

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Tinjauan Umum

Wibowo (2001) menyatakan bahwa pada dasarnya setiap struktur perkerasan jalan akan mengalami proses perusakan secara progresif sejak jalan pertama kali dibuka untuk lalu lintas. Hal yang sama diungkapkan oleh Mayank dkk. (2013) yang menyebutkan bahwa semua infrastruktur memiliki masa layan yang pasti, dengan kata lain semua struktur yang dirancang akan gagal pada suatu titik tertentu, tetapi umur dari suatu struktur ditentukan oleh aktivitas pemeliharaan dan perbaikan.

Terdapat empat tantangan utama terhadap kinerja aset jalan di Indonesia antara lain yaitu beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi, dan tanah lunak (Romauli dkk., 2016). Sedangkan menurut Bhimani dan Shrinkar (2017) disebutkan bahwa tingkatan penurunan kinerja pelayanan struktur pada perkerasan lentur dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti stabilitas struktur perkerasan dan komponen lapisan yang ada, besarnya beban roda lalu lintas, pertumbuhan lalu lintas, efektifitas fungsi sistem drainase perkerasan dan perubahan iklim serta berbagai faktor lingkungan lainnya.

Birasungi dkk. (2019) menyatakan bahwa perlu adanya pemeliharaan maupun rehabilitasi untuk mempertahankan kondisi jalan agar tetap berfungsi secara optimal melayani lalu lintas selama umur rencana jalan yang ditetapkan.

Salah satu upaya untuk menghindari kerusakan yang serius pada perkerasan jalan adalah dengan menggunakan tebal lapis tambah (*overlay*). Penanganan dengan menggunakan tebal lapis tambah merupakan pilihan yang paling tepat, karena dari segi fungsional dapat memberikan kenyamanan dalam berkendara kepada pengguna jalan dengan menciptakan permukaan perkerasan yang lebih halus dan rata. Disamping itu dilihat dari segi struktural penggunaan tebal lapis tambah dapat meningkatkan kekuatan perkerasan jalan sehingga dapat mencegah kerusakan serius dimasa yang akan datang.

Pemilihan metode perencanaan yang tepat menjadi faktor yang harus dipertimbangkan sebelum menentukan lapis tambah perkerasan lentur. Menurut Suaryana dan Anggodo (2007) disebutkan bahwa perencanaan yang tidak tepat dapat menyebabkan jalan cepat rusak (*under design*) atau konstruksi tidak ekonomis (*over design*).

Banyak pedoman yang dapat digunakan untuk menentukan tebal lapis tambah pada suatu ruas jalan guna mengakomodasi tingginya pertumbuhan dan pembebanan lalu lintas, salah satu pedoman yang paling akurat dan efisien adalah Pedoman Perencanaan Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan Pd T-05-2005-B yang menggunakan nilai lendutan balik dari hasil pengujian langsung dilapangan menggunakan alat *Benkelman Beam*.

2.1.2. Penelitian Terdahulu

Sebelum melakukan penelitian ini, penulis terlebih dahulu melakukan studi pustaka untuk mengetahui apakah penelitian dibidang yang sama telah dilakukan atau belum dilakukan, sekaligus untuk menghindari plagiarisme dalam penelitian ini. Hal mendasar yang membedakan penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu adalah lokasi yang menjadi studi kasus penelitian, dimana berdasarkan hasil studi pustaka yang dilakukan belum pernah ada dan dipublikasikan penelitian dengan metode yang sama dan mengambil tempat pada ruas jalan Yogyakarta–Barongan (Imogiri) tepatnya pada Sta. 7+000 sampai dengan Sta. 9+000. Adapun terdapat beberapa penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan dari segi konsep, metode ataupun relevansi dengan penelitian yang dilakukan penulis, namun studi kasus yang diambil jelas berbeda antara penelitian yang satu dengan penelitian yang lain.

Adly (2016) melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur (*Overlay*) Dengan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat *Benkelman Beam*”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang sesuai untuk peningkatan kinerja ruas jalan Klangon-Tempel pada KM. 21+000 sampai dengan KM. 23+000, dengan menggunakan metode lendutan yang mengacu pada Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd-T-05-2005-B. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan

menunjukkan bahwa segmentasi ruas jalan tersebut dibagi menjadi sepuluh (10) bagian dengan nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) dan *structural number* (SN) untuk masing-masing segmen yaitu pada segmen I sebesar 4 cm (SN=9,8), segmen II sebesar -1 cm (SN=7,8), segmen III sebesar 8 cm (SN=11,4), segmen IV sebesar 2 cm (SN=9,0), segmen V sebesar 2 cm (SN=9,0), segmen VI sebesar 1 cm (SN=8,6), segmen VII sebesar 2 cm (SN=9,0), segmen VIII sebesar 9 cm (SN=11,8), segmen IX sebesar 6 cm (SN=10,6) dan segmen X sebesar 1 cm (SN=8,9). Modulus elastisitas lapis permukaan = $3,65 \times 10^5$ psi, modulus elastisitas lapis pondasi atas = $5,90 \times 10^5$ psi dan modulus elastisitas lapis pondasi bawah = $0,18 \times 10^5$ psi.

Birasungi dkk. (2019) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2013”, bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur ruas jalan Yos Sudarso Manado pada KM. 2+397 sampai dengan KM. 3+597, dengan metode analisis data dimulai dengan menghitung akumulasi beban sumbu standar kendaraan (CESA) berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan No.002/M/BM/2013, menghitung nilai lendutan balik dari hasil pengujian *Benkelman Beam* (BB) menggunakan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd-T-05-2005-B dan menetapkan nilai Indeks Permukaan berdasarkan nilai Indeks Kekasaran Internasional dengan menggunakan grafik hubungan Indeks Permukaan (IP) dan *International Roughness Index* (IRI) yang bersumber dari *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP). Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai indeks permukaan untuk tahun 2017 (tahun ke-enam pelayanan) memiliki nilai IP 1,4 yang dengan beban lalu lintas yang melintas sebesar 16.764.362 ESA, sehingga diperlukan penanganan berupa perawatan maupun perbaikan rekonstruksi secara struktural untuk meningkatkan kekuatan struktur sehingga umur rencana jalan dapat tercapai.

Fuady (2014) melakukan penelitian dengan judul “Studi Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan (*Overlay*) Pada Jalan Maospati - Sukomoro (Sta. 0+000 – 12+000) Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang sesuai untuk meningkatkan kinerja ruas jalan dengan menggunakan metode lendutan yang mengacu pada Pedoman

Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd-T-05-2005-B. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa segmentasi ruas jalan tersebut dibagi menjadi dua (2) bagian yaitu segmen I (Sta. 0+000 – 6+000) dan segmen II (Sta 6+500 – 12+000) dengan nilai lendutan wakil (D_{wakil}) untuk masing-masing segmen adalah pada segmen I sebesar 2,28 mm dan segmen II sebesar 2,33 mm. Nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) yang direkomendasikan untuk setiap segmen adalah sebesar 4,0 cm dengan jumlah biaya keseluruhan adalah sebesar Rp. 4.565.237.600,-

Mustaqim dkk. (2018) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Lapisan Tambahan (*Overlay*) di Ruas Jalan Pembangunan Pemangkat-Tebas STA. 8+500 – 9+500 Kabupaten Sambas”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang sesuai untuk meningkatkan kinerja ruas jalan dengan menggunakan metode lendutan yang mengacu pada Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd-T-05-2005-B. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) yang direkomendasikan untuk umur rencana 5 tahun adalah sebesar 5,0 cm.

Pangarepan dkk. (2018) melakukan penelitian dengan judul “Studi Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Perkerasan Lentur Menurut Metode Pd T-05-2005-B dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang sesuai untuk meningkatkan kinerja ruas jalan Batas Kota Manado–Tomohon pada KM. 8+000 sampai dengan 11+000, dengan membandingkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd T-05-2005-B dengan Manual Desain Perkerasan Jalan No.002/M/BM/2013. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai akumulasi ekuivalen beban sumbu standar (CESA) dan lendutan wakil (D_{wakil}) untuk Pedoman Pd T-05-2005-B adalah sebesar 10.175.434 ESA dan 0,71 mm; sedangkan untuk pedoman No.002/M/BM/2013 adalah sebesar 11.276.919 ESA dan 0,77 mm ($CF=0,268$). Nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) yang direkomendasikan untuk Pedoman Pd T-05-2005-B adalah sebesar 4,0 cm; sedangkan untuk pedoman No.002/M/BM/2013 adalah sebesar 4,5 cm.

Pranomo (2016) melakukan penelitian dengan judul “Analisa Kondisi Kerusakan Jalan Pada Lapis Permukaan Menggunakan Metode *Pavement Condition Index (PCI)*”, bertujuan untuk mengetahui kondisi permukaan perkerasan ruas jalan Imogiri Timur pada Sta. 0+000 sampai dengan Sta. 4+000, dengan menggunakan metode *Pavement Condition Index (PCI)*. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai indeks kondisi perkerasan (PCI) rata-rata ruas jalan Imogiri Timur adalah sebesar 48,25 % yang termasuk dalam kategori sedang (*fair*) dan apabila mengacu pada matriks PCI untuk jalan lokal, dapat diambil kesimpulan bahwa ruas jalan tersebut perlu untuk dilakukan perbaikan.

Rizaldi dkk. (2018) melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Lapis Tambah Perkerasan Pada Ruas Jalan Lambaro-Batas Pidie”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang sesuai untuk meningkatkan kinerja ruas jalan tersebut pada Sta. 14+250 sampai dengan 16+300, dengan menggunakan data lendutan *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan data lendutan *Benkelman Beam (BB)* yang mengacu pada Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd T-05-2005-B. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) dan keseragaman lendutan (FK) untuk FWD adalah sebesar 7,0 cm dan 28,455 %; sedangkan untuk BB adalah sebesar 9,0 cm dan 15,660 %. Jenis lapis tambah yang digunakan adalah laston dengan modulus resilient (M_R) sebesar 2000 MPa dan stabilitas marshall 800 Kg.

Rizkiawan dkk. (2017) melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Metode Pd T-05-2005-B dan Metode SDPJL Pada Ruas Jalan Klaten-Prambanan”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang sesuai untuk meningkatkan kinerja ruas jalan tersebut, dengan membandingkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd T-05-2005-B dan perangkat lunak Software Perencanaan Desain Jalan Lentur (SPDJL). Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai akumulasi ekuivalen beban sumbu standar (CESA) adalah sebesar 40×10^6 ESA, maka diperoleh nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) untuk Pedoman Pd T-05-2005-B adalah sebesar 16,0 cm ($AC-WC = 4,0$ cm dan $AC-BC = 12,0$

cm); sedangkan untuk SPDJL adalah sebesar 13,0 cm ($AC-WC = 4,0$ cm dan $AC-BC = 9,0$ cm).

Romauli dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Perhitungan Tebal Lapis Tambahan (*Overlay*) Pada Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang sesuai untuk meningkatkan kinerja ruas jalan Kairagi–Mapanget, dengan membandingkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd T-05-2005-B, Pedoman Interim Perkerasan Jalan Lentur No.002/P/BM/2011 dan Manual Desain Perkerasan Jalan No.002/M/BM/2013. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai akumulasi ekuivalen beban sumbu standar (CESA) untuk masing masing pedoman yaitu Pedoman Pd T-05-2005-B sebesar 5.206.601 ESA, Pedoman No.002/P/BM/2011 sebesar 3.384.337 ESA dan Pedoman No.002/M/BM/2013 sebesar 9.766.566 ESA. Nilai lendutan wakil (D_{wakil}) dan tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) untuk Pedoman Pd T-05-2005-B adalah sebesar 1,25 mm dan 12,0 cm; Pedoman No.002/P/BM/2011 adalah sebesar 1,29 mm dan 17,5 cm dan Pedoman No.002/M/BM/2013 adalah sebesar 1,45 mm dan 12,5 cm.

Wahyudi dkk, (2016) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Cara Lendutan Balik Dengan Metode Pd T-05-2005-B dan Pedoman Interim No.002/P/BM/2011”, bertujuan untuk mengetahui desain tebal lapis tambah yang paling optimum dan biaya siklus hidup yang paling efisien untuk meningkatkan kinerja ruas jalan Batas Kota Metro-Gedung Dalam pada Sta. 0+000 sampai dengan 10+000, dengan membandingkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Lendutan Pd T-05-2005-B dan Pedoman Interim Perkerasan Jalan Lentur No.002/P/BM/2011. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa segmentasi ruas jalan dibagi menjadi tiga (3) bagian yaitu segmen I (Sta. 0+000 – 1+600), segmen II (Sta. 2+600 – 5+000) dan segmen III (Sta. 5+400 – 10+000). Nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) untuk Pedoman Pd T-05-2005-B relatif sama dengan hasil Pedoman No.002/P/BM/2011 yaitu segmen I sebesar 15 cm dan 16 cm, segmen II sebesar 16 cm dan 17 cm, segmen III sebesar 13 cm dan 14 cm. Dengan indikator nilai IRI sebesar 1,0 m/km dan umur rencana 20 tahun, diperoleh biaya siklus

hidup masing-masing metode sebesar Rp 46.306.013.475,- dan Rp 47.025.695.035,- (tingkat perbedaan sebesar 1,5%).

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pengertian Jalan

Menurut Undang-Undang No. 22 Tahun 2009, pasal (1) ayat (12) tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan disebutkan bahwa jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, diatas permukaan tanah, dibawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori dan jalan kabel.

Jalan raya adalah jalur - jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran - ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat (Oglesby dan Hicks, 1999).

2.2.2. Klasifikasi Jalan

Pada dasarnya jalan dapat diklasifikasikan menurut kelas, jaringan, fungsi, medan dan statusnya. Adapun penjelasan secara mendetail dari masing-masing klasifikasi jalan diatas antara lain sebagai berikut:

1. Kelas Jalan

Berdasarkan Undang-Undang No. 22 Tahun 2009, pasal (19) ayat (2) tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan disebutkan bahwa jalan menurut kelasnya dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian, antara lain dapat dijabarkan pada tabel (2.1) berikut:

Tabel 2.1. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan
(Undang-Undang No. 22 Tahun 2009)

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	MST (ton)	Dimensi Kendaraan (mm)		
			Tinggi	Lebar	Panjang
I	Arteri	10	4200	2500	18000
	Kolektor				
II	Arteri	8	4200	2500	12000
	Kolektor				
	Lokal				
	Lingkungan				
III	Arteri	8	3500	2100	9000
	Kolektor				
	Lokal				
	Lingkungan				
Khusus	Arteri	10	4200	2500	18000

2. Jaringan Jalan

Menurut Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006, pasal (6) ayat (1) tentang Jalan disebutkan bahwa sistem jaringan jalan merupakan satu kesatuan jaringan jalan yang terdiri dari sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder yang terjalin dalam hubungan hierarki. Adapun penjelasan dari masing-masing sistem jaringan jalan diatas antara lain sebagai berikut:

a. Sistem Jaringan Jalan Primer

Merupakan sistem jaringan jalan yang menghubungkan antar kawasan perkotaan yang diatur secara berjenjang sesuai dengan peran perkotaan yang dihubungkannya.

b. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Merupakan sistem jaringan jalan yang menghubungkan antar kawasan di dalam perkotaan yang diatur secara berjenjang sesuai dengan fungsi kawasan yang dihubungkannya.

3. Fungsi Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006, pasal (9) ayat (1) tentang Jalan disebutkan bahwa berdasarkan sifat dan pergerakan pada lalu lintas dan angkutan jalan, fungsi jalan dapat dibedakan atas jalan arteri, kolektor, lokal dan lingkungan. Adapun penjelasan dari masing-masing fungsi jalan diatas antara lain sebagai berikut:

a. Jalan Arteri

Merupakan jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.

b. Jalan Kolektor

Merupakan jalan yang melayani angkutan pengumpulan dan pembagian atau pembagian dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.

c. Jalan Lokal

Merupakan jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

d. Jalan Lingkungan

Merupakan jalan yang berada di lingkungan perumahan atau jalan *service* untuk lingkungan perumahan.

4. Medan Jalan

Menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (1997) disebutkan bahwa medan jalan dapat dibedakan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus terhadap garis kontur. Keseragaman kondisi medan yang diproyeksikan, haruslah mempertimbangkan keseragaman kondisi medan menurut rencana trase jalan dengan mengabaikan perubahan-perubahan pada bagian kecil dari segmen rencana jalan tersebut.

Tabel 2.2. Klasifikasi Menurut Medan Jalan
(Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
Datar	D	< 3
Perbukitan	B	3 – 25
Pegunungan	G	> 25

5. Status Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006, pasal (25) tentang Jalan disebutkan bahwa jalan umum menurut statusnya dapat dibedakan atas jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten, jalan kota dan jalan desa.

2.2.3. Umur Rencana

Berdasarkan Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen (1987), dijelaskan bahwa umur rencana merupakan jumlah waktu dan tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu diberi lapis permukaan yang baru.

Selama umur rencana tersebut pemeliharaan perkerasan jalan tetap harus dilakukan, seperti pelapisan non struktural yang berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air. Umur rencana yang paling sering digunakan untuk merencanakan perkerasan lentur jalan baru adalah sebesar 20 tahun, sedangkan untuk peningkatan fungsional maupun struktural jalan adalah sebesar 10 tahun. Adapun pemilihan umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun dirasa tidak lagi ekonomis (efisien) dikarenakan tingginya perkembangan lalu lintas dan sulitnya mendapatkan ketelitian perencanaan yang memadai. (Sukirman, 1999)

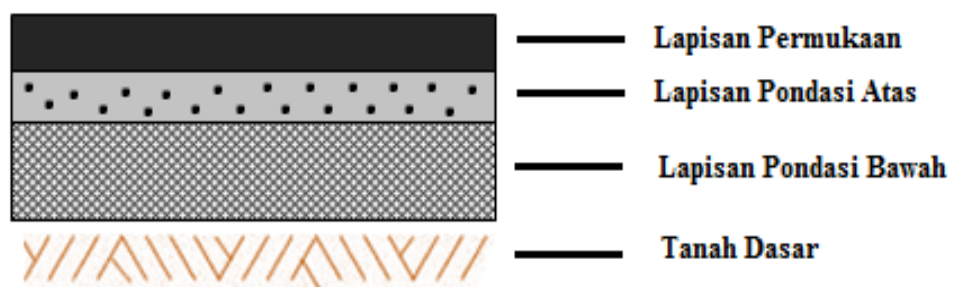
2.2.4. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan konstruksi yang dibangun pada lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang berfungsi untuk menopang beban lalu-lintas (Hendarsin, 2000). Hal yang sama diungkapkan oleh Oetomo (2013) yang menyatakan bahwa lapisan konstruksi perkerasan jalan mempunyai fungsi untuk menerima dan

menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti terhadap konstruksi jalan, sehingga akan memberikan kenyamanan kepada pengguna jalan selama pelayanan jalan. Menurut Sukirman (1999) berdasarkan bahan pengikatnya, perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian antara lain sebagai berikut:

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

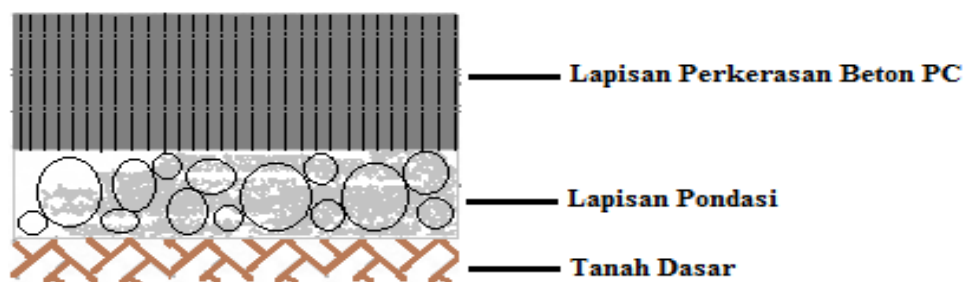
Merupakan suatu jenis konstruksi yang dibangun diatas permukaan tanah dasar dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya.



Gambar 2.1. Struktur Lapisan Perkerasan Lentur.

2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

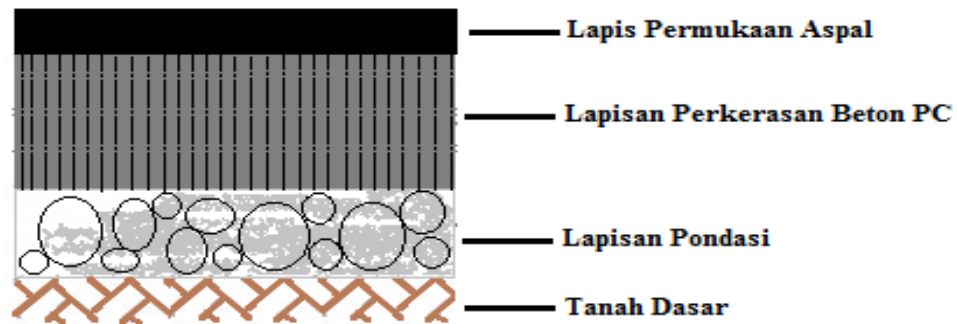
Merupakan suatu jenis konstruksi yang dibangun diatas tanah dasar dengan menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikatnya.



Gambar 2.2. Struktur Lapisan Perkerasan Kaku.

3. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku, berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.



Gambar 2.3. Struktur Lapisan Perkerasan Komposit.

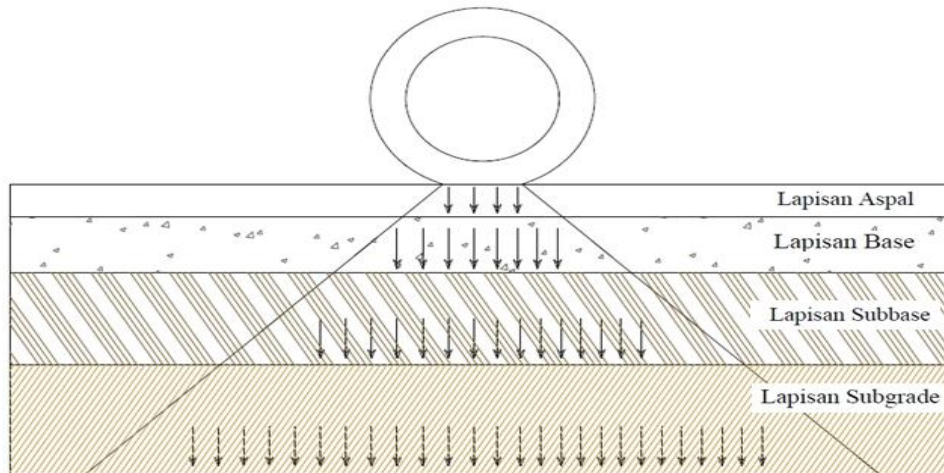
Adapun menurut Sukirman (1999), disebutkan bahwa perkerasan lentur dan perkerasan kaku memiliki sifat dan perilaku yang berbeda, antara lain dapat dijabarkan pada tabel (2.3) berikut:

Tabel 2.3. Perbedaan Antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku
(Sukirman, 1999)

Deskripsi	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
Bahan pengikat	Aspal	Semen
Repetisi beban	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul <i>cracking</i> (retak pada permukaan)
Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang mengikuti tanah dasar	Bersifat sebagai balok diatas perletakan
Perubahan temperatur	Modulus kekakuan berubah, timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah, timbul tegangan dalam yang besar

Jenis perkerasan jalan yang umum digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur, hal ini dikarenakan perkerasan lentur dirasa lebih ekonomis dan lebih mudah didesain ulang (*re-design*) guna menyesuaikan (*adjustable*) dengan perubahan pembebanan lalu lintas yang ada. Adapun dalam penelitian ini, jenis perkerasan yang menjadi objek penelitian dilapangan adalah perkerasan lentur.

Berdasarkan Sukirman (1999) disebutkan bahwa struktur dari suatu perkerasan lentur umumnya terdiri dari beberapa jenis lapisan tergantung perencanaannya, lapisan-lapisan pada perkerasan lentur tersebut bersifat memikul, meneruskan dan menyebarkan beban lalu lintas menuju tanah dasar.



Gambar 2.4. Skema Penyebaran Beban Lalu Lintas Menuju Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*).

Adapun perkerasan lentur secara struktural terdiri dari beberapa lapisan antara lain sebagai berikut:

1. Lapisan Permukaan (*Surface*)

Merupakan lapisan yang terletak paling atas dan bersinggungan langsung dengan roda kendaraan. Adapun fungsi dari lapisan permukaan antara lain sebagai berikut:

- a. Sebagai lapisan penahan roda kendaraan yang memiliki stabilitas tinggi dalam menahan pembebanan lalu lintas selama umur rencana suatu ruas jalan.
- b. Sebagai lapisan kedap air yang melindungi perkerasan sehingga air hujan tidak menggenang ataupun meresap menuju struktur lapisan dibawahnya.
- c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*) yang menerima gesekan-gesekan roda kendaraan akibat aktivitas pengereman sehingga mudah menjadi aus.
- d. Sebagai lapisan yang menyebarkan pembebanan lalu lintas ke struktur lapisan dibawahnya.

2. Lapisan Pondasi Atas (*Base*)

Merupakan lapisan perkerasan yang terletak antara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan. Adapun fungsi dari lapisan pondasi atas antara lain sebagai berikut:

- a. Sebagai lapisan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke struktur lapisan di bawahnya.
- b. Sebagai lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
- c. Sebagai lapisan bantalan terhadap lapisan permukaan.

3. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase*)

Merupakan lapisan perkerasan yang terletak antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar. Adapun fungsi dari lapisan pondasi bawah antara lain sebagai berikut:

- a. Sebagai lapisan yang menyebarkan beban lalu lintas menuju tanah dasar.
- b. Efisiensi penggunaan material, hal ini dikarenakan material pada lapisan pondasi bawah relatif lebih murah dibandingkan dengan material pada struktur lapisan perkerasan di atasnya.
- c. Mengurangi tebal lapisan perkerasan di atasnya yang lebih mahal.
- d. Sebagai lapisan peresapan sehingga air tanah tidak berkumpul pada struktur pondasi.
- e. Sebagai lapisan pertama dalam suatu konstruksi perkerasan guna menastikan pekerjaan dapat berjalan dengan lancar, dikarenakan pada suatu kondisi tertentu tanah dasar harus segera di tutup untuk menghindarkan dari adanya pengaruh cuaca atau dikarenakan buruknya daya dukung tanah dasar dalam menahan pembebanan roda alat besar.
- f. Sebagai lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar untuk naik menuju struktur lapisan perkerasan di atasnya.

4. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Menurut Sukirman (1999) disebutkan bahwa kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dengan sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk memeriksa dan menentukan kekuatan tanah dasar, namun yang umum digunakan adalah menggunakan alat *California Bearing Ratio* (CBR), hasil pengujian CBR nantinya akan dikolerasikan dengan menggunakan nomogram untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah (DDT). Pada dasarnya lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang telah melalui proses pemadatan, tanah dari tempat lain yang telah melalui proses pemadatan atau tanah yang mendapatkan penanganan khusus dengan bahan kimia atau bahan-bahan lainnya. Pemadatan yang baik dapat diperoleh apabila proses pemadatan dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut dapat bertahan konstan selama umur rencana, adapun hal tersebut dapat dicapai dengan adanya perlengkapan drainase yang baik dan memenuhi syarat. Apabila ditinjau dari ketinggian muka tanah asli, lapisan tanah dasar dapat dibedakan menjadi tiga bagian, antara lain sebagai berikut:

- a. Lapisan tanah galian.
- b. Lapisan tanah timbunan.
- c. Lapisan tanah asli.

2.2.5. Tebal Lapis Tambah

Menurut Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd. T-05-2005-B), disebutkan bahwa tebal lapis tambah (*overlay*) dapat diartikan sebagai lapis perkerasan tambahan yang dipasang di atas konstruksi perkerasan yang ada (*existing*), dengan tujuan meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada, agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama kurun waktu yang akan datang.

Tebal lapis tambah dibutuhkan apabila konstruksi perkerasan yang ada tidak lagi mampu untuk memikul beban lalu lintas yang beroperasi, baik karena penurunan kemampuan struktural atau karena mutu lapisan perkerasan yang sudah jelek, disamping itu tebal lapis tambah juga dibutuhkan apabila perkerasan harus diperkuat untuk memikul beban lalu lintas yang lebih berat atau pengulangan beban lalu lintas yang lebih banyak dari yang diperhitungkan dalam perencanaan awal.

Didalam Manual Desain Perkerasan Jalan No. 002/M/BM/2013, dijelaskan bahwa saat ini terdapat tiga pedoman yang dapat digunakan untuk merencanakan lapis perkerasan tambah (*overlay*) antara lain sebagai berikut:

1. Pendekatan berdasarkan lendutan yang terdapat dalam Pedoman Perencanaan Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B).
2. Pendekatan berdasarkan indeks tebal perkerasan yang terdapat dalam Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Pt T-01-2002-B).
3. Pendekatan berdasarkan lendutan (modifikasi dari Pd T-05-2005-B) dalam Pedoman Interim Desain Perkerasan Lentur No. 002/P/BM/2011.

Pada penelitian ini, analisa tebal lapis tambah (*overlay*) dilakukan dengan pendekatan berdasarkan lendutan yang terdapat dalam Pedoman Perencanaan Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B).

2.2.6. Jenis Lapis Tambah

Pada umumnya jenis campuran beraspal yang banyak digunakan merupakan campuran beraspal panas (*hotmix*) yang menggunakan aspal keras sebagai bahan dasarnya. Menurut Spesifikasi Umum (2010) Devisi 6 tentang Perkerasan Aspal, disebutkan bahwa aspal keras yang digunakan memiliki spesifikasi seperti pada tabel (2.4) berikut:

Tabel 2.4. Spesifikasi Aspal Keras Penetrasi 60/70
(Spesifikasi Umum 2010, Devisi 6)

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	60-70
Viskositas 135 °C	SNI 06-6441-1991	385
Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48
Indeks Penetrasi	-	≥ - 1,0
Daktalitas pada 25°C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0
Berat Hilang	SNI 06-2440-1991	≥ 0,8

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd. T-05-2005-B), disebutkan bahwa ada tiga jenis aspal keras yang direkomendasikan sebagai bahan lapis tambah antara lain sebagai berikut:

1. Laston (*Asphalt Concrete*)

Laston merupakan campuran beraspal dengan gradasi agregat gabungan yang rapat atau menerus dan menggunakan bahan pengikat aspal keras tanpa dimodifikasi (*straight bitumen*). Adapun laston dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan fungsi dan letaknya antara lain sebagai berikut:

a. *Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)*

Merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus, dengan tebal minimum yang disyaratkan sebesar 40,0 mm dan ukuran agregat maksimum sebesar 19,0 mm.

b. *Asphalt Concrete Binder Coarse (AC-BC)*

Merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (AC-WC) dan di atas lapisan pondasi (AC-Base), dengan tebal minimum sebesar 60,0 mm dan ukuran agregat maksimum 25,4 mm.

c. *Asphalt Concrete Base (AC-Base)*

Merupakan perkerasan yang terletak di bawah lapis pengikat (AC-BC), dengan tebal minimum sebesar 75,0 mm dan ukuran agregat maksimum 27,5 mm.

Sebagai lapis perkerasan jalan, laston bersifat kedap air serta memiliki kekuatan struktur dan stabilitas yang tinggi. Adapun menurut Spesifikasi Umum (2010) Devisi 6 tentang Perkerasan Aspal, disebutkan bahwa laston memiliki sifat-sifat campuran dengan ketentuan seperti pada tabel (2.5) berikut:

Tabel 2.5. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston
(Spesifikasi Umum 2010, Devisi 6)

Sifat-Sifat		Laston (AC)					
		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang		75				112	
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0					
	Maks	5,0					
Rongga dalam agregat (%)	Min	15		14		13	
Rongga terisi aspal (%)	Min	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min	3				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250				300	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 Jam, 60 °C	Min	90					
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5					

2. Lataston (*Hot Rolled Sheet*)

Lataston merupakan campuran beraspal dengan gradasi agregat yang senjang atau semi senjang dan menggunakan bahan pengikat aspal keras tanpa dimodifikasi (*straight bitumen*). Adapun laston dapat dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan fungsi dan letaknya antara lain sebagai berikut:

a. *Hot Rolled Sheet Wearing Coarse (HRS-WC)*

Merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus, dengan tebal minimum yang disyaratkan sebesar 30,0 mm dan ukuran agregat maksimum sebesar 19,0 mm.

b. *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*

Merupakan perkerasan yang terletak di bawah lapis permukaan (HRS-WC), dengan tebal minimum sebesar 35,0 mm dan ukuran agregat maksimum 19,0 mm.

Sebagai lapis perkerasan jalan, lataston bersifat kedap air serta memiliki kekuatan struktur dan stabilitas yang tinggi. Adapun menurut Spesifikasi Umum (2010) Devisi 6 tentang Perkerasan Aspal, disebutkan bahwa lataston memiliki sifat-sifat campuran dengan ketentuan seperti pada tabel (2.6) berikut:

Tabel 2.6. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lataston
(Spesifikasi Umum 2010, Devisi 6)

Sifat-Sifat		Lataston (HRS)			
		HRS-WC		HRS-Base	
		Senjang	Semi Senjang	Senjang	Semi Senjang
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,9	5,5	5,5
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,7			
Jumlah tumbukan per bidang		75			
Rongga dalam campuran (%)	Min	4,0			
	Maks	6,0			
Rongga dalam agregat (%)	Min	18		17	
Rongga terisi aspal (%)	Min	68			
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800			
Pelelehan (mm)	Min	3			

Tabel 2.6. Lanjutan

Sifat-Sifat		Lataston (HRS)			
		HRS-WC		HRS-Base	
		Senjang	Semi Senjang	Senjang	Semi Senjang
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250			
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 Jam, 60 °C	Min	90			
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	3			

3. Laston Modifikasi

Laston modifikasi merupakan campuran beraspal dengan gradasi agregat kasar yang rapat atau menerus dan menggunakan bahan pengikat aspal keras yang telah dimodifikasi, baik dengan *crump rubber* (CR) maupun *plastics polymer* (PMA). Penggunaan laston modifikasi sangat direkomendasikan untuk jenis perkerasan dengan tingkat pembebanan lalu lintas yang terbilang tinggi. Adapun laston modifikasi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan fungsi dan letaknya antara lain sebagai berikut:

a. *Asphalt Concrete Wearing Coarse – Modified (AC-WC Mod)*

Merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus, dengan tebal minimum yang disyaratkan sebesar 40,0 mm dan ukuran agregat maksimum sebesar 19,0 mm.

b. *Asphalt Concrete Binder Coarse – Modified (AC-BC Mod)*

Merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (AC-WC Mod) dan di atas lapisan pondasi (AC-Base Mod), dengan tebal minimum sebesar 60,0 mm dan ukuran agregat maksimum 25,4 mm.

c. *Asphalt Concrete Base – Modified (AC-Base Mod)*

Merupakan perkerasan yang terletak di bawah lapis pengikat (AC-BC Mod), dengan tebal minimum sebesar 75,0 mm dan ukuran agregat maksimum 27,5 mm.

Sebagai lapis perkerasan jalan, laston modifikasi bersifat kedap air serta memiliki kekuatan struktur dan stabilitas yang tinggi. Adapun menurut Spesifikasi Umum (2010) Devisi 6 tentang Perkerasan Aspal, disebutkan bahwa laston modifikasi memiliki sifat-sifat campuran dengan ketentuan seperti pada tabel (2.7) berikut:

Tabel 2.7. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Modifikasi
(Spesifikasi Umum 2010, Devisi 6)

Sifat-Sifat		Laston (AC Mod)		
		AC-WC	AC-BC	AC-Base
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000		2250
Pelelehan (mm)	Min	3		4,5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	300		350
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 Jam, 60 °C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5		
Stabilitas Dinamis (lintasan/mm)	Min	2500		

Dikutip dari penelitian Sulyman, dkk (2014) disebutkan bahwa penggunaan *crump rubber* dan *plastics polymer* sebagai *modifiers* bertujuan untuk meningkatkan umur layan dan performa dari suatu perkerasan jalan.

Adapun penjelasan dari masing-masing bahan *modifiers* tersebut akan dijabarkan antara lain sebagai berikut:

a. *Crump Rubber*

Merupakan bahan modifikasi yang berasal dari limbah karet ban yang sudah tidak terpakai, yang mana berdasarkan proses pengolahannya dapat dibedakan menjadi dua bagian antara lain sebagai berikut:

1) *Wet Process*

Metode pengolahan ini berupa pencampuran *crump rubber* dengan aspal pada temperatur tertentu terlebih dahulu, untuk selanjutnya dicampurkan bersama dengan agregat.

2) *Dry Process*

Metode pengolahan ini berupa penggantian agregat dalam porsi yang kecil dengan menggunakan *crump rubber* untuk selanjutnya dicampurkan dengan aspal pada suhu tertentu.

Perbedaan dari kedua metode tersebut adalah ukuran partikel dari *crump rubber* pada *dry process* lebih kasar dan penggunaannya lebih banyak dua sampai empat kali dibandingkan dengan *wet process*. Hal ini dikarenakan pada *dry process* partikel dari *crump rubber* lebih berperan sebagai agregat sedangkan pada *wet process* lebih berperan sebagai bahan pengikat (*binder*). Adapun metode yang paling banyak digunakan untuk pengolahan laston modifikasi dengan *crump rubber* (AC Mod-CR) adalah metode *wet process*.

b. *Plastics Polymer*

Merupakan bahan modifikasi yang berasal dari limbah plastik solid yang sudah tidak terpakai, yang mana berdasarkan perilakunya dalam menerima panas, dapat dibedakan menjadi dua bagian antara lain sebagai berikut:

1) *Thermoplastics Polymer*

Jenis polimer ini dapat digunakan untuk membentuk dan merancang model baru menggunakan panas.

2) *Thermosetting Polymer*

Jenis polimer ini tidak dapat digunakan untuk membentuk dan merancang model baru menggunakan panas atau dengan kata lain jenis polimer ini tidak tahan terhadap panas.

Adapun jenis-jenis material dari *Thermoplastics Polymer* dan *Thermosetting Polymer* akan dijabarkan pada tabel (2.8) berikut:

Tabel 2.8. Jenis Material *Thermoplastics* dan *Thermosetting*
(Sulyman dkk., 2014)

Thermoplastics	Thermosetting
Polyethylene Teryphthalate (PET)	Bakalite
Polypropylene (PP)	Epoxy
Polyvinyl Acetate (PVA)	Melamine
Polyvinyl Chlorine (PVC)	Polyester
Polystyrene (PS)	Polyuryurethane
Low Density Polyethylene (LPDE)	Urea – Formaldehyde
High Density Polyethylene (HDPE)	Alkyd

2.2.7. *Benkelman Beam*

Menurut Pedoman Perencanaan Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B), disebutkan bahwa *Benkelman Beam* dapat diartikan sebagai alat untuk mengukur lendutan balik dan lendutan langsung perkerasan yang menggambarkan kekuatan struktur perkerasan jalan.

Tahapan pengujian mengacu pada pedoman Cara Uji Lendutan Perkerasan Lentur Alat *Benkelman Beam* (SNI 2416:2011) dan pada penggunaannya sangat efektif untuk menentukan kekuatan struktur tanpa menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan. Adapun hasil dari pengujian akan diperoleh nilai-nilai antara lain sebagai berikut:

1. Lendutan Balik Maksimum (*Maximum Rebound Deflection*)

Merupakan besarnya lendutan balik pada kedudukan di titik kontak batang *Benkelman Beam* setelah beban berpindah sejauh 6 meter.

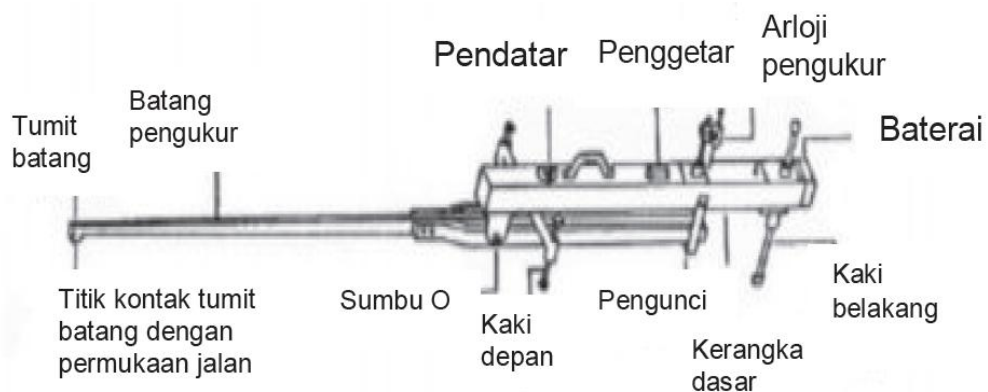
2. Lendutan Balik Titik Belok

Merupakan besarnya lendutan balik pada kedudukan di titik kontak batang *Benkelman Beam* setelah beban berpindah sejauh 0,30 meter untuk penetrasi asbuton dan laburan atau sejauh 0,40 meter untuk aspal beton.

3. Cekung Lendutan (*Bowl Deflection*)

Merupakan kurva yang menggambarkan bentuk lendutan dari suatu segmen jalan.

Data-data tersebut diperoleh melalui pengujian langsung dilapangan untuk kemudian dijadikan sebagai parameter utama dalam perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) pada perkerasan lentur.



Gambar 2.5. *Benkelman Beam*.

(SNI 2416:2011)

2.2.8. Pedoman Pd T-05-2005-B

Pedoman Pd T-05-2005-B merupakan pedoman yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum pada tahun 2005 dan menjadi pedoman dalam perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) pada perkerasan lentur, yang berisi tentang kaidah-kaidah dan tata cara perhitungan tebal lapis tambah perkerasan lentur, berdasarkan kekuatan struktur perkerasan yang diilustrasikan dengan nilai lendutan.

Perhitungan tebal lapis tambah yang diuraikan dalam pedoman ini hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan lentur atau konstruksi perkerasan dengan lapis pondasi agregat dan lapis permukaan dengan bahan pengikat aspal. Penilaian kekuatan struktur perkerasan yang ada, didasarkan atas lendutan yang dihasilkan dari pengujian lendutan langsung dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dan lendutan balik dengan menggunakan alat *Benkelman Beam* (BB).

Pada penelitian ini, penilaian terhadap kekuatan struktur dan perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur didasarkan atas lendutan balik yang diperoleh dari hasil pengujian di lapangan dengan menggunakan alat *Benkelman Beam*. Nilai lendutan balik dari hasil pengujian yang dilakukan akan dianalisis untuk menentukan tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan jalan yang sesuai, setelah dikoreksi dan dilakukan penyesuaian terhadap faktor muka air tanah (faktor musim), temperatur dan beban uji (bila beban uji tidak tepat 8,16 Ton).

Adapun tahapan-tahapan analisis yang harus dilakukan antara lain sebagai berikut:

1. Analisis Lalu Lintas

Perhitungan beban lalu lintas didasarkan pada muatan sumbu standar kendaraan sebesar 80 Kilo Newton dan dinyatakan dalam CESA (*Commulative Equivalent Standard Axle*). Adapun terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi dalam menentukan nilai CESA antara lain sebagai berikut:

a. Jumlah Lajur dan Koefisien Distribusi Kendaraan

Berdasarkan Pedoman Pd T-05-2005-B, lajur rencana dapat diartikan sebagai salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan tertentu yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur ditentukan berdasarkan lebar perkerasan dengan menggunakan tabel (2.9) berikut:

Tabel 2.9. Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan
(Pd T-05-2005-B)

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

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana dapat ditentukan menggunakan tabel (2.10) berikut:

Tabel 2.10. Koefisien Distribusi Kendaraan (C)
(Pd T-05-2005-B)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan*		Kendaraan Berat**	
	Satu Arah	Dua Arah	Satu Arah	Dua 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

Keterangan: * = Mobil Penumpang

** = Truk dan Bus

b. Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan

Angka ekuivalen beban sumbu kendaraan (E) merupakan angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu standar.

Berdasarkan Pedoman Pd T-05-2005-B, angka ekivalen masing-masing golongan beban sumbu kendaraan ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.1) berikut:

$$\text{Angka Ekivalen (E)} = \left[\frac{\text{Beban Sumbu (Ton)}}{E_s} \right]^4 \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- Es = Standar ekivalen
 Nilai Es = 5,40 untuk Beban Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)
 = 8,26 untuk Beban Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG)
 = 13,76 untuk Beban Sumbu Dual Roda Ganda (SDRG)
 = 18,45 untuk Beban Sumbu Triple Roda Ganda (STrRG)

Selain menggunakan persamaan (2.1), angka ekivalen masing-masing golongan beban sumbu kendaraan (E) dapat pula ditentukan menggunakan tabel (2.11) berikut:

Tabel 2.11. Angka Ekivalen Golongan Beban Sumbu Kendaraan (E)
 (Pd T-05-2005-B)

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	1,52416	0,29231	0,03615	0,01118
7	2,82369	0,54154	0,06698	0,02072
8	4,81709	0,92385	0,11426	0,03535
9	7,71605	1,47982	0,18302	0,05662
10	11,76048	2,25548	0,27895	0,08630

Tabel 2.11. Lanjutan

Beban Sumbu (ton)	Ekivalen Beban Sumbu Kendaraan (E)			
	STRT	STRG	SDRG	STrRG
11	17,21852	3,30225	0,40841	0,12635
12	24,38653	4,67697	0,57843	0,17895
13	33,58910	6,44188	0,79671	0,24648
14	45,17905	8,66466	1,07161	0,33153
15	59,53742	11,41838	1,41218	0,43690
16	77,07347	14,78153	1,82813	0,56558
17	98,22469	18,83801	2,32982	0,72079
18	123,45679	23,67715	2,92830	0,90595
19	153,26372	29,39367	3,63530	1,12468
20	188,16764	36,08771	4,46320	1,38081

c. Faktor Umur Rencana dan Perkembangan Lalu Lintas

Berdasarkan Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen (1987), dijelaskan bahwa umur rencana adalah jumlah waktu dan tahun, dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu diberi lapis permukaan yang baru.

Faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas (N) ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.2) berikut:

$$N = \frac{1}{2} \left[1 + (1 + r)^n + 2(1 + r)^{\frac{(1+r)^n - 1}{r}} \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

r = Perkembangan lalu lintas (%)

n = Umur rencana (tahun)

Selain menggunakan persamaan (2.2), faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas (N) dapat pula ditentukan dengan menggunakan tabel (2.12) berikut:

Tabel 2.12. Faktor Umur Rencana dan Perkembangan Lalu Lintas (N)
(Pd T-05-2005-B)

n (tahun) \ r (%)	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	5,51	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	8,10
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

d. Akumulasi Ekivalen Beban Sumbu Standar

Dalam menentukan akumulasi beban sumbu lalu lintas (CESA) selama umur rencana ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.3) berikut:

$$CESA = \sum_{\text{Traktor-Trailor}}^{MP} m \times 365 \times E \times C \times N \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

CESA = Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (ESA)

m = Jumlah masing-masing jenis kendaraan

365 = Jumlah hari dalam satu tahun

E = Ekivalen beban sumbu standar (Tabel 2.11)

- C = Koefisien distribusi kendaraan (Tabel 2.10)
 N = Faktor hubungan umur rencana dengan perkembangan lalu lintas (Tabel 2.12)

2. Analisis Lendutan

Berdasarkan Pedoman Pd T-05-2005-B, dijelaskan bahwa pengukuran lendutan pada perkerasan yang mengalami kerusakan berat dan deformasi plastis disarankan dihindari, apabila hasil pengujian lendutan ditemukan data yang meragukan maka dipindah pada lokasi lain disekitarnya.

a. Lendutan Balik

Data lendutan yang diperoleh melalui pengujian langsung dilapangan akan dilakukan analisis guna menentukan nilai lendutan balik (d_B) yang dikoreksi dengan menggunakan faktor muka air tanah (faktor musim), faktor temperatur dan faktor beban uji (bila beban uji tidak tepat sebesar 8,16 ton). Adapun besarnya lendutan balik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.4) berikut:

$$d_B = 2 \times (d_3 - d_1) \times Ft \times Ca \times FK_{B-BB} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- d_B = Lendutan balik (mm)
 d_1 = Lendutan pada saat beban berada pada titik pengukuran (mm)
 d_3 = Lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter dari titik pengukuran (mm)
 Ft = Faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35° C, yang nilainya ditentukan menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6) atau melalui pembacaan grafik pada gambar (2.6) serta dapat pula ditentukan melalui tabel (2.13) sebagai berikut:

$$Ft = 4,184 \times T_L^{-0,4025} \text{ untuk } H_L < 10 \text{ cm} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Ft = 14,785 \times T_L^{-0,7573} \text{ untuk } H_L \geq 10 \text{ cm} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

H_L = Ketebalan lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat ditentukan melalui data perencanaan.

T_L = Temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat ditentukan melalui prediksi berdasarkan temperatur udara dilapangan dengan menggunakan persamaaan (2.7) berikut:

$$T_L = \frac{1}{3} (T_p + T_t + T_b) \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

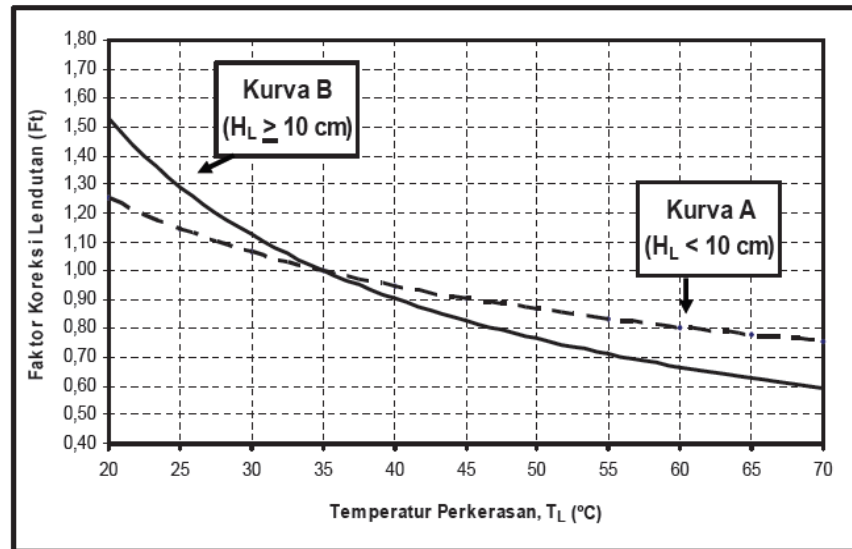
T_p = Temperatur permukaan lapis beraspal

T_t = Temperatur tengah lapis beraspal (Tabel 2.14)

T_b = Temperatur bawah lapis beraspal (Tabel 2.14)

Ca = Faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)
 = 1,20 ; musim kemarau atau muka air tanah rendah
 = 0,9 ; musim hujan atau muka air tinggi

FK_{B-BB} = Faktor koreksi beban uji *Benkelman Beam* (BB)
 = $77,343 \times (\text{beban uji dalam ton})^{(-2,0715)} \dots\dots\dots(2.8)$



Gambar 2.6. Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar (Ft).

(Pd T-05-2005-B)

Tabel 2.13. Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar (Ft)

(Pd T-05-2005-B)

T_L (°C)	Faktor Koreksi (Ft)		T_L (°C)	Faktor Koreksi (Ft)	
	Kurva A ($H_L < 10$ cm)	Kurva B ($H_L \geq 10$ cm)		Kurva A ($H_L < 10$ cm)	Kurva B ($H_L \geq 10$ cm)
20	1,25	1,53	46	0,90	0,81
22	1,21	1,42	48	0,88	0,79
24	1,16	1,33	50	0,87	0,76
26	1,13	1,25	52	0,85	0,74
28	1,09	1,19	54	0,84	0,72
30	1,06	1,13	56	0,83	0,70
32	1,04	1,07	58	0,82	0,68
34	1,01	1,02	60	0,81	0,67
36	0,99	0,98	62	0,79	0,65
38	0,97	0,94	64	0,78	0,63
40	0,95	0,90	66	0,77	0,62
42	0,93	0,87	68	0,77	0,61
44	0,91	0,84	70	0,76	0,59

Catatan:

- Kurva A adalah faktor koreksi (F_t) untuk tebal lapis beraspal (H_L) kurang dari 10 cm
- Kurva B adalah faktor koreksi (F_t) untuk tebal lapis beraspal (H_L) minimum 10 cm

Tabel 2.14. Temperatur Tengah (T_t) dan Temperatur Bawah (T_b) Lapis Beraspal Berdasarkan Data Temperatur Udara (T_u) dan Temperatur Permukaan (T_p)
(Pd T-05-2005-B)

$T_u + T_p$ (°C)	Temperatur Lapis Beraspal (°C) pada Kedalaman					
	2,5 cm	5,0 cm	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
45	26,8	25,6	22,8	21,9	20,8	20,1
46	27,4	26,2	23,3	22,4	21,3	20,6
47	28,0	26,7	23,8	22,9	21,7	21,0
48	28,6	27,3	24,3	23,4	22,2	21,5
49	29,2	27,8	24,7	23,8	22,7	21,9
50	29,8	28,4	25,2	24,3	23,1	22,4
51	30,4	28,9	25,7	24,8	23,6	22,8
52	30,9	29,5	26,2	25,3	24,0	23,3
53	31,5	30,0	26,7	25,7	24,5	23,7
54	32,1	30,6	27,1	26,2	25,0	24,2
55	32,7	31,2	27,6	26,7	25,4	24,6
56	33,3	31,7	28,1	27,2	25,9	25,1
57	33,9	32,3	28,6	27,6	26,3	25,5
58	34,5	32,8	29,1	28,1	26,8	26,0
59	35,1	33,4	29,6	28,6	27,2	26,4
60	35,7	33,9	30,0	29,1	27,7	26,9
61	36,3	34,5	30,5	29,5	28,2	27,3
62	36,9	35,1	31,0	30,0	28,6	27,8
63	37,5	35,6	31,5	30,5	29,1	28,2
64	38,1	36,2	32,0	31,0	29,5	28,7
65	38,7	36,7	32,5	31,4	30,0	29,1

Tabel 2.14. Lanjutan

$T_u + T_p$ (°C)	Temperatur Lapis Beraspal (°C) pada Kedalaman					
	2,5 cm	5,0 cm	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
66	39,3	37,3	32,9	31,9	30,5	29,6
67	39,9	37,8	33,4	32,4	30,9	30,0
68	40,5	38,4	33,9	32,9	31,4	30,5
69	41,1	39,0	34,4	33,3	31,8	30,9
70	41,7	39,5	34,9	33,8	32,3	31,4
71	42,2	40,1	35,4	34,3	32,8	31,8
72	42,8	40,6	35,8	34,8	33,2	32,3
73	43,4	41,2	36,3	35,2	33,7	32,8
74	44,0	41,7	36,8	35,7	34,1	33,2
75	44,6	42,3	37,3	36,2	34,6	33,7

b. Keseragaman Lendutan

Perhitungan tebal lapis tambah yang dilakukan pada setiap titik pengujian akan memberikan hasil desain yang lebih akurat, cara lain yang tetap sesuai kaidah adalah dengan melakukan pembagian segmen yang didasarkan pada pertimbangan terhadap keseragaman lendutan.

Menurut Fuady (2014) segmen dapat diartikan sebagai bagian dari ruas jalan yang memiliki tingkat keseragaman nilai lendutan balik yang sama atau serupa. Adapun besarnya faktor keseragaman dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.9) berikut:

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% < FK_{ijin} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

FK = Faktor keseragaman (%)

FK_{ijin} = Faktor keseragaman yang diijinkan

= 0% – 10% ; Keseragaman sangat baik

= 11% – 20% ; Keseragaman baik

= 21% – 30% ; Keseragaman cukup baik

$$d_R = \text{Lendutan rata-rata suatu seksi jalan} \\ = \frac{\sum_1^{n_s} d}{n_s} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$s = \text{Standar deviasi (simpangan baku)} \\ = \sqrt{\frac{n_s [\sum_1^{n_s} d^2] - [\sum_1^{n_s} d]^2}{n_s [n_s - 1]}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

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

c. Lendutan Wakil

Besarnya nilai lendutan yang mewakili suatu sub-ruas atau seksi jalan disesuaikan dengan fungsi atau kelas jalan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

1) Jalan Arteri (Kepercayaan 98%)

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 2s \dots\dots\dots(2.12)$$

2) Jalan Kolektor (Kepercayaan 95%)

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,64s \dots\dots\dots(2.13)$$

3) Jalan Lokal (Kepercayaan 90%)

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,28s \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

D_{wakil} = Lendutan yang mewakili suatu seksi jalan

d_R = Lendutan rata-rata suatu seksi jalan (Persamaan 2.10)

s = Standar deviasi atau simpangan baku (Persamaan 2.11)

d. Lendutan Rencana atau Ijin

Besarnya nilai lendutan rencana atau ijin (D_{rencana}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.15) berikut:

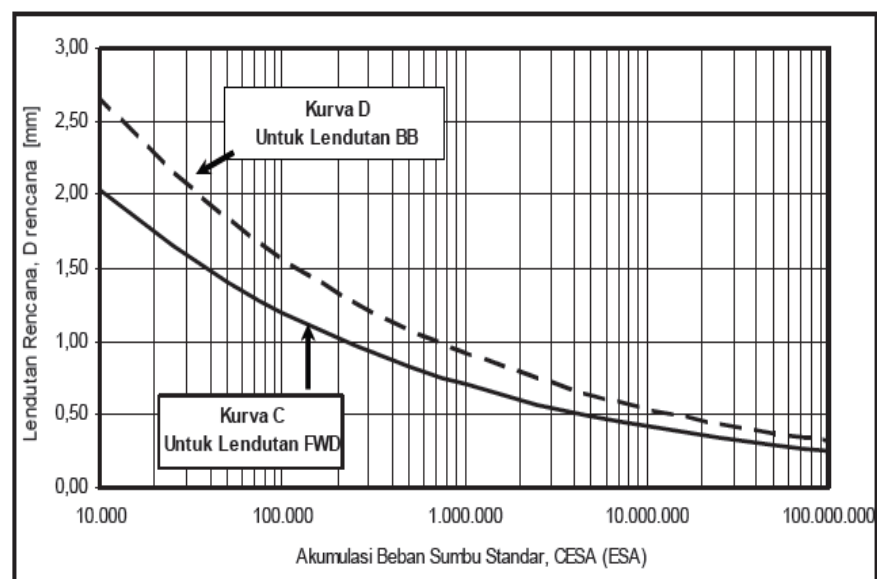
$$D_{rencana} = 22,208 \times CESA^{(-0,2307)} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

$D_{rencana}$ = Lendutan rencana (mm)

CESA = Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (ESA)

Selain dengan menggunakan persamaan (2.15), lendutan rencana ($D_{rencana}$) dapat pula ditentukan melalui pembacaan grafik dengan menggunakan gambar (2.7) berikut:



Gambar 2.7. Hubungan Antara Lendutan Rencana dan Lalu-Lintas.

(Pd T-05-2005-B)

3. Analisis Tebal Lapis Tambah

a. Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah

Perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) dihitung berdasarkan temperatur standar 35°C , hal ini dikarenakan setiap daerah atau kota di Indonesia memiliki temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) yang berbeda-beda, maka perlu dilakukan koreksi terhadap temperatur standar.

Pada Pedoman Pd T-05-2005-B, telah dilampirkan nilai temperatur perkerasan rata-rata tahunan setiap daerah atau kota diseluruh wilayah indonesia. Adapun faktor koreksi tebal lapis tambah (Fo) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.16) berikut:

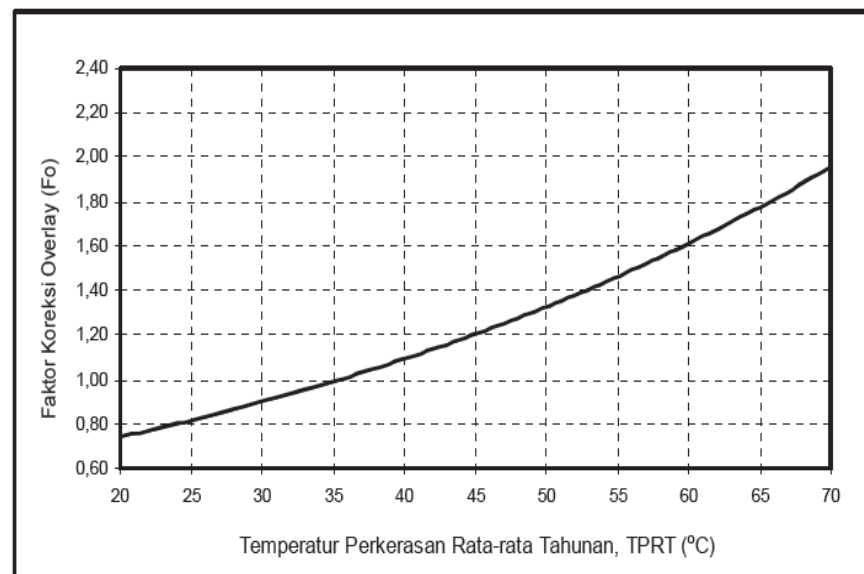
$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

Fo = Faktor koreksi tebal perkerasan (*overlay*)

TPRT = Temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk daerah atau kota tertentu

Selain menggunakan persamaan (2.16), faktor koreksi tebal lapis tambah (Fo) dapat pula ditentukan melalui pembacaan grafik dengan menggunakan gambar (2.8) berikut:



Gambar 2.8. Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah (Fo).
(Pd T-05-2005-B)

b. Tebal Lapis Tambah

Besarnya nilai tebal lapis tambah (H_o), dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.17) berikut:

$$H_o = \frac{[\text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{sbl\ ov}) - \text{Ln}(D_{stl\ ov})]}{0,0597} \dots\dots\dots(2.17)$$

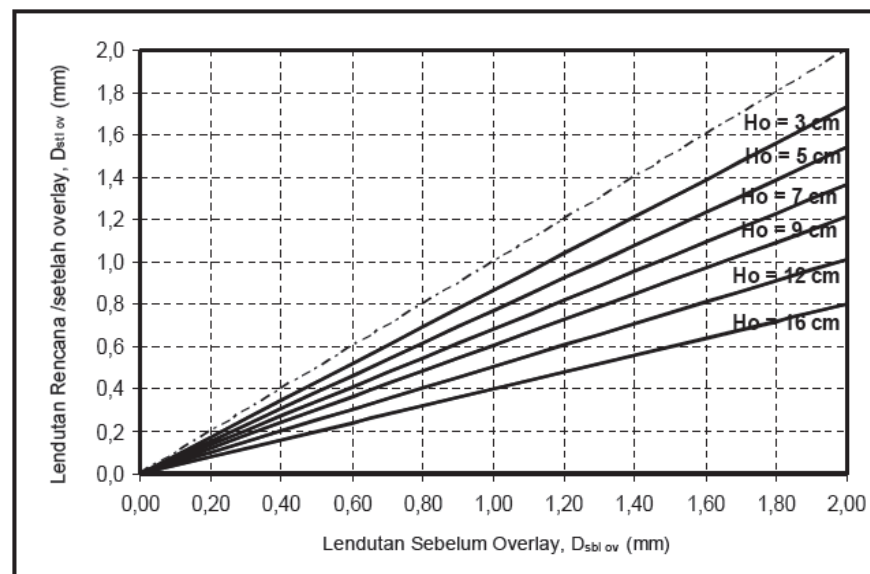
Keterangan:

H_o = Tebal lapis tambah, sebelum dikoreksi dengan temperatur perkerasan rata-rata tahunan daerah tertentu (cm)

$D_{sbl\ ov}$ = Lendutan sebelum lapis tambah atau D_{wakil} (mm)

$D_{stl\ ov}$ = Lendutan setelah lapis tambah atau $D_{rencana}$ (mm)

Selain dengan menggunakan persamaan (2.17), tebal lapis tambah (H_o) dapat pula ditentukan melalui pembacaan grafik dengan menggunakan gambar (2.9) berikut:



Gambar 2.9. Tebal Lapis Tambah (H_o).

(Pd T-05-2005-B)

c. Tebal Lapis Tambah Terkoreksi

Besarnya nilai tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.18) berikut:

$$H_t = H_o \times F_o \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

H_t = Tebal lapis tambah, setelah dikoreksi dengan temperatur perkerasan rata-rata tahunan daerah tertentu (cm)

H_o = Tebal lapis tambah, sebelum dikoreksi dengan temperatur perkerasan rata-rata tahunan daerah tertentu (cm)

F_o = Faktor koreksi tebal lapis tambah

d. Jenis Lapis Tambah

Pedoman Pd T-05-2005-B, nilai tebal lapis tambah setelah dikoreksi (H_t) hanya berlaku untuk lapis tambah dengan menggunakan Laston (*Asphalt Concrete*) dengan modulus resilien (M_R) sebesar 2000 MPa dan Stabilitas Marshall minimum 800 kg. Adapun nilai modulus resilien (M_R) mengacu pada hasil pengujian UMATTA atau alat lain dengan temperatur 25° C.

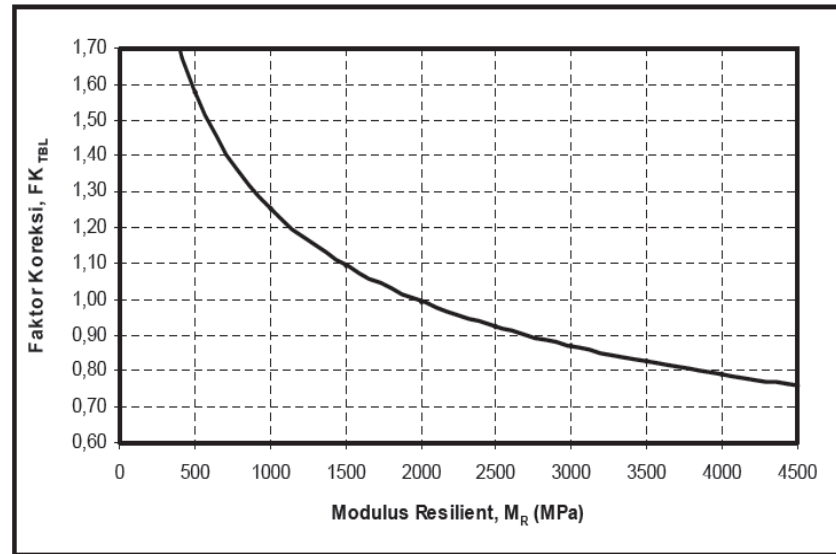
Apabila jenis campuran beraspal untuk lapis tambah menggunakan Laston Modifikasi dan Lataston atau campuran beraspal lain yang mempunyai sifat berbeda, maka harus dikoreksi menggunakan nilai faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FK_{TBL}) yang mana dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.19) atau melalui pembacaan grafik pada gambar (2.10) serta dapat pula ditentukan melalui tabel (2.15) sebagai berikut:

$$FK_{TBL} = 12,51 \times M_R^{(-0,333)} \dots\dots\dots(3.19)$$

Keterangan:

FK_{TBL} = Faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian

M_R = Modulus resilien (MPa)



Gambar 2.10. Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Penyesuaian (FK_{TBL}).

(Pd T-05-2005-B)

Tabel 2.15. Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Penyesuaian (FK_{TBL})

(Pd T-05-2005-B)

Jenis Lapisan	Modulus Resilien, M_R (MPa)	Stabilitas Marshall (Kg)	FK_{TBL}
Laston Modifikasi	3000	Min. 1000	0,85
Laston	2000	Min. 800	1,00
Laston	1000	Min. 800	1,23