

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Jalan

Jalan dikelompokkan ke dalam lima kategori utama, berdasarkan peruntukan, fungsi, sistem, kelas, dan status. Penjelasan untuk masing-masing kategori tersebut disampaikan di bawah ini.

1. Jalan menurut peruntukannya

Mengacu pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, klasifikasi jalan menurut peruntukannya dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Jalan umum

Jalan yang diperuntukkan bagi penggunaan lalu lintas masyarakat secara umum.

b. Jalan khusus

Jalan yang tidak digunakan untuk kepentingan lalu lintas umum dan pengelolaannya berada di bawah tanggung jawab instansi tertentu.

- 1) Jalan inspeksi saluran pengairan, minyak, atau gas.
- 2) Jalan perkebunan, pertambangan, Perhutani.
- 3) Jalan kompleks perumahan bukan untuk umum.
- 4) Jalan pada kompleks sekolah atau universitas.
- 5) Jalan pada daerah – daerah keperluan militer.

2. Jalan menurut fungsinya

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006, fungsi jalan dibedakan berdasarkan karakteristik pergerakan lalu lintas serta fungsi pelayanan angkutan jalan. Dilihat dari fungsinya, jalan dikelompokkan ke dalam:

a. Jalan Arteri

Dibedakan menjadi jalan arteri primer dan sekunder:

- 1) Jalan arteri primer adalah jalan yang berfungsi menghubungkan secara efektif pusat-pusat kegiatan tingkat nasional, atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan tingkat wilayah. Jalan ini direncanakan dengan kecepatan rencana minimum 60 km/jam dan memiliki lebar badan jalan sedikitnya 11 meter. Kapasitas jalan harus melebihi volume rata-rata arus lalu lintas, serta lalu lintas jarak jauh tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lokal maupun aktivitas di sekitarnya. Jalan arteri primer yang berada di kawasan perkotaan atau wilayah pengembangan kota tidak diperbolehkan terputus.
 - 2) Jalan arteri sekunder berfungsi menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder tingkat satu, menghubungkan antar kawasan sekunder tingkat satu, maupun antara kawasan sekunder tingkat satu dengan kawasan sekunder tingkat dua. Jalan ini direncanakan dengan kecepatan rencana minimal 30 km/jam dan memiliki lebar badan jalan sekurang-kurangnya 11 meter. Kapasitasnya harus lebih besar dibandingkan dengan volume rata-rata lalu lintas, serta pada ruas arteri sekunder, pergerakan lalu lintas cepat tidak boleh terhambat oleh lalu lintas dengan kecepatan rendah
- b. Jalan Kolektor
- Dibedakan menjadi jalan kolektor primer dan sekunder:
- 1) Jalan kolektor primer merupakan jalan yang berfungsi menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan wilayah, atau antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal. Jalan ini dirancang dengan kecepatan rencana minimum 40 km/jam dan memiliki lebar badan jalan paling sedikit 9 meter. Kapasitas jalan harus lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata, dan jalan kolektor primer yang melewati wilayah perkotaan atau kawasan pengembangan kota tidak diperbolehkan mengalami pemutusan.
 - 2) Jalan kolektor sekunder berfungsi menghubungkan kawasan sekunder tingkat dua dengan kawasan sekunder lainnya, atau antara kawasan

sekunder tingkat dua dengan kawasan sekunder tingkat tiga. Jalan ini direncanakan untuk kecepatan minimal 20 km/jam dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 9 meter. Kapasitasnya harus lebih besar dari volume arus lalu lintas rata-rata, serta pergerakan lalu lintas cepat tidak boleh terhambat oleh lalu lintas lambat

c. Jalan Lokal

Dibedakan menjadi jalan lokal primer dan sekunder:

- 1) Jalan lokal primer merupakan jalan yang berfungsi menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan tingkat lingkungan, serta menghubungkan pusat kegiatan wilayah dan pusat kegiatan lokal dengan pusat kegiatan tingkat lingkungan, termasuk antar pusat kegiatan lingkungan. Jalan ini direncanakan dengan kecepatan rencana minimal 20 km/jam dan memiliki lebar badan jalan sekurang-kurangnya 7,5 meter. Untuk ruas jalan lokal primer yang memasuki kawasan pedesaan, kontinuitas jalur tidak boleh terputus.
- 2) Jalan lokal sekunder merupakan jalan yang menghubungkan kawasan sekunder tingkat pertama dengan area permukiman, kawasan sekunder tingkat kedua dengan permukiman, maupun kawasan sekunder tingkat ketiga dan seterusnya hingga ke wilayah permukiman. Jalan ini dirancang berdasarkan kecepatan rencana minimal 10 km/jam dengan lebar badan jalan paling sedikit 7,5 meter.

d. Jalan Lingkungan

Dibedakan menjadi jalan lingkungan primer dan sekunder:

- 1) Jalan lingkungan primer merupakan jalan yang menghubungkan antar pusat kegiatan di dalam kawasan pedesaan serta menghubungkan jalan-jalan di dalam lingkungan kawasan tersebut. Jalan ini dirancang dengan kecepatan rencana minimal 15 km/jam dan lebar badan jalan sekurang-kurangnya 6,5 meter. Apabila jalan ini hanya diperuntukkan bagi

kendaraan roda dua atau roda tiga, maka lebar badan jalan minimal yang digunakan adalah 3,5 meter.

- 2) Jalan lingkungan sekunder berfungsi menghubungkan antar persil di dalam kawasan perkotaan. Jalan ini direncanakan menggunakan kecepatan rencana minimal 10 km/jam dan lebar badan jalan paling sedikit 6,5 meter. Untuk jalan yang tidak digunakan oleh kendaraan roda tiga atau lebih, lebar badan jalan minimal yang diterapkan adalah 3,5 meter.

2.2 Perkerasan Jalan

2.2.1 Kinerja Struktur Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2010:6), struktur perkerasan jalan sebagai bagian dari prasarana transportasi memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Menerima dan menyalurkan beban lalu lintas yang diberikan melalui roda kendaraan. Oleh karena itu, struktur perkerasan harus memiliki stabilitas yang tinggi dan tetap kuat selama masa layan, serta mampu menahan pengaruh lingkungan maupun perubahan cuaca. Keadaan seperti kelelahan material (fatigue), retak, deformasi berupa alur (rutting), permukaan bergelombang, maupun lubang pada permukaan perkerasan merupakan bentuk kerusakan yang tidak diinginkan.
- b. Memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna jalan. Dengan demikian, permukaan perkerasan harus memiliki tingkat kekesatan yang baik agar dapat menghasilkan gaya gesek yang cukup antara ban kendaraan dan permukaan jalan, tidak menimbulkan selip saat kondisi basah atau ketika menikung dengan kecepatan tinggi. Selain itu, permukaannya tidak boleh bersifat mengkilap sehingga tidak menimbulkan efek silau ketika terkena pantulan sinar matahari.

Untuk menjamin agar struktur perkerasan jalan tetap kokoh selama masa layanannya serta aman dan nyaman bagi pengguna jalan, langkah-langkah berikut perlu diperhatikan:

- a. Pemilihan jenis perkerasan dan perencanaan ketebalan lapisan perkerasan harus mempertimbangkan daya dukung tanah dasar, intensitas dan jenis beban lalu lintas, kondisi lingkungan, umur rencana, serta ketersediaan dan sifat material pembentuk perkerasan di sekitar lokasi.
- b. Analisis dan perancangan campuran bahan yang tersedia harus menyesuaikan mutu serta kuantitas bahan setempat agar memenuhi spesifikasi teknis dari jenis lapisan perkerasan yang direncanakan.
- c. Pengawasan pelaksanaan pekerjaan harus mengikuti prosedur pengawasan yang berlaku, termasuk penerapan sistem jaminan mutu sesuai spesifikasi pekerjaan. Meskipun pemilihan jenis lapisan perkerasan, perencanaan ketebalan, dan analisis campuran telah dilakukan dengan benar, kualitas perkerasan yang dihasilkan tidak akan optimal jika pelaksanaan dan pengawasan tidak dilakukan dengan teliti dan sesuai prosedur.
- d. Pemeliharaan jalan harus dilaksanakan secara berkala sepanjang masa pelayanan untuk memastikan tercapainya umur rencana. Kegiatan pemeliharaan tidak hanya mencakup struktur perkerasan itu sendiri, tetapi juga sistem drainase di sekitar lokasi jalan.

2.2. 2 Mutu Struktur Perkerasan Jalan

Menurut (Sukirman, 2010:89), mutu struktur perkerasan jalan sangat menentukan kinerja perkerasan dalam memberikan pelayanan yang aman dan nyaman bagi pengguna jalan. Kinerja struktur perkerasan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain:

- a. Kualitas setiap lapisan perkerasan berperan penting dalam memastikan stabilitas struktur dalam menahan beban lalu lintas sepanjang masa pelayanan jalan. Penurunan stabilitas dapat menimbulkan deformasi seperti alur roda (*rutting*), gelombang melintang jalan (*corrugation*), deformasi lokal (*shoving*), atau penurunan permukaan (*ambles*).

- b. Kondisi fisik permukaan jalan mencerminkan mutu stabilitas perkerasan dan tingkat aus lapisan permukaan. Penurunan tahanan geser pada permukaan dapat menyebabkan kendaraan mudah selip. Selain itu, lubang akibat hilangnya material perkerasan atau retak pada permukaan jalan merupakan bentuk kerusakan fisik yang memengaruhi kinerja keseluruhan struktur perkerasan.

2.2. 3 Sejarah Perkerasan Jalan

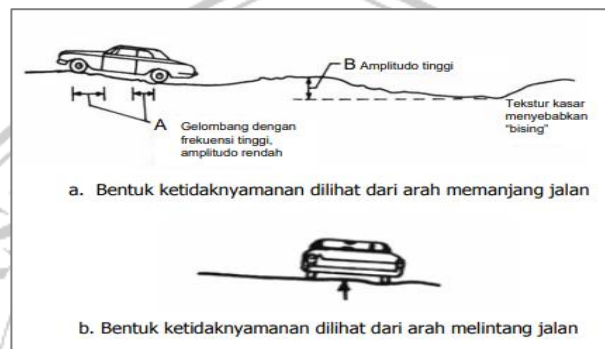
Sejarah perkerasan jalan berawal seiring dengan perkembangan peradaban manusia dalam memenuhi kebutuhan hidup dan menjalin komunikasi antarindividu. Evolusi sistem perkerasan jalan sejalan dengan peningkatan kualitas hidup dan kemajuan teknologi. Pada awalnya, jalan hanyalah jejak-jejak manusia yang mencari sumber kebutuhan, termasuk air. Saat manusia mulai hidup secara berkelompok, jejak tersebut berkembang menjadi jalan setapak. Dengan dimulainya penggunaan hewan sebagai sarana transportasi, permukaan jalan diratakan dan diperkuat menggunakan batu. Perkembangan teknologi perkerasan mengalami kemajuan signifikan sejak ditemukannya roda sekitar 3500 tahun sebelum Masehi di wilayah Mesopotamia, serta pada masa kejayaan Romawi. Pada periode tersebut, jalan dibangun dengan beberapa lapisan perkerasan, terutama menggunakan pasangan batu, yang secara keseluruhan lebih tebal dibandingkan struktur perkerasan modern saat ini, meskipun bahan pengikat seperti aspal atau semen belum digunakan (Sukirman, 2010:1).

2.2. 4 Kekasaran muka jalan (*Roughness*)

Kekasaran (*roughness*) permukaan jalan didefinisikan sebagai ketidakrataan permukaan perkerasan yang memiliki hubungan terbalik dengan kenyamanan berkendara. Ketidakrataan ini dapat muncul baik sepanjang arah memanjang jalan (*longitudinal distortion*) maupun arah melintang (*transverse distortion*). Gambar 2.1 memperlihatkan berbagai jenis gangguan yang menimbulkan ketidaknyamanan

bagi pengemudi, dibedakan menurut arah ketidakrataan tersebut (Sukirman, 2010:89).

Fenomena alur atau rutting pada lintasan roda umumnya terjadi pada akhir masa pelayanan jalan atau akibat stabilitas perkerasan yang kurang dalam menahan beban kendaraan. Pengukuran kekasaran permukaan jalan dilakukan dengan menggunakan instrumen seperti *roughness meter* atau profilometer (*profile meter*).



Gambar 2.1 Bentuk Ketidaknyamanan Mengemudi (Sukirman, 2010:90)

2.2.5 Tipe-Tipe Perkerasan

Perkerasan jalan adalah lapisan yang terletak di atas tanah dasar dan menjadi penopang roda kendaraan, berperan dalam memastikan kelancaran sarana transportasi. Selama masa pakainya, perkerasan ini diharapkan tetap dalam kondisi baik tanpa kerusakan berarti. Untuk mencapai mutu yang diinginkan, sangat penting memahami karakteristik, penyediaan, dan pengolahan material penyusun perkerasan jalan (Sukirman, 2010:11).

1. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur biasanya diterapkan pada jalan yang melayani beban ringan hingga sedang, termasuk jalan perkotaan, jalan dengan utilitas di bawah perkerasan, bahu jalan, serta perkerasan yang dibangun secara bertahap. Penggunaan perkerasan lentur memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

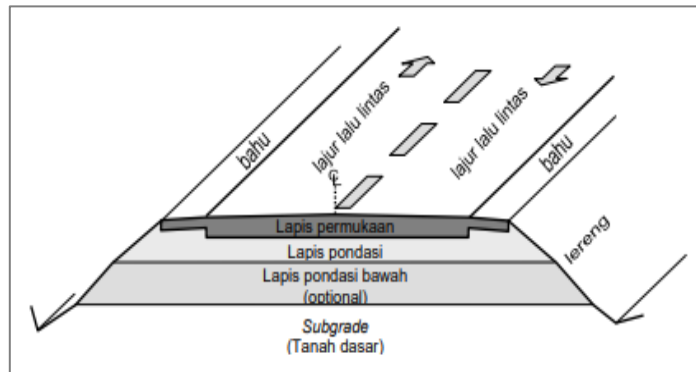
- a. Mampu diterapkan pada wilayah dengan perbedaan penurunan (*differential settlement*) yang terbatas;
- b. Memiliki kemudahan dalam perbaikan;
- c. Lapisan tambahan dapat diterapkan kapan saja;
- d. Menyediakan tahanan geser yang baik;
- e. Warna permukaan tidak menimbulkan silau bagi pengguna jalan;
- f. Dapat dilaksanakan secara bertahap, terutama saat biaya terbatas atau data perencanaan kurang lengkap.

Kendati demikian, perkerasan lentur memiliki beberapa keterbatasan, yaitu:

- a. Struktur total lebih tebal dibandingkan perkerasan kaku;
- b. Kelenturan dan kohesi menurun seiring masa pelayanan;
- c. Memerlukan pemeliharaan lebih sering dibanding perkerasan kaku;
- d. Kurang efektif di area yang sering tergenang air;
- e. Membutuhkan agregat dalam jumlah lebih banyak.

Struktur perkerasan lentur tersusun atas beberapa lapisan dengan daya dukung yang menurun ke arah bawah, meliputi:

- a. Lapis permukaan (*surface course*);
- b. Lapis pondasi (*base course*);
- c. Lapis pondasi bawah (*subbase course*);
- d. Lapis tanah dasar (*subgrade*).



Gambar 2.2 Struktur Perkerasan Lentur (Sukirman, 2010:13)

2. Perkerasan kaku

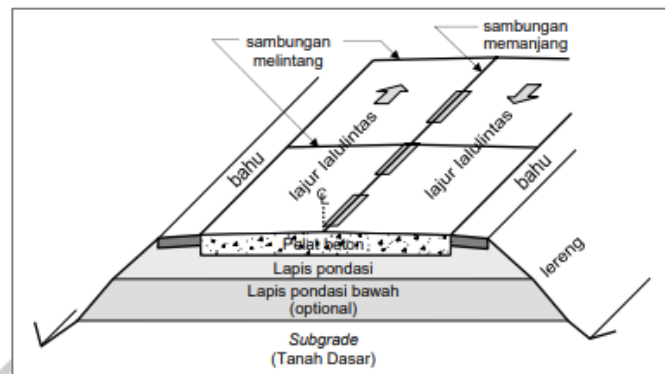
Penggunaan perkerasan kaku dianjurkan untuk jalan dengan volume tinggi dan dominasi kendaraan berat, seperti area sekitar pintu tol, ruas jalan dengan kendaraan berat bergerak lambat, atau jalan masuk/keluar dari jalan cepat. Perkerasan kaku memiliki sejumlah keuntungan, yaitu:

- a. Memiliki umur layanan yang panjang dengan kebutuhan pemeliharaan yang relatif sederhana;
- b. Menunjukkan daya tahan (durabilitas) yang baik terhadap beban dan kondisi lingkungan;
- c. Mampu bertahan terhadap genangan air atau banjir berulang tanpa mengalami kerusakan signifikan.

Beberapa kelemahan yang terkait dengan penggunaan perkerasan kaku antara lain:

- a. Kekasaran permukaan jalan cenderung kurang optimal dan dipengaruhi oleh kualitas serta metode pelaksanaan konstruksi;
- b. Permukaan beton dapat memantulkan cahaya sehingga menimbulkan efek silau bagi pengguna jalan;

Perkerasan kaku membutuhkan lapisan tanah dasar dengan penurunan (*settlement*) yang merata agar pelat beton terhindar dari retak. Untuk mengatasi masalah ini, biasanya digunakan lapisan pondasi bawah di



Gambar 2.3 Struktur Perkerasan Kaku (Sukirman, 2010:13)

Struktur perkerasan kaku terdiri atas pelat beton sebagai lapisan permukaan, lapisan pondasi bawah yang berfungsi sebagai bantalan homogen, serta lapisan tanah dasar yang menjadi fondasi bagi seluruh struktur perkerasan. Pelat beton dilengkapi dengan sambungan memanjang dan sambungan melintang untuk mengakomodasi perubahan suhu dan distribusi beban, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3.

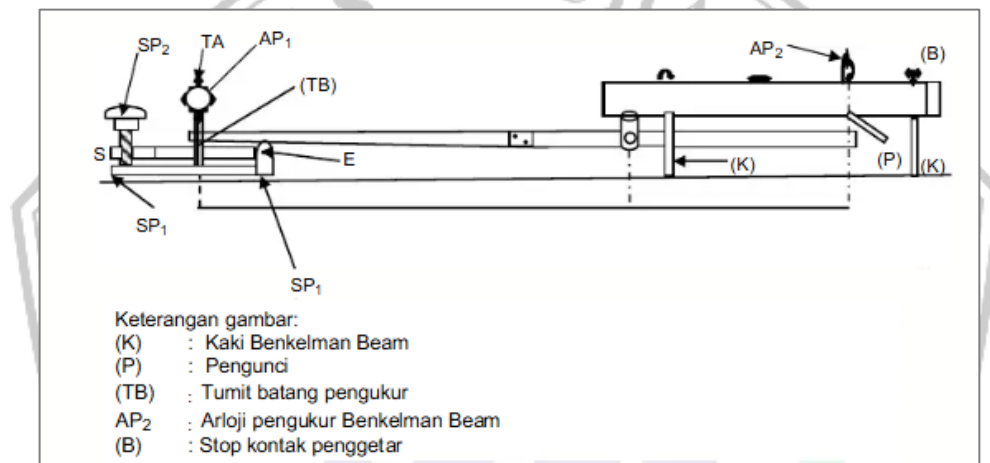
Baik perkerasan lentur maupun perkerasan kaku memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing. Oleh karena itu, perancang jalan perlu mengevaluasi berbagai faktor teknis, lingkungan, dan beban lalu lintas untuk menentukan jenis struktur perkerasan yang paling sesuai dengan kondisi dan tujuan proyek jalan yang direncanakan.

2.3 Benkelman Beam

Penelitian ini menerapkan metode pemeriksaan non-destruktif pada struktur perkerasan lentur. Pemeriksaan non-destruktif adalah teknik pengujian yang tidak

menimbulkan kerusakan pada konstruksi perkerasan, karena seluruh alat pengukur diletakkan di atas permukaan jalan tanpa menembus atau merusaknya.

Benkelman Beam merupakan perangkat uji lendutan statis yang bekerja dengan memberikan beban statis atau beban yang bergerak perlahan pada permukaan perkerasan, kemudian mengukur besarnya lendutan yang terjadi. Alat ini terdiri dari balok penopang dan lengan pemeriksa (*probe arm*), sedangkan pengukuran defleksi dilakukan dengan menempatkan arloji pengukur pada ujung lengan. Bentuk dan konfigurasi alat Benkelman Beam dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Alat Benkelman Beam (SNI 2416:2011:4)

2.4 Prosedur Dalam Menentukan Lendutan dengan Alat Benkelman Beam.

Di dalam buku panduan pemeriksaan jalan menggunakan alat Benkelman Beam, dijelaskan bahwa metode pengujian karakteristik lendutan akibat beban pada sistem perkerasan melibatkan prosedur pemberian beban dengan nilai tertentu melalui roda tunggal atau satu set roda pneumatic pada lapisan perkerasan. Selama proses pembebanan, gerakan vertikal permukaan perkerasan diamati dan dicatat secara sistematis. Biasanya, pengujian ini dilakukan pada permukaan perkerasan yang telah selesai dibangun.

Tujuan dari metode ini adalah untuk memperoleh data lendutan akibat beban, yang selanjutnya digunakan untuk menilai kinerja sistem perkerasan, baik untuk

keperluan penelitian, perencanaan teknik, pelaksanaan konstruksi, maupun pemeriksaan rutin.

Perilaku sistem perkerasan dapat bervariasi tergantung perbedaan komposisi material, temperatur, dan faktor lainnya. Berdasarkan hal ini, terdapat lima jenis pemeriksaan lendutan yang dapat dipilih, antara lain:

- a. Lendutan balik (*rebound deflection*) statis perkerasan lentur (*flexible*).
- b. Lendutan dan lendutan balik perkerasan lentur.
- c. Lendutan maksimum dan lendutan balik perkerasan lentur atau perkerasan kaku (*rigid*).
- d. Lendutan parsial dan lendutan balik perkerasan lentur.
- e. Lendutan balik statis perkerasan kaku atau gabungan (*compositetype*).

Di antara kelima metode tersebut, Direktorat Jenderal Bina Marga umumnya menerapkan cara (a) dan (c).

- a. Cara (a)

Digunakan dalam dua bentuk pengukuran:

- 1) Pengukuran lendutan balik.
- 2) Pengukuran lendutan balik titik belok.

Di Indonesia, metode pemeriksaan jalan menggunakan alat Benkelman Beam umumnya dilaksanakan dengan pengukuran lendutan balik. Sebagai pelengkap atau untuk tujuan komparatif, pengukuran lendutan balik pada titik belok juga dapat diterapkan. Dalam pelaksanaan di lapangan, kedua pengukuran ini dapat dilakukan secara bersamaan untuk memperoleh data yang lebih lengkap dan representatif terkait perilaku perkerasan jalan.

- b. Cara (c)

Metode ini dilaksanakan dalam bentuk:

- 1) Pengukuran lendutan balik.

2) Pengukuran lendutan balik titik belok.

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk memperoleh data tambahan yang melengkapi hasil pengukuran lendutan menggunakan cara (a) serta menyediakan informasi yang berguna untuk keperluan penelitian.

2.5 Parameter Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

2.5.1 Lalu Lintas

a. Jumlah Lajur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Lajur rencana didefinisikan sebagai salah satu jalur lalu lintas pada suatu ruas jalan yang menampung volume kendaraan tertinggi. Apabila jalan tidak dilengkapi dengan marka atau batas lajur, jumlah lajur ditentukan berdasarkan lebar perkerasan sesuai dengan ketentuan pada Tabel 2.1. Selanjutnya, koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan maupun kendaraan berat yang melewati lajur rencana ditetapkan berdasarkan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

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

Sumber: Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B: 4

Tabel 2.2 Koefisien Distribusi Kendaraan

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 Jalur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 Jalur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 Jalur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 Jalur	-	0,30	-	0,45

Jumlah Jalur	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
5 Jalur	-	0,25	-	0,425
6 Jalur	-	0,20	-	0,40

Sumber: Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B : 4

b. Ekuivalen beban sumbu kendaraan (E)

Angka ekuivalen (E) untuk setiap golongan beban sumbu (per kendaraan) ditentukan sesuai dengan Rumus 2.1 hingga 2.4 atau dapat diperoleh melalui referensi pada Tabel 2.3. (Pd. T-05-2005-B.Pdf, n.d). Hal. 4.

$$\text{Angka Ekuivalen STRT} = \left[\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{5,40} \right]^4 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Angka Ekuivalen STRG} = \left[\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{8,16} \right]^4 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Angka Ekuivalen SDRG} = \left[\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Angka Ekuivalen STrRG} = \left[\frac{\text{Beban Sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 \dots\dots\dots (2.4)$$

Tabel 2.3 Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan (E)

Beban Sumbu (ton)	Ekuivalen 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

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	77,0734	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

Sumber: Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B: 5

c. Faktor umur rencana dan perkembangan lalu lintas

Faktor hubungan antara umur rencana dan perkembangan lalu lintas ditentukan menggunakan Rumus 2.5 atau dapat dirujuk melalui Tabel 2.4 (Pd. T-05-2005-B.Pdf, n.d.).

$$N \frac{1}{2} \left[1 + (1 + r)^n + 2(1 + r) \frac{(1+r)^{n-1}}{r} \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

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	8.10
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

R (%) \ N (tahun)	2	4	5	6	8	10
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	40.9	57.21	68.10	81.43	117.81	172.72

Sumber: Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:6

d. Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (CESA)

Akumulasi beban sumbu lalu lintas (CESA) selama umur rencana ditentukan menggunakan Rumus 2.6 (Pd. T-05-2005-B.Pdf, n.d.) sebagai berikut:

$$CESA = \sum_{Traktor-Trailor}^{MP} mx365xExCxN$$

Di mana:

- CESA = Akumulasi ekivalen beban sumbu tandar
- m = Jumlah masing-masing jenis kendaraan
- 365 = Jumlah hari dalam satu tahun
- E = Ekivalen beban sumbu
- C = Koefisien distribusi kendaraan
- N = Faktor hubungan umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas

2.6 Lendutan

Dalam perencanaan ini, lendutan diambil dari hasil pengukuran menggunakan Falling Weight Deflectometer (FWD) atau Benkelman Beam (BB). Jika data lendutan yang diperoleh dianggap tidak akurat atau meragukan, disarankan untuk melakukan pengukuran ulang pada titik yang sama, atau memindahkan pengujian ke lokasi lain yang berdekatan. (Pd. T-05-2005-B.Pdf, n.d.) Hal. 6

2.6.1 Lendutan dengan *Falling Weight Deflectometr (FWD)*

Lendutan yang dijadikan acuan adalah lendutan pada pusat beban (df_1). Nilai ini harus disesuaikan dengan beberapa faktor koreksi, yaitu kondisi muka air tanah (faktor musiman), perubahan temperatur, serta penyesuaian beban uji apabila beban yang digunakan tidak sama dengan standar 4,08 ton. Lendutan yang sudah dikoreksi kemudian dihitung sesuai dengan Rumus 2.7.

$$dL = df_1 \times Ft \times Ca \times FKB - FWD \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

- dL = lendutan langsung (mm)
- df_1 = lendutan langsung pada pusat beban (mm)
- Ft = faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar $35^{\circ}C$, yaitu sesuai Rumus 2.8, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih kecil 10 cm atau Rumus 2.9, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih besar atau sama dengan 10 cm atau menggunakan Tabel 2.5 atau pada Gambar 2.5 (Kurva A untuk $H_L < 10cm$ dan Kurva B untuk $H_L > 10cm$).
 - $= 4,184 \times TL^{-0,4025}$ untuk $H_L < 10 \text{ cm} \dots \dots \dots (2.8)$
 - $= 14,785 \times TL^{-0,7573}$ untuk $H_L > 10 \text{ cm} \dots \dots \dots (2.9)$
- TL = Temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat diprediksi dari temperatur udara, yaitu:
 - $T_L = 1/3(T_p + T_t + T_b) \dots \dots \dots (2.10)$
- T_p = temperatur permukaan lapis beraspal
- T_t = temperatur tengah lapis beraspal atau dari Tabel 2.6
- T_b = temperatur bawah lapis beraspal atau dari Tabel 2.6
- 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

$$FK_{B-FWD} = \text{faktor koreksi beban uji } \textit{Falling Weight Deflectometer} \textit{ (FWD)}$$

$$= 4,08 \times (\text{Beban Uji dalam ton}^{-1}) \dots\dots\dots(2.11)$$

2.6.2 Lendutan dengan *Benkelman Beam* (BB)

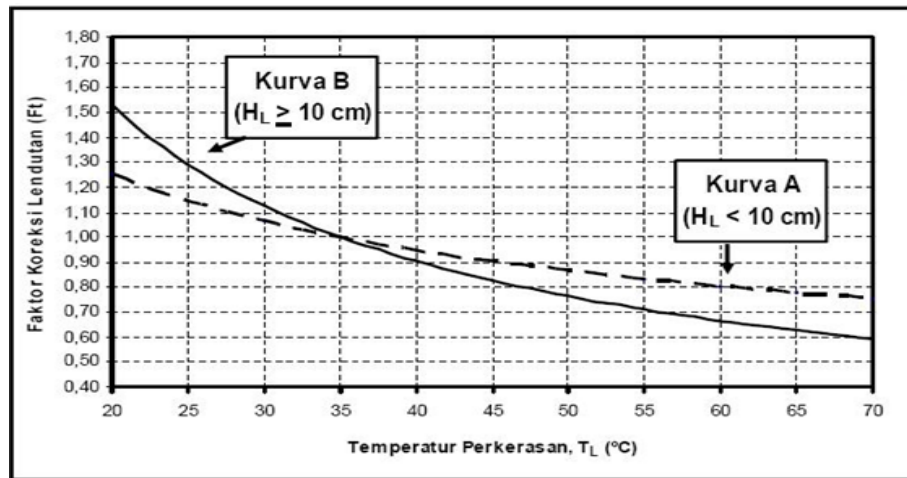
Untuk perencanaan perkerasan, lendutan balik digunakan sebagai acuan. Nilainya dikoreksi berdasarkan faktor muka air tanah, temperatur, dan beban uji jika berbeda dari standar 8,16 ton. Lendutan yang telah dikoreksi dihitung sesuai Rumus 2.12.

$$d_B = 2 \times (d_3 - d_1) \times F_t \times C_a \times FK_{B-BB} \dots\dots\dots(2.12)$$

Di mana:

- d_B = lendutan balik (mm)
- d_1 = lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran
- d_3 = lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 meter dari titik pengukuran
- T_L = temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan atau dapat diprediksi dari temperatur udara, yaitu: $T_L = 1/3(T_p + T_t + T_b) \dots\dots\dots(2.13)$
- T_p = temperatur permukaan lapis beraspal
- T_t = temperatur tengah lapis beraspal atau dari Tabel 2.6
- T_b = temperatur bawah lapis beraspal atau dari Tabel 2.6
- C_a = 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
- FK_{B-BB} = faktor koreksi beban uji *Benkelman Beam* (BB)

$$= 77,343 \times (\text{Beban Uji dalam ton})^{(-2,0715)} \dots\dots\dots(2.14)$$



Gambar 2.5 Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar (Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:8).

Catatan:

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

Tabel 2.5 Faktor Koreksi Lendutan Terhadap Temperatur Standar (Ft)

T _L (°C)	Faktor Koreksi (Ft)		T _L (°C)	Faktor Koreksi (Ft)	
	Kurva A H _L <10 cm	Kurva B H _L ≥10 cm		Kurva A H _L <10 cm	Kurva B H _L ≥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

Sumber: Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:8

Tabel 2.6 Temperatur Tengah (T_t) Dan Bawah (T_b) Lapis Beraspal Berdasarkan Data Temperatur Udara (T_u) Dan Temperatur Permukaan (T_p)

T _u +T _p (°C)	Temperatur lapis beraspal (°C) pada kedalaman					
	2.5cm	5.0cm	10cm	15cm	20cm	30cm
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

Tu+Tp (°C)	Temperatur lapis beraspal (°C) pada kedalaman					
	2.5cm	5.0cm	10cm	15cm	20cm	30cm
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
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
76	45.2	42.9	37.8	36.7	35.0	34.1
77	45.8	43.4	38.3	37.1	35.5	34.6
78	46.4	44.0	38.7	37.6	36.0	35.0
79	47.0	44.5	39.2	38.1	36.4	35.5
80	47.6	45.1	39.7	38.6	36.9	35.9
81	48.2	45.6	40.2	39.0	37.3	36.4
82	48.8	46.2	40.7	39.5	37.8	36.8
83	49.4	46.8	41.2	40.0	38.3	37.3
84	50.0	47.3	41.6	40.5	38.7	37.7
85	50.6	47.9	42.1	40.9	39.2	38.2

Sumber: Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:9

2.6.3 Keseragaman Lentutan

Perhitungan tebal lapis tambah dapat dilakukan pada tiap titik pengujian maupun berdasarkan panjang seksi jalan. Jika menggunakan metode panjang seksi, panjang seksi tersebut harus disesuaikan dengan keseragaman lentutan. Keseragaman lentutan diklasifikasikan sebagai sangat baik (0–10), baik (11–20), dan cukup baik (21–30). Perhitungan faktor keseragaman lentutan mengikuti

Rumus 2.13 sebagai berikut:

$$FK = \frac{s}{dr} \times 100\% < FK_{ijin} \dots \dots \dots (2.15)$$

Di mana:

FK = faktor keseragaman

FK_{ijin} = faktor keseragaman yang diijinkan

dr = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan

$$= \frac{\sum_1^{ns} d}{ns} \dots \dots \dots (2.16)$$

s = deviasi standar atau simpangan baku

$$= \sqrt{ns \frac{(\sum_1^{ns} d^2) - (\sum_1^{ns} d)^2}{ns(ns-1)}} \dots \dots \dots (2.17)$$

d = nilai lendutan balik (dB) atau lendutan langsung (dL) tiap pemeriksaan pada suatu seksi jalan

ns = jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

2.6.4 Lendutan Wakil

Untuk memperoleh lendutan yang mewakili suatu sub-ruas atau seksi jalan, nilai lendutan disesuaikan dengan fungsi atau kelas jalan sebagai berikut: (*Pd. T-05-2005-B.Pdf*, n.d.)

- Dwakil = dr + 2s; untuk jalan arteri/tol (tingkat kepercayaan 98%)(2.18)
- Dwakil = dr + 1,64s; untuk jalan kolektor (tingkat kepercayaan 95%)....(2.19)
- Dwakil = dr + 1,28 s; untuk jalan local (tingkat kepercayaan 90%)(2.20)

Di mana:

Dwakil = lendutan yang mewakili suatu seksi jalan

dr = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan

s = deviasi standar

2.7 Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Perkerasan

Ketebalan lapis tambah atau *overlay* yang dihitung mengacu pada temperatur

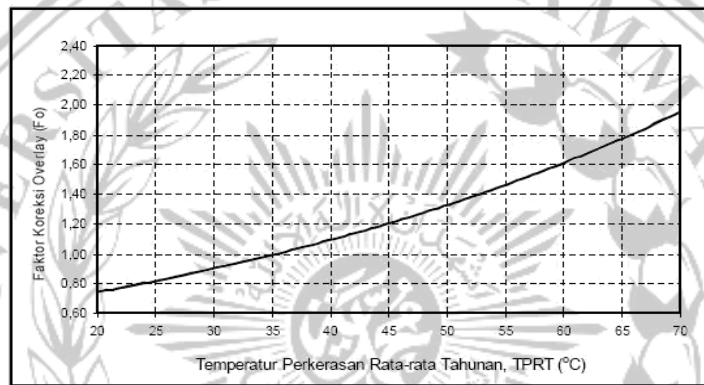
standar sebesar 35°C. Oleh karena itu, untuk memperoleh ketebalan yang disesuaikan dengan kondisi aktual, digunakan faktor koreksi tebal lapis tambah (Fo). Faktor koreksi ini dapat dihitung melalui Rumus 2.21 atau ditentukan dengan merujuk pada grafik Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah (Overlay) yang ditampilkan pada Gambar 2.6.

$$F_o = 0.5032 \times (0.0194 \times TPRT) \dots\dots\dots(2.21)$$

Di mana:

Fo = faktor koreksi tebal lapis tambah/*overlay*

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



Gambar 2.6 Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah/Overlay (Fo)
(Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:11).

2.8 Jenis Tebal Lapis Tambah

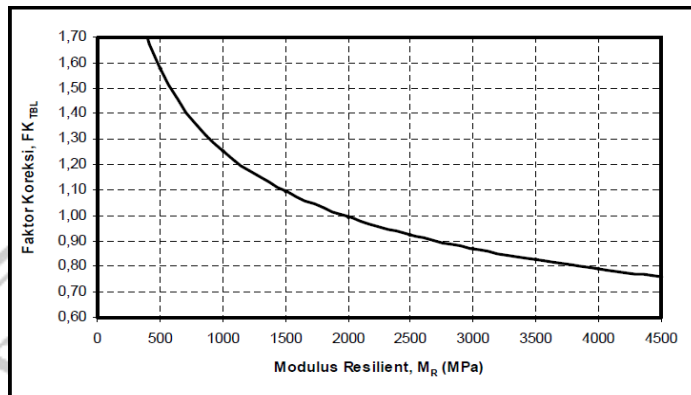
Pedoman ini digunakan untuk perencanaan lapis tambah yang memakai laston, dengan modulus resilien (MR) sebesar 2000 MPa dan stabilitas Marshall minimum 800 kg. Nilai MR ditentukan melalui pengujian menggunakan UMATTA atau alat sejenis pada suhu 25°C. Apabila lapis tambah menggunakan laston modifikasi, laston, atau campuran aspal dengan karakteristik berbeda (termasuk variasi laston), maka diperlukan faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian (FKTBL). FKTBL dapat dihitung dengan Rumus 2.22, atau diperoleh melalui grafik faktor koreksi pada Gambar 2.7, serta dapat merujuk pada Tabel 2.7 yang menunjukkan nilai FKTBL.

$$FK_{TBL} = 12.51 \times MR^{-0,333} \dots\dots\dots(2.22)$$

Di mana:

FK_{TB} = faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian

M_R = Modulus Resilien (MPa)



Gambar 2.7 Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Penyesuaian (FKTBL)

Tabel 2.7 Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah Penyesuaian (FKTBL)

Jenis Lapisan	Modulus resilien, (MPa)	Stabilitas Marshal (kg)	FKTBL
Laston Modifikasi	3000	Min. 1000	0.85
Laston	2000	Min. 800	1.00
Lataston	1000	Min. 800	1.23

Sumber: Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:12

2.9 Prosedur Perhitungan

Lendutan diukur menggunakan Benkelman Beam pada kedua jalur roda, baik kiri maupun kanan. Ketebalan lapisan tambahan atau *overlay* pada perkerasan lentur dapat dihitung dengan mengikuti rumus atau panduan yang tercantum dalam pedoman Pd. T-05-2005-B. Tahapan perhitungan tebal lapis tambah adalah sebagai berikut:

- a) Hitung repetisi beban lalu lintas rencana (CESA) dalam ESA;
- b) Hitung lendutan hasil pengujian dengan alat BB dan koreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim, Ca) dan faktor temperatur standar (Ft) serta

- faktor beban uji (FKB-BB) bila beban uji tidak tepat sebesar 8,16 ton;
- c) Tentukan panjang seksi yang memiliki keseragaman (FK) yang sesuai dengan tingkat keseragaman yang diinginkan sesuai keseragaman lendutan;
 - d) Hitung Lendutan wakil (D_{wakil}) yang tergantung dari kelasjalan;
 - e) Hitung lendutan rencana/ijin (D_{rencana}) dengan menggunakan Rumus 2.23;

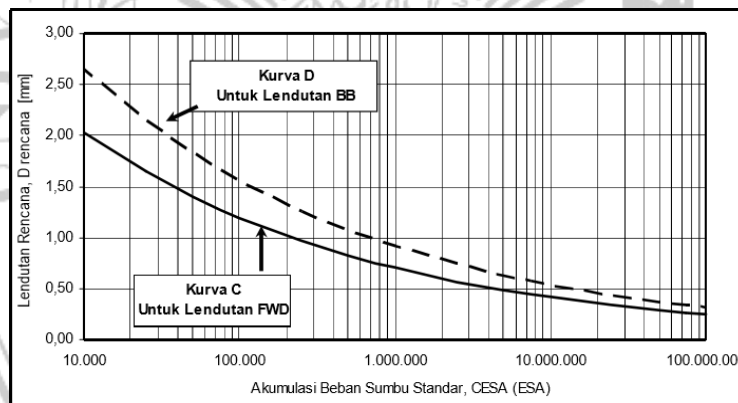
$$D_{\text{rencana}} = 22,208 \times \text{CESA}^{(-0,2307)} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan pengertian:

D_{rencana} = lendutan rencana

CESA = akumulasi ekivalen beban sumbu standar, dalam satuan ESA atau dengan memplot data lalu lintas rencana (CESA) pada Gambar 2.8

Kurva D



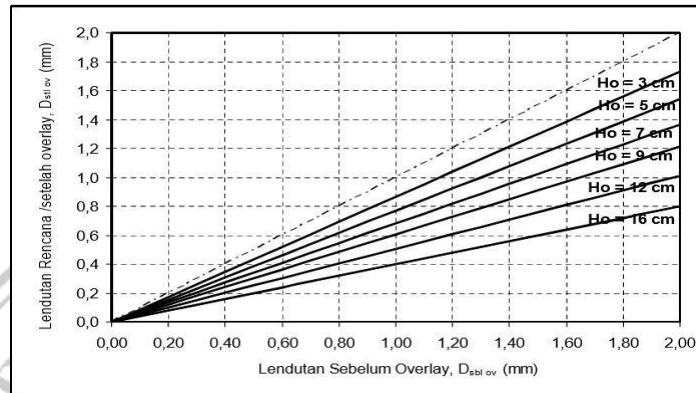
Gambar 2.8 Hubungan Antara Lendutan Rencana Dan Lalu Lintas
(Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:14)

- f) Hitung tebal lapis tambah (*overlay*) dengan menggunakan Rumus 2.24 atau dengan memplot pada Gambar 2.9.

$$H_o = \frac{[\ln(1,0364) + \ln(D_{\text{sbl ov}}) - \ln(D_{\text{stl ov}})]}{0,0597} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan pengertian :

- Ho = tebal lapis tambah sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu
- D sbl ov = lendutan sebelum lapis tambah/Dwakil
- D stl ov = lendutan setelah lapis tambah atau lendutan rencana



Gambar 2.9 Tebal Lapis Tambah (Overlay) (Ho)
(Badan Litbang DPU, Pd. T-05-2005-B:14)

- g) Hitung tebal lapis tambah (*overlay*) terkoreksi (Ht) dengan mengkalikan Ho dengan faktor koreksi *overlay* (Fo), yaitu sesuai dengan rumus 2.22;

$$H_t = H_o \times F_o \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan pengertian :

- Ht = tebal lapis tambah (*overlay*) Laston setelah dikoreksi dengan temperatur rata – rata tahunan daerah tertentu
- Ho = tebal lapis tambah Laston sebelum dikoreksi temperatur rata – rata tahunan daerah tertentu
- Fo = faktor koreksi tebal lapis tambah (*overlay*)

- h) Apabila jenis atau karakteristik campuran beraspal yang digunakan tidak memenuhi ketentuan yang telah disebutkan, maka ketebalan lapisan tambahan perlu disesuaikan menggunakan faktor koreksi tebal lapis tambah

(*overlay*) atau FKTBL.

2.10 Penelitian Terdahulu

Dalam tugas akhir ini, beberapa penelitian sebelumnya dijadikan referensi untuk memberikan gambaran dalam proses pengerjaan. Beberapa contohnya disajikan berikut.

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Keterangan
1	M. Affan Rizki (2023)	Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur (Overlay) Pada Jalan Gajah Mada Kota Bima, Nusa Tenggara Barat STA. (0+000 – 4+500) engan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelman Beam	Penelitian Ini Dilakukan Dengan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelman Beam Untuk Menghitung Tebal Perkerasan Lentur.
2	Abdul Rahman (2023)	Perencanaan Lapis Tambahan (Overlay) Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017 Dan Analisa Komponen 1987 Pada Ruas Jalan Mendut Sta 0+000 – Tanjung Japuan STA 2+225 Kabupaten Magelang	Penelitian Ini Dilakukan Dengan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelman Beam Untuk Menghitung Tebal Perkerasan Lentur.
3	Helmy Ahmed Fuady (2014)	Studi Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan (Overlay) Pada Jalan Maospati - Sukomoro (STA. 0+000 – 12+000) Di Kabupaten Magetan Propinsi Jawa Timur	Penelitian Ini Dilakukan Dengan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelman Beam Untuk Menghitung Tebal Perkerasan Lentur.
4	Gagas Prakosyo (2020)	Perencanaan Lapis Tambah Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Cilopadang – Salem Cara Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelman Beam Dengan Metode Pd. T05-2005-B	Penelitian Ini Dilakukan Dengan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelman Beam Untuk Menghitung Tebal Perkerasan Lentur. Untuk Analisis Data Dan Perhitungan,
5	Emil Adly (2016)	Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur (Overlay) Dengan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelmen Beam (Studi Kasus: Ruas Jalan Klangon-Tempel Km 21+000-23+000 Kec. Moyudan, Kab.Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta)	Penelitian Ini Dilakukan Dengan Metode Lendutan Balik Menggunakan Alat Benkelman Beam Untuk Menghitung Tebal Perkerasan Lentur.