2.13 Penentuan E_p/M_R (Pt T-01-2002-B)

Apabila dihitung menggunakan perhitungan balik maka, d_o harus dikoreksi terhadap temperatur standar 68°F dengan menggunakan gambar 2.14 untuk lapis pondasi granular dan stabilisasi aspal pada gambar 2.15 untuk lapisan pondasi stabilisasi semen dan pozzolan.



Gambar 2.14: Koreksi nilai d_o untuk perkerasan lentur dengan lapis pondasi granular dan yang distabilisasi dengan aspal (Pt T-01-2002-B)



Gambar 2.15 Koreksi nilai d_o untuk perkerasan lentur dengan lapis pondasi yang distabilisasi dengan aspal atau pozzolan (Pt T-01-2002-B)

3) Modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan

Modulus risilen tanah dasar untuk perencanaan diperoleh dengan mengkoreksi modulus resilien tanah dasar hasil perhitungan balik dengan factor C = 0,33 (untuk beban FWD,kira-kira 9.000 lbs). Sehingga M_R desain didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M_R \text{ desain} = C M_R$$

$$M_R \text{ desain} = C \left(\frac{0,24 P}{d_r r} \right) \quad (2.8.4)$$

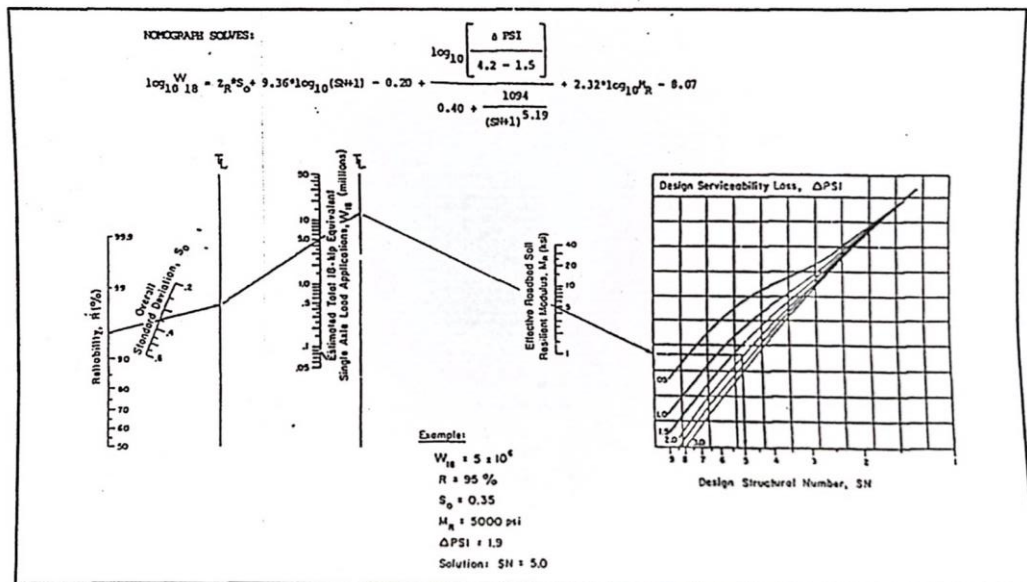
Dimana :

$$C = 0.33$$

P = Beban FWD dalam lbs.

4) Indeks tebal perkerasan masa datang (ITPf)

Nilai indeks tebal perkerasan masa datang ini merupakan ITP yang dibutuhkan untuk mengakomodasi lalu lintas yang direncanakan. Nilai ini didapat dengan menggunakan grafik pada nomogram pada gambar 2.16 di bawah ini



Gambar 2.16: Nomogram untuk perencanaan tebal perkerasan lentur

(Pt T-01-2002-B)

5) Indeks tebal perkerasan efektif (ITPeff)

Nilai ini merupakan besaran ITP dimiliki perkerasan lama. Nilai ini didapat dengan menggunakan hubungan berikut:

$$ITPeff = 0,0045 D \sqrt[3]{E_p} \quad (2.8.5)$$

Dimana:

D = Tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar, inci

E_p = Modulus efektif seluruh lapisan struktur perkerasan di atas tanah dasar, psi

6) Perhitungan tebal lapis tambah

Tebal lapis tambah dihitung menggunakan hubungan berikut ini:

$$H_{OL} = \frac{ITP_{OL}}{a_{OL}} = \frac{ITP_f - ITP_{eff}}{a_{OL}} \quad (2.8.6)$$

Dimana :

ITP_{OL} = ITP yang dibutuhkan untuk overlay

a_{OL} = Koefisien kekuatan relative

H_{OL} = Tebal lapis tambah

ITP_f = ITP yang dihitung pada langkah 5

ITP_{eff} = ITP yang dihitung pada langka

2.9 Volume Lalu-lintas Rencana untuk perencanaan perkerasan

Kekuatan perkerasan jalan ditetapkan (pada umumnya) berdasarkan jumlah kumulatif lintasan kendaraan standar (CESA, axle) yang diperkirakan akan melalui perkerasan tersebut, diperhitungkan dari mulai perkerasan tersebut dibuat dan dipakai umum sampai dengan perkerasan tersebut dikategorikan rusak (habis nilai pelayanannya). Untuk menghitung lintasan rencana dilakukan prosedur sebagai berikut (Hikmat Iskandar):

- 1) Menghitung Volume Lalu-lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT, atau biasa disebut *Average Annual Daily Traffic*, AADT).

LHRT secara definisi adalah jumlah lalu lintas selama satu tahun penuh (365 hari) dibagi jumlah harinya dalam tahun tersebut. LHRT ditetapkan dalam unit Satuan Mobil Penumpang (smp) per hari atau dalam satuan komposisi kendaraan per hari. Untuk keperluan perencanaan, LHRT sangat jarang didasarkan atas informasi data lalu-lintas selama satu tahun penuh, sehingga sering diprediksi dari data survey yang pendek, misalnya 7 hari. TRL (Howe,1989) menyarankan, untuk keperluan LHRT, data yang efektif dikumpulkan adalah selama 7x24 jam, dengan catatan pengurangan waktu pengumpulan data cenderung menyebabkan deviasi perkiraan LHRT yang lebih tinggi, sementara penambahan waktu survey tidak menurunkan deviasi secara efisien, sedikit penambahan akurasi untuk usaha pengumpulan data yang banyak. Penelitian TRL tersebut menjelaskan bahwa hal tersebut berkaitan dengan pola kegiatan rutin pelaku perjalanan yang terpola mingguan.

Informasi verbal dari diskusi dengan para konsultan, data lalu-lintas sering didasarkan pada survei selama 3 hari. Sementara itu, Dirjen Bina Marga menggunakan data dari perhitungan lalu-lintas (Dirjen Bina Marga,1992) dengan mengategorikan ruas jalan menjadi 3 tipe:

- 1) Tipe A ($LHR \geq 10000$ kendaraan),
- 2) Tipe B ($5000 < LHR < 10000$),
- 3) Tipe C ($LHR \leq 5000$)

Dimana lamanya perhitungan data lalu-lintas ditentukan seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1: Lama Perhitungan Lalu-Lintas (Hikmat Iskandar)

No.	Tipe Pos	LHR	Lama Survey (jam)	Frekuensi Pengukuran
1.	Kelas A	≥ 10000	40 (dalam 2 hari)	4x /tahun
2.	Kelas B	5000 – 10000	40 (dalam 2 hari)	4x /tahun
3.	Kelas C	≤ 5000	16 (dalam 1 hari)	4x /tahun

2) Komposisi kendaraan

Survey volume lalu-lintas yang dipakai acuan dari Direktorat Jendral Bina Marga mengkategorikan 11 kendaraan termasuk kendaraan tidak bermotor (non motorised). Untuk perencanaan perkerasan jalan digunakan 11 klasifikasi kendaraan yang terdapat pada tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2: Kategori Jenis Kendaraan (Hikmat Iskandar)

No.	Jenis kendaraan
1	Sepeda motor, skuter, kendaraan roda tiga
2	Sedan, jeep, station wagon
No.	Jenis kendaraan
3	Opelet, pikup opelet, suburban, kombi, dan mini bus
4	Pikup, mikro truk, dan mobil hantaran
5a	Bus kecil
5b	Bus besar
6	Truk 2 as
7a	Truk 3 as
7b	Truk gandengan
7c	Truk tempelan (semi trailer)
8	Kendaraan tidak bermotor: sepeda, becak, dokar, keretek, andong

3) Perhitungan beban lalu-lintas untuk perkerasan jalan

Setiap kategori jenis kendaraan dengan konfigurasi dan berat as-nya, dapat dihitung *equivalent* faktor pengrusakannya (relative terhadap beban standar), terhadap perkerasan jalan. Besarnya dibandingkan terhadap lintasan beban as tunggal standar (*Vehicle Damaging Factor, VDF*). Setiap kelas kendaraan dalam memiliki nilai daya perusak terhadap perkerasan yang dihitung berdasarkan nilai rata-rata berat as-nya dalam satuan berat as standar 8,16 ton (18 KSAL). Nilai VDF dihitung menggunakan formula Liddle:

$$VDF = F_{td} \cdot \sum_{i=as\ ke} \{(Axle\ Load)^i / (8,20)^i\} \quad (2.9.1)$$

Dimana:

n = 4,0 (atau nilai lain)

F_{td} = Faktor konfigurasi as, sigle atau tandem

Perencanaan Lintasan Kendaraan:

$$CESA = \sum_j \{(VDF)_j \times LHRT_j \times (1+i)^n\} \quad (2.9.2)$$

Dimana:

- j = Kategori jenis kendaraan (1 s.d 11 kelas)
- CESA = Jumlah kumulatif lintasan kendaraan rencana, Eq.18KSAL
- N = Usia rencana, missal 5 tahun, 10 tahu, 15 tahun, dan seterusnya
- i = Faktor pertumbuhan lalu lintas

Formula diatas menjelaskan bahwa perencanaan beban lalu-lintas adalah jumlah total lintasan kendaraan (perkomposisinya) selama usia perencanaan. Biasanya dinyatakan dalam jutaan lintasan ekuivalen beban as standar.

4) Prosedur untuk digunakan dalam perencanaan LHR

Penetapan LHRT, karena LHRT praktis tidak efisien ditetapkan dari data survey selama 365 hari, maka LHRT diperkirakan dari LHR hari-hari sampel. Dengan demikian, nilainya akan berada dalam satuan kisaran perkiraan dengan nilai kemungkinan tertentu. Untuk mendapatkan nilai-nilai perkiraan tersebut, diperkirakan data time series yang menjadi dasar untuk menurunkan variasi musiman yang bias dinyatakan dengan angka, sehingga bias dipakai sebagai parameter untuk memperkirakan LHRT.

Hasil penelitian Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan (1999) merumuskan LHRT teksiran (atau ditulis $LHRT_T$) sebagai berikut:

$$LHRT_T = LHR_N / P,$$

Dan selang kepercayaan LHRT dinyatakan:

$$LHRT_T / (1 + a \cdot C_V / 100) \leq LHRT_T \leq / (1 - a \cdot C_V / 100) \quad (2.9.3)$$

Dimana:

LHR_N = LHR yang diperoleh dari data survey N hari (N x 24 jam)

P = Faktor musiman pada saat pengukuran lalu-lintas selama N hari, dapat dilihat pada tabel 2.3

a = Koefisien yang menyatakan tingkat peluang kejadian.
(a = 1,96 menunjukkan tingkat peluang 95%)

C_V = Koefisien variasi penaksiran, besarnya ditetapkan sesuai pelaksanaan survey lalu-lintas N hari

FK_{ijin} = Faktor keseragaman yang diijinkan
= 0% - 10%; keseragaman sangat baik
= 11% - 20%; keseragaman baik
= 21% - 30%; keseragaman cukup baik

Nilai P dan C_V merupakan factor-faktor yang merepresentasikan variasi musiman (seasonal variation). Untuk keperluan penaksiran LHRT, Puslitbang Teknologi Prasaranan Transportasi pada tahun 1998-1999 telah melakukan perhitungan lalu-lintas dirus Pantura selama satu tahun penuh yang mencatat volume lalu-lintas jam-jaman. Berdasarkan data yang diperoleh, ditetapkan angka-angka variasi musimannya yang disusun untuk digunakan sebagai factor mingguan, pada tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3: Faktor Musiman (Minggu), N=7x24 jam (Hikmat Iskandar)

Bulan	Minggu Ke 1		Minggu Ke 2		Minggu Ke 3		Minggu ke 4	
	P	Cv	P	Cv	P	Cv	P	Cv
1	0,826	9,640	0,801	7,140	0,806	6,45	0,807	6,860
2	1,209	19,730	1,166	20,200	1,153	14,48	1,092	13,110
3	0,988	9,140	0,988	7,710	0,953	7,71	0,955	6,980
4	0,970	4,880	0,954	4,420	0,958	4,42	0,976	6,600
5	0,923	6,610	0,930	7,800	0,946	10,96	0,881	8,420
6	1,016	4,960	1,047	3,580	1,064	2,56	1,094	3,400
7	1,197	7,660	1,290	16,640	1,263	13,55	1,154	7,780
8	1,026	5,940	1,043	5,200	0,985	6,94	0,996	8,370
9	1,028	7,900	1,025	8,030	1,023	8,42	1,004	10,760
10	0,942	3,340	0,928	4,280	0,958	3,75	0,979	4,440
11	0,980	3,400	0,972	3,320	0,991	3,62	0,995	4,020
12	0,979	3,940	0,984	2,000	0,978	2,92	0,991	2,690

Perumusan Tabel faktor musiman: tabel 2.3 merupakan factor-faktor musiman yang dihitung didasarkan atas pengukuran 1 kali selama satu tahun, untuk menjadi tabel yang biasa dimanfaatkan perlu asumsi yang berdasarkan bahwa variasi LHR dari hari ke hari, minggu ke minggu dalam bulan ke bulan dalam tahun-tahun berikutnya memiliki pola yang sma, artinya bahwa system pembangkit dan penarik lalu-lintas tidak berubah secara signifikan atau berubah bersama-sama secara linier, untuk membuktikan ini atau merumuskannya, diperlukan data time series lalu-lintas yang cukup banyak (missal 5 tahun berturut-turut).

Komposisi kendaraan, Perkiraan LHRT dari LHR berdasarkan data yang ringkas perlu memperhatikan komposisi kendaraan. Jika porsi Truk dalam $LHR_{7\text{ HARI}} X\%$, belum tentu pada minggu-minggu yang lain porsi $X\%$ tersebut sama, sehingga belum tentu porsi tersebut benar untuk LHRT. Untuk tujuan praktis, porsi tersebut diasumsikan memiliki porsi linier antara porsi dalam satu minggu terhadap porsi dalam satu tahun. Tetapi, untuk tujuan mendapatkan akurasi yang dapat diterima, perlu mengkaji linearitas porsi komposisi kendaraan tersebut.

Perkiraan LHRT N tahun kedepan, untuk menghitung perkiraan LHRT kedepan, sering digunakan factor pertumbuhan lalu-lintas sebagai model yang mendekati pertumbuhan (*growth factor*) lalu-lintas empiris. AASHTO (2001) pun menggunakan model ini seperti ditunjukkan pada tabel 2.3. Dengan mengalikan factor tersebut terhadap LHRT awal tahun perencanaan, maka akan diperoleh jumlah kumulatif lalu-lintas selama tahun perencanaan. Sebagai contoh, jika total traffic pada awal perencanaan adalah $365 \times \text{LHRT}$, dan jika tingkat pertumbuhan lalu-lintas $i=8\%$ sert usia rencana $N=10$ tahun, maka total Traffic pada akhir tahun perencanaan adalah $365 \times \text{LHRT} \times 14,49$.

Model pertumbuhan lalu-lintas seperti ini dipandang masih beralasan untuk diadopsi selama belum ada data yang dapat dipakai untuk melalukan evaluasi. Yang perlu untuk dimutahirkan segera adalah nilai tingkat pertumbuhan lalu-lintas tahunan, biasa diberi notasi I , dinyatakan dalam $\%$. Jalan seperti jalur Pantura yang LHRTnya sudah cukup tinggi mendekati kapasitas ruas jalannya, terutama pada waktu menghadapi perayaan idul fitri, memiliki keterbatasan untuk lebih meningkatkan volume lalu-lintasnya, kecuali jumlah lajur jalannya bertambah. Kondisi seperti ini cenderung memiliki tingkat pertumbuhan yang bias rendah. Demikian juga jika dibangun route alternative atau mode alternative lainnya, memungkinkan tingkat pertumbuhan lalu-lintas pada ruas ini menurun.

BAB 3

MOTODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian studi kasus dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Balai Besar Jalan Sumatera Utara yang kemudian dievaluasi menggunakan metode AASHTO 1993 untuk menentukan tebal lapis tambah (*overlay*). Penelitian ini dilakukan pada tanggal 25 juli 2021 pada ruas jalan Lingkar Luar Binjai.

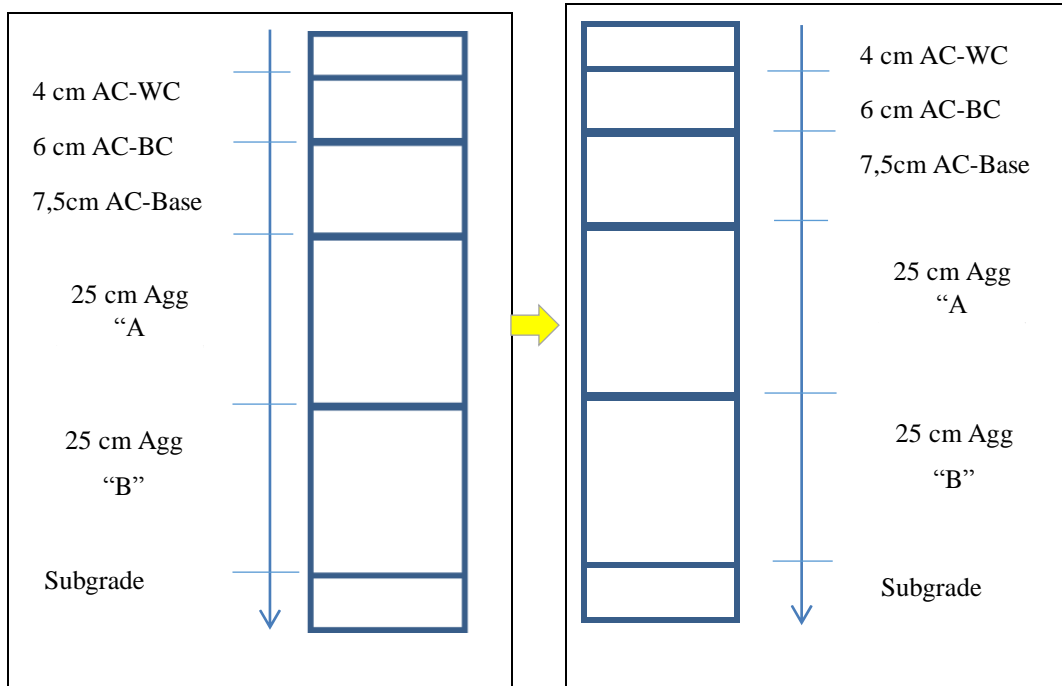
3.2 Tahap Desain Data

Penelitian ini menggunakan desain data meliputi data struktur perkerasan, data lendutan, dan data lalu lintas :

1. Data struktur perkerasan

Pada metode AASHTO 1993 jumlah lapis perkerasan terdiri dari 2 lapis yaitu lapis penggabungan di atas tanah dasar dan lapisan tanah dasar. Sebelum menghitung tebal lapisan perkerasan, dilakukan asumsi awal sebagai berikut:

- Dilakukan penggabungan lapisan AC-WC, AC-BC, AC-Base, Agg. "A", Agg. "B".
- Tebal perkerasan di bawah lapisan Agg. "A" diasumsikan menjadi lapisan subgrade.



Gambar 3.1: Asumsi Perkerasan Eksisting Jalan Lingkar Luar Binjai

2. Data Lendutan

Data lendutan menggunakan data lendutan pada jalan Lingkar Luar Binjai melalui pengukuran alat FWD. Data yang diperoleh dari alat ini yaitu data lendutan D1-D7 yang menggunakan 7 geophone. Pada pengukuran lendutan mencatat beban yang digunakan saat pengukuran dengan alat FWD serta data temperatur permukaan, udara, dan perkerasan.

3. Data Lalu-lintas

Data lalu-lintas yang digunakan yaitu data lalu-lintas harian rata-rata (LHR) pada ruas jalan Lingkar Luar Binjai tahun 2021 dan menggunakan data lalu-lintas harian tahunan (LHRT) yang sesuai dengan umur rencana tebal perkerasan yang ditentukan yaitu umur rencana 10 tahun (2031).

3.3 Tahap Perhitungan Data

3.3.1 Tahap Pengumpulan Data

Semua data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang didapat dari lapangan. Data-data tersebut antara lain:

1. Data struktur perkerasan

Data yang dibutuhkan adalah data struktur perkerasan. Data ini adalah gambaran lengkap kondisi perkerasan lentur di ruas yang ditinjau, data struktur perkerasan berupa tebal perkerasan eksisting dan material perkerasan yang digunakan. Pengukuran lendutan dilakukan pada Jalan lingkaran luar binjai (Jl. Megawati - Jl. Toer) per arah lajur lalu lintas.

2. Data lendutan

Data lendutan diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan alat FWD (*Falling Weight Defletometer*). Pada pengukuran lendutan dicatat pula data temperatur udara permukaan, dan temperatur perkerasan saat pengukuran.

3. Data kondisi lalu lintas

Data lalu lintas berupa data lalu lintas harian rata-rata (LHR) dan Data lalu-lintas rata-rata tahunan (LHRT) tahun 2021 sampai dengan 2031. Data lalu lintas yang diperoleh akan didistribusikan menurut golongan kendaraan berdasarkan kategori jenis kendaraan.

3.3.2 Metode Perhitungan Metode AASHTO 1993

Evaluasi struktural dengan menggunakan metode AASHTO 1993 adalah secara analitis-empiris yaitu penyusunan perumusan berdasarkan data-data lapangan berupa data lendutan hasil pengukuran alat FWD dan kumulatif ESAL. Cara yang dilakukan dalam metode AASHTO 1993 adalah dengan menggunakan nilai modulus perkerasan yang diperkirakan dari proses *back calculation* terhadap data cekung lendutan.

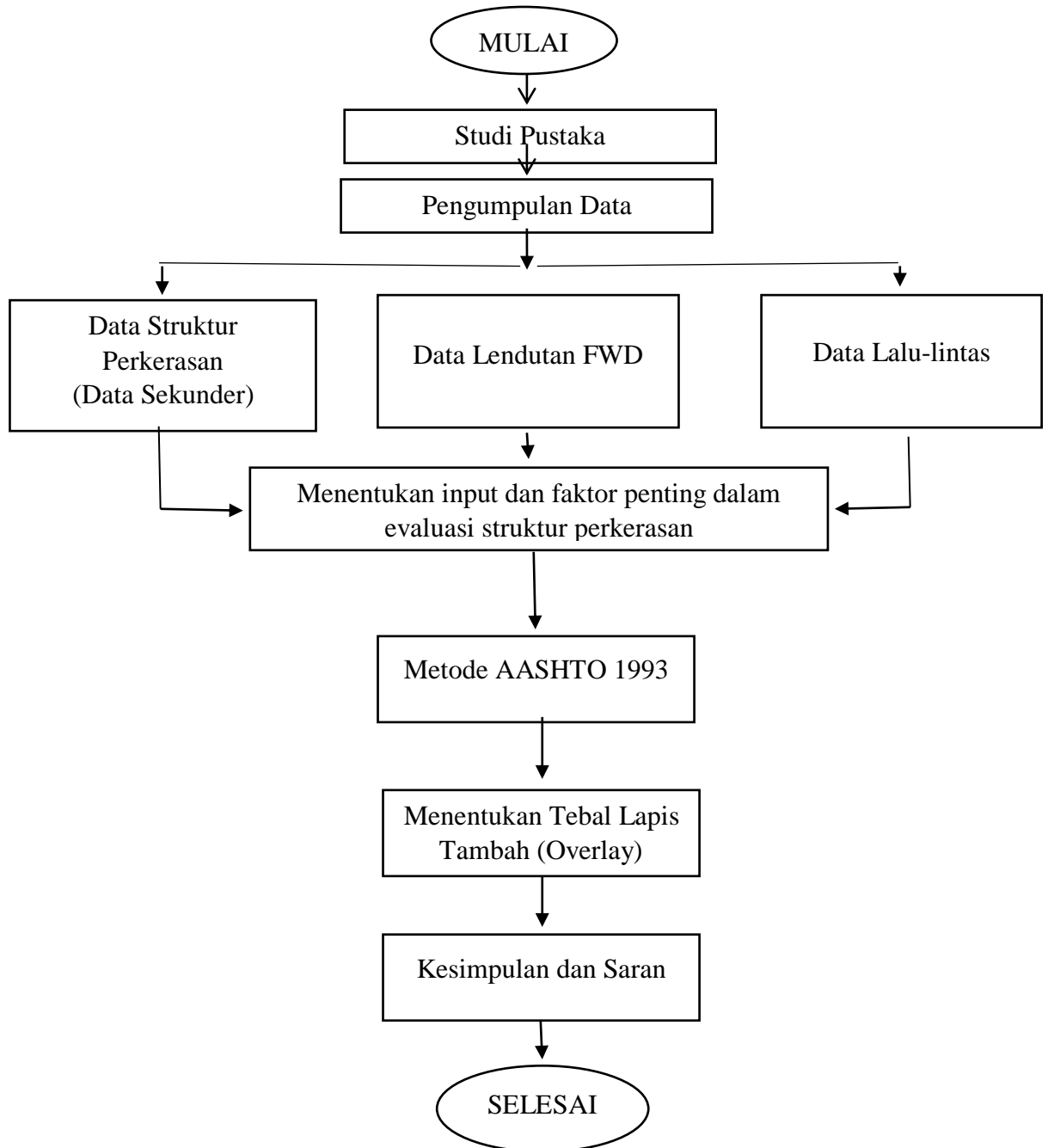
Untuk perhitungannya metode AASHTO 1993 menggunakan program EXCEL yang hasilnya adalah nilai M_R , E_p , SN_{eff} dan SN_f , sedangkan secara empiris yaitu dengan menentukan koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan (a_1 ,

a_2 , a_3) dan kumulatif ESAL sehingga menghasilkan nilai SN_o dan SN_f yang selanjutnya dilakukan evaluasi tebal *overlay*. Adapun tahapan pengolahan data dengan metode AASHTO 1993 adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghitung MR dilakukan dengan menggunakan lendutan terjauh yang diasumsikan merupakan lendutan yang menjangkau pada tanah dasar.
2. Beban pada drop 2 diambil sebagai beban wakilnya dan nilai r berupa jarak geophone D7 yang merupakan jarak geophone terjauh dari pusat beban.
3. Modulus Elastisitas E_p terpasang diiterasi dimana tebal lapisan berupa penggabungan lapisan.
4. Setelah menghitung Modulus Elastisitas, dilanjutkan dengan pengecekan syarat bahwa $r \geq 0,7 a_e$.
5. Lalu hitung nilai SN_o , SN_{eff} , SN_f . Nilai SN_f menyatakan nilai kapasitas struktural pada masa yang akan datang dengan menggunakan persamaan Log (W18).

3.4 Tahapan Evaluasi Metode AASHTO 1993

Megevaluasi tebal lapis tambah (overlay) yang didapat dari metode AASHTO 1993. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan alir penelitian berikut ini:



Gambar 3.2: Bagan Alir Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Lalu-lintas Harian Rata-rata (LHR)

Survey lalu lintas dilakukan pada tanggal 25 Juli 2021 pada ruas jalan Lingkar Luar Binjai. Data ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Balai Besar Jalan Sumatera Utara. Data LHR yang didapat adalah 1.148.893. Survey dilakukan pada minggu ke-4 bulan Juli sehingga dari tabel faktor musiman yang terdapat pada bab 2 tabel 2.3 diperoleh $P=1,154$ dan $Cv= 7,78\%$.

Tabel 4.1: Data lalu lintas harian rata-rata (LHR)

Hari	Data LHR Pada Ruas Jalan Lingkar Luar Binjai R1 & R2										
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
Senin	10.47 2	5.343	629	1.130	11 0	99	308	1.04 9	406	42	66
Selasa	13.32 2	6.742	792	1.746	76	10 0	171	935	448	66	65
Rabu	12.44 2	6.641	1.08 6	1.241	15 0	12 8	211	756	411	82	93
Kamis	13.87 7	6.341	890	1.763	97	10 5	670	722	333	82	58
Jumat	14.41 5	6.382	902	1.618	78	88	151	965	365	50	94
Sabtu	12.77 8	4.969	891	1.576	86	97	397	915	367	69	35
Minggu	8.764	6.230	646	1.237	83	50	458	969	132	19	36
Total 1 Minggu	86.06 9	42.74 1	5.83 7	10.31 2	68 0	66 7	2.36 7	6.31 1	2.46 1	41 1	44 8
Rata- rata Per Hari	12.29 6	6.106	834	1.473	97	95	338	902	352	59	64

4.2 Data Lalu-lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT)

Lalu-lintas Harian rata-rata tahunan (LHRT) adalah lalu-lintas harian rata-rata yang didapat dari LHR yang disesuaikan dengan faktor musim yang dipengaruhi oleh bulan dan minggu yang memperoleh nilai $P = 1,154$ dan $C_v = 7,78\%$. maka taksiran LHRT adalah:

$$\text{LHRT} = 12.296/1,154 = 10.655 \text{ kendaraan/hari.}$$

Koreksi:

$$\text{LHRT} = 10.655 / (1 + 1,96 \times 7,78 / 100) \leq \text{LHRT} \leq 10.655 / (1 - 1,96 \times 7,78 / 100) \text{ pada}$$

tingkat peluang 95% ($\alpha = 1,96$),

sehingga:

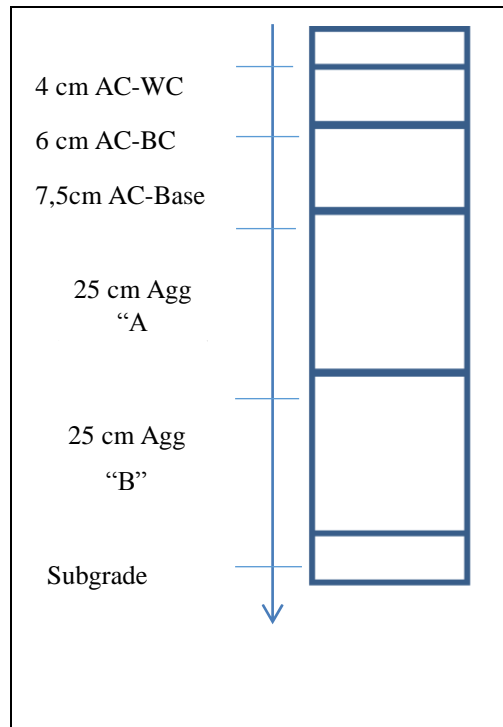
$$9.245 \leq \text{LHRT} \leq 12.572 \text{ kendaraan per hari.}$$

Tabel 4.2: Data lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT)

Hari	Data LHRT Pada Ruas Jalan Lingkar Luar Binjai R1 & R2										
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
Senin	10.472	5.434	629	1.130	110	99	308	1.049	406	42	66
Selasa	13.322	6.742	792	1.746	76	100	171	935	448	66	65
Rabu	12.442	6.641	1.086	1.241	150	128	211	756	411	82	93
Kamis	13.877	6.341	890	1.763	97	105	670	722	333	82	58
Jumat	14.415	6.382	902	1.618	78	88	151	965	365	50	94
Sabtu	12.778	4.969	891	1.576	86	97	397	915	367	69	35
Minggu	8.764	6.230	646	1.237	83	50	458	969	132	19	36
Rata-rata Tahunan	10655	5291	723	1277	84	83	293	781	305	51	55

4.3 Data Struktur Perkerasan

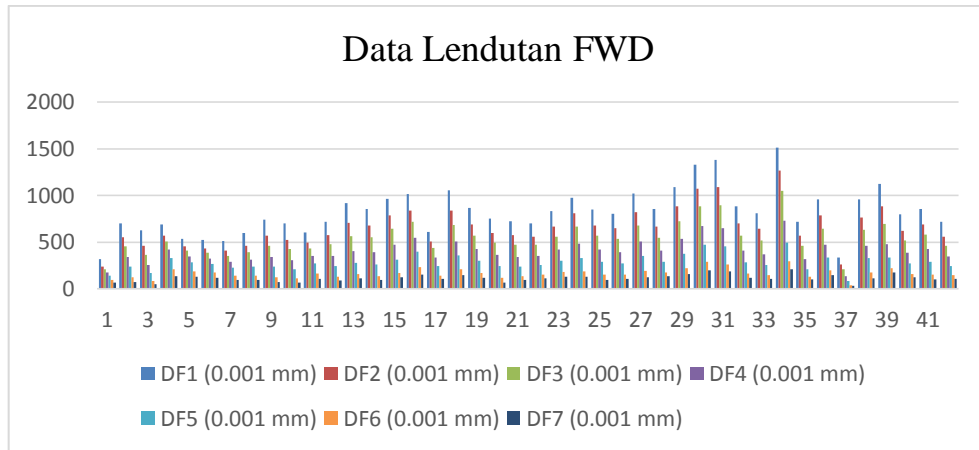
Tipe perkerasan eksisting untuk Ruas Jalan Lingkar Luar Binjai adalah perkerasan lentur dengan lapis permukaan aspal. Gambar perkerasan eksisting dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.1: Data Struktur Perkerasan Jalan

4.4 Data Lendutan

Data lendutan diperoleh dari alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Alat ini dilengkapi dengan piringan beban berdiameter 300 mm, berat beban 4,5 ton/9000 lbs dari tinggi jatuh 315 mm. Jarak antara deflectometer di tempatkan antara 0,200,300,450,600,900,1200,1500,dan 1800 dari pusat beban. Data lendutan dengan alat FWD yang diperoleh terdapat pada lampiran. Secara grafis, data lendutan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.2: Lendutan FWD D1-D7

4.4.1 Perhitungan Data Lendutan dengan Alat FWD

Data lendutan yang diperoleh dari alat FWD, dapat dilihat pada halaman lampiran 60 pada tugas akhir, data lendutan ini memperoleh nilai lendutan wakil (d_{wakil}), lendutan rata-rata (d_r), (standar deviasi (s), faktor keseragaman (FK), beban (P), tegangan (γ), dan temperature (air, udara, dan permukaan).

Dimana:

1. $d_{wakil} = d_r + (2xs) = 258,65 \text{ mm}$
2. $d_r = 173,07 \text{ mm}$ (Σ lendutan ke - 6 pada alat FWD)
3. $S = 42,79$ (Standar deviasi dari Σ lendutan ke-6 pada alat FWD)
4. $Fk = (s/d_r) \times 100 = 24,72$
5. $P_{ton} = 6,24 \text{ Ton}$ (13.732 lbs)
6. $\gamma = 883,03 \text{ Kpa}$ (128,07 psi)
7. $T = 35^{\circ}\text{C}$ (94°F)

4.4.2 Perhitungan Tebal Lapis Tambah Berdasarkan Data Lendutan FWD

Dalam perhitungan tebal lapis tambah berdasarkan data lendutan FWD memiliki tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan nilai lendutan pada pusat pembebanan (d_o)

$$d_o = \frac{d_{\text{wakil}}(\text{lendutan ke-1})}{25000} = 0,0397 \text{ inch (Menggunakan pers. 2.8.3 pada bab 2)}$$

2. Menentukan nilai lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan (d_r)

$$d_r = \frac{d_{\text{wakil}}(\text{lendutan ke-6})}{25000} = 0,01034 \text{ inch}$$

3. Menentukan jarak dari pusat pembebanan (r)

$$r = 90/2,5 = 36$$

4. Menentukan beban yang digunakan dalam satuan Ton dan lbs (P)

$$P = d_r(\text{lendutan ke-6}) + (2 \times s) = 6,24 \text{ Ton (13.732 lbs)}$$

5. Menentukan tegangan yang digunakan dalam satuan Kpa dan Psi (γ)

$$\gamma = d_r + (2 \times s) = 871,34 + (2 \times 5,84) = 883,03 \text{ Kpa (128,07 Psi)}$$

6. Menentukan Modulus Resilien Tanah Dasar (M_R)

$$M_R = \left(\frac{0,24 \times P}{d_r \times r} \right) = \left(\frac{0,24 \times 13.732}{0,0103 \times 36} \right) = 8.848,26 \text{ Psi}$$

7. Menentukan nilai Temperatur (T)

$$T = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = 9/5 \times \text{ } ^\circ\text{C} + 32 = 94 \text{ } ^\circ\text{F}$$

8. Menentukan Tebal Total lapis perkerasan di tanah dasar (D)

$$D = 60/2,5 = 24 \text{ inch}$$

4.5 Perencanaan Tebal Lapis Tambah dengan Metode AASHTO 1993

Perencanaan tebal lapis tambah dengan metode AASHTO 1993 memiliki tahapan perhitungan sebagai berikut:

1. Nilai TAF

$$\text{TAF} = 0,86$$

2. Nilai lendutan pada pusat pembebanan koreksi (d_o koreksi)

$$d_o \text{ koreksi} = 0,0397 \times 0,86 = 0,0342 \text{ inch}$$

3. Jarak dari pusat pembebanan (r)

$$r = 90/2,5 = 36$$

4. Nilai koefisien Kekuatan Relatif (a)

$$a = 15/2,5 = 6 \text{ inch}$$

5. Nilai modulus efektif seluruh lapisan perkerasan di atas tanah dasar (E_p)

$$E_p = 52.432 \text{ Psi (diperoleh dari pers. 2.8.2 dan 2.8.3 pada bab 2)}$$

6. Nilai lendutan pada pusat pembebanan desain (d_o desain)

$$d_o \text{ desain} = 0,0345 \text{ inch (diperoleh dari pers. 2.8.3 pada bab 2)}$$

7. Nilai factor untuk beban FWD (C)

$$C = 0,33$$

8. Nilai Modulus Resilien Desain (M_R Desain)

$$M_R \text{ Desain} = C \times M_R = 2.919,93 \text{ Psi}$$

9. Nilai jari-jari gelembung tegangan pada permukaan batas antara tanah dasar dan struktur perkerasan (a_e)

$$a_e = 44 \text{ inch (diperoleh dari pers. 2.8.2 pada bab 2)}$$

10. Koreksi nilai jarak minimum pengukuran lendutan untuk estimasi modulus

$$\text{resilien tanah dasar dimana } r \geq 0,7 a_e$$

$$0,7 a_e = 44 \times 0,7 = 30,7 \text{ (nilai ini memenuhi syarat diatas)}$$

11. Nilai tebal kapasitas struktural yang mengalami kemerosotan (SN_{eff})

$$SN_{eff} = 4,04 \text{ cm (diperoleh dari pers. 2.5.3 pada bab 2)}$$

12. Nilai kapasitas structural perencanaan pada umur rencana yang ditetapkan (SN_f)

$$SN_f = 5,63 \text{ cm (diperoleh dari pers. 2.5.5 pada bab 2)}$$

13. Nilai koefisien material dari lapis perkerasan rencana (a)

$$a = 0,4$$

14. Nilai tebal lapis tambah (overlay) (H_L)

$$H_L = SN_f - SN_{eff} / a = 3,97 \text{ inch (dimana 1 inch} = 2,54 \text{ cm)}$$

Sehingga diperoleh:

Kebutuhan Tebal lapis tambah (overlay) pada Jalan.Lingkar Luar Binjai sebesar 9,92 cm

4.6 Evaluasi Data

Mengevaluasi data tebal lapis tambah (overlay) menggunakan Excel yang diperoleh nilai sebagai berikut:

CESA = 22.985.580 (diperoleh dari data Kumulatif ESA/LHRT 2031)

$$IPt = 2,5$$

$$IPo = 4,2$$

$$\Delta Psi = 1,7 ; (IPt - IPo)$$

$$R = 95\%$$

$$ZR = -1,645$$

$$So = 0,4$$

$$Mr = 7.864,76$$

$$m2 = 1,00$$

$$m3 = 1,00$$

Dimana:

CESA= Kumulatif Equivalen Standard Axle

IPt = Indeks kemudahan servis terminal desain

IPo = Indeks kemudahan servis desain awal

ΔPSI = Perbedaan antara IPo dan IPt

R = Reliability

ZR = Deviasi normal Standar

So = gabungan standard eror untuk perkiraan
lalu-lintas dan kinerja

Mr = Modulus resilien

m2 = Koefisien Drainase

m3 = Koefisien Drainase

Dengan koreksi :

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9,36 \times \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}_{10} \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \text{Log}_{10}(M_R) - 8,07$$

$$\text{Log } W_{18} = 7,361$$

$$SN_f = 5,63$$

$$\text{Check} = 7,362$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian studi kasus dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode AASHTO 1993 dapat digunakan pada evaluasi tebal lapis tambah (*overlay*) pada ruas jalan Lingkar Luar Binjai yang memiliki lalu-lintas harian rata-rata tinggi dengan bantuan data lendutan FWD.
2. Hasil evaluasi tebal lapis tambah perkerasan dengan menggunakan Metode AASHTO 1993 mendapatkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar 9,92 cm untuk jalan Lingkar Luar Binjai. Nilai lendutan rata-rata yang terjadi pada geophone satu sampai tujuh yaitu 0,748 mm; 0,656 mm; 0,545 mm; 0,405 mm; 0,288 mm; 0,173 mm; dan 0,144 mm. nilai lendutan terbesar terjadi pada geophone pertama. Dari nilai lendutan tersebut mendapatkan nilai lendutan wakil sebesar 258,65 mm.

5.2 Saran

1. Agar konstruksi perkerasan lentur dapat bertahan/mencapai umur rencana yang diharapkan hendaknya dilakukan kegiatan perawatan secara rutin, sehingga dapat meminimalkan terjadinya kerusakan pada konstruksi sehingga dapat berfungsi sesuai umur rencana.
2. Perlu dilakukan survei *Weight in Motion* (WIM)/timbangan kendaraan secara rutin sesuai tipe sumbu kendaraan dan survey lalu lintas primer secara periodik minimal 1 tahun sekali selama 24 jam untuk mengantisipasi jenis dan beban kendaraan yang lewat

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO guide for design of pavement structures, 1993, *The American Association of State Highway Transportation Official*, Washington DC.
- Akhmad Haris et al, Evaluasi Struktural Perkerasan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Metode Bina Marga 2013 Studi Kasus: Jalan Nasional Losari – Cirebon. Volume 22 No. 2 Agustus 2015 No. ISSN 0853-2982.
- Bina Marga, 2018, *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013*. Jakarta:Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Frisky Ridwan et al, Evaluasi Kondisi Struktural Perkerasan Lentur Menggunakan Metoda AASHTO 1993 Studi Kasus: Ruas Ciasem-Pamanukan (Pantura).Jurnal Teknik Sipil Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil No. ISSN 0853-2982.
- Hikmat Iskandar, Volume Lalu-lintas Rencana Untuk Geometrik Dan Perkerasan Jalan, Laporan akhir Penelitian dan Pengembangan Nomor 6.1.02.471512.21.04.001, Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Mardiah, S., 2004, Kinerja Struktural Perkerasan Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Program Komputer ELMOD pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek Ruas Cikarang-Karawang Barat, ITB, Bandung.
- Murillo dan Bajarano, 2013, Metode Perhitungan Mundur (*Back Calculation*) Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Program ELMOD Versi 5 Studi Kasus : Jalan Tol Jagorawi (Ruas Bogor- Ciawi), Tesis Program Studi Teknik Sipil (Rekayasa Transportasi), Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Nefiadi, E.N.,1990, *Comparison of Pavement Structural Characteristic as Determined Using Benkelman Beam and FWD*, Tesis Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Pt-T-01-2002-B, Pedoman Konstruksi dan Bangunan “Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan lentur”, Dewan Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Pt- T-01-2002-B, Pedoman Konstruksi dan Bangunan “Desain Perkerasan Jalan lentur”, Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat jendral Bina Marga.

Pd-T-05-2005-B, Pedoman Konstruksi dan Bangunan “Perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metode lendutan”, Departemen Pekerjaan umum.

Pd-03-2018-B, Pedoman Bahan Konstruksi bangunan dan rekayasa Sipil “Cara Uji Lendutan Permukaan Jalan dengan Falling weight deflectometer (FWD)”, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Rizko et al 2011, Analisis Lapis Tambah Perkerasan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Program ELMOD 6 Studi Kasus: Jalan Pantura (Ruas Palimanan-Jatibarang), ITB, Bandung.

Sukirman, Silvia, 2010, *Pemeriksaan Destruktif dan Non-Destruktif pada Struktur Perkerasan Lentur*. Bandung: Penerbit Nova.

LAMPIRAN

DATA LHR, DATA LHRT,

DATA KUMULATIF ESAL, DATA LENDUTAN,

DATA EVALUASI TEBAL LAPIS TAMBAH (OVERLAY).

Data LHR

Hari	DATA LHR PADA RUAS JALAN LINGKAR LUAR BINJAI										
	R1 & R2										
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
Senin	10.472	5.434	629	1.130	110	99	308	1.049	406	42	66
Selasa	13.322	6.742	792	1.746	76	100	171	935	448	66	65
Rabu	12.442	6.641	1.086	1.241	150	128	211	756	411	82	93
Kamis	13.877	6.341	890	1.763	97	105	670	722	333	82	58
Jumat	14.415	6.382	902	1.618	78	88	151	965	365	50	94
Sabtu	12.778	4.969	891	1.576	86	97	397	915	367	69	35
Minggu	8.764	6.230	646	1.237	83	50	458	969	132	19	36
Total 1 Minggu	86.069	42.741	5.837	10.312	680	667	2.367	6.311	2.461	411	448
Rata-Rata per hari	12.296	6.106	834	1.473	97	95	338	902	352	59	64

DATA LHRT

Hari	DATA LHRT PADA RUAS JALAN LINGKAR LUAR BINJAI										
	R1 & R2										
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
Senin	10.472	5.434	629	1.130	110	99	308	1.049	406	42	66
Selasa	13.322	6.742	792	1.746	76	100	171	935	448	66	65
Rabu	12.442	6.641	1.086	1.241	150	128	211	756	411	82	93
Kamis	13.877	6.341	890	1.763	97	105	670	722	333	82	58
Jumat	14.415	6.382	902	1.618	78	88	151	965	365	50	94
Sabtu	12.778	4.969	891	1.576	86	97	397	915	367	69	35
Minggu	8.764	6.230	646	1.237	83	50	458	969	132	19	36
Rata-rata Tahunan	10655	5291	723	1277	84	83	293	781	305	51	55

Kumulatif ESAL

Tahun	Golongan Kendaraan	VDF	Distribusi Arah	Faktor lajur	LHR awal Rencana	Umur Rencana	ESA
1	2	3	5	6	7	9	8
2021	5b	1,00	0,5	1	102	10	364.374,00
	6a	0,55	0,5	1	100	10	711.439,00
	6b	4,50	0,5	1	354	10	11.715.057,00
	7a1	10,10	0,5	1	944	10	8.473.046,00
	7a2	10,50	0,5	1	430	10	0
	7c1	15,90	0,5	1	67	10	1.721.664
	7c2A	19,80	0,5	1	0	10	0
	7c2B	20,70	0,5	1	0	10	0
	7c3	24,50	0,5	1	0	10	0
						CESA	22.985.580

DATA LENDUTAN FWD (*Falling Weight Deflectometer*)

STA		df1	df2	df3	df4	df5	df6	df7	stress		Beban		temp_as	temp_air	temp_surf
00+800		inch	inch	inch	inch	inch	inch	inch	Kpa	Psi	Ton	Lbs	°C	°C	°C
10		518,4	238,3	209,9	176,8	142,5	170,9	143,4	881,8	127,9	6,23	13.713	33,8	37,4	35,3
30		702,3	552,1	457,5	340,2	238,8	124,1	148,8	880,3	127,7	6,22	13.690	33,8	37,4	35,3
50		626,1	459,0	363,6	254,2	170,2	157,3	125,4	881,0	127,8	6,23	13.700	33,8	37,4	35,3
70		691,1	572,3	507,5	418,7	332,0	210,2	136,6	879,7	127,6	6,22	13.679	33,8	37,4	35,3
90		535,2	455,9	408,7	348,0	281,9	189,8	128,1	879,2	127,5	6,21	13.672	33,8	37,4	35,3
110		523,3	432,9	386,1	326,2	264,2	175,4	192,0	879,0	127,5	6,21	13.669	33,8	37,4	35,3
130		510,8	407,4	355,3	290,3	225,7	140,7	170,0	877,8	127,3	6,21	13.651	33,8	37,4	35,3
150		600,2	460,3	393,4	314,3	239,4	142,2	173,0	876,2	127,1	6,19	13.625	33,8	37,4	35,3
170		743,5	569,1	460,5	342,1	237,7	123,2	147,3	873,7	126,7	6,18	13.586	33,8	37,4	35,3
190		699,7	523,2	426,6	306,8	211,2	112,0	144,9	872,5	126,5	6,17	13.568	33,8	37,4	35,3
210		605,7	495,0	430,9	352,6	273,2	166,9	181,4	869,8	126,2	6,15	13.527	33,8	37,4	35,3
230		715,6	577,9	476,0	352,8	243,7	129,5	162,4	870,0	126,2	6,15	13.529	33,8	37,4	35,3
250		915,1	708,7	565,2	404,4	279,7	160,2	115,3	868,7	126,0	6,14	13.508	33,8	37,4	35,3
270		853,7	677,9	549,8	390,2	260,1	137,1	173,0	869,0	126,0	6,14	13.514	33,8	37,4	35,3
290		961,2	784,8	646,3	472,5	315,5	172,5	121,8	870,0	126,2	6,15	13.529	33,8	37,4	35,3
310		715,6	839,3	719,0	547,7	395,8	233,3	154,8	871,7	126,4	6,16	13.555	33,8	37,4	35,3
330		611,0	507,4	435,6	335,1	243,8	144,1	104,7	875,3	127,0	6,19	13.612	33,8	37,4	35,3
350		755,1	837,5	686,2	507,7	357,7	208,5	145,7	874,3	126,8	6,18	13.597	33,8	37,4	35,3
370		865,4	689,2	568,8	425,1	299,1	171,7	115,8	876,0	127,1	6,19	13.623	33,8	37,4	35,3
390		751,3	598,8	496,4	364,7	244,2	116,3	144,7	876,3	127,1	6,19	13.628	33,8	37,4	35,3
410		722,3	573,7	470,4	343,0	239,1	133,2	95,9	875,8	127,0	6,19	13.620	33,8	37,4	35,3
430		700,9	560,4	469,8	352,8	257,8	155,6	110,8	873,7	126,7	6,18	13.586	33,8	37,4	35,3
450		832,6	668,0	558,4	422,9	303,6	180,0	130,3	870,7	126,3	6,15	13.540	33,8	37,4	35,3
470		974,0	809,3	668,2	481,5	330,5	186,4	180,0	868,8	126,0	6,14	13.511	33,8	37,4	35,3
490		850,4	678,4	570,5	423,1	290,5	153,1	173,4	864,7	125,4	6,11	13.446	33,8	37,4	35,3
510		802,0	649,8	534,7	393,9	273,3	152,4	105,2	860,8	124,9	6,08	13.387	33,8	37,4	35,3

530		718,4	818,4	680,7	506,8	353,8	191,0	122,5	860,8	124,9	6,08	13.387	33,8	37,4	35,3
550		853,7	665,8	547,0	407,3	288,0	177,1	133,3	862,2	125,0	6,09	13.407	33,8	37,4	35,3
570		789,9	883,7	722,4	534,6	374,0	218,5	161,0	859,3	124,6	6,07	13.363	33,8	37,4	35,3
590		728,0	1021,5	883,1	670,4	472,7	289,5	199,6	861,8	125,0	6,09	13.402	33,8	37,4	35,3
610		780,3	1091,2	894,0	652,0	457,0	263,2	186,4	864,3	125,4	6,11	13.441	33,8	37,4	35,3
630		882,6	701,8	569,9	411,4	284,3	165,7	119,6	871,5	126,4	6,16	13.553	33,8	37,4	35,3
650		808,6	644,2	518,0	370,3	254,2	145,8	106,6	870,5	126,3	6,15	13.537	32,5	30,4	28,6
670		712,9	1267,3	1046,6	732,2	497,9	297,5	212,0	867,2	125,8	6,13	13.485	32,5	30,4	28,6
690		720,4	568,9	458,7	318,3	212,7	127,6	174,4	870,7	126,3	6,15	13.540	32,5	30,4	28,6
710		957,4	787,9	642,4	474,9	336,5	199,7	148,5	869,2	126,1	6,14	13.516	32,5	30,4	28,6
730		636,8	260,3	207,4	137,6	159,4	190,9	159,1	870,8	126,3	6,16	13.542	32,5	30,4	28,6
750		959,6	761,1	632,0	463,2	327,6	173,3	111,9	866,2	125,6	6,12	13.470	32,5	30,4	28,6
770		725,3	885,1	693,2	480,7	336,0	223,4	173,0	866,3	125,6	6,12	13.471	32,5	30,4	28,6
790		796,1	622,3	518,1	384,8	272,5	158,5	121,4	870,7	126,3	6,15	13.540	32,5	30,4	28,6
796		852,8	692,2	580,3	427,9	291,8	153,4	102,4	872,0	126,5	6,16	13.560	32,5	30,4	28,6
800		715,9	559,4	463,0	344,4	243,8	147,3	106,7	876,0	127,1	6,19	13.623	32,5	30,4	28,6

dr		748,12					173,07		871,34	126,38	6,16	13550,06	33,49		
s		122,78					42,79		5,84	0,85	0,04	90,87	0,56		
dwakil		993,67					258,65		883,02	128,07	6,24	13731,80	34,61		
Keseragaman		16,41													

Data Evaluasi Tebal Lapis Tambah (Overlay)

JALAN LINGKAR LUAR BINJAI

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07$$

CESA	2,30E+07
IPt	2,5
IPo	4,2
ΔPSI	1,7
R	95%
Zr	-1,645
So	0,4
Mr	7.864,76
m ₂	1,00
m ₃	1,00

Log w(18) 7,361

SNf 5,63

Check 7,362

 OK

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



IDENTITAS

Nama : Vanisa Gustiawan
NPM : 1807210136
Tempat/Tanggal Lahir : Padang/05 juli 2000
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Jl. Kenanga 1 No.2 Komplek Pemda Tingkat 1
Sempakata Medan Selayang Sumatera Utara.
Kewarganegaraan : Indonesia
Anak Ke : 3 (Tiga)

DAFTAR ORANG TUA

Ayah : Marwansyah
Ibu : Gusnawarti
Alamat : Jl. Kenanga 1 No.2 Komplek Pemda Tingkat 1
Sempakata Medan Selayang Sumatera Utara.

JENJANG PENDIDIKAN

Tahun 2011 : SDN 02 Sikumbang Sumatera Barat
Tahun 2014 : SMPN 1 Solok Selatan Sumatera Barat
Tahun 2017 : SMAN 1 Solok Selatan Sumatera Barat
Tahun 2018 : Terdaftar Sebagai Mahasiswi FT UMSU Teknik
Sipil (Transport)