

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perkerasan jalan adalah susunan perkerasan yang berada di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan. Selama masa layanan, perkerasan ini diharapkan tidak menimbulkan kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan memiliki kualitas yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003). Untuk itu, perlu diperhatikan campuran dan ketebalan yang dipakai dalam perkerasan suatu jalan.

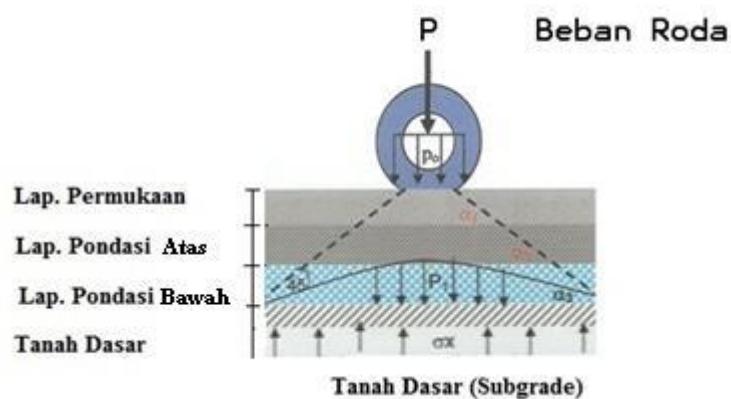
Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan menyalurkan beban lalu lintas tanpa merusak struktur itu sendiri. Sehingga, lapisan perkerasan ini memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan selama masa pelayanan jalan. Didalam perencanaan perlulah diperhatikan faktor yang bisa mempengaruhi fungsi pelayanan konstruksi perkerasan jalan, antara lain fungsi jalan, kinerja perkerasan, umur rencana, lalu lintas yang menjadi beban perkerasan, sifat tanah, kondisi lingkungan, sifat dan bahan yang tersedia pada lokasi yang digunakan untuk perkerasan jalan, dan bentuk geometris lapisan perkerasan.

2.2 Perkerasan Lentur

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1987) yang dimaksud perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapis dibawahnya. Bagian perkerasan jalan umumnya terdiri dari tanah dasar (*subgrade*), lapis pondasi bawah (*base course*), lapis pondasi atas (*sub base course*), dan lapis permukaan (*surface course*).

2.2.1 Kriteria Perkerasan Lentur

Struktur perkerasan lentur terdiri atas beberapa lapisan dengan material tertentu, dimana masing – masing lapisan akan menerima beban dari lapisan di atasnya dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya, sehingga lapisan struktur perkerasan di bawahnya akan menerima dan mendukung beban yang lebih ringan.



Gambar 2.1 Distribusi Beban pada Perkerasan Lentur

Sumber: Istiqamah dan Ramzil Huda (2011)

- dengan :
- P = Beban Roda Kendaraan
 - P_0 = Beban Awal
 - $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ = Sudut Penyebaran Beban Setiap Lapis
 - σ_x = Tegangan yang diberikan oleh Tanah Dasar
 - h_1, h_2, h_3 = Tebal Setiap Lapisan Perkerasan

Catatan : Terlihat bahwa beban kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui kontak roda berupa beban terbagi rata P_0 . Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar menjadi P_1 yang lebih kecil dari daya dukung tanah.

Syarat : $\sigma_x > \sigma$ yang terjadi

Tegangan tanah dasar > Tegangan beban roda

Guna memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna jalan, maka konstruksi perkerasan jalan haruslah memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Fungsional

Perkerasan harus mampu memberikan keamanan dan kenyamanan dalam berkendara bagi pengguna jalan. Oleh karena itu perkerasan harus memenuhi persyaratan seperti berikut :

- Permukaan perkerasan harus rata, tidak bergelombang atau melendut, dan tidak berlubang.
- Permukaan perkerasan harus cukup kasar agar tidak licin dan tidak mudah slip.
- Permukaan perkerasan harus mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat dengan cepat dialirkan ke saluran samping.

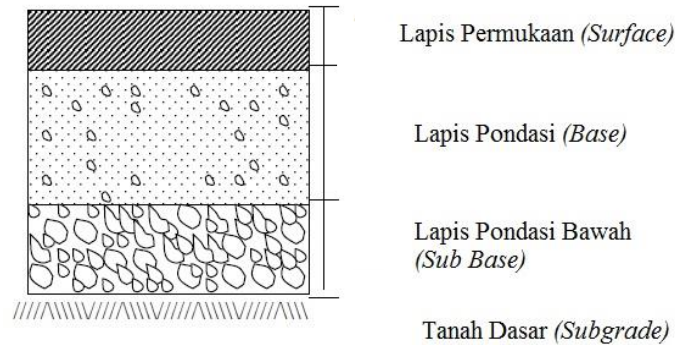
2. Struktural

Perkerasan harus mampu memikul dan menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Oleh karena itu perkerasan harus memenuhi persyaratan berikut :

- Perkerasan harus mempunyai ketebalan yang cukup, agar dapat menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- Perkerasan harus kedap terhadap air, agar tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
- Perkerasan harus mampu menahan tegangan dan regangan akibat beban lalu lintas.
- Permukaan perkerasan harus cukup kaku agar tidak mudah berubah bentuk atau *deformasi* dan tidak mudah mengalami retak akibat beban lalu lintas.

2.2.2 Struktur Perkerasan Lentur

Struktur Lapisan Perkerasan Lentur dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur Perkerasan Lentur

Sumber: Pt T-01-2002-B

1. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan ini adalah lapisan tanah paling bawah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Tanah dasar (*subgrade*) dapat berupa tanah asli yang dipadatkan, tanah yang dibawa dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dengan bahan kimia lain. Jika dilihat dari muka tanah asli, lapisan tanah dasar dibedakan atas tanah galian, tanah timbunan dan tanah asli

Sebelum menempatkan lapisan lain, subgrade dipadatkan sehingga mencapai stabilitas yang baik. Hal ini disebabkan oleh kekuatan konstruksi perkerasan jalan

2. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase*)

Lapis pondasi bawah adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak antara tanah dasar dan lapis pondasi. Biasanya terdiri atas lapisan dari material berbutir (*granular material*) yang dipadatkan, distabilisasi ataupun tidak.

Fungsi lapisan *subbase* yaitu untuk mendistribusikan beban roda ke tanah dasar, efisiensi penggunaan material, mengurangi ketebalan

lapisan yang lebih mahal di atasnya, sebagai lapisan resapan (agar air tanah tidak terkumpul di pondasi) dan sebagai lapisan untuk mencegah partikel halus dari tanah dasar untuk naik ke atas.

3. Lapis Pondasi Atas (*Base*)

Lapis pondasi atas adalah bagian dari konstruksi perkerasan jalan yang berada diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan ini biasanya terbuat dari batu pecah tanpa bahan pengikat (aspal) hanya mengandalkan gaya interlocking dari masing-masing agregat saja. Jika diperlukan kualitas lapis pondasi atas yang lebih baik, dapat digunakan campuran agregat dengan aspal. Apabila agregat sulit diperoleh, maka dapat digunakan stabilitas tanah atau agregat alam dengan kapur, semen dan aspal. Lapis pondasi atas berfungsi menahan gaya lintang dan mendistribusikannya ke lapisan bawah, sebagai lapisan peresapan (lapisan pondasi bawah) dan sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan.

4. Lapis Permukaan (*Surface*)

Lapis permukaan adalah bagian paling atas pada konstruksi perkerasan yang akan mendapat kontak langsung dari beban lalu lintas serta melanjutkannya ke lapis dibawahnya. Fungsi utama dari lapis permukaan ini adalah :

- Memberikan stabilitas yang tinggi, sehingga mampu menerima beban dari kendaraan tanpa terjadinya deformasi yang berarti.
- Memberikan suatu permukaan yang rata bagi pengguna jalan.
- Sebagai lapis pelindung yang kedap air.

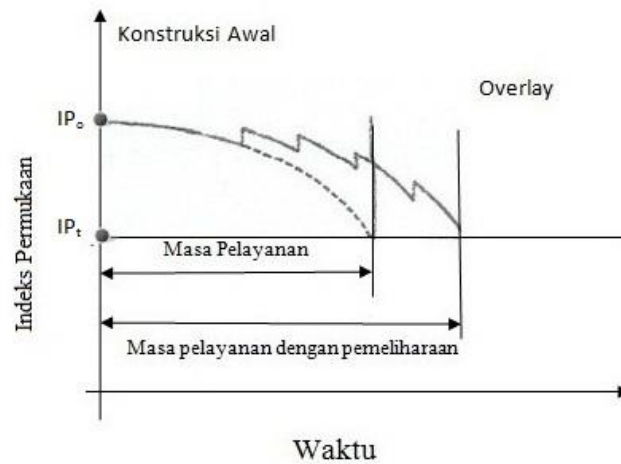
Lapis permukaan ini dapat terdiri dari agregat beraspal dengan berbagai variasi (bisa hanya sekedar laburan aspal sampai dengan LASTON yang memiliki stabilitas tinggi). Dari fungsi utama diatas, tentunya lapis permukaan ini harus memiliki kualitas yang baik.

Kualitas lapis permukaan yang kurang baik dapat menyebabkan kerusakan seperti retak, ruting, lepas butir, slip dan terkelupas.

2.3 Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

Konstruksi jalan yang telah habis masa pelayanannya, telah mencapai indeks permukaan akhir yang diharapkan perlu diberikan lapis tambahan untuk dapat kembali mempunyai nilai kekuatan, tingkat kenyamanan, tingkat keamanan, tingkat kedekatan terhadap air, dan tingkat kecepataannya mengalirkan air. Lapis perkerasan tambahan yang dipasang di atas konstruksi perkerasan yang ada dengan tujuan meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama umur rencana.

Bilamana suatu ruas jalan baru selesai dibangun atau selesai ditingkatkan maka kondisi jalan berada dalam kondisi baik dan tingkat pelayanannya mantap, dan dalam kondisi ini diharapkan jalan mampu memberikan pelayanan selama umur rencana. Sejalan dengan Bergeraknya waktu, kondisi jalan akan semakin menurun, sampai pada suatu saat kondisi jalan tersebut berubah dari kondisi mantap menjadi tidak mantap dan secara fisik hal tersebut ditandai dengan terjadinya kerusakan struktural yaitu kerusakan yang ditimbulkan oleh menurunnya stabilitas lapis pondasi jalan. Apabila kondisi tidak mantap ini terlambat untuk ditanggulangi dengan pelaksanaan program pemeliharaan, maka kondisi ini akan berubah dari kondisi tidak mantap menjadi kondisi kritis, dengan tanda – tanda bahwa sewaktu – waktu jalan akan terputus. Namun apabila dalam masa pelayanan disertakan dengan pemeliharaan maka waktu pelayanan akan bertambah menjadi lebih lama seperti ditunjukkan pada diagram Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kurva Penurunan Kinerja Perkerasan dari IP_0 ke IP_t dengan Pemeliharaan
 Sumber : Pd T-05-2005-B

Didalam perencanaan *overlay* pada dasarnya terdapat dua metoda perencanaan yaitu metoda empiris dan metoda analitis. Dua metoda ini berdasarkan pada teori yang berbeda sehingga kemungkinan memberikan hasil yang berbeda serta dalam penerapannya terdapat metoda analitis-empiris, yang gabungan kedua metoda tersebut. Untuk memenuhi terpeliharanya jalan tersebut agar tetap baik dan kuat atau ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan, maka perlu adanya metoda yang baik dan memberikan hasil yang akurat sehingga penanggulangan terhadap kerusakan yang mungkin akan terjadi dapat dilakukan sedini mungkin.

Metoda untuk perencanaan *overlay* dimulai dengan diperkenalkannya metoda empiris, yaitu suatu metoda yang didasarkan atas hasil empiris yang kemudian dikembangkan dan disederhanakan lebih lanjut, biasanya dibuat dalam bentuk nomogram atau grafik.

Metoda analitis yaitu metoda yang dilakukan dengan menganalisa struktur perkerasan secara analitis, dengan menghitung reaksi perkerasan yang meliputi tegangan dan regangan dengan berdasarkan prinsip Elastisitas dimana dalam proses perhitungannya pada umumnya lebih rumit dan biasanya dilakukan dengan bantuan komputer.

Dikarenakan kesulitan dalam penerapan metoda analitis, maka dalam

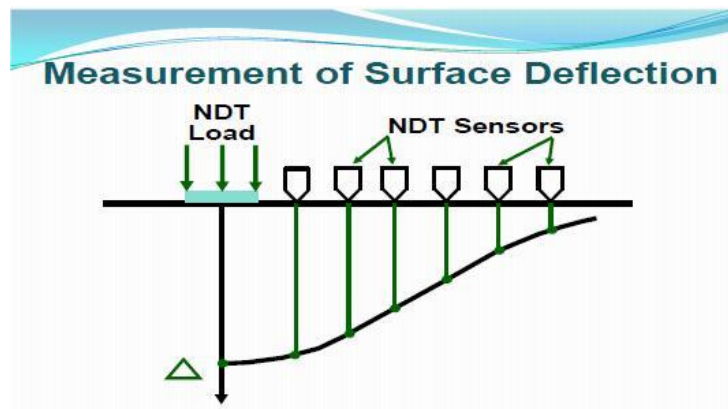
penerapannya digunakan gabungan dari kedua metoda tersebut, yaitu metoda analitis-empiris. Metoda ini ditempuh karena struktur perkerasan jalan merupakan struktur yang kompleks. Sehingga dalam analisisnya perlu dilakukan penyederhanaan memberikan kontribusi yang besar dalam hal optimasi desain.

Adapun metoda mekanistik yang dilakukan dengan penentuan tegangan kritis, regangan kritis, dan lendutan berdasarkan hasil pengujian dengan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* atau *Benkelman Beam*. Kondisi dari perkerasan eksisting harus dievaluasi terlebih dahulu. Berdasarkan kondisi perkerasan ini, tebal lapis ulang dapat ditentukan

2.4 *Falling Weight Deflectometer*

Alat FWD merupakan alat uji di lapangan yang bersifat tidak merusak jalan, bekerja dengan cepat dan memberikan hasil berupa nilai modulus elastisitas pada setiap lapisan perkerasan jalan. Nilai modulus elastisitas tersebut dihasilkan dari data lendutan FWD. Pengoperasian dan evaluasinya dilakukan secara komputerisasi. Prinsip kerja FWD adalah memberikan beban impuls terhadap struktur perkerasan, khususnya perkerasan lentur melalui pelat berbentuk *sirkular* (bundar), yang efeknya sama dengan kendaraan. Pelat sirkular diletakkan pada permukaan perkerasan yang akan diukur, kemudian beban dijatuhkan padanya sehingga menimbulkan gaya yang bervariasi. Berat beban sebelum jatuh relatif lebih kecil dibanding berat sebenarnya,. Pulsa beban yang diberikan akibat beban jatuh ke dalam seperangkat pegas kira-kira setengah gelombang sinus (M.Taufik dan Ria Askarina, 2011).

Efek beban yang timbul akan ditangkap oleh tujuh buah *deflektor* yang diletakkan dengan jarak-jarak tertentu pada batang pengukur berdasarkan jenis dan tebal total perkerasan, sehingga secara keseluruhan lendutan itu akan membentuk suatu cekung lendutan (*deflection bowl*) seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bidang Cekung Lendutan

Sumber: Quick Start Manual ELMOD 5.0

Besarnya lendutan langsung (NDT Load) dan lendutan dari *deflector* lainnya (NDT Sensors) dapat dibaca pada layar monitor komputer dan disimpan dalam bentuk data atau dapat langsung dicetak. Selanjutnya data tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan program-program yang ada.

2.5. Metoda Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Lendutan Pd T-05-2005-B

Pd T-05-2005-B merupakan salah satu pedoman yang menjadi dasar teori laporan tugas akhir ini. Pedoman perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metode lendutan dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan melalui Gugus Kerja Bidang Perkerasan Jalan pada Sub Panitia Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi. Pedoman ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang ex. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Pedoman ini merupakan revisi Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (01/MN/B/1983) dan selain berlaku untuk data lendutan yang diperoleh berdasarkan alat *Benkelman Beam* juga berlaku untuk data lendutan yang diperoleh dengan alat *Falling Weight Deflectometer* (Pd-T-05-2005-B).

Di samping mengacu pada Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat *Benkelman Beam* (01/MN/B/1983) dan hasil penelitian, pedoman ini mengacu juga pada Metoda Pengujian Lentutan Perkerasan Lentur Dengan Alat *Benkelman Beam* (SNI 07-2416-1991), dan Perencanaan Tebal Perkerasan dengan Analisa Komponen (SNI 03-1732-1989). Pedoman ini digunakan sebagai rujukan bagi perencana, pelaksana dan pengawas kegiatan peningkatan jalan (Pd-T-05-2005-B).

Tata Cara penulisan disusun mengikuti Pedoman BSN No. 8 th. 2000 dan dibahas dalam forum konsensus yang melibatkan narasumber, pakar dan stakeholder Prasarana Transportasi sesuai ketentuan Pedoman BSN No. 9 tahun 2000. Upaya untuk memenuhi tuntutan tersebut perlu disusun pedoman perencanaan tebal lapis tambah dengan metode lentutan yang disesuaikan dengan kondisi lalu lintas dan lingkungan di Indonesia (Pd-T-05-2005-B).

Pedoman perencanaan tebal lapis tambah dengan metode lentutan dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) belum dibuat NSPM nya sedangkan Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat *Benkelman Beam* (01/MN/B/1983) dipandang perlu direvisi (Pd-T-05-2005-B).

2.5.1 Ruang lingkup Pd T-05-2005-B

Pedoman ini menetapkan kaidah-kaidah dan tata cara perhitungan lapis tambah perkerasan lentur berdasarkan kekuatan struktur perkerasan yang ada yang diilustrasikan dengan nilai lentutan. Pedoman ini memuat deskripsi berbagai faktor dan parameter yang digunakan dalam perhitungan serta memuat contoh perhitungan. Perhitungan tebal lapis tambah yang diuraikan dalam pedoman ini hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan lentur atau konstruksi perkerasan dengan lapis pondasi agregat dengan lapis permukaan menggunakan bahan pengikat aspal. Penilaian kekuatan struktur perkerasan yang ada, didasarkan atas lentutan yang dihasilkan dari

pengujian lendutan langsung dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* atau lendutan balik dengan menggunakan alat *Benkelman Beam* (Pd-T-05-2005-B).

2.5.2 Parameter Ketentuan Perhitungan

2.5.2.1 Lalu Lintas

Tebal lapisan perkerasan jalan ditentukan dari beban yang akan dipikul oleh struktur perkerasan jalan, hal ini dipengaruhi oleh beban lalu lintas yang akan memakai jalan. Besarnya beban lalu lintas dapat diperoleh dari :

Lalu Lintas Harian (LHR) saat ini, sehingga diperoleh data mengenai :

- Jumlah kendaraan yang hendak memakai jalan (komposisi)
- Konfigurasi sumbu beban
- Beban masing masing sumbu kendaraan

Perkiraan faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana, antara lain berdasarkan data lalu lintas tahun – tahun sebelumnya dan analisa ekonomi sosial daerah tersebut.

1. Volume Lalu Lintas (LHR)

Jumlah kendaraan yang hendak memakai jalan dinyatakan dalam volume lalu lintas. Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pengamatan selama satuan waktu tertentu (M.Taufik dan Ria Askarina, 2011). Untuk perencanaan tebal lapis perkerasan, volume lalu lintas dinyatakan dalam kendaraan / hari / 2 arah untuk jalan 2 arah tidak terpisah dan kendaraan / hari / 1 arah untuk jalan satu arah atau 2 arah terpisah. Data volume lalu lintas dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan volume lalu lintas secara manual di tempat tempat yang dianggap

perlu. Perhitungan dapat dilakukan selama waktu yang ditentukan. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh data Lalu Lintas Harian Rata Rata (LHR)

2. Jumlah Lajur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C).

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan, yang menampung lalu-lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur
$L < 4,50 \text{ m}$	1
$4,50 \text{ m} \leq L < 8,00 \text{ m}$	2
$8,00 \text{ m} \leq L < 11,25 \text{ m}$	3
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,25 \text{ m}$	6

Sumber: Pd T-05-2005-B

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana ditentukan sesuai Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Koefisien distribusi kendaraan (C)

Jumlah Lajur	Kendaraan ringan		Kendaraan berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,60	0,50	0,70	0,50
3	0,40	0,40	0,50	0,475
4	-	0,30	-	0,45
5	-	0,25	-	0,425
6	-	0,20	-	0,40

Sumber: Pd T-05-2005-B

3. Ekuivalen beban sumbu kendaraan (E).

Angka ekuivalen (E) masing-masing golongan kendaraan ditentukan oleh berat kendaraan yang dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui roda kendaraan yang terletak di ujung sumbu kendaraan (M.Taufik dan Ria Askarina, 2011).

Setiap jenis kendaraan mempunyai konfigurasi sumbu yang berbeda, sumbu depan merupakan sumbu tunggal roda tunggal (STRT), sumbu belakang dapat merupakan Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG), sumbu Dual Roda Ganda (SDRG) atau sumbu Tripel Roda Ganda (STrRG). Dengan demikian setiap jenis kendaraan akan mempunyai ekuivalen yang merupakan jumlah angka ekuivalen dari sumbu depan dan sumbu belakang.

Data ekuivalen dapat diperoleh dari hasil penimbangan langsung terhadap masing masing golongan kendaraan secara random. Angka ekuivalen (E) masing masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) dapat ditentukan seperti pada persamaan (1) – (4) (Pd-T-05-2005-B). :

$$\text{Angka ekivalen STRT} = (\text{beban sumbu dalam ton} / 5,40)^4 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Angka ekivalen STRG} = (\text{beban sumbu dalam ton} / 8,16)^4 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Angka ekivalen SDRG} = (\text{beban sumbu dalam ton} / 13,76)^4 \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Angka ekivalen STrRG} = (\text{beban sumbu dalam ton} / 18,45)^4 \dots\dots\dots (4)$$

Tabel 2.3 Tabel Ekivalen Sumbu Kendaraan (E)

Beban Sumbu (ton)	Ekivalen Beban Sumbu Kendaraan (E)			
	STRT	STRG	SDRG	STrRG
1	0,00118	0,00023	0,00003	0,00001
2	0,01882	0,00361	0,00045	0,00014
3	0,09526	0,01827	0,00226	0,00070
4	0,30107	0,05774	0,00714	0,00221
5	0,73503	0,14097	0,01743	0,00539
6	152,416	0,29231	0,03615	0,01118
7	282,369	0,54154	0,06698	0,02072
8	481,709	0,92385	0,11426	0,03535
9	771,605	147,982	0,18302	0,05662
10	1,176,048	225,548	0,27895	0,08630
11	1,721,852	330,225	0,40841	0,12635
12	2,438,653	467,697	0,57843	0,17895
13	3,358,910	644,188	0,79671	0,24648
14	4,517,905	866,466	107,161	0,33153
15	5,953,742	1,141,838	141,218	0,43690
16	7,707,347	1,478,153	182,813	0,56558
17	9,822,469	1,883,801	232,982	0,72079
18	12,345,679	2,367,715	292,830	0,90595
19	15,326,372	2,939,367	363,530	112,468
20	18,816,764	3,608,771	446,320	138,081

Sumber: Pd T-05-2005-B

4. Faktor Umur Rencana dan Perkembangan Lalu Lintas

Jumlah kendaraan yang memakai jalan bertambah dari tahun ke tahun. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan lalu lintas adalah perkembangan daerah, bertambahnya kesejahteraan

masyarakat, naiknya kemampuan membeli kendaraan dan lain sebagainya. Faktor pertumbuhan lalu lintas dinyatakan dalam persen / tahun.

Faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas dapat dihitung menggunakan persamaan 5 :

$$N = \frac{1}{2} \{ 1 + (1+r)^n + 2 (1+r) ((1+r)^{n-1} / r) \} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

N = faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas

r = pertumbuhan lalu lintas

n = umur rencana

Tabel 2.4 Faktor Hubungan Umur Rencana dengan Perkembangan Lalu Lintas

r (%) n (tahun)	2	4	5	6	8	10
1	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05
2	2,04	2,08	2,10	2,12	2,16	2,21
3	3,09	3,18	3,23	3,28	3,38	3,48
4	4,16	4,33	4,42	4,51	4,69	4,87
5	5,26	5,52	5,66	5,81	6,10	6,41
6	6,37	6,77	6,97	7,18	7,63	8,1
7	7,51	8,06	8,35	8,65	9,28	9,96
8	8,67	9,40	9,79	10,19	11,06	12,01
9	9,85	10,79	11,30	11,84	12,99	14,26
10	11,06	12,25	12,89	13,58	15,07	16,73
11	12,29	13,76	14,56	15,42	17,31	19,46
12	13,55	15,33	16,32	17,38	19,74	22,45
13	14,83	16,96	18,16	19,45	22,36	25,75
14	16,13	18,66	20,09	21,65	25,18	29,37
15	17,47	20,42	22,12	23,97	28,24	33,36
20	24,54	30,37	33,89	37,89	47,59	60,14
25	32,35	42,48	48,92	56,51	76,03	103,26
30	40,97	57,21	68,10	81,43	117,81	172,72

Sumber: Pd T-05-2005-B

Umur rencana perkerasan jalan adalah jumlah tahun dari saat jalan tersebut dibuka untuk lalu lintas kendaraan sampai diperlukan suatu perbaikan yang bersifat struktural (sampai diperlukan overlay lapisan perkerasan). Selama umur rencana tersebut pemeliharaan jalan harus tetap dilakukan. Umur rencana untuk perkerasan jalan lentur baru umumnya diambil 20 tahun. Dan untuk peningkatan jalan 10 tahun. Umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun tidak lagi ekonomis karena pertumbuhan lalu lintas yang terlalu besar dan sukar mendapatkan ketelitian memadai (tambahan lapis perkerasan menyebabkan biaya awal yang cukup tinggi).

Kerusakan perkerasan jalan pada umumnya yang terjadi disebabkan oleh terkumpulnya air di bagian perkerasan jalan karena repetisi dari lintasan kendaraan. Oleh karena itu sangatlah penting untuk diketahui seberapa besar jumlah repetisi yang akan memakai jalan tersebut. Repetisi beban dinyatakan dalam akumulasi ekivalen beban sumbu standar (CESA).

e) Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (CESA)

Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (CESA) merupakan akumulasi beban standar selama umur rencana, dimana besarnya nilai CESA dapat ditentukan dengan rumus (Pd-T-05-2005-B) :

$$CESA = \sum_{\text{traktor-trailer}} m \times 365 \times E \times C \times N \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

- CESA = akumulasi ekivalen beban sumbu standard
- m = jumlah masing masing jenis kendaraan
- 365 = jumlah hari dalam 1 tahun
- E = ekivalen beban sumbu
- C = koefisien distribusi kendaraan
- N = faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas

2.5.3 Lendutan

Lendutan merupakan gerakan turun vertical suatu permukaan perkerasan akibat beban (Pd T-05-2005-B). Lendutan yang digunakan dalam perhitungan tebal perkerasan lapis tambah (*overlay*) merupakan pedoman Pd T-05-2005-B adalah hasil pengukuran dengan alat *Falling Weight Deflectometr* (FWD).

2.5.3.1 Lendutan dengan *Falling Weight Deflectometr* (FWD)

Lendutan yang digunakan adalah lendutan pada pusat beban (d_{fi}). 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 sesuai persamaan (7) :

$$d_L = d_{fi} \times F_t \times C_a \times F_{KB-FWD} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

d_L = lendutan langsung (mm)

d_{fi} = lendutan langsung pada pusat beban (mm)

F_t = faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C, dapat dihitung dengan persamaan (8) – (9) :

$$F_t = 4,184 \times T_L^{-0,4025}, \text{ untuk } H_L < 10 \text{ cm} \dots\dots\dots (8)$$

$$= 14,785 \times T_L^{-0,7573}, \text{ untuk } H_L \geq 10 \text{ cm} \dots\dots\dots (9)$$

H_L = tebal lapis beraspal

T_L = temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat diprediksi dari temperatur udara,yaitu:

$$T_L = 1/3 (T_p + T_t + T_b) \dots\dots\dots (10)$$

T_p = temperatur permukaan lapis beraspal

T_t = temperatur tengah lapis beraspal

- T_b = temperatur bawah lapis beraspal
 Ca = faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)
 = 1,2 ; bila pemeriksaan dilakukan pada musim kemarau atau muka air tanah rendah
 = 0,9 ; bila pemeriksaan dilakukan pada musim hujan atau muka air tanah tinggi
 F_{KB-FWD} = faktor koreksi beban uji *Falling Weight Deflectometer* (FWD)
 = 4,08 x (Beban Uji dalam ton)⁽⁻¹⁾(11)

2.5.4 Keseragaman Lentutan

Perhitungan tebal lapis tambah dapat dilakukan pada setiap titik pengujian atau berdasarkan panjang segmen (seksi). Apabila berdasarkan seksi maka cara menentukan panjang jalan harus dipertimbangkan terhadap keseragaman lentutan. Keseragaman yang dianggap sangat baik memiliki rentang faktor keseragaman antara 0 sampai 10, antara 11 sampai 20 keseragaman baik dan antara 21 sampai 30 keseragaman cukup baik, untuk menentukan keseragaman lentutan dapat dihitung dengan persamaan (12) :

$$FK = \frac{S}{dR} \times 100 \% < FK \text{ ijin} \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :

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 = lentutan rata – rata pada suatu seksi jalan.

$$= \frac{\sum_1^{ns} d}{ns} \dots\dots\dots(13)$$

S = deviasi standard = simpangan baku

$$= \sqrt{\frac{ns (\sum_1^{ns} d^2) - (\sum_1^{ns} d)^2}{ns (ns-1)}} \dots\dots\dots(14)$$

d = nilai lendutan balik (d_B) atau lendutan langsung (d_L) tiap titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

n_s = jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

2.5.5 Lendutan Wakil (D_{wakil})

Untuk menentukan besarnya lendutan yang mewakili suatu sub ruas/seksi jalan (*representative rebound / true deflection*) disesuaikan dengan fungsi atau kelas jalan. Besarnya lendutan yang mewakili seksi jalan dapat dihitung dengan persamaan (15) – (17) :

- $D_{\text{wakil}} = dR + 2S$ (untuk jalan arteri / tol , tingkat kepercayaan 98%)
(15)

- $D_{\text{wakil}} = dR + 1,64S$ (untuk jalan kolektor , tingkat kepercayaan 95%).....(16)

- $D_{\text{wakil}} = dR + 1,28S$ (untuk jalan lokal , tingkat kepercayaan 90%)
(17)

Keterangan :

D_{wakil} = Lendutan yang mewakili suatu seksi jalan

dR = Lendutan rata rata suatu seksi jalan

S = Standar Deviasi

2.5.6 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. Data temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk setiap daerah atau kota ditunjukkan pada Lampiran , sedangkan faktor koreksi tebal lapis tambah/overlay (Fo) dapat diperoleh dengan persamaan (18) :

$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})} \dots\dots\dots(18)$$

Dengan pengertian :

Fo = Faktor Koreksi Tebal Lapis

T_{PPRT} = Temperatur rata rata tahunan untuk daerah / kota

2.5.7 Jenis Lapis Tambah

Pedoman ini berlaku untuk lapis tambah dengan Laston, yaitu modulus resilien (M_R) sebesar 2000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum 800 kg. Nilai modulus resilien (M_R) diperoleh berdasarkan pengujian UMATTA atau alat lain dengan temperatur pengujian 25°C. Apabila jenis campuran beraspal untuk lapis tambah menggunakan Laston Modifikasi dan Lataston atau campuran beraspal yang mempunyai sifat berbeda (termasuk untuk Laston) dapat menggunakan faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL}) :

$$FK_{TBL} = 12,51 \times MR^{-0,333} \dots\dots\dots (19)$$

Dengan Pengertian :

FK_{TBL} = Faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian

M_R = Modulud Resillien (MPa)

2.5.8 Lendutan Rencana ($D_{rencana}$)

Besarnya lendutan rencana sangat dipengaruhi oleh komulatif ekivalen sumbu standar (CESA) yang ada pada ruas jalan yang bersangkutan. Besarnya lendutan rencana dapat dihitung dengan :

$$D_{rencana} = 22,208 \times CESA^{(-0,2307)} \dots\dots\dots(20)$$

Untuk *Benkelman Beam (BB)*

$$D_{rencana} = 17,004 \times CESA^{(-0,2307)} \dots\dots\dots(21)$$

Untuk *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

Dimana:

$D_{rencana}$ = Lendutan perkerasan jalan setelah pelapisan tambah (*overlay*)

CESA = Komulatif ekivalen sumbu standar

2.5.9 Prosedur Perhitungan

Perhitungan tebal lapis tambah yang disarankan pada pedoman ini adalah berdasarkan data lendutan yang diukur dengan alat FWD pada Lampiran Tabel 4.8 dan Tabel 4.10. Pengukuran lendutan dengan alat FWD disarankan dilakukan pada jejak roda luar (jejak roda kiri) dan untuk alat BB pada kedua jejak roda (jejak roda kiri dan jejak roda kanan). Pengukuran lendutan pada perkerasan yang mengalami kerusakan berat dan deformasi plastis disarankan dihindari.

Perhitungan tebal lapis tambah perkerasan lentur dapat menggunakan rumus-rumus atau gambar-gambar yang terdapat pada pedoman ini. Tahapan perhitungan tebal lapis tambah adalah sebagai berikut:

1. Hitung repetisi beban lalu-lintas rencana (CESA) dalam ESA;
2. Hitung lendutan hasil pengujian dengan alat FWD dan koreksi 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 persamaan (20) dengan alat FWD atau persamaan (21) dengan alat BB

$$D_{\text{rencana}} = 17,004 \times \text{CESA}^{(-0,2307)} \dots\dots\dots(20)$$

$$D_{\text{rencana}} = 22,208 \times \text{CESA}^{(-0,2307)} \dots\dots\dots(21)$$

dengan pengertian :

D_{rencana} = lendutan rencana, dalam satuan milimeter.

CESA = akumulasi ekivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA

6. Hitung tebal lapis tambah (H_o) dengan menggunakan persamaan (22)

$$H_o = \frac{\{\text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{\text{sbl ov}}) - \text{Ln}(D_{\text{stl ov}})\}}{0,0597} \dots\dots\dots(22)$$

dengan pengertian :

H_o = tebal lapis tambah sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan sentimeter.

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

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

7. Hitung tebal lapis tambah/overlay terkoreksi (H_t) dengan mengkalikan H_o dengan faktor koreksi overlay (F_o), yaitu sesuai persamaan (23) :

$$H_t = H_o \times F_o \dots\dots\dots (23)$$

dengan pengertian :

H_t = tebal lapis tambah/overlay Laston setelah dikoreksi dengan temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan sentimeter.

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 (sesuai Rumus 18)

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 Rumus 19.

2.6. Metoda Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 SE 2020

Penanganan overlay dimaksudkan untuk meningkatkan fungsionalitas jalan, termasuk mengelola permukaan, kenyamanan, dan peningkatan lainnya di permukaan jalan yang tidak bertekstur. Ada tiga cara yang bisa digunakan, yaitu:

1. Pedoman Perencanaan Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd. T-05-2005).
2. AASHTO 1993 yang diuraikan pada Pedoman Perencanaan Lentur (Pt T- 01-2002-B).
3. Berdasarkan lendutan (modifikasi dari Pd. T-05-2005) didalam Pedoman Desain Perkerasan Lentur (Interim) No.002/P/BM/2011.

Metode ini menggunakan analisis kurva defleksi, sehingga menekankan pada direktif interim N.002/P/BM/2011 dan pendekatan perangkat lunaknya. Untuk analisis kurva, Anda perlu mengimpor data defleksi FWD atau BB yang dimodifikasi.

Pendekatan didalam menentukan overlay secara umum mencakup dua (2) kriteria, yakni:

1. Deformasi permanen memakai lendutan maksimum
2. Retak leleh memakai lengkungan lendutan.

Apabila dibutuhkan suatu lapis tambahan, untuk perkerasan dengan beban lalu lintas rencana ≥ 100.000 ESA4 dibutuhkan pemeriksaan kinerja kelelahan pada lapisan overlay. Jika jalan dengan lalu lintas rendah (<100.00 ESA4) dan perkerasan dengan HRS, retak leleh aspal bukanlah model kerusakan yang umum. Maka dari itu, agar perkerasan lalu lintas rendah dan pekerasan HRS, pemeriksaan kinerja *fatigure* tidaklah perlu.

Pendekatan defleksi maksimum (D_0) untuk menentukan ketebalan lapisan digunakan dalam Panduan Interim No. 002 / P / BM / 2011 dan metode desain lapisan overlay Austroads. Lendutan maksimum (D_0) digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan dan menghindari lekukan permanen pada subbase dan tanah dasar. Grafik desain berdasarkan defleksi maksimum ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Kemungkinan retak lelah pada lapisan tambahan tidak dapat dinilai dengan menggunakan desain yang didasarkan pada defleksi maksimum (D_0). Aturan tambahan diterapkan berupa nilai defleksi mangkuk lendutan (*deflection bowl*) atau batas defleksi D_0 - D_{200} untuk mengakomodasi retak lelah. Hal ini harus diperhitungkan agar lapisan atas dapat menahan retak lelah.

Nilai lengkung lendutan karakteristik ($D_0 - D_{200}$) dihitung berdasarkan retak lelah ditunjukkan pada Gambar 2.13.

2.6.1 Tahapan Desain Overlay

Dalam menentukan tebal overlay, berdasarkan beban lalu lintas dalam menentukan tebal overlay, ada tiga (3) tahapan.

1. Lalu lintas ≤ 100.000 ESA4

Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan, jika diperoleh lalu lintas ≤ 100.000 ESA4, perencanaan desain overlay hanya perlu dilakukan dengan lendutan maksimum (D_0) sesuai Gambar 2.11.

2. Lalu lintas > 100.000 ESA4

Jalan dengan lalu lintas > 100.000 ESA4 berpotensi retak di lapisan aspal. Sehingga, kriteria deformasi permanen (lendutan maksimum D_0) dan kriteria retak lelah (engkung lendutan, $D_0 - D_{200}$) haruslah dihitung. Gunakanlah gambar desain grafik pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.13

3. Lalu Lintas lebih besar 10×10^6 ESA4 atau 20×10^6 ESA5

Untuk pekerjaan rehabilitasi dengan beban lalu lintas lebih besar daripada 10×10^6 ESA4 atau lebih besar daripada 20×10^6 ESA5 haruslah menggunakan prosedur mekanistik empiris atau Pt T-01-2002-B atau AASHTO 1993.

Untuk menghitung nilai modulus lapisan perkerasan dipakai data lendutan permukaan dan tebal perkerasan eksisting, yang mana nantinya digunakan untuk program analisis perkerasan multi-layer.

2.6.2 Analisa Volume Lalu Lintas

Data lalu lintas sangatlah penting dalam menentukan beban lalu lintas rencana yang didukung oleh perkerasan selama tahap desain. Perhitungan beban dari volume lalu lintas selama pada tahun survei dan diperkirakan selama periode perencanaan. Lalu lintas tahun pertama adalah volume lalu lintas tahun pertama setelah penyelesaian atau perbaikan perkerasan direncanakan.

Dua elemen penting dalam desain, yaitu:

- Beban gandar kendaraan komersial
- Volume lalu lintas yang dinyatakan dalam beban sumbu

Menentukan nilai LHRT sesuai MKJI, yaitu:

1. Data Lalu Lintas

Keberhasilan suatu desain perkerasan dipengaruhi oleh keakuratan data lalu lintas. Untuk menghindari terjadinya kesalahan data, maka perlu dilakukan perhitungan secara detail yang mencakup keseluruhan kendaraan niaga sebelum perencanaan akhir.

2. Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan tertuang dalam Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B). Beban pada as mobil dan mobil kecil dan menengah cukup rendah untuk menjamin sedikit

kemungkinan kerusakan pada perkerasan. Analisis harus mempertimbangkan hanya kendaraan komersial dengan enam roda atau lebih..

3. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada formula yang berkorelasi dengan data rantai pertumbuhan atau faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Bila ada data tidak tersedia, gunakan Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata – rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	2,83	5,14	2,75
Kolektor Rural	3,50	4,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : *Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 SE 2020*

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif dengan menggunakan Rumus:

$$R = \frac{(1 + 0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i} \dots\dots\dots (24)$$

Dimana:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

I = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

Jika diprediksi akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan selama total umur rencana (UR), dimana $i_1\%$ selama awal (UR1 tahun) dan $i_2\%$ selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), sehingga pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung dengan Rumus:

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR-1}}{0,01 i_1} + (1 + 0,01 i)^{(UR-1)} (1 + 0,01 i_2) \left\{ \frac{(1+0,01 i)^{UR-UR_1-1}}{0,01 i_2} \right\} \dots (25)$$

Dimana:

R = 3 faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i_1 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1 (%)

i_2 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2 (%)

UR = total umur rencana (tahun)

UR_1 = umur rencana periode 1 (tahun)

Sebagaimana yang telah dijelaskan, periode yang rasio volume kapasitasnya (RVK), belum sampai ditingkat kejenuhan ($RVK \leq 0.85$).

Namun, bila kapasitas lalu lintas bisa tercapai pada tahun ke (Q) dari umur yang direncanakan (UR), pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung dengan Rumus:

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{Q-1}}{0,01 i} + (UR - Q)(1 + 0,01 i)^{(Q-1)} \dots (26)$$

Analisis lalu lintas haruslah mempertimbangkan faktor pengalihan lalu lintas yang berdasarkan jaringan jalan perencanaan peningkatan kapasitas jalan yang ada dan pembangunan jalan baru.

4. Lalu Lintas pada Umur Rencana

Laju rencana merupakan salah satu bagian lintasan dengan lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) terbesar. Beban lalu dinyatakan sebagai beban standar kumulatif per sumbu (ESA), dengan mempertimbangkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Sehingga jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) biasanya diambil 0,50 kecuali pada lokasi dimana jumlah kendaraan niaganya cenderung lebih tinggi pada suatu arah tertentu. Faktor distribusi jalan yang ditunjukkan pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga pada Jalur Desain (% Terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 SE 2020

Berdasarkan Permen PU No.19/PRT/M/2011, bahwa beban rencana disetiap lajur tidak boleh melebihi kapasitas lajur umur rencana.

5. Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas diubah menjadi beban standar (ESA) dengan menggunakan faktor kerusakan kendaraan (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan ESA yang terakumulasi dalam jejak desain selama periode perencanaan. Tabel 2.7 menyajikan kondisi pengumpulan data beban poros.

Tabel 2.7 Pengumpulan Data Beban Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	3 atau 3

Sumber : Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 SE 2020

Beban gandar yang menggunakan sistem tetap membutuhkan beban roda minimal 18 ton (tunggal atau ganda) atau beban gandar tunggal minimal 35 ton. Jika data hasil sensor beban sumbu tidak tersedia, nilai VDF pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 dapat digunakan untuk menghitung ESA. Tabel 2.8 adalah VDF regional untuk setiap jenis kendaraan niaga yang diproduksi oleh *Office des Routes* dari tahun 2012 hingga 2013.

Tabel 2.8 Contoh Nilai VDF Masing-masing kendaraan niaga

Jawa Barat (Lintas Tengah)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol. 5B	Gol. 6A	Gol. 6B	Gol. 7A1	Gol. 7A2	Gol. 7B1	Gol. 7B2	Gol. 7C1	Gol. 7C2A	Gol. 7C2B	Gol. 7C3
Faktual	VDF 4	1,2	0,5	4,6	-	5,8	-	-	4,6	2,6	4,2	4,4
	VDF 5	1,3	0,4	6,9	-	9,5	-	-	6,9	3,5	5,4	5,6
Normal	VDF 4	1,2	0,5	2,1	-	3,1	-	-	2,7	1,8	2,8	3,0
	VDF 5	1,3	0,4	2,5	-	3,8	-	-	3,2	1,9	3,2	3,3

Sumber : Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 SE 2020

Untuk Nilai VDF masing – masing regional berdasarkan Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 SE 2020, terlampir pada Lampiran 3.

Tabel 2.9 Nilai VDF Masing-masing kendaraan niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan Yang Diangkut	Kelompok Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA/Kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua Kendaraan Bermotor	Semua Kendaraan Bermotor kecuali Sepeda Motor	VDF4 Pangkat 4	VDF4 Pangkat 5
1	1	Sepeda Motor	1.1		2	30.40			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/Pickup/Station Wagon	1.1		2	51.70	74.30		
5a	5a	Bus Kecil	1.2		2	3.50	5.00	0.30	0.20
5b	5b	Bus Besar	1.2		2	0.10	0.20	1.00	1.00
6a.1	6.1	Truk 2 Sumbu - Cargo Ringan	1.1	Muatan Umu	2	4.60	6.60	0.30	0.20
6a.2	6.2	Truk 2 Sumbu – Ringan	1.2	Tanah, Pasir, Besi, Semen	2			0.80	0.80
6b1.1	7.1	Truk 2 Sumbu - Cargo Sedang	1.2	Muatan Umu	2		-	0.70	0.70
6b1.2	7.2	Truk 2 Sumbu – Sedang	1.2	Tanah, Pasir, Besi, Semen	2			1.60	1.70
6b2.1	8.1	Truk 2 Sumbu – Berat	1.2	Muatan Umu	2			0.90	0.80
6b2.2	8.2	Truk 2 Sumbu – Berat	1.2	Tanah, Pasir, Besi, Semen	2	3.80	5.50	7.30	11.20
7a1	9.1	Truk 3 Sumbu – Ringan	1.2.2	Muatan Umu	3			7.60	11.20
7a2	9.2	Truk 3 Sumbu – Sedang	1.2.2	Tanah, Pasir, Besi, Semen	3	3.90	5.60	28.10	64.40
7a3	9.3	Truk 3 Sumbu – Berat	1.1.2		3	0.10	0.10	28.90	62.20
7b	10	Truk 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	1.2-2.2		4	0.50	0.70	36.90	90.40
7c1	11	Truk 4 Sumbu – Trailer	1.2-2.2		4	0.30	0.50	13.60	24.00
7c2.1	12	Truk 5 Sumbu – Trailer	1.2-2.2		5	0.70	1.00	19.00	33.20
7c2.2	13	Truk 5 Sumbu – Trailer	1.2-2.2.2		5			30.30	69.70
7c3	14	Truk 6 Sumbu – Trailer	1.2.2-2.2.2		6	0.30	0.50	41.60	93.70

Sumber: Bina Marga, 2017

6. Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Beban lalu lintas desain didasarkan pada distribusi (*heavy vehicle axle group*, HVAG) dan bukan nilai ESA. Karakteristik proporsi sumbu dan proporsi beban setiap kelompok gandar dapat diperoleh dengan menggunakan data hasil survei jembatan timbang.

7. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas selama periode desain dan dihitung dengan Rumus berikut:

$$ESA = \sum LHR \times VDF \times 365 \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots (27)$$

Dimana:

- ESA = kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen
- LHR = lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga
- VDF = Faktor ekivalen beban
- DD = Faktor distribusi arah
- DL = Faktor distribusi lajur
- R = Faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif

2.6.3 Tebal Overlay Non-Struktural

Lapisan haruslah setidaknya memiliki ketebalan minimum. Permukaan yang tidak seragam membutuhkan lapisan aspal yang lebih tebal agar mencapai tingkat kerataan yang diinginkan. Pada dasarnya, permukaan yang sangat kasar diperbaiki dengan menerapkan dalam dua lapisan, dan tidak bergantung pada satu lapisan agar mencapai IRI yang diinginkan.

Pengupasan (*milling*) harus dipertimbangkan agar memperbaiki ketidakrataan dipermukaan. Jika *overlay* didesain hanya untuk memperbaiki kerataannya saja (non-struktural), maka gunakanlah tebal overlay dari Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Tebal Overlay untuk Menurunkan IRI (Non-Struktural)

IRI Rata-Rata Perkerasan	Tebal Overlay Minimum Non-Struktural
4	40
5	45
6	50
7	55
8	60

Sumber Bina Marga 2017

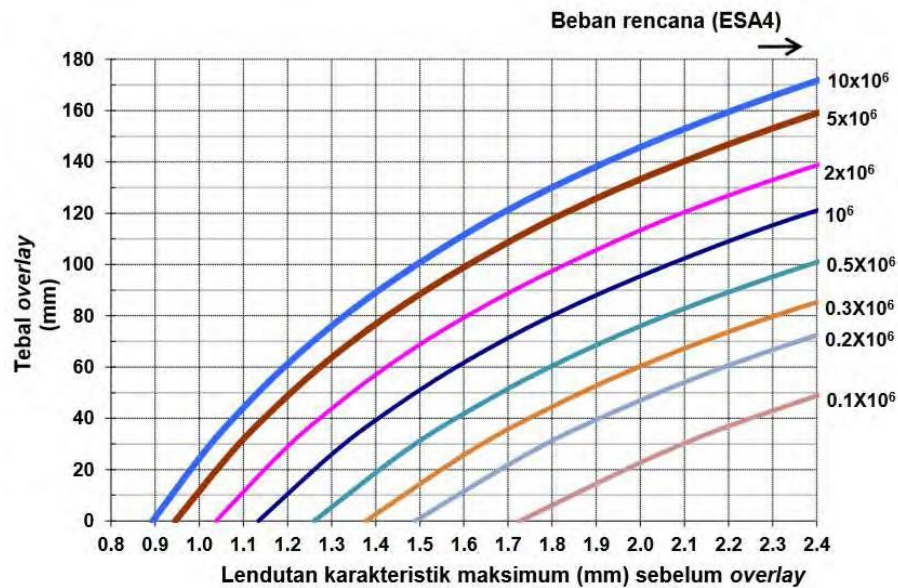
2.6.4 Tebal Overlay Berdasarkan Lendutan Maksimum

Menggunakan rencana pada Gambar 2.5, menentukan kebutuhan akan lapisan untuk mencegah deformasi permanen. Berdasarkan Gambar 2.5, akan dihasilkan desain dengan biaya lebih rendah dibanding menggunakan Pd T-05-2005 yang sudah dimodifikasi menjadi pedoman interim No.002/P/BM/2011 dan perangkat-lunaknya SDPJL.

Oleh karena itu, untuk lalu lintas dengan beban >100.000 ESA4, desain yang dicetak tebal harus menggunakan Gambar 2.5 dan menggabungkannya dengan Gambar 2.7.a. dan Gambar 2.7.b untuk menghindari kerusakan kelelahan. Permintaan tersebut membutuhkan justifikasi teknis. Jika tidak ada risiko merusak, solusi berdasarkan kurva defleksi sudah cukup.

Dan menentukan tebal overlay berdasarkan lendutan balik maksimum (*Benkelman Beam*), menghitung dan memasukkan nilai karakteristik lendutan dan beban lalu lintas rencana (ESA4) pada Gambar 2.5, lalu diperoleh tebal overlay pada sumbu vertikal. Jika lendutan diukur dengan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, gunakanlah faktor koreksi defleksi pada Tabel 2.20.

Bagan desain Gambar 2.5 berlaku untuk beban desain hingga 10×10^6 ESA4



Gambar 2.5 Solusi *Overlay* Berdasarkan Lendutan Balik untuk WMAPT 41⁰C

Sumber: Bina Marga, 2017

2.6.5 Tebal Overlay Berdasarkan Lengkungan Lendutan

Apabila beban lalu lintas rencana > dari 100.000 ESA4, maka digunakan lengkung lendutan. Jika hasil uji lendutan hanya membutuhkan lapisan tipis HRS, maka lapisan HRSWC tersebut sangat tahan lelah sehingga tidak perlu dilakukan pengujian persyaratan lendutan.

Tahapan dalam penentuan desain overlay berdasarkan lengkung lendutan adalah:

1. Menggunakan alat FWD/BB.
2. Menentukan nilai rata-rata lengkung lendutan sebelum overlay sebagai nilai lengkung lendutan.
3. Apabila digunakan data BB, koreksilah nilai lengkung lendutan yang didapat dengan faktor penyesuaian lengkung lendutan BB ke FWD yaitu mengalikan nilai lengkung lendutan yang didapat dari langkah 2 dengan faktor penyesuaian (Tabel 2.19 Faktor koreksi lengkung lendutan BB ke FWD). (Catatan: koreksi temperatur tidak diperlukan).

4. Menentukan ketebalan lapisan yang dibutuhkan seperti yang ditentukan didalam prosedur desain overlay. Lengkung lendutan dinyatakan pada titik belok lengkungan atau CF (*curvature function*) berdasarkan bentuk lengkung lendutan, dimana:

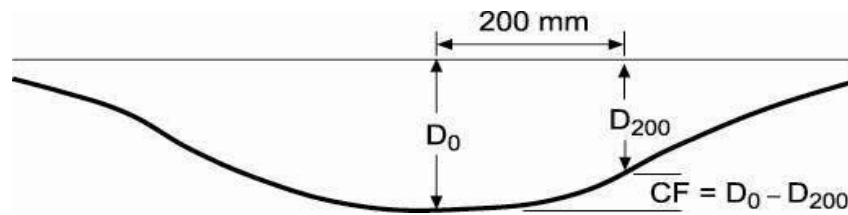
$$CF = D_0 - D_{200} \dots\dots\dots (27)$$

Dimana:

D_0 = lendutan maksimum pada suatu titik uji (mm)

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

Gambar 2.6 menjelaskan skema dimensi fungsi lengkung lendutan (*curvature function* atau titik belok).

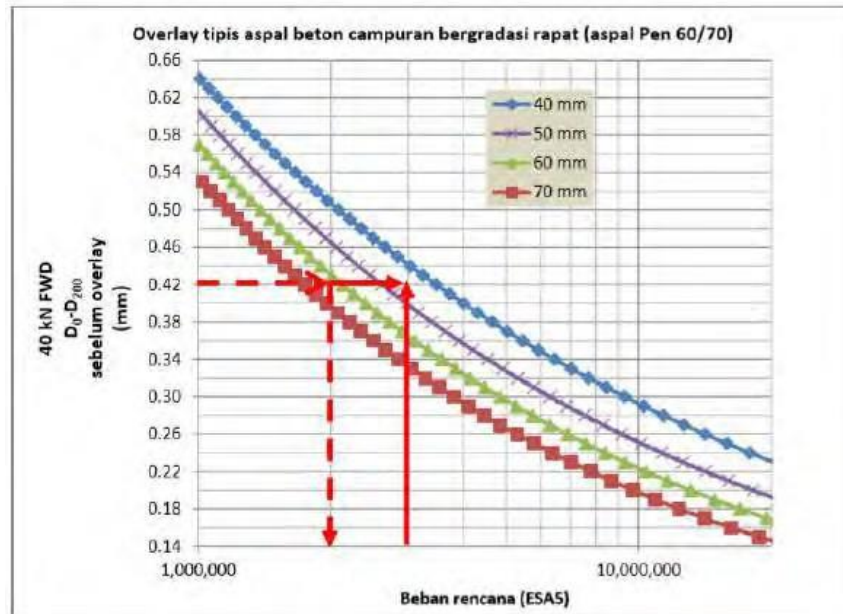


Gambar 2.6 Fungsi Lengkung Lendutan

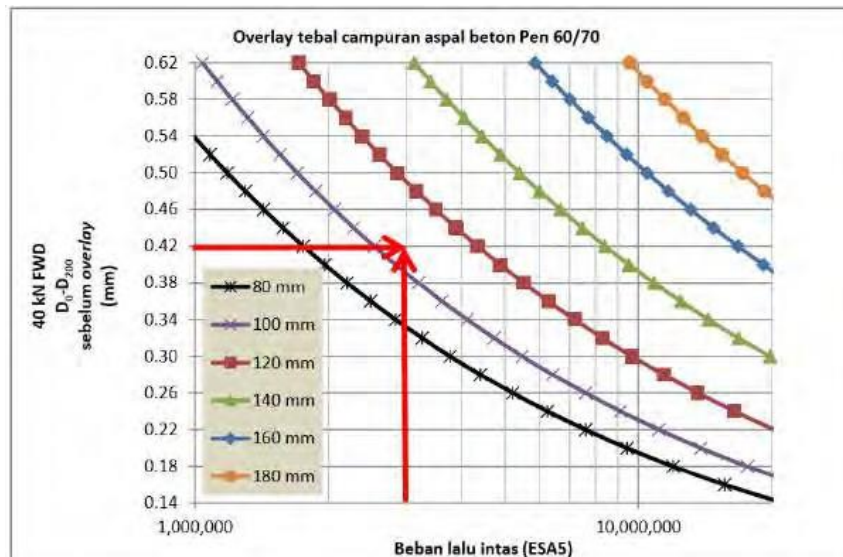
Sumber: Bina Marga, 2017

Grafik desain lengkung lendutan pada WMAPT 41°C

Tebal overlay ditentukan berdasarkan overlay tipis atau overlay tebal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



(a) Overlay Tipis



(b) Overlay Tebal

Gambar 2.7 Tebal Overlay Aspal Konvensional untuk Mencegah Retak Lelah Akibat pada MAPT > 350C

Sumber: Bina Marga, 2017

2.6.6 Penyesuaian Nilai Pengukuran Lendutan Terhadap Musim

Besar lendutan permukaan perkerasan aspal dipengaruhi oleh jenis tanah dan kadar air substrat. Selain ketinggian muka air tanah, kelembaban tanah dasar juga dipengaruhi oleh iklim. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka pengukuran harus dilakukan disaat kondisi perkerasan paling lemah, di musim hujan.

Jika survei lendutan dilakukan selama musim kemarau, perlu mengoreksi nilai defleksi. Faktor koreksi musiman adalah nilai perbandingan antara lendutan maksimum di musim hujan dan di musim kemarau:

Faktor koreksi musim kemarau = 1,20

Faktor koreksi musim penghujan = 1,00*

*Berlaku bila melakukan uji lendutan di musim hujan, atau bila muka air tanah minimal 3 m lebih rendah dari posisi pondasi.

2.6.7 Penyesuaian Nilai Pengukuran Lendutan terhadap Temperatur Pengujian

Selama overlay diatas perkerasan berbutir, hasil pengukuran lendutan harus dikoreksi. Ini disebabkan karena temperatur perkerasan mempengaruhi kekakuan dan kinerja perkerasan beraspal dalam merespon beban. Jika temperatur perkerasan saat pengukuran dan pada kondisi pelayanan berbeda secara signifikan, lengkung lendutan yang diukur tidak mewakili respon perkerasan terhadap pembebanan lalu lintas. Sehingga, faktor koreksi suhu diperlukan.

Temperatur perkerasan harian di suatu lokasi dipengaruhi oleh temperatur perkerasan tahunan rata-rata (*Weighted Mean Annual Pavement Temperatur* = WMAPT). Temperatur perkerasan rata-rata tahunan dapat diperkirakan berdasarkan temperatur rata-rata tahunan (*Weighted Mean Annual Air Temperatur*, WMAAT). Secara umum, temperatur perkerasan tahunan rata-rata di Indonesia yaitu 42°C di daerah pesisir dan 38°C didaerah

pegunungan. Temperatur perkerasan rata-rata 41°C dipakai sebagai acuan dalam manual ini. Faktor koreksi temperatur untuk pengukuran lendutan dihitung berdasarkan langkah-langkah berikut:

Langkah 1: Menentukan faktor koreksi temperatur, f_T , dengan Rumus

$$f_T = \frac{MAPT}{\text{Temperatur Perkerasan saat Pengukuran Lendutan}} \dots\dots\dots (27)$$

dimana

f_T = Temperatur Perkerasan Saat Pengukuran Lendutan

Langkah 2: Menentukan faktor koreksi temperatur menggunakan Tabel 2.11 dan Tabel 2.12. Untuk Tabel 2.11 dan 2.12 apabila pengujian lendutan FWD. Jika ketebalan permukaan aspal kurang dari 25 mm, tidak diperlukan faktor koreksi temperature

Tabel 2.11 Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D_0) untuk FWD

<i>AMPT</i>	Tebal Aspal Eksisting (mm)						
	TEMP Lapangan	25	50	100	150	200	300
0,50		0,93	0,87	0,81	0,75	0,96	0,59
0,60		0,95	0,91	0,86	0,81	0,76	0,68
0,70		0,96	0,94	0,9	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, 2017

Tabel 2.12 Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200})

<i>AMPT</i>	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
TEMP Lapangan	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	1,06	1,10	1,14	1,18	1,23
1,20	1,02	1,06	1,10	1,10	1,14	1,23
1,30	1,03	1,10	1,15	1,20	1,27	1,35
1,40	1,04	1,13	1,20	1,26	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
1,80	1,06	1,18	1,32	1,41	1,59	1,77

Sumber: Bina Marga, 2017

Tabel 2.13 Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan (D_0) untuk BB

<i>AMPT</i>	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
TEMP Lapangan	25	50	100	150	200	300
0,50	0,94	0,90	0,84	0,78	0,74	0,58
0,60	0,95	0,92	0,86	0,81	0,77	0,62
0,70	0,96	0,94	0,89	0,85	0,81	0,69
0,80	0,97	0,96	0,92	0,90	0,87	0,78
0,90	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,88
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,01	1,03	1,03	1,05	1,08
1,20	1,02	1,02	1,05	1,07	1,10	1,16
1,30	1,03	1,04	1,06	1,10	1,14	1,24
1,40	1,03	1,05	1,08	1,12	1,18	1,31
1,50	1,04	1,06	1,09	1,14	1,21	1,37
1,60	1,04	1,07	1,11	1,16	1,25	1,42
1,70	1,04	1,08	1,12	1,20	1,30	1,50
1,80	1,04	1,09	1,13	1,22	1,35	1,55

Sumber: Bina Marga, 2017

Tabel 2.14 Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$) untuk BB

<i>AMPT</i>	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
	25	50	100	150	200	300
<i>TEMP</i> Lapangan						
0,50	0,93	0,81	0,72	0,54	0,48	0,43
0,60	0,95	0,85	0,77	0,64	0,53	0,48
0,70	0,96	0,89	0,83	0,73	0,61	0,57
0,80	0,98	0,92	0,88	0,81	0,72	0,69
0,90	0,99	0,96	0,93	0,89	0,84	0,83
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,02	1,03	1,04	1,09	1,11
1,20	1,02	1,04	1,07	1,11	1,20	1,24
1,30	1,03	1,07	1,11	1,18	1,31	1,36
1,40	1,04	1,09	1,14	1,24	1,41	1,46
1,50	1,05	1,11	1,17	1,29	1,49	1,56
1,60	1,06	1,13	1,20	1,35	1,57	1,64
1,70	1,07	1,14	1,23	1,39	1,64	1,71
1,80	1,07	1,16	1,25	1,44	1,70	1,78

Sumber: Bina Marga, 2017

Untuk Tabel 2.13 dan 2.14 apabila pengujian lendutan menggunakan *Benkelman Beam*. Jika tebal permukaan beraspal kurang dari 25 mm, tidak memerlukan faktor koreksi temperatur.

2.6.8 Penyesuaian Nilai Lendutan dan Lengkung Lendutan

Lendutan dan lengkung lendutan yang diuji dengan *Benkelman Beam* dan *FWD* menghasilkan nilai yang berbeda dan memerlukan penyesuaian atau standarisasi pengukuran

Bagan desain *overlay*, yang mencakup kriteria kelelahan perkerasan aspal, didasarkan pada lengkung lendutan *FWD*. Oleh karena itu, ketika melakukan pengukuran menggunakan *BB*, nilai yang dihasilkan harus dikalikan dengan faktor normalisasi untuk mengubahnya menjadi nilai yang setara dengan *FWD*. Faktor-faktor ini tergantung pada komposisi penutup lantai dan kekuatan lantai. Koefisien

yang paling tepat berasal dari pengukuran medan paralel. Namun, untuk kenyamanan, asumsi awal untuk faktor penyesuaian ditunjukkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Faktor Penyesuaian Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) *BB* ke *FWD*

Tebal Aspal	Faktor	Tebal Aspal	Faktor
0	1,00	160	0,69
20	0,95	180	0,67
40	0,91	200	0,65
60	0,86	220	0,63
80	0,82	240	0,61
100	0,79	260	0,60
120	0,75	280	0,59
140	0,72	300	0,59

Sumber: Bina Marga, 2017

Bagan desain overlay kriteria lendutan maksimum didasarkan pada lendutan yang diukur dengan *Benkelman Beam*. Jika ingin mendapatkan data defleksi dari *FWD*, perlu mengalikan nilai yang diperoleh dengan faktor koreksi dan mengubah data yang diperoleh menjadi data defleksi *Benkelman Beam*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Faktor Penyesuaian Lendutan (D_0) *FWD* ke *BB*

Tebal Aspal Eksisiting (mm)	Faktor	Tebal Aspal Eksisiting (mm)	Faktor
0	1	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	1,2	260	1,34
120	1,22	280	1,35
140	1,24	300	1,36

Sumber: Bina Marga, 2017

2.6.9 Lenkung Lendutan Karakteristik (*Characteristic Curvature*)

Apabila beban lalu $> 1 \times 10^5$ ESA5, maka perlu digunakan Lenkung Lendutan Karakteristik agar desain overlay bisa mencapai tujuan yang diinginkan. Hasil ini ditetapkan setelah dilakukannya koreksi terhadap masing-masing pengukuran.

2.6.10 Overlay Menggunakan Aspal Modifikasi

Aspal termodifikasi, khususnya aspal termodifikasi SBS, bisa memperpanjang umur fatigue dari overlay aspal tipis hingga 3 kali (lihat Tabel 2.17).

Tabel 2.17 Umur Lelah (*Fatigue*) Aspal Modifikasi

Deskripsi Bahan Pengikat Aspal Modifikasi	Penyesuaian Modulus Relatif Terhadap Aspal Pen. 60/70	Faktor Penyesuaian Fatigue (Pendekatan Toleransi Fatigue Untuk Campuran Beraspal vs Aspal Standar)
Modifikasi Asbuton Menjadi Pen 40	1,35	1,00
6 % SBS	0,70	3,00
5 % SBS	0,75	2,50
3 % SBS	0,80	1,50
Multi Grade	1,00	1,50
5 % EVA	1,50	1,50
6 % EVA	1,50	1,50

Sumber: Bina Marga, 2017

Bila menggunakan aspal yang dimodifikasi, masa layanan dikalikan dengan koefisien yang tercantum pada Tabel 2.17. Apabila masa layanan lebih lama dari yang diharapkan, dapat menggunakan overlay tipis.