

MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN

No. 02/M/BM/2017



2017



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN

No. 02/M/BM/2017



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Manual Desain Perkerasan Jalan

ISBN:

Diterbitkan oleh: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat - Direktorat Jenderal Bina Marga

Edisi pertama 2013

Edisi kedua 2017

Front cover:

Created by New7ducks - Freepik.com

Picture by Teguh WS (https://www.panoramio.com/user/6641632?photo_page=5)

Edited by Riduan Sihombing

Copyright

Reproduksi, penyalinan dan ekstraksi bagian-bagian dokumen ini oleh lembaga, organisasi lain atau perorangan boleh dilakukan dengan menyebutkan sumbernya. Setiap upaya telah dilakukan untuk memastikan bahwa dokumen yang dirujuk dalam publikasi ini telah dinyatakan dengan benar. Penerbit menghargai setiap koreksi, atau saran mengenai dokumen, sumber rujukan dan atau data terbaru.



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jalan Pattimura No. 20, Kebayoran Baru – Jakarta Selatan 12110, Telp./ Fax : (021) 7221950

Kepada Yth.:

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga;
2. Para Direktur di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga;
3. Kepala Badan Pengatur Jalan Tol;
4. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional I s.d. XVIII.

S U R A T E D A R A N

Nomor : 04 /SE/Db/2017

TENTANG

**PENYAMPAIAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN REVISI 2017
DI LINGKUNGAN DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

A. Umum

Dalam rangka peningkatan dan pengembangan kinerja jalan untuk pelaksanaan kegiatan pekerjaan konstruksi jalan guna menjamin kualitas perkerasan jalan, maka perlu dilakukan pendekatan perencanaan dan desain perkerasan jalan.

Manual Desain Perkerasan 2017 ini merupakan revisi terhadap Manual Desain Perkerasan 2013 yang meliputi perubahan struktur penyajian untuk mempermudah pemahaman pengguna dan penambahan serta perbaikan kandungan manual. Revisi ini disusun untuk mengakomodasi tantangan dan hambatan dalam kinerja aset jalan di Indonesia.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang - Undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan;
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 34 Tahun 2006 tentang Jalan;
3. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 19 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.

C. Maksud dan Tujuan

Maksud ditetapkan Surat Edaran ini adalah sebagai acuan teknis dalam perencanaan perkerasan jalan di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga. Sedangkan tujuannya adalah untuk terlaksananya konstruksi jalan yang dapat memberikan pelayanan secara optimal terhadap lalu lintas sesuai dengan umur rencana.

D. Ruang Lingkup

Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 ini berisi ketentuan teknis untuk pelaksanaan pekerjaan desain perkerasan jalan yang berlaku di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga, terdiri dari 2 (dua) bagian, yaitu:

1) Bagian I Struktur Perkerasan Baru

Pada bagian ini berisi penetapan umur rencana, pemilihan struktur perkerasan, pengumpulan data dan analisis lalu lintas, pertimbangan drainase, desain fondasi, desain perkerasan, pertimbangan aspek pelaksanaan yang mempengaruhi desain dan diakhiri dengan penyajian urutan prosedur desain.

2) Bagian II Rehabilitasi Perkerasan

Pada bagian ini berisi analisis lalu lintas untuk perkerasan baru dan rehabilitasi, kondisi perkerasan eksisting, drainase perkerasan eksisting, pemilihan struktur perkerasan, desain tebal *overlay*, desain ketebalan pengupasan dan pelapisan ulang (*mill and inlay*), desain rekonstruksi perkerasan, masalah pelaksanaan dan kinerja perkerasan dan diakhiri dengan contoh penggunaan.

E. Penutup

- a. Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi 2017 pada lampiran Surat Edaran ini merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran ini;

- b. Dokumen ini agar digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan pekerjaan desain perkerasan jalan di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
- c. Dengan diberlakukannya Surat Edaran ini, maka Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 08/SE/Db/2013 Tanggal 20 September 2013 tentang Manual Desain Perkerasan Jalan dicabut dan dinyatakan tidak berlaku;
- d. Surat Edaran ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Demikian, atss perhatian Saudars, disampaikan terima kasih.

Ditetapkan di: Jakarta
pada tanggal : 22 Juni 2017

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA



Arie Setiadi Moerwanto

Tembusan:

- 1. Bapak Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
- 2. Sekretaris Jenderal Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
- 3. Direktur Jenderal Bina Konstruksi Kementerian PUPR.

Kata Pengantar Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017)

Versi awal Manual Desain Perkerasan (MDP 2013) dikembangkan dengan bantuan Pemerintah Australia (AusAID), sebagai bagian Indll activity 249.03. Selanjutnya, versi Bahasa Indonesia dikembangkan melalui penyimakan yang ekstensif oleh Staf Direktorat Jenderal Bina Marga dan para pakar. Sejumlah bab berkaitan dengan kebijakan Direktorat Jenderal Bina Marga, objektif-objektif perencanaan dan penjelasan teknik telah ditambahkan. Selanjutnya manual dilegalisasi melalui Surat Keputusan Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga Nomor: 22.2 / KPTS / Db / 2013 tertanggal 30 Maret 2013.

Proses revisi MDP ini dilakukan melalui beberapa tahapan review oleh para pakar dan praktisi dari lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, dan Perguruan Tinggi. Revisi ini meliputi perubahan struktur penyajian untuk mempermudah pemahaman pengguna dan penambahan dan perbaikan kandungan manual. Sejumlah bahan ditambahkan termasuk penggunaan nilai karakteristik VDF jenis-jenis kendaraan niaga berdasarkan wilayah untuk kondisi beban nyata (termasuk beban berlebih) dan kondisi beban normal (beban terkendali), angka pertumbuhan lalu lintas per wilayah, uraian rinci mengenai metode desain mekanistik termasuk penegasan penggunaan ESA4 dan ESA5 dan lain-lain. Sejumlah perubahan penting yang dibuat dalam bagian II manual antara lain meliputi perbaikan prosedur konversi temperatur untuk analisa lendutan, penambahan opsi penanganan Pengupasan dan Pelapisan Kembali (*Mill and Inlay*). Khusus untuk perencanaan pada level jaringan, grafik desain overlay diperluas hingga beban lalu lintas rencana 200 juta ESA. Faktor-faktor pemicu penanganan disesuaikan konsisten dengan grafik analisa lendutan yang diperluas tersebut.

Metode desain yang digunakan pada Manual Desain Perkerasan adalah metode Mekanistik Empiris yang dewasa ini telah digunakan secara meluas di berbagai negara yang telah berkembang. Dengan metode ini analisis struktur perkerasan dilakukan menggunakan prinsip-prinsip mekanik yang keluarannya digunakan untuk memprediksi kinerja struktur berdasarkan pengalaman empiris.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal metode Mekanistik Empiris memerlukan input parameter material dan beban lalu lintas yang terperinci dan akurat yang memerlukan pengujian ekstensif baik di lapangan maupun di laboratorium. Sebagai suatu pendekatan yang relatif masih baru dilingkungan kebinamargaan, sejumlah riset untuk mendukung dan mengembangkan metode ini masih sangat diperlukan. Diantaranya adalah pengembangan perangkat lunak untuk analisis yang sangat mendesak, pengkalibrasian output analisis mekanik terhadap kinerja perkerasan khususnya untuk iklim Indonesia dan kondisi beban kendaraan yang nyaris tidak terkendali.

Desain struktur perkerasan dalam bentuk katalog memungkinkan pendesain lebih fokus pada upaya mendapatkan input tersebut. Namun demikian, tidak berarti bahwa pendesain tidak perlu memahami proses analisis mekanistik. Pemahaman terhadap metode yang digunakan akan meningkatkan apresiasi dan kesadaran pendesain mengenai kebutuhan akan data perencanaan yang akurat. Untuk itu, praktisi perkerasan jalan didorong untuk meningkatkan kemampuan dengan secara intensif mempelajari metode tersebut.

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA
Dr. Ir. Arie Setiadi Moerwanto, M.Sc

Tim Penyusun MDP (Revisi 2017)

Tim Review:

Ir. Djunaedi Kosasih, M.Sc, Ph.D

Prof.Dr.Ir. Bambang Sugeng, DEA

Prof.Ir. Aloysius Tjan, Ph.D

Prof.Ir. Wimpy Santosa, M.Sc, Ph.D

Ir. Adi Soelistijo, M.Sc. Eng

Ir. Singgih Karyawan P., M.Sc

Dr. Ir. Siegfried, M.Sc

Ir. Faizal M.Si

Rina Kumala Sari, ST.,MT.

Ir. Syahmansyah, M.Eng.Sc.

Ir. Fransisco Tambajong

Soendiarto, ST.,MT.

Erick Aldin Singarimbun, ST.,MT.

Julia Augustine, ST, MT

Erna Wijayanti, ST.,MT.

Lambang Puspito Jati Y.,ST.,M.Sc.

Eko Priyatmoko, ST.,MT.

Waluyo Fitriansyah, ST.

Ir. Purnomo

Ir. Yayan Suryana, M.Eng.Sc

Ir, Rahmat Agus, MM

Ir. Herman Darmansyah, M.Sc.

Ir. Soehartono Irawan, M.Sc

Ir. Agus Wardono

Victor Taufik

IndII 249.03 Authors

Kemas Ahmad Zamhari

Edward Malcom James

Geoffrey Jameson

Tim Penyusun dan Review MDP 2013

Tim Review:

Ir.Hedy Rahadian, MSc

Ir. Effendi Radia, MT

Julia Augustine, ST, MT

Ir. Djunaedi Kosasih, MSc, PhD

Prof.Dr.Ir. Bambang Sugeng, DEA

Dr. Ir. Seigfried, MSc

Ir. Soehartono Irawan, MSc

Edward Malcom James

IndII 209.01 Authors

Edward Malcom James

Geoffrey Jameson

Cakupan Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017)

1. Umum

Manual Desain Perkerasan (2013) terdiri atas dua bagian yaitu, Bagian I yang membahas desain perkerasan jalan baru dan Bagian II yang membahas desain rehabilitasi dan rekonstruksi perkerasan. Setelah digunakan sejak pertama kali diterbitkan pada tahun 2013 berbagai masukan telah diperoleh dari pengguna manual baik yang secara langsung maupun yang diperoleh dari pengamatan terhadap praktek implementasi manual dalam perencanaan.

Berdasarkan masukan tersebut dipandang perlu untuk melakukan beberapa revisi, baik dari segi kandungan maupun struktur penyajian untuk memperjelas, mengoreksi dan menambahkan informasi yang diperlukan. Garis besar dari revisi tersebut dijelaskan pada uraian berikut.

2. Struktur dan kandungan revisi Bagian I

Secara umum struktur penyajian manual yang dibuat mengikuti urutan proses desain mulai dari penetapan umur rencana sampai dengan katalog dan proses desain tetap dipertahankan. Pada Bagian I, setelah penetapan umur rencana, berturut-turut dibahas pula masalah pemilihan struktur perkerasan, pengumpulan data dan analisis lalu lintas, pertimbangan drainase, desain fondasi, desain perkerasan, pertimbangan aspek pelaksanaan yang mempengaruhi desain dan diakhiri dengan penyajian urutan prosedur desain yang merupakan ringkasan dari proses desain. Beberapa perubahan dilakukan terhadap struktur penyajian Bagian I. Perubahan tersebut dilengkapi dengan pendalaman dan penambahan kandungan yang dianggap perlu seperti diuraikan berikut ini.

- 1) Bab desain perkerasan. Uraian mengenai desain mekanistik empiris yang semula merupakan bagian dari manual yang ditempatkan sebagai lampiran, pada revisi ini dipindahkan menjadi bagian dari bab yang secara khusus membahas desain struktur perkerasan. Namun demikian, apabila sebelumnya uraian yang diberikan lebih menekankan kepada prosedur desain menggunakan perangkat lunak tertentu, pada edisi revisi ini metode desain mekanistik empiris diuraikan secara lebih rinci dengan penekanan kepada konsep dan dilengkapi dengan contoh yang menunjukkan bagaimana analisis dilakukan hingga mendapatkan ketebalan struktur rencana. Perubahan tersebut dilakukan dengan tujuan agar pengguna manual, yang sebelumnya hanya dapat melihat ketebalan desain yang “sudah jadi” dalam bentuk katalog, dapat lebih mengapresiasi metode yang digunakan dan selanjutnya berupaya untuk lebih mendalami metode tersebut.
- 2) Modulus bahan, yang sebelumnya merupakan bab tersendiri, juga digabungkan dalam bab desain perkerasan sehingga pembahasan mengenai metode dan prosedur desain perkerasan dapat secara utuh disampaikan sebagai satu kesatuan.
- 3) Bab mengenai *Traffic Multiplier* dihilangkan karena penjelasan mengenai hal ini telah menjadi bagian dari uraian mengenai konsep desain mekanistik.
- 4) Bab mengenai Zona Iklim dipindahkan menjadi bagian dari Lampiran karena informasi yang diberikan lebih merupakan rujukan penggunaan Bagan Desain – 1 yang menyajikan estimasi modulus tanah dasar berdasarkan zona iklim khususnya yang terkait dengan curah hujan.
- 5) Beberapa perubahan dan penambahan informasi diberikan pada Bab mengenai lalu lintas. Faktor pertumbuhan lalu lintas dikelompokkan lebih rinci berdasarkan wilayah.

Namun karena keterbatasan data, pengelompokan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas tersebut baru dapat dilakukan pada pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan dan nilai pertumbuhan rata-rata Indonesia.

- 6) Selanjutnya, pertumbuhan lalu lintas rencana dapat dihitung berdasarkan tiga skenario yaitu, kondisi laju pertumbuhan konstan, kondisi laju pertumbuhan selama umur rencana berubah, dan kondisi yang perbandingan volume terhadap kapasitas jalan tercapai sebelum umur rencana perkerasan tercapai. Formula faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) yang dapat digunakan dan contoh perhitungan untuk masing-masing kondisi diberikan.
- 7) Sub bab lalu lintas yang menguraikan Faktor Distribusi Lajur dan Kapasitas Lajur pada manual (2013) dilengkapi dengan menambahkan uraian mengenai Faktor Distribusi Arah. Sedangkan masalah kapasitas lajur dilengkapi dengan melampirkan table-tabel berbagai parameter yang diperlukan untuk menghitung kapasitas lajur yang dikutip dari MKJI dan contoh perhitungan.
- 8) Tabel Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor, VDF*) berdasarkan beban riel masih dipertahankan. Nilai VDF pada tabel tersebut diperoleh dari survei jembatan timbang di Pantura. Untuk menggunakan nilai-nilai tersebut, selain mencatat jenis kendaraan, survei lalu lintas harus mencatat jenis muatan.
- 9) Sebagai alternatif, satu tabel yang memuat nilai karakteristik VDF jenis-jenis kendaraan niaga yang diperoleh dari data studi WIM yang dilakukan Ditjen Bina Marga pada tahun 2011/2012. Studi tersebut dilakukan pada beberapa lokasi di Sumatera, Jawa, Kalimantan dan Sulawesi. Dengan demikian, nilai karakteristik VDF tersebut dikelompokkan berdasarkan wilayah yang bersangkutan. Nilai VDF untuk wilayah di luar keempat pulau tersebut diambil dari data WIM dari lokasi dengan karakteristik distribusi kendaraan niaga menyerupai wilayah tersebut. Dengan menggunakan karakteristik VDF rata-rata tiap-tiap jenis kendaraan niaga tidak diperlukan survei jenis muatan. Contoh penggunaan nilai karakteristik VDF (kondisi beban nyata dan kondisi beban normal) diberikan.
- 10) Karena cakupan uraian adalah pada drainase perkerasan dengan drainase bawah permukaan hanya merupakan salah satu bagiannya maka Bab berjudul Drainase Bawah Permukaan diubah menjadi Drainase Perkerasan. Tabel mengenai tinggi minimum tanah dasar diatas muka air tanah dan muka air banjir dari bab mengenai desain fondasi (2013: Bab 9) dipindahkan ke bab drainase perkerasan. Ketentuan mengenai ketinggian tanah dasar di atas muka air tanah untuk jalan raya diperinci dengan menambahkan ketentuan-ketentuan untuk tanah lunak jenuh tanpa lapis drainase, tanah lunak jenuh dengan lapis drainase dan untuk tanah dasar normal.
- 11) Uraian mengenai desain fondasi jalan yang pada edisi 2013 dibahas dalam dua bab, yaitu: bab Desain Fondasi dan bab Tanah Dasar Lunak, pada edisi revisi 2017 digabungkan dalam satu bab: Desain Fondasi. Bab ini menguraikan masalah pengujian daya dukung tanah dasar, ketentuan mengenai pengujian DCP untuk penilaian daya dukung tanah, dan indikasi daya dukung berdasarkan karakteristik tanah. Faktor penyesuaian nilai modulus tanah dasar yang diperoleh dari pengujian DCP terhadap kondisi musim saat pengujian sesuai dengan versi awal. Akan tetapi, faktor penyesuaian nilai modulus yang diperoleh dari pengujian lendutan ditiadakan. Sebagai gantinya, digunakan faktor penyesuaian nilai lendutan terhadap kondisi musim, yang ditempatkan pada Bagian II pada bab mengenai pengujian lendutan permukaan perkerasan eksisting. Selanjutnya, pembahasan mengenai desain fondasi perkerasan lentur dan perkerasan kaku dibahas dalam sub bab yang berbeda.
- 12) Pada versi 2013, nilai karakteristik CBR ditetapkan berdasarkan asumsi bahwa data CBR untuk segmen yang seragam terdistribusi secara normal dan nilai karakteristik ditetapkan untuk probabilitas 90%. Pada edisi revisi 2017, dua metode penentuan

CBR karakteristik diuraikan pada bab desain fondasi jalan yaitu penentuan berdasarkan asumsi distribusi normal dengan 3 level probabilitas dan metode persentil yang sebelum ini lazim digunakan pendesain perkerasan jalan di Indonesia. Penggunaan *spreadsheet* untuk menghitung nilai karakteristik pada persentil tertentu diuraikan. Contoh perhitungan penggunaan kedua pendekatan tersebut diberikan.

- 13) Tidak ada perubahan dalam uraian penentuan tinggi minimum permukaan akhir tanah lunak untuk membatasi terjadinya deformasi plastis di bawah sambungan pelat perkerasan kaku. Kecuali bahwa sumbu mendatar dan sumbu vertikal pada grafik yang terkait diubah atas pertimbangan konsistensi penyajian. Contoh desain timbunan di atas tanah lunak untuk perkerasan kaku diperjelas dalam bab Desain Fondasi.
- 14) Penggunaan ESA4 dan ESA5 diperjelas pada bab desain perkerasan. Koefisien lapis campuran beraspal dikembalikan sesuai ketentuan pada PdT-01-2002-B atau metode AASTHO 1993.
- 15) Temperatur perkerasan beraspal dapat dinyatakan sebagai temperatur rata-rata tertimbang tahunan (*weighted mean asphalt pavement temperature*, WMAPT). Untuk iklim Indonesia, WMAPT berkisar di antara 38^o C (daerah pegunungan) hingga 42^o C (untuk daerah pesisir). Nilai modulus campuran beraspal yang digunakan pada Bagan Desain ditetapkan berdasarkan asumsi WMAPT 41^oC sebagai acuan. Koreksi modulus bahan terhadap temperatur diberikan.
- 16) Sejumlah perubahan pada Bagan Desain (Bab Desain Fondasi dan Bab Desain Perkerasan) adalah sebagai berikut:
 - Bagan Desain 2 – Desain Fondasi Jalan Minimum, ditambahkan ketentuan mengenai fondasi untuk perkerasan kaku: 300 mm teratas perbaikan tanah dasar berbutir halus (klasifikasi A4 – A6) harus berupa stabilisasi semen. Hal ini adalah untuk mencegah terjadinya “*pumping*”.
 - Bagan Desain 3 – Perkerasan lentur dengan CTB berlaku untuk beban lalu lintas rencana minimum 10x10⁶ CESAL (dari batasan semula 0,5x10⁶ ESA5).
 - Bagan Desain 3 – Perkerasan lentur dengan HRS dipisahkan dari Bagan Desain 3 (2013) menjadi Bagan Desain 3A. Tebal HRS untuk beban lalu lintas < 0.4x10⁶ diubah dari 30 mm (HRS WC) + 35 mm (HRS Base) menjadi satu lapis 50 mm (HRS WC).
 - Bagan Desain 3A Desain Perkerasan Lentur Alternatif dan Bagan Desain Alternatif 3A (2013) Desain Perkerasan Lentur Aspal Dengan Lapis Fondasi Berbutir – digabung menjadi Bagan Desain 3B (2017), Desain Perkerasan Lentur Aspal Dengan Lapis Fondasi Berbutir.
 - Untuk perkerasan dengan daya dukung *subgrade* > 6% ditambahkan Bagan Desain 3C (2017) Penyesuaian Tebal Lapis Fondasi Agregat A Untuk Tanah Dasar dengan CBR ≥ 7 % yang berlaku sebagai tambahan dari Bagan Desain 3B.
 - Bagan Desain 4 – Desain Perkerasan Kaku untuk jalan dengan Lalu lintas Berat. Tebal pelat beton kurus (LMC) dari 150 mm menjadi 100 mm. Lapis fondasi agregat kelas A diganti menjadi lapis drainase yang harus lolos air. Untuk mencegah *pumping*, permukaan fondasi (tanah dasar) setebal 150 mm harus distabilisasi.
 - Bagan Desain 5A (2013) – Desain Perkerasan Kaku untuk jalan dengan Lalu lintas Ringan, tidak ada perubahan kecuali pada nomor tabel yang disesuaikan menjadi Bagan Desain 4A.

- Bagan Desain 6 (2013) – Desain perkerasan dengan lapis aspal tipis, menjadi Bagan Desain 5 Desain perkerasan dengan laburan, untuk memperjelas pengertian aspal tipis pada Bagan Desain bersangkutan.
- Penyesuaian nomor Bagan Desain untuk Bagan Desain 7 dan 8 (2013) menjadi Bagan Desain 6 dan 7.
- Pada akhir Bab Desain Perkerasan diberikan contoh penggunaan untuk desain perkerasan lajur lalu lintas. Contoh penggunaan Bagan Desain jalan tanpa penutup beraspal dan contoh desain perkerasan bahu jalan diberikan pada lampiran.
- Bab mengenai masalah pelaksanaan yang mempengaruhi desain:
 - ✓ Tabel mengenai ketebalan lapisan yang diizinkan dan penghamparan ditambah dengan kolom mengenai tebal minimum.
 - ✓ Gambar-gambar mengenai dukungan terhadap tepi perkerasan dan konstruksi perkerasan segi empat diperbaiki.
- Bab mengenai prosedur desain dan lampiran-lampiran disesuaikan dengan struktur dan kandungan revisi.

3. Struktur dan kandungan revisi Bagian II

Struktur penyajian disesuaikan dengan prosedur desain rehabilitasi perkerasan mulai dari analisa lalu lintas dan penentuan umur rencana hingga desain struktur perkerasan. Perubahan struktur penyajian disertai dengan pendalaman dan penambahan kandungan yang dianggap perlu pada Bagian II manual adalah seperti diuraikan di bawah ini:

- 1) Pada dasarnya tidak ada perbedaan dalam bab mengenai analisis lalu lintas untuk perkerasan baru dan rehabilitasi. Umur rencana overlay struktural ditetapkan minimum 10 tahun.
- 2) Dengan pertimbangan konsistensi penyajian pada aspek detail desain, bab mengenai level desain dan pemicu penanganan dipindahkan ke bagian lampiran. Bab mengenai pemilihan struktur perkerasan diletakkan sebelum bab mengenai desain rehabilitasi.
- 3) Bab mengenai kondisi perkerasan eksisting dilengkapi dengan uraian mengenai survei kondisi dan koreksi perkerasan sebelum *overlay*.
- 4) Bab mengenai drainase bawah permukaan diubah menjadi bab drainase perkerasan. Selain membahas drainase bawah permukaan, kandungan bab-nya ditambah dengan penekanan pada masalah kerusakan akibat air dan evaluasi perkerasan drainase eksisting.
- 5) Bab mengenai desain *overlay*:
- 6) Tebal minimum *overlay* untuk perbaikan ketidakrataan (non struktural) diubah dari 30 mm menjadi 40 mm.
- 7) Penggunaan grafik-grafik desain *overlay* untuk pertimbangan deformasi perkerasan (lendutan maksimum) dan pertimbangan retak lelah (lengkung lendutan) dibatasi hingga 10×10^6 ESA4 atau setara 20×10^6 ESA5. Untuk jalan dengan beban lalu lintas yang lebih besar dapat digunakan metode desain mekanistik empiris atau metode AASHTO 1993.
- 8) Penyajian grafik desain *overlay* berdasarkan pertimbangan retak akibat lelah (lengkung lendutan) diubah . Grafik desain yang sebelumnya merangkumi desain *overlay* tipis dan *overlay* tebal dalam satu grafik, diubah menjadi dua grafik terpisah.

- 9) Contoh penggunaan kedua grafik desain tersebut diberikan.
- 10) Faktor penyesuaian nilai pengukuran lendutan akibat pengaruh musim ditambahkan.
- 11) Semula, diberikan faktor-faktor penyesuaian nilai pengukuran lendutan terhadap temperatur pengujian masing-masing untuk lendutan Benkelman Beam dan untuk FWD (penyajian dalam bentuk grafik, keseluruhan dalam 2 grafik). Pada revisi, dilengkapi dengan memberikan faktor-faktor penyesuaian nilai pengukuran lendutan dengan Benkelman Beam dan FWD yang diperinci untuk lendutan maksimum dan lengkung lendutan. Penyajian dalam bentuk tabel untuk mempermudah pembacaan dan interpolasi, (keseluruhan dalam 4 tabel).
- 12) Semula, diberikan faktor standarisasi pengukuran lengkung lendutan dari FWD ke Benkelman Beam (dalam satu grafik). Pada revisi, dilengkapi menambahkan faktor standarisasi pengukuran lendutan maksimum dari Benkelman Beam ke FWD yang disajikan dalam bentuk tabel (keseluruhan 2 tabel).
- 13) Ditambahkan satu bab baru mengenai opsi penanganan berupa pengupasan dan pelapisan ulang atau "*mill and inlay*." Opsi ini merupakan pilihan efektif untuk memperbaiki ketidakrataan permukaan perkerasan yang disebabkan oleh alur, sungkur, keriting dan retak permukaan. Menggunakan opsi ini, pada segmen yang memerlukan tebal *overlay* lebih dari 50 mm, penanganan yang lebih efektif dapat dicapai dengan cara memperkuat titik-titik yang lemah dengan pengupasan dan pelapisan ulang (*milling and reinstatement* atau *inlay*), untuk selanjutnya secara keseluruhan di-*overlay* dengan lapis yang lebih tipis. Contoh penggunaan diberikan.
- 14) Judul bab "tebal desain lapis fondasi dengan stabilisasi" diubah menjadi "desain rekonstruksi perkerasan" yang dianggap lebih mencerminkan kandungan bab bersangkutan. Tebal lapis aspal minimum di atas lapis fondasi stabilisasi diubah dari 40 mm menjadi 50 mm. Bagan Desain dalam bentuk grafik disesuaikan dengan perubahan tersebut.
- 15) Bab yang khusus membahas contoh-contoh aplikasi bagian II diberikan dalam satu bab yang baru ditambahkan. Contoh-contoh yang diberikan antara lain meliputi:
- Desain *overlay* berdasarkan lendutan;
 - Rehabilitasi dengan pengupasan dan pelapisan kembali;
 - Rekonstruksi dengan CTSB daur-ulang;
 - Desain *overlay* perkerasan dengan pelebaran.

Bagian I

Struktur Perkerasan Baru

Daftar Isi

1	PENDAHULUAN.....	1-1
1.1	Ruang Lingkup	1-1
1.2	Kebijakan Desain	1-1
1.3	Jenis Struktur Perkerasan	1-2
1.4	Acuan.....	1-4
1.5	Istilah dan Definisi	1-5
1.6	Simbol dan Singkatan.....	1-6
2	UMUR RENCANA.....	2-1
3	PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN.....	3-1
3.1	Sumber Daya Setempat dan Nilai Pekerjaan.....	3-2
3.2	Perkerasan Aspal Beton dengan Cement Treated Base (CTB)	3-2
3.3	Perkerasan Beton Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir	3-2
3.4	Perkerasan Beton Aspal dengan Aspal Modifikasi.....	3-2
3.5	Lapis Aus Tipe SMA (Split Mastik Aspal)	3-3
3.6	Lapis Fondasi dengan Aspal Modifikasi.....	3-3
3.7	Perkerasan Kaku.....	3-3
3.8	Perkerasan Kaku Untuk Lalu Lintas Rendah	3-3
3.9	Perkerasan Tanpa Penutup (Jalan Kerikil)	3-3
3.10	Pelebaran Jalan dan Penambalan (<i>Heavy Patching</i>).....	3-4
3.11	Perkerasan pada Lahan Gambut.....	3-4
3.12	Pelaburan (<i>Surface Dressing</i>) di Atas Lapis Fondasi Berbutir	3-4
3.13	HRS-WC Tebal ≤ 50 mm di Atas Lapis Fondasi Berbutir	3-4
3.14	Lapis Fondasi <i>Soil Cement</i>	3-4
3.15	Jenis Penanganan pada Pelebaran.....	3-4
4	LALU LINTAS.....	4-1
4.1	Analisis Volume Lalu Lintas.....	4-1
4.2	Data Lalu Lintas	4-1
4.3	Jenis Kendaraan	4-1
4.4	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas.....	4-2
4.5	Lalu Lintas pada Lajur Rencana	4-3
4.6	Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>)	4-3
4.7	Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga	4-7
4.8	Beban Sumbu Standar Kumulatif	4-7
4.9	Contoh Perhitungan	4-8
4.10	Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah.....	4-10
5	DRAINASE PERKERASAN	5-1
5.1	Umum	5-1

5.1.1	Dampak drainase perkerasan terhadap lapisan perkerasan.....	5-1
5.2	Tinggi Minimum Timbunan Untuk Drainase Perkerasan	5-2
6	DESAIN FONDASI JALAN	6-1
6.1	Pendahuluan	6-1
6.2	Pengujian	6-1
6.2.1	Pengujian daya dukung dan asumsi-asumsi	6-1
6.2.2	Pengukuran daya dukung dengan DCP (<i>Dynamic cone penetration test</i>)	6-1
6.3	Persyaratan Umum Persiapan Tanah Dasar	6-4
6.4	Umur Rencana Fondasi Perkerasan.....	6-4
6.5	Penurunan.....	6-4
6.5.1	Batasan penurunan (<i>Settlement limits</i>)	6-4
6.5.2	Perbedaan penurunan	6-6
6.5.3	Pra-pembebanan	6-7
6.5.4	Penurunan total pada oprit jembatan dan struktur yang berdekatan dengan struktur yang tetap	6-8
6.6	CBR Desain Tanah Dasar	6-8
6.6.1	Penentuan segmen tanah dasar yang seragam	6-8
6.6.2	CBR rencana untuk stabilisasi tanah dasar	6-10
6.7	Tanah Ekspansif.....	6-11
6.8	Lapis Penopang (<i>Capping Layers</i>)	6-11
6.9	Desain Fondasi Perkerasan Lentur	6-13
6.9.1	Tanah dasar normal	6-13
6.9.2	Tanah lunak	6-13
6.9.3	Tanah aluvial kering	6-14
6.9.4	Gambut	6-14
6.10	Fondasi Perkerasan Kaku	6-15
6.10.1	Tanah dasar normal	6-15
6.10.2	Tanah lunak	6-15
6.11	Gambut	6-18
6.12	Contoh Desain Timbunan.....	6-18
7	DESAIN PERKERASAN	7-1
7.1	Struktur Perkerasan	7-1
7.2	Metode Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Beraspal	7-1
7.2.1	Prosedur desain.....	7-3
7.2.2	Model kinerja (Fungsi transfer).....	7-4
7.2.3	Karakteristik material.....	7-6
7.2.4	Contoh analisis struktur perkerasan	7-9
7.3	Metode Desain Perkerasan Jalan Kerikil atau Perkerasan dengan Penutup Tipis	7-11
7.4	Perkerasan Kaku.....	7-11

7.5	Bagan Desain.....	7-12
7.6	Contoh Penggunaan	7-20
8	MASALAH PELAKSANAAN YANG MEMPENGARUHI DESAIN.....	8-1
8.1	Ketebalan Lapis Perkerasan.....	8-1
8.2	Daya Dukung Tepi Perkerasan.....	8-2
8.3	Konstruksi Perkerasan pada Galian Segi Empat (<i>Boxed Construction</i>)	8-3
8.4	Pengaruh Musim Hujan	8-3
8.5	Pelaksanaan Konstruksi dengan Lalu Lintas Tetap Melintas	8-4
8.6	Lokasi Sambungan.....	8-4
8.7	Kemampuan Kontraktor.....	8-4
9	PROSEDUR DESAIN.....	9-1
9.1	Perkerasan Lentur.....	9-1
9.2	Perkerasan Kaku.....	9-1

Daftar Tabel

Tabel 2.1. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR).....	2-1
Tabel 3.1. Pemilihan Jenis Perkerasan.	3-1
Tabel 4.1. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)	4-2
Tabel 4.2. Faktor Distribusi Lajur (DL).....	4-3
Tabel 4.3. Pengumpulan Data Beban Gandar.....	4-4
Tabel 4.4. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga.....	4-5
Tabel 4.5. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan	4-6
Tabel 4.6. Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah.....	4-10
Tabel 5.1. Tinggi Minimum Tanah Dasar di Atas Muka Air Tanah dan Muka Air Banjir	5-2
Tabel 5.2. Koefisien Drainase ‘m’ Untuk Tebal Lapis Berbutir	5-3
Tabel 6.1. Faktor Penyesuaian Modulus Tanah Dasar Terhadap Kondisi Musim.....	6-2
Tabel 6.2. Batasan Penurunan (<i>settlement</i>) pada Timbunan di Atas Tanah Lunak Setelah Pelaksanaan Perkerasan.....	6-5
Tabel 6.3. Perkiraan Waktu Pra-pembebanan Untuk Timbunan Rendah di Atas Tanah Lunak.....	6-7
Tabel 7.1. Faktor Reliabilitas (RF) Retak Lelah Campuran Beraspal.....	7-5
Tabel 7.2. Faktor Reliabilitas (RF) Retak Lelah Campuran Berpengikat Semen.....	7-5
Tabel 7.3. Karakteristik Modulus Bahan Berpengikat yang Digunakan Untuk Pengembangan Bagan Desain dan Untuk Analisis Mekanistik	7-6
Tabel 7.4. Faktor Koreksi Modulus Campuran Beraspal	7-7
Tabel 7.5. Karakteristik Modulus Lapisan Teratas Bahan Berbutir	7-8
Tabel 7.6. Parameter Kelelahan (<i>Fatigue</i>) K^*	7-8
Tabel 7.7. Karakteristik Material	7-10
Tabel 7.8. Hasil Analisis Struktur Perkerasan dan Perhitungan Repetisi Beban Izin	7-10
Tabel 8.1. Ketebalan Padat Lapisan yang Diizinkan pada Penghamparan.....	8-1

Daftar Gambar

Gambar 1.1.	Tipikal Struktur Perkerasan Lentur.	1-3
Gambar 1.2.	Tipikal Struktur Perkerasan Kaku.	1-4
Gambar 6.1.	Struktur Perkerasan Kaku	6-16
Gambar 6.2.	CBR Maksimum Tanah Dasar Untuk Perkerasan Kaku di Atas Tanah Lunak	6-16
Gambar 6.3.	Tinggi Minimum Permukaan Akhir dari Permukaan Tanah Lunak Untuk Membatasi Terjadinya Deformasi Plastis di Bawah Sambungan Pelat	6-17
Gambar 7.1.	Tipikal Sistem Perkerasan.....	7-3
Gambar 7.2.	Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik	7-4
Gambar 7.3.	Penampang Struktur Perkerasan	7-9
Gambar 7.4.	Tipikal Potongan Melintang Perkerasan Kaku (Bagan Desain - 4).....	7-17
Gambar 8.1.	Dukungan Tepi Perkerasan.....	8-2
Gambar 8.2.	Dukungan Median Perkerasan.	8-2
Gambar 8.3.	Konstruksi Perkerasan pada Galian Segi Empat (Kasus Tipikal).....	8-3

Daftar Bagan Desain

Bagan Desain - 1	Indikasi Perkiraan Nilai CBR	6-3
Bagan Desain - 2	Desain Fondasi Jalan Minimum (1)	6-12
Bagan Desain - 3	Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB1)	7-12
Bagan Desain - 3A	Desain Perkerasan Lentur dengan HRS1	7-13
Bagan Desain - 3B	Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir ..	7-14
Bagan Desain - 3C	Penyesuaian Tebal Lapis Fondasi Agregat A Untuk Tanah Dasar CBR ≥ 7 % (Hanya Untuk Bagan Desain - 3B)	7-15
Bagan Desain - 4	Perkerasan Kaku Untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat	7-16
Bagan Desain - 4A	Perkerasan Kaku Untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah* .	7-16
Bagan Desain – 5	Perkerasan Berbutir dengan Laburan1	7-17
Bagan Desain – 6	Perkerasan Dengan Stabilsasi Tanah Semen (<i>Soil Cement</i>)	7-18
Bagan Desain – 7	Perkerasan Tanpa Penutup Beraspal dan Lapis Permukaan Beraspal Tipis*	7-19

Daftar Lampiran

LAMPIRAN A.	Sumbu Standar dan <i>Traffic Multiplier</i> – Lapisan Aspal.....	A-1
LAMPIRAN B.	Zona Iklim.....	B.1
LAMPIRAN C.	Modulus Lapis Berbutir dan Aspal Modifikasi.....	C-1
LAMPIRAN D.	Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Berat (HVAG).....	D-1
LAMPIRAN E.	Prosedur Penggunaan Bagan Desain - 7 Untuk Desain Jalan Tanpa Penutup Aspal	E-1
LAMPIRAN F.	Desain Bahu Jalan.....	F-1
LAMPIRAN G.	Tabel MKJI 1997 dan Contoh Perhitungan Rasio Volume / Kapasitas Jalan.....	G-1
LAMPIRAN H.	Pencatatan DCP pada Area Tanah Lunak Dangkal	H-1
LAMPIRAN I.	Sistim Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO M 145 atau ASTM D3282.....	I-1

1 PENDAHULUAN

1.1 Ruang Lingkup

Lingkup Bagian I manual ini meliputi desain perkerasan lentur dan perkerasan kaku untuk jalan baru, dan pelebaran jalan, serta menjelaskan faktor – faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan struktur perkerasan termasuk detail desain, drainase dan persyaratan konstruksi.

Manual ini melengkapi pedoman desain perkerasan PtT-01-2002-B dan Pd T-14-2003, dengan penajaman pada aspek – aspek berikut:

- a) penentuan umur rencana;
- b) *discounted lifecycle cost* yang terendah;
- c) pelaksanaan konstruksi yang praktis;
- d) efisiensi penggunaan material.

Penajaman pendekatan desain yang digunakan dalam melengkapi pedoman desain tersebut di atas adalah dalam hal-hal berikut:

- a) umur rencana optimum berdasarkan analisis *life-cycle-cost*;
- b) koreksi faktor iklim;
- c) analisis beban sumbu;
- d) pengaruh temperatur;
- e) struktur perkerasan *cement treated base*;
- f) prosedur rinci desain fondasi jalan;
- g) pertimbangan desain drainase;
- h) persyaratan analisis lapisan untuk PtT-01-2002-B;
- i) penerapan pendekatan mekanistik;
- j) katalog desain.

Manual ini membantu mencapai pemenuhan struktural dan kepraktisan konstruksi untuk kondisi beban dan iklim Indonesia.

1.2 Kebijakan Desain

Desain yang baik harus memenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut:

1. menjamin tercapainya tingkat layanan jalan sesuai umur rencana;
2. merupakan *discounted-life-cycle cost* yang terendah;
3. mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan dan pemeliharaan;
4. menggunakan material secara efisien dan memanfaatkan material lokal semaksimal mungkin;
5. mempertimbangkan faktor keselamatan jalan;
6. mempertimbangkan kelestarian lingkungan.

Kebijakan desain dalam penggunaan manual ini adalah:

1. Perencana, Pengawas Pelaksanaan dan PPK harus menerapkan kebijakan “tanpa toleransi” dalam pelaksanaan pekerjaan jalan.
2. Desain perkerasan harus mengakomodasi beban kendaraan aktual. Penggunaan beban sumbu yang terkendali (sesuai ketentuan) harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:
 - prosedur pengendalian beban sumbu sudah diterbitkan dan jangka waktu penerapannya telah disetujui oleh semua pemangku kepentingan (*stakeholders*);
 - telah ada tindakan awal penerapan kebijakan tersebut;
 - adanya kepastian bahwa kebijakan tersebut dapat dicapai.
3. Pemilihan solusi desain perkerasan didasarkan pada analisis biaya umur pelayanan (*discounted-life-cycle-cost*) terendah dengan mempertimbangkan sumber daya konstruksi.
4. Setiap jenis pekerjaan jalan harus dilengkapi dengan drainase permukaan dan drainase bawah permukaan.
5. Lapisan fondasi berbutir harus dapat mengalirkan air dengan baik.
6. Bahu jalan berpenutup (*sealed*) harus dibuat:
 - Jika alinyemen vertikal (*gradient*) jalan lebih dari 4% (potensi terhadap gerusan).
 - Pada area perkotaan.
 - Jika terdapat kerb.
 - Jika proporsi kendaraan roda dua cukup tinggi.

Bahu jalan berpenutup harus diperkeras seluruhnya dengan kekuatan minimum untuk 10% beban rencana atau sesuai dengan beban yang diperkirakan akan menggunakan bahu jalan.
7. Sistem drainase permukaan harus disediakan secara komprehensif. Drainase bawah permukaan (*subdrain*) perlu dipertimbangkan dalam hal:
 - Terjadi kerusakan akibat air pada perkerasan eksisting;
 - Terdapat aliran air ke perkerasan, seperti aliran air tanah dari galian atau saluran irigasi;
 - Galian konstruksi perkerasan segi-empat (*boxed construction*) yang tidak dilengkapi dengan drainase yang memadai untuk mengalirkan air yang terperangkap dalam galian.
8. Geotekstil yang berfungsi sebagai *separator* harus dipasang di bawah lapis penopang (*capping layer*) atau lapis drainase langsung di atas tanah lunak (tanah rawa) dengan CBR lapangan kurang dari 2% atau di atas tanah gambut.

1.3 Jenis Struktur Perkerasan

Jenis struktur perkerasan baru terdiri atas:

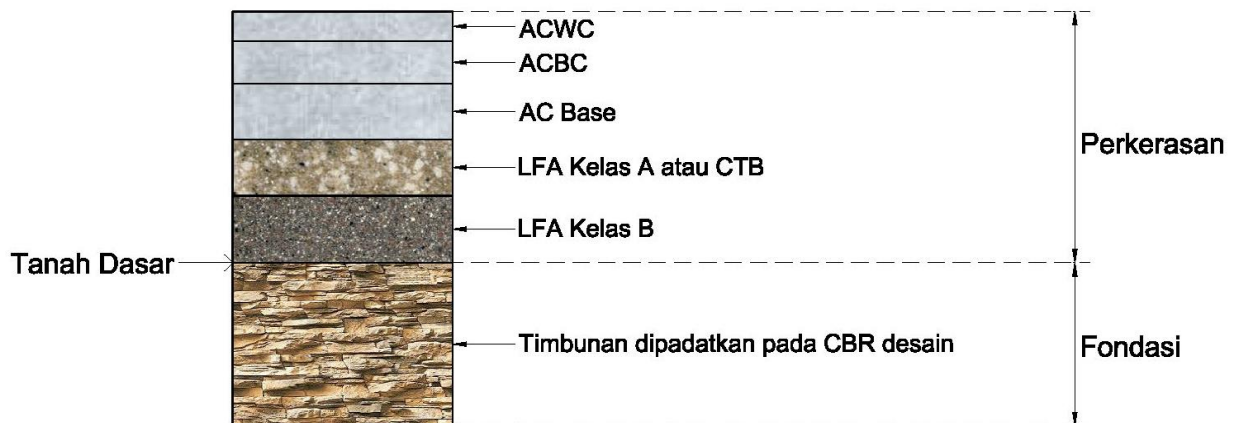
1. Perkerasan pada permukaan tanah asli.
2. Perkerasan pada timbunan.
3. Perkerasan pada galian.

Tipikal struktur perkerasan dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2. berikut ini:

1. Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli (*At Grade*)



2. Perkerasan Lentur pada Timbunan



3. Perkerasan Lentur pada Galian

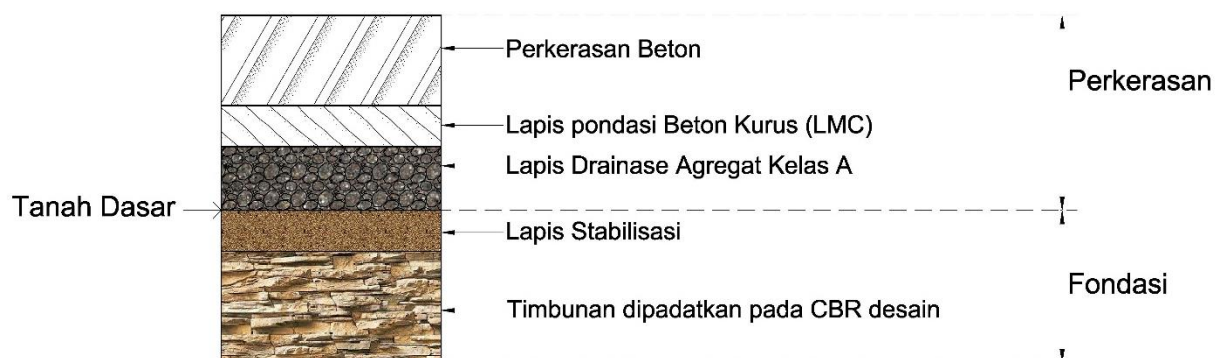


Gambar 1.1. Tipikal Struktur Perkerasan Lentur.

1. Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli (At Grade)



2. Perkerasan Kaku Pada Timbunan



3. Perkerasan Kaku Pada Galian



Gambar 1.2. Tipikal Struktur Perkerasan Kaku.

1.4 Acuan

- 1) PtT-01-2002-B Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur
- 2) Pd T-14-2003 Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen
- 3) PdT-05-2005 Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan
- 4) Austroads, Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Pavements, 2008
- 5) AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, 1993.

1.5 Istilah dan Definisi

Capping Layer (lapis penopang)

Lapisan material berbutir atau lapis timbunan pilihan yang digunakan sebagai lantai kerja dari lapis fondasi bawah, dan berfungsi untuk meminimalkan efek dari tanah dasar yang lemah ke struktur perkerasan.

Cement Treated Base (CTB)

Campuran agregat berbutir dengan semen dan air dalam proporsi tertentu, dan digunakan sebagai lapis fondasi.

Daya Dukung Karakteristik Tanah Dasar (*Characteristic Subgrade Bearing Capacity*)

Daya dukung yang mewakili keseluruhan data daya dukung dari segmen yang seragam.

Drainase Bawah Permukaan (*Sub Surface Drainage*)

Sistem drainase yang dipasang di bawah perkerasan dengan tujuan untuk menurunkan muka air tanah atau mengalirkan air yang merembes melalui perkerasan.

Discounted Life-cycle Cost

Biaya konstruksi, pemeliharaan dan pengoperasian jalan yang dihitung ke nilai sekarang (*present value*) dengan nilai bunga (*discounted rate*) yang disetujui.

Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Suatu faktor yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan perkerasan yang diakibatkan satu lintasan kendaraan tertentu relatif terhadap kerusakan yang ditimbulkan satu lintasan beban sumbu standar dalam satuan setara beban gandar standar (*equivalent standard axle load, ESA*).

Heavy Patching (penambalan berat)

Penanganan bagian jalan yang cukup luas yang mengalami rusak berat dengan cara membongkar bagian yang rusak dan menggantinya dengan perkerasan baru hingga kedalaman penuh.

Koefisien Variasi

Standar deviasi dari sekumpulan data dibagi nilai rata-rata, digunakan untuk mengukur keseragaman kumpulan data.

Beton Kurus (*Lean Mix Concrete, LMC*)

Campuran material berbutir dan semen dengan kadar semen yang rendah. Digunakan sebagai bagian dari lapis fondasi perkerasan beton.

Tanah Dasar (*Subgrade*)

Permukaan tanah asli atau permukaan galian atau permukaan timbunan yang dipadatkan dan merupakan dasar untuk perletakan struktur perkerasan di atasnya.

Segmen Seragam (*Homogenous Section*)

Bagian dari jalan dengan daya dukung tanah dasar atau lendutan yang seragam, dibatasi dengan koefisien variasi 25% ~ 30%.

Traffic Multiplier (TM)

Faktor yang digunakan untuk mengoreksi jumlah pengulangan beban sumbu (ESA) pangkat empat menjadi nilai faktor pangkat lainnya yang dibutuhkan untuk desain mekanistik dengan *software*. Contoh: untuk mendapatkan ESA5 (kelelahan lapis aspal) dari nilai ESA4 gunakan $ESA5 = (TM) \times ESA4$.

Tied Shoulder

Bahu jalan yang terbuat dari pelat beton yang tersambung dengan tepi luar pelat beton lajur perkerasan melalui batang pengikat (*tie bar*), atau berupa lajur perkerasan yang diperlebar dan menyatu dengan lajur lalu lintas selebar 500 – 600 mm (*widened concrete slab*). Bahu beton juga berfungsi memberikan dukungan lateral terhadap beban roda pada tepi perkerasan.

1.6 Simbol dan Singkatan

AASHTO	Association of American State Highway and Transportation Officials
AC	Asphaltic Concrete
AC BC	Asphaltic Concrete Binder Course
AC WC	Asphaltic Concrete Wearing Course
AC Base	Asphaltic Concrete Base Course
Austrroads	Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities
BB	Benkelman Beam
CBR	California Bearing Ratio
CESA	Cumulative Equivalent Standard Axles
CIRCLY	Australian mechanistic design software programme used by Austrroads 2004
CTB	Cement Treated Base
DBST	Double Bituminous Surface Treatment (BURDA)
DCP	Dynamic Cone Penetrometer
ESA4	Equivalent Standard Axle – Pangkat 4
ESA5	Equivalent Standard Axle for Asphalt (Pangkat 5)
FWD	Falling Weight Deflectometer
GMP	General Mechanistic Procedure (prosedur desain perkerasan secara mekanistik)
HVAG	Heavy Vehicle Axle Group
IP	Indeks Plastisitas
IRI	International Roughness Index
IRMS	Indonesian Road Management System
LFA	Lapis Fondasi Atas
L _{ij}	beban dari suatu kelompok sumbu
LMC	Lean Mix Concrete
MAPT	Mean Annual Pavement Temperature
MDD	Maximum Dry Density
MKJI	Manual Kapasitas Jalan Indonesia
OMC	Optimum Moisture Content

ORN	Overseas Road Note
PI	Penetration Index
RVK	Rasio Volume Kapasitas
S_{mix}	Kekakuan Campuran Beraspal (definisi Shell Pavement Design Method)
SBST	Single Bituminous Surface Treatment (BURTU)
SDPJL	Software Desain Perkerasan Jalan Lentur
SG2	Subgrade dengan CBR 2%
SMA	Split Mastic Asphalt
$TM_{asphalt}$	Traffic Multiplier untuk desain lapisan beraspal
V_b	Volume aspal dalam campuran beraspal
VDF	Vehicle Damage Factor
WPI	Weighted Plasticity Index
$\mu\epsilon$	microstrain

2 UMUR RENCANA

Umur rencana perkerasan baru dinyatakan pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR).

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾ .	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan.	
	<i>Cement Treated Based</i> (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Catatan :

1. Jika dianggap sulit untuk menggunakan umur rencana di atas, maka dapat digunakan umur rencana berbeda, namun sebelumnya harus dilakukan analisis dengan *discounted lifecycle cost* yang dapat menunjukkan bahwa umur rencana tersebut dapat memberikan *discounted lifecycle cost* terendah. Nilai bunga diambil dari nilai bunga rata-rata dari Bank Indonesia, yang dapat diperoleh dari <http://www.bi.go.id/web/en/Moneter/BI+Rate/Data+BI+Rate/>.
2. Umur rencana harus memperhitungkan kapasitas jalan.

3 PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Batasan pada Tabel 3.1 tidak mutlak, perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah.

Tabel 3.1. Pemilihan Jenis Perkerasan.

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 - 10	>10 – 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR $\geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1, 2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	1, 2	1, 2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3A	-	1, 2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LFA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Catatan:

Tingkat kesulitan:

1 - kontraktor kecil – medium;

2 - kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;

3 - membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus – kontraktor spesialis Burtu / Burda.

3.1 Sumber Daya Setempat dan Nilai Pekerjaan

Sumber daya setempat dan nilai pekerjaan akan menentukan pilihan jenis perkerasan. Kontraktor lokal pada umumnya mempunyai sumber daya setempat yang terbatas sehingga mungkin hanya mampu menangani jenis dan kelas pekerjaan yang terbatas pula. Pekerjaan kecil mungkin tidak akan diminati oleh kontraktor besar. Dengan demikian, penanganan perkerasan yang sederhana dapat dikerjakan oleh kontraktor kecil. Sedangkan penanganan perkerasan yang kompleks dikerjakan oleh kontraktor besar.

3.2 Perkerasan Aspal Beton dengan Cement Treated Base (CTB)

Untuk jalan yang melayani lalu lintas sedang dan berat dapat dipilih lapis fondasi CTB karena dapat menghemat secara signifikan dibandingkan dengan lapis fondasi berbutir. Biaya perkerasan dengan lapis fondasi CTB pada umumnya lebih murah daripada perkerasan beraspal konvensional dengan lapis fondasi berbutir untuk beban sumbu antara 10 – 30 juta ESA, tergantung pada harga setempat dan kemampuan kontraktor. CTB dapat menghemat penggunaan aspal dan material berbutir, dan kurang sensitif terhadap air dibandingkan dengan lapis fondasi berbutir.

LMC (*Lean Mix Concrete*) dapat digunakan sebagai pengganti CTB, dan akan memberikan kemudahan pelaksanaan di area kerja yang sempit misalnya pekerjaan pelebaran perkerasan atau pekerjaan pada daerah perkotaan.

Kendaraan bermuatan berlebihan merupakan kondisi nyata yang harus diantisipasi. Beban yang demikian dapat menyebabkan keretakan sangat dini pada lapis CTB. Oleh sebab itu desain CTB hanya didasarkan pada nilai modulus kekakuan CTB (*stiffness modulus*) pada tahap *post fatigue cracking* tanpa mempertimbangkan umur *pre-fatigue cracking*.

Konstruksi CTB membutuhkan kontraktor yang kompeten dengan sumber daya peralatan yang memadai. Perkerasan CTB hanya dipilih jika sumber daya yang dibutuhkan tersedia.

Ketebalan lapisan aspal dan CTB yang diuraikan pada Bagan Desain - 3 ditetapkan untuk mengurangi retak reflektif dan untuk memudahkan konstruksi.

CTB harus dilaksanakan dalam satu lapisan, tidak boleh dibuat dalam beberapa lapisan.

3.3 Perkerasan Beton Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

Perkerasan aspal beton dengan lapis fondasi CTB cenderung lebih murah daripada dengan lapis fondasi berbutir untuk beban sumbu antara 10 -- 30 juta ESA5, namun kontraktor yang memiliki sumber daya untuk melaksanakan CTB adalah terbatas. Bagan Desain - 3B menunjukkan desain perkerasan aspal dengan lapis fondasi berbutir untuk beban hingga 200 juta ESA5.

3.4 Perkerasan Beton Aspal dengan Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi (SBS) direkomendasikan digunakan untuk lapis aus (*wearing course*) pada jalan dengan repetisi lalu lintas selama 20 tahun > 10 juta ESA5. Tujuan penggunaan aspal modifikasi adalah untuk memperpanjang umur pelayanan, umur *fatigue* dan ketahanan deformasi lapis permukaan akibat beban lalu lintas berat.

Aspal modifikasi hanya boleh digunakan jika sumber daya untuk pencampuran dan penyimpanan secara benar tersedia.

3.5 Lapis Aus Tipe SMA (Split Mastik Aspal)

Penggunaan lapis aus tipe SMA dengan aspal modifikasi hanya bisa dipertimbangkan jika agregat berbentuk kubikal dengan gradasi dan kualitas yang memenuhi persyaratan campuran SMA tersedia.

3.6 Lapis Fondasi dengan Aspal Modifikasi

Prosedur desain mekanistik dapat digunakan untuk menilai sifat lapis fondasi (*AC-Base*) yang menggunakan aspal modifikasi. Desain yang dihasilkan dapat digunakan apabila didukung oleh analisis *discounted lifecycle cost*.

3.7 Perkerasan Kaku

Discounted lifecycle cost perkerasan kaku umumnya lebih rendah untuk jalan dengan beban lalu lintas lebih dari 30 juta ESA4. Pada kondisi tertentu perkerasan kaku dapat dipertimbangkan untuk jalan perkotaan dan pedesaan.

Dibutuhkan kecermatan pada desain perkerasan kaku di atas tanah lunak atau kawasan lainnya yang berpotensi menghasilkan pergerakan struktur yang tidak seragam. Untuk daerah tersebut, perkerasan lentur akan lebih murah karena perkerasan kaku membutuhkan fondasi jalan yang lebih tebal dan penulangan.

Keuntungan perkerasan kaku antara lain adalah:

- Struktur perkerasan lebih tipis kecuali untuk area tanah lunak.
- Pelaksanaan konstruksi dan pengendalian mutu lebih mudah.
- Biaya pemeliharaan lebih rendah jika mutu pelaksanaan baik.
- Pembuatan campuran lebih mudah.

Kerugiannya antara lain:

- Biaya konstruksi lebih mahal untuk jalan dengan lalu lintas rendah.
- Rentan terhadap retak jika dilaksanakan di atas tanah lunak, atau tanpa daya dukung yang memadai, atau tidak dilaksanakan dengan baik (mutu pelaksanaan rendah).
- Umumnya kurang nyaman berkendara.

3.8 Perkerasan Kaku Untuk Lalu Lintas Rendah

Untuk beban lalu lintas ringan sampai sedang, perkerasan kaku akan lebih mahal dibandingkan perkerasan lentur, terutama di daerah pedesaan atau perkotaan tertentu yang pelaksanaan konstruksi jalan tidak begitu mengganggu lalu lintas.

Perkerasan kaku dapat menjadi pilihan yang lebih murah untuk jalan perkotaan dengan akses terbatas bagi kendaraan yang sangat berat. Pada area yang terbatas, pelaksanaan perkerasan kaku akan lebih mudah dan cepat daripada perkerasan lentur.

3.9 Perkerasan Tanpa Penutup (Jalan Kerikil)

Perkerasan tanpa penutup (jalan kerikil) khusus untuk beban lalu lintas rendah (≤ 500.000 ESA4). Tipe perkerasan ini dapat juga diterapkan pada konstruksi secara bertahap di daerah yang rentan terhadap penurunan (*settlement*).

3.10 Pelebaran Jalan dan Penambalan (*Heavy Patching*)

Pada pelebaran jalan dan penambalan berat, sebaiknya dipilih struktur perkerasan yang sama dengan perkerasan eksisting. Perlu diberikan perhatian khusus agar kemampuan lapisan-lapisan berbutir eksisting dan lapisan berbutir baru untuk mengalirkan air tidak terganggu.

Jika perkerasan kaku digunakan untuk pelebaran perkerasan lentur di atas tanah lunak, sebaiknya pelebaran dilakukan satu lajur penuh, karena akan memudahkan pemeliharaan sambungan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

Pelebaran jalan sebaiknya dijadwalkan bersamaan dengan rencana rekonstruksi. Umur rencana untuk pelebaran termasuk *overlay* terjadwal mengacu pada Tabel 2.1.

3.11 Perkerasan pada Lahan Gambut

Konstruksi jalan di atas tanah gambut harus menggunakan perkerasan lentur. Perkerasan kaku tidak sesuai jika digunakan di atas tanah gambut karena masalah keseragaman daya dukung dan penurunan yang besar. Untuk membatasi dampak penurunan yang tak seragam dianjurkan untuk menggunakan konstruksi bertahap dan penanganan khusus.

3.12 Pelaburan (*Surface Dressing*) di Atas Lapis Fondasi Berbutir

Burda atau Burtu (*Surface dressing*) sangat tepat biaya jika dilaksanakan dengan tepat mutu. Namun masih sedikit kontraktor yang mampu dan memiliki sumber daya peralatan untuk melaksanakan pelaburan permukaan perkerasan dengan benar. Dibutuhkan peningkatan kapasitas dan kompetensi kontraktor untuk dapat menerapkan teknologi ini secara andal.

3.13 HRS-WC Tebal ≤ 50 mm di Atas Lapis Fondasi Berbutir

HRS-WC tebal ≤ 50 mm di atas Lapis Fondasi Berbutir merupakan solusi yang tepat biaya untuk jalan baru atau rekonstruksi dengan beban lalu lintas sedang (< 1 juta ESA5) tetapi membutuhkan kualitas konstruksi yang tinggi khususnya untuk LFA Kelas A (Solusi ini kurang efektif dari segi biaya namun jumlah kontraktor yang kompeten melaksanakannya lebih banyak daripada pilihan sub-bab 3.12).

3.14 Lapis Fondasi *Soil Cement*

Soil cement dapat digunakan di daerah dengan keterbatasan material berbutir atau kerikil, atau jika biaya stabilisasi tanah lebih menguntungkan. Batasan tebal lapisan yang diuraikan di dalam bagan desain dan batasan kadar semen diperlukan untuk membatasi retak.

3.15 Jenis Penanganan pada Pelebaran

Pelebaran jalan harus dijadwalkan bersamaan dengan jadwal penanganan rekonstruksi/*overlay*. Umur rencana pelebaran dengan *overlay* yang terjadwal mengacu pada Tabel 2.1. Jenis perkerasan pada umumnya sama dengan perkerasan eksisting. Perkerasan kaku dapat dibuat berdekatan dengan perkerasan lentur di atas tanah biasa namun tidak untuk perkerasan di atas tanah lunak.

4 LALU LINTAS

4.1 Analisis Volume Lalu Lintas

Parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas pada tahun survei yang selanjutnya diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah:

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

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari:

1. Survei lalu lintas, dengan durasi minimal 7 x 24 jam¹. Survei dapat dilakukan secara manual mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) atau menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama.
2. Hasil-hasil survei lalu lintas sebelumnya.
3. Nilai perkiraan dari butir 4.10 untuk jalan dengan lalu lintas rendah.

Dalam analisis lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Penentuan nilai LHRT didasarkan pada data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan faktor k.

Perkiraan volume lalu lintas harus dilaksanakan secara realistis. Rekayasa data lalu lintas untuk meningkatkan justifikasi ekonomi tidak boleh dilakukan untuk kepentingan apapun. Jika terdapat keraguan terhadap data lalu lintas maka perencana harus membuat survei cepat secara independen untuk memverifikasi data tersebut.

4.2 Data Lalu Lintas

Akurasi data lalu lintas penting untuk menghasilkan desain perkerasan yang efektif. Data harus meliputi semua jenis kendaraan komersial. Apabila diketahui atau diduga terdapat kesalahan data, harus dilakukan penghitungan lalu lintas khusus sebelum perencanaan akhir dilakukan.

4.3 Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B). Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis.

¹Durasi kurang dari 7 x 24 jam dapat dilakukan untuk jalan dengan lalu lintas rendah seperti dinyatakan dalam Tabel 4.6.

4.4 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data–data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka Tabel 4.1. dapat digunakan (2015 – 2035).

Tabel 4.1. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*):

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (4.1)$$

Dengan R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)
 UR = umur rencana (tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan *i*₁% selama periode awal (UR₁ tahun) dan *i*₂% selama sisa periode berikutnya (UR – UR₁), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut:

$$R = \frac{(1+0,01 i_1)^{UR_1}-1}{0,01 i_1} + (1 + 0,01 i_1)^{(UR_1-1)}(1 + 0,01 i_2) \left\{ \frac{(1+0,01 i_2)^{(UR-UR_1)}-1}{0,01 i_2} \right\} \quad (4.2)$$

Dengan R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
*i*₁ = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1 (%)
*i*₂ = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2 (%)
 UR = total umur rencana (tahun)
 UR₁ = umur rencana periode 1 (tahun)

Formula di atas digunakan untuk periode rasio volume kapasitas (RVK) yang belum mencapai tingkat kejenuhan (RVK ≤ 0.85).

Apabila kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (*Q*) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+0,01 i)^Q-1}{0,01 i} + (UR - Q) (1 + 0,01 i)^{(Q-1)} \quad (4.3)$$

Pengaruh Pengalihan Lalu Lintas (*Traffic Diversion*)

Analisis lalu lintas harus memperhatikan faktor pengalihan lalu lintas yang didasarkan pada jaringan jalan dan harus memperhitungkan proyeksi peningkatan kapasitas ruas jalan eksisting dan pembangunan ruas jalan baru.

4.5 Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL).

Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Pada jalan yang demikian, walaupun sebagian besar kendaraan niaga akan menggunakan lajur luar, sebagian lainnya akan menggunakan lajur-lajur dalam. Faktor distribusi jalan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu Permen PU No.19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan rasio antara volume dan kapasitas jalan yang harus dipenuhi.

Tabel 4.2. Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

4.6 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana.

Desain yang akurat memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang akurat pula. Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilaksanakan dengan baik merupakan dasar perhitungan ESA yang andal. Oleh sebab itu, survei beban gandar harus dilakukan apabila dimungkinkan.

Ketentuan pengumpulan data beban gandar ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Pengumpulan Data Beban Gandar

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

*Data beban gandar dapat diperoleh dari:

1. Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM (survei langsung).
2. Survei beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernah dilakukan dan dianggap cukup representatif.
3. Data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga.

Timbangan survei beban gandar yang menggunakan sistem statis harus mempunyai kapasitas beban roda (tunggal atau ganda) minimum 18 ton atau kapasitas beban sumbu tunggal minimum 35 ton.

Kondisi beban faktual yang belum terkendali diasumsikan berlangsung hingga tahun 2020. Setelah tahun 2020, diasumsikan beban kendaraan sudah terkendali dengan beban sumbu nominal terberat (MST) 12 ton. Namun demikian, untuk keperluan desain, Direktorat Jenderal Bina Marga dapat menentukan waktu penerapan efektif beban terkendali tersebut setiap waktu.

Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 dapat digunakan untuk menghitung ESA.

Tabel 4.4 menunjukkan nilai VDF regional masing-masing jenis kendaraan niaga yang diolah dari data studi WIM yang dilakukan Ditjen Bina Marga pada tahun 2012 – 2013. Data tersebut perlu diperbarui secara berkala sekurang-kurangnya setiap 5 tahun.

Apabila survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga, dapat digunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan menurut Tabel 4.5.

Untuk periode beban faktual (sampai tahun 2020), digunakan nilai VDF beban nyata. Untuk periode beban normal (terkendali) digunakan VDF dengan muatan sumbu terberat 12 ton.

Perkiraan beban gandar kawasan dengan lalu lintas rendah dapat mengacu Tabel 4.6.

Tabel 4.4. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	8,0	11,9	6,5	8,8
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Tabel 4.5. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu		Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan ² yang diangkut	2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	muatan umum	2	3,9	5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	11.2	tanah, pasir, besi, semen	2			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.222		2	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22		3	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-22		3	0,7	1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222		3			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222		3	0,3	0,50	41,6	93,7

Catatan: Data didasarkan pada survei beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa – 2011. Lihat survei WIM 2011 untuk informasi lebih lanjut.

² Perhitungan lalu lintas untuk desain perkerasan harus meliputi semua kelas kendaraan dalam daftar dengan sub-kelompok muatan seperti yang dicantumkan.

Khusus untuk jalan di kawasan industri, pelabuhan besar, *quarry* dan pertambangan disarankan menggunakan nilai VDF yang dihitung berdasarkan data survey penimbangan beban gandar tersendiri.

4.7 Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Berdasarkan pedoman desain perkerasan kaku (Pd T-14-2003), beban lalu lintas desain didasarkan pada distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga (*heavy vehicle axle group*, HVAG) dan bukan pada nilai ESA. Karakteristik proporsi sumbu dan proporsi beban setiap kelompok sumbu dapat menggunakan data hasil survey jembatan timbang atau mengacu pada Lampiran D.

4.8 Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan sebagai berikut:

Menggunakan VDF masing-masing kendaraan niaga

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (4.4)$$

- Dengan ESA_{TH-1} : kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama.
- LHR_{JK} : lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari).
- VDF_{JK} : Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga Tabel 4.4. dan Tabel 4.5.
- DD : Faktor distribusi arah.
- DL : Faktor distribusi lajur (Tabel 4.2).
- $CESAL$: Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana.
- R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif (subbab 4.4)

4.9 Contoh Perhitungan

Suatu ruas jalan baru (2-lajur 2-arah) yang dibangun di Pulau Sumatera direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2018. Data lalu lintas harian yang digunakan untuk perencanaan diperoleh dari survei pada tahun 2015 adalah sebagai berikut:

Jenis kendaraan	Lintas Harian Rata-rata (2 arah)
Mobil penumpang dan kendaraan ringan lain	1810
5B	88
6B	980
7A1	10
7A2	280
7C1	14
7C2A	8
7C2B	4
7C3	14

Hitung kumulatif beban (ESA4 & ESA5) untuk umur rencana 20 tahun (2018 – 2037) dengan menggunakan VDF berdasarkan Tabel 4.4. dan angka pertumbuhan lalu lintas regional seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Penyelesaian:

Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun 4,83 % (Tabel 4.1). Data awal 2015; tahun pertama setelah pembukaan untuk lalu lintas 2018 (3 tahun setelah 2015); permulaan periode beban normal MST 12 ton tahun 2021 (6 tahun setelah 2015).

$$(3) = (2) \times (1+0.0483)^3$$

$$(4) = (2) \times (1+0,0483)^6$$

(5), (6), (7) & (8) dari Tabel 4.4.

$$(9) = (3) \times (5) \times 365 \times 0,50 \times 1 \times R_{(2018-2020)}^*$$

$$(10) = (4) \times (6) \times 365 \times 0,50 \times 1 \times R_{(2021-2037)}$$

$$(11) = (3) \times (7) \times 365 \times 0,50 \times 1 \times R_{(2018-2020)}^*$$

$$(12) = (4) \times (8) \times 365 \times 0,50 \times 1 \times R_{(2021-2037)}$$

* Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas $R_{(2018-2020)}$ dan $R_{(2021-2037)}$ dihitung dari formula $R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i}$ dengan UR masing-masing sama dengan 3 dan 17 tahun.

$$R_{(2018-2020)} = 3.147; R_{(2021-2037)} = 25,461$$

Perkiraan Kumulatif Beban Lalu Lintas ESA4 & ESA5

Jenis kendaraan	Lintas Harian Rata-rata (2 arah) 2015	LHR 2018	LHR 2021	VDF4 faktual	VDF4 normal	VDF5 faktual	VDF5 normal	ESA4 (‘18-‘20)	ESA4 (‘21-‘37)	ESA5 (‘18-‘20)	ESA5 (‘21-‘37)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Mobil penumpang dan kendaraan ringan lain	1810	2085	2402	-	-	-	-	-	-	-	-
5B	88	101	117	1.0	1.0	1,0	1,0	5.8E+04	5.4E+05	5.8.E+04	5.4.E+05
6B	980	1129	1301	4.5	3.4	7,4	4,6	2.9E+06	2.1E+07	4.8.E+06	2.8.E+07
7A1	10	12	13	10.1	5.4	18,4	7,4	6.7E+04	3.3E+05	1.2.E+05	4.6.E+05
7A2	280	323	372	10.5	4.3	20,0	5,6	1.9E+06	7.4E+06	3.7.E+06	9.7.E+06
7C1	14	16	19	15.9	7.0	29,5	9,6	1.5E+05	6.0E+05	2.7.E+05	8.3.E+05
7C2A	8	9	11	19.8	6.1	39,0	8,1	1.0E+05	3.0E+05	2.1.E+05	4.0.E+05
7C2B	4	5	5	20.7	6.1	42,8	8,0	5.5E+04	1.5E+05	1.1.E+05	2.0.E+05
7C3	14	16	19	24.5	6.4	51,7	8,0	2.3E+05	5.5E+05	4.8.E+05	6.9.E+05
Jumlah ESA								5.5E+06	3.05E+07	3.05E+07	4.1.E+07
CESA								36.0E+06		50.0E+06	
								CESA4		CESA5	

4.10 Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah

Pada daerah dengan lalu lintas rendah, jika data lalu lintas tidak tersedia atau diperkirakan terlalu rendah maka Tabel 4.6. dapat digunakan:

Tabel 4.6. Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah.

Deskripsi Jalan	LHR dua arah (kend/hari)	Kendaraan berat (% dari lalu lintas)	Umur Rencana (th)	Pertumbuhan Lalu Lintas (%)	Faktor Pengali Pertumbuhan kumulatif lalu lintas	Kelompok Sumbu/ Kendaraan Berat	Kumulatif HVAG (kelompok sumbu)	Faktor ESA/HVAG	Beban Lalu lintas desain (aktual) (ESA4)
Jalan desa minor dengan akses kendaraan berat terbatas	30	3	20	1	22	2	14.454*	3,16	$4,5 \times 10^4$
Jalan kecil dua arah	90	3	20	1	22	2	21.681	3,16	7×10^4
Jalan lokal	500	6	20	1	22	2,1	252.945	3,16	8×10^5
Akses lokal daerah industri atau <i>quarry</i>	500	8	20	3.5	28,2	2,3	473.478	3,16	$1,5 \times 10^6$
Jalan kolektor	2000	7	20	3.5	28,2	2,2	1.585.122	3,16	5×10^6

5 DRAINASE PERKERASAN

5.1 Umum

Drainase bawah permukaan (*sub surface pavement drainage*) harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

- Seluruh lapis fondasi bawah (*subbase*) harus dapat mengalirkan air atau cukup *permeable*.
- Desain pelebaran perkerasan harus memastikan bahwa air dari lapis granular terbawah perkerasan eksisting dapat dialirkan dengan baik.
- Lintasan drainase yang kurang dari 500 mm dari tepi luar lapis granular ke tepi *verge* timbunan dapat mengalirkan air.
- *French drains* dalam arah melintang pada setiap titik terendah arah memanjang dan setiap 10 m dianggap dapat mengalirkan air dari lapis fondasi bawah.
- Jika lapis fondasi bawah lebih rendah dari ketinggian tanah disekitarnya, maka harus dipasang *subdrain* (apabila memungkinkan hindari kondisi seperti ini dengan membuat desain geometrik yang baik).
- Jika *subdrain* tidak tersedia, atau jika muka air tanah lebih tinggi dari 600 mm di bawah tanah dasar, maka sesuaikan tebal lapisan berbutir dengan menggunakan nilai faktor “m” sesuai dengan klausul 2.4.1 dari AASHTO Pavement Design Guide 1993 dan Tabel 5.2.
- *Subdrain* harus dibuat berdekatan dengan saluran U atau struktur lain yang berpotensi menghalangi aliran air dari setiap lapisan fondasi bawah. Sulingan pada dinding saluran tepi tidak dapat diandalkan untuk berfungsi sebagai *subdrain*.
- *Subdrain* harus dipasang dengan kemiringan seragam tidak kurang dari 0.5% untuk memastikan bahwa air dapat bebas mengalir melalui *subdrain* ke titik-titik pembuangan. Selain itu, harus disediakan akses untuk memudahkan pembersihan *subdrain* pada interval jarak tidak lebih dari 60 m. Level *inlet* dan *outlet subdrain* harus lebih tinggi dari level banjir
- Untuk jalan dengan median pemisah, sistim *subdrain* pada median harus dibuat jika kemiringan permukaan jalan mengarah ke median (pada superelevasi).

Perencana perkerasan harus menjelaskan kriteria drainase perkerasan kepada perencana drainase dan harus memastikan bahwa drainase yang dikehendaki diuraikan dengan jelas pada gambar rencana.

5.1.1 Dampak drainase perkerasan terhadap lapisan perkerasan.

Secara umum perencana harus menerapkan desain yang dapat menghasilkan “faktor m” $\geq 1,0$ kecuali jika kondisi di lapangan tidak memungkinkan. Apabila drainase bawah permukaan tidak dapat disediakan maka tebal lapis fondasi agregat harus disesuaikan dengan menggunakan nilai koefisien drainase “m” sesuai ketentuan AASHTO 1993 atau Pt T-01-2002B.

Bagan desain yang dalam manual ini ditetapkan dengan asumsi bahwa drainase berfungsi dengan baik. Apabila kondisi drainase menyebabkan nilai m lebih kecil dari 1 maka tebal lapis

fondasi agregat seperti tercantum dalam bagan desain harus dikoreksi menggunakan formula berikut:

$$Tebal\ desain\ lapis\ pondasi\ agregat = \frac{\text{(tebal berdasarkan perhitungan atau bagan desain)}}{m} \quad (5.1)$$

Dalam proses desain, penggunaan koefisien drainase m yang lebih besar dari 1 tidak digunakan kecuali jika ada kepastian bahwa mutu pelaksanaan untuk mencapai kondisi tersebut dapat dipenuhi.

5.2 Tinggi Minimum Timbunan Untuk Drainase Perkerasan

Tinggi minimum permukaan tanah dasar di atas muka air tanah dan level muka air banjir adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Tinggi Minimum Tanah Dasar di Atas Muka Air Tanah dan Muka Air Banjir

Kelas Jalan (berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan)	Tinggi tanah dasar di atas muka air tanah (mm)	Tinggi tanah dasar di atas muka air banjir (mm)
Jalan Bebas Hambatan	1200 (jika ada drainase bawah permukaan di median)	500 (banjir 50 tahunan)
	1700 (tanpa drainase bawah permukaan di median)	
Jalan Raya	1200 (tanah lunak jenuh atau gambut tanpa lapis drainase) 800 (tanah lunak jenuh atau gambut dengan lapis drainase) 600 (tanah dasar normal)	
Jalan Sedang	600	500 (banjir 10 tahunan)
Jalan Kecil	400	NA

Apabila timbunan terletak di atas tanah jenuh air sedangkan ketentuan tersebut di atas tidak dapat dipenuhi maka harus disediakan lapis drainase (*drainage blanket layer*). Lapisan tersebut berfungsi untuk mencegah terjadinya perembesan material halus tanah lunak ke dalam lapis fondasi (*subbase*). Kontribusi daya dukung lapis drainase terhadap daya dukung struktur perkerasan tidak diperhitungkan.

Tabel 5.2. Koefisien Drainase 'm' Untuk Tebal Lapis Berbutir

Kondisi lapangan (digunakan untuk pemilihan nilai m yang sesuai)	nilai 'm' untuk design	Detail Tipikal
1. Galian dengan drainase bawah permukaan yang ideal (outlet drainase bawah permukaan selalu di atas muka air banjir)	1.0	
2. Timbunan dengan lapis pondasi bawah menerus sampai bahu jalan (day-lighting) (tidak terkena banjir)	1.0	
3. Timbunan dengan tepi permeabilitas rendah dan lapis pondasi bawah berbentuk kotak.	1.0	
4. Galian pada permukaan tanah atau timbunan tanpa drainase bawah permukaan dan permeabilitas rendah pada pinggir > 500 mm. Gunakan 0,9 jika ≤ 500 mm	0.7	
5. Tanah dasar jenuh air secara permanen selama musim hujan dan tidak teralir. Tidak ada sistim outlet. Kententuan lapisan penopang (capping layer) dapat digunakan.	0.4	

Sumber : RTA

6 DESAIN FONDASI JALAN

6.1 Pendahuluan

Bab ini membahas desain perbaikan tanah dasar, lapis penopang, *micro piling* (cerucuk), drainase vertikal, pra-pembebanan dan berbagai penanganan lain yang diperlukan untuk membentuk perletakkan (*platform*) pendukung struktur perkerasan lentur dan kaku, baik untuk kondisi tanah biasa maupun tanah lainnya yang lazim ditemui di Indonesia.

Tiga faktor terpenting di dalam desain perkerasan adalah lalu lintas, tanah dasar dan pengaruh air. Selain itu, pada kasus perkerasan yang harus dibangun di kawasan dengan tanah bermasalah seperti gambut dan tanah lunak, karakteristik tanah bersangkutan merupakan faktor yang sangat penting karena analisis tanah dasar biasa tidak dapat menghasilkan perkerasan dengan kinerja yang diharapkan. Analisis lalu lintas dibahas di dalam Bab 4. Upaya pengendalian pengaruh air diuraikan pada Bab 5.

Pada perkerasan dengan lapisan beraspal tipis, kesalahan kecil dalam evaluasi tanah dasar dapat menyebabkan pengurangan masa pelayanan menjadi hanya satu per sepuluh masa pelayanan yang direncanakan. Untuk perkerasan dengan lapis beraspal tebal, walaupun jumlah pengurangan masa pelayanan tidak sebesar itu tetapi pengurangan yang terjadi masih cukup berarti. Oleh sebab itu, penentuan daya dukung tanah dasar secara akurat dan desain fondasi perkerasan merupakan syarat penting untuk menghasilkan perkerasan berkinerja baik. Dari segi pelaksanaan, persiapan tanah dasar yang benar mutlak dilakukan dan dengan demikian harus menjadi perhatian kontraktor pelaksanaan dan pengawas lapangan.

6.2 Pengujian

6.2.1 Pengujian daya dukung dan asumsi-asumsi

Spesifikasi umum pelaksanaan menetapkan bahwa lapisan tanah yang lebih dalam dari 30 cm di bawah elevasi tanah dasar harus dipadatkan sampai 95% kepadatan kering maksimum. Hingga kedalaman 30 cm dari elevasi tanah dasar tanah dipadatkan hingga 100% kepadatan kering maksimum (SNI 03-1742-1989).

Untuk desain, daya dukung rencana tanah dasar diperoleh dari nilai CBR rendaman 4 hari pada 95% kepadatan standar kering maksimum. Bagan Desain - 1 menunjukkan indikasi daya dukung berbagai jenis tanah. Nilai yang disajikan hanya digunakan sebagai acuan awal. Pengujian daya dukung harus dilakukan untuk mendapatkan nilai CBR yang sebenarnya. Bagan tersebut mengindikasikan bahwa kondisi setempat mempengaruhi daya dukung tanah dasar. Fakta tersebut harus dipertimbangkan apabila kondisi yang tidak mendukung tersebut ditemui di lapangan.

Berdasarkan kriteria-kriteria pada bagan tersebut, tanah dasar yang lazim ditemui di Indonesia mempunyai nilai CBR sekitar 4% bahkan dapat serendah 2%.

Prosedur pengambilan contoh dan pengujian yang sesuai dengan kondisi lapangan harus diperhatikan. Dalam hal tanah lunak kepadatan berdasarkan standar pengujian laboratorium tidak mungkin dicapai di lapangan. Dengan demikian nilai CBR laboratorium untuk tanah lunak menjadi tidak relevan.

6.2.2 Pengukuran daya dukung dengan DCP (*Dynamic cone penetration test*)

Pengujian daya dukung dengan DCP tidak memberikan hasil dengan tingkat ketelitian yang sama dengan pengujian di laboratorium. Pengujian DCP hanya dilakukan pada kondisi berikut:

- a. Tanah rawa jenuh air sehingga tidak mungkin dapat dipadatkan sehingga pengujian CBR laboratorium menjadi tidak relevan. Dalam hal ini nilai CBR yang diperoleh dari pengujian DCP memberikan nilai yang lebih dapat diandalkan. Pengujian DCP juga digunakan untuk menentukan kedalaman tanah lunak (Lampiran H). Pengujian penetrometer atau piezometer juga dapat digunakan.
- b. Pada kawasan tanah aluvial kering, khususnya daerah persawahan, kemungkinan terdapat lapisan dengan kepadatan rendah (antara 1200 – 1500 kg/m³) di bawah permukaan tanah yang kering. Pengujian DCP harus dilakukan untuk memastikan kondisi faktual terbasah di lapangan dan harus diperhitungkan dalam desain. Untuk keamanan, dalam proses desain harus diasumsikan bahwa lapisan tersebut jenuh selama musim penghujan.

Nilai modulus tanah dasar yang diperoleh dari DCP harus disesuaikan dengan kondisi musim. Faktor penyesuaian minimum ditunjukkan pada Tabel 6.1.

Setelah penyesuaian harus diingat bahwa akurasi nilai DCP pada musim kemarau adalah rendah. Dengan pertimbangan tersebut, untuk mengurangi ketidakpastian nilai DCP akibat pengaruh musim kemarau, disarankan untuk mengadakan pengujian DCP pada musim hujan.

Tabel 6.1. Faktor Penyesuaian Modulus Tanah Dasar Terhadap Kondisi Musim.

Musim	Faktor penyesuaian minimum nilai CBR berdasarkan pengujian DCP
Musim hujan dan tanah jenuh	0.90
Masa transisi	0.80
Musim kemarau	0.70

Nilai CBR desain = (CBR hasil pengujian DCP) x faktor penyesuaian.

Bagan Desain - 1 Indikasi Perkiraan Nilai CBR

(Tidak berlaku untuk tanah aluvial jenuh atau gambut)

	Posisi muka air tanah (Tabel 6.2)	Di bawah standar minimum (tidak dianjurkan)	Sesuai desain standar	≥ 1200 mm di bawah tanah dasar
	Implementasi	Semua galian kecuali seperti ditunjukkan untuk kasus-3 dan timbunan tanpa drainase yang baik dan LAP* < 1000 mm di atas muka tanah asli		Galian di zona iklim 1 ** dan semua timbunan berdrainase baik (m ≥ 1) dan LAP > 1000 mm di atas muka tanah asli
Jenis tanah	Kasus PI	1	2	3
Lempung	50 – 70	2	2	2,5
Lempung kelanauan	40	2,5	3	3,5
	30	3	4	4
Lempung kepasiran	20	4	4	5
	10	4	4	5
Lanau		1	1	2

* LAP: Level Akhir Permukaan

** Lihat zona iklim Lampiran B

6.3 Persyaratan Umum Persiapan Tanah Dasar

Tanah dasar perkerasan harus memenuhi kriteria berikut:

- harus mempunyai nilai CBR rendaman rencana minimum;
- dibentuk dengan benar, sesuai dengan bentuk geometrik jalan;
- dipadatkan dengan baik pada ketebalan lapisan sesuai dengan persyaratan;
- tidak peka terhadap perubahan kadar air;
- mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan konstruksi.

Dalam semua kasus, selain yang diuraikan untuk lapis penopang, tingkat kepadatan yang disyaratkan pada timbunan dan tanah dasar harus dicapai.

Persyaratan tambahan untuk perkerasan kaku di atas tanah lunak diuraikan pada sub bab 6.10. Dalam kasus-kasus tertentu, untuk mencegah keretakan pelat beton karena pengaruh perbedaan daya dukung tanah akibat tanah lunak, persyaratan struktur fondasi perkerasan kaku mungkin melebihi persyaratan untuk perkerasan lentur. Kasus ini biasanya terjadi pada kawasan persawahan, di atas tanah lempung *marine* atau lempung kelanauan.

6.4 Umur Rencana Fondasi Perkerasan

Umur rencana fondasi untuk jalan baru dan pelebaran minimum 40 tahun dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a) Fondasi perkerasan tidak dapat ditingkatkan selama masa pelayanan, kecuali dengan cara rekonstruksi menyeluruh.
- b) Perkerasan lentur dengan desain fondasi di bawah standar mungkin memerlukan perkuatan dengan lapisan aspal tambahan berulang kali selama masa pelayanannya sehingga biaya total perkerasan (*lifecycle cost*) menjadi lebih mahal dibandingkan dengan perkerasan yang didesain dengan baik.
- c) Perkerasan kaku di atas tanah lunak dengan desain fondasi di bawah standar (*under design*) cenderung mengalami keretakan dini yang dalam kasus terburuk mungkin memerlukan penggantian pelat beton.

6.5 Penurunan

6.5.1 Batasan penurunan (*Settlement limits*)

Batasan penurunan timbunan di atas tanah lunak untuk mencegah timbulnya masalah pada perkerasan diuraikan pada Tabel 6.2. Batasan tersebut tidak boleh dilampaui terutama pada perkerasan kaku.

Tabel 6.2. Batasan Penurunan (*settlement*) pada Timbunan di Atas Tanah Lunak Setelah Pelaksanaan Perkerasan.

Jenis penurunan	Status/ Kelas Jalan	Uraian	Batas izin	Pencegahan tipikal
Kasus umum; penurunan total.	Semua jalan nasional, provinsi, kab/kota dan lokal.	Penurunan mutlak setelah pelaksanaan perkerasan (sama dengan perbedaan penurunan berdekatan dengan struktur tetap)	Total 100mm	a) Pra-pembebanan sebelum pelaksanaan perkerasan (pada oprit struktur mungkin diperlukan pra pembebanan yang sama dengan konsolidasi primerkecuali jika ada penanganan tambahan) b) Drainase vertikal atau beban tambah (<i>surcharge</i>) untuk mempercepat konsolidasi. c) penggantian tanah atau pemancangan pada bagian oprit struktur
Perbedaan penurunan (<i>differential settlement</i>) dan penurunan total jika berdampingan dengan bangunan struktur.	Jalan bebas hambatan atau jalan raya dengan kecepatan rencana 100 – 120 km/jam	Di antara setiap dua titik secara memanjang dan melintang termasuk yang berdampingan dengan struktur tertanam dan atau pada <i>relief slab</i> abutment jembatan	0,003:1 (perubahan kemiringan 0,3%)	Seperti penanganan penurunan total
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana 60 km/jam atau lebih rendah		0,006:1 (0,6%) (nilai antara bisa dipakai untuk kecepatan rencana lainnya)	
Penurunan Rangkak (<i>Creep Settlement</i>) akibat beban dinamis dan statis	Jalan bebas hambatan atau jalan raya dengan kecepatan rencana 100 – 120 km/jam	Berlaku untuk perkerasan kaku dengan sambungan	Perlu penanganan atau perbaikan apabila terjadi patahan atau perbedaan penurunan > 4 mm pada sambungan	Tinggi timbunan minimum sesuai Gambar 6.3, atau dukungan dari <i>micro pile</i> dan cakar ayam atau tulangan menerus.
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana 60 km/jam atau lebih rendah		Perlu penanganan atau perbaikan apabila terjadi patahan atau perbedaan penurunan > 8 mm pada sambungan	

6.5.2 Perbedaan penurunan³

Perbedaan penurunan dapat diakibatkan oleh konsolidasi primer dan sekunder tanah asli, variasi tebal dan karakteristik tanah lunak. Pemadatan yang tidak sesuai spesifikasi juga dapat menyebabkan terjadinya perbedaan penurunan. Namun demikian, hal ini dapat dihindari dengan manajemen pelaksanaan yang tepat dan baik. Perbedaan penurunan dapat menyebabkan retak pada perkerasan kaku yang menyebabkan perlunya penggantian pelat beton. Akibat lainnya adalah penurunan kenyamanan berkendara (*riding quality*) baik pada perkerasan kaku maupun lentur. Oleh sebab itu, gunakan perkerasan lentur apabila perbedaan penurunan melebihi batasan yang diuraikan pada Tabel 6.2.

Pada lokasi yang tidak berdampingan dengan struktur tetap, baik untuk perkerasan lentur atau kaku, batasan penurunan pada Tabel 6.2 tidak menjadi masalah jika tersedia waktu pra pembebanan (*pre loading*) yang cukup.

Batasan Tabel 6.2 harus dipenuhi sebelum pekerjaan perkerasan dilaksanakan. Apabila waktu pelaksanaan konstruksi terbatas, proses konsolidasi dapat dipercepat antara lain dengan pembebanan sementara (*surchage*), drainase vertikal, konsolidasi dengan vakum, pemadatan dengan energi tumbukan yang tinggi (*high energy impact compaction* - HEIC), atau kombinasi dari penanganan tersebut. Dalam hal ini penyelidikan geoteknik diperlukan sebagai bagian dari proses untuk menentukan solusi penanganan yang tepat.

Meskipun konsolidasi primer dapat diselesaikan dalam periode pra pembebanan, pengaruh konsolidasi sekunder masih dapat menyebabkan retak pada pelat atau kurangnya kenyamanan berkendara, terutama pada lokasi berikut:

- Pada jarak 20 m dari abutmen jembatan.
- Lokasi-lokasi perkerasan melalui gorong-gorong.
- Daerah dengan lapis tanah lunak sangat tebal yang menyebabkan perbedaan penurunan yang besar. Pengukuran tambahan diperlukan untuk daerah tersebut. Daerah tersebut dapat diidentifikasi melalui *grid* pengujian DCP.

Retak pada perkerasan lentur umumnya tidak seberat pada perkerasan kaku dengan sambungan (JPCP) dan lebih mudah diperbaiki. Perkerasan kaku dapat diberi tulangan untuk mengurangi intensitas retak yang terjadi. Perkerasan kaku dengan tulangan menerus tidak terlalu terpengaruh oleh perbedaan penurunan dibandingkan dengan perkerasan kaku dengan sambungan (JPCP atau JRCP) akan tetapi lebih mahal.

Penurunan batasan tersebut dapat diizinkan untuk perkerasan lentur dengan volume lalu lintas rendah. Batasan tidak berlaku untuk jalan kerikil (tanpa penutup). Jika perkerasan dilaksanakan secara bertahap dan tahap pertama berupa perkerasan lentur, batasan tersebut

³Panjang setengah gelombang lengkung penurunan (selain penurunan yang berdekatan dengan struktur) diperkirakan tidak kurang dari 25 hingga 35 meter, pada kondisi tersebut perubahan gradient maksimum antara pelat beton (relatif terhadap terhadap gradient rencana) karena perbedaan penurunan pada tanah lunak dengan tebal 1 hingga 3 meter, adalah sekitar 0.4%. Perubahan tersebut cukup besar untuk menimbulkan ketidaknyamanan berkendara pada kecepatan 120 km/jam, tetapi tidak cukup besar untuk menyebabkan retak pada pelat. Penurunan kualitas kenyamanan berkendara akibat perbedaan penurunan tersebut dapat diperbaiki dengan *overlay*.

Perubahan gradient yang terjadi di sekitar abutmen jembatan atau gorong-gorong akibat konsolidasi sekunder dapat lebih besar dari 0.8%. Perubahan yang demikian dapat dengan mudah menyebabkan retak pada pelat beton dan ketidaknyamanan berkendara yang serius.

Kasus khusus perbedaan penurunan akibat pembebanan dinamik diuraikan pada butir 6.10.2.

dapat dilonggarkan pada tahap pertama tetapi harus diberlakukan kembali pada pelaksanaan tahap akhir.

Jika pelapisan ulang (*overlay*) perkerasan lentur sudah dijadwalkan, batasan perbedaan penurunan diberlakukan untuk setiap umur rencana lapis tambahan.

Dua jenis penurunan akibat konsolidasi yang harus diperhatikan adalah: (i) perbedaan penurunan pada seluruh kawasan dan, (ii) total penurunan yang berdekatan dengan struktur tetap. Diantara keduanya, total penurunan yang berdekatan dengan struktur tetap adalah yang paling kritis.

6.5.3 Pra-pembebanan

Perbedaan penurunan harus dikurangi hingga setidaknya memenuhi batasan yang dinyatakan pada Tabel 6.2. sebelum pelaksanaan pekerjaan perkerasan. Waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan disebut sebagai waktu pra-pembebanan. Waktu tersebut dapat dipersingkat antara lain dengan drainase vertikal, pembebanan sementara atau konsolidasi dengan vakum. Penanganan tersebut diperlukan untuk lapisan tanah lunak dengan tebal lebih dari 2 meter.

Timbunan pada tanah lunak harus ditempatkan tidak kurang dari waktu yang ditetapkan pada Tabel 6.3. sebelum lapis perkerasan dilaksanakan. Waktu pra-pembebanan yang sebenarnya ditentukan oleh ahli geoteknik sesuai dengan Panduan Geoteknik Indonesia (Kimpraswil: Pt T-08-2002-B). Waktu pra pembebanan dapat dipersingkat antara lain dengan pembebanan sementara atau drainase vertikal. Untuk perkerasan lentur waktu dapat dipersingkat dengan melakukan konstruksi secara bertahap. Untuk perkerasan kaku waktu pra-pembebanan harus sudah selesai sebelum pelaksanaan pekerjaan perkerasan.

Tabel 6.3. Perkiraan Waktu Pra-pembebanan Untuk Timbunan Rendah di Atas Tanah Lunak.

Kedalaman (m) hingga mencapai <i>in-situ</i> CBR 2,5 %	Ketinggian akhir timbunan (m)		
	< 2	2 - 2,5	> 2,5
	Waktu pra-pembebanan (bulan)		
< 1,5	3	4	5
1,5 – 2,0	5	6	9
2,0 – 2,5	8	10	13
2,5 – 3,0	12	14	19

Catatan:

1. Apabila waktu pra-pembebanan terbatas, drainase vertikal, pra-pembebanan, dan konsolidasi dengan vakum atau penanganan lain harus dipertimbangkan untuk mempercepat.
2. Diperlukan analisis geoteknik untuk memprediksi waktu pra-pembebanan aktual.
3. Timbunan di atas tanah lunak dengan tinggi lebih dari 3 m membutuhkan penyelidikan geoteknik menyeluruh terutama untuk stabilitas lereng.

6.5.4 Penurunan total pada oprit jembatan dan struktur yang berdekatan dengan struktur yang tetap

Batas penurunan dinyatakan pada Tabel 6.2. Penanganan untuk mengendalikan penurunan antara lain dengan penggantian tanah, pemadatan dengan energi *impact* tinggi, kolom batu (*stone column*), pencampuran tanah dan lain-lain.

Penggunaan perkerasan lentur pada oprit jembatan dan lapis ulang aspal berjadwal harus dipertimbangkan untuk mengurangi tingkat penanganan tanah yang diperlukan.

6.6 CBR Desain Tanah Dasar

6.6.1 Penentuan segmen tanah dasar yang seragam

Ruas jalan yang didesain harus dikelompokkan berdasarkan kesamaan segmen yang mewakili kondisi tanah dasar yang dapat dianggap seragam (tanpa perbedaan yang signifikan). Pengelompokan awal dapat dilakukan berdasarkan hasil kajian meja dan penyelidikan lapangan atas dasar kesamaan geologi, pedologi, kondisi drainase dan topografi, serta karakteristik geoteknik (seperti gradasi dan plastisitas).

Secara umum disarankan untuk menghindari pemilihan segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai CBR yang diperoleh sangat bervariasi, perancang harus membandingkan manfaat dan biaya antara pilihan membuat segmen seragam yang pendek berdasarkan variasi nilai CBR tersebut, atau membuat segmen yang lebih panjang berdasarkan nilai CBR yang lebih konservatif.

Hal penting lainnya yang harus diperhatikan adalah perlunya membedakan daya dukung rendah yang bersifat lokal (setempat) dengan daya dukung tanah dasar yang lebih umum (mewakili suatu lokasi). Tanah dasar lokal dengan daya dukung rendah biasanya dibuang dan diganti dengan material yang lebih baik atau ditangani secara khusus.

Dua metode perhitungan CBR karakteristik diuraikan sebagai berikut.

a) Metode distribusi normal standar

Jika tersedia cukup data yang valid (minimum 10 titik data uji per segmen yang seragam) rumus berikut ini dapat digunakan:

$$\text{CBR karakteristik} = \text{CBR rata-rata} - f \times \text{deviasi standar} \quad (6.1)$$

- $f = 1,645$ (probabilitas 95%), untuk jalan tol atau jalan bebas hambatan.
- $f = 1,282$ (probabilitas 90%) untuk jalan kolektor dan arteri.
- $f = 0,842$ (probabilitas 80%), untuk jalan lokal dan jalan kecil.
- Koefisien variasi (CV) maksimum dari data CBR untuk suatu segmen tidak lebih besar dari 25%. Koefisien variasi sampai dengan 30% masih boleh digunakan.

Apabila jumlah data per segmen kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

b) Metode persentil

Metode persentil menggunakan distribusi data nilai CBR pada segmen seragam yang dianggap terdistribusi secara normal. Nilai persentil ke “x” dari suatu kumpulan data membagi kumpulan data tersebut dalam dua bagian, yaitu bagian yang mengandung “x” persen data dan bagian yang mengandung $(100 - x)$ persen data.

Nilai CBR yang dipilih adalah adalah nilai persentil ke 10 (10^{th} percentile) yang berarti 10% data segmen yang bersangkutan lebih kecil atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut. Atau: 90% dari data CBR pada segmen seragam tersebut lebih besar atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut.

Prosedur perhitungan untuk presentil ke-10 adalah sebagai berikut:

- i. Susun data CBR secara berurutan dari nilai terkecil hingga terbesar.
- ii. Hitung jumlah total data nilai CBR (n).
- iii. Hitung 10% dari (n), nilai yang diperoleh disebut sebagai indeks.
- iv. Jika indeks yang diperoleh dari langkah (iii) merupakan bilangan pecahan, lakukan pembulatan ke bilangan terdekat dan lanjutkan ke langkah v(a). Jika indeks yang dihasilkan berupa bilangan bulat, lanjutkan ke langkah v(b).
- v. (a) Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR pada urutan tersebut adalah nilai CBR persentil ke-10.
- v. (b) Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR persentil ke-10 adalah nilai rata-rata dari dua nilai CBR yaitu CBR pada urutan tersebut dan urutan berikutnya.

Sebagai contoh, data CBR dari satu segmen yang seragam yang telah diurut mulai dari nilai terkecil adalah sebagai berikut:

No. urut	CBR (%)	No. urut	CBR (%)
1	3	11	5,5
2	3	12	5,5
3	4	13	5,5
4	4	14	6
5	4	15	6
6	5	16	6
7	5	17	6,5
8	5	18	6,5
9	5	19	7
10	5,5	20	7

- Daftar tersebut di atas menunjukkan CBR dari satu segmen tanah dasar yang seragam dengan 20 data CBR ($n = 20$). Data disusun dari nilai terendah hingga tertinggi.
- Untuk persentil ke-10, indeks persentil adalah $10\% \times 20 = 2$ (langkah iii).
- Karena 2 adalah bilangan bulat maka berlaku langkah v.(b): CBR pada persentil tersebut adalah rata-rata CBR pada nomor urut 2 dan 3 yaitu $(3+4)/2 = 3,5$.
- Dengan demikian, nilai CBR karakteristik segemen seragam tersebut adalah 3,5%. Secara statistik ini berarti bahwa pada segmen tersebut terdapat 10% data CBR yang nilainya sama atau lebih kecil dari 3,5%. Atau, 90% data CBR segmen seragam tersebut nilainya lebih besar atau sama dengan 3,5%.

Cara yang diuraikan di atas adalah salah satu cara untuk menetapkan nilai karakteristik berdasarkan metode persentil.

Prosedur metode persentil lainnya yang juga sering digunakan adalah cara grafik. Selain itu, dapat juga menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel, yaitu dengan memanfaatkan fungsi =PERCENTILE(array, k) dengan “array” menunjukkan kumpulan data dan k adalah persentil (dalam persepuluhan).

Sebagai contoh, =PERCENTILE(A1:A20, 0.1) akan menghitung persentil ke 10 dari kumpulan data yang terletak pada sel A1 sampai dengan A20. Penggunaan cara ini terhadap contoh data tersebut di atas menghasilkan CBR karakteristik = 3.90%.

Apabila dihitung menggunakan formula (6.1) contoh data yang sama akan menghasilkan nilai CBR karakteristik 3,74%.

Masing-masing cara tersebut tidak memberikan jawaban yang identik, tetapi perbedaan di antaranya tidak signifikan.

Dalam penetapan nilai karakteristik, nilai-nilai CBR yang kecil, bersifat lokal (terisolasi) dan terindikasi memerlukan penanganan khusus, dikeluarkan dari kumpulan data dengan catatan bahwa penanganan yang tepat harus diprogramkan pada lokasi bersangkutan.

6.6.2 CBR rencana untuk stabilisasi tanah dasar

Perbaikan tanah dasar dapat berupa material timbunan pilihan, stabilisasi kapur, atau stabilisasi semen. Pelebaran perkerasan pada galian biasanya meliputi pembentukan tanah dasar yang sempit atau tidak teratur sehingga menyulitkan pelaksanaan stabilisasi. Dalam kasus yang demikian sebaiknya digunakan perbaikan dengan material timbunan pilihan.

Dalam perencanaan jika dipilih stabilisasi kapur atau semen maka nilai daya dukung material (CBR) dipilih nilai terkecil dari tiga nilai berikut:

- a. daya dukung rendaman 4 hari dari material yang distabilisasi;
- b. empat kali daya dukung tanah asal sebelum distabilisasi;
- c. daya dukung yang diperoleh dari formula berikut:

$$CBR_{\text{stabilisasi}} = CBR_{\text{tanah asal}} \times 2^{(\text{tebal lapis stabilisasi dalam mm})/150} \quad (6.2)$$

Tebal total tanah dasar stabilisasi adalah 150 mm untuk pemadatan biasa atau sampai dengan 300 mm apabila disyaratkan dan digunakan alat pemadat *pad foot* dengan berat statik 18 ton.

Contoh:

Dari pengujian di laboratorium, suatu jenis tanah dengan CBR 4% yang distabilisasi dengan semen menghasilkan kenaikan CBR menjadi 15%. Tentukan nilai CBR yang akan digunakan untuk desain jika tebal total stabilisasi adalah 200 mm.

- a. Berdasarkan uji CBR laboratorium rendaman 4 hari, nilai stabilisasi tanah semen CBR 15%.
- b. Berdasarkan nilai CBR tanah asal (tidak distabilisasi): $4 \times 4\% = 16\%$.
- c. Berdasarkan formula (6.2): $4 + 2^{(200/150)} = 10\%$.

Dipilih nilai terkecil dari ketiga nilai di atas yaitu 10%.

Jika tebal total ditingkatkan menjadi 300 mm, maka nilai CBR berdasarkan kriteria c) menjadi $4 + 2^{(300/150)} = 16\%$. Dalam hal ini, CBR terendah adalah CBR berdasarkan kriteria a) sehingga CBR perencanaan menjadi 15%.

6.7 Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif adalah tanah dengan potensi mengembang (*swelling*) lebih dari 5% (diukur dengan pengujian CBR rendaman SNI No. 03-1774-1989 pada kadar air optimum dan kepadatan kering 100%). Pada umumnya tanah dengan IP > 70% bersifat ekspansif. Persyaratan tambahan untuk tanah ekspansif adalah sebagai berikut :

- Tebal minimum timbunan pilihan seperti dinyatakan di dalam Bagan Desain - 2. Lapisan timbunan pilihan harus mempunyai permeabilitas rendah atau distabilisasi.
- Variasi kadar air tanah dasar harus sekecil mungkin. Alternatif pengendaliannya antara lain dengan menutup bahu jalan (*sealed shoulder*), saluran samping diperkeras, pembuatan saluran melintang (*cut-off drain*) dan pencegah aliran (*flow inhibitors*) seperti pemasangan lembar plastik secara vertikal pada tanah dasar.
- Dipasang *subdrain* jika penggunaan dapat mengurangi variasi kadar air.

6.8 Lapis Penopang (*Capping Layers*)

Bagan Desain - 2 menunjukkan tebal minimum lapis penopang untuk mencapai CBR desain 6% yang digunakan untuk pengembangan Katalog Desain tebal perkerasan. Apabila lapis penopang akan digunakan untuk kendaraan konstruksi mungkin diperlukan lapis penopang yang lebih tebal.

Pertimbangan-pertimbangan di bawah ini berlaku dalam pelaksanaan lapis penopang.

a) Persyaratan umum

1. Material yang digunakan sebagai lapis penopang harus berupa bahan timbunan pilihan. Jika lapisan tersebut terletak di bawah permukaan air harus digunakan material batuan atau material berbutir. Dalam hal ini harus berupa material berbutir dengan kepekaan terhadap kadar air rendah.
2. Dapat berfungsi sebagai lantai kerja yang kokoh sepanjang periode pelaksanaan.
3. Tebal minimum 600 mm untuk tanah ekspansif.
4. Elevasi permukaan lapis penopang harus memenuhi persyaratan Tabel 5.1. (tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir)
5. Kedalaman alur roda pada lapis penopang akibat lalu lintas selama periode konstruksi tidak lebih dari 40 mm.
6. Mencapai ketebalan tertentu sehingga permukaan lapis penopang dapat dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat berat.

b) Metode pemadatan

Lapis penopang harus dipadatkan dengan metode dan mencapai tingkat kepadatan yang ditentukan atau yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Pada bagian bawah lapis penopang kepadatan yang mungkin dapat dicapai cenderung lebih kecil daripada 95% kepadatan kering maksimum. Pada perkerasan kaku pemadatan maksimum yang mungkin dicapai lapis penopang sangat penting untuk meminimalkan retak akibat perbedaan penurunan lapis penopang setelah pelaksanaan.

c) Geotekstil

Jika tanah asli jenuh atau cenderung akan jenuh pada masa pelayanan, geotekstil sebagai pemisah harus dipasang di antara lapis penopang dan tanah asli. Material lapis penopang yang terletak langsung di atas geotekstil harus material berbutir.

Bagan Desain - 2 Desain Fondasi Jalan Minimum ⁽¹⁾

CBR Tanah dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)			Stabilisasi Semen ⁽⁶⁾
			< 2	2 - 4	> 4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≥ 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Devisi 3 – Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			150 mm stabilisasi di atas 150 mm material timbunan pilihan.
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2.5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan di atas tanah lunak ⁽²⁾	SG1 ⁽³⁾	Lapis penopang ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1100	1200	
		-atau- lapis penopang dan geogrid ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum – ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir ^{(4) (5)}	1000	1250	1500	

(1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritikal; syarat tambahan mungkin berlaku.

(2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.

(3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.

(4) Permukaan lapis penopang di atas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2.5%, dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh: untuk lalu lintas rencana > 4 juta ESA, tanah SG1 memerlukan lapis penopang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu ditambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.

(5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.

(6) Untuk perkerasan kaku, lapis permukaan material tanah dasar berbutir halus (klasifikasi A4 - A6) hingga kedalaman 150 mm harus berupa stabilisasi semen.

6.9 Desain Fondasi Perkerasan Lentur

6.9.1 Tanah dasar normal

Tanah dasar normal adalah tanah dasar yang secara umum mempunyai nilai CBR *in-situ* lebih besar dari 2,5%, termasuk pada daerah timbunan, galian dan permukaan tanah asli.

Pemilihan tebal perbaikan tanah dasar dapat dilihat pada Bagan Desain - 2. Pastikan bahwa ketentuan mengenai elevasi permukaan fondasi memenuhi persyaratan Tabel 5.1.

6.9.2 Tanah lunak

6.9.2.1 Umum

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah terkonsolidasi normal¹ atau sedikit *over konsolidasi* (*lightly over consolidated*), biasanya berupa tanah lempung atau lempung kelanauan dengan CBR kurang dari 2,5% dan kekuatan geser (c_u) lebih kecil dari 7,5 kPa, dan umumnya $IP > 25$.

Metode khusus diperlukan untuk mempersiapkan fondasi jalan yang memadai di atas tanah terkonsolidasi normal. Metode pemadatan permukaan biasa dan penggunaan pengujian CBR laboratorium tidak valid karena:

- a) Umumnya dalam keadaan jenuh dan tidak dapat dipadatkan secara biasa;
- b) Dalam keadaan kering, hanya lapis permukaan yang dapat dipadatkan dengan alat pemadat biasa, sedangkan kepadatan dan kekuatan geser lapisan di bawahnya akan tetap rendah pada kondisi jenuh;

Tanah terkonsolidasi normal yang mendapat pembebanan statik dan dinamik akan mengalami pergerakan yang jauh lebih besar (akibat konsolidasi sekunder atau rangkak) dibandingkan tanah dasar normal yang dipadatkan secara mekanik. Oleh sebab itu penyebab kerusakan yang berbeda berlaku pada jalan yang dibangun di atas tanah lunak. Ketentuan yang dijelaskan dalam bagian berikut adalah ketentuan minimum.

6.9.2.2 Pengujian lapangan

Lakukan survei DCP atau survei resistivitas elektrik dan karakteristik tanah untuk mengidentifikasi sifat dasar dan kedalaman tanah lunak dan area yang memerlukan perbaikan tambahan.

6.9.2.3 Perbaikan tanah lunak

Pemilihan metode perbaikan berupa lapis penopang atau penggantian tanah harus didasarkan pada biaya terendah. Apabila kedalaman tanah lunak kurang dari 1 meter maka penggantian tanah seluruhnya perlu dipertimbangkan.

Jika kedalaman tanah lebih dari 1 meter perbaikan dengan lapis penopang perlu dipertimbangkan. Lihat pada Bagan Desain – 2 mengenai ketebalan lapis penopang.

Apabila kedalaman tanah lunak memerlukan waktu pra-pembebanan yang terlalu lama (Lihat Tabel 6.3), drainase vertikal atau pra-pembebanan atau kombinasi dari metode-metode tersebut atau metode lainnya harus ditentukan dengan menggunakan analisa geoteknik.

Apabila kondisi lapangan tidak memungkinkan penggunaan lapis penopang, perlu dipertimbangkan penggunaan metode *micro piling* atau penanganan khusus lainnya. Analisis geoteknik yang diperlukan untuk perbaikan tersebut di luar lingkup manual ini.

Apabila tidak ada contoh atau pengalaman yang mendukung kelayakan desain lapis penopang atau desain lain untuk kondisi yang serupa, lakukan timbunan percobaan (*trial embankment*) dan pengujian pembebanan harus dilakukan untuk memverifikasi.

6.9.3 Tanah aluvial kering

Tanah aluvial kering pada umumnya memiliki kekuatan sangat rendah (misalnya $\text{CBR} < 2\%$) di bawah lapis permukaan kering yang relatif keras. Kedalaman lapis permukaan tersebut berkisar antara 400 – 600 mm. Metode termudah untuk mengidentifikasi kondisi tersebut adalah menggunakan uji DCP.

Tanah aluvial kering umumnya terdapat pada area endapan dan persawahan kering. Masalah utama dari kondisi tanah seperti ini adalah penurunan daya dukung akibat musim hujan dan kerusakan akibat beban lalu lintas selama periode konstruksi. Oleh sebab itu, desain harus dilakukan dengan asumsi bahwa kondisi musim hujan akan terjadi selama periode konstruksi.

Penanganan fondasi pada tanah alluvial kering harus sama dengan perbaikan tanah aluvial jenuh, kecuali jika perbaikan seperti yang diuraikan berikut ini dapat dilakukan apabila pelaksanaan fondasi jalan diselesaikan pada musim kering:

- a) Jika lapis atas tanah asli tidak digali dan dapat dipadatkan menggunakan pemadat *pad foot roller*, maka tebal lapis penopang dari Bagan Desain - 2 dapat dikurangi sebesar 150 mm.
- b) Pertimbangkan penggunaan metode pemadatan khusus seperti *High Energy Impact Compaction* (HEIC) atau metode Pencampuran Tanah Dalam (*Deep Soil Mixing*) dapat mengurangi kebutuhan lapis penopang.
- c) Geotekstil

Geotekstil sebagai pemisah harus dipasang di antara lapis penopang dan tanah asli jika tanah asli jenuh atau cenderung jenuh pada masa pelayanan. Material lapis penopang yang terletak langsung di atas geotekstil harus berbutir.

6.9.4 Gambut

Fondasi pada area gambut harus memenuhi persyaratan minimum Bagan Desain - 2, akan tetapi persyaratan tersebut belum tentu mencukupi. Oleh karena itu harus dilakukan penyelidikan geoteknik untuk semua area gambut dan analisis harus meliputi penentuan waktu pra-pembebanan, besar penurunan dan nilai CBR efektif pada permukaan lapis penopang.

Pelaksanaan konstruksi harus dilakukan secara bertahap untuk mengakomodasi terjadinya konsolidasi sebelum pelaksanaan lapis-lapis perkerasan lentur. Proses konsolidasi harus dipantau menggunakan pelat penurunan (*settlement plate*).

Tinggi timbunan minimum memenuhi ketentuan yang diuraikan dalam Bab 5, serta harus mengakomodasi konsolidasi pasca pelaksanaan konstruksi. Apabila diperlukan timbunan tinggi, seperti pada oprit jembatan, kemiringan timbunan hendaklah tidak lebih tajam dari 1:3, kecuali apabila terdapat bordes.

Untuk menjaga kestabilan timbunan, drainase lateral harus terletak cukup jauh dari kaki timbunan. Bordes perlu disediakan untuk meningkatkan kestabilan timbunan.

Pada kawasan yang tidak ada referensi jalan eksisting di atas tanah gambut, harus dibuat timbunan percobaan (*trial embankment*). Timbunan percobaan tersebut harus dipantau untuk memverifikasi stabilitas, waktu pra-pembebanan, dan data lainnya. Pelaksanaan konstruksi tidak boleh dilaksanakan sebelum percobaan timbunan selesai dilaksanakan dan informasi yang diperlukan didapat.

Penyelidikan geoteknik harus dilakukan untuk menentukan waktu pra-pembebanan tanah gambut.

6.10 Fondasi Perkerasan Kaku

6.10.1 Tanah dasar normal

Ketentuan berikut ini membahas tanah dasar di bawah perkerasan kaku selain tanah lunak atau gambut yang telah dibahas sebelumnya.

Pedoman perencanaan Pd T-14-2003 mensyaratkan nilai CBR ekuivalen tanah dasar normal ditentukan sebagai berikut:

Apabila fondasi perkerasan terdiri dari beberapa lapis atau apabila tanah dasar asli terdiri dari beberapa lapis dengan kekuatan tertinggi terletak pada lapis paling atas maka CBR tanah dasar ditentukan sesuai formula berikut:

$$CBR \text{ ekuivalen} = \left(\frac{\sum_i h_i CBR_i^{0,33}}{\sum_i h} \right)^3 \quad (6.3)$$

Dengan, h_i = tebal lapis i dan $\sum h_i = 1$ meter.

Apabila semakin dalam kekuatan tanah dasar semakin meningkat maka formula tersebut di atas tidak berlaku. Dalam kasus ini nilai CBR karakteristik adalah nilai CBR lapis teratas tanah dasar.

CBR efektif tanah dasar hendaknya tidak kurang dari 6%. Gunakan stabilisasi apabila diperlukan (lihat ketentuan 6.6.2 mengenai CBR rencana stabilisasi tanah dasar).

Untuk menghindari *pumping*, permukaan fondasi tanah berbutir halus (A4 – A6) hingga kedalam 150 mm harus distabilisasi semen.

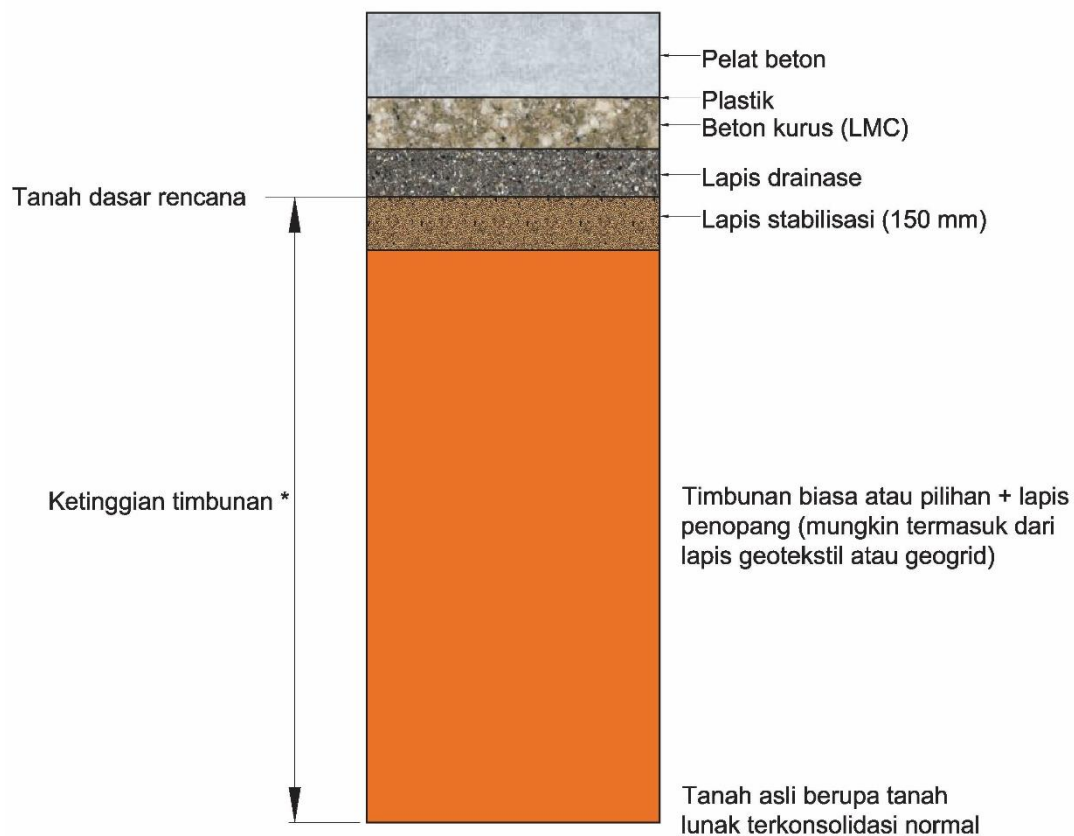
6.10.2 Tanah lunak

Perkerasan kaku sebaiknya tidak digunakan di atas tanah lunak, kecuali jika dibangun dengan fondasi *micro pile*.

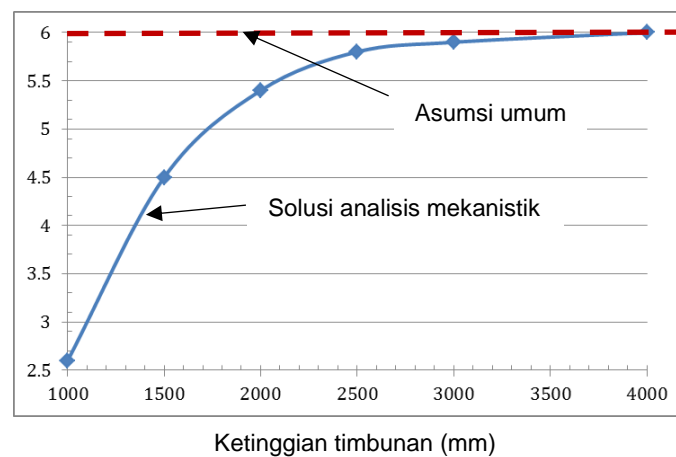
Gambar 6.1 menunjukkan tipikal struktur perkerasan di atas tanah lunak. Apabila perkerasan kaku dibangun di atas tanah lunak maka fondasi perkerasan tanah lunak harus terdiri atas:

- a) penggalian dan penggantian seluruh tanah lunak atau,
- b) lapis penopang dengan nilai CBR tidak lebih dari yang ditunjukkan di dalam Gambar 6.2 dan timbunan dengan tinggi tidak kurang dari ketentuan menurut Gambar 6.3. Lapis penopang harus diberikan waktu untuk mengalami konsolidasi (pra-pembebanan) sesuai batasan perbedaan penurunan yang ditunjukkan di dalam Tabel 6.2.

Apabila ketinggian timbunan terbatas seperti halnya pada kasus pelebaran perkerasan eksisting, perlu dilakukan pembongkaran tanah lunak seluruhnya atau menggunakan penanganan khusus.



Gambar 6.1. Struktur Perkerasan Kaku



Gambar 6.2. CBR Maksimum Tanah Dasar Untuk Perkerasan Kaku di Atas Tanah Lunak⁴

⁴Gambar 6.2 menunjukkan daya dukung ekuivalen yang menghasilkan tegangan maksimum yang sama pada dasar pelat perkerasan pada tanah lunak dengan lapis penopang dibandingkan dengan pada tanah dasar seragam tak hingga (*infinite*) dengan daya dukung yang sama. Solusi ini diperoleh dari analisis multi-layer (CIRCLY).

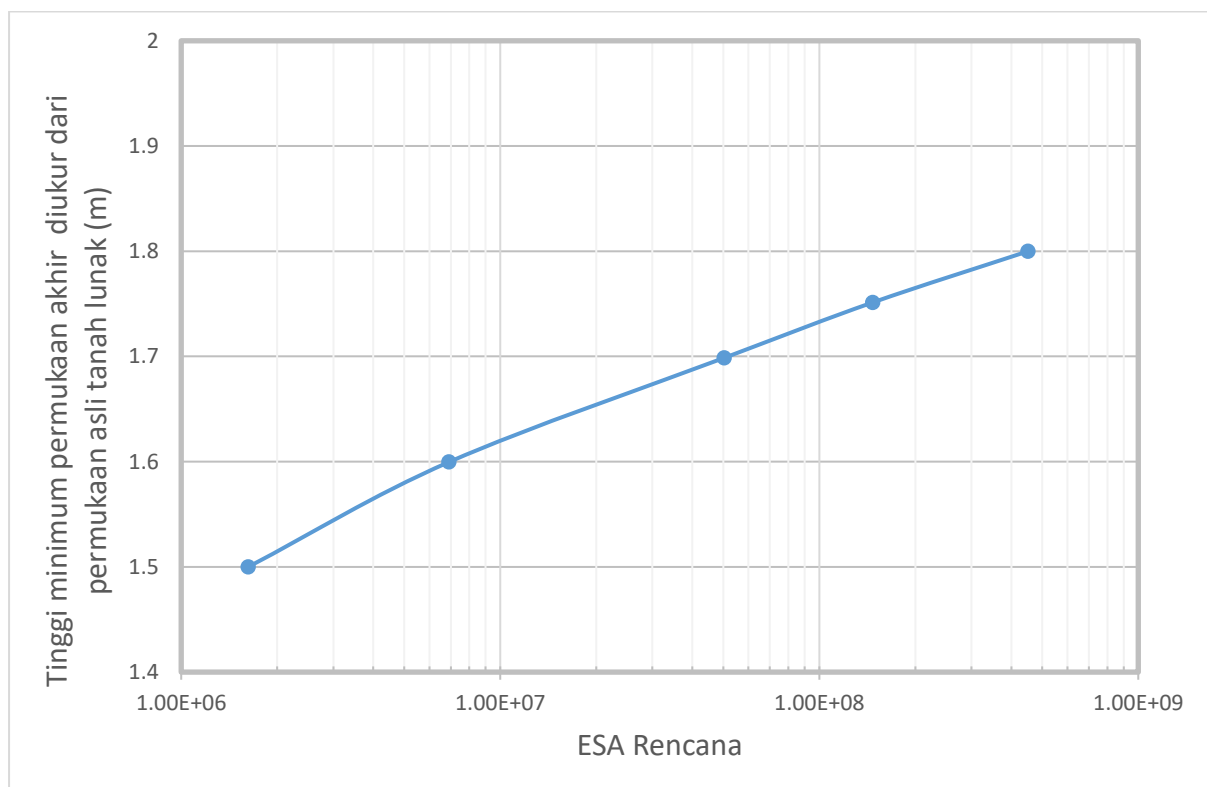
6.10.2.1 Deformasi plastis di bawah beban dinamis

Deformasi plastis pada tanah dasar di bawah sambungan perkerasan kaku (JPCP atau JRCP) dapat menimbulkan rongga yang pada masa pelayanan perkerasan harus ditutup (dengan *undersealing* atau *mud jacking*). Dengan demikian, perkerasan kaku pada timbunan di atas tanah lunak rentan mengalami kerusakan dini sehingga program pemeliharaan berkala harus mencakup *undersealing* dan lapis tambah.

Sebagian dari deformasi plastis tersebut terbentuk karena perbedaan distribusi tegangan pada tanah yang mengalami beban dinamis pada sambungan pelat. Proses tersebut menyebabkan hilangnya keseragaman daya dukung yang dapat mengakibatkan timbulnya retak dan penurunan kenyamanan berkendara. Pengaruh tinggi timbunan terhadap jumlah repetisi beban yang dapat menyebabkan kegagalan sambungan ditunjukkan dalam Gambar 6.3.

Apabila tinggi timbunan kurang dari yang dinyatakan di dalam Gambar 6.3, atau terdapat ketidak seragaman daya dukung, pelat beton perkerasan harus diperkuat dengan tulangan penyebaran retak. Untuk jalan dengan alinyemen baru ketinggian timbunan harus lebih besar dari yang ditunjukkan pada Gambar 6.3.

Jika ketinggian timbunan lebih rendah dari yang dinyatakan di dalam gambar tersebut maka pelat beton perkerasan harus diperkuat dengan tulangan.



Gambar 6.3. Tinggi Minimum Permukaan Akhir dari Permukaan Tanah Lunak Untuk Membatasi Terjadinya Deformasi Plastis di Bawah Sambungan Pelat

- Catatan:
1. Ketinggian timbunan yang ditentukan Gambar 6.2 atau Gambar 6.3 adalah ketinggian minimum.
 2. Untuk penyesuaian kemiringan atau superelevasi permukaan dan penyesuaian variasi pelaksanaan, level permukaan perkerasan harus dinaikkan relatif terhadap nilai yang diperoleh dari Gambar 6.2. atau Gambar 6.3.

3. Persyaratan deformasi plastis yang berlaku untuk pelat beton dengan sambungan dan tidak berlaku untuk:
 - a) pelat beton menerus dengan tulangan;
 - b) pelat beton jenis *post tensioned*;
 - c) pelat beton dengan sambungan dengan fondasi *micro piling* atau cakar ayam.

Pada kawasan tanah lunak yang tinggi minimum timbunan (Gambar 6.1 dan Gambar 6.3) tidak dapat dipenuhi, perkerasan kaku harus diperkuat dengan *micro pile* atau cakar ayam.

6.11 Gambut

Perkerasan kaku untuk kawasan gambut sebaiknya dihindari.

6.12 Contoh Desain Timbunan

Tinggi timbunan dapat terdiri atas lapisan perbaikan tanah, lapis penopang, lapisan timbunan pilihan, lapisan drainase dan kemiringan permukaan atau superelevasi di atas tanah lunak.

Untuk timbunan di atas tanah lunak faktor-faktor berikut ini harus dipenuhi:

- a) Umur desain fondasi 40 tahun, tinggi minimum keseluruhan timbunan untuk perkerasan kaku sesuai dengan Gambar 6.3 agar dapat menahan pergerakan berlebihan akibat pembebanan dinamis.
- b) Tebal minimum lapisan penopang untuk menahan alur (*rutting*) pada tanah dasar akibat lalu lintas konstruksi sesuai Bagan Desain - 2.
- c) CBR efektif tanah dasar adalah nilai terkecil dari CBR hasil pengukuran menggunakan Formula (6.3) dan CBR yang ditentukan dari Gambar 6.2.
- d) Memenuhi persyaratan tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir (Tabel 5.1).

Tinggi tersebut merupakan tinggi minimum. Penambahan tinggi harus dilakukan terhadap elevasi alinyemen vertikal yang ditunjukkan dalam Gambar Teknik untuk mengantisipasi:

- a) Penurunan pasca konstruksi.
- b) Perbedaan superelevasi atau lereng melintang dari titik terendah ke garis kendali alinyemen vertikal termasuk untuk desain pelebaran yang akan datang.

Contoh:

Jalan raya di atas tanah lunak jenuh, pada permukaan tanah asli, kumulatif beban lalu lintas 40 tahun = 200 juta ESA, muka air tanah efektif pada level permukaan (tipikal daerah persawahan), muka air banjir rencana 10 tahunan = 500 mm di atas muka tanah, superelevasi 5%, lebar perkerasan 7000 mm, jenis perkerasan: beton. Tetapkan tinggi minimum timbunan (mm)

a)	Lapis penopang hingga setara CBR 2.5% (Bagan Desain - 2)	:	1200
	Lapis penopang di atas permukaan setara CBR 2.5% (Bagan Desain - 2)	:	350
	Perbedaan elevasi akibat super elevasi (5% x 7000)	:	350
	Total	:	1900
b)	Tinggi permukaan akhir di atas permukaan tanah asli lunak untuk mencegah deformasi plastis akibat beban dinamis (Gambar 6.3)	:	1750
	Penyesuaian untuk superelevasi	:	350
	Total	:	2100
c)	Persyaratan tinggi minimum di atas muka air tanah yang dilengkapi dengan lapis drainase (lihat Tabel 5.1)	:	800
	Perkiraan penurunan setelah konstruksi	:	100
	Tebal lapis drainase	:	150
	Perbedaan tinggi superelevasi	:	350
	Total	:	1400
d)	Tinggi minimum di atas muka air banjir (Tabel 5.1)	:	500
	Perkiraan penurunan setelah konstruksi	:	100
	Muka air banjir di atas elevasi tanah asli	:	500
	Perbedaan tinggi superelevasi	:	350
	Total	:	1450

Dari ke-empat pertimbangan di atas dipilih tinggi minimum 2100 mm.

7 DESAIN PERKERASAN

Bab ini menguraikan desain struktur lapisan di atas tanah dasar (formasi atas).

7.1 Struktur Perkerasan

Desain perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana dan pertimbangan biaya terendah ditunjukkan pada:

- Bagan Desain - 3 Perkerasan Lentur,
- Bagan Desain - 4 Perkerasan Kaku,
- Bagan Desain - 5 Perkerasan Berbutir dengan Laburan,
- Bagan Desain - 6 Perkerasan Tanah Semen, dan
- Bagan Desain - 7 Perkerasan Berbutir dan Perkerasan Kerikil.

Solusi lain dapat dipilih untuk menyesuaikan dengan kondisi setempat. Namun demikian, disarankan untuk tetap menggunakan bagan tersebut di atas sebagai langkah awal untuk semua desain.

Catatan di bawah ini berlaku untuk perkerasan baru (Manual Bagian I) dan rehabilitasi (Manual Bagian II):

Desain tebal perkerasan didasarkan pada nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 tergantung pada model kerusakan (*deterioration model*) dan pendekatan desain yang digunakan. Gunakan nilai ESA yang sesuai sebagai input dalam proses perencanaan.

- Pangkat 4 digunakan pada desain perkerasan lentur berdasarkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993 (pendekatan statistik empirik).
- Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (seperti Burtu atau Burda), perkerasan tanpa penutup (*Unsealed granular pavement*) dan perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur (*rutting*).
- Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan aspal beton dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak leleh (*fatigue*).
- Desain perkerasan kaku menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*Heavy Vehicle Axle Group, HVAG*) dan bukan nilai ESA sebagai satuan beban lalu lintas untuk perkerasan beton.

7.2 Metode Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Beraspal

Basis dari prosedur desain perkerasan lentur dengan campuran beraspal yang digunakan pada manual ini adalah karakteristik mekanik material dan analisis struktur perkerasan secara mekanistik. Metode ini menghubungkan masukan berupa beban roda, struktur perkerasan dan sifat mekanik material, dengan keluaran berupa respons perkerasan terhadap beban roda seperti tegangan, regangan atau lendutan.

Respons struktural tersebut digunakan untuk memprediksi kinerja struktur perkerasan dalam hal deformasi permanen dan retak leleh. Karena prediksi tersebut didasarkan pada kinerja

material di laboratorium dan pengamatan di lapangan, pendekatan ini disebut juga sebagai metode mekanistik empiris.

Keunggulan utama metode desain mekanistik adalah dimungkinkannya analisis pengaruh perubahan masukan desain, seperti perubahan material dan beban lalu lintas, secara cepat dan rasional. Sejumlah kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode empiris murni antara lain adalah:

1. Dapat digunakan secara analitis untuk mengevaluasi perubahan atau variasi beban kendaraan terhadap kinerja perkerasan.
2. Kinerja perkerasan dengan bahan-bahan baru dapat dievaluasi berdasarkan sifat-sifat mekanik bahan bersangkutan.
3. Dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan sifat material akibat lingkungan dan iklim terhadap kinerja perkerasan.
4. Mengevaluasi respons perkerasan terkait dengan moda kerusakan perkerasan secara spesifik (retak leleh dan deformasi permanen).

Secara umum, model struktur perkerasan yang digunakan dalam manual ini adalah struktur multi lapisan yang bersifat elastik linier, isotropik (untuk material berpengikat, *bounded material*) dan anisotropik untuk material tanpa pengikat (*unbounded material*), lapis CTB dianggap telah mengalami retak (kondisi *post cracking*).

Untuk material isotropik dua parameter elastik yang digunakan adalah modulus elastik E dan rasio Poisson μ . Untuk material *cross-anisotropic* diperlukan 5 elastik parameter yaitu E_v , E_h , μ_{vh} , μ_{hh} dan modulus geser f . Dengan E_v dan E_h masing-masing adalah modulus dalam arah vertikal dan horizontal. Parameter μ_{vh} dan μ_{hh} masing-masing adalah rasio Poisson dalam arah vertikal akibat horizontal. Atas pertimbangan praktis, rasio Poisson pada kedua arah tersebut di anggap identik.

Karakteristik material granular yang *non-linear* didekati dengan membagi lapis granular dalam beberapa lapisan dengan modulus E yang berbeda.

Prosedur yang digunakan didasarkan pada asumsi bahwa dua regangan yang kritis terkait dengan kinerja perkerasan adalah:

- Regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar.
- Regangan tarik horizontal pada serat terbawah lapis berpengikat (aspal atau pengikat lain seperti semen).

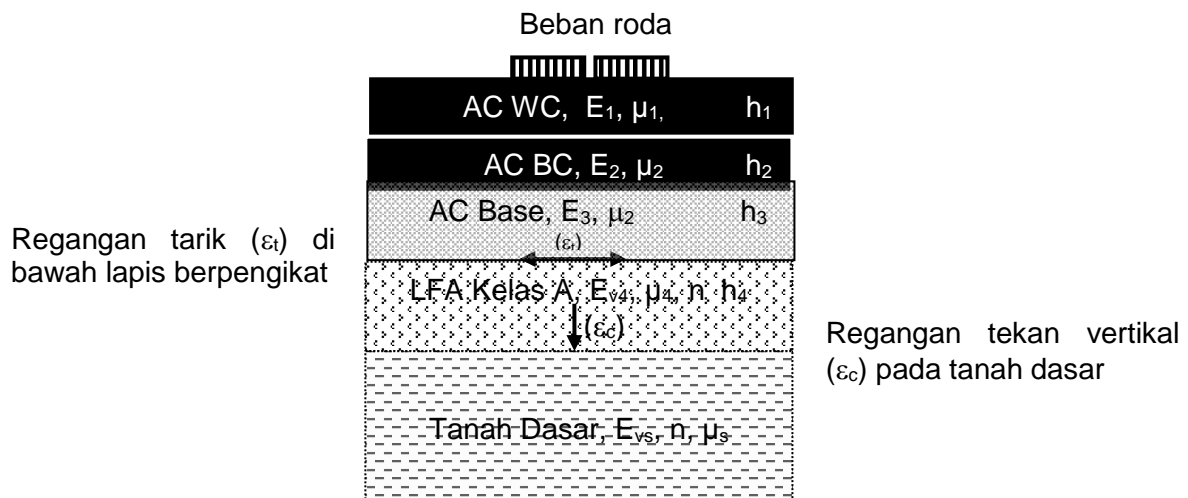
Regangan tekan vertikal yang terjadi pada permukaan tanah dasar digunakan sebagai kriteria desain untuk mengendalikan akumulasi deformasi permanen. Regangan tarik horizontal pada bagian bawah lapis berpengikat digunakan sebagai kriteria untuk mengendalikan kerusakan akibat leleh pada lapis bersangkutan.

Kedua regangan kritis tersebut merupakan fungsi dari sifat-sifat mekanik tanah dasar dan bahan perkerasan, struktur perkerasan (tebal dan karakteristik material lapisan) dan beban lalu lintas. Model yang menghubungkan nilai regangan dengan jumlah kumulatif izin beban rencana disebut sebagai model kinerja struktural (retak leleh dan deformasi permanen) atau fungsi transfer (*transfer function*).

Walaupun metode mekanistik dan data beban lalu lintas yang rinci (dari studi WIM) memungkinkan analisis beban berdasarkan spektrum beban aktual, namun dengan pertimbangan kepraktisan, pada manual ini beban lalu lintas dinyatakan dalam beban ekuivalen standar (ESA). Dengan demikian, regangan-regangan kritis yang terjadi dihitung berdasarkan beban sumbu standar.

7.2.1 Prosedur desain

Tipikal sistem perkerasan lentur berdasarkan pendekatan mekanistik ditunjukkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1. Tipikal Sistem Perkerasan

Parameter elastik material yang digunakan adalah:

Untuk material isotropik:

E_i = modulus elastik lapisan i ;

μ_i = rasio Poisson lapis i ;

Untuk material anisotropik:

E_{vi} = modulus elastik arah vertikal lapis i ;

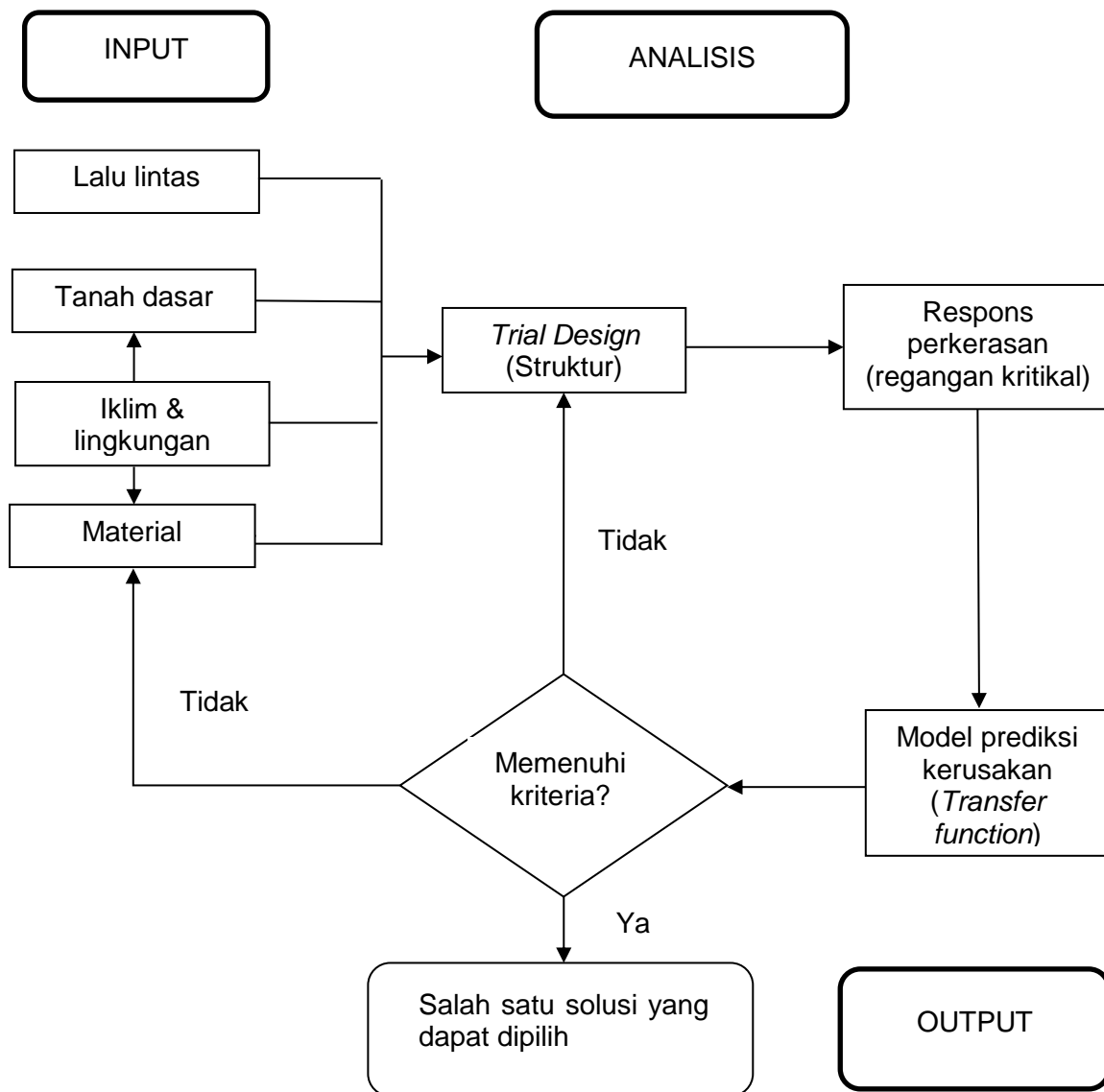
E_{hi} = modulus elastik arah horizontal lapis i ;

n = derajat anisotropik (E_v / E_h)

μ_i = rasio Poisson (dalam semua arah);

f_i = modulus geser lapis $i = \frac{E_{vi}}{1 + \mu_i}$

Seperti ditunjukkan pada bagan alir prosedur perencanaan (Gambar 7.2), proses desain bersifat iteratif (*trial and error*). Dimulai dengan memilih suatu struktur yang diperkirakan akan mampu menerima beban rencana. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan besaran regangan kritis untuk melihat apakah struktur tersebut dapat menerima beban rencana. Apabila ternyata seluruh atau salah satu regangan kritis tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak dapat menerima beban rencana maka dilakukan perubahan struktur (dapat berupa perubahan dimensi atau material, atau kedua-duanya). Analisis diulangi untuk menghitung regangan-regangan kritis dan seterusnya hingga diperoleh struktur yang memenuhi kriteria desain.



Gambar 7.2. Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik

7.2.2 Model kinerja (Fungsi transfer)

Model atau persamaan kinerja (fungsi transfer) adalah suatu fungsi yang menghubungkan respons perkerasan terhadap beban (berupa tegangan atau regangan) dengan kinerja perkerasan (berupa retak leleh dan deformasi permanen). Berikut ini adalah fungsi transfer yang digunakan pada manual ini.

7.2.2.1 Retak leleh lapis beraspal

Untuk aspal konvensional pada perkerasan dengan beban sedang hingga berat, fungsi transfer yang menunjukkan hubungan antara regangan tarik maksimum akibat beban tertentu dan jumlah repetisi izin beban tersebut untuk kinerja retak leleh adalah:

$$N = RF \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu\epsilon} \right]^5 \quad (7.1)$$

Dengan,

- N = jumlah repetisi izin beban
- $\mu\epsilon$ = regangan tarik akibat beban (*microstrain*)
- V_b = volume aspal dalam campuran (%)
- S_{mix} = modulus campuran aspal (MPa)
- RF = faktor reliabilitas (Tabel 7.1.)

Tabel 7.1. Faktor Reliabilitas (RF) Retak Lelah Campuran Beraspal

Reliabilitas				
80%	85%	90%	95%	97.5%
2,5	2,0	1,5	1,0	0,67

7.2.2.2 Retak lelah lapis berpengikat semen

Untuk campuran dengan berpengikat semen dengan modulus antara 2000 – 10.000 MPa (CTB pada kondisi *pre-cracking*), hubungan antara regangan tarik dan jumlah repetisi beban adalah:

$$N = RF \left[\frac{\left(\frac{113000}{E^{0,804}} + 191 \right)}{\mu\epsilon} \right]^{12} \quad (7.2)$$

Dengan,

- N = jumlah repetisi izin beban
- $\mu\epsilon$ = regangan tarik akibat beban (*microstrain*)
- E = modulus bahan berpengikat semen
- RF = faktor reliabilitas (Gambar 7.2)

Tabel 7.2. Faktor Reliabilitas (RF) Retak Lelah Campuran Berpengikat Semen

Reliabilitas				
80%	85%	90%	95%	97.5%
4,7	3,3	2,0	1,0	0,50

7.2.2.3 Deformasi permanen

Walaupun model yang digunakan mengasumsikan bahwa material bersifat elastik, namun pada kenyataannya tidak semua regangan yang akibat beban lalu lintas bersifat elastik murni (*recoverable*). Sebagian dari regangan vertikal tersebut tidak kembali (*plastic strain*). Besaran regangan plastik berbanding langsung dengan regangan elastik. Pada tanah dasar akumulasi dari regangan yang tidak kembali tersebut membentuk deformasi permanen.

Semakin dekat dengan permukaan perkerasan regangan elastik semakin besar. Dengan demikian, pembatasan regangan tekan elastik pada permukaan tanah dasar akan mengendalikan regangan tekan elastik pada lapisan-lapisan di atasnya sehingga total regangan plastik akan juga terkendali.

Model pembatasan regangan pada tanah dasar sebagai pengendali kinerja berdasarkan kriteria deformasi permanen adalah:

$$N = \left[\frac{9300}{\mu\varepsilon} \right]^7 \quad (7.3)$$

Dengan,

N = jumlah repetisi izin beban

$\mu\varepsilon$ = regangan tekan pada permukaan tanah dasar (*microstrain*)

7.2.3 Karakteristik material

7.2.3.1 Material berpengikat

Karakteristik modulus bahan berpengikat (*bounded materials*) dan tanah dasar yang digunakan pada manual ini ditunjukkan pada Tabel 7.3.

Tabel 7.3. Karakteristik Modulus Bahan Berpengikat yang Digunakan Untuk Pengembangan Bagas Desain dan Untuk Analisis Mekanistik

Jenis Bahan	Modulus Tipikal	Poisson's Ratio	Koefisien Relatif (a)
HRS WC	800 MPa	0,40	Sesuai PdT-01-2002-B
HRS BC	900 MPa		
AC WC	1100 MPa		
AC BC (lapis atas)	1200 MPa		
AC Base atau AC BC (sebagai base)	1600 MPa		
Bahan bersemen (CTB)	500 MPa retak (<i>post cracking</i>)	0,2 (mulus) 0,35 (retak)	
Tanah dasar (disesuaikan musim)	10 x CBR (MPa)	0,45 (tanah kohesif)	
		0,35 (tanah non kohesif)	

7.2.3.2 Koreksi Temperatur

Temperatur perkerasan beraspal dapat dinyatakan sebagai temperatur rata-rata tertimbang tahunan (*weighted mean asphalt pavement temperature*, WAMPT). Untuk iklim Indonesia, WAMPT berkisar di antara 38° C (daerah pegunungan) hingga 42° C (untuk daerah pesisir). Nilai modulus campuran beraspal yang digunakan pada bagan desain ditetapkan berdasarkan asumsi WAMPT 41°C. Efek perbedaan modulus pada rentang temperatur tersebut di atas terhadap ketebalan rencana lapisan beraspal tidak signifikan. Namun demikian, dalam hal pendesain akan melakukan analisis mekanistik tersendiri, faktor koreksi temperatur di bawah ini dapat digunakan:

Tabel 7.4. Faktor Koreksi Modulus Campuran Beraspal

Temperatur perkerasan aspal (WAMPT)	Faktor koreksi modulus
42	0.923
41	1.000
40	1.083
39	1.174
38	1.271

7.2.3.3 Material berbutir

Modulus lapisan berbutir (*unbounded granular material*) tidak hanya tergantung pada nilai modulus intrinsik bahan bersangkutan tetapi juga ditentukan oleh tegangan (*stress*) yang bekerja pada lapisan tersebut dan kekakuan lapis-lapis di bawahnya. Semakin tinggi tegangan semakin tinggi modulus bahan berbutir. Dengan demikian, semakin tebal dan kaku lapis di atasnya, semakin rendah tegangan yang bekerja pada permukaan lapis berbutir dan semakin rendah modulus. Selanjutnya, semakin dalam, nilai modulus tersebut semakin rendah. Tingkat penurunan nilai modulus lapis berbutir tersebut dipengaruhi pula oleh modulus kekakuan tanah dasar.

Dalam analisis struktur perkerasan, lapisan berbutir dibagi dalam lima sub-lapisan dengan ketebalan yang sama dan nilai modulus yang semakin ke bawah semakin kecil. Tabel 7.5. menunjukkan modulus karakteristik permukaan sub-lapisan teratas yang digunakan untuk pengembangan bagan desain dan analisis mekanistik. Prosedur penentuan modulus sub-lapisan di bawahnya dijelaskan pada lampiran C.

Tabel 7.5. Karakteristik Modulus Lapisan Teratas Bahan Berbutir

Tebal lapisan aspal di atas lapisan berbutir	Modulus bahan berbutir (MPa)	
	(Langsung di bawah lapis HRS)	(Langsung di bawah lapis AC: WC/BC/Base)
40 mm	350	350
75 mm	350	350
100 mm	350	350
125 mm	320	300
150 mm	280	250
175 mm	250	250
200 mm	220	210
225 mm	180	150
≥ 250 mm	150	150

7.2.3.4 Parameter kelelahan lapisan beraspal

Tipikal volume bitumen dalam campuran beraspal dan parameter kelelahan yang digunakan dalam fungsi transfer untuk kriteria retak lelah lapis beraspal ditunjukkan pada Tabel 7.6.

Tabel 7.6. Parameter Kelelahan (*Fatigue*) K^*

Bahan lapisan aspal	Volume aspal (V_b) (%)	Parameter K untuk kondisi iklim Indonesia
HRS WC	16,4	0,009427
HRS BC	14,8	0,008217
AC WC	12,2	0,006370
AC BC	11,5	0,005880
AC Base atau AC BC sebagai lapis fondasi	11,5	0,005355

$$* K = \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36}} \right]$$

** Volume aspal dalam campuran (%) bukan kadar aspal (%).

Berikut adalah contoh perhitungan volume aspal:

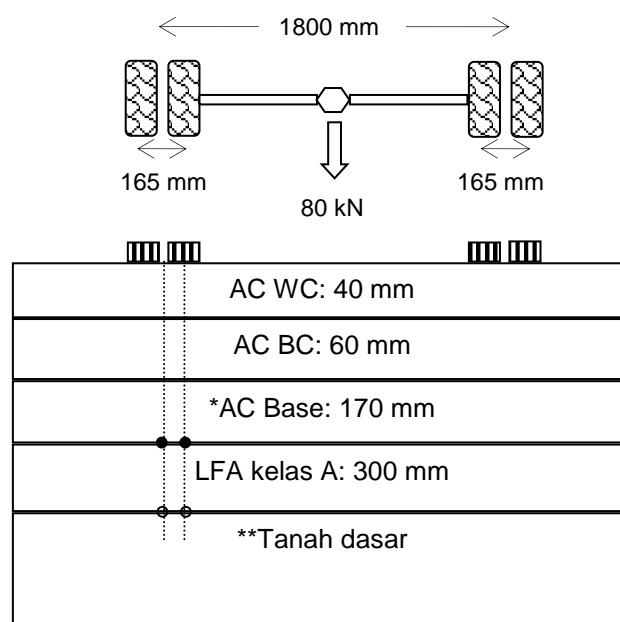
Misal diketahui berat jenis aspal 1,1; berat volume campuran aspal 2300 kg/m³; kadar aspal campuran 6%. Berat aspal dalam 1 m³ campuran: 6% x 2300 kg = 138 kg. Dengan asumsi berat jenis air 1,0 maka volume 138 kg aspal dalam 1 m³ campuran adalah 138/1100 = 0.1254 m³. Dengan demikian, volume aspal dalam 1 m³ campuran: 0,1254 x 100% = 12.54%

7.2.4 Contoh analisis struktur perkerasan

Dalam subbab ini diuraikan contoh aplikasi analisis perkerasan berdasarkan metode mekanistik empiris. Gambar 7.3 menunjukkan struktur suatu perkerasan lentur. Karakteristik mekanik (parameter elastik) tiap lapis ditunjukkan pada Tabel 7.3. Struktur tersebut memikul beban gandar standar (sumbu tunggal roda ganda) dengan besaran dan dimensi seperti dinyatakan pada gambar.

Bidang kontak antara roda kendaraan dan permukaan jalan diasumsikan berbentuk lingkaran. Beban gandar 80 kN terbagi pada 4 roda dengan beban masing-masing 20 kN dengan tekanan ban 750 kPa sehingga membentuk jari-jari bidang kontak tiap roda 92,10 mm.

Dapatkan regangan kritis pada struktur tersebut dan hitung jumlah repetisi beban gandar standar izin berdasarkan model kinerja retak lelah dan deformasi permanen untuk faktor reabilitas fungsi transfer 80%.



Gambar 7.3. Penampang Struktur Perkerasan

*titik-titik lokasi regangan kritis: regangan tarik pada dasar lapis aspal

**titik-titik lokasi regangan kritis: regangan tekan pada permukaan tanah dasar

Karakteristik bahan yang digunakan pada contoh ini adalah sebagai berikut:

Tabel 7.7. Karakteristik Material

Material	Modulus E (MPa)	Rasio Poisson (ν)	Derajat anisotropik (n)	Modulus geser f (MPa)
AC WC	1100	0,40	1	-
AC BC	1200	0,40	1	-
AC Base	1600	0,40	1	-
LFA sub lapis 1*	150	0,35	2	111,1
LFA sub lapis 2	124,9	0,35	2	92,5
LFA sub lapis 3	104,0	0,35	2	77,0
LFA sub lapis 4	86,6	0,35	2	64,1
LFA sub lapis 5	72,1	0,35	2	53,4
Tanah dasar	60	0,45	2	41,4

* LFA di bagi dalam 5 sub lapis. Sub lapis 1 = Lapis teratas (langsung di bawah lapis beraspal)

Dalam contoh ini, analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak CIRCLY. Perangkat lunak yang sejenis dapat digunakan. Hasil perhitungan regangan kritis dan repetisi beban standar yang diizinkan (dengan asumsi volume bitumen campuran aspal seperti ditunjukkan pada tabel) adalah sebagai berikut:

Tabel 7.8. Hasil Analisis Struktur Perkerasan dan Perhitungan Repetisi Beban Izin

Struktur	Regangan tarik kritis ($\mu\epsilon$)	Regangan tekan kritis ($\mu\epsilon$)	Volume bitumen (%)	Repetisi izin beban rencana (ESA)*
AC WC	64,9	-	12,2	23.441E+06
AC BC	60,5	-	11,5	21.799E+06
AC Base	186,7	-	11,5	46,4E+06
Tanah dasar	-	343	-	10.772E+06

* Dihitung menggunakan fungsi transfer: formula (7.1) dan (7.3)

Analisis tersebut menunjukkan bahwa regangan kritis yang menentukan adalah regangan tarik di serat bawah lapis AC Base dan repetisi beban izin adalah 46,4 juta ESA5.

7.3 Metode Desain Perkerasan Jalan Kerikil atau Perkerasan dengan Penutup Tipis

Metode desain perkerasan secara empiris berlaku untuk perkerasan dengan lapis agregat (*unbounded*) tanpa lapis penutup, atau dengan lapis penutup berupa laburan (burtu atau burda), atau dengan penutup berupa lapisan beraspal degan tebal kurang dari 40 mm.

Bagan desain dikembangkan secara empiris atas dasar daya dukung tanah dasar dan tebal perlu perkerasan untuk melindungi tanah dasar terhadap beban lalu lintas untuk mencegah alur dan perubahan bentuk permanen.

Walaupun metode mekanistik dapat diterapkan untuk jalan kerikil akan tetapi keandalan pendekatan tersebut untuk perkerasan dengan aspal tipis masih dipertanyakan. Asumsi yang digunakan pada metode mekanistik yang ada dianggap belum memadai antara lain adalah:

- Asumsi bahwa lapis penutup terikat sepenuhnya (*fully bounded*) dengan lapis agregat.
- Beban horizontal yang terjadi akibat efek mengerem, percepatan, membelok dan mendaki diabaikan.
- Lapis yang tipis di atas lapis agregat dianggap seragam walaupun pada kenyataannya keseragaman sulit dicapai antara lain karena tipisnya lapisan aspal dan suhu campuran yang cepat menurun.

7.4 Perkerasan Kaku

Prosedur perkerasan kaku mengikuti ketentuan Pd T-14-2003 Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen. Dengan catatan bahwa spektrum beban lalu lintas hendaklah mengikuti ketentuan seperti dinyatakan pada Lampiran D yang ditetapkan berdasarkan beban aktual. Beban sumbu berdasarkan spektrum beban menurut Pd T-14-2003 adalah untuk kondisi beban terkendali.

7.5 Bagan Desain

Bagan Desain - 3 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB¹⁾

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat Bagan Desain - 3A, 3B dan 3C	Lihat Bagan Desain - 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA5)	> 10 - 30	> 30 – 50	> 50 – 100	> 100 – 200	> 200 – 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				

AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Catatan:

1. Ketentuan-ketentuan struktur Fondasi Bagan Desain - 2 berlaku.
2. CTB mungkin tidak ekonomis untuk jalan dengan beban lalu lintas < 10 juta ESA5. Rujuk Bagan Desain - 3A, 3B dan 3C sebagai alternatif.
3. Bagan Desain - 4 sebagai alternatif untuk solusi perkerasan kaku pada kondisi tanah datar biasa (bukan tanah lunak) dapat dipertimbangkan jika *life-cycle-cost* dan sumber daya setempat memungkinkan.
4. Hanya kontraktor yang cukup berkualitas dan memiliki akses terhadap peralatan yang sesuai dan keahlian yang diizinkan melaksanakan pekerjaan CTB. LMC dapat digunakan sebagai pengganti CTB untuk pekerjaan di area sempit atau jika disebabkan oleh ketersediaan alat.
5. AC-BC harus dihampar dengan tebal padat minimum 50 mm dan maksimum 80 mm.

Bagan Desain - 3A Desain Perkerasan Lentur dengan HRS¹

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA5)	FF1 < 0,5	$0,5 \leq FF2 \leq 4,0$
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi makadam	HRS
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10% ³	150	125

¹ Bagan Desain - 3A merupakan alternatif untuk daerah yang HRS menunjukkan riwayat kinerja yang baik dan daerah yang dapat menyediakan material yang sesuai (*gap graded mix*).

² HRS tidak sesuai untuk jalan dengan tanjakan curam dan daerah perkotaan dengan beban lebih besar dari 2 juta ESA5

³ Kerikil alam dengan atau material stabiisasi dengan CBR > 10% dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumberdaya penyedia jasa yang mumpuni tersedia. Ukuran material LFA kelas B lebih besar dari pada kelas A sehingga lebih mudah mengalami segregasi. Selain itu, ukuran butir material kelas B yang lebih besar membatasi tebal minimum material kelas B. Walaupun dari segi mutu material kelas A lebih tinggi daripada kelas B, namun dari segi harga material LFA kelas A dan B tidak terlalu berbeda sehingga untuk jangka panjang LFA kelas A dapat menjadi pilihan yang lebih kompetitif.

Bagan Desain - 3B Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

(Sebagai Alternatif dari Bagan Desain - 3 dan 3A)

STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 2							
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	< 2	$\geq 2 - 7$	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2		3				

Catatan Bagan Desain - 3B:

1. FFF1 atau FFF2 harus lebih diutamakan daripada solusi FF1 dan FF2 (Bagan Desain - 3A) atau dalam situasi jika HRS berpotensi mengalami *rutting*.
2. Perkerasan dengan CTB (Bagan Desain - 3) dan pilihan perkerasan kaku dapat lebih efektif biaya tapi tidak praktis jika sumber daya yang dibutuhkan tidak tersedia.
3. Untuk desain perkerasan lentur dengan beban > 10 juta CESA5, diutamakan menggunakan Bagan Desain - 3. Bagan Desain - 3B digunakan jika CTB sulit untuk diimplementasikan. Solusi dari FFF5 - FFF9 dapat lebih praktis daripada solusi Bagan Desain - 3 atau 4 untuk situasi konstruksi tertentu seperti: (i) perkerasan kaku atau CTB bisa menjadi tidak praktis pada pelebaran perkerasan lentur eksisting atau, (ii) di atas tanah yang berpotensi konsolidasi atau, (iii) pergerakan tidak seragam (dalam hal perkerasan kaku) atau, (iv) jika sumber daya kontraktor tidak tersedia.
4. Tebal minimum lapis fondasi agregat yang tercantum di dalam Bagan Desain - 3 dan 3 A diperlukan untuk memastikan drainase yang mencukupi sehingga dapat membatasi kehilangan kekuatan perkerasan pada musim hujan. Kondisi tersebut berlaku untuk semua Bagan Desain kecuali Bagan Desain - 3 B.
5. Tebal LFA berdasarkan Bagan Desain - 3B dapat dikurangi untuk *subgrade* dengan daya dukung lebih tinggi dan struktur perkerasan dapat mengalirkan air dengan baik (faktor $m \geq 1$). Lihat Bagan Desain - 3C.
6. Semua CBR adalah nilai setelah sampel direndam 4 hari.

Bagan Desain – 4 Perkerasan Kaku Untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

(Persyaratan desain perkerasan kaku dengan sambungan dan ruji (*dowel*) serta bahu beton (*tied shoulder*), dengan atau tanpa tulangan distribusi retak)

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (<i>overloaded</i>) (10E6)	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Perencana harus menerapkan kelompok sumbu kendaraan niaga dengan beban yang aktual. Bagan beban di dalam Pd T-14-2003 tidak boleh digunakan untuk desain perkerasan karena didasarkan pada ketentuan berat kelompok kendaraan yang tidak realistis dengan kondisi Indonesia. Lampiran D memberikan pembebanan kelompok sumbu yang mewakili kondisi Indonesia.

Permukaan fondasi (tanah dasar) berupa tanah berbutir halus (klasifikasi AASHTO A4 – A6) harus distabilisasi semen setebal 150 mm. Lihat Bagan Desain – 2 dan Gambar 7.4.

Bagan Desain - 4A. Perkerasan Kaku Untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah*

	Tanah dasar			
	Tanah Lunak dengan Lapis Penopang		Dipadatkan normal	
Bahu pelat beton (<i>tied shoulder</i>)	Ya	Tidak	Ya	Tidak
	Tebal Pelat Beton (mm)			
Akses terbatas hanya mobil penumpang dan motor	160	175	135	150
Dapat diakses oleh truk	180	200	160	175
Tulangan distribusi retak	Ya		Ya jika daya dukung fondasi tidak seragam	
<i>Dowel</i>	Tidak dibutuhkan			
LMC	Tidak dibutuhkan			
Lapis Fondasi Kelas A (ukuran butir nominal maksimum 30 mm)	125 mm			
Jarak sambungan melintang	4 m			

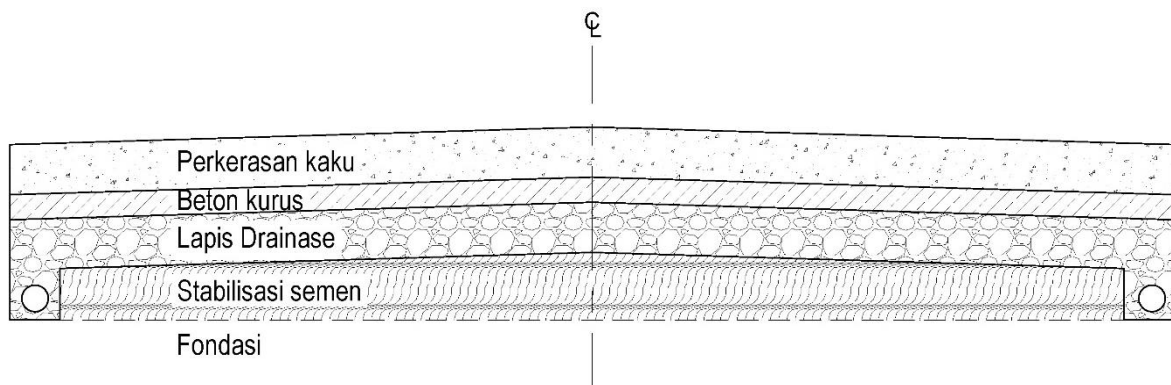
* Jalan desa atau jalan dengan volume lalu lintas kendaraan niaga rendah seperti dinyatakan di dalam Tabel 4.6. (Perkiraan lalu lintas untuk jalan lalu lintas rendah).

Bagan Desain – 5 Perkerasan Berbutir dengan Laburan¹

	STRUKTUR PERKERASAN				
	SD1	SD2	SD3	SD4 ³	SD5 ³
	Beban sumbu 20 tahun pada lajur desain (ESA4x10 ⁶)				
	< 0,1	0,1 - 0,5	> 0,5 - 4	> 4 - 10	>10 - 30
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)				
Burda	Ukuran agregat nominal 20 mm				
Lapis Fondasi Agregat Kelas A ²	200	250	300	320	340
Lapis Fondasi Agregat kelas A, atau kelas B, atau kerikil alam, atau stabilisasi dengan CBR > 10%, pada subgrade dengan CBR ≥ 5% ^{2,5}	100	110	140	160	180

Catatan :

1. Ketentuan-ketentuan struktur fondasi jalan Bagan Desain – 2 berlaku juga untuk Bagan Desain – 5.
2. Lapis Fondasi Agregat Kelas A harus dihampar dengan tebal padat minimum 125 mm dan maksimum 200 mm.
3. SD4 dan SD5 hanya digunakan untuk konstruksi bertahap atau untuk penutupan bahu.
4. Dibutuhkan pengendalian mutu yang baik untuk semua lapis perkerasan.
5. Kerikil alam dengan atau material stabiisasi dengan CBR > 10% dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumberdaya penyedia jasa yang mumpuni tersedia. Ukuran material LFA kelas B lebih besar dari pada kelas A sehingga lebih mudah mengalami segregasi. Selain itu, ukuran butir material kelas B yang lebih besar membatasi tebal minimum material kelas B. Walaupun dari segi mutu material kelas A lebih tinggi daripada kelas B, namun dari segi harga material LFA kelas A dan B tidak terlalu berbeda sehingga untuk jangka panjang LFA kelas A dapat menjadi pilihan yang lebih kompetitif.



Gambar 7.4. Tipikal Potongan Melintang Perkerasan Kaku (Bagan Desain - 4)

Bagan Desain – 6 Perkerasan Dengan Stabilitas Tanah Semen (*Soil Cement*)

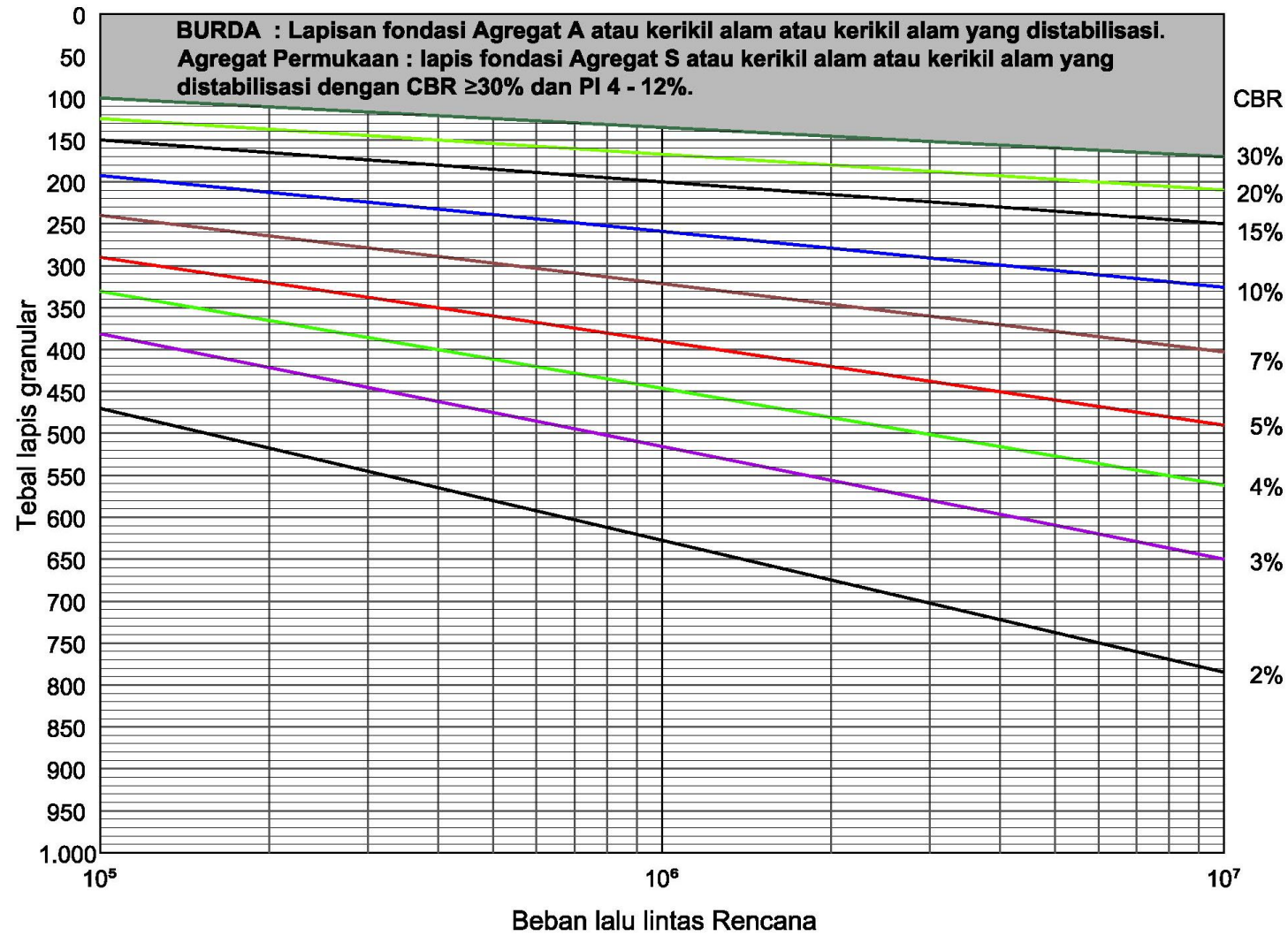
(diizinkan untuk area dengan sumber agregat atau kerikil terbatas)

	STRUKTUR PERKERASAN ¹		
	SC1	SC2	SC3
	Beban Sumbu 20 tahun pada lajur desain (ESA4 x 10 ⁶)		
	< 0,1	0,1- 0,5	> 0,5 – 4
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)		
	50 (campuran beraspal)		
HRS WC, AC WC (halus), Burtu atau Burda			
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	160	220	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas A atau B ²	110	150	200
Tanah distabilisasi (CBR 6% pada tanah dengan CBR \geq 3%) ³	160	200	260

Catatan :

1. Bagan Desain - 6 digunakan untuk semua tanah dasar dengan CBR \geq 3%. Ketentuan Bagan Desain – 2 tetap berlaku untuk tanah dasar yang lebih lemah.
2. Disarankan untuk menggunakan LFA kelas A sebagai lapis fondasi. Penggunaan LFA kelas B sebagai lapis bawah fondasi berpotensi mengalami segregasi, sedangkan dari perbedaan harga kelas A dan kelas B tidak signifikan.
3. Stabilisasi satu lapis dengan tebal lebih dari 200 mm sampai dengan 300 mm diperbolehkan jika disediakan peralatan stabilisasi yang memadai dan pemadatan dilakukan dengan *pad-foot roller* dengan berat statis minimum 18 ton.
4. Bila catatan 2 diterapkan, lapisan distabilisasi pada Bagan Desain - 5 atau 6 boleh dipasang dalam satu lapisan dengan lapisan distabilisasi dalam Bagan Desain - 2 sampai maksimum 300 mm.
5. Hanya kontraktor berkualitas dan mempunyai peralatan diperbolehkan melaksanakan pekerjaan Burda atau pekerjaan Stabilisasi.
6. Dalam hal terdapat kendala untuk menerapkan Bagan Desain - 5 atau 6 dapat digunakan prosedur grafik Bagan Desain - 7 yang contoh penggunaannya dapat dilihat pada LAMPIRAN E.

Bagan Desain – 7 Perkerasan Tanpa Penutup Beraspal dan Lapis Permukaan Beraspal Tipis*



*Sumber: Austroads. Contoh penggunaan Bagan Desain - 7 diberikan pada lampiran E.

7.6 Contoh Penggunaan

Jalan raya dua lajur dua arah direncanakan untuk melayani beban lalu lintas rencana 20 tahun (2018 – 2037) seperti ditunjukkan dalam contoh (1) sub-bab 4.9. Penyelidikan tanah menunjukkan bahwa daya dukung representatif tanah dasar: CBR 3%. Tentukan struktur perkerasan.

- i) Data lalu lintas dan hasil analisis contoh (1) sub-bab 4.9 disajikan kembali pada tabel di bawah ini. Jumlah kelompok sumbu masing-masing jenis kendaraan ditampilkan untuk keperluan desain perkerasan beton semen.

Jenis kendaraan	LHR 2018	LHR 2021	ESA5 ('18-'20)	ESA5 ('21-'37)
(1)	(2)	(3)	(7)	(8)
Mobil penumpang dan kendaraan ringan lain	2085	2402	-	-
5B	101	117	5.8.E+04	5.4.E+05
6B	1129	1301	4.8.E+06	2.8.E+07
7A1	12	13	1.2.E+05	4.6.E+05
7A2	323	372	3.7.E+06	9.7.E+06
7C1	16	19	2.7.E+05	8.3.E+05
7C2A	9	11	2.1.E+05	4.0.E+05
7C2B	5	5	1.1.E+05	2.0.E+05
7C3	16	19	4.8.E+05	6.9.E+05
		CESA5	9.8.E+06	40.6.E+06
		CESA5 2018 - 2037		50.0.E+06

- ii) Desain fondasi.

Berdasarkan Bagan Desain - 2, tanah dasar kategori SG3 untuk desain > 4 juta ESA5 diperlukan 300 mm lapis penopang.

- iii) Untuk lalu lintas pada lajur rencana 50.0E+06 ESA5 alternatif desain perkerasan lentur adalah:

- a) Bagan Desain – 3 F2 (dengan CTB)

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	60
AC Base	100
CTB	150
LFA kelas A	150

b) Bagan Desain – 3B (dengan fondasi agregat)

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	60
AC Base	180
LFA kelas A	300

iv) Alternatif perkerasan kaku

Jumlah kelompok sumbu masing-masing jenis kendaraan diperlukan untuk keperluan desain perkerasan beton semen. Umur rencana 40 tahun dan beban lalu lintas dihitung berdasarkan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat sebagai berikut:

Jenis kendaraan	Jumlah kelompok sumbu	LHR 2018	Kelompok sumbu 2018	Jumlah kelompok sumbu 2018 - 2057
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
5B	2	101	203	4,29E+06
6B	2	1129	2258	4,78E+07
7A1	2	12	23	4,87E+05
7A2	2	323	645	1,36E+07
7C1	2	16	32	6,82E+05
7C2A	3	9	28	5,85E+05
7C2B	3	5	14	2,92E+05
7C3	3	16	48	1,02E+06
Kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat 2018 - 2057				68,8E+06

$$(4) = (2) \times (3)$$

$$(5) = (4) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times R_{40}$$

$$R_{40} = \frac{(1 + 0,01 \times 4,83)^{40} - 1}{0,01 \times 4,83}$$

c) Bagan Desain - 4. Perkerasan beton semen untuk kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat desain 68,77E+06, struktur untuk lalu lintas dengan dengan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat adalah:

Perkerasan: beton semen dengan sambungan tanpa tulangan

Umur rencana : 40 tahun

Tebal pelat beton : 305 mm

Lapis beton kurus (LMC) : 100 mm

Lapis drainage (LFA kls A) : 150 mm

Sambungan : dengan dowel

v) Lakukan pemilihan terhadap ketiga alternatif tersebut berdasarkan ketersediaan sumber daya local dan analisis biaya (*discounted lifecycle cost*).

8 MASALAH PELAKSANAAN YANG MEMPENGARUHI DESAIN

Untuk menghasilkan perkerasan yang baik, mutu konstruksi yang disyaratkan harus tercapai. Pelaksanaan yang buruk tidak dapat dikoreksi dengan membuat “penyesuaian desain” (*pavement design adjustments*). Sebagai contoh, kepadatan lapisan yang tidak memenuhi syarat tidak dapat dikompensasi dengan menambah tebal rencana perkerasan.

Bab ini menjelaskan permasalahan pelaksanaan yang mempengaruhi desain dan pilihan desain perkerasan.

8.1 Ketebalan Lapis Perkerasan

Keterbatasan pelaksanaan pemadatan dan segregasi menentukan tebal struktur perkerasan. Perencana harus melihat batasan-batasan tersebut, termasuk ketebalan lapisan yang diizinkan pada Tabel 8.1. Jika pada bagan desain ditentukan bahwa suatu bahan dihamparkan lebih tebal dari yang diizinkan, maka bahan tersebut harus dihamparkan dan dipadatkan dalam beberapa lapisan.

Tabel 8.1. Ketebalan Padat Lapisan yang Diizinkan pada Penghamparan

B a h a n	Rentang tebal padat per hamparan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
HRS WC	30 – 50	tidak
HRS Base	35 – 50	ya
AC WC	40 – 70	ya
AC BC	60 – 80	ya
AC - Base	75 – 120	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas A (gradasi dengan ukuran maksimum 37.5 mm)	150 - 200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas B (gradasi dengan ukuran maksimum 50 mm)	120 – 150	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas S (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	100 – 125	ya
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30 mm) atau LMC	150 – 300*	tidak
Stabilisasi tanah atau kerikil alam	150 – 200	tidak
Kerikil alam	100 – 200	ya

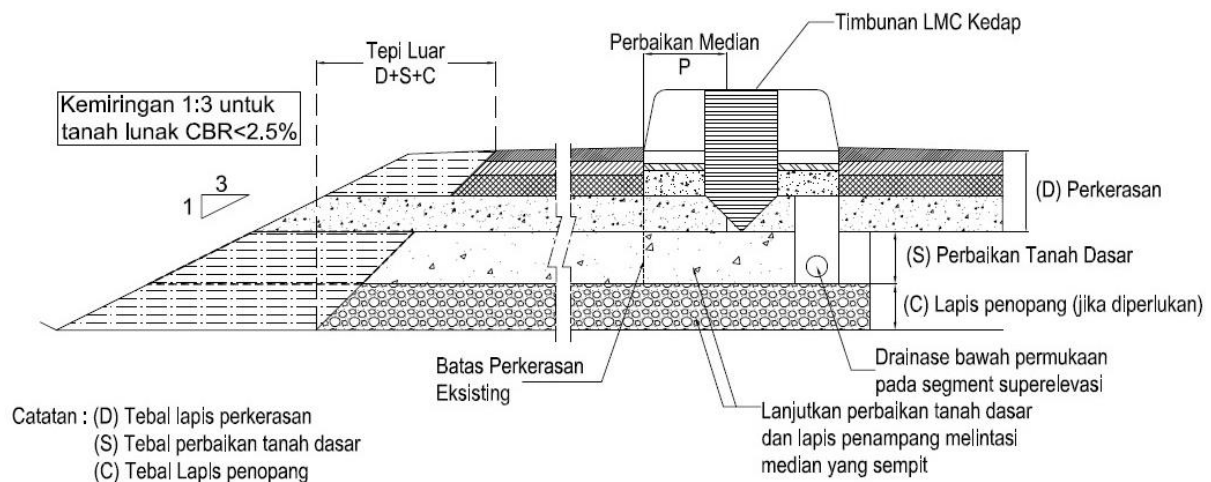
Catatan:

* Tergantung kemampuan alat pemadat.

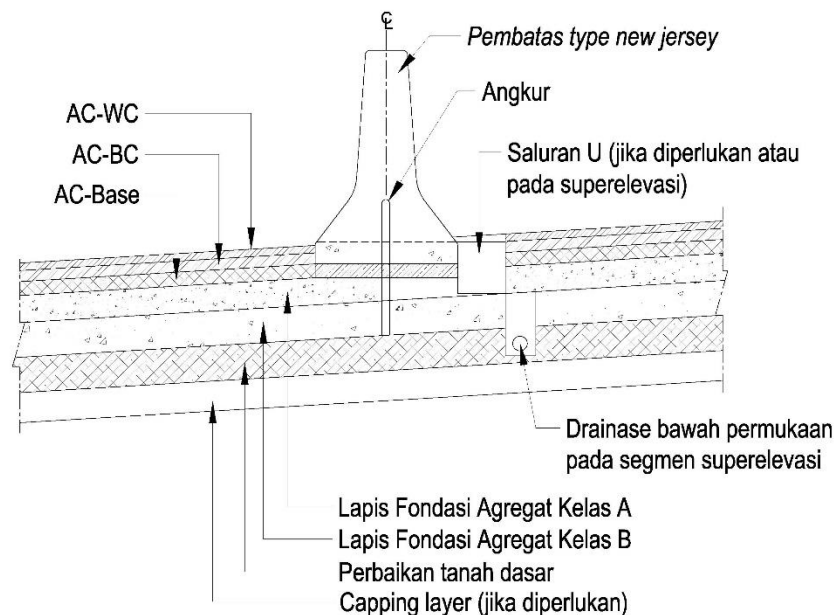
8.2 Daya Dukung Tepi Perkerasan

Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama bila terletak pada tanah lunak atau tanah gambut. Ketentuan daya dukung tepi harus dinyatakan secara detail dalam gambar-gambar kontrak (*drawings*). Ketentuan minimum adalah:

- Setiap lapis pekerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum yang dinyatakan pada Gambar 8.1. Dukungan Tepi Perkerasan.
- Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak (CBR < 2.5%) atau tanah gambut harus dipasang pada kemiringan tidak lebih curam dari 1V : 3H.



Gambar 8.1. Dukungan Tepi Perkerasan.



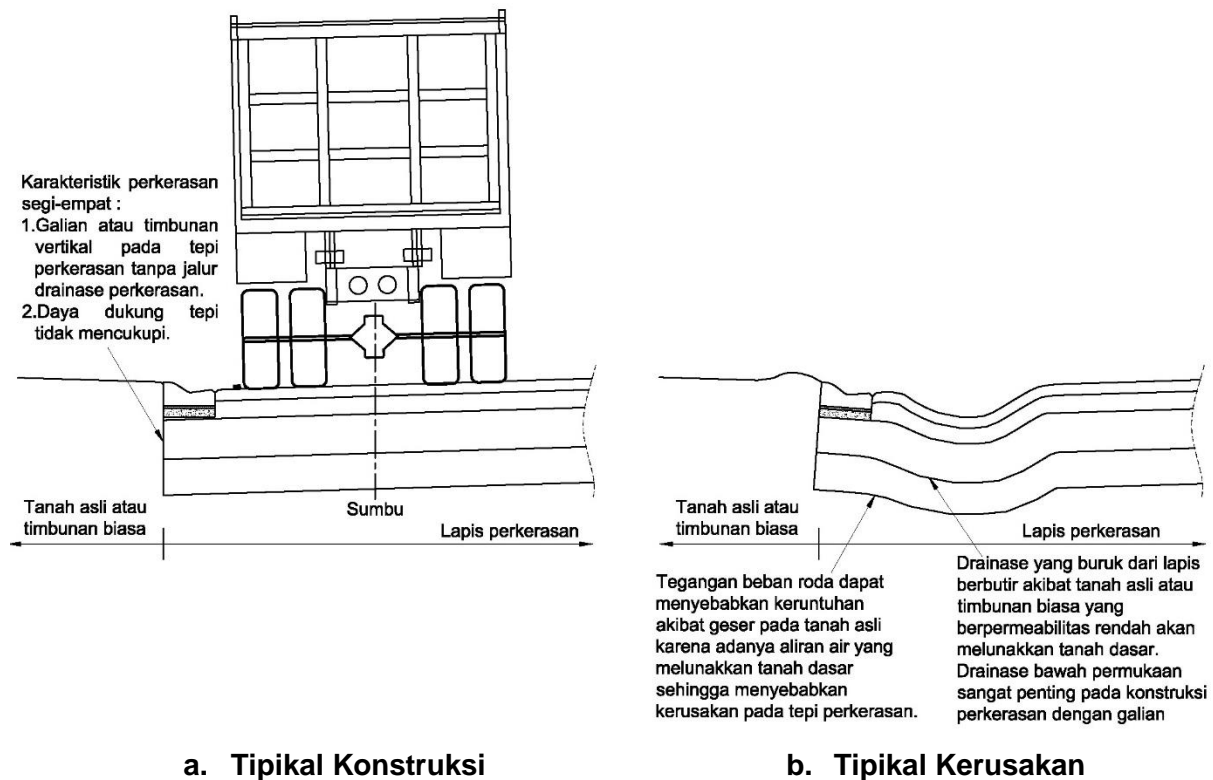
Gambar 8.2. Dukungan Median Perkerasan.

Lapis penopang dan perbaikan tanah dasar harus diperlebar sampai ke bawah median seperti ditunjukkan pada Gambar 8.2. Dukungan Median Perkerasan. Area median harus dapat mengalirkan air dengan baik atau diisi dengan *lean mix concrete* atau dengan bahan pengisi yang kedap untuk menghindari pengumpulan air dan kerusakan tepi perkerasan.

8.3 Konstruksi Perkerasan pada Galian Segi Empat (*Boxed Construction*)

Konstruksi perkerasan pada galian berbentuk segi empat (*boxed construction*) mengacu pada struktur perkerasan dengan lapisan perkerasan berbutir yang tidak dapat mengalirkan air kecuali melalui sistem drainase bawah permukaan (Gambar 8.3.a. Tipikal Konstruksi dan Gambar 8.3.b Tipikal Kerusakan). Konstruksi pada galian berbentuk segi empat hendaknya hanya digunakan apabila tidak ada pilihan lain.

Pada daerah perkotaan dan antar kota, pada umumnya dibutuhkan konstruksi perkerasan berbentuk segi-empat. Perkerasan pada galian berbentuk segi-empat harus mengikuti ketentuan-ketentuan yang diuraikan dalam bab ini. Pelaksanaan konstruksi perkerasan dengan galian harus dilengkapi dengan sistem drainase bawah permukaan, termasuk drainase bawah permukaan dalam arah lateral untuk tepi yang lebar (lihat Bab 5).



Gambar 8.3. Konstruksi Perkerasan pada Galian Segi Empat (Kasus Tipikal)

8.4 Pengaruh Musim Hujan

Perencana harus mempertimbangkan pengaruh musim hujan terhadap aktivitas pelaksanaan terutama di daerah aluvial yang cenderung menjadi jenuh selama musim hujan. Pada umumnya tidak ada jaminan bahwa pelaksanaan konstruksi dapat dilaksanakan pada musim kemarau, oleh karena itu desain hendaknya mempertimbangkan kondisi tanah dasar saat musim hujan (Lihat Bagan Desain - 2).

8.5 Pelaksanaan Konstruksi dengan Lalu Lintas Tetap Melintas

Desain yang harus dilaksanakan dengan lalu lintas tetap dapat melintas (seperti pada pekerjaan pelebaran) harus mempertimbangkan kedalaman penggalian praktis dan keselamatan pelaksanaan. Kondisi tersebut mungkin akan membatasi jenis perkerasan yang bisa digunakan.

8.6 Lokasi Sambungan

Sambungan memanjang terutama pada perkerasan kaku tidak boleh diletakkan di lintasan roda kendaraan.

8.7 Kemampuan Kontraktor

Peralatan dan ketrampilan khusus diperlukan untuk pekerjaan Burtu dan Burda, stabilisasi, *cement treated base* dan perkerasan beton semen, penggunaan aspal modifikasi yang memerlukan bahan dan peralatan khusus. Pekerjaan-pekerjaan tersebut disarankan untuk dikerjakan oleh kontraktor-kontraktor yang mempunyai pengalaman dan akses terhadap sumber daya yang diperlukan.

9 PROSEDUR DESAIN

Prosedur dalam menggunakan bagan desain untuk mencapai hasil yang maksimal secara teknis dan optimal secara ekonomis adalah sebagai berikut:

9.1 Perkerasan Lentur

Prosedur-prosedur ini harus diikuti sebagaimana diuraikan dalam setiap bab:

- | | |
|--|------------|
| 1. Tentukan umur rencana (Tabel 2.1 Umur Rencana Perkerasan) | Bab 2 |
| 2. Tentukan nilai-nilai ESA4 dan atau ESA5 sesuai umur rencana yang dipilih | Bab 4 |
| 3. Tentukan tipe perkerasan berdasarkan Tabel 3.1 atau pertimbangan biaya (analisis <i>discounted life-cycle cost</i>). | Bab 3 |
| 4. Tentukan segmen tanah dasar dengan daya dukung yang seragam. | Bab 6 |
| 5. Tentukan struktur fondasi perkerasan. | Bab 6 |
| 6. Tentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat dari Bagan Desain - 3 atau Bagan Desain lainnya yang sesuai. | Bab 7 |
| 7. Tentukan standar drainase bawah permukaan yang dibutuhkan | Bab 5 |
| 8. Tetapkan kebutuhan daya dukung tepi perkerasan | Bab 8 |
| 9. Tentukan kebutuhan pelapisan (<i>sealing</i>) bahu jalan | Lampiran F |
| 10. Ulangi langkah 5 sampai 9 untuk setiap segmen yang seragam. | 1.1.1 |

9.2 Perkerasan Kaku

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Tentukan umur rencana (Tabel 2.1 Umur Rencana Perkerasan). | Bab 2 |
| 2. Tentukan volume kelompok sumbu kendaraan niaga. | Bab 4 dan Lampiran D |
| 3. Tentukan stuktur fondasi jalan dari Bagan Desain - 2. | Bab 6 |
| 4. Tentukan daya dukung efektif tanah dasar menggunakan solusi tanah normal atau tanah lunak. | Bab 6 |
| 5. Tentukan struktur lapisan perkerasan sesuai Bagan Desain – 4 atau 4A. | Bab 7 |
| 6. Tentukan jenis sambungan (umumnya berupa sambungan dengan <i>dowel</i>). | Bab 7 |
| 7. Tentukan jenis bahu jalan (biasanya menggunakan bahu beton). | Lampiran F |
| 8. Tentukan detail desain yang meliputi dimensi pelat beton, penulangan pelat, posisi <i>dowel & tie bar</i> , ketentuan sambungan dan sebagainya. | Pd T-14-2003 |
| 9. Tetapkan kebutuhan daya dukung tepi perkerasan | Bab 8 |

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Sumbu Standar dan *Traffic Multiplier* – Lapisan Aspal

Untuk perkerasan lentur, kerusakan yang disebabkan lalu lintas rencana dinyatakan dalam ekuivalen Sumbu Standar 80 kN. Faktor ekuivalen beban dihitung sebagai berikut:

$$\text{Nilai ekuivalen beban terhadap sumbu standar, } ESA4 = \left(\frac{L_{ij}}{SL} \right)^4$$

Dengan L_{ij} = beban pada sumbu atau kelompok sumbu

SL = beban standar untuk sumbu atau kelompok sumbu (nilai SL mengikuti ketentuan dalam pedoman desain Pd T-05-2005).

Beban sumbu standar (SL) kelompok sumbu kendaraan niaga ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel A.1. Beban Standar Kelompok Sumbu

Kelompok sumbu	Beban gandar (kN)
Sumbu tunggal roda tunggal	53
Sumbu tunggal roda ganda	80
Sumbu tandem roda tunggal	90
Sumbu tandem roda ganda	135
Sumbu tridem roda ganda	181
Sumbu empat (<i>quad axle</i>) roda ganda	221

Kinerja perkerasan lentur dipengaruhi oleh sejumlah faktor, namun tidak semua faktor tersebut tercakup di dalam persamaan di atas, misalnya faktor kelelahan. Hubungan kelelahan lapisan aspal (*asphalt fatigue*), untuk lapis beraspal tebal berkaitan dengan regangan (*strain*) sebagaimana terlihat dalam persamaan berikut:

Nilai ekuivalen terkait dengan kerusakan retak leleh lapisan aspal, adalah:

$$CESA5 = CESA_{aspal} = \left[\frac{RF \cdot 6918(0,586 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu \epsilon} \right]^5$$

Dengan RF = tingkat kepercayaan (diambil nilai 1 untuk reliabilitas 95%)

V_b = volume bitumen

S_{mix} = kekakuan campuran aspal

$\mu \epsilon$ = regangan

Kerusakan yang diakibatkan oleh lalu lintas yang dinyatakan dalam $ESA4$ memberikan hasil yang lebih rendah dibandingkan kerusakan akibat kelelahan lapisan aspal akibat beban berlebih (*overloading*) yang signifikan. *Traffic multiplier* (TM) digunakan untuk mengoreksi $ESA4$ akibat kelelahan lapisan aspal:

$$ESA_{\text{aspal}} = ESA5$$

$$= TM_{\text{lapisan-aspal}} ESA4$$

dengan ESA_{aspal} = ekuivalen sumbu standar untuk desain lapisan aspal total dengan tebal lebih besar dari 50 mm (tidak berlaku untuk lapisan yang tipis).

$ESA4$ = ekuivalen sumbu standar dihitung dengan menggunakan rumus pangkat 4.

Nilai TM kelelahan lapisan aspal ($TM_{\text{lapisan aspal}}$) untuk kondisi pembebanan yang berlebih di Indonesia adalah berkisar di antara 1,8 - 2. Nilai yang akurat berbeda-beda tergantung dari beban berlebih kendaraan niaga.

Nilai $ESA4$ dan $ESA5$ untuk jenis kendaraan yang disajikan pada Tabel 4.4 diperoleh dari studi beban gandar faktual menggunakan WIM pada beberapa lokasi di Indonesia pada tahun 2012 dan 2013.

Pada desain berdasarkan pendekatan mekanistik empirik, untuk mengakomodasi deformasi tanah dasar digunakan faktor TM berdasarkan $ESA7$; sedangkan untuk lapis perkerasan dengan pengikat semen seperti CTB atau CTRB pada kondisi *pre-cracking* digunakan $ESA12$ (pada manual diasumsikan lapis berpengikat semen dalam kondisi *post-cracking* sehingga tidak berlaku kriteria retak lelah).

Contoh:

Jenis Kendaraan	ESA4	ESA5	Traffic Multiflier (TM)
7A1	10,1	18,4	1,82
7A2	10,5	20,0	1,90
7C1	15,9	29,5	1,86
7C2A	19,8	39,0	1,97

LAMPIRAN B. Zona Iklim

Dalam desain perkerasan, iklim mempengaruhi:

- temperatur dan nilai modulus lapisan beraspal;
- kadar air tanah dasar dan lapisan perkerasan berbutir.

Rentang temperatur perkerasan (*Weighted Mean Pavement Temperature, WMPAT*) dan pengaruh temperatur terhadap modulus campuran aspal diuraikan dalam Bab 7.

Bab 6 membahas pengaruh kelembaban perkerasan terhadap proses pemilihan modulus fondasi atau tanah dasar. Zona iklim diperlukan untuk menggunakan Bagan Desain - 1.



Gambar B.1. Zona Iklim Indonesia

Tabel B.1. Zona Iklim Indonesia

Zona	Uraian (HDM 4 types)	Lokasi	Curah hujan (mm/tahun)
I	tropis, kelembaban sedang dengan musim hujan jarang	Sekitar Timor dan Sulawesi Tengah seperti yang ditunjukkan pada gambar	< 1400
II	tropis, kelembaban sedang dengan musim hujan sedang	Nusa Tenggara, Merauke, Kepulauan Maluku	1400 - 1800
III	tropis, lembab dengan musim hujan sedang	Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua, Bali, seperti yang ditunjukkan gambar	1900 - 2500
IV	tropis, lembab dengan hujan hampir sepanjang tahun dan kelembaban tinggi dan/atau banyak air.	Daerah pegunungan yang basah, misalnya Baturaden (tidak ditunjuk-kan di peta)	> 3000

LAMPIRAN C. Modulus Lapis Berbutir dan Aspal Modifikasi

Modulus material berbutir tergantung pada tegangan yang bekerja pada lapisan berbutir (*stress dependent*). Analisis iterative dengan metode elemen hingga atau solusi dengan model elastik non-linear dapat digunakan untuk menganalisa struktur perkerasan dengan lapisan berbutir dengan modulus yang bersifat *stress dependent*.

Pendekatan lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan solusi elastik linear dengan membagi lapisan berbutir dalam beberapa sub lapisan dengan modulus yang berbeda dan memperhitungkan pengaruh kekakuan tanah dasar. Prosedur pembagian sub lapisan adalah sebagai berikut:

- I. Bagi lapisan berbutir dalam lima sub lapisan dengan ketebalan yang sama.
- II. Modulus sub-lapisan teratas adalah nilai minimum dari modulus yang ditunjukkan dalam Tabel 7.4 dan modulus yang diperoleh dari formula berikut:

$$E_{v \text{ sub-lapisan } 1} = E_{v \text{ tanah-dasar}} \times 2^{(\text{tebal lapis total lapis berbutir}) / 125} \quad (\text{C.1})$$

- III. Rasio nilai modulus antara sub-lapisan adalah:

$$R = \left[\frac{E_{\text{sub lapis } 1}}{E_{\text{tanah dasar}}} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (\text{C.2})$$

- IV. Modulus masing-masing sub-lapis dapat dihitung mulai dari sub-lapis teratas menurun ke bawah, atau dari tanah dasar ke atas.
- V. Parameter modulus material berbutir (*cross anisotropic*) lainnya, modulus dalam arah horizontal (E_H) dan modulus geser (f) dihitung dari hubungan antara parameter:
 - a. $E_H = 0.5 E_v$;
 - b. $f = \frac{E_{v_i}}{1 + \mu_i}$
- VI. Contoh:

Suatu struktur perkerasan terdiri atas lapis aspal beton setebal 270 mm di atas LFA kelas A tebal 300 mm. Fondasi perkerasan tersebut adalah tanah lempung kepasiran dengan CBR 6%. Tentukan modulus vertikal LFA kelas A berdasarkan prosedur tersebut di atas.

- i. Bagi LFA dalam 5 sub-lapisan dengan tebal masing-masing 60 mm (300/5).
- ii. Menentukan E_v sub-lapisan teratas:

Berdasarkan Tabel 7.3., modulus E_v sub-lapisan LFA teratas (langsung di bawah lapis aspal) = 150 MPa. Berdasarkan formula C.1 E_v sub-lapisan teratas adalah 316 MPa ($= 60 \times 2^{(300/125)}$ MPa).

Dipilih nilai tekecil (150 MPa).

- iii. Menentukan rasio nilai modulus antara sub-lapisan:

$$R = \left[\frac{150}{60} \right]^{\frac{1}{5}} = 1,2011$$

- iv. Berdasarkan nilai R di atas maka modulus E_v sub-lapisan berikutnya adalah sebagai berikut:

Sub-lapisan 2: (150/1,2011) MPa = 124,9 MPa

Sub-lapisan 3: (124,9/1,2011) MPa = 104,0 MPa

Sub-lapisan 4: (104/1,2011) MPa = 86,6 MPa

Sub-lapisan 5: (86,6/1,2011) MPa = 72,0 MPa

Aspal Modifikasi dan Inovasi Material Lainnya

Perkerasan lentur yang menggunakan aspal modifikasi atau lapis aus SMA dapat menggunakan Bagan Desain - 3, dan 3B. Manfaat utama aspal modifikasi adalah untuk meningkatkan durabilitas dan ketahanan terhadap alur (*rutting*) serta umur *fatigue*.

Aspal modifikasi atau solusi desain lainnya yang memanfaatkan sifat material khusus harus didukung oleh:

- a. Sertifikat pabrik yang menyatakan sifat material.
- b. Program pengujian menyeluruh yang mengkonfirmasi sifat material dan campuran beraspal oleh laboratorium aspal yang disetujui.
- c. Analisis desain mekanistik dengan menggunakan prinsip – prinsip dalam manual ini.
- d. Pengujian lapangan jika diminta Direktorat Jenderal Bina Marga.
- e. Bukti bahwa transportasi dan penyimpanan aspal, alat pencampuran dan penghamparan sesuai dengan campuran beraspal modifikasi yang digunakan.

LAMPIRAN D. Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Berat (HVAG)

Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga untuk Jalan Lalu Lintas Berat (untuk desain perkerasan kaku)

TERMASUK BUS

Beban kelompok Sumbu	Jenis Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga				
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG
(kN)	Kelompok sumbu sebagai persen dari kendaraan niaga				
10 - 20	7,6	-	-	-	-
20 - 30	16,5	0,2	-	-	-
30 - 40	18,4	0,5	-	-	-
40 - 50	11,8	1,1	-	-	-
50 - 60	19,0	2,2	-	-	-
60 - 70	7,6	4,9	-	-	-
70 - 80	10,2	7,4	-	-	-
80 - 90	0,7	6,9	-	-	-
90 - 100	1,1	2,6	-	-	-
100 - 110	-	1,8	1,8	-	-
110 - 120	-	1,6	-	0,3	-
120 - 130	-	3,0	-	0,1	-
130 - 140	-	3,3	1,8	0,4	-
140 - 150	-	1,5	1,8	0,7	-
150 - 160	-	0,3	1,8	1,0	-
160 - 170	-	3,6	-	1,1	-
170 - 180	-	0,1	-	1,1	-
180 - 190	-	-	-	0,5	-
190 - 200	-	-	-	1,6	-
200 - 210	-	0,4	-	2,7	0,13
210 - 220	-	2,4	-	0,8	-
220 - 230	-	0,1	-	1,0	-
230 - 240	-	0,1	-	0,9	-
240 - 250	-	-	-	0,7	-
250 - 260	-	-	-	0,3	-
260 - 270	-	-	-	1,9	-
270 - 280	-	-	-	1,0	-
280 - 290	-	-	-	1,2	-
290 - 300	-	-	-	0,1	-
300 - 310	-	-	-	-	-
310 - 320	-	-	-	0,7	0,13
320 - 330	-	-	-	0,4	0,13
330 - 340	-	-	-	-	-

Catatan:

1 Ton = 9,81 kN (biasanya untuk memudahkan perhitungan diambil 10).

**Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga Untuk Jalan Lalu Lintas Berat
(Untuk Desain Perkerasan Kaku)**

Beban kelompok Sumbu	Jenis Kelompok Sumbu				
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG
(kN)	Kelompok sumbu sebagai persen dari kendaraan niaga				
340 - 350	-	-	-	-	-
350 - 360	-	-	-	0,4	-
360 - 370	-	-	-	-	-
370 - 380	-	-	-	0,9	0,13
380 - 390	-	-	-	0,4	-
390 - 400	-	-	-	-	0,26
400 - 410	-	-	-	-	0,26
410 - 420	-	-	-	-	0,13
420 - 430	-	-	-	-	-
430 - 440	-	-	-	-	-
440 - 450	-	-	-	-	0,40
450 - 460	-	-	-	-	0,13
460 - 470	-	-	-	-	-
470 - 480	-	-	-	-	0,13
480 - 490	-	-	-	-	-
490 - 500	-	-	-	-	-
500 - 510	-	-	-	-	-
510 - 520	-	-	-	-	0,13
520 - 530	-	-	-	-	-
530 - 540	-	-	-	-	-
540 - 550	-	-	-	-	-
550 - 560	-	-	-	-	0,13
Proporsi Sumbu	55.8%	26.4%	4.3%	12.2%	1.3%

Catatan:

Berlaku untuk perhitungan desain ketebalan pelat perkerasan kaku.

Sumber data RSDP3 Activity #201 studi sumbu kendaraan niaga di Demak, Jawa Tengah Tahun 2011 (PANTURA).

Catatan :

STRT : Sumbu tunggal roda tunggal

STRG : Sumbu tunggal roda ganda

STdRT : Sumbu tandem roda tunggal

STdRG : Sumbu tandem roda ganda

STrRG : Sumbu tridem roda ganda

LAMPIRAN E. Prosedur Penggunaan Bagan Desain - 7 Untuk Desain Jalan Tanpa Penutup Aspal

Bahan

Bahan yang sesuai untuk perkerasan tanpa penutup aspal adalah:

1. Tanah yang distabilisasi.
2. Timbunan pilihan.
3. Kerikil alam yang memenuhi ketentuan klasifikasi AASHTO A1 dan A2.
4. Lapis Fondasi Agregat kelas A, B, dan S.

Penampang Melintang

Perkerasan tanpa penutup aspal harus dibentuk secara benar dengan lereng melintang tanah dasar atau permukaan jalan 3% atau lebih. Elevasi muka air tanah paling tidak 600 mm atau lebih di bawah tanah dasar.

Umur Rencana

Umur rencana minimum 10 tahun, namun rencana konstruksi bertahap harus disiapkan untuk menyediakan kebutuhan perkuatan atau pelaburan (*sealing*) di masa yang akan datang.

Desain

Perkerasan tanpa penutup aspal dapat terdiri atas satu atau lebih lapisan material berbutir tergantung pada material yang tersedia dan opsi biaya tersedia. Setiap lapisan mulai dari tanah dasar ke atas harus memiliki CBR yang semakin atas semakin besar. Lapisan atas harus memiliki nilai CBR lebih besar dari 30% dan PI antara 4% - 12%. Tebal setiap lapisan ditentukan berdasarkan Bagan Desain - 7 (Gambar E1).

Prosedur penggunaan bagan tersebut dijelaskan dengan menggunakan contoh berikut.

Lalu Lintas rencana 500.000 ESA4

CBR Tanah Dasar 3%

Material perkerasan tersedia:

Tanah Laterit	CBR 10%
Tanah Laterit distabiliasi	CBR 18%
Lapis Fondasi Agregat Kelas S	CBR 50%

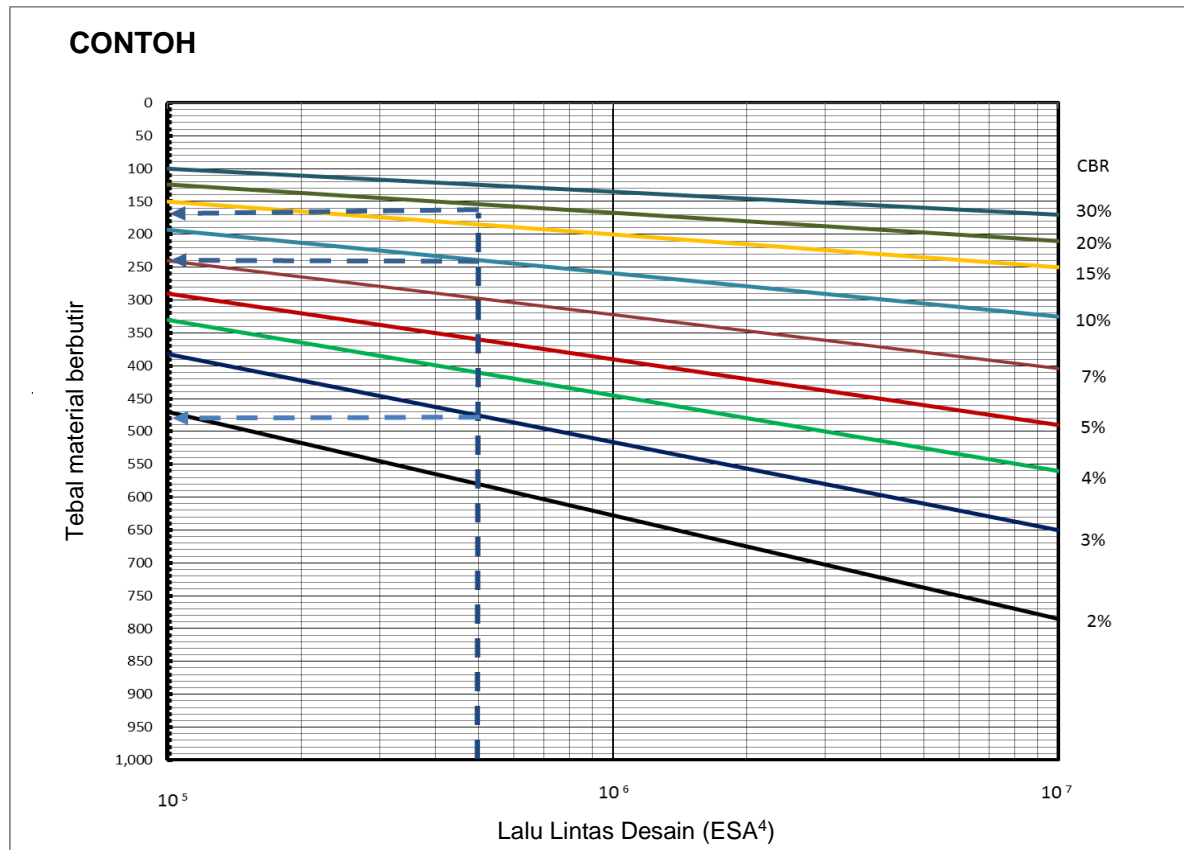
Dengan demikian struktur lapisan berbutir dari atas ke bawah adalah:

- Lapis 1. Lapis Fondasi Agregat Kelas S
- Lapis 2. Laterit distabilisasi
- Lapis 3. Laterit

Dengan menggunakan Gambar E.1 lakukan perencanaan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

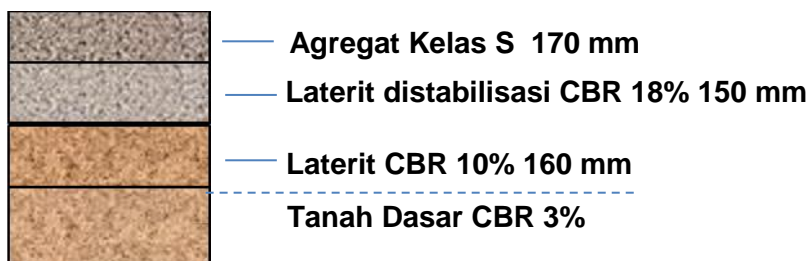
1. Cari titik pada bagan untuk (CBR 3% dan 500.000 ESA), nilai axis sebelah kiri menunjukkan 480 mm. Nilai ini adalah nilai minimum tebal total kombinasi perkerasan yang dibutuhkan.
2. Cari titik pada bagan untuk (CBR 18% dan 500.000 ESA) (lapis 2), nilai axis sebelah kiri menunjukkan 170 mm. Nilai ini adalah tebal minimum untuk lapis 1 (LFA).
3. Cari titik pada bagan untuk (CBR 10% dan 500.000 ESA), nilai axis sebelah kiri menunjukkan 240 mm. Nilai ini adalah tebal total minimum untuk lapis 1 dan lapis 2. Dengan demikian, tebal lapis 1 adalah 170 mm dan tebal minimum lapis 2 adalah (240

mm – 170 mm) = 70 mm. Karena 70 mm bukan tebal praktis untuk konstruksi maka digunakan tebal 150 mm untuk memenuhi persyaratan tebal minimum seperti ditunjukkan dalam Tabel 8.1.



Gambar E.1. Contoh Penggunaan Bagan Desain - 7 Untuk Perkerasan Tanpa Penutup Aspal

4. Karena tebal dari dua lapis pertama dan tebal total perkerasan telah diketahui, maka tebal minimum untuk lapis 3 dapat ditentukan. Yakni $480 \text{ mm} - 170 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$
5. Catatan : Bagan Desain - 7 digunakan untuk desain perkerasan berbutir yang terdiri atas lapisan fondasi agregat, batu kerikil, laterit, material berbutir stabilisasi, material timbunan pilihan, dan tanah dasar asli atau stabilisasi, dan untuk perkerasan berbutir dengan lapis permukaan aspal tipis ($\leq 40 \text{ mm}$).
6. Solusi desain akhir:



Proses yang sama dapat digunakan untuk desain perkerasan Burda dan *overlay* aspal tipis 25 mm – 40 mm. Rentang tebal yang diizinkan untuk setiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 8.1.

LAMPIRAN F. Desain Bahu Jalan

Tebal Lapis Berbutir

Elevasi tanah dasar untuk bahu harus sama dengan elevasi tanah dasar perkerasan atau setidaknya pelaksanaan tanah dasar badan jalan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Untuk memudahkan pelaksanaan, pada umumnya tebal lapis berbutir bahu dibuat sama dengan tebal lapis berbutir perkerasan.

Bahu Tanpa Pengikat – Lapis Agregat Berbutir Kelas S

Lapis permukaan harus berupa lapis fondasi agregat kelas S, atau kerikil alam yang memenuhi ketentuan dengan Indeks Plastisitas (IP) antara 4% - 12%. Tebal lapis permukaan bahu LFA kelas S sama dengan tebal lapis beraspal tapi tidak lebih tebal dari 200 mm. Jika tebal lapis beraspal kurang dari 125 mm maka tebal minimum LFA kelas S 125 mm.

Bahu Diperkeras

Bahu diperkeras untuk kebutuhan berikut:

- Jika terdapat kerb (bahu harus ditutup sampai dengan garis kerb).
- Gradien jalan lebih dari 4%.
- Sisi yang lebih tinggi dari kurva superelevasi ($\text{superelevasi} \geq 0\%$). Dalam kasus ini, bahu pada sisi superelevasi yang lebih tinggi harus sama dengan superelevasi badan jalan.
- Jalan dengan LHRT lebih dari 10.000 kendaraan.
- Jalan tol dan jalan bebas hambatan.

Material bahu diperkeras dapat berupa:

- Penetrasi makadam;
- Burtu / Burda;
- Beton aspal (AC);
- Beton semen;
- Kombinasi bahu beton 500 mm – 600 mm atau pelat beton dengan *tied shoulder*, atau bahu dengan aspal.

Lalu Lintas untuk desain bahu

Beban lalu lintas desain pada bahu jalan tidak boleh kurang dari 10% lalu lintas lajur rencana, atau sama dengan lalu lintas yang diperkirakan akan menggunakan bahu jalan (diambil yang terbesar). Untuk bahu diperkeras dengan lapis penutup, pada umumnya, hal ini dapat dipenuhi dengan Burda atau penetrasi makadam yang dilaksanakan dengan baik.

Contoh desain perkerasan bahu jalan

Rencanakan perkerasan bahu jalan untuk jalan raya dua lajur dua arah pada contoh desain sub-bab 7.6.

1. Dari contoh soal diketahui/diperoleh:

- CBR tanah dasar 3%;
- beban gandar kumulatif 20 tahun: $50,0E+06$ ESA5;
- struktur perkerasan lajur utama di atas 300 mm lapis penopang:

Bagan Desain – 3 F2

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	60
AC Base	100
CTB	150
LFA kelas A	150

2. Beban rencana bahu jalan: $10\% \times 36,0E+06$ ESA4 $\approx 4E+06$ ESA4.
3. Dengan menyiapkan fondasi yang sama dengan lajur utama diperoleh daya dukung fondasi perkerasan bahu jalan ekuivalen CBR 6%.
- Berdasarkan Bagan Desain - 7 (Gambar E.1) untuk beban $4E+06$ ESA4 dan CBR 6% diperlukan penutup setebal 400 mm.
 - Tebal total perkerasan lajur utama = 500 mm > 400 mm (tebal minimum perlu perkerasan bahu jalan).
 - Tebal lapis beraspal pada lajur utama 200 mm → gunakan permukaan bahu jalan berupa lapis fondasi agregat kelas S setebal 200 mm (halaman F-1 paragraf 2).
 - Untuk memastikan air permukaan yang meresap ke perkerasan dapat dialirkan, pasang LFA kelas A di bawah LFA kelas S dengan tebal 300 mm (500 mm – 200 mm) di bawah lapis permukaan LFA kelas S.
 - Struktur perkerasan bahu jalan alternatif 1:

Lapisan	Tebal (mm)
LFA kelas S	200
LFA kelas A	300
Fondasi: Lapis penopang	300

4. Alternatif 2:

- Seperti alternatif 1, tetapi tebal lapis LFA kelas A dikurangi 150 mm menjadi 150 mm.
- Sebagai pengganti lapis penopang ditambah 150 mm.
- Penambahan tebal lapis penopang berpotensi menghalangi aliran keluar bagi air yang meresap ke perkerasan. Untuk mengatasinya disediakan subdrain.
- Struktur perkerasan bahu jalan alternatif 2 seperti ditunjukkan di bawah ini.

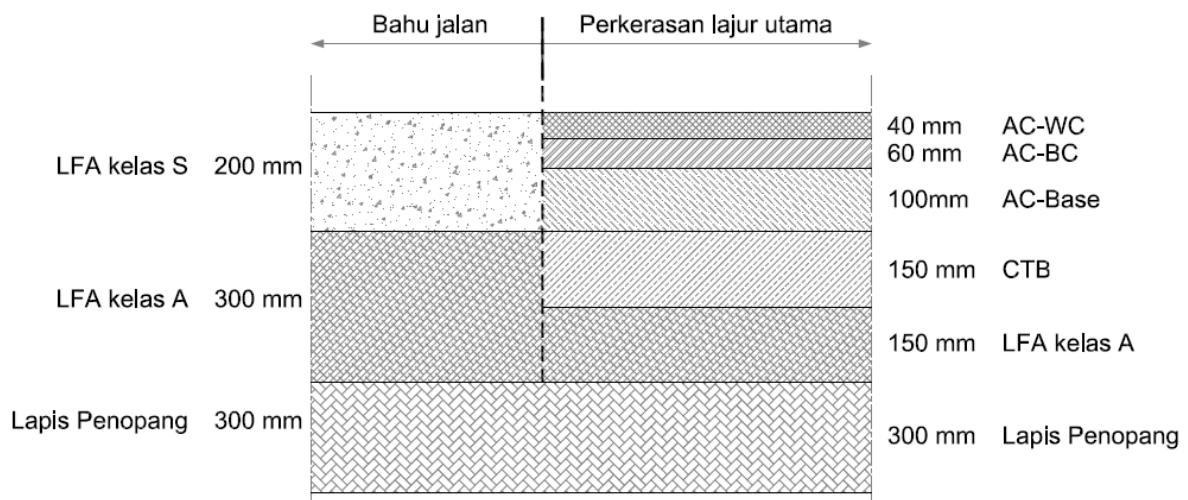
Lapisan	Tebal (mm)
LFA kelas S	200
LFA kelas A	150
Fondasi: Lapis penopang	450

5. Bandingkan biaya alternatif 1 dan 2.

Diagram struktur perkerasan masing-masing alternatif adalah:

Alternatif 1:

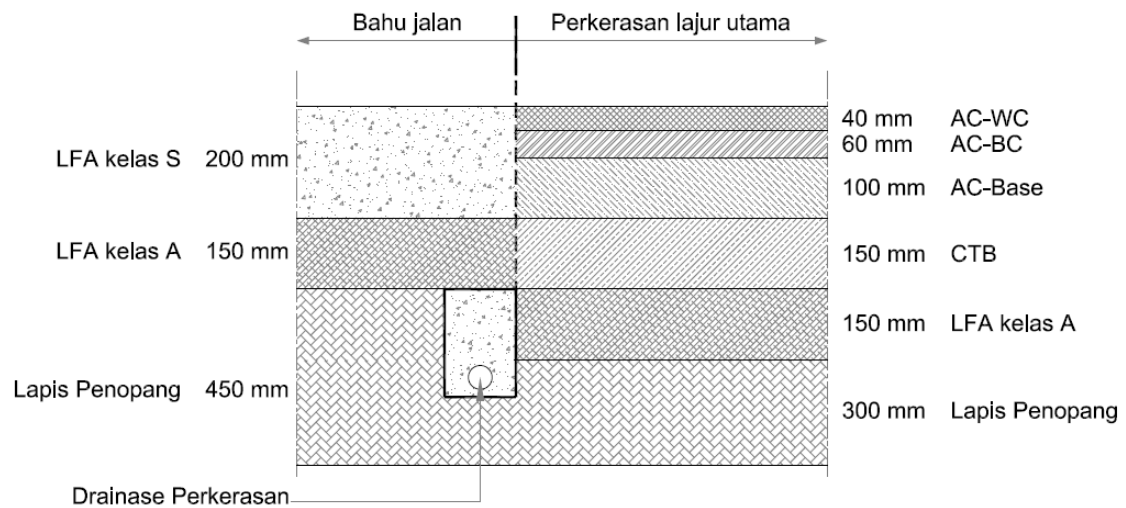
Perkerasan bahu jalan		Perkerasan lajur utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
LFA kelas S	200	AC WC	40
		AC BC	60
LFA kelas A	300	AC Base	100
		CTB	150
		LFA kelas A	150
Fondasi: Lapis penopang	300	Fondasi: Lapis penopang	300



Gambar F.1. Struktur Perkerasan Alternatif 1

Alternatif 2:

Perkerasan bahu jalan		Perkerasan lajur utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
LFA kelas S	200	AC WC	40
		AC BC	60
LFA kelas A	150	AC Base	100
		CTB	150
Fondasi: Lapis penopang + subdrain	450	LFA kelas A	150
		Fondasi: Lapis penopang	300



Gambar F.2. Struktur Perkerasan Alternatif 2

LAMPIRAN G. Tabel MKJI 1997 dan Contoh Perhitungan Rasio Volume / Kapasitas Jalan

Tabel Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 untuk perhitungan kapasitas jalan (antar kota).

Penentuan nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)

Tabel A-3.1. Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) Untuk Jalan 2/2 UD (tidak terbagi)

Tipe alinyemen	Arus lalu lintas per arah (kend/j)	Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar Jalur (m)		
					< 6	6 - 8	> 8
Datar	0	1.2	1.2	1.8	0.8	0.6	0.4
	800	1.8	1.8	2.7	1.2	0.9	0.6
	1350	1.5	1.6	2.5	0.9	0.7	0.5
	≥ 1900	1.3	1.3	2.5	0.6	0.5	0.4
Bukit	0	0	1.6	1.8	0.7	0.5	0.3
	650	2.4	2.5	5.0	1.0	0.8	0.5
	1100	2.0	2.0	4.0	0.8	0.6	0.4
	≥ 1600	1.7	1.7	3.2	0.5	0.4	0.3
Gunung	0	0	3.5	2.5	0.6	0.4	0.2
	450	3.0	3.2	5.5	0.9	0.7	0.4
	900	2.5	2.5	5.0	0.7	0.5	0.3
	≥ 1350	1.9	2.2	4.0	0.5	0.4	0.3

Tabel A.3.2. Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) Untuk Jalan 4/2 D (terbagi) dan 4/2 UD (tidak terbagi)

Tipe alinyemen	Arus lalu lintas (kend/jam)		Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)			
	Jalan terbagi (per arah) (kend/j)	Jalan tak terbagi (total) (kend/j)	MHV	LB	LT	MC
Datar	0	0	1.2	1.2	1.6	0.5
	1000	1700	1.4	1.4	2.0	0.6
	1800	3500	1.6	1.7	2.5	0.8
	> 2150	> 3950	1.3	1.5	2.0	0.5
Bukit	0	0	1.8	1.6	4.8	0.4
	750	1350	2.0	2.0	4.6	0.5
	1400	2500	2.2	2.3	4.3	0.7
	> 1750	> 3150	1.8	1.9	3.5	0.4
Gunung	0	0	3.2	2.2	5.5	0.3
	550	1000	2.9	2.6	5.1	0.4
	1100	2000	2.6	2.9	4.8	0.6
	> 1500	> 2700	2.0	2.4	3.8	0.3

Tabel A.3.3. EMP Jalan Enam Lajur – Dua Arah Terbagi (6/2 D)

Tipe alinyemen	Arus lalu lintas per arah (kend/j)	Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)			
		MHV	LB	LT	MC
Flat Datar					
	0	1.2	1.2	1.6	0.5
	1500	1.4	1.4	2.0	0.6
	2750	1.6	1.7	2.5	0.8
	≥ 3250	1.3	1.5	2.0	0.5
Bukit	0	1.8	1.6	4.8	0.4
	1100	2.0	2.0	4.6	0.5
	2100	2.2	2.3	4.3	0.7
	≥ 2650	1.8	1.9	3.5	0.4
Gunung	0	3.2	2.2	5.5	0.3
	800	2.9	2.6	5.1	0.4
	1700	2.6	2.9	4.8	0.6
	≥ 2300	2.0	2.4	3.8	0.3

Tabel A.3.4. EMP Kendaraan Sedang Berat dan Truk Besar pada Tanjakan Khusus

Panjang (km)	EMP									
	Gradien (%)									
	3		4		5		6		7	
	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT
0.5	2.00	4.00	3.00	5.00	3.80	6.40	4.50	7.30	5.00	8.00
0.75	2.50	4.60	3.00	6.00	4.20	7.50	4.80	8.60	5.30	9.30
1.0	2.80	5.00	3.50	3.60	4.40	7.60	5.00	8.60	5.40	9.30
1.5	2.80	5.00	3.60	3.60	4.40	7.60	5.00	8.50	5.40	9.10
2.0	2.80	5.00	3.60	3.60	4.40	7.50	4.90	8.30	5.20	8.90
3.0	2.80	5.00	3.60	3.60	4.20	7.50	4.60	8.30	5.00	8.90
4.0	2.80	5.00	3.60	3.60	4.20	7.50	4.60	8.30	5.00	8.90
5.0	2.80	5.00	3.60	3.60	4.20	7.50	4.60	8.30	5.00	8.90

Kapasitas Jalan**Tabel C.1.1. Kapasitas Dasar Untuk Jalan Antar Kota dengan 4 Lajur 2 Arah (4/2)**

Jenis dan alinyemen jalan	Kapasitas dasar total dua arah (SMP/Jam/Lajur)
Empat lajur terbagi	
• Datar	1900
• Bukit	1850
• Gunung	1800
Empat lajur tak terbagi	
• Datar	1700
• Bukit	1650
• Gunung	1600

Tabel C.1.2. Kapasitas Dasar Untuk Jalan Antar Kota dengan 2 Lajur 2 Arah (2/2 UD)

Jenis dan alinyemen jalan	Kapasitas dasar total dua arah (SMP/Jam/Lajur)
Empat lajur terbagi	
• Datar	3100
• Bukit	3000
• Gunung	2900

Tabel C.2.1. Faktor Penyesuaian Pengaruh Lebar Lajur Lalu Lintas (FC_w) Terhadap Kapasitas

Jenis jalan	Lebar efektif lajur lalu lintas (W_c) (m)	FC_w
Empat lajur terbagi Enamlajur terbagi	Per lajur	
	3.00	0.91
	3.25	0.96
	3.50	1.00
	3.75	1.03
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3.00	0.91
	3.25	0.96
	3.50	1.00
	3.75	1.03
Dua lajur tak terbagi	Total dua arah	
	5	0.69
	6	0.91
	7	1.00
	8	1.08
	9	1.15
	10	1.21
	11	1.27

Tabel C.3.1. Faktor Penyesuaian Kapasitas karena Pemisahan Arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP % - %		50 - 50	55 - 45	60 - 40	65 - 35	70 - 30
FC_{SP}	Dua lajur 2/2	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88
	Empat lajur 4/2	1.00	0.975	0.95	0.925	0.90

Tabel C.4.1. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pengaruh Hambatan Samping (FC_{SF})

Jenis jalan	Kelas hambatan	Faktor penyesuaian akibat pengaruh gesekan samping (FC_{SF})			
		≤ 0.5	1.0	1.5	≥ 2.0
4/2 D	VL	0.99	1.00	1.01	1.03
	L	0.96	0.97	0.99	1.01
	M	0.93	0.95	0.96	0.99
	H	0.90	0.92	0.95	0.97
	VH	0.88	0.90	0.95	1.01
2/2 UD 4/2 UD	VL	0.97	0.99	1.00	1.02
	L	0.93	0.95	0.97	1.00
	M	0.88	0.91	0.64	0.98
	H	0.84	0.87	0.91	0.95
	VH	0.80	0.83	0.88	0.93

Tabel A.4.1. Kelas Hambatan Samping

Frekwensi hambatan (dari kedua sisi jalan)	Kondisi tipikal	Kelas hambatan samping	
< 50	Pedalaman, pertanian atau daerah tertinggal, hampir tidak ada kegiatan	Sangat rendah	VL
50 – 149	Pedalaman, beberapa bangunan dan aktivitas di sisi jalan	Rendah	L
150 – 249	Desa, aktivitas di sisi jalan, terdapat angkutan lokal	Sedang	M
250 – 350	Desa, beberapa aktifitas pasar	Tinggi	H
> 350	Hampir berupa perkotaan, terdapat pasar dan aktifitas bisnis lainnya	Sangat tinggi	VH

Faktor penyesuaian kapasitas

Faktor penyesuaian kapasitas untuk 6-lajur dapat diperkirakan dengan menggunakan nilai FC_{SF} untuk jalan empat lajur yang diberikan di dalam Tabel C-4:1, yang disesuaikan sebagai berikut:

$$FC_{6SF} = 1 - 0.8 \times (1 - FC_{4SF})$$

dengan,

FC_{6SF} = faktor penyesuaian untuk jalan dengan enam – lajur

FC_{4SF} = faktor penyesuaian untuk jalan dengan empat – lajur

Penentuan kapasitas pada kondisi lapangan

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \text{ (smp/jam)}$$

dengan,

C = Kapasitas (*Capacity*)

C_0 = Kapasitas dasar (*Basic capacity*)

FC_W = Faktor penyesuaian lajur lalu lintas (*Traffic lane adjustment factor*)

FC_{SP} = Faktor penyesuaian arah lalu lintas (*Traffic direction adjustment factor*)

FC_{SF} = Faktor penyesuaian gesekan samping (*Side friction adjustment factor*)

Kapasitas pada tanjakan khusus

Kapasitas pada tanjakan khusus dengan lajur pendakian pada dasarnya dihitung dengan cara yang sama seperti pada jalan dengan alinyemen biasa tetapi dengan menggunakan kapasitas dasar yang berbeda dan, dalam beberapa kasus, dengan faktor penyesuaian yang berbeda.

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \text{ (smp/jam)}$$

Tabel C.6.1. Kapasitas Dasar C_0 pada Tanjakan Khusus untuk Jalan Dua Arah

Panjang /kemiringan tanjakan	Kapasitas dasar (smp/jam)
Panjang ≤ 0.5 km/semua tanjakan	3.000
Panjang ≤ 0.8 km/tanjakan ≤ 4.5 %	2.900
Semua kasus lainnya	2.800

Tabel C.6.2. Faktor Penyesuaian Untuk Pemisahan Arah pada Tanjakan Khusus Jalan Dua Lajur

Persen lalu lintas mendaki (arah 1)	FC_{SP}
70	0.78
65	0.83
60	0.88
55	0.94
50	1.00
45	1.03
40	1.06
35	1.09
30	1.12

Contoh penggunaan

Tabel berikut menunjukkan data lalu lintas harian rata-rata tahun pertama pada lajur rencana setelah suatu ruas jalan dibuka:

- Sepeda motor (1)	1753
- Sedan, Jeep, Station Wagon (2)	958
- Bus kecil (5A)	15
- Bus besar (5B)	4
- Truk 2 sumbu 4 roda (6A)	13
- Truk 2 sumbu 6 roda (6B)	296
- Truk 3 sumbu single (7A1)	1
- Truk 3 sumbu tandem (7A2)	12
- Truk 4 sumbu (7C1)	1
- Truk 5 sumbu tandem (7C2A)	1
- Truk 5 sumbu triple (7C2B)	0
- Truk 6 sumbu (7C3)	0
- Truk gandeng (7B)	0

Hitung rasio volume terhadap kapasitas (V/C) jalan setelah jalan dibuka 20 tahun.

Langkah – 1: Menentukan kapasitas jalan (C).

Gunakan MKJI untuk menentukan:

- (i) Kapasitas dasar jalan dua arah (C_0) ;
- (ii) Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) dari masing-masing golongan kendaraan;
- (iii) Faktor penyesuaian lebar (FC_w);
- (iv) Faktor penyesuaian arah lalu lintas (FC_{SP});
- (v) Faktor penyesuaian gesekan samping (FC_{SF}).

Berdasarkan tabel yang tersedia di atas diperoleh:

$$C_0 = 3100 \text{ SMP};$$

$$FC_W = 1.0;$$

$$FC_{SP} = 1.0;$$

$$FC_{SF} = 0,94;$$

$$\text{Sehingga kapasitas } C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} = 3100 \times 1 \times 1 \times 0,94 = 2094 \text{ SMP}$$

Langkah – 2: Tentukan LHRT pada akhir tahun ke-20.

Jenis kendaraan	LHRT _i	EMP _i	EMP _i x LHRT _i	LHRTT _{20th} *
- Sepeda motor (1)	1753	0.75	1315	2305
- Sedan, Jeep, Station Wagon (2)	958	1	958	1680
- Bus kecil (5A)	15	1	15	26
- Bus besar (5B)	4	1.5	6	11
- Truk 2 sumbu 4 roda (6A)	13	1.5	20	34
- Truk 2 sumbu 6 roda (6B)	296	2.2	651	1142
- Truk 3 sumbu single (7A1)	1	2.2	2	4
- Truk 3 sumbu tandem (7A2)	12	2.2	26	46
- Truk 4 sumbu (7C1)	1	2.2	2	4
- Truk 5 sumbu tandem (7C2A)	1	2.2	2	4
- Truk 5 sumbu triple (7C2B)	0	2.2	0	0
- Truk 6 sumbu (7C3)	0	2.2	0	0
- Truk gandeng (7B)	0	2.2	0	0
		LHRT _{tahun-1}	2997	5256

*LHRT setelah tahun ke n = $LHRT_n (1 + r)^{n-1}$

Langkah – 3: Tentukan arus lalu lintas pada jam sibuk pada tahun ke 20.

Dengan asumsi bahwa arus lalu lintas pada jam sibuk sama dengan 10% LHRT → 10% x 5256 = 526 kendaraan per jam.

Langkah – 4: V/C ratio pada tahun ke-20 = $526/2094 = 0.25 < 0.85$ → Ok, kapasitas belum terlampaui pada tahun ke-20.

LAMPIRAN H. Pencatatan DCP pada Area Tanah Lunak Dangkal

Daerah tanah lunak dengan timbunan hingga ketinggian 3 meter memerlukan penanganan khusus seperti misalnya pra-pembebanan (*preloading*).

Tanah lunak di Indonesia pada umumnya terletak di atas lapisan dasar (*platform*) dengan nilai CBR 2% hingga 3 % pada kedalaman 1 hingga 3 meter. Posisi lapisan dasar tersebut menentukan waktu pra-konsolidasi dan atau kedalaman tanah yang harus digali dan diganti.

Timbunan dengan tinggi lebih dari 3 meter memerlukan **perencanaan geoteknik tersendiri**.

Jika tanah eksisting bersifat sangat lunak hingga kedalaman lebih dari 2 meter mungkin diperlukan penanganan khusus bahkan untuk timbunan yang rendah sekalipun. Drainase vertikal dan/atau *preloading* mungkin mencukupi untuk timbunan baru di atas tanah lunak dengan ketebalan lebih dari 2 meter (diperlukan analisis geoteknik). Rekonstruksi jalan eksisting yang dilalui lalu lintas mungkin memerlukan penanganan penggantian tanah dan atau *micro-piling* atau cakar ayam.

Kedalaman dasar lapisan dapat sangat bervariasi. Oleh sebab itu, ketebalan lapisan tanah lunak sebaiknya diukur dengan DCP dan hasilnya dipetakan dalam petak-petak (*grid*) 25 meteran untuk memetakan penyebaran tanah lunak. Ketebalan tanah lunak adalah kedalaman dimana kekuatan tanah eksisting mencapai CBR 2,5%.

LAMPIRAN I. Sistim Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO M 145 atau ASTM D3282

General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)			
				A-7 A-7-5* A-7-6†
Group classification	A-4	A-5	A-6	
Sieve analysis (percent passing)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40				
Liquid limit	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor			

*For A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†For A-7-6, $PI > LL - 30$

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1			A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percent passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						

Sumber: AASHTO.

Bagian II

Rehabilitasi Perkerasan

**Pelapisan Struktural, Pengerikilan Kembali,
Daur Ulang dan Rekonstruksi**

Daftar Isi

1	PENDAHULUAN	1-1
1.1	Ruang Lingkup	1-1
1.2	Kebijakan Desain	1-1
1.3	Tipikal Struktur Perkerasan	1-3
1.4	Acuan	1-4
1.5	Istilah dan Definisi	1-4
2	LALU LINTAS DAN UMUR RENCANA	2-1
3	KONDISI PERKERASAN EKSISTING	3-1
3.1	Kasus Umum	3-1
3.2	Jalan Dengan Lalu Lintas Lebih dari 10 Juta ESA4	3-1
3.3	Survey Kondisi dan Koreksi Perkerasan Sebelum <i>Overlay</i>	3-2
3.3.1	Retak refleksi	3-2
3.3.2	Alur pada perkerasan aspal	3-2
3.3.3	Pengupasan lapis aspal permukaan	3-2
4	DRAINASE PERKERASAN EKSISTING	4-1
4.1	Kerusakan Perkerasan Akibat Air	4-1
4.2	Evaluasi Drainase Eksisting	4-1
4.3	Drainase Bawah Permukaan	4-2
5	PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN	5-1
6	DESAIN TEBAL <i>OVERLAY</i>	6-1
6.1	Pendahuluan	6-1
6.2	Prosedur Desain <i>Overlay</i>	6-2
6.3	Tebal <i>Overlay</i> Non-Struktural	6-2
6.4	Tebal <i>Overlay</i> Berdasarkan Lendutan Maksimum	6-3
6.5	Tebal <i>Overlay</i> Berdasarkan Lengkung Lendutan	6-5
6.5.1	Grafik desain lengkung lendutan pada WMAPT 41° C	6-5
6.5.2	Penyesuaian nilai pengukuran lendutan terhadap musim	6-9
6.5.3	Penyesuaian nilai pengukuran lendutan terhadap temperatur pengujian	6-10
6.5.4	Penyesuaian nilai lendutan dan lengkung lendutan	6-13
6.5.5	Lengkung lendutan karakteristik (<i>Characteristic curvature</i>)	6-14
6.5.6	<i>Overlay</i> menggunakan aspal modifikasi	6-14
7	DESAIN KETEBALAN PENGUPASAN DAN PELAPISAN ULANG (<i>MILL AND INLAY</i>)	7-1
7.1	Pendahuluan	7-1
7.2	Metode Penentuan Tebal Rencana	7-1

8	DESAIN REKONSTRUKSI PERKERASAN	8-1
8.1	Pendahuluan	8-1
8.2	Desain Rekonstruksi Dengan <i>Foam bitumen</i>	8-1
8.2.1	Material untuk stabilisasi <i>foam bitumen</i>	8-3
8.2.2	Pelapisan minimum	8-5
8.2.3	Bagan desain tebal lapis fondasi stabilisasi <i>foam bitumen</i>	8-5
8.2.4	Prosedur desain	8-6
8.3	Desain Rekonstruksi Dengan Lapis Fondasi Stabilisasi Semen	8-6
8.3.1	Material yang sesuai dengan stabilisasi semen	8-6
8.3.2	Tebal minimum lapis permukaan	8-6
8.3.3	Desain tebal lapis fondasi stabilisasi semen	8-7
8.3.4	Prosedur desain	8-8
8.4	Kasus Khusus: Perkerasan Daur Ulang (<i>Recycling</i>) Pantura dan Jalintim.....	8-9
8.5	Rekonstruksi Jalan Kerikil (<i>Regravelling</i>).....	8-10
8.5.1	Perkerasan tanpa penutup aspal	8-10
8.5.2	<i>Regravelling</i> perkerasan berpenutup aspal.....	8-11
8.6	Penanganan Lain yang Terkait dengan Rekonstruksi.....	8-11
8.6.1	Drainase	8-11
8.6.2	Penambalan berat (<i>heavy patching</i>)	8-11
8.6.3	Tanah lunak.....	8-12
8.6.4	Tanah gambut	8-13
8.6.5	Tanah ekspansif	8-13
9	MASALAH PELAKSANAAN DAN KINERJA PERKERASAN.....	9-1
9.1	Penyiapan Perkerasan Eksisting Sebelum <i>Overlay</i>	9-1
9.2	Ketebalan Lapis Perkerasan.....	9-1
9.3	Urutan Pelaksanaan Untuk Daur Ulang	9-1
9.4	Pelaksanaan Konstruksi dengan Lalu Lintas Tetap Melintas	9-1
9.5	Resiko Solusi Desain Menggunakan Aspal Modifikasi.....	9-4
10	CONTOH PENGGUNAAN	10-1
10.1	Contoh Desain Lapis Tambah (<i>Overlay Design</i>).....	10-1
10.2	Contoh Desain Rehabilitasi dengan Pengupasan dan Pelapisan Kembali (<i>mill and inlay</i>).....	10-7
10.3	Contoh Desain Rekonstruksi dengan Daur Ulang.....	10-8
10.4	Contoh Desain <i>Overlay</i> Disertai Pelebaran	10-11
10.5	Contoh Desain Rekonstruksi Disertai Pelebaran	10-13

Daftar Tabel

Tabel 2.1. Umur Rencana Jenis Penanganan	2-1
Tabel 5.1. Pemilihan Struktur Perkerasan	5-1
Tabel 6.1. Tebal Overlay Untuk Menurunkan IRI (Non-struktural).....	6-3
Tabel 6.2. Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D_0) Untuk FWD*	6-11
Tabel 6.3. Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$) Untuk FWD*	6-11
Tabel 6.4. Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D_0) Untuk Benkelman Beam*	6-12
Tabel 6.5. Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) Untuk Benkelman Beam*	6-12
Tabel 6.6. Faktor Penyesuaian Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$) BB ke FWD	6-13
Tabel 6.7. Faktor Penyesuaian Lendutan (D_0) FWD ke BB.....	6-13
Tabel 6.8. Umur Lelah (<i>Fatigue</i>) Aspal Modifikasi.....	6-14
Tabel 7.1. Prosedur Desain Ketebalan <i>Mill and Inlay</i>	7-1
Tabel 8.1. Pemilihan Metode Stabilisasi	8-4
Tabel 8.2. Tebal Pelapisan Minimum di Atas Material yang Distabilisasi dengan <i>Foam Bitumen</i>	8-5
Tabel 8.3. Prosedur Desain Stabilisasi dengan <i>Foam Bitumen</i>	8-6
Tabel 8.4. Prosedur Desain CTRB	8-8
Tabel 8.5. Tebal Lapis AC-Base	8-9
Tabel 10.1. Data Lendutan (FWD)*	10-1
Tabel 10.2. Rincian Analisis Lendutan.....	10-6

Daftar Gambar

Gambar 4.1. Contoh Drainase Bawah Permukaan Untuk Berbagai Kondisi Lapangan (Gerke 1987)	4-3
Gambar 6.1. Solusi <i>Overlay</i> Berdasarkan Lendutan Balik Benkelman Beam Untuk WMAPT 41°C.....	6-4
Gambar 6.2. Fungsi Lengkung Lendutan.....	6-5
Gambar 6.3. Tebal <i>Overlay</i> Tipis Aspal Konvensional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada WMAPT > 35° C	6-6
Gambar 6.4. Tebal <i>Overlay</i> Tebal Aspal Konvensional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada WMAPT > 35° C	6-7
Gambar 6.5. Contoh Penentuan Tebal <i>Overlay</i> Aspal Konvensional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada WMAPT > 35° C	6-8
Gambar 7.1. Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir Untuk Mencegah Deformasi Permanen	7-2
Gambar 7.2. Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir Untuk Mencegah <i>Fatigue</i>	7-2
Gambar 8.1. Daur Ulang Perkerasan dengan <i>Foam Bitumen</i>	8-2
Gambar 8.2. Amplop Gradasi Zona A.....	8-4
Gambar 8.3. Contoh Bagan Desain Untuk Merancang Tebal Daur Ulang dengan Stabilisasi Foam Bitumen	8-5
Gambar 8.4. Bagan Desain Ketebalan Cement Treated Recycled Base (CTRB).....	8-7
Gambar 8.5. Struktur Perkerasan Daur Ulang.....	8-9
Gambar 8.6. <i>Overlay</i> Perkerasan Tanpa Penutup Aspal.....	8-11
Gambar 9.1. Urutan Pelaksanaan Daur Ulang dengan Pelebaran	9-3
Gambar 10.1. Penentuan Tebal <i>Overlay</i> Berdasarkan D_0	10-3
Gambar 10.2. Penetapan Tebal <i>Overlay</i> (tipis)	10-4
Gambar 10.3. Penetapan Tebal <i>Overlay</i> (tebal).....	10-4
Gambar 10.4. Penentuan Tebal Pengupasan LFA.....	10-8
Gambar 10.5. Penentuan Tebal Lapisan CTSB dan Aspal.....	10-10
Gambar 10.6. Struktur Perkerasan Eksisting dan Pelebaran.....	10-12
Gambar 10.7. Alternatif Struktur Perkerasan Bahu Jalan	10-13
Gambar 10.8. Alternatif Struktur Perkerasan Bahu Jalan pada Grade > 4%	10-13
Gambar 10.9. Struktur Perkerasan Alternatif – 1.....	10-15
Gambar 10.10. Struktur Perkerasan Alternatif – 1 pada Grade > 4%	10-15
Gambar 10.11. Struktur Perkerasan Alternatif – 2.....	10-16
Gambar 10.11. Struktur Perkerasan Alternatif – 2 pada Grade > 4%	10-16

Daftar Lampiran

LAMPIRAN K.	Modulus Bahan.....	K-1
LAMPIRAN L.	Level Desain dan Pemicu Penanganan	L-1
LAMPIRAN M.	Pengembangan Metode Desain Ketebalan Stabilisasi <i>Bitumen Foam</i>	M-1
LAMPIRAN N.	Bagan Desain Stabilisasi <i>Foam Bitumen</i> Untuk Lalu Lintas Desain Maksimum 100×10^6 ESA5	N-1
LAMPIRAN O.	Bagan Desain <i>Stabilisasi Foam</i> , Lalu Lintas Desain 100×10^6 Sampai 1000×10^6 ESA5	O-1
LAMPIRAN P.	Bagan Desain Stabilisasi Semen	P-1
LAMPIRAN Q.	Pemeliharaan Perkerasan Tanpa Penutup Aspal (Jalan Kerikil)	Q-1

1 PENDAHULUAN

1.1 Ruang Lingkup

Manual Bagian II mencakup desain untuk rehabilitasi dan rekonstruksi perkerasan jalan:

- *overlay* struktural,
- *overlay* non struktural,
- daur ulang perkerasan (*recycling*),
- stabilisasi dengan *foam bitumen*,
- stabilisasi dengan semen.

Analisis *overlay* menggunakan data lendutan dan lengkung lendutan dengan pendekatan desain mekanistik empiris untuk rehabilitasi jalan dengan lalu lintas berat.

Manual ini merupakan pelengkap pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002-B, Pd T-05-2005 dan Pedoman Interim No.002/P/BM/2011, dengan penajaman pada aspek-aspek sebagai berikut:

- a) pencapaian tingkat pelayanan;
- b) penggunaan material yang efisien.
- c) pertimbangan kepraktisan pelaksanaan;
- d) penerapan analisis biaya siklus pelayanan selama periode analisis keekonomian (*discounted life cycle cost*);

Penajaman pendekatan desain yang digunakan dalam melengkapi pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002-B dan Pd T-05-2005, adalah pada hal-hal berikut:

- a) umur rencana optimum yang ditentukan dari analisis biaya siklus masa pelayanan selama periode keekonomian (*discounted life cycle cost*);
- b) koreksi terhadap faktor iklim yang mempengaruhi masa pelayanan perkerasan;
- c) analisis beban sumbu yang realistis;
- d) pengaruh temperatur;
- e) struktur perkerasan lapis fondasi stabilisasi semen;
- f) prosedur detil desain fondasi jalan;
- g) drainase perkerasan;
- h) ketentuan analisis lapisan untuk Pd T-01-2002-B (berdasarkan AASHTO 1993);
- i) tambahan untuk desain mekanistik;
- j) desain berdasarkan katalog.

Apabila perencana merasa perlu untuk melakukan desain berdasarkan pedoman perencanaan yang lain, maka semua parameter desain harus mengacu manual ini (Bagian 1 dan 2).

1.2 Kebijakan Desain

Desain harus memenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut:

1. menjamin tercapainya tingkat layanan jalan sepanjang umur rencana;
2. biaya siklus masa pelayanan (*discounted lifecycle cost*) terendah;

3. kemudahan pelaksanaan dan pemeliharaan;
4. penggunaan material secara efisien dan pemanfaatan material lokal;
5. faktor keselamatan pengguna jalan;
6. kelestarian lingkungan.

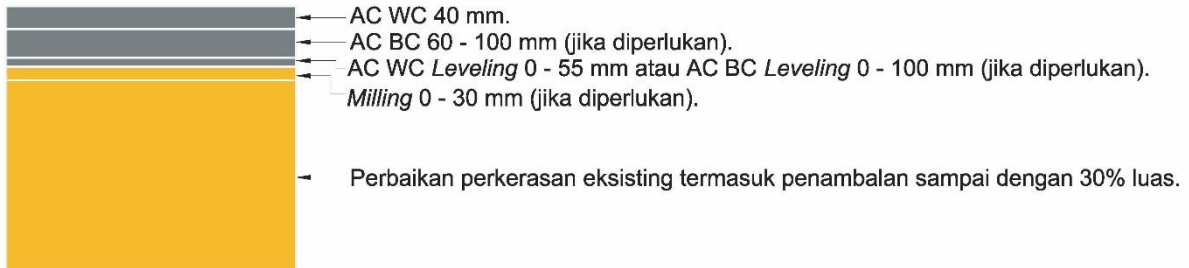
Kebijakan desain terkait dengan penggunaan manual ini adalah:

1. Rencana pemeliharaan aset jalan harus dapat:
 - mengoptimasi pelayanan dan pemeliharaan;
 - menyediakan rencana penanganan tahun jamak yang komprehensif;
 - dimutakhirkan setiap tahun berdasarkan pekerjaan terkontrak yang telah selesai dan hasil survei kondisi jalan terakhir;
 - memastikan bahwa peningkatan kapasitas dilakukan bersamaan dengan penanganan terjadwal lainnya.
2. Prioritas penganggaran harus berdasarkan pada:
 - Kondisi jalan dengan prioritas:
 - i. kebutuhan pencegahan dan pengawetan;
 - ii. kebutuhan pemeliharaan tertinggi.
 - Sisa umur rencana (minimal 2 tahun untuk lalu lintas berat).
 - Volume lalu lintas.
 - Penghematan biaya selama umur pelayanan.
3. Jika anggaran tidak mencukupi untuk penanganan secara menyeluruh, atau jika penanganan peningkatan kapasitas sudah dijadwalkan dalam waktu dekat, maka dapat digunakan penanganan sementara. Penanganan sementara (*holding treatment*) harus dapat mempertahankan kondisi eksisting perkerasan sampai penanganan menyeluruh dilaksanakan.
4. Perkerasan dengan kerusakan permukaan yang cukup berat termasuk alur yang lebih dari 30 mm, atau retak blok, atau retak buaya, atau pelepasan butiran halus (pengelupasan), harus dikupas (*milling*) sebelum pelapisan ulang. Setelah pengupasan, ketebalan pelapisan ulang minimum harus ditambah dengan setebal kupasan rata-rata. Ketentuan ini tidak berlaku untuk daerah yang perlu penambalan, rekonstruksi atau daur ulang.
5. Perkerasan yang rusak berat, dan perkerasan dengan lendutan yang lebih tinggi ditinjau dari nilai karakteristik desain *overlay* harus ditambah sebelum pelapisan ulang. Struktur penambalan minimum harus setara dengan struktur perkerasan eksisting untuk lokasi tersebut.

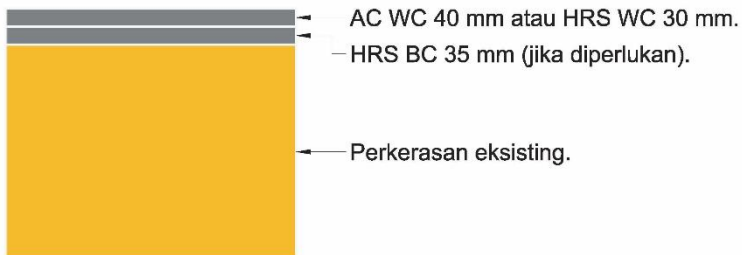
1.3 Tipikal Struktur Perkerasan

Tipikal Penanganan Rehabilitasi Tipikal tebal lapisan - tebal lainnya dapat digunakan Tanpa skala

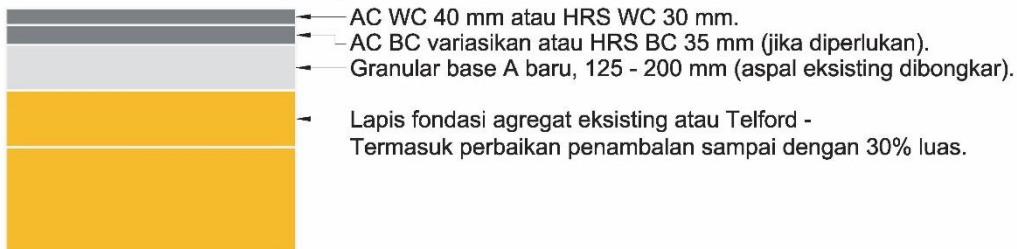
Standar Struktur overlay aspal.



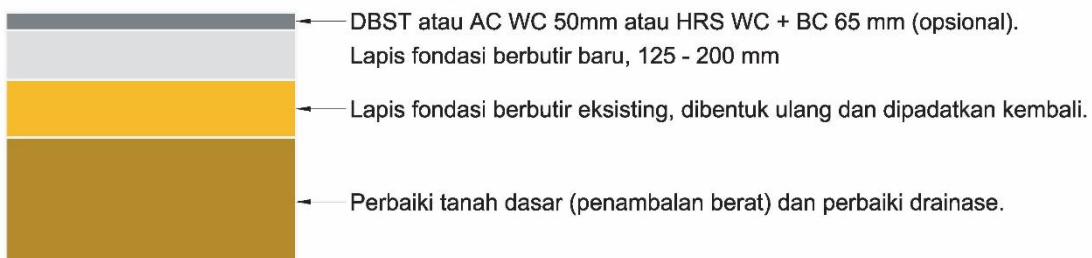
Overlay non struktural.

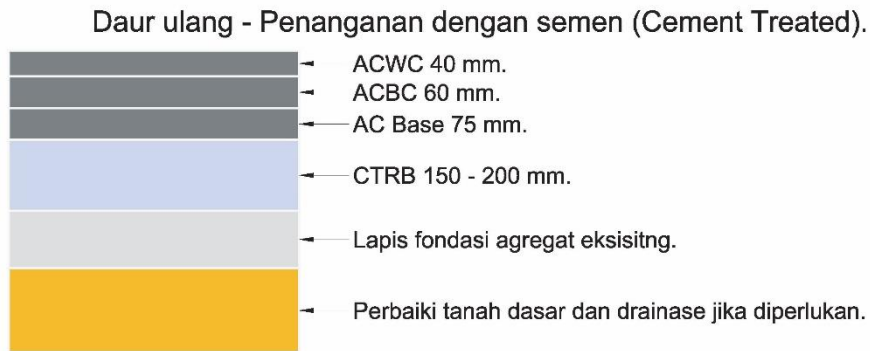


Rekonstruksi - pengkerikilan kembali.



Pengkerikilan kembali pada jalan tanpa penutup.





Gambar tipikal struktur perkerasan lainnya dapat dilihat di Bagian 1 Struktur Perkerasan Baru untuk Perkerasan Lentur.

1.4 Acuan

- Pd T-01-2002-B Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur.
- Pd T-05-2005 Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan.
- Pedoman Desain Perkerasan Jalan Lentur No. 002/P/BM/2011 (Interim).
- Austroads, Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Pavements, 2008.
- AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, 1993.

1.5 Istilah dan Definisi

Untuk istilah dan definisi lainnya dapat dilihat pada Bagian 1 Manual Desain.

Biaya siklus umur pelayanan perkerasan (*discounted life cycle cost*)

Analisa biaya untuk menentukan pilihan dan penyelenggaraan perkerasan sepanjang siklus masa pelayanan yang paling tepat biaya dari sejumlah alternatif yang secara teknis dapat dilaksanakan. Selain biaya konstruksi, juga diperhitungkan biaya pengguna jalan (*road user cost*) seperti biaya akibat penurunan kapasitas jalan di lokasi yang ditangani, dan biaya penyelenggaraan jalan terkait dengan berbagai aktivitas seperti pemeliharaan dan rehabilitasi perkerasan selama masa pelayanan. Semua biaya tersebut dinyatakan dalam nilai hari ini (*net present value*) dengan memperhitungkan tingkat bunga yang berlaku untuk analisa ekonomi.

Penanganan Sementara (*Interim Treatment*)

Penanganan sementara untuk mempertahankan kondisi jalan sampai solusi yang permanen dapat dilaksanakan.

Nilai Pemicu (*Trigger Value*)

Nilai indikator kondisi perkerasan seperti IRI atau lendutan, yang memicu perubahan jenis penanganan optimum, misal dari pemeliharaan rutin menjadi *overlay*, atau dari *overlay* menjadi rekonstruksi.

Pengelupasan aspal (*Asphalt Stripping*)

Jenis kerusakan yang disebabkan oleh tegangan dan air yang mengakibatkan pemisahan (pengelupasan) bahan pengikat aspal dan agregat dalam campuran. Kegagalan ditandai dengan warna kecoklatan pada bahan pengikat dan terbatas pada lepasnya ikatan di antara partikel campuran.

Segmen Seragam (*Homogeneous section*)

Segmen jalan yang dapat ditangani sebagai satu kesatuan desain perkerasan berdasarkan kesamaan daya dukung tanah dasar, lendutan, IRI, kondisi visual, atau kombinasi dari faktor-faktor tersebut.

2 LALU LINTAS DAN UMUR RENCANA

Umur rencana untuk berbagai jenis penanganan ditunjukkan pada Tabel 2.1. Ketentuan lain mengenai analisis lalu lintas, penentuan nilai VDF dan lain-lain, mengacu pada Bagian 1 Struktur Perkerasan Baru (Bab-4 mengenai lalu lintas).

Tabel 2.1. Umur Rencana Jenis Penanganan

Kriteria beban lalu lintas (juta ESA4)	< 0,5	0,5 – < 30	≥ 30
Umur rencana perkerasan Lentur	seluruh penanganan: 10 tahun	<ul style="list-style-type: none"> - rekonstruksi – 20 tahun - <i>overlay</i> struktural – 10 tahun - <i>overlay</i> non struktural – 10 tahun - penanganan sementara – sesuai kebutuhan 	

Desain tebal perkerasan didasarkan pada nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 tergantung pada model kerusakan (*deterioration model*) dan pendekatan desain yang digunakan. Gunakan nilai ESA yang sesuai sebagai input dalam proses perencanaan.

- Pangkat 4 digunakan pada desain perkerasan lentur berdasarkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993 (pendekatan statistik empirik).
- Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (seperti Burtu atau Burda), perkerasan tanpa penutup (*Unsealed granular pavement*) dan perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur (*rutting*).
- Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan aspal beton dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak lelah (*fatigue*).
- Desain perkerasan kaku menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*Heavy Vehicle Axle Group, HVAG*) dan bukan nilai ESA sebagai satuan beban lalu lintas untuk perkerasan beton.

3 KONDISI PERKERASAN EKSISTING

3.1 Kasus Umum

Bab 6 Bagian 1 Struktur Perkerasan Baru menguraikan prosedur penentuan nilai CBR tanah dasar untuk penanganan tanah dasar termasuk untuk tanah ekspansif dan tanah lunak. Prosedur yang sama juga berlaku untuk pekerjaan rehabilitasi jalan. Akan tetapi, pada pekerjaan rehabilitasi adanya lapis perkerasan eksisting membuat penanganan lebih lanjut pada tanah dasar tidak diperlukan, kecuali untuk lokasi yang memerlukan rekonstruksi dan *heavy patching*. Daya dukung tanah dasar diukur dengan menggunakan:

- (i) DCP pada periode terbasah sepanjang tahun;
- (ii) klasifikasi tanah seperti ditunjukkan pada Bagan Desain - 1 (Bagian 1) atau;
- (iii) nilai CBR laboratorium (4 hari rendaman) pada contoh tanah dengan kepadatan lapangan. Struktur dan karakteristik lapis perkerasan eksisting dapat juga ditentukan dengan survei kondisi dan analisis *test pit* atau *coring*, atau dengan analisis perhitungan mundur (*back calculation*) data lendutan. Nilai CBR yang diperoleh dari analisis lendutan dengan perhitungan mundur perlu divalidasi dengan analisis *test pit* dan/atau DCP pada periode basah.

Nilai CBR tanah dasar eksisting dan ketebalan sisa lapis perkerasan eksisting merupakan masukan yang penting untuk penggunaan bagan desain. Data ini juga diperlukan dalam prosedur Desain Mekanistik Empiris atau prosedur empiris dengan *structural number*.

Tanah dasar dan ketebalan perkerasan eksisting sangat beragam, sehingga harus dibagi dalam segmen-segmen yang homogen. Nilai karakteristik yang digunakan dalam perencanaan sesuai prinsip-prinsip yang sama seperti untuk analisis tanah dasar perkerasan baru, sebagai berikut:

- a) Koefisien variasi segmen yang homogen = (standar deviasi CBR)/(CBR rata-rata), dan tidak boleh melebihi 0,3.
- b) CBR karakteristik = CBR rata-rata – 1,28 x standar deviasi.
- c) Ketebalan sisa perkerasan eksisting sesudah penanganan yang lain = ketebalan sisa rata-rata – 1,28 x standar deviasi.

3.2 Jalan Dengan Lalu Lintas Lebih dari 10 Juta ESA4

Data lendutan maksimum dianggap tidak cukup memadai untuk desain *overlay* atau rekonstruksi dengan beban lalu lintas rencana melebihi 10 juta ESA4. Analisis lengkung lendutan dan informasi *test pit* menghasilkan desain perkerasan yang lebih baik dengan menggunakan metode desain mekanistik.

Ketentuan berikut harus diperhatikan:

- a) Modulus atau koefisien lapis material eksisting dan daya dukung tanah dasar harus diukur atau menggunakan nilai seperti dinyatakan dalam Bagian 1 (Bab 7 dan Lampiran C).
- b) Untuk mengetahui perilaku tanah lunak akibat beban dinamis dibutuhkan penyelidikan tersendiri. Untuk desain awal, CBR untuk tanah dasar di atas timbunan rendah pada tanah lunak atau gambut digunakan nilai CBR maksimum dari uraian pada Bagan Desain - 2 (Bagian 1 Bab 6) dan tidak menggunakan nilai CBR timbunan atau material lapis penopang.

- c) Untuk lalu lintas > 30 juta ESA4 dan dibutuhkan rekonstruksi, dapat dipertimbangkan penggunaan perkerasan kaku.
- d) Jika perkerasan kaku digunakan di atas fondasi jalan tanah lunak maka perkerasan harus dibangun dengan lebar penuh. Sambungan memanjang antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur pada daerah badan jalan akan sulit dipelihara jika terletak di atas timbunan rendah di atas tanah lunak.
- e) Jika beban lalu lintas rencana 10 – 30 juta ESA4 dan lendutan cukup besar, maka penggunaan *overlay* aspal modifikasi SBS (*styrene butadiene styrene*) dapat dipertimbangkan.
- f) Jika lapisan tanah lunak cukup dalam dan bukti historis menunjukkan kerusakan berlebihan pada perkerasan eksisting, maka metode pendukung seperti cakar ayam atau *micro pile* dapat dipertimbangkan.

3.3 Survey Kondisi dan Koreksi Perkerasan Sebelum *Overlay*

Sebelum merencanakan tebal *overlay*, harus dilakukan survei kondisi perkerasan. Perbaikan yang perlu dilakukan sebelum *overlay* tergantung pada jenis, tingkat dan luas kerusakan, serta jenis pelapisan yang dipilih.

Kerusakan perkerasan eksisting berupa kerusakan yang dapat dilihat secara visual. Apabila kerusakan pada perkerasan eksisting diperkirakan akan mempengaruhi kinerja perkerasan maka kerusakan tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu sebelum pelapisan. Sering terjadi kerusakan *overlay* terjadi akibat tidak diperbaikinya kerusakan perkerasan eksisting sebelum *overlay*.

Dari segi biaya, perencana perlu mempertimbangkan untung rugi (*trade-off*) antara biaya perbaikan sebelum pelapisan dengan jenis perkerasan *overlay*. Apabila kerusakan perkerasan eksisting cukup berat dan meluas, pelapisan dengan perkerasan kaku mungkin memerlukan biaya *pre-overlay* yang lebih rendah tetapi memerlukan biaya pelapisan yang lebih tinggi, dan sebaliknya dengan perkerasan lentur.

Survey drainase dan kerusakan akibat air, daur ulang perkerasan sebagai alternatif dari *overlay* dibahas secara khusus pada Bab 4.

3.3.1 Retak refleksi

Jenis kerusakan yang sering terjadi setelah *overlay* adalah retak refleksi. Berbagai cara perlu dipertimbangkan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya retak refleksi seperti pembongkaran dan penggantian lapisan retak, penambahan tebal, atau tindakan pengendalian lain seperti penggunaan *Stress Absorbing Membrane Interlayer* (SAMI) dan geotekstil.

3.3.2 Alur pada perkerasan aspal

Penyebab alur pada perkerasan aspal perlu diketahui sebelum desain tebal *overlay*. Apabila alur terjadi pada perkerasan eksisting diakibatkan oleh ketidakstabilan lapis aspal, *overlay* secara langsung bukan solusi yang tepat. Pengupasan (*milling*) harus dilakukan untuk mengupas lapisan yang tidak stabil yang menyebabkan alur.

3.3.3 Pengupasan lapis aspal permukaan

Pengupasan sebagian lapis permukaan aspal eksisting dengan alat *milling* sebelum *overlay* dapat meningkatkan kinerja *overlay* karena dapat menghilangkan retak dan lapisan aspal

beton yang mengeras karena oksidasi. Alur atau ketidakrataan permukaan (*roughness*) dapat dikoreksi dengan *milling* sebelum *overlay*. Tebal lapisan aspal yang dikupas harus diperhitungkan dalam pelaksanaan *overlay*.

4 DRAINASE PERKERASAN EKSISTING

4.1 Kerusakan Perkerasan Akibat Air

Kerusakan perkerasan yang memerlukan tindakan rehabilitasi tidak selalu dipicu oleh kerusakan yang secara langsung terkait dengan beban lalu lintas dan daya dukung struktur perkerasan. Kerusakan perkerasan lentur maupun kaku sering disebabkan oleh air yang masuk kedalam struktur perkerasan.

Pada kawasan tropis dengan curah hujan yang tinggi sering dijumpai kasus perkerasan yang awalnya mempunyai kinerja yang baik selama musim kemarau, mengalami kerusakan berat secara drastis setelah memasuki musim hujan. Dalam kasus seperti ini, selama air sebagai penyebab utama tidak ditangani, potensi kerusakan akan berulang cukup besar apapun bentuk penanganan struktur perkerasan yang dilakukan. Oleh sebab itu, di dalam perencanaan rehabilitasi perencana harus menyelidiki apakah diperlukan perbaikan sistem drainase untuk mengoreksi penurunan kinerja perkerasan.

Tingkat kerusakan perkerasan akibat air menentukan tingkat penyelidikan yang perlu dilakukan untuk mengevaluasi kondisi drainase. Namun demikian, rendahnya tingkat kerusakan perkerasan akibat air tidak berarti bahwa perkerasan bersangkutan bebas dari masalah kerusakan akibat air, karena mungkin saja ada potensi terjadinya kerusakan akibat air.

Selama melakukan survei kondisi, dan selama pelaksanaan rehabilitasi, harus diamati kelemahan sistem drainase yang ada yang berpotensi menjadi penyebab kerusakan perkerasan akibat air. Penilik jalan yang memonitor kondisi jalan dari waktu ke waktu adalah narasumber yang tepat untuk memperoleh informasi yang terkait dengan kondisi drainase setempat.

Untuk dapat menentukan bentuk penanganan yang sesuai untuk memperbaiki dan mencegah kerusakan akibat air, perencana harus memahami mekanisme kerusakan atau percepatan kerusakan perkerasan akibat air.

4.2 Evaluasi Drainase Eksisting

Evaluasi drainase dimulai dengan mempelajari catatan pelaksanaan dan gambar terlaksana (*as built drawing*) untuk mengetahui kelengkapan sistem drainase yang sudah dibuat, baik letak maupun dimensinya. Perlu dipelajari data drainase yang ada. Dari potongan melintang dan memanjang perkerasan eksisting perlu diketahui:

- kemiringan memanjang;
- kemiringan melintang;
- lebar lapisan perkerasan;
- struktur dan tebal perkerasan;
- ketinggian timbunan dan kedalaman galian;
- kemiringan dan dimensi kelengkapan drainase seperti saluran dan gorong-gorong;
- drainase bawah permukaan.

Kerusakan akibat air menandakan bahwa sistem drainase perkerasan bersangkutan tidak lagi memadai. Dari evaluasi sistem drainase dapat diketahui apakah sistem drainase tersebut hanya memerlukan perbaikan dan pemeliharaan, atau memerlukan peningkatan dan penambahan fitur.

Langkah selanjutnya adalah mempelajari peta topografi untuk mengetahui berbagai faktor topografi yang memengaruhi aliran air permukaan dan bawah permukaan. Kawasan yang terletak pada cekungan, galian atau lokasi dengan elevasi perkerasan terletak di bawah

danau, waduk, kolam, sungai, atau kawasan yang basah berpotensi mengalami kerusakan terkait dengan air.

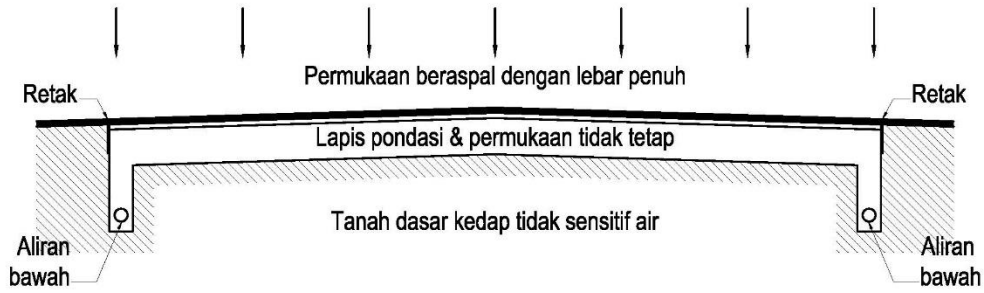
Dalam evaluasi drainase perlu diperhatikan hal-hal berikut:

- apakah air mengalir dengan baik melalui permukaan perkerasan dan bahu jalan;
- apakah ada akumulasi air pada perkerasan dan sekitarnya;
- ketinggian muka air di saluran;
- apakah air pernah melimpah dari saluran;
- apakah ada air pada sambungan atau retakan perkerasan;
- apakah ada genangan air pada bahu jalan;
- apakah ada tanaman ramah air yang tumbuh subur di sepanjang sisi jalan;
- apakah ada endapan tanah, partikel halus atau indikasi *pumping* lainnya;
- apakah ada sampah atau endapan pada inlet;
- apakah sambungan atau retakan ditutup (*seal*) dengan baik.

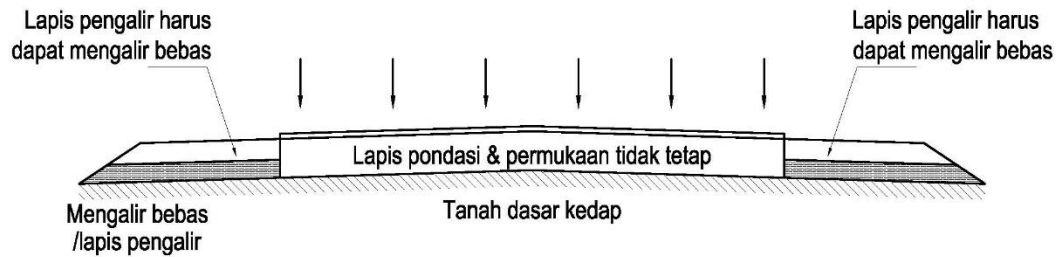
4.3 Drainase Bawah Permukaan

Kondisi drainase di bawah permukaan pada umumnya sangat mempengaruhi kinerja *overlay*. Perbaikan drainase bawah permukaan eksisting yang kurang berfungsi dapat meningkatkan kinerja perkerasan. Siapkan drainase di bawah permukaan perkerasan eksisting apabila ternyata ada rembesan air permukaan atau aliran air melalui struktur perkerasan eksisting dan terjebak.

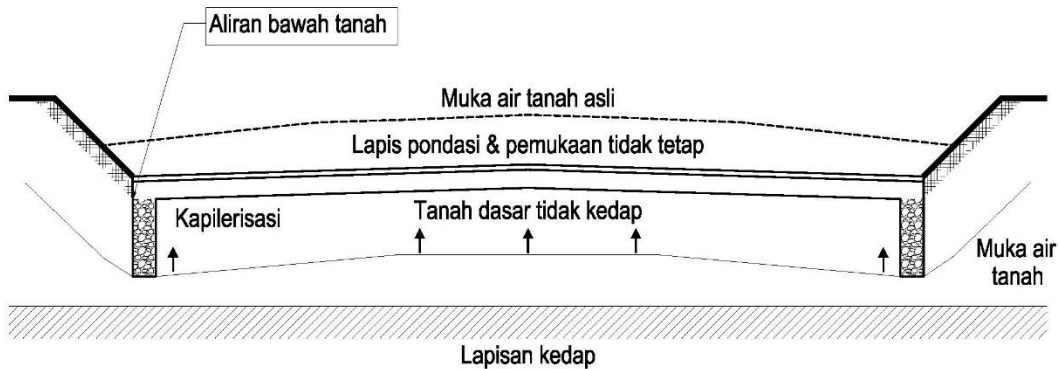
Ketentuan drainase harus mengikuti ketentuan dalam Bagian - 1 Struktur Perkerasan Baru. Contoh drainase bawah permukaan untuk berbagai kondisi lapangan ditunjukkan pada Gambar 4.1.



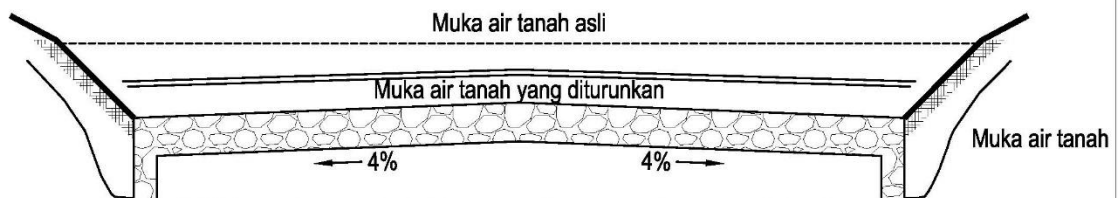
Gambar 5.1 (a) : Infiltrasi permukaan perkerasan dengan tanah dasar segiempat



Gambar 5.1 (b) : Drainase pada timbunan samping terbuka



Gambar 5.1 (c) : Drainase untuk menurunkan muka air tanah



Gambar 5.1 (d) : Lapis penyaring tidak kedap untuk menurunkan muka air tanah

Gambar 5.1 : Contoh Drainase Bawah Permukaan untuk Berbagai Kondisi Lapangan (Gerke 1957)

Gambar 4.1. Contoh Drainase Bawah Permukaan Untuk Berbagai Kondisi Lapangan (Gerke 1987)

5 PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN

Pemilihan perkerasan bervariasi tergantung pada lalu lintas dan umur rencana, serta jenis penanganan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.1.



Faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan:

- (i) Biaya selama masa pelayanan (*discounted lifecycle cost*) terendah dan praktis untuk dilaksanakan. Oleh karena itu, biaya setiap opsi harus dihitung dan pilih solusi dengan biaya yang paling murah.
- (ii) Umur rencana *overlay* perkerasan lentur adalah 10 tahun.
- (iii) Jika tebal *overlay* yang dibutuhkan lebih dari 100 mm (untuk jalan dengan lalu lintas sampai dengan 4×10^6 ESA5) atau melebihi 150 mm – 210 mm (untuk jalan dengan lalu lintas lebih dari 4×10^6 ESA5), dan pada semua kasus perkerasan eksisting dalam kondisi rusak berat (*heavy patching* dibutuhkan > 30% area perkerasan), pertimbangkan opsi rekonstruksi penuh daripada *overlay*.
- (iv) Bahan pengikat modifikasi memberikan manfaat yang signifikan namun membutuhkan sumber daya kontraktor dan keahlian yang sering kali tidak tersedia. Aspal modifikasi hanya bisa digunakan jika sumber daya dan keahlian yang dibutuhkan tersedia. Aspal modifikasi dapat memperlebar rentang volume beban lalu lintas untuk penggunaan *overlay* aspal tipis dan lapis aus dengan lalu lintas berat.
- (v) Perkerasan kaku dapat menjadi solusi yang tepat untuk jalan yang rusak berat dengan beban lalu lintas 20 tahun > 30×10^6 ESA4, namun demikian perbandingan desain dan analisis biaya perlu dilakukan.
- (vi) Daur ulang (*recycling*) membutuhkan peralatan dan kontraktor dengan keahlian khusus.

Tabel 5.1. Pemilihan Struktur Perkerasan

OVERLAY PERKERASAN EKSISTING					
Struktur Perkerasan	Kumulatif ESA5 20* tahun (juta)**				
	<0,1	0,1 - 4	4 - 10	>10-30	>30
AC-WC/ BC modifikasi SBS					
AC-WC/ BC modifikasi yang disetujui					
AC-WC/ BC normal					

REKONSTRUKSI					
Struktur Perkerasan	Kumulatif ESA4 20 tahun (juta)***				
	<0,1	0,1 - 4	4 - 10	>10-30	>30
Perkerasan beton di atas tanah normal					
CTRB + AC modifikasi					
CTRB + AC					
HRS + lapis fondasi agregat kelas A					
perkerasan tanpa penutup					

-  Opsi utama
 Opsi alternatif

*20 tahun digunakan untuk menyetarakan perbandingan, bukan sebagai umur rencana. Umur rencana *overlay* AC adalah 10 tahun (lihat butir (i) di atas).

**ESA5 digunakan untuk perhitungan *overlay* dengan campuran aspal;

***ESA4 digunakan untuk menyetarakan perbandingan berbagai alternatif penanganan rekonstruksi.

Ketentuan di atas tidak berlaku mutlak, perencana harus mempertimbangkan berbagai kendala pelaksanaan dan kepraktisan konstruksi. Solusi alternatif harus dipilih salah satu berdasarkan ESA dan pada biaya siklus masa layan terkecil atau paling kompetitif.

6 DESAIN TEBAL OVERLAY

6.1 Pendahuluan

Bab ini menguraikan prosedur untuk menentukan tebal desain *overlay* untuk memperbaiki perkerasan eksisting yang mengalami *distress* atau kerusakan struktural.

Penanganan *overlay* seringkali dimaksudkan juga untuk memperbaiki fungsi jalan misalnya penanganan bentuk permukaan, kenyamanan dan perbaikan lain pada permukaan jalan yang sifatnya non struktural. Namun peningkatan struktur dari penanganan ini harus tetap diperhatikan jika lendutan karakteristik suatu segmen jalan melampaui Pemicu Lendutan 1 (Lihat Lampiran L mengenai Level Desain dan Pemicu Penanganan).

Terdapat 3 (tiga) Pedoman yang dapat digunakan untuk desain *overlay*:

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

Pedoman Pd T-05-2005 telah digantikan (*superseded*) dengan Pedoman Interim No.002/P/BM/2011 dan perangkat lunak berkaitan, SDPJL, dapat digunakan.

Manual ini mempertajam pendekatan dalam Pedoman Interim No.002/P/BM/2011 dan perangkat-lunaknya karena selain lendutan maksimum, manual ini menggunakan pula analisis kurva atau lengkungan lendutan. *Input* data lendutan FWD atau *Benkelman Beam* yang dimodifikasi diperlukan untuk analisis kurva tersebut.

Pendekatan dalam penentuan *overlay* secara umum meliputi dua kriteria, yaitu:

- (i) deformasi permanen menggunakan lendutan maksimum;
- (ii) retak lelah menggunakan lengkung lendutan.

Jika diperlukan *overlay*, untuk perkerasan dengan beban lalu lintas rencana ≥ 100.000 ESA4 diperlukan pemeriksaan kinerja *fatigue* pada lapisan *overlay*. Pada jalan dengan lalu lintas rendah (< 100.000 ESA4) dan perkerasan dengan HRS, retak lelah lapisan aspal bukan merupakan model kerusakan yang umum. Oleh sebab itu, untuk perkerasan dengan lalu lintas rendah dan perkerasan HRS, tidak dilakukan pemeriksaan kinerja *fatigue*.

Pendekatan berdasarkan lendutan maksimum (D_0) untuk menentukan ketebalan *overlay* digunakan pada Pedoman Interim No.002/P/BM/2011 dan metode desain *overlay* Austroads. Lendutan maksimum (D_0) digunakan untuk menentukan tebal *overlay* untuk mencegah terjadinya alur dan perubahan bentuk permanen pada *subbase* dan tanah dasar. Grafik desain berdasarkan lendutan maksimum ditunjukkan pada Gambar 6.1.

Desain berdasarkan lendutan maksimum (D_0) tidak dapat digunakan untuk menilai apakah lapis tambah berpotensi mengalami retak lelah (*fatigue cracking*). Untuk mengakomodasi retak lelah berlaku ketentuan tambahan berupa batasan nilai bentuk mangkuk lendutan (*deflection bowl*) atau lengkung lendutan (*deflection curvature*, D_0-D_{200}) yang harus diperiksa untuk memastikan bahwa lapis *overlay* mampu menahan retak lelah.

Perkiraan kinerja berdasarkan retak lelah dihitung menggunakan Lengkung Lendutan Karakteristik ($D_0 - D_{200}$). Bagan desain untuk menghitung ketebalan *overlay* berdasarkan nilai lengkung lendutan dan rentang beban lalu lintas untuk kondisi iklim tropis ditunjukkan pada Gambar 6.5.

6.2 Prosedur Desain *Overlay*

Terdapat tiga prosedur tebal *overlay* berdasarkan beban lalu lintas.

1. Lalu Lintas lebih kecil atau sama dengan 100.000 ESA4

Retak lelah bukan merupakan kerusakan yang umum terjadi pada jalan dengan lalu lintas ringan dan perkerasan dengan HRS. Berdasarkan pertimbangan itu, desain jalan dengan beban lalu lintas rencana lebih kecil dari 100.000 ESA4 dan perkerasan dengan HRS kinerja fatigue *overlay* tidak diperlukan. Desain tebal *overlay* cukup dengan pendekatan lendutan maksimum (D_0) sesuai solusi berdasarkan Gambar 6.1.

2. Lalu Lintas lebih besar dari 100.000 ESA4

Pada jalan dengan lalu lintas lebih besar dari 100.000 ESA4 terdapat potensi retak lelah lapisan aspal. Dengan demikian, kriteria deformasi permanen (pendekatan lendutan maksimum D_0) dan kriteria retak lelah (pendekatan lengkung lendutan, $D_0 - D_{200}$) harus diperhitungkan. Gunakan grafik desain Gambar 6.1 dan Gambar 6.5.

Penjelasan lebih rinci mengenai lengkung lendutan dan ilustrasi penggunaan kedua grafik desain tersebut diuraikan pada butir 1.1.

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

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

Pada prosedur mekanistik empiris, data lendutan permukaan dan tebal perkerasan eksisting digunakan untuk perhitungan-balik (*back calculation*) nilai modulus lapisan perkerasan. Selanjutnya nilai modulus ini digunakan untuk menentukan solusi desain rekonstruksi atau *overlay* dengan program analisis perkerasan *multi-layer*. Garis besar prosedur mekanistik empiris diuraikan pada Bab 7 Manual Bagian 1.

Pada prosedur pelapisan tambah perkerasan lentur berdasarkan lendutan permukaan AASHTO 1993 atau Pt T-01-2002-B temperatur standar untuk lendutan maksimum (D_0) yang digunakan adalah 68°F atau 20°C . Dengan demikian, lendutan maksimum pada temperatur saat pengukuran harus distandarkan ke temperatur 20°C .

6.3 Tebal *Overlay* Non-Struktural

Lapisan *overlay* harus lebih besar atau sama dengan tebal minimum. Permukaan yang tidak rata memerlukan lapis aspal yang lebih tebal untuk mencapai level kerataan yang dikehendaki. Idealnya, permukaan yang sangat kasar dikoreksi dengan pelaksanaan dalam dua lapisan, dan tidak mengandalkan satu lapisan untuk mencapai IRI yang diharapkan. Pengupasan (*milling*) perlu dipertimbangkan untuk memperbaiki ketidakerataan permukaan.

Apabila *overlay* didesain hanya untuk memperbaiki kerataan saja (non-struktural), gunakan tebal *overlay* dari Tabel 6.1 di bawah ini:

Tabel 6.1. Tebal Overlay Untuk Menurunkan IRI (Non-struktural)

IRI rata-rata perkerasan eksisting	Tebal overlay minimum non-struktural untuk mencapai IRI = 3 setelah <i>overlay</i> (mm)
4	40
5	45
6	50
7	55
8	60

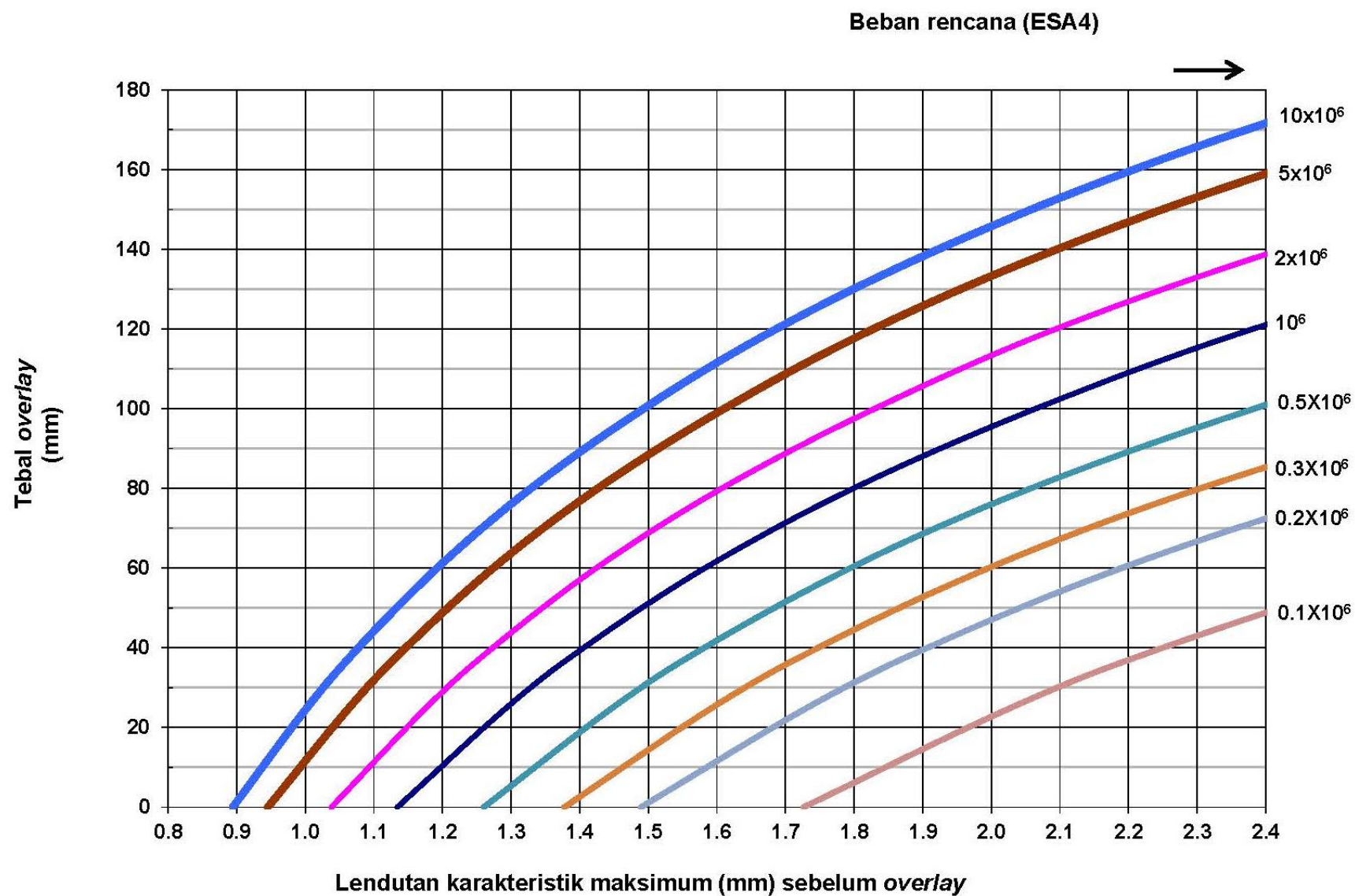
6.4 Tebal Overlay Berdasarkan Lendutan Maksimum

Bagan desain Gambar 6.1 digunakan untuk menentukan kebutuhan *overlay* untuk mengantisipasi deformasi permanen. Desain berdasarkan Gambar 6.1 menghasilkan desain dengan biaya lebih rendah daripada desain menggunakan Pd T-05-2005 yang telah dimodifikasi menjadi pedoman interim No.002/P/BM/2011 dan perangkat-lunaknya SDPJL.

Untuk lalu lintas dengan beban > 100.000 ESA4, desain tebal menggunakan Gambar 6.1 tersebut harus digunakan bersamaan dengan Gambar 6.5.a. dan Gambar 6.5.b. untuk mengantisipasi retak leleh. Dalam penggunaannya dibutuhkan justifikasi teknis, jika tidak ada indikasi potensi kegagalan tanah dasar, solusi berdasarkan lengkung lendutan sudah cukup memadai.

Untuk menentukan tebal *overlay* berdasarkan lendutan balik maksimum (yang diukur dengan alat Benkelman Beam). Hitung dan masukkan nilai lendutan karakteristik dan beban lalu lintas desain (ESA4) pada Gambar 6.1, serta dapatkan tebal *overlay* pada sumbu vertikal. Apabila pengukuran lendutan dilakukan dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD), gunakan faktor penyesuaian lendutan Tabel 6.7.

Bagan desain Gambar 6.1 berlaku untuk beban rencana sampai dengan 10×10^6 ESA4.



Gambar 6.1. Solusi *Overlay* Berdasarkan Lendutan Balik Benkelman Beam Untuk WMAPT 41°C

6.5 Tebal Overlay Berdasarkan Lengkung Lendutan

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

Langkah–langkah penentuan *overlay* berdasarkan lengkung lendutan adalah sebagai berikut:

1. Gunakan alat FWD, atau apabila menggunakan alat BB (*Benkelman Beam*), lakukan pengukuran mengikuti prosedur yang disetujui untuk mengukur lengkung lendutan.
2. Tentukan nilai rata–rata lengkung lendutan sebelum *overlay* sebagai nilai lengkung lendutan yang mewakili atau nilai karakteristik.
3. Jika menggunakan data BB, koreksi nilai lengkung lendutan yang diperoleh dengan faktor penyesuaian lengkung lendutan BB ke FWD dengan mengalikan nilai lengkung lendutan yang diperoleh dari langkah-2 di atas dengan faktor penyesuaian (Tabel 6.6. Faktor koreksi lengkung lendutan BB ke FWD). (Catatan: koreksi temperatur tidak diperlukan).
4. Tentukan tebal *overlay* yang dibutuhkan sesuai ketentuan dalam butir 6.2.

Lengkung lendutan dinyatakan pada titik belok lengkungan atau *CF* (*curvature function*) berdasarkan bentuk lengkung lendutan sebagai berikut:

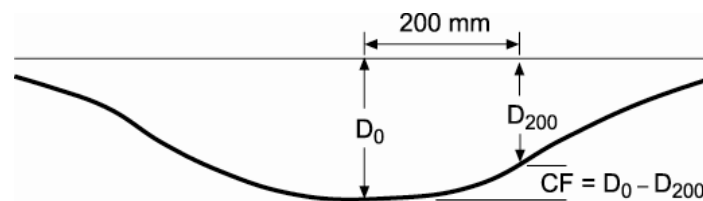
$$CF = D_0 - D_{200}$$

dengan:

D_0 = Lendutan maksimum pada suatu titik uji (mm);

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

Gambar 6.2. menunjukkan skema dimensi fungsi lengkung lendutan (*curvature function* atau titik belok).

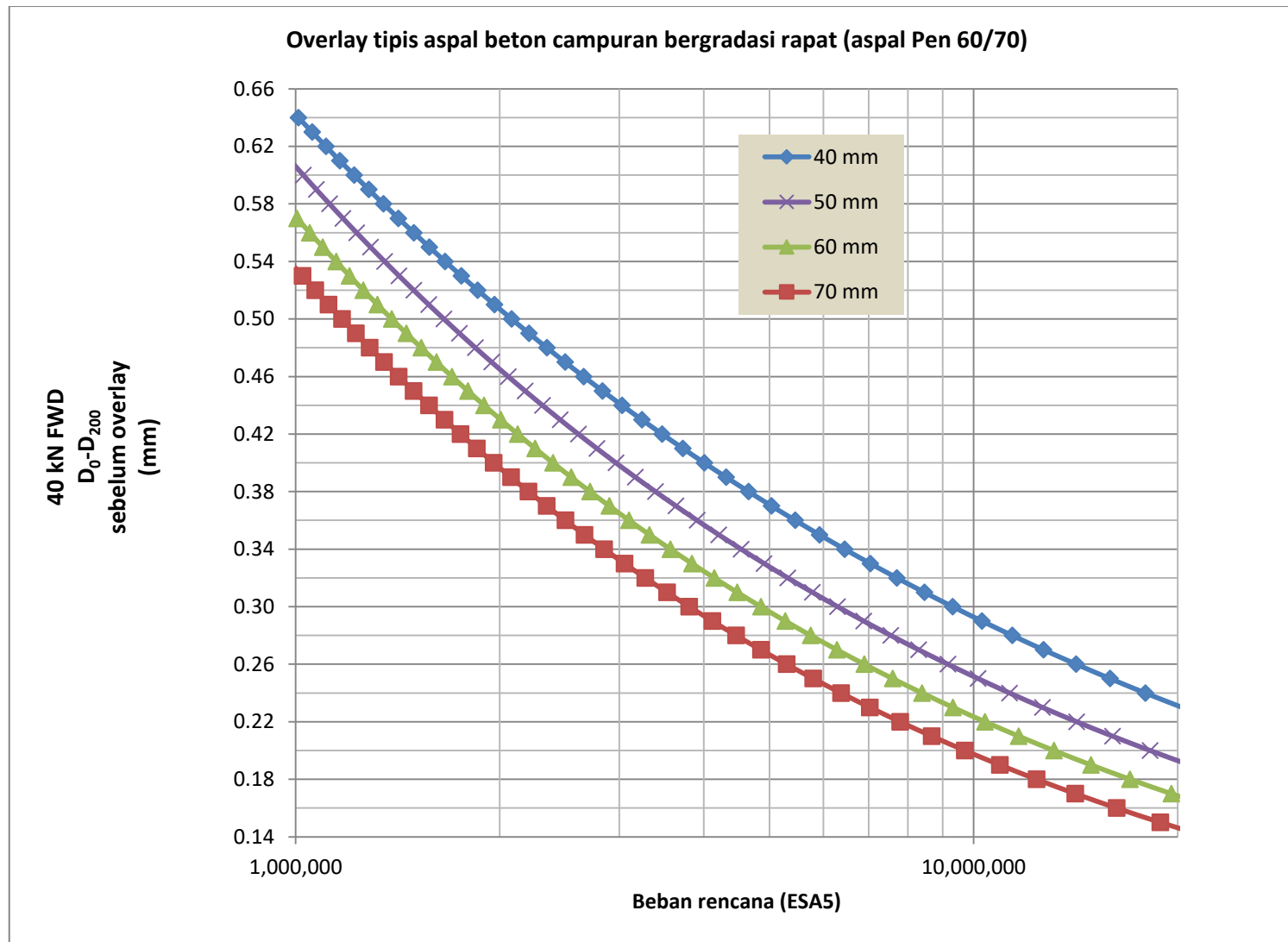


Sumber: Austroads 2008

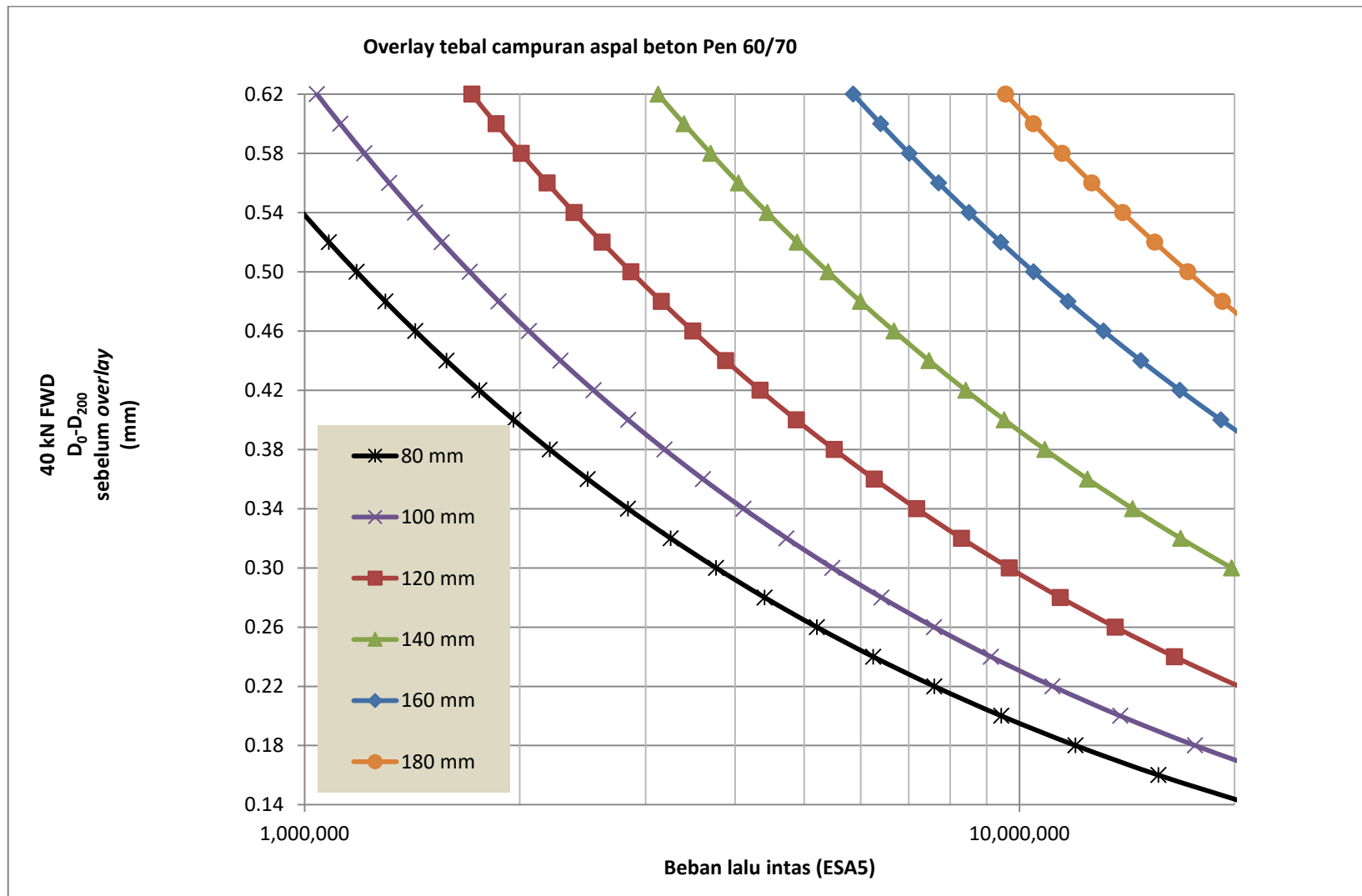
Gambar 6.2. Fungsi Lengkung Lendutan

6.5.1 Grafik desain lengkung lendutan pada WMAPT 41⁰ C

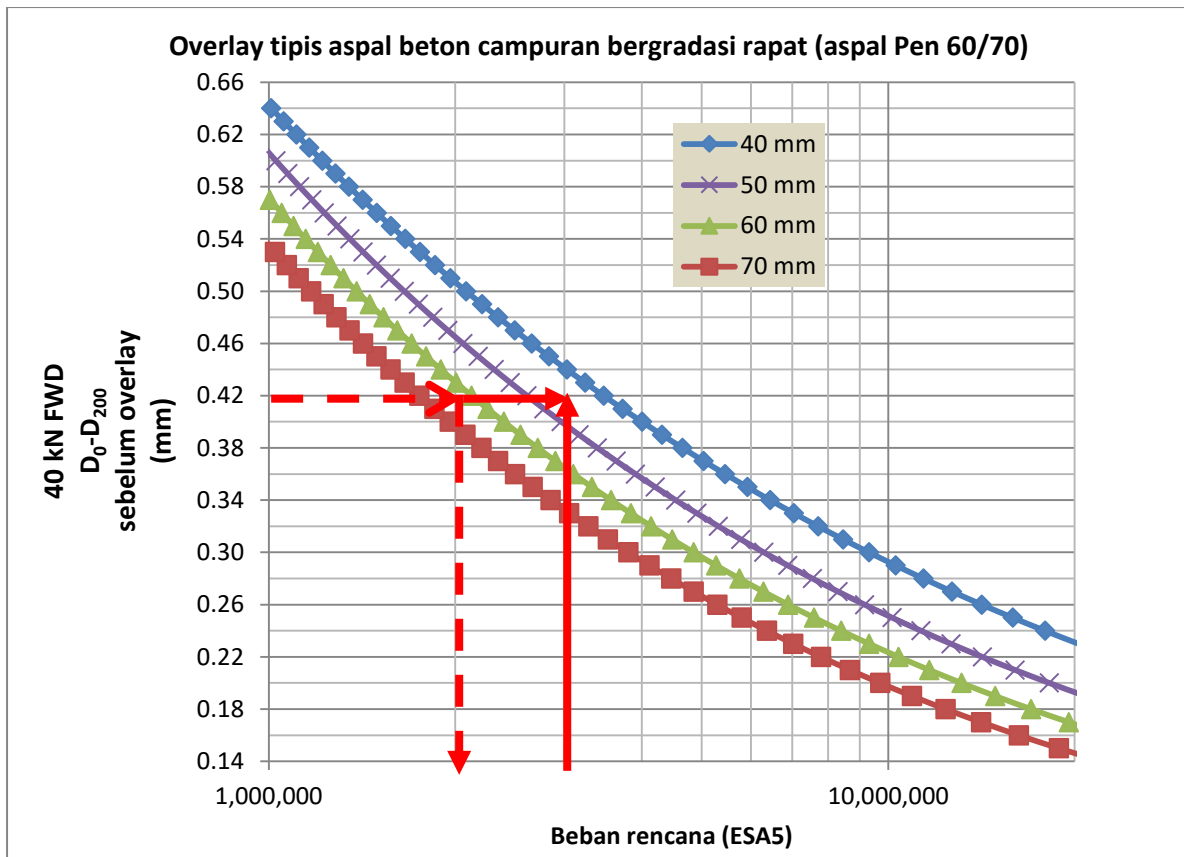
Tebal *overlay* berdasarkan lengkung lendutan dapat ditentukan sebagai *overlay* tipis atau *overlay* tebal seperti ditunjukkan pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4. dengan contoh penggunaan seperti diuraikan pada Gambar 6.5.



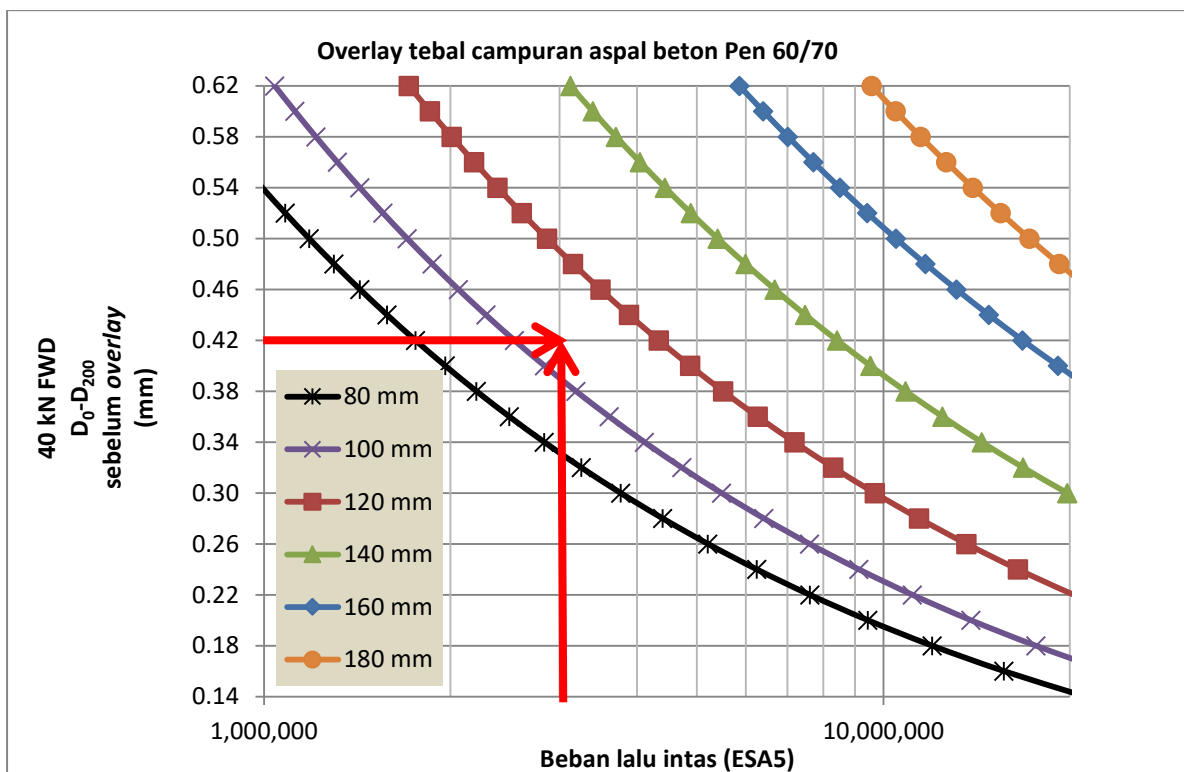
Gambar 6.3. Tebal *Overlay* Tipis Aspal Konvensional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada WMAPT > 35° C



Gambar 6.4. Tebal Overlay Tebal Aspal Konvensional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada WMAPT > 35° C



(a) Overlay tipis



(b) Overlay tebal

Gambar 6.5. Contoh Penentuan Tebal Overlay Aspal Konvensional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada WMAPT > 35° C

Contoh:

- (a) Diketahui beban lalu lintas rencana 3×10^6 ESA5; lengkung lendutan rata-rata karakteristik $D_0 - D_{200} = 0,42$ mm; tebal *overlay* minimum untuk perbaikan bentuk (kerataan dan lereng permukaan) = 60 mm; tebal *overlay* untuk mencegah deformasi permanen = 40 mm (berdasarkan analisis lendutan balik BB maksimum (D_0) menggunakan Gambar 6.1).
- (b) Tentukan tebal pelapisan minimum untuk memenuhi:
- I. perbaikan bentuk berdasarkan Tabel 6.1;
 - II. perbaikan bentuk khusus misal perbaikan lereng melintang atau superelevasi dan,
 - III. kebutuhan berdasarkan lendutan maksimum berdasarkan Gambar 6.1.
- Tebal yang dipilih adalah tebal minimum terbesar yang diperoleh dari ketiga kriteria tersebut di atas.
- (c) Tebal minimum *overlay* untuk mencegah retak lelah berdasarkan Gambar 6.5.a untuk beban lalu lintas 3×10^6 ESA5 adalah 45 mm (garis panah penuh).
- (d) Pada tebal *overlay* minimum untuk perbaikan bentuk = 60 mm, beban lalu lintas sebelum retak *fatigue* berdasarkan lendutan karakteristik adalah $2,0 \times 10^6$ ESA5 (garis panah putus-putus pada Gambar 6.5.a) sehingga tidak memenuhi kebutuhan untuk beban rencana $3,0 \times 10^6$ ESA5.
- (e) Tebal minimum terbesar dari langkah (b) di atas adalah 60 mm. Namun demikian, beban lalu lintas yang diperoleh pada ketebalan tersebut kurang dari beban lalu lintas rencana (3×10^6 ESA5) (langkah (d)). Dengan demikian tebal pelapisan yang dibutuhkan untuk mencegah retak lelah pada umur rencana adalah seperti ditunjukkan oleh garis panah penuh pada Gambar 6.5.b (*overlay* tebal). Dalam contoh ini ketebalan desain *overlay* adalah 110 mm.
- (f) Aspal modifikasi SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) 3% akan memberikan ketahanan terhadap retak lelah adalah 1,5 kali lebih besar daripada aspal konvensional. Dengan demikian, *overlay* dengan SBS 3% dengan tebal *overlay* yang sama dengan *overlay* untuk umur rencana 2×10^6 ESA5 menggunakan aspal biasa, dapat meningkatkan umur rencana menjadi 3×10^6 ESA5. Pada contoh di atas, dengan mempertimbangkan faktor keekonomian dan kemampuan kontraktor, dapat dipertimbangkan dua pilihan yaitu *overlay* menggunakan aspal modifikasi SBS 3% setebal 60 mm atau menggunakan aspal konvensional setebal 110 mm. Penggunaan aspal modifikasi dibahas lebih lanjut pada butir 6.5.6.

6.5.2 Penyesuaian nilai pengukuran lendutan terhadap musim

Besar lendutan permukaan perkerasan aspal dipengaruhi oleh jenis tanah dan kelembaban tanah dasar. Selain dari ketinggian muka air tanah, kelembaban tanah dasar dipengaruhi oleh iklim. Atas pertimbangan tersebut maka pengukuran sebaiknya dilakukan pada waktu perkerasan dalam keadaan terlemah yaitu pada musim penghujan.

Apabila survei lendutan dilaksanakan pada musim kemarau maka nilai lendutan harus dikoreksi. Faktor koreksi terhadap musim adalah angka perbandingan antara lendutan maksimum pada musim penghujan dan lendutan pada musim kemarau:

Faktor koreksi musim kemarau = 1,2 (6.1a)

Faktor koreksi musim penghujan = 1,0* (6.1b)

*Berlaku untuk pengujian lendutan pada musim penghujan atau jika muka air tanah lebih dalam dari 3 m di bawah level tanah dasar.

6.5.3 Penyesuaian nilai pengukuran lendutan terhadap temperatur pengujian

Untuk *overlay* di atas perkerasan berbutir, hasil pengukuran lendutan perlu dikoreksi. Hal ini dikarenakan temperatur perkerasan mempengaruhi kekakuan dan kinerja perkerasan beraspal dalam merespon beban. Apabila temperatur perkerasan pada saat pengukuran dan pada kondisi pelayanan berbeda secara signifikan, lengkung lendutan yang diukur tidak mewakili respon perkerasan terhadap pembebanan lalu lintas. Untuk itu, diperlukan faktor koreksi temperatur.

Temperatur perkerasan harian pada suatu lokasi dipengaruhi oleh temperatur perkerasan tahunan rata-rata (*Weighted Mean Annual Pavement Temperature = WMAPT*). Temperatur perkerasan rata-rata tahunan dapat diperkirakan berdasarkan temperatur rata-rata tahunan (*Weighted Mean Annual Air Temperature, WMAAT*). Prosedur perhitungan WMAAT dan WMAPT diuraikan dalam lampiran M.

Secara umum, temperatur perkerasan tahunan rata-rata di Indonesia adalah 42°C pada daerah pesisir dan 38°C pada daerah pegunungan. Temperatur perkerasan rata-rata 41°C digunakan sebagai acuan dalam manual ini.

Faktor koreksi temperatur untuk pengukuran lendutan dihitung mengikuti prosedur berikut:

Langkah 1: Tentukan faktor koreksi temperatur, f_T , sebagai berikut:

$$f_T = \frac{WMAPT}{\text{Temperatur perkerasan saat pengukuran lendutan}} \quad (6.2)$$

Langkah 2: Tentukan faktor koreksi temperatur menggunakan Tabel 6.2 dan Tabel 6.3. untuk pengujian menggunakan FWD atau Tabel 6.4 dan Tabel 6.5 apabila pengujian lendutan menggunakan Benkelman Beam. Pengujian lendutan perkerasan dengan tebal permukaan beraspal kurang dari 25 mm tidak memerlukan faktor koreksi temperatur.

Gunakan Tabel 6.2 dan 6.3 jika survei lendutan menggunakan FWD

Tabel 6.2. Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D_0) Untuk FWD*

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

* (Lendutan pada suhu WAMPT) / (Lendutan Pengukuran)

Tabel 6.3. Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$) Untuk FWD*

WAMPT Temp_{lapangan}	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
	25	50	100	150	200	300
0,50	0,91	0,76	0,63	0,54	0,41	0,31
0,60	0,93	0,81	0,71	0,64	0,53	0,46
0,70	0,95	0,86	0,78	0,73	0,65	0,60
0,80	0,97	0,91	0,86	0,82	0,77	0,73
0,90	0,98	0,95	0,92	0,91	0,88	0,86
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11
1,20	1,02	1,06	1,10	1,14	1,18	1,23
1,30	1,03	1,10	1,15	1,20	1,27	1,35
1,40	1,04	1,13	1,20	1,26	1,36	1,46
1,50	1,05	1,15	1,24	1,32	1,44	1,57
1,60	1,05	1,15	1,24	1,32	1,44	1,57
1,70	1,06	1,15	1,28	1,37	1,52	1,67
1,80	1,06	1,18	1,32	1,41	1,59	1,77

* (Lengkungan Lendutan pada suhu WAMPT) / (Lendutan Pengukuran)

Gunakan Tabel 6.4. dan 6.5. jika survei lendutan menggunakan alat BB

Tabel 6.4. Faktor Koreksi Temperatur Lendutan (D_0) Untuk Benkelman Beam*

WAMPT Temp_{lapangan}	Tebal Aspal Eksisting (mm)						
	25	50	100	150	200	250	300
0,50	0,94	0,90	0,84	0,78	0,74	0,67	0,58
0,60	0,95	0,92	0,86	0,81	0,77	0,70	0,62
0,70	0,96	0,94	0,89	0,85	0,81	0,75	0,69
0,80	0,97	0,96	0,92	0,90	0,87	0,82	0,78
0,90	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,90	0,88
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,01	1,03	1,03	1,05	1,06	1,08
1,20	1,02	1,02	1,05	1,07	1,10	1,14	1,16
1,30	1,03	1,04	1,06	1,10	1,14	1,20	1,24
1,40	1,03	1,05	1,08	1,12	1,18	1,26	1,31
1,50	1,04	1,06	1,09	1,14	1,21	1,31	1,37
1,60	1,04	1,07	1,11	1,16	1,25	1,37	1,42
1,70	1,04	1,08	1,12	1,20	1,30	1,38	1,50
1,80	1,04	1,09	1,13	1,22	1,35	1,37	1,55

*(Lendutan pada suhu WAMPT) / (Lendutan Pengukuran)

Tabel 6.5. Faktor Koreksi Temperatur Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) Untuk Benkelman Beam*

WAMPT Temp_{lapangan}	Tebal Aspal Eksisting (mm)							
	25	50	75	100	150	200	250	300
0,50	0,93	0,81	0,72	0,64	0,54	0,51	0,48	0,43
0,60	0,95	0,85	0,77	0,72	0,64	0,58	0,53	0,48
0,70	0,96	0,89	0,83	0,79	0,73	0,66	0,61	0,57
0,80	0,98	0,92	0,88	0,85	0,81	0,76	0,72	0,69
0,90	0,99	0,96	0,93	0,92	0,89	0,86	0,84	0,83
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,06	1,09	1,11
1,20	1,02	1,04	1,07	1,08	1,11	1,16	1,20	1,24
1,30	1,03	1,07	1,11	1,13	1,18	1,24	1,31	1,36
1,40	1,04	1,09	1,14	1,18	1,24	1,32	1,41	1,46
1,50	1,05	1,11	1,17	1,22	1,29	1,39	1,49	1,56
1,60	1,06	1,13	1,20	1,26	1,35	1,44	1,57	1,64
1,70	1,07	1,14	1,23	1,29	1,39	1,50	1,64	1,71
1,80	1,07	1,16	1,25	1,32	1,44	1,55	1,70	1,78

*(Lengkungan Lendutan pada suhu WAMPT) / (Lengkung Lendutan Pengukuran)

6.5.4 Penyesuaian nilai lendutan dan lengkung lendutan

Lendutan dan lengkung lendutan yang diuji menggunakan *Benkelman Beam* dan FWD akan menghasilkan nilai yang berbeda, oleh karena itu diperlukan penyesuaian atau standarisasi hasil pengukuran.

Bagan desain *overlay* dengan kriteria kelelahan (*fatigue*) perkerasan aspal (Gambar 6.5) didasarkan pada lengkung lendutan FWD (Austroads 2008). Oleh sebab itu, apabila pengukuran dilakukan dengan BB maka nilai yang diperoleh harus dikonversi ke nilai setara FWD dengan mengalikan nilai tersebut dengan Faktor Standarisasi. Faktor tersebut bervariasi sesuai komposisi perkerasan dan kekuatan tanah dasar. Faktor yang paling akurat adalah yang diperoleh dari pengukuran lapangan yang disejajarkan. Namun demikian untuk memudahkan, asumsi awal faktor penyesuaian yang disajikan pada Tabel 6.6 dapat digunakan.

Tabel 6.6. Faktor Penyesuaian Lengkung Lendutan ($D_0 - D_{200}$) BB ke FWD

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

Bagan desain *overlay* untuk kriteria lendutan maksimum (Gambar 6.1) adalah berdasarkan lendutan yang diukur dengan *Benkelman Beam*. Apabila data lendutan diperoleh dari FWD maka data yang diperoleh harus dikonversi ke data lendutan *Benkelman Beam* dengan mengalikan nilai yang diperoleh dengan faktor penyesuaian seperti ditunjukkan pada Tabel 6.7.

Gunakan Tabel 6.7 jika survei pengukuran lendutan maksimum (D_0) menggunakan FWD

Tabel 6.7. Faktor Penyesuaian Lendutan (D_0) FWD ke BB

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

6.5.5 Lengkung lendutan karakteristik (*Characteristic curvature*)

Untuk tujuan evaluasi desain *overlay* pada perkerasan lentur, Lengkung Lendutan Karakteristik harus digunakan untuk lalu lintas lebih besar dari 1×10^5 ESA5. Nilai ini ditentukan sesudah dilakukan koreksi terhadap musim, temperatur dan standarisasi terhadap masing-masing pengukuran.

Nilai Lengkung Lendutan Karakteristik (CC) untuk sub segmen perkerasan yang homogen sama dengan nilai lengkung lendutan **rata-rata** yang diperoleh dari data survei lendutan.

6.5.6 Overlay menggunakan aspal modifikasi

Aspal modifikasi, khususnya aspal modifikasi SBS dapat memperpanjang umur *fatigue* dari overlay aspal tipis sampai 3 kali lipat (lihat Tabel 6.8).

Tabel 6.8. Umur Lelah (*Fatigue*) Aspal Modifikasi

Deskripsi Bahan Pengikat Aspal Modifikasi	Penyesuaian Modulus relatif terhadap Aspal Pen 60/70	Faktor Penyesuaian <i>Fatigue</i> (pendekatan toleransi <i>fatigue</i> untuk campuran beraspal vs aspal standar)
Modifikasi asbuton menjadi Pen 40	1,35	1,00
6% SBS	0,70	3,00
5% SBS	0,75	2,50
3% SBS	0,80	1,50
Multi grade	1,00	1,00
5% EVA	1,50	1,00
6% EVA	1,50	1,00

Jika digunakan aspal modifikasi maka masa layan dikalikan dengan faktor yang terdapat dalam Tabel 6.8. Jika diperoleh masa layan yang sama atau lebih besar daripada umur rencana maka solusi *overlay* tipis dapat diambil sebagai solusi desain. Ilustrasi mengenai hal ini diuraikan pada butir 0. Jika sumber daya untuk aspal modifikasi tersedia dan biaya penggunaannya lebih murah maka aspal modifikasi dapat digunakan.

7 DESAIN KETEBALAN PENGUPASAN DAN PELAPISAN ULANG (*MILL AND INLAY*)

7.1 Pendahuluan

Pengupasan dengan mesin (*milling*) adalah cara efektif untuk memperbaiki ketidakrataan permukaan perkerasan yang disebabkan oleh alur, sungkur, keriting dan retak permukaan. Umumnya, pengupasan dilakukan untuk mengupas permukaan aspal. Peralatan pengupasan modern juga mampu mengupas lapisan stabilisasi semen dan beton. Akan tetapi hasil kupasan material tersebut lebih halus dan tidak dapat digunakan untuk daur ulang seperti pada pengupasan lapisan aspal.

Alat *milling* (*cold planner*) dapat digunakan sebagai bagian peralatan pekerjaan *overlay*. Dalam hal ini, pengupasan dilakukan untuk meratakan permukaan eksisting sehingga menghasilkan *overlay* dengan ketebalan yang seragam dan permukaan yang rata.

Pada segmen yang memerlukan tebal *overlay* lebih dari 50 mm, penanganan yang lebih efektif dengan tebal yang lebih tipis dapat dilakukan dengan cara memperkuat titik-titik yang lemah dengan cara pengupasan dan pelapisan ulang (*milling and reinstatement* atau *inlay*).

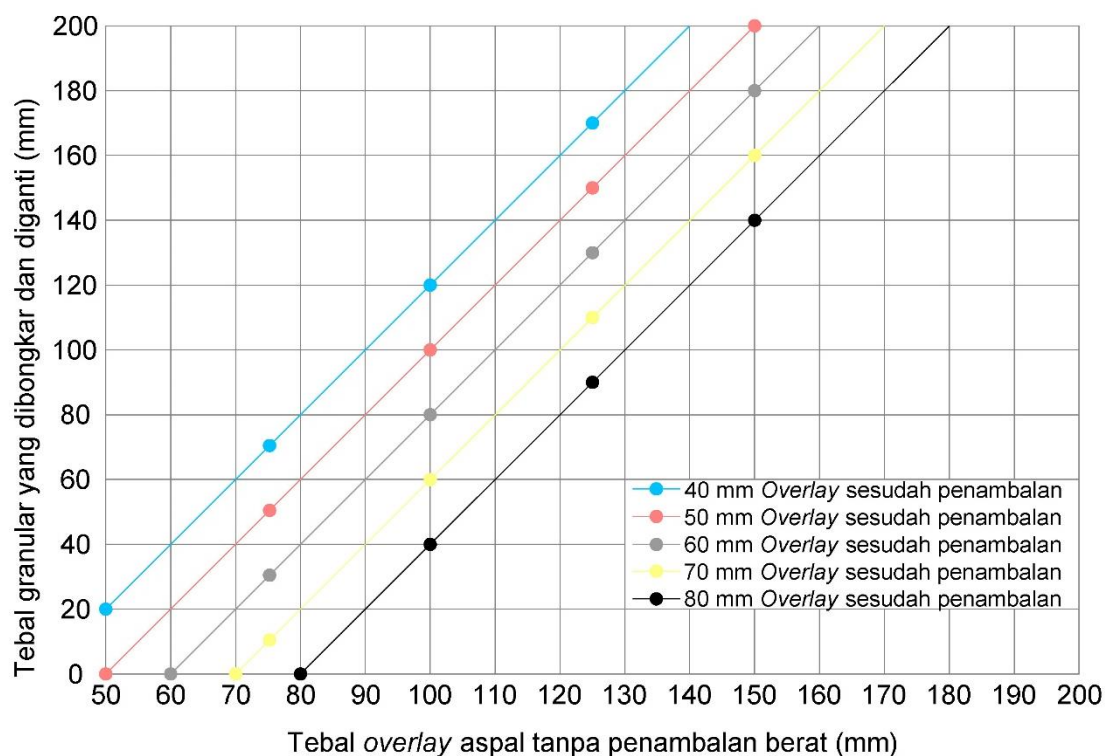
Bab ini menguraikan metode desain *mill and inlay*.

7.2 Metode Penentuan Tebal Rencana

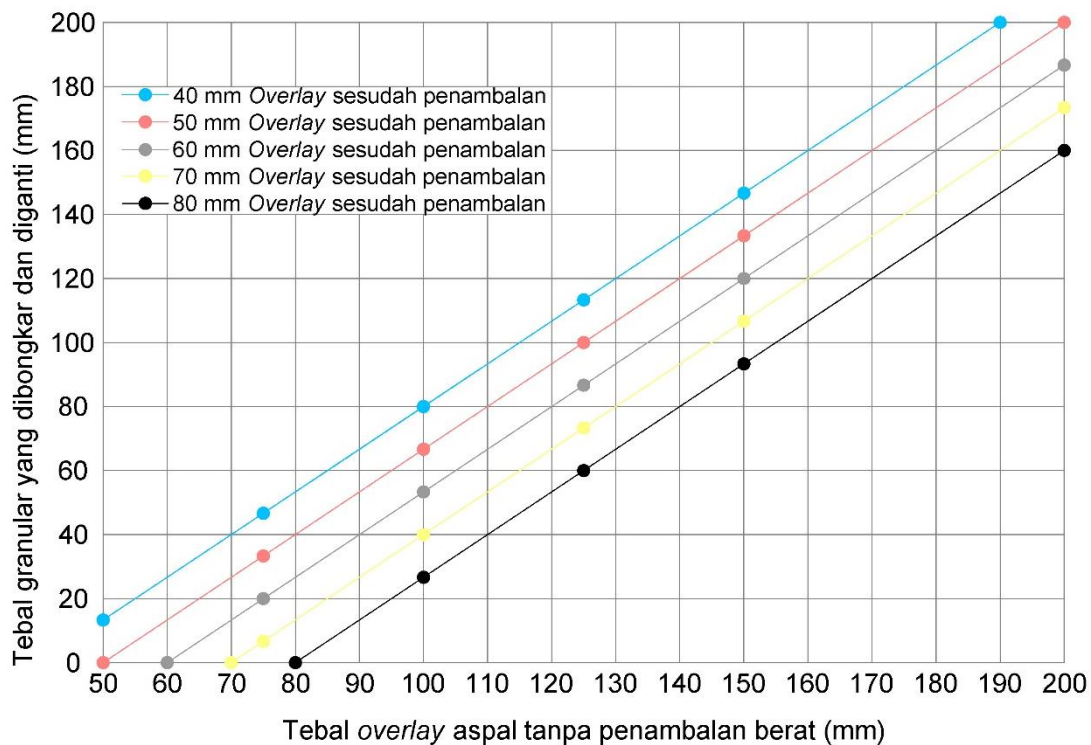
Prosedur perhitungan kedalaman pengupasan dan ketebalan pelapisan kembali permukaan yang dikupas diuraikan pada Tabel 7.1. Metode ini digunakan untuk merencanakan ketebalan *inlay* untuk penyamaan elevasi permukaan lajur atau penyamaan ketebalan *overlay* setelah pengupasan. Prosedur ini berlaku untuk beban lalu lintas 1.000.000 hingga 20×10^6 ESA5.

Tabel 7.1. Prosedur Desain Ketebalan *Mill and Inlay*

Langkah	Kegiatan
1	Hitung ketebalan <i>overlay</i> untuk mencegah deformasi permanen tanpa pengupasan (OLAYdef) berdasarkan lendutan dan beban lalu lintas seperti diuraikan dalam Bab 6.
2	Jika ketebalan <i>overlay</i> (OLAYdef) lebih dari 50 mm, tentukan tebal yang dikehendaki setelah pengupasan dan <i>inlay</i> (OLAYmill).
3	Kedalaman kupasan dan pelapisan kembali dengan campuran beraspal untuk mencegah deformasi permanen adalah tebal aspal eksisting ditambah tebal lapis berbutir yang dikupas yang ditentukan dari OLAYdef dan OLAYmill berdasarkan Gambar 7.1.
4	Hitung ketebalan <i>overlay</i> untuk mencegah <i>fatigue</i> tanpa pengupasan (OLAYfat) berdasarkan lengkung lendutan dan beban lalu lintas seperti diuraikan dalam Bab 6.
5	Jika ketebalan <i>overlay</i> (OLAYdef) lebih dari 50 mm, tentukan tebal <i>overlay</i> yang dikehendaki setelah pengupasan dan <i>inlay</i> (OLAYmill).
6	Kedalaman kupasan dan pelapisan kembali dengan campuran beraspal untuk mencegah <i>fatigue</i> adalah tebal aspal eksisting ditambah tebal lapis berbutir yang dikupas yang ditentukan dari OLAYfat dan OLAYmill berdasarkan Gambar 7.1.
7	Kedalaman kupasan dan ketebalan <i>inlay</i> rencana adalah yang tertebal dari desain untuk mencegah deformasi permanen (langkah 3) dan desain untuk mencegah retek lelah (langkah 6).



Gambar 7.1. Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir Untuk Mencegah Deformasi Permanen



Gambar 7.2. Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir Untuk Mencegah *Fatigue*

Contoh desain diberikan pada butir 10.1. Bab 10.

8 DESAIN REKONSTRUKSI PERKERASAN

8.1 Pendahuluan

Rusak berat dan retak yang signifikan dan meluas merupakan indikasi bahwa perkerasan telah mencapai akhir dari umur pelayanannya dan/atau terlambat ditangani. Berbagai teknik dapat dilakukan untuk merekonstruksi perkerasan seperti pengupasan dan penggantian seluruh lapisan aspal, reklamasi atau daur-ulang perkerasan dan pembongkaran diikuti dengan penggantian seluruh struktur perkerasan (*full depth replacement*). Kesesuaian teknik yang digunakan tergantung pada kondisi perkerasan yang akan ditangani.

Penggantian lapisan aspal dilakukan jika lapis aspal eksisting telah dalam kondisi mencapai umur pelayanan sedangkan lapis fondasi di bawahnya masih dalam keadaan baik. Aspal eksisting dikupas, material kupasan diangkut keluar, dikumpulkan dan dapat diproses untuk digunakan kembali sebagai bahan jalan (daur ulang). Selanjutnya, permukaan lapis fondasi dibentuk dan diratakan kembali untuk kemudian dilapis kembali dengan lapisan beraspal yang baru. Penggantian aspal (lapis permukaan) dapat juga dilakukan dengan memanfaatkan teknik daur ulang lapis aspal di tempat (*hot in-place recycling*).

Reklamasi perkerasan meliputi pengupasan dan penggemburan perkerasan eksisting (lapisan aspal dan bahan berbutir) untuk didaur-ulang dengan menambahkan bahan pengikat (seperti aspal atau semen) membentuk lapis fondasi baru yang lebih kokoh. Reklamasi perkerasan dapat menjadi opsi penanganan rekonstruksi yang efektif dengan memanfaatkan material eksisting di tempat, mengurangi penggunaan material baru dan aktivitas pengangkutan material ke lapangan.

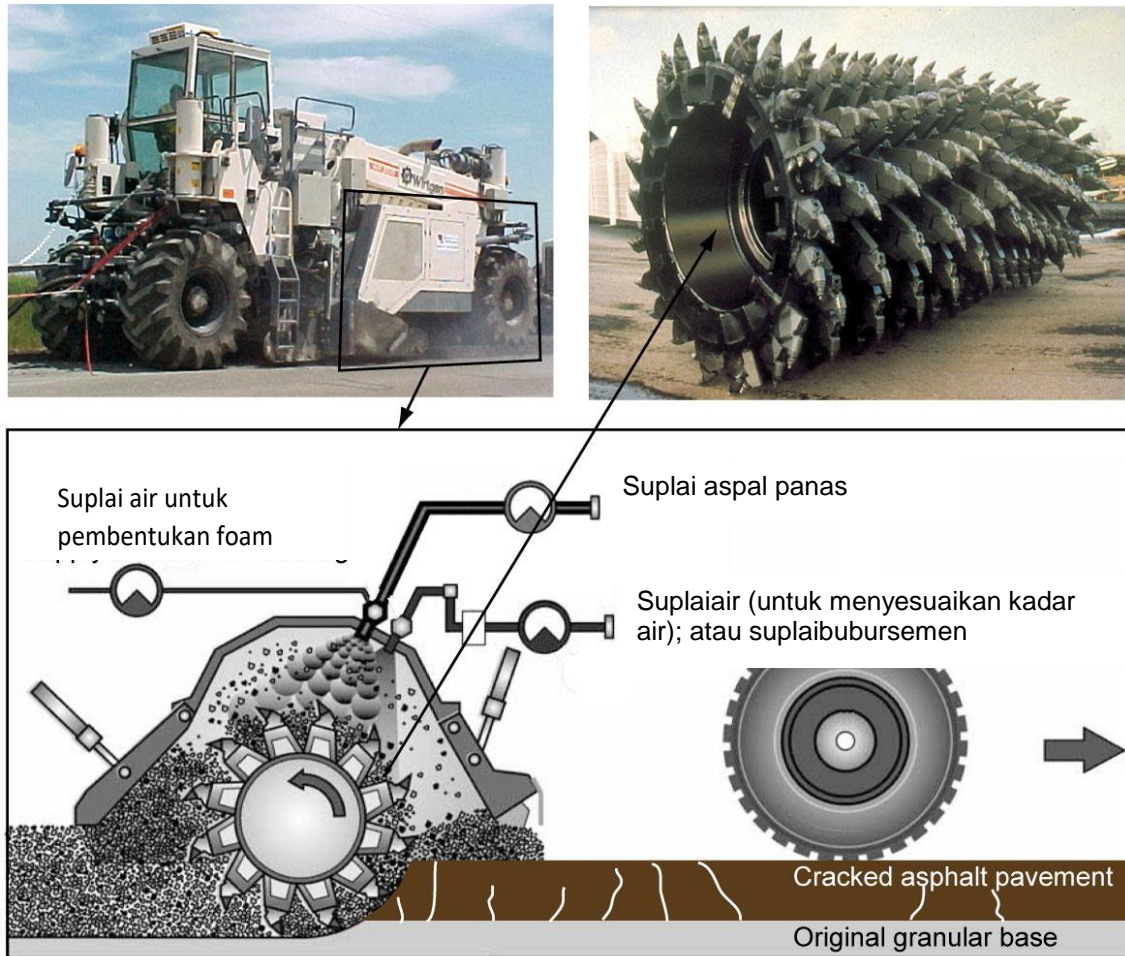
Penggantian seluruh struktur perkerasan dilakukan apabila kerusakan perkerasan telah mencapai kerusakan tanah dasar sehingga seluruh perkerasan harus diganti. Tanah dasar yang rusak disingkirkan dan drainase perkerasan diperbaiki. Selanjutnya lapis fondasi dan perkerasan dibangun kembali.

Bab ini menguraikan desain rekonstruksi dengan reklamasi perkerasan aspal menggunakan *foam bitumen* dan stabilisasi semen. Diuraikan pula aplikasi kedua pendekatan tersebut untuk desain rekonstruksi perkerasan dengan beban sangat berat. Desain rekonstruksi perkerasan jalan kerikil dengan dan tanpa lapis penutup dan rekonstruksi pada tanah lunak dan gambut juga dibahas.

Desain rekonstruksi dengan penggantian seluruh struktur perkerasan atau *full depth replacement* sama dengan desain perkerasan baru telah diuraikan dalam bagian I dan karena itu tidak dibahas secara khusus pada bab ini.

8.2 Desain Rekonstruksi Dengan *Foam bitumen*

Foam bitumen adalah bahan pengikat aspal yang panas yang dalam waktu singkat diubah bentuknya dari bentuk cair menjadi busa (*foam*) dengan cara menambahkan sedikit air (2% – 3% terhadap berat bitumen). Dalam keadaan berbentuk busa tersebut bitumen dapat dicampur dengan agregat pada temperatur udara dan kadar air (kelembaban) lapangan. Busa bitumen tersebut melapisi fraksi halus agregat, membentuk bubur (*mastic*) yang mengikat partikel-partikel yang lebih besar dalam campuran agregat. Bahan pembentuk *foam* (*foaming agent*) dapat digunakan untuk menjamin terpenuhinya persyaratan sifat-sifat aspal *foam*.



Gambar 8.1. Daur Ulang Perkerasan dengan *Foam Bitumen*

Kadar *foam bitumen* yang ditambahkan ke agregat hasil pengupasan (*milling*) biasanya berkisar dari 2,0% sampai 3,0% dan ditambah semen 1,0% sebagai pengikat kedua. Kapur dapat digunakan untuk material yang mempunyai plastisitas lebih tinggi.

Kekuatan atau kekakuan campuran *foam bitumen* diperoleh dari:

- gesekan antara partikel agregat;
- viskositas bitumen pada kondisi operasional;
- kohesi antar partikel yang dihasilkan oleh pengikat dan adhesi antara pengikat yang bersifat bitumen dan hidrolis (seperti semen) dengan agregat.

Seperti halnya dengan pengikat stabilisasi yang lain, stabilisasi *foam bitumen* dapat dilakukan di lapangan atau di instalasi pencampur aspal (AMP). *Foam bitumen* tersebut dimasukkan ke dalam drum atau instalasi daur ulang. Di dalam instalasi tersebut *foam bitumen* membasahi dan menyelimuti permukaan partikel halus agregat membentuk material perkerasan yang fleksibel. Kualitas pencampuran antara *foam bitumen* dengan agregat menentukan keberhasilan proses stabilisasi *foam bitumen*. Proses penyelimutan partikel agregat oleh bitumen harus terjadi secepat mungkin pada waktu bitumen masih dalam bentuk busa karena kondisi bitumen berbentuk busa tersebut berlangsung dalam waktu yang sangat singkat.

Rehabilitasi dengan stabilisasi *foam bitumen* tergolong teknologi baru jika dibandingkan dengan penanganan rehabilitasi yang lain. Prosedur pencampuran serta desainnya

dikembangkan di banyak negara. Metode desain ketebalan sementara (interim) diuraikan di pada Lampiran L.

Karena metode tersebut masih bersifat sementara, kinerja perkerasan dengan stabilisasi *foam bitumen* yang telah dilaksanakan di Indonesia perlu dievaluasi untuk pengembangan metode ini dimasa yang akan datang.

8.2.1 Material untuk stabilisasi *foam bitumen*

Di Indonesia stabilisasi dengan *foam bitumen* umumnya dilaksanakan untuk mendaur-ulang lapisan aspal dan material lapis fondasi agregat eksisting.

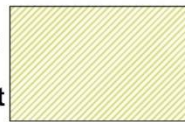
Untuk menilai kecocokan material daur ulang yang akan distabilisasi dengan *foam bitumen*, indeks plastisitas (IP) hendaknya tidak lebih dari 10, kecuali jika dilakukan stabilisasi dengan kapur yang dapat diaplikasikan pada material dengan IP hingga 20. Lihat Tabel 7.1 sebagai panduan.

Gradasi ukuran butir material harus terletak di Zone A pada distribusi ukuran butir yang ditunjukkan pada Gambar 7.2.

Tabel 8.1. Pemilihan Metode Stabilisasi

Ukuran Partikel	Lebih dari 25% lolos 0.425 mm			Kurang dari 25% lolos 0.425 mm		
Plastisitas	PI ≤ 10	10 ≤ PI ≤ 20	PI ≥ 20	PI ≤ 6, WPI < 60	PI ≤ 10	PI > 10
Tipe Pengikat						
Semen dan semen campuran*						
Kapur						
Bitumen						
Campuran aspal/ semen						
Berbutir						
Polimer						
Bahan Kimia Lain**						

Keterangan:

umumnya
sesuaidiragukan atau
memerlukan
bahan pengikatumumnya
tidak
sesuai

* Penggunaan beberapa pengikat bahan kimia sebagai bahan tambahan dapat memperpanjang efektivitas pengikat bersemen (*cementitious*). Bahan kimia adalah bahan tambahan semen atau *additive* sesuai buku petunjuk beton.

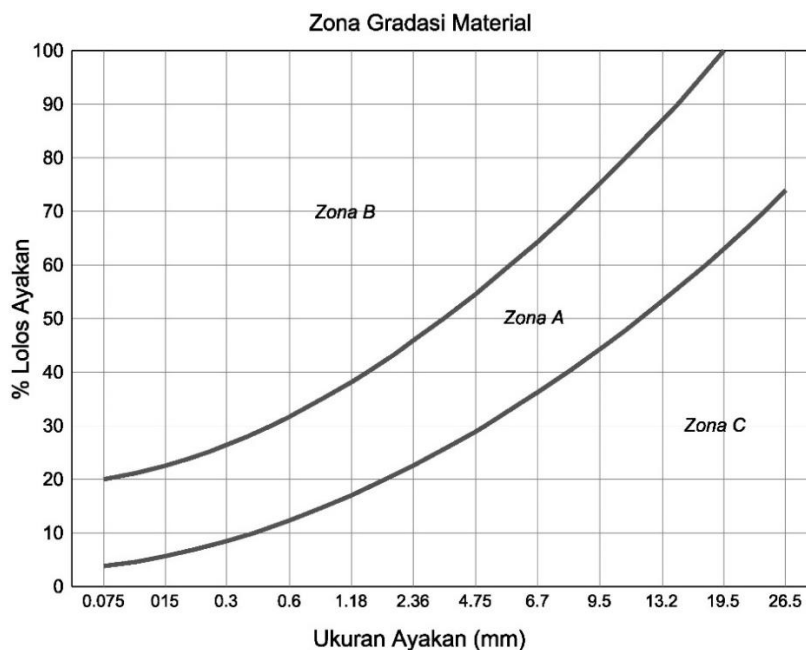
** Hanya diambil sebagai panduan. Rujuk literatur lain untuk informasi lainnya pada tanah berbutir halus atau plastisitas lebih tinggi.

WPI: Weighted Plasticity Index = % lolos ayakan 0,425 mm x Indeks Plastisitas (IP)

Catatan:

Bahan stabilisasi di atas dapat digunakan dalam bentuk kombinasi, misalnya kombinasi kapur semen; stabilisasi kapur digunakan untuk mengeringkan dan menurunkan plastisitas material daur ulang sehingga material bersangkutan sesuai untuk distabilisasi dengan semen.

Sumber: Austroads, *Guide to Pavement Technology Part 4D (Stabilised Materials)*

**Gambar 8.2. Amplop Gradasi Zona A**

8.2.2 Pelapisan minimum

Seperti diuraikan pada Lampiran L, Tabel 8.2. menunjukkan ketentuan pelapisan aspal minimum yang disarankan di atas lapisan yang distabilisasi dengan *foam bitumen*.

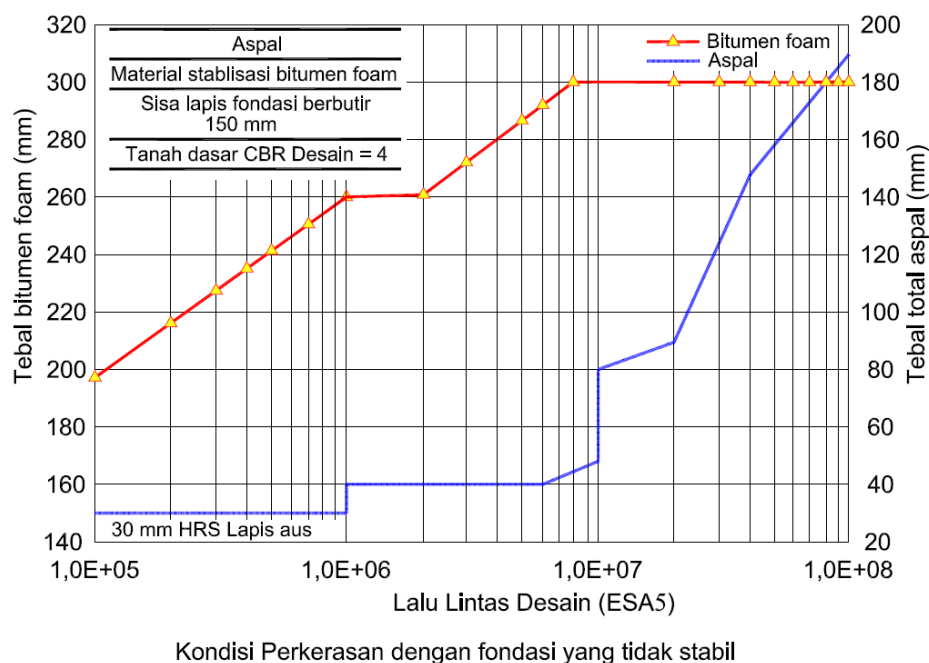
Tabel 8.2. Tebal Pelapisan Minimum di Atas Material yang Distabilisasi dengan *Foam Bitumen*

Beban Lalu lintas Rencana (juta – ESA5)	Pelapisan minimum
$ESA \geq 10$	100 mm terdiri atas: 40 mm AC-WC 60 mm AC-BC
$1 < ESA \leq 10$	40 mm AC-WC
$ESA \leq 1$	30 HRS WC atau pelaburan

8.2.3 Bagan desain tebal lapis fondasi stabilisasi *foam bitumen*

Metode desain secara mekanistik untuk mendesain perkerasan lentur baru dan ketentuan pelapisan minimum (Tabel 8.1 Bagian I: Struktur Perkerasan Baru) digunakan sebagai dasar pembuatan bagan desain). Bagan desain secara lengkap diberikan pada Lampiran L dan Lampiran M. Sebagai contoh, Gambar 8.3. adalah salah satu bagan desain tersebut.

Pada pembuatan bagan desain tersebut, ketebalan yang distabilisasi dengan *foam bitumen* dibatasi hingga maksimum 300 mm mengingat kemampuan pemadatan dan pencampuran di lapangan. Untuk perkerasan dengan kondisi fondasi yang tidak stabil, perlu ditambah CTRB.



Gambar 8.3. Contoh Bagan Desain Untuk Merancang Tebal Daur Ulang dengan Stabilisasi Foam Bitumen

8.2.4 Prosedur desain

Tabel 8.3. menunjukkan langkah-langkah desain stabilisasi *foam bitumen*.

Tabel 8.3. Prosedur Desain Stabilisasi dengan *Foam Bitumen*

Langkah	Kegiatan
1	Hitung desain lalu lintas dalam ESA5.
2	Menggunakan data catatan pembangunan dan pemeliharaan, <i>test pit</i> dan <i>core</i> , tentukan jenis lapisan material lapangan dan kualitas serta ketebalannya.
3	Tentukan CBR tanah dasar desain dalam pekerjaan tersebut berdasarkan data DCP lapangan atau CBR rendaman material yang diambil dari <i>test pit</i> .
4	Menggunakan data dari langkah-3, tentukan apakah material lapangan cocok untuk distabilisasi dengan <i>foam bitumen</i> .
5	Menggunakan data ketebalan lapisan, pilih kedalaman stabilisasi dan hitung ketebalan sisa material perkerasan di bawah lapisan yang distabilisasi. Untuk perkerasan dengan CBR desain tanah dasar kurang dari 5%, diperlukan material perkerasan sisa setebal minimum 100 mm di bawah <i>foam bitumen</i> .
6	Menggunakan bagan desain pada Lampiran L dan Lampiran M, tentukan ketebalan lapisan aspal yang diperlukan di atas material yang distabilisasi dengan <i>foam bitumen</i> .

8.3 Desain Rekonstruksi Dengan Lapis Fondasi Stabilisasi Semen

8.3.1 Material yang sesuai dengan stabilisasi semen

Stabilisasi semen pada material perkerasan umumnya dilaksanakan untuk mendaur ulang lapisan aspal eksisting dan material lapis fondasi agregat.

Dalam menilai kesesuaian material untuk distabilisasi, hendaknya nilai Indeks Plastisitas (IP) material tidak lebih dari 10, kecuali stabilisasi kapur yang dapat digunakan untuk material dengan nilai IP hingga 20, dengan mengacu pada Tabel 8.1.

Ukuran butir material daur ulang berada di dalam Zone A grafik distribusi ukuran butir yang ditunjukkan pada Tabel 8.2.

Bagan desain ketebalan digunakan untuk material stabilisasi dengan nilai kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength, UCS*) minimum 2 MPa pada umur 28 hari.

8.3.2 Tebal minimum lapis permukaan

Retak permukaan biasa terjadi apabila CTRB digunakan dengan penutup lapis aspal tipis, kecuali jika lapis fondasi tersebut berupa campuran dengan pengikat reaksi lambat (*slow setting binder blends*) yang terdiri dari kapur, *slag*, dan *fly ash*.

Disarankan tidak menggunakan semen *portland* reaksi cepat (*quick-setting Portland cement*) sebagai bahan CTRB karena dapat menyebabkan terjadinya keretakan dini apabila dilalui lalu lintas beban berat, yang mengakibatkan biaya pemeliharaan tinggi.

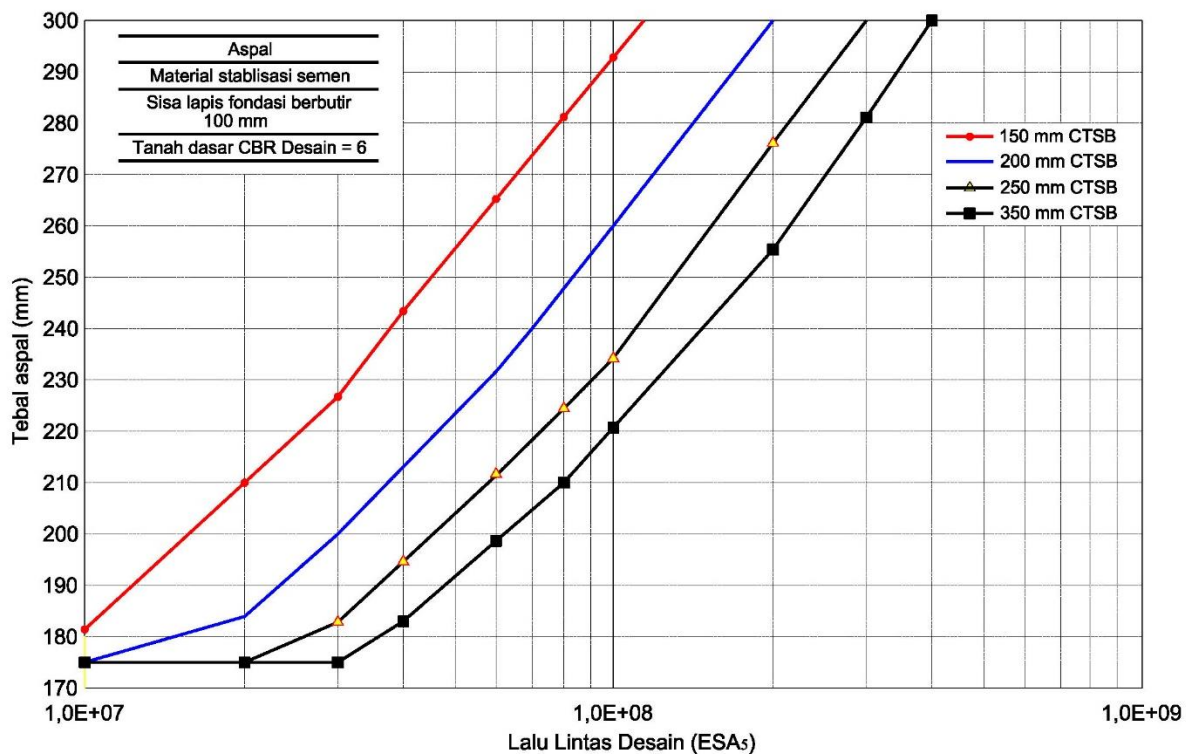
Disarankan pula agar lapisan permukaan beraspal di atas lapis stabilisasi semen CTRB (*Cement Treated Recycled Base*) dibatasi minimum 175 mm (Austroads Guide, 2008).

8.3.3 Desain tebal lapis fondasi stabilisasi semen

Metode desain perkerasan lentur secara mekanistik dan tebal lapis permukaan beraspal minimum 175 mm digunakan sebagai dasar membuat bagan desain ketebalan. Gambar 8.4. menunjukkan bagan desain untuk CBR desain 6%. Bagan desain untuk berbagai nilai CBR lainnya ditunjukkan pada Lampiran O.

Dalam pembuatan bagan desain tersebut, mengingat kemampuan pencampuran dan alat pemadatan di lapangan, ketebalan stabilisasi semen dibatasi maksimum 300 mm.

Untuk lapis fondasi stabilisasi semen, lalu lintas desain minimum adalah 10×10^6 ESA5. Apabila digunakan untuk lalu lintas rendah, biaya pekerjaan akan menjadi lebih mahal.



Gambar 8.4. Bagan Desain Ketebalan Cement Treated Recycled Base (CTRB)

8.3.4 Prosedur desain

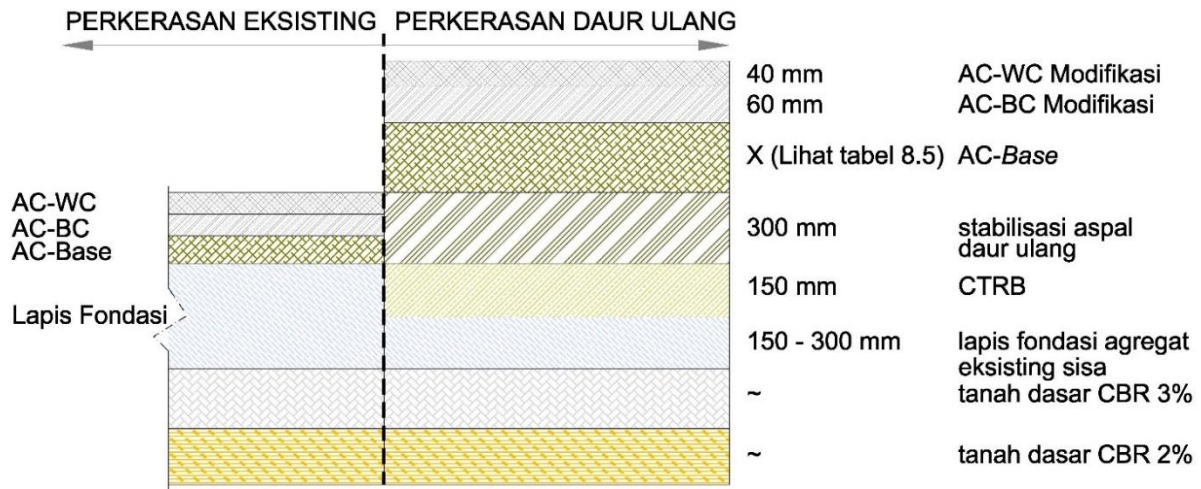
Tabel 8.4. menunjukkan langkah-langkah desain struktural stabilisasi semen.

Tabel 8.4. Prosedur Desain CTRB

Langkah	Kegiatan
1	Hitung beban lalu lintas desain dalam ESA5 sebagaimana diuraikan pada Bagian 1 - Bab 4.
2	Berdasarkan data riwayat penanganan, <i>test pit</i> dan <i>core</i> , tentukan jenis, kualitas dan tebal lapisan material eksisting.
3	Tentukan CBR desain tanah dasar berdasarkan DCP atau CBR rendaman material tanah dasar yang diambil dari <i>test pit</i> .
4	Dari data langkah-3, tentukan apakah material daur ulang sesuai untuk stabilisasi semen.
5	Berdasarkan data ketebalan eksisting, secara coba-coba (<i>trial and error</i>) pilih kedalaman stabilisasi dan hitung tebal sisa perkerasan di bawah lapisan yang distabilisasi. Untuk perkerasan dengan CBR desain tanah dasar kurang dari 5%, diperlukan sisa perkerasan eksisting minimum 100 mm.
6	Menggunakan bagan desain Lampiran O, tentukan ketebalan lapisan aspal yang diperlukan di atas material yang distabilisasi semen.

8.4 Kasus Khusus: Perkerasan Daur Ulang (*Recycling*) Pantura dan Jalintim

Jalan dengan beban lalu lintas sangat berat yang terletak di atas permukaan tanah atau timbunan rendah di atas tanah lunak seperti Pantura dan Jalintim, solusi yang disarankan adalah rehabilitasi atau daur ulang (*recycling*) perkerasan eksisting. Desain struktur yang disarankan adalah seperti pada Gambar 8.5. Tebal lapis AC Base ditentukan menggunakan Tabel 8.5.



Tipikal tanah asli di bawah perkerasan eksisting pada area timbunan rendah di atas tanah lunak – Untuk kondisi lainnya dibutuhkan desain mekanistik.

Gambar 8.5. Struktur Perkerasan Daur Ulang

Tabel 8.5. Tebal Lapis AC-Base

Beban Lalu lintas (juta ESA5)	Perkerasan eksisting 600 – 750 mm	Perkerasan eksisting > 750 mm
	AC - Base (mm)	
300	220	150
200	185	120
150	175	110
100	140	85
50	105	55
30	60	0

Asumsi desain kasus khusus ini adalah:

- Perkerasan beraspal eksisting dikupas dan disimpan sementara pada lokasi tertentu hingga memenuhi kebutuhan tebal desain lapisan *foam bitumen* (CMRFB).

Kemudian dilaksanakan pekerjaan lapis CTRB; setelah selesai dilanjutkan dengan pelaksanaan pekerjaan lapis CMRFB di atasnya.

- Tebal lapis CTRB adalah 150 mm dan lapis CMRFB 300 mm.
- Modulus lapis CTRB dan CMRFB yang digunakan masing-masing adalah 500 MPa dan 600 MPa (berdasarkan asumsi bahwa modulus awal yang tinggi akan menurun dengan cepat akibat beban berlebih dan kondisi iklim).
- Di bawah lapis CTRB yang dikupas umumnya terdapat lapis fondasi agregat eksisting dengan tebal bervariasi antara 150 mm sampai lebih dari 300 mm. Lapis ini mungkin terkontaminasi (*intermixing*) atau berkualitas rendah.
- CBR minimum yang diharapkan pada tanah dasar eksisting 3%, namun dimungkinkan tanah dengan CBR 2% terdapat di bawah tanah dasar.
- Tanah asli secara permanen atau musiman berada dalam keadaan jenuh, faktor penyesuaian tebal lapisan $m = 0,4$ harus diambil untuk pemeriksaan desain dengan metode AASHTO.
- Terdapat banyak variabel dalam kasus desain ini. Sulit untuk mengakomodasi semua variabel tersebut dengan menggunakan bagan desain, sehingga solusi desain rekonstruksi untuk lalu lintas berat harus ditentukan dengan Prosedur Desain Mekanistik yang diuraikan pada Bagian 1, metode Pd T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993.

8.5 Rekonstruksi Jalan Kerikil (*Regravelling*)

Regravelling dibutuhkan untuk memperkuat jalan kerikil (tanpa penutup aspal) atau sebagai bagian dari proses rekonstruksi jalan berpenutup aspal setelah pengupasan lapis penutup. Jika tebal penutup 100 mm atau lebih maka alternatif penanganan dengan *recycling* dapat lebih murah. Lapis fondasi agregat eksisting dipertahankan.

Analisis pengerikilan kembali membutuhkan *test pit*. Pada perkerasan eksisting akan ditemukan banyak variasi kondisi tebal lapisan, tipe material, dan daya dukung tanah dasar. *Test pit* bersifat merusak dan pelaksanaannya memerlukan banyak waktu dan tenaga, maka pada umumnya data tidak tersedia untuk melakukan analisis statistik secara penuh.

Daerah dengan kondisi terburuk mungkin membutuhkan *heavy patching* sampai kedalaman penuh dan/atau membutuhkan drainase bawah permukaan. Oleh karena itu, daerah yang ditangani dengan *heavy patching* harus diidentifikasi dengan kombinasi metode visual dan data lendutan. Penanganan rekonstruksi di luar daerah *heavy patching* harus didasarkan pada kondisi perkerasan eksisting terburuk.

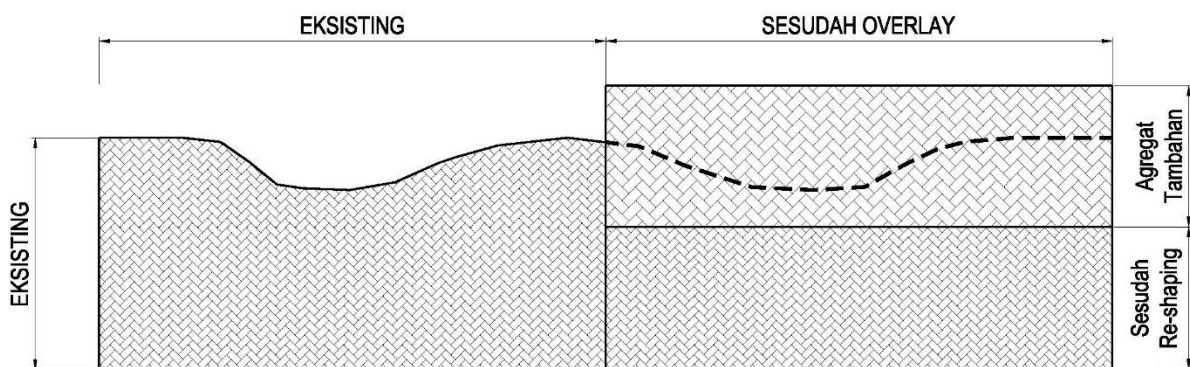
8.5.1 Perkerasan tanpa penutup aspal

Tebal *regravelling* ditentukan berdasarkan CBR karakteristik tanah dasar perkerasan eksisting, beban lalu lintas rencana (ESA4), tebal lapis fondasi agregat eksisting, dan daya dukung lapisan-lapisan tersebut. Tebal setiap lapisan harus memenuhi ketentuan Bagan Desain - 7 (Manual Bagian 1). Pertebal lapisan jika kurang dari yang disyaratkan pada Bagan Desain - 7 tersebut. Agregat yang digunakan harus memenuhi spesifikasi perkerasan tanpa penutup aspal dan mempunyai nilai CBR minimum 30%.

Sebelum agregat ditambahkan jalan eksisting harus dibentuk kembali. Hilangnya ketebalan akibat pembentukan kembali harus diperhitungkan dalam desain. Berdasarkan pertimbangan praktis tebal padat minimum untuk agregat baru adalah 70 mm.

Jika perkerasan eksisting berupa Telford atau lapisan yang tidak dapat dicampur dengan material baru, maka ketentuan tebal minimum pada Bagian 1 Tabel 8.1. harus diikuti.

Contoh: Lalu lintas 100.000 ESA4 untuk umur rencana 10 tahun, CBR tanah dasar minimum 3,5% pada daerah yang tidak memerlukan penambalan berat. Tebal lapis agregat eksisting setelah pembentukan kembali adalah 300 mm, tebal yang dibutuhkan berdasarkan Bagian 1 Bagan Desain - 7 adalah 420 mm, maka dibutuhkan agregat tambahan dengan tebal padat 120 mm.



Gambar 8.6. Overlay Perkerasan Tanpa Penutup Aspal

8.5.2 *Regravelling* perkerasan berpenutup aspal

Proses perencanaan *regravelling* untuk jalan dengan penutup aspal relatif sama dengan perkerasan tanpa penutup, kecuali bahwa bagian teratas dari lapisan berbutir adalah lapis fondasi agregat kelas A. Langkah pertama perencanaan adalah menentukan perkiraan tebal lapisan aspal.

8.6 Penanganan Lain yang Terkait dengan Rekonstruksi

Perbaikan lubang, penutupan retak, pengupasan permukaan dengan alur atau retak berat, perbaikan drainase permukaan dan bawah permukaan, dan penanganan lainnya yang dibutuhkan sebelum *overlay* atau penanganan lain yang sesuai. Penanganan khusus yang diuraikan berikut ini harus dilakukan.

8.6.1 Drainase

Drainase harus selalu dianggap sebagai bagian dari setiap desain rehabilitasi jalan. Survei pendahuluan harus mengidentifikasi daerah yang rusak akibat air. Di daerah pegunungan sering ditemukan kerusakan setempat akibat air yang harus direhabilitasi bersamaan dengan perbaikan drainase. Penanganan drainase diuraikan lebih rinci pada Manual Drainase.

8.6.2 Penambalan berat (*heavy patching*)

Daerah yang membutuhkan *heavy patching* harus didesain seperti perkerasan baru (Bagian 1 - Struktur Perkerasan Baru). *Heavy Patching* diperlukan pada lokasi yang perkerasan eksistingnya rusak atau yang struktur perkerasan dan fondasinya tidak memadai untuk didaur ulang atau direkonstruksi.

8.6.3 Tanah lunak

Penanganan tanah lunak diuraikan pada Bagian 1, Bab 6. Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah dengan CBR lapangan kurang dari 2,5%. Tanpa penanganan khusus tanah lunak tidak mampu mendukung pemadatan lapisan di atasnya. Pada umumnya tanah lunak adalah tanah lempung kelanauan aluvial, atau *marine clay* yang terkonsolidasi normal atau sebagian, dan dalam kondisi jenuh.

Perkerasan di lokasi tanah lunak umumnya menunjukkan ketidakstabilan yang harus diperbaiki dengan peninggian (*raising*), rekonstruksi, atau penanganan lainnya. Peninggian dilakukan pada jalan antar kota yang penetapan elevasi akhir permukaan tidak banyak kendala.

Di daerah permukiman, perkotaan, koridor daerah berkembang lainnya, atau pada pelebaran, terdapat batasan elevasi akhir permukaan perkerasan sehingga dibutuhkan solusi yang berbeda.

Jika diperlukan rekonstruksi total maka ketentuan pada Bagian 1 Struktur Perkerasan Baru harus digunakan. Lapis penopang harus sesuai persyaratan antara lain: pada tempat-tempat di bawah air gunakan material batu atau sirtu; batu, sirtu atau material berbutir dengan plastisitas rendah yang mudah dipadatkan atau material timbunan berbutir pada tempat-tempat di atas muka air. Lapisan geotekstil harus digunakan jika tanah asli dalam kondisi jenuh atau berpotensi menjadi jenuh, untuk memisahkan tanah asli dengan lapis penopang guna mengurangi *pumping* butiran halus.

Tebal lapisan tanah lunak ditentukan dengan pengujian DCP dengan batang yang diperpanjang sampai kedalaman 3 meter. Pengujian dilakukan dengan jarak antara titik tidak lebih dari 20 m.

Penanganan khusus seperti *micro pile* atau cakar ayam harus dipertimbangkan pada lokasi perkerasan kaku di atas tanah dengan daya dukung rendah (CBR kurang dari 2.5%) hingga kedalaman lebih dari 2 meter, atau pada lokasi yang pelat betonnya mengalami retak blok. Perkerasan kaku baru di atas tanah lunak harus diberi penulangan. Perkerasan lentur di atas tanah lunak dengan kedalaman lebih dari 2 meter, gunakan *micro pile* dengan *poer* atau rangkaian tiang dolken yang diikat.

Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan untuk desain peninggian permukaan (*raising*) pada tanah lunak, adalah sebagai berikut:

- a) Tinggi timbunan antara 2 – 2,5 meter;
- b) Ketentuan mengenai elevasi permukaan tanah dasar dan desain fondasi yang diuraikan pada Bab 5 dan 6 Bagian 1 - Struktur Perkerasan Baru harus dipenuhi.

Pada timbunan untuk pelebaran, kecepatan penurunan (*settlement*) dan stabilitas timbunan harus dipertimbangkan, terutama untuk tinggi timbunan lebih dari 2 meter. Pra-pembebanan (*pre-loading*) dilakukan untuk mempercepat penurunan dan membatasi pergerakan tidak seragam antara timbunan eksisting dan timbunan pelebaran. *Micro pile*, *deep soil mixing* atau penanganan lainnya dibutuhkan untuk mengurangi penurunan pada opit jembatan, dapat dipertimbangkan jika pra-pembebanan yang memadai tidak dimungkinkan. Perencana harus mendapatkan masukan dari ahli geoteknik.

Kemiringan timbunan dengan tinggi lebih dari 2 m tidak boleh kurang dari 1V:3H, kecuali bila tersedia bordes atau dinding penahan tanah. Jika disediakan bordes, penanganan minimum harus seperti diuraikan dalam Pt T-10-2002-B, Timbunan Jalan di atas Tanah Lunak - Panduan Geoteknik 4 (Desain dan Konstruksi). Jika tinggi timbunan kurang dari 2 meter maka kemiringan 1V:2H dapat diterima atas persetujuan Direksi Pekerjaan. Penggunaan dinding

atau penahan pada kaki timbunan harus dihindari. Jika penahan pada kaki timbunan digunakan maka stabilitasnya harus diperiksa dan, jika diperlukan, tiang pancang atau penanganan lainnya harus digunakan.

Jika tinggi timbunan lebih dari 3 meter, analisis stabilitas lereng harus dilakukan oleh tenaga ahli geoteknik; bordes atau penanganan lainnya harus disediakan.

8.6.4 Tanah gambut

Penanganan perkerasan pada tanah gambut harus mendapatkan masukan teknis dari tenaga ahli geoteknik dan memperhatikan hal-hal berikut:

- Pelebaran perkerasan eksisting harus diberi pra-pembebanan;
- Drainase melintang harus senantiasa dipelihara dan umumnya disediakan dengan jarak tidak lebih dari 200 m.
- Lereng timbunan tidak boleh lebih curam dari 1:3.
- Drainase samping harus sekurang-kurangnya berjarak 3 m dari kaki timbunan.
- Timbunan dengan tinggi lebih dari 3 m harus dibuat bertangga dan dilaksanakan secara bertahap untuk memberikan waktu konsolidasi primer sebelum tahap kedua dimulai.
- Timbunan dengan tinggi lebih dari 2,5 m di atas tanah lunak atau gambut, yang terletak cukup dekat dengan jembatan sehingga dapat menyebabkan pergerakan lateral pada abutment atau fondasi jembatan perlu diberi tiang pancang (piling). Untuk itu, penyelidikan geoteknik harus dilakukan untuk mendesain tiang pancang tersebut. Apabila pemancangan ternyata diperlukan, pemancangan harus diperluas hingga minimum jarak dari abutment sama dengan dua kali ketinggian timbunan. Dalam arah lebar, pemancangan harus dilakukan dari tumit ke tumit timbunan.
- Pemasangan geogrid di antara tanah dasar dan lapis fondasi bawah harus dipertimbangkan. Geotekstil harus digunakan pada perbatasan antara permukaan tanah asli dan pelebaran.

8.6.5 Tanah ekspansif

Desain perkerasan pada tanah ekspansi harus merujuk pada Bagian 1 Bab 6. Pertimbangan yang terpenting adalah untuk membatasi perubahan kadar air pada tanah ekspansif, yang dapat dilakukan antara lain dengan:

- a) Membuat bahu jalan berpenutup (*sealed shoulder*).
- b) Menyediakan drainase permukaan dan drainase bawah permukaan yang baik, termasuk melapis semua drainase permukaan dan memastikan kelandaian minimum sebesar 0,5% sesuai dengan persyaratan kelandaian minimum jalan. Elevasi pembuangan drainase bawah permukaan harus di atas muka air banjir dan di atas muka air sistem drainase.
- c) Tebal lapis penopang minimum memenuhi ketentuan pada Bagian 1, Struktur Perkerasan Baru.
- d) Mempertimbangkan penggunaan geotekstil, *geogrid* atau bronjong untuk memberikan dukungan lateral.

9 MASALAH PELAKSANAAN DAN KINERJA PERKERASAN

9.1 Penyiapan Perkerasan Eksisting Sebelum *Overlay*

Penyiapan perkerasan sebelum *overlay* adalah tahapan pekerjaan yang sangat penting. Semua pekerjaan persiapan seperti penanganan lubang, penambalan berat, penutupan retak yang lebar (*sealing*), pengupasan (*milling*) alur dan daerah retak berat, dan penanganan tepi perkerasan yang rusak harus diselesaikan dan diterima oleh Direksi Pekerjaan sebelum pekerjaan *overlay* dimulai.

9.2 Ketebalan Lapis Perkerasan

Ketebalan minimum lapis perkerasan harus mengikuti ketentuan pada Bagian 1 (Struktur Perkerasan Baru) Tabel 8.1. Tebal minimum lapis fondasi yang distabilisasi dengan *foam bitumen* dan CTRB adalah 150 mm.

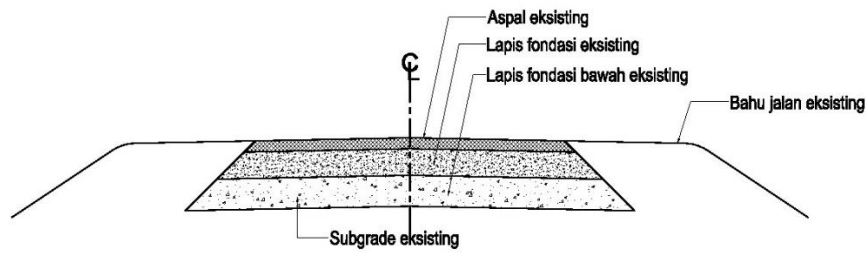
Ketentuan mengenai Daya Dukung Tepi Perkerasan, Konstruksi perkerasan dengan galian segi empat (*box construction*); pengaruh musim hujan, pelaksanaan dengan lalu lintas tetap melintas, dan lokasi sambungan harus mengikuti ketentuan pada Bagian 1 Bab 8.

9.3 Urutan Pelaksanaan Untuk Daur Ulang

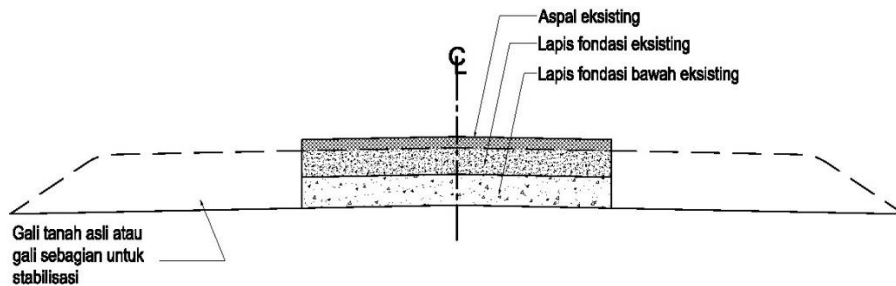
Jika dalam pekerjaan daur ulang diperlukan pelebaran atau pembentukan kembali perkerasan eksisting, urutan pelaksanaan harus diuraikan dengan jelas pada Gambar 9.1 menggambarkan urutan pekerjaan pelebaran pada pekerjaan daur ulang. Metode dan prosedur pengaturan lalu lintas harus direncanakan dengan baik dan ditentukan sebelum pelaksanaan pekerjaan. Ketentuan-ketentuan yang berkaitan dengan penutupan lajur lalu lintas harus diperhatikan.

9.4 Pelaksanaan Konstruksi dengan Lalu Lintas Tetap Melintas

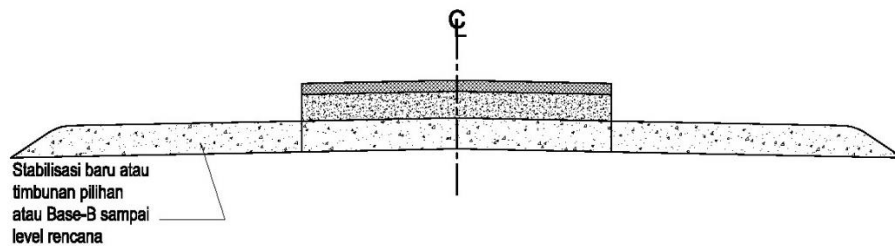
Desain yang harus dilaksanakan dengan lalu lintas tetap dapat melintas (seperti pada pekerjaan pelebaran) harus mempertimbangkan kedalaman penggalian praktis dan keselamatan pelaksanaan. Kondisi tersebut mungkin akan membatasi jenis perkerasan yang bisa digunakan.



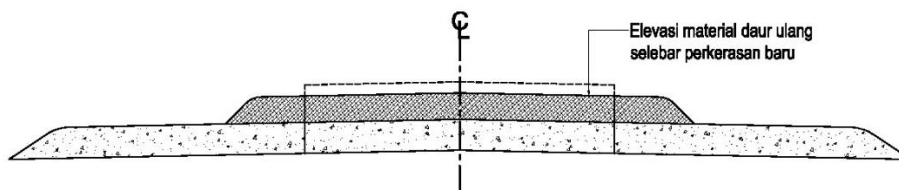
Perkerasan lama (perkerasan yang ada)



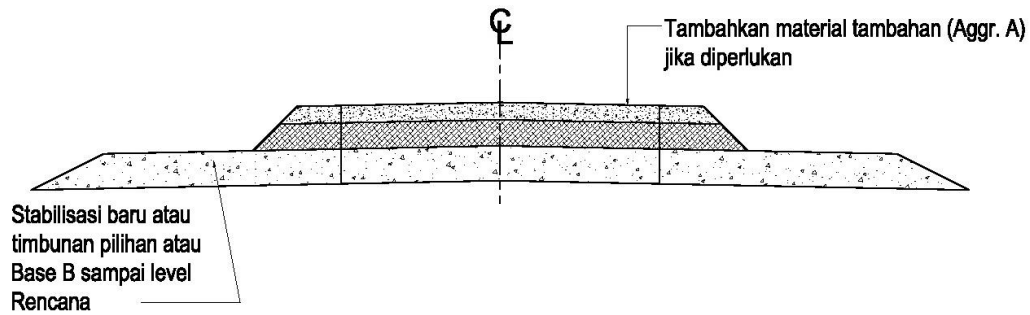
Langkah 1 : Lakukan pekerjaan galian tanah untuk keperluan pelebaran jalan sampai permukaan tanah dasar yang lama atau yang telah distabilisasi.



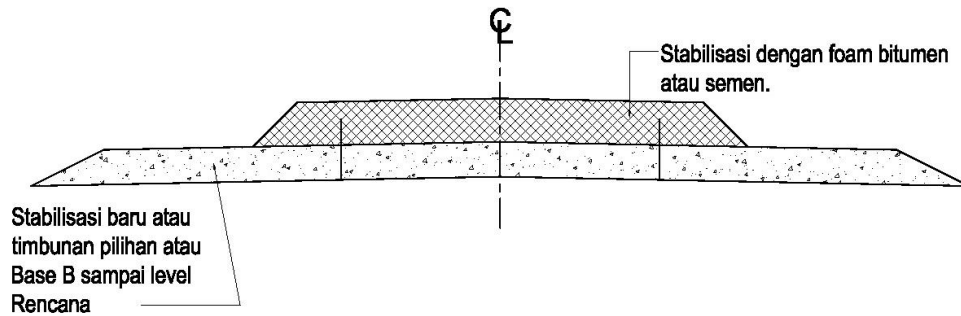
Langkah 2 : Lakukan pekerjaan stabilisasi atau sediakan/hamparkan material urugan pilihan atau material Pondasi Bawah kelas B pada lokasi pelebaran (agar kekuatan dan permeabilitas pondasi bawah yang baru \geq pondasi bawah yang lama).



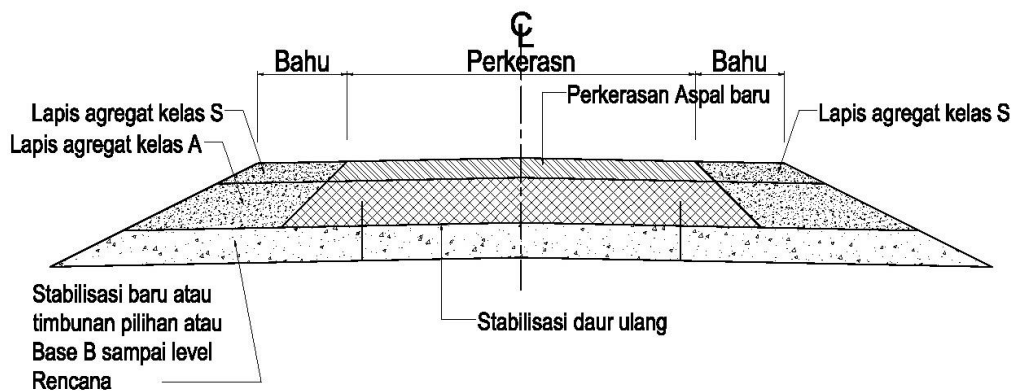
Langkah 3 : Lakukan pekerjaan penggarukan dan pencampuran lapis permukaan aspal dan lapis pondasi atas, dilanjutkan pencampuran dengan tambahan agregate baru (jika diperlukan). Kemudian dihamparkan dan dipadatkan sesuai dengan lebar perkerasan baru yang dikehendaki.



Langkah 4 : Penambahan material / Base A (jika diperlukan)



Langkah 5 : Foam bitumen atau semen



Langkah 6 : Aspal dan bahu penutup dengan lapisan

Gambar 9.1. Urutan Pelaksanaan Daur Ulang dengan Pelebaran

9.5 Resiko Solusi Desain Menggunakan Aspal Modifikasi

Desain untuk lalu lintas $>10 \times 10^6$ ESA5 membutuhkan aspal modifikasi untuk lapis permukaannya. Penggunaan aspal modifikasi dapat memperpanjang umur *fatigue* dengan *overlay* aspal tipis dengan biaya yang lebih efektif (lihat butir 0 dan 6.5.6).

Sebelum solusi ini dilaksanakan, penyedia jasa harus menyediakan sumber daya yang memadai.

Berbagai jenis aspal modifikasi banyak tersedia, namun demikian, fasilitas untuk pengangkutan, penyimpanan dan produksi campuran dengan aspal modifikasi di lapangan umumnya masih kurang. Selain itu, pengalaman dalam produksi dan penggunaan jenis aspal modifikasi yang paling menguntungkan, seperti aspal modifikasi SBS (*Styrene Butadiene Styrene*), sangat kurang dan masih harus dikembangkan.

10 CONTOH PENGGUNAAN

10.1 Contoh Desain Lapis Tambah (*Overlay Design*)

Segmen jalan direncanakan melayani 10.000.000 ESA4 atau 20.000.000 ESA5 untuk umur rencana *overlay* 15 tahun. Kerataan permukaan (IRI) saat ini = 7 m/km. Pengujian lendutan dengan alat FWD dilakukan pada bulan November (musim hujan). Tentukan tebal *overlay* perkerasan berdasarkan data lendutan dan data lainnya seperti ditunjukkan pada data berikut:

Tabel 10.1. Data Lendutan (FWD)*

StationID	Station	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)	Temp. Aspal (°C)	Tebal Aspal (<i>existing</i>) (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	20+000	39.71	738.80	578.40	44	140
2	20+200	38.72	414.60	307.50	44	140
3	20+400	39.22	571.60	410.80	44	140
4	20+600	39.00	669.30	482.50	44	140
5	20+800	39.94	716.90	549.70	44	140
6	21+000	39.29	347.60	242.50	44	140
7	21+200	39.97	788.10	568.40	44	140
8	21+400	39.39	729.30	453.90	44	140
9	21+600	39.82	434.30	272.00	44	140
10	21+800	38.84	694.90	526.50	44	140
11	22+000	39.46	650.00	488.60	44	140
12	22+200	39.00	895.00	595.30	44	140
13	22+400	39.83	468.30	296.70	44	140
14	22+600	38.58	870.00	678.30	44	140
15	22+800	39.92	527.00	348.00	44	140
16	23+000	39.29	428.10	271.90	44	140
17	23+200	40.04	311.9	213	44	140
18	23+400	39.04	692.6	521	44	140
19	23+600	39.76	459.2	268	44	140
20	23+800	39.41	397.1	231	44	140
21	24+000	39.23	367.5	258	44	140
22	24+200	39.23	688.0	502	44	140
23	24+400	39.48	697.1	544	44	140
24	24+600	39.36	290.7	202	44	140
25	24+800	40.04	518.3	377	44	140
26	25+000	39.44	764.6	549	44	140
27	25+200	38.74	439.1	272	44	140
28	25+400	39.61	683.6	523	44	140
29	25+600	39.41	663.0	492	44	140
30	25+800	38.72	889.0	702	44	140

Berikut adalah garis besar langkah penyelesaian (ihat data di atas dan tabel rincian analisis lendutan untuk detail perhitungan).

Langkah – 1:

Karena pengujian lendutan dilakukan pada musim penghujan maka tidak diperlukan faktor koreksi musim. Selanjutnya, walaupun alat (FWD) telah diset untuk beban normal 40 kN, tetapi di dalam pelaksanaan pada umumnya selalu terjadi penyimpangan nilai beban sebenarnya yang tercatat. Oleh sebab itu, sebagai langkah pertama, lendutan yang tercatat harus dinormalkan nilai lendutan ke beban standar 40 kN.

Lendutan yang telah dinormalkan $= \frac{40}{\text{Beban Tercatat}} \times \text{lendutan}$; dihitung sebagai hasil penormalan dinyatakan pada kolom 8 dan 9.

Langkah – 2:

Hitung $D_0 - D_{200}$ pada kolom-10: $(10) = (8) - (9)$.

Langkah –3:

- Hitung rasio WAMPT dan Temperatur aspal saat pengukuran (kolom-11).
- Dengan WAMPT 41°C, rasio WAMPT dan $T_{\text{aspal}} = 41 / (6)$.
- Nilai yang diperoleh (kolom-12 untuk D_0 ; kolom 13 untuk $D_0 - D_{200}$) digunakan untuk mendapatkan faktor koreksi temperatur lendutan D_0 (lihat Tabel 6.2) (kolom 12) dan koreksi temperatur untuk $D_0 - D_{200}$ (kolom 13) (lihat Tabel 6.3).
- Lendutan D_0 dan $D_0 - D_{200}$ yang telah dikoreksi dinyatakan di dalam kolom $(14) = (12) \times (8)$ dan kolom $(15) = (13) \times (10)$.

Langkah –4:

Konversikan nilai D_0 FWD (kolom-14) menjadi D_0 BB dengan menggunakan faktor penyesuaian lendutan dari Tabel 6.7 (dinyatakan sebagai kolom-16)

Langkah – 5:

Dari kolom-16, hitung lendutan maksimum D_0 rata-rata, Deviasi Standar dan Koefisien Variasi. Berdasarkan nilai yang diperoleh tentukan nilai D_0 yang mewakili (*representative maximum deflection*) dan periksa apakah segment yang bersangkutan cukup seragam (Koefisien Variasi ≤ 0.30).

Dari Rincian Analisis (Tabel 10.2) diperoleh:

- D_0 rata-rata = 775 (μm);
- Deviasi Standar = 229 (μm);
- Koefisien Variasi $\approx 30\%$; \rightarrow segmen cukup seragam.
- $D_{0\text{wakil}} = D_{0\text{rata-rata}} + f \times \text{Dev. Std.}$
- Untuk 95% keterwakilan, $f = 1.645 \rightarrow D_{0\text{wakil}} = 775 + 1.645 \times 229 = 1152 \mu\text{m} \approx 1,15 \text{ mm}$.

Langkah – 6:

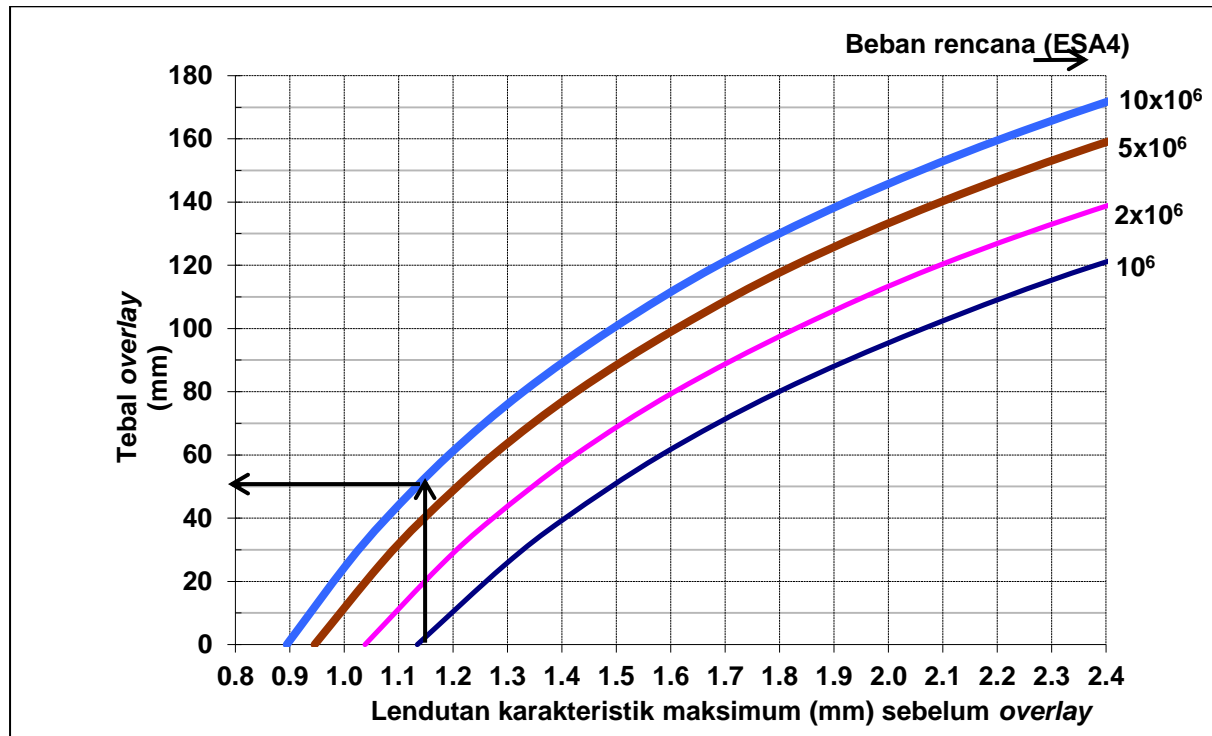
Dari kolom-15, hitung rata-rata ($D_0 - D_{200}$). Nilai yang diperoleh adalah Lengkung-lendutan yang-mewakili (*representative curvature function*).

Dari data di atas Lengkung-lendutan wakil = $188 \mu\text{m} \approx 0.19 \text{ mm}$.

Langkah – 7:

Tentukan tebal *overlay* berdasarkan lendutan maksimum (Gambar 10.1);

Lendutan karakteristik 1,15 mm → diperlukan tebal overlay 50 mm.



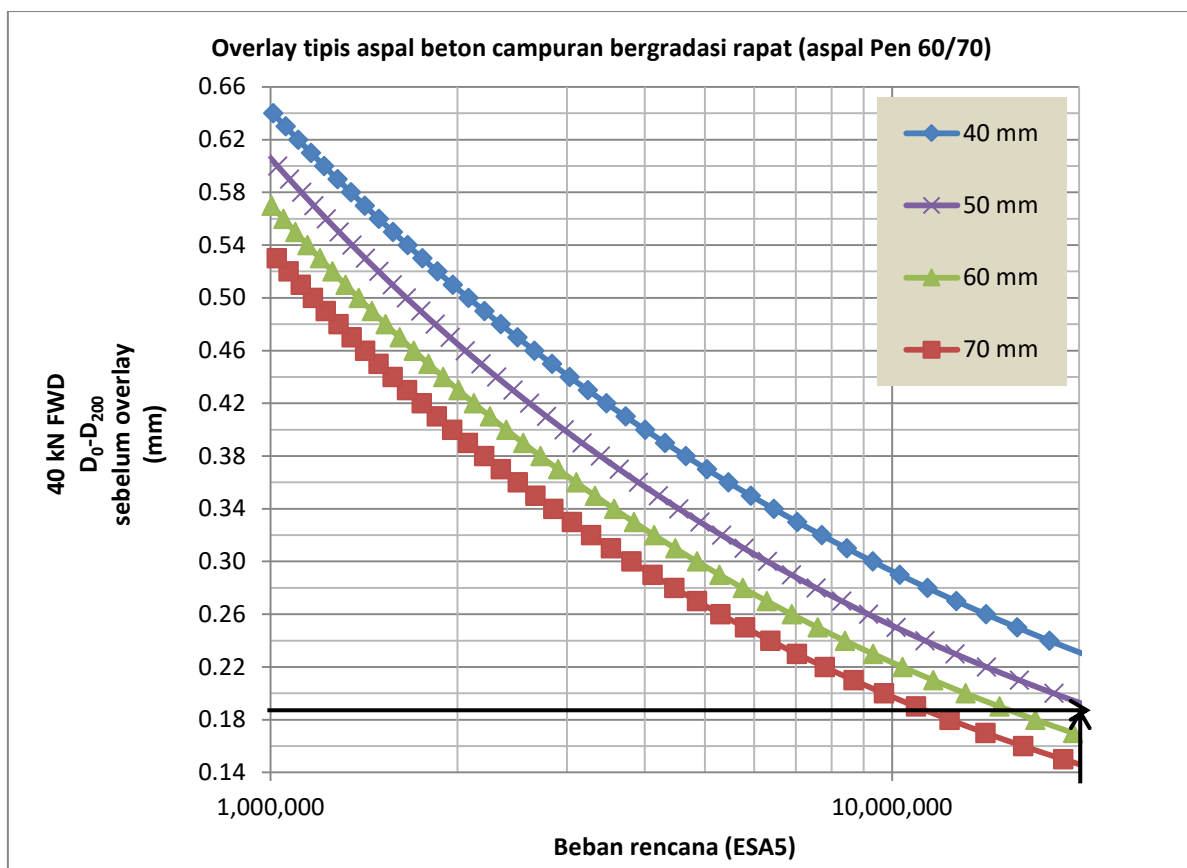
Gambar 10.1. Penentuan Tebal Overlay Berdasarkan D_0

Langkah – 8:

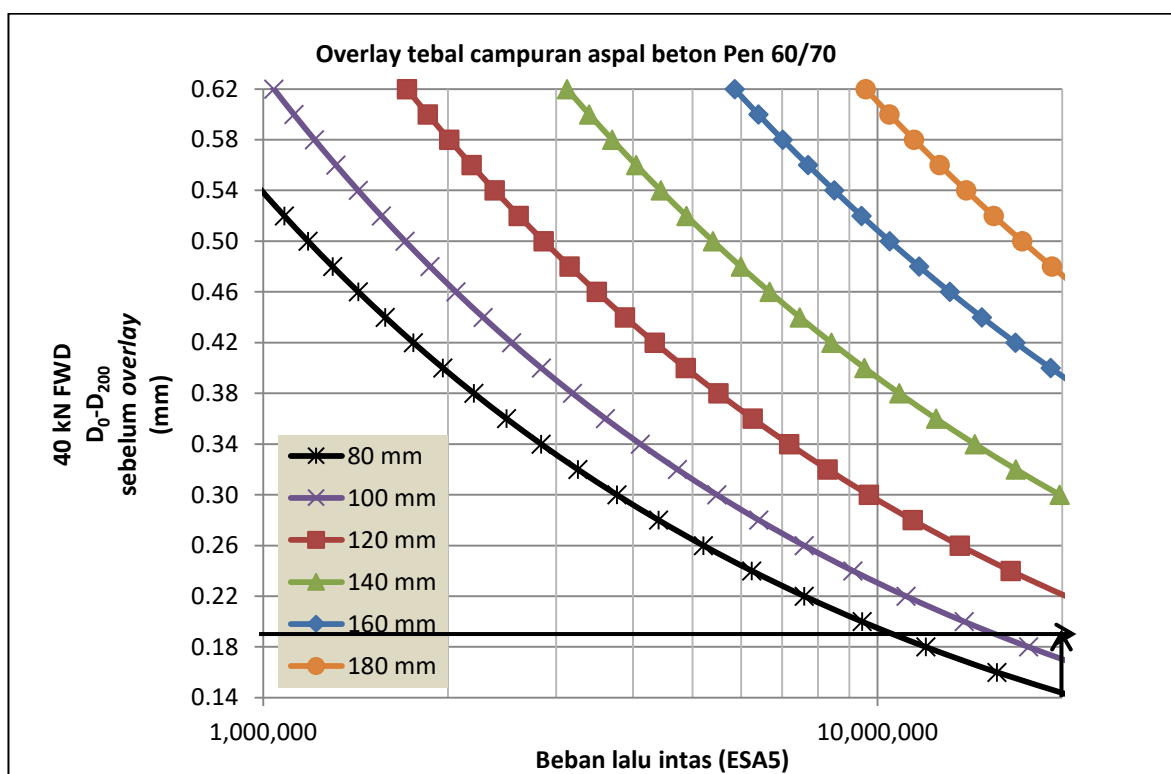
Periksa kriteria retak *fatigue*; Dari perhitungan di atas diperoleh $(D_0 - D_{200})_{\text{wakil}} = 0.19 \rightarrow$ tebal *overlay* untuk mengatasi retak lelah untuk *overlay* tipis: $\leq 50 \text{ mm}$ (Gambar 10.2) atau, dengan *overlay* tebal: $\geq 110 \text{ mm}$ (Gambar 10.3).

Langkah – 9:

Dari Tabel 6.1 diperlukan *overlay* minimum 55 mm untuk menurunkan IRI dari 7m/km menjadi 3 m/km.



Gambar 10.2. Penetapan Tebal Overlay (tipis)



Gambar 10.3. Penetapan Tebal Overlay (tebal)

Kesimpulan:

- (i) Diperlukan overlay minimum 55 mm untuk menurunkan IRI menjadi 3 m/km.
- (ii) Tebal overlay 50 mm memenuhi kriteria tebal berdasarkan lendutan maksimum D_0 dan lengkung lendutan (untuk retak *fatigue*) dengan *overlay* tipis tetapi, dari butir (i) di atas, tebal tersebut tidak memenuhi ketebalan maksimum untuk menurunkan IRI.
- (iii) Opsi *overlay* tebal 110 mm memenuhi kedua kriteria struktural (deformasi permanen dan retak lelah) dan kebutuhan tebal minimum untuk menurunkan IRI. Pilih tebal overlay minimum 110 mm.

Selesai

Tabel 10.2. Rincian Analisis Lendutan

Station ID	Station	Force	D ₀	D ₂₀₀	Temp. Aspal	Tebal Aspal (mm)	D ₀ normal	D ₂₀₀ Normal	D ₀ -D ₂₀₀	AMPT / T _{lap}	D ₀ Faktor Koreksi Temp.	D ₀ -D ₂₀₀ Faktor Koreksi Temp.	D ₀ terkoreksi temp.	D ₀ -D ₂₀₀ terkoreksi temp.	D ₀ Penyesuaian ke BB
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
							{40/(3)} x (4)	{40/(3)} x (5)	(8) - (9)	41/(6)	(Tabel 6-2)	(Tabel 6-3)	(12) x (8)	(13) x (10)	(Faktor Tabel 6-7) x (14)
1	20.00	39.71	739	578	38	150	744	583	162	1.08	1.03	1.07	767	173	958
2	20.20	38.72	415	308	38	150	428	318	111	1.08	1.03	1.07	441	118	551
3	20.40	39.22	572	411	38	150	583	419	164	1.08	1.03	1.07	600	175	751
4	20.60	39.00	669	483	38	150	686	495	192	1.08	1.03	1.07	707	205	884
5	20.80	39.94	717	550	38	150	718	551	167	1.08	1.03	1.07	740	179	924
6	21.00	39.29	348	243	38	150	354	247	107	1.08	1.03	1.07	364	114	456
7	21.20	39.97	788	568	38	150	789	569	220	1.08	1.03	1.07	812	235	1015
8	21.40	39.39	729	454	38	150	741	461	280	1.08	1.03	1.07	763	299	954
9	21.60	39.82	434	272	38	150	436	273	163	1.08	1.03	1.07	449	174	562
10	21.80	38.84	695	527	38	150	716	542	173	1.08	1.03	1.07	737	186	921
11	22.00	39.46	650	489	38	150	659	495	164	1.08	1.03	1.07	679	175	848
12	22.20	39.00	895	595	38	150	918	611	307	1.08	1.03	1.07	945	329	1182
13	22.40	39.83	468	297	38	150	470	298	172	1.08	1.03	1.07	484	184	606
14	22.60	38.58	870	678	38	150	902	703	199	1.08	1.03	1.07	929	213	1161
15	22.80	39.92	527	348	38	150	528	349	179	1.08	1.03	1.07	544	192	680
16	23.00	39.29	428	272	38	150	436	277	159	1.08	1.03	1.07	449	170	561
17	23.20	40.04	312	213	38	150	312	213	99	1.08	1.03	1.07	321	105	401
18	23.40	39.04	693	521	38	150	710	534	176	1.08	1.03	1.07	731	188	914
19	23.60	39.76	459	268	38	150	462	269	193	1.08	1.03	1.07	476	206	595
20	23.80	39.41	397	231	38	150	403	235	168	1.08	1.03	1.07	415	180	519
21	24.00	39.23	368	258	38	150	375	263	111	1.08	1.03	1.07	386	119	482
22	24.20	39.23	688	502	38	150	702	512	190	1.08	1.03	1.07	723	203	903
23	24.40	39.48	697	544	38	150	706	551	155	1.08	1.03	1.07	727	166	909
24	24.60	39.36	291	202	38	150	295	206	90	1.08	1.03	1.07	304	96	380
25	24.80	40.04	518	377	38	150	518	377	141	1.08	1.03	1.07	533	151	667
26	25.00	39.44	765	549	38	150	775	557	218	1.08	1.03	1.07	799	234	998
28	25.40	39.61	684	523	38	150	690	528	162	1.08	1.03	1.07	711	174	889
29	25.60	39.41	829	615	38	150	841	624	217	1.08	1.03	1.07	866	233	1083
30	26.00	39.20	678	422	38	150	691	431	260	1.08	1.03	1.07	712	279	890
													Rata-rata	188	781
													Std. Dev.		231
													Koef. Variasi		30%
													Lendutan Karakteristik		1151

10.2 Contoh Desain Rehabilitasi dengan Pengupasan dan Pelapisan Kembali (*mill and inlay*)

Contoh desain di bawah ini menjelaskan metode perhitungan penentuan tebal pengupasan dan pelapisan kembali (*mill and inlay*) yang diuraikan pada Bab 7. Ketebalan rencana pengupasan dan pelapisan kembali ditetapkan berdasarkan ketebalan terbesar antara tebal pengupasan untuk mencegah deformasi permanen dan tebal pengupasan untuk mencegah retak *fatigue*.

Contoh:

Hasil perhitungan tebal desain *overlay* tanpa *milling* dan *inlay* pada suatu segmen jalan menunjukkan bahwa:

- untuk mencegah deformasi permanen (*OLAYdef*) diperlukan *overlay* 50 mm;
- untuk mencegah *fatigue* (*OLAYfat*) diperlukan 100 mm.

Pada segmen tersebut, secara keseluruhan, *overlay* 50 mm dapat mengatasi *fatigue* pada 80 % area, sedangkan pada 20 % sisanya diperlukan *overlay* 100 mm. Dengan demikian opsi pertama adalah melapis seluruh luas segmen dengan 100 mm.

Opsi kedua: Efektifitas penanganan ditingkatkan dengan menerapkan penguatan setempat-setempat pada area yang memerlukan *overlay* 100 mm dengan cara pengupasan dan pelapisan ulang yang kemudian diikuti dengan *overlay* 50 mm pada keseluruhan segmen.

Input perencanaan untuk memperkuat 20% area tersebut adalah sebagai berikut:

- perkerasan eksisting terdiri atas 120 mm aspal dan 300 mm material berbutir;
- tebal *overlay* tanpa pengupasan 50 mm untuk mencegah deformasi permanen (*OLAYdef*) dan 100 mm untuk mencegah retak *fatigue* (*OLAYfat*)

Penyelesaian:

1. Ketebalan untuk mencegah deformasi permanen

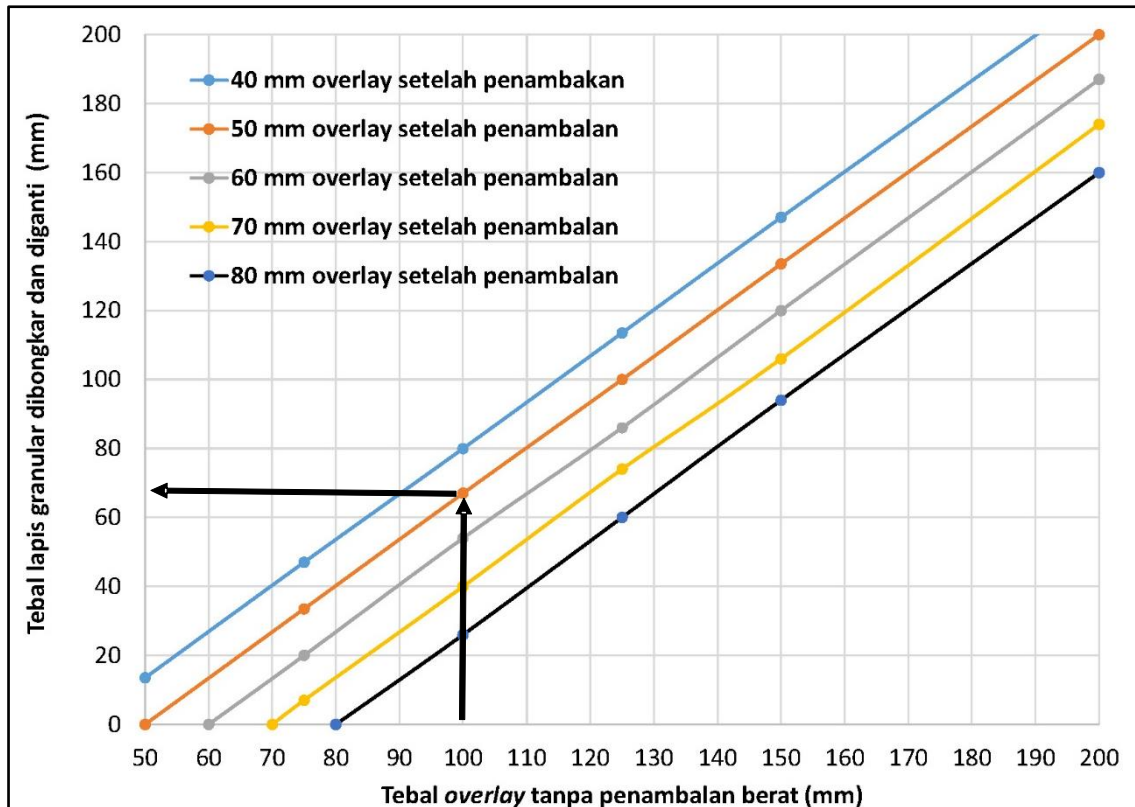
Langkah pertama adalah menentukan kedalaman pengupasan untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen.

Karena tebal *overlay* yang diperlukan sama dengan tebal *OLAYdef*, maka tidak diperlukan pengupasan dan pelapisan untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen.

2. Ketebalan untuk mencegah *fatigue*

Seperti diuraikan di atas, ketebalan *overlay* untuk mencegah *fatigue* tanpa pengupasan adalah 100 mm yang meliputi 20% dari total area segmen.

Ditunjukkan pada Gambar 10.5 bahwa untuk tebal *overlay* rencana 50 mm, lapis fondasi agregat eksisting harus dikupas sedalam 70 mm. Karena tebal aspal eksisting adalah 120 mm, diperlukan pengupasan dan pelapisan kembali setebal 190 mm (i.e. 120 mm aspal eksisting + 70 mm eksisting lapis fondasi agregat).



Gambar 10.4. Penentuan Tebal Pengupasan LFA

Penanganan yang disarankan:

Ketebalan pengupasan adalah yang terbesar di antara ketebalan pengupasan untuk mencegah deformasi permanen (0 mm) dan untuk mencegah *fatigue* dengan tebal overlay 50 mm (190 mm).

Kesimpulan:

Opsi penanganan kedua yang perlu dipertimbangkan:

Pada tempat-tempat yang 50 mm overlay tidak mencukupi untuk mencegah *fatigue* (total: 20% luas segemen):

- lakukan perkuatan dengan mengupas 120 mm aspal dan 70 mm lapis fondasi agregat eksisting;
- tambal kembali kupasan tersebut dengan 190 mm aspal dalam dua lapisan.
- lakukan overlay 50 mm pada keseluruhan segmen setelah langkah ii.

Bandingkan kedua opsi tersebut di atas dengan mempertimbangkan aspek biaya dan pelaksanaan.

Selesai

10.3 Contoh Desain Rekonstruksi dengan Daur Ulang

Survei kondisi suatu segmen jalan menunjukkan bahwa segmen tersebut dalam keadaan rusak ($PCI < 50$) dengan retak buaya yang meluas. Setempat-setempat terdapat gejala kerusakan sedang pada lapis fondasi. Namun demikian tidak ada indikasi kerusakan tanah dasar. Dipertimbangkan untuk menggunakan rekonstruksi dengan lapis fondasi daur ulang dengan semen (CTRB atau CTSB).

Test pit dan DCP serta analisis lalu lintas menghasilkan data masukan sebagai berikut:

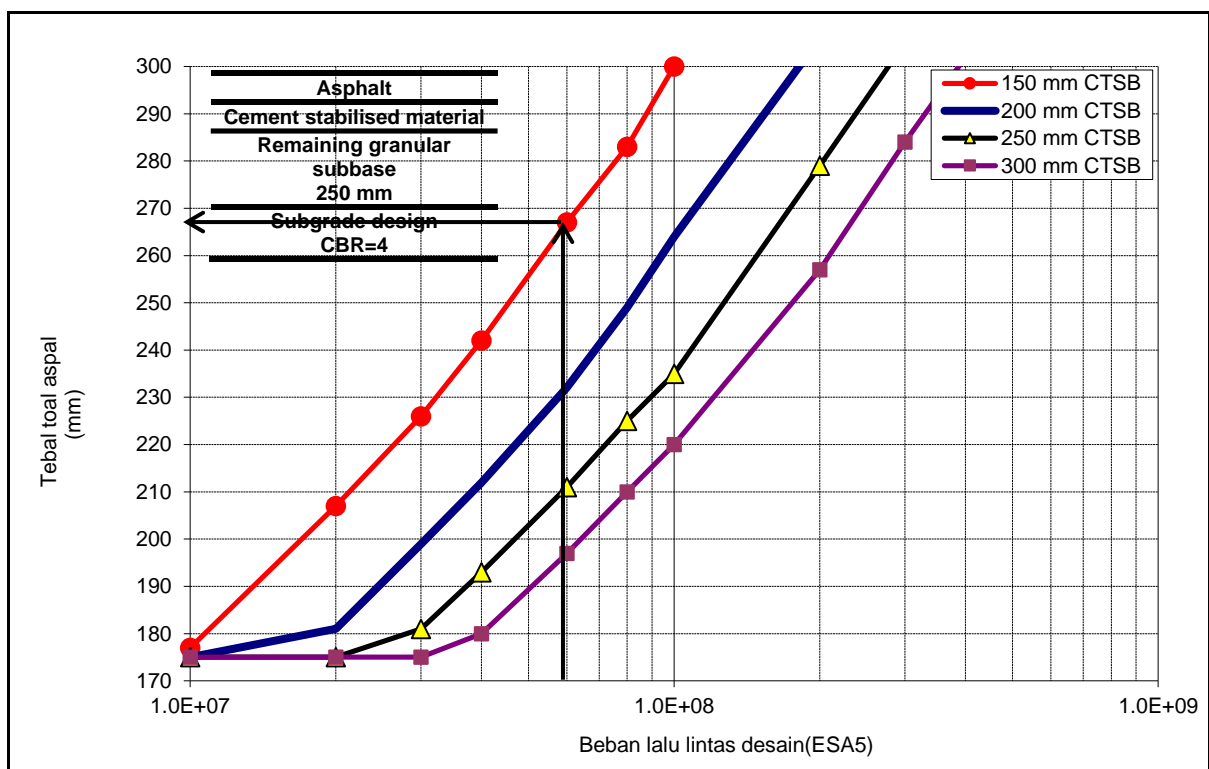
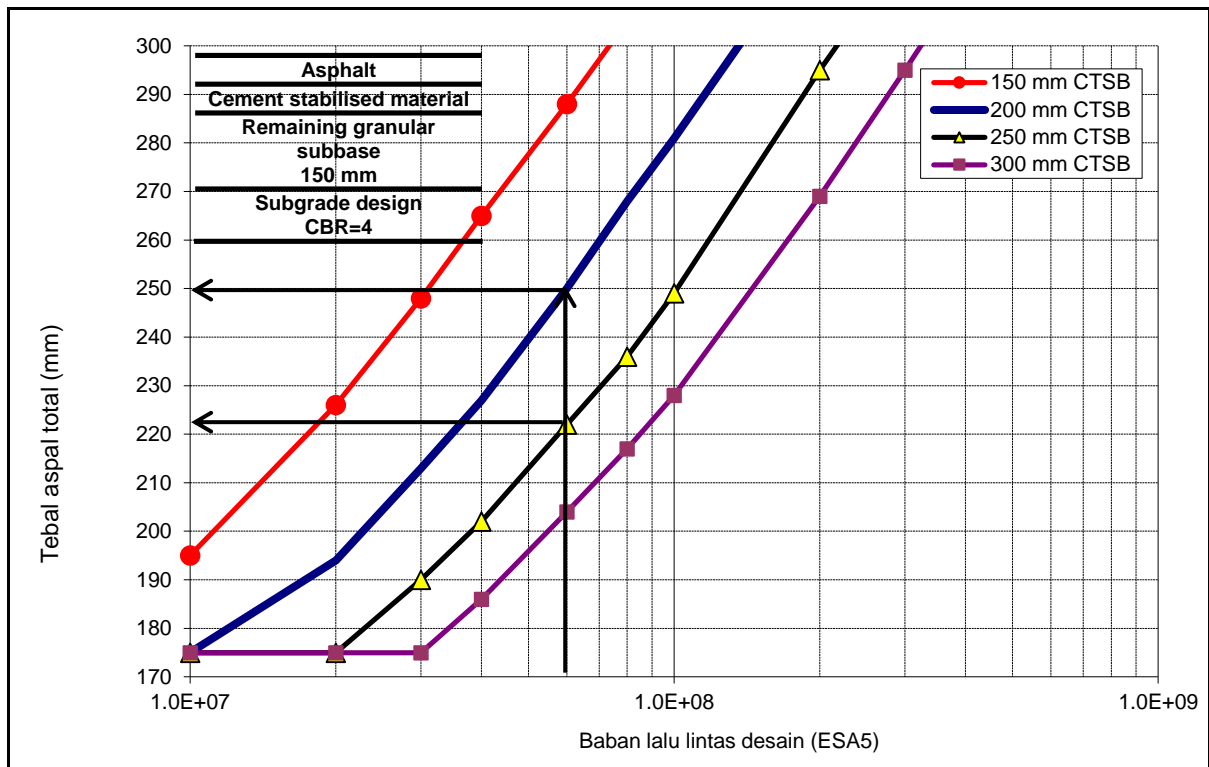
- Struktur perkerasan eksisting adalah:
 - 120 mm aspal beton.
 - 300 mm lapis fondasi berbutir dengan IP 4%.
- Daya dukung representatif tanah dasar: CBR 4 %.
- Kumulatif beban lalu lintas rencana 20 tahun: 60E+06 ESA5

Menentukan tebal perkerasan:

- Tebal total material eksisting: 420 mm (120 mm aspal + 300 mm lapis fondasi berbutir).
- Tebal minimum sisa lapis fondasi setelah rekonstruksi: 150 mm atau 250 mm.
- Tebal material eksisting yang dapat digunakan untuk CTSB daur ulang:
 - 420 mm – 150 mm = 270 mm (untuk sisa lapis fondasi 150 mm) atau,
 - 420 mm – 250 mm = 170 mm (untuk sisa 250 mm).
- Menggunakan bagan desain untuk tanah dasar CBR 4% dan tebal sisa lapis fondasi minimum 150 mm dan 250 mm (Lampiran – P), alternatif struktur perkerasan rekonstruksi dengan daur ulang CTSB adalah sebagai berikut:

Sisa lapis fondasi agregat eksisting minimum	mm	150		250
Alternatif		1	2	3
Sisa lapis fondasi agregat eksisting*	mm	170	220	270
AC WC	mm	40	40	40
ACBC	mm	60	60	60
AC Base	mm	120	150	170
CTSB	mm	250	200	150

* 420 mm – tebal CTSB



Gambar 10.5. Penentuan Tebal Lapisan CTBS dan Aspal

Kesimpulan

- Dari dua bagan desain rekonstruksi dengan CTBS diperoleh 3 alternatif struktur yang dapat dipilih.
- Lakukan pemilihan atas dasar pertimbangan biaya dan ketersediaan sumber daya setempat.

10.4 Contoh Desain *Overlay* Disertai Pelebaran

Suatu ruas jalan dengan lebar 5 meter akan diperlebar menjadi 7 m. Proyeksi beban lalu lintas 20 tahun ke depan: 5E+06 ESA4 atau 10E+06 ESA5. Survei kondisi, test pit, DCP menunjukkan kondisi dan struktur perkerasan eksisting adalah sebagai berikut:

- Perkerasan lajur lalu lintas:
- IRI perkerasan eksisting: 4 m/km.
- Lapis aspal 125 mm: permukaan kasar, agregat pada permukaan lepas-lepas (*raveling*) karena oksidasi; retak halus di beberapa tempat.
- Lapis fondasi agregat 250 mm.
- Material pilihan 300 mm.
- CBR_{wakil} tanah dasar 4%.
- Data lendutan (FWD):
- Lendutan wakil:
 - Lendutan maksimum setelah dikonversi ke lendutan BB = 1,20 mm.
 - Lengkung lendutan = 0,24 mm.
- Bahu jalan:
 - Lapis fondasi kelas S: 120 mm dalam kondisi kurang terawat
 - Material pilihan: 300 mm.

Analisis tebal perkerasan

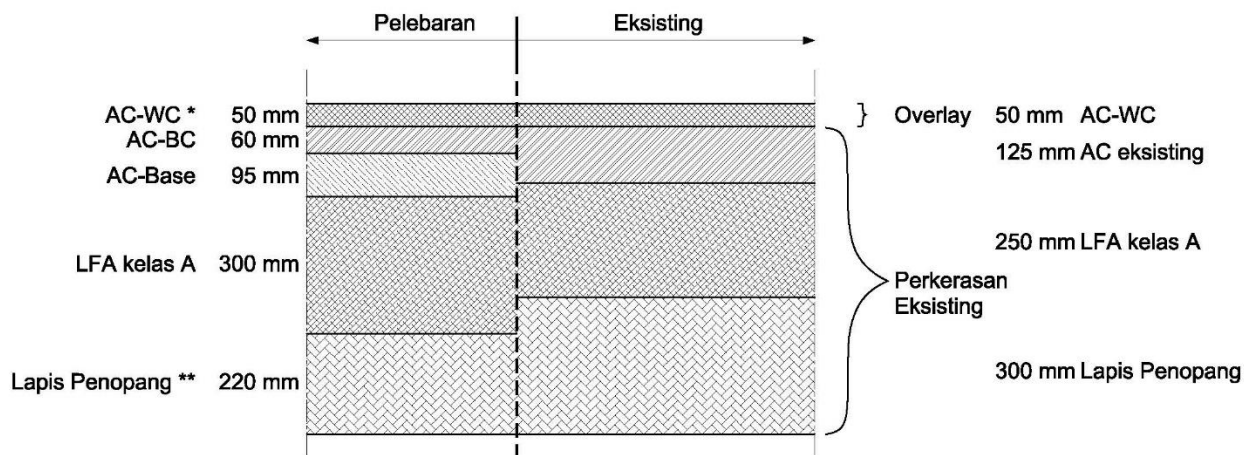
- (i) *Tebal overlay minimum berdasarkan IRI:*
 - IRI permukaan eksisting 4 m/km \rightarrow tebal *overlay* minimum untuk mencapai IRI 3 m/km = 40 mm.
- (ii) *Penentuan tebal overlay berdasarkan data lendutan:*
 - Tebal *overlay* berdasarkan lendutan maksimum 1,20 mm dan beban rencana 5E+06 ESA4 (Grafik desain Gambar 6.1) = 50 mm.
 - Tebal *overlay* berdasarkan lengkung lendutan rata-rata 0,24 mm dan beban rencana 10E+06 ESA5 (Grafik desain Gambar 6.3a) = 50 mm.
- (iii) Tebal *overlay* perlu berdasarkan butir (i) dan (ii) tersebut di atas = 50 mm.
- (iv) *Struktur perkerasan pada pelebaran*

Dengan tanah dasar CBR 4% diperlukan minimum 200 mm lapis penopang (Bagan Desain - 2).

Struktur perkerasan lentur dengan lapis fondasi agregat untuk beban rencana 10E+06 ESA5 (Bagan desain - 3B):

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	60
AC Base	105
LFA kelas A	300
Lapis penopang	200

(v) Gabungan struktur perkerasan eksisting setelah overlay dan pelebaran



Gambar 10.6. Struktur Perkerasan Eksisting dan Pelebaran

* Atas pertimbangan praktis, tebal lapisan aspal pada pelebaran disesuaikan dengan tebal *overlay* perkerasan eksisting.

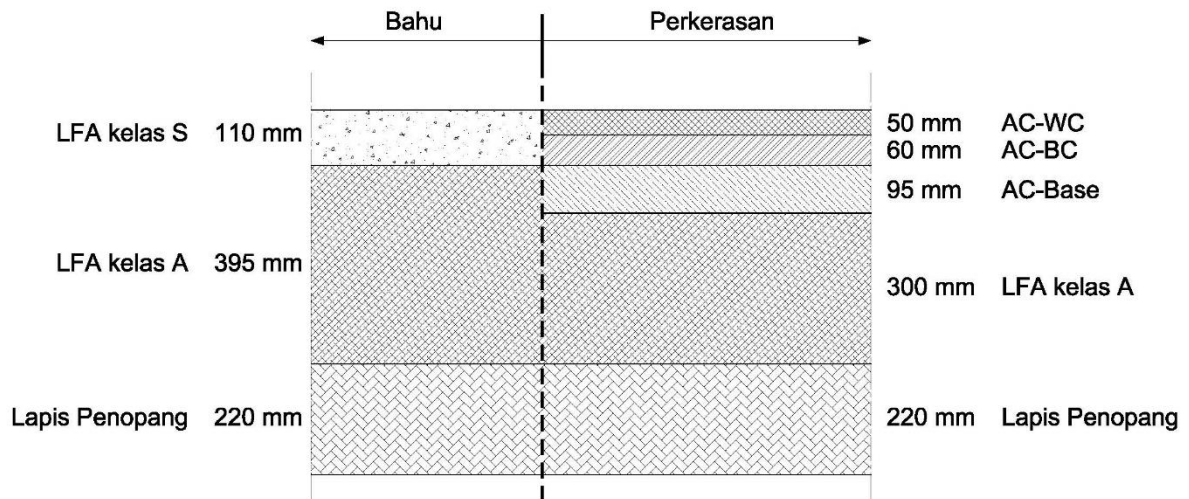
** Untuk lapis penopang pada pelebaran dapat memanfaatkan lapis penopang dan LFA kelas S eksisting di bawah bahu jalan eksisting.

(vi) Desain perkerasan bahu jalan

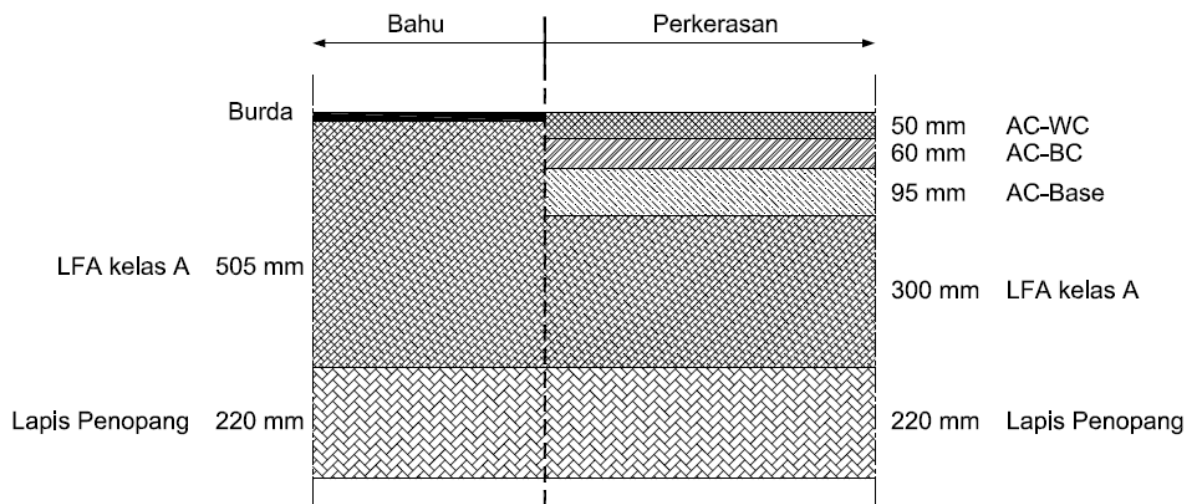
Berdasarkan bagan desain - 5, untuk beban lalu lintas 0,5E+06 ESA4 (10% beban lalu lintas rencana), struktur perkerasan minimum di atas lapis penopang dapat berupa:

Bagan desain - 5	SD1 (mm)
Pelaburan	20
LFA A	250
LFA A/ LFA B/ kerikil alam/ stabilisasi dengan CBR > 10%	110

Tebal perkerasan bahu perlu diselaraskan dengan perkerasan pelebaran sehingga solusi yang dipilih dapat berupa struktur yang ditunjukkan dalam gambar di bawah ini:



Gambar 10.7. Alternatif Struktur Perkerasan Bahu Jalan



Gambar 10.8. Alternatif Struktur Perkerasan Bahu Jalan pada Grade > 4%

Sebagai alternatif, bagian bawah dari lapis fondasi perkerasan bahu jalan dapat berupa LFA kelas B atau kerikil alam dengan tebal minimum 110 mm.

10.5 Contoh Desain Rekonstruksi Disertai Pelebaran

Suatu ruas jalan dengan lebar perkerasan 4,5 m akan ditingkatkan menjadi 7 m. Survei kondisi dan *test pit* pada perkerasan di bawah lajur roda menunjukkan kondisi dan struktur perkerasan eksisting adalah sebagai berikut:

- Lapis permukaan berupa 50 mm HRS mengalami kerusakan berat berupa lubang-lubang, retak buaya dan mengalami sungkur (*shoving*) di beberapa tempat.
- 200 mm lapis fondasi agregat.
- Pengujian DCP pada test pit yang dibuat di lajur roda menunjukkan daya dukung representatif tanah dasar: CBR 4%.

Perkerasan bahu jalan lebar 1 meter, terdiri atas:

- Lapis fondasi kelas S dengan tebal rata-rata 100 mm;
- Lapis fondasi agregat 100 mm.
- Pengujian DCP pada bahu jalan menunjukkan bahwa daya dukung representatif tanah dasar: 3%.

Perkerasan dirancang untuk melayani beban lalu lintas 2,2E+06 ESA4 atau 4E+06 ESA5 selama 20 tahun.

Analisis tebal perkerasan

Berdasarkan kondisi perkerasan eksisting diputuskan untuk melakukan rekonstruksi dengan membangun kembali perkerasan (*full replacement*) dengan memanfaatkan perkerasan eksisting. Dengan demikian berlaku ketentuan seperti pada desain perkerasan baru.

Fondasi perkerasan:

Berdasarkan Bagan Desain - 2, untuk tanah dasar CBR 4% dan beban rencana 4E+06 ESA5 diperlukan lapis penopang setebal 200 mm di atas tanah dasar. Untuk CBR 3% diperlukan 300 mm lapis penopang. Tetapkan tebal lapis penopang 300 mm di atas badan jalan.

Perkerasan eksisting (lajur lalu lintas dan bahu jalan) akan digaru, dicampur dengan material pilihan tambahan, dibentuk kembali dan dipadatkan. Lapisan yang terbentuk akan berfungsi sebagai lapis penopang.

Lapis perkerasan:

Tebal desain perkerasan di atas 300 mm fondasi (lapis penopang) dengan beban lalu lintas rencana 4E+06 ESA5 menggunakan Bagan Desain - 3A kolom FF2 dan Bagan Desain - 3B kolom FFF2:

Alternatif 1		Alternatif 2	
Bagan Desain - 3A	FF2 (mm)	Bagan Desain - 3A	FFF2 (mm)
HRS WC	30	AC WC	40
HRS Base	35	AC BC	60
LFA A	250	AC Base	80
LFA A/ LFA B/ kerikil alam/ stabilisasi dengan CBR > 10%	150	LFA A	300

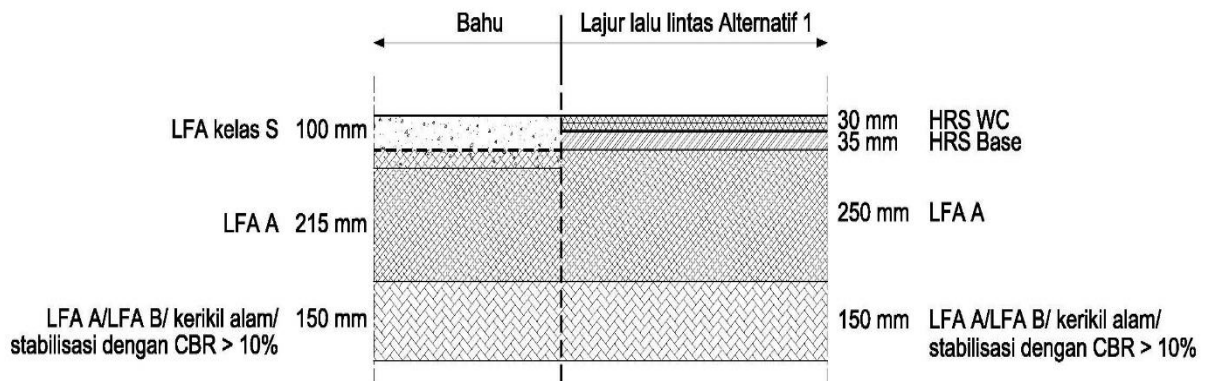
Perkerasan bahu jalan:

Bahu jalan lebar 2 x 1,50 m dirancang untuk melayani 22.000 ESA4 (10% beban lajur rencana). Bagan Desain - 5 (perkerasan berbutir dengan laburan) struktur perkerasan untuk beban < 100.000 ESA5 adalah sebagai berikut:

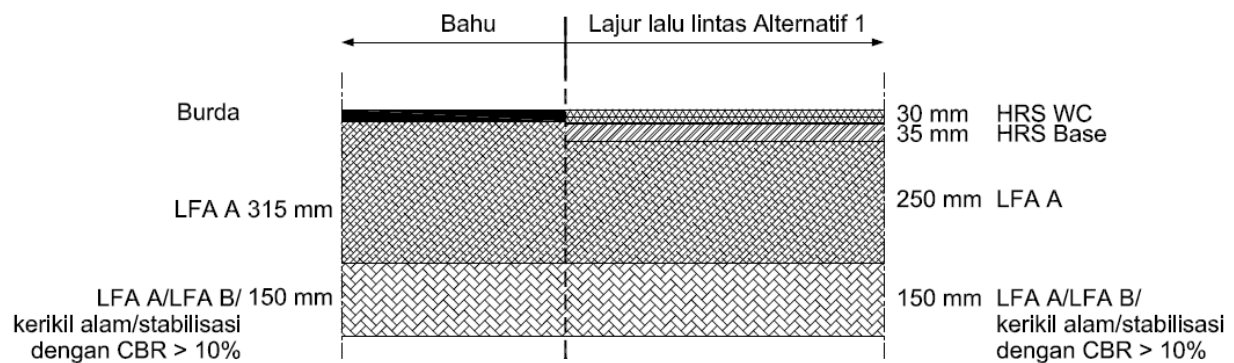
Bagan Desain - 5	SD1 (mm)
Pelaburan	20
LFA A	200
LFA A/ LFA B/ kerikil alam / stabilisasi dengan CBR > 10%	100

Dengan menggunakan tebal tersebut di atas sebagai referensi dan atas pertimbangan praktis dan kesesuaian dengan tebal perkerasan lajur utama, perkerasan bahu jalan adalah sebagai berikut:

Alternatif 1:



Gambar 10.9. Struktur Perkerasan Alternatif – 1

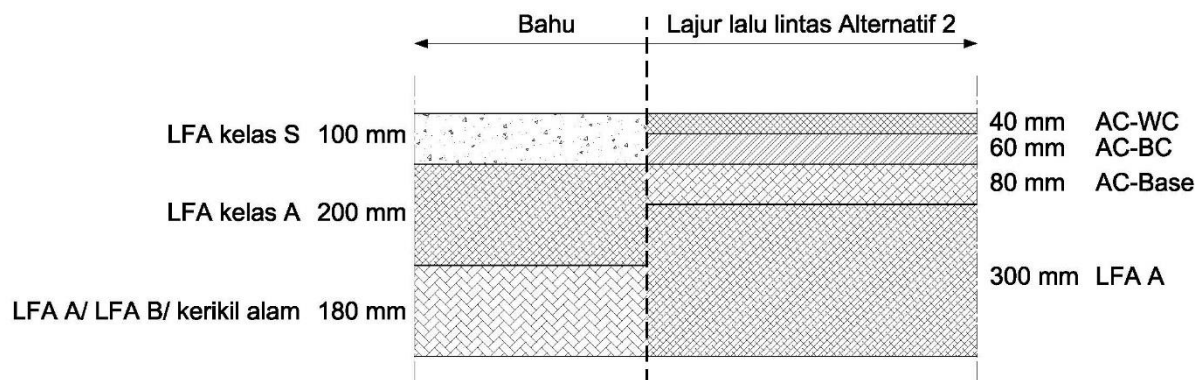


Gambar 10.10. Struktur Perkerasan Alternatif – 1 pada Grade > 4%

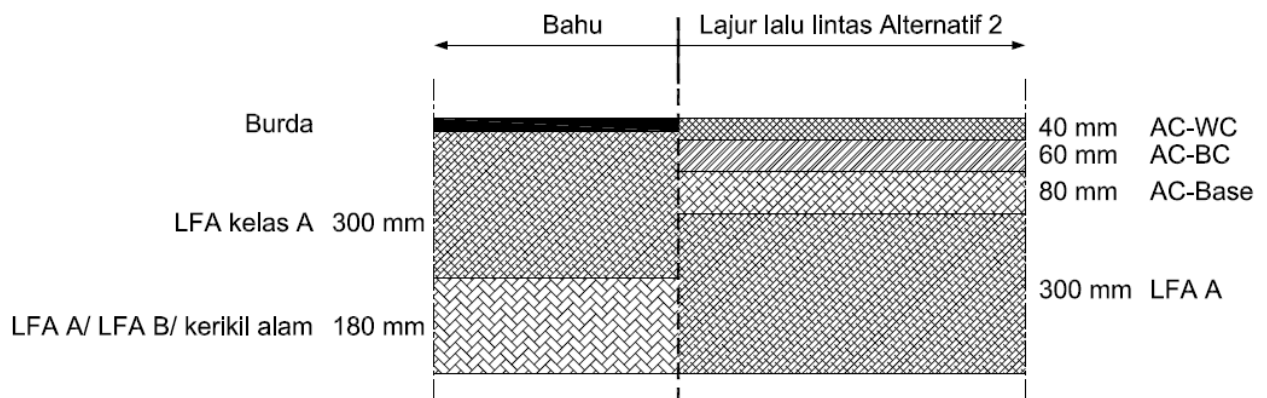
Catatan:

Permukaan LFA kelas A pada bahu jalan dibuat rata dengan LFA lajur lalu lintas, kemudian digaru dan ditutup dengan LFA kelas S membentuk 100 mm lapisan permukaan bahu agregat kelas A.

Alternatif 2:



Gambar 10.11. Struktur Perkerasan Alternatif – 2



Gambar 10.12. Struktur Perkerasan Alternatif – 2 pada Grade > 4%

Kesimpulan:

Pilih alternatif dengan mempertimbangkan faktor biaya, kemudahan pelaksanaan dan sumberdaya setempat.

LAMPIRAN

LAMPIRAN K. Modulus Bahan

Karakteristik modulus bahan dan rasio Poisson untuk iklim dan kondisi pembebanan Indonesia dapat dilihat pada Tabel K-1. Nilai modulus ini dibutuhkan dalam Prosedur Mekanistik Umum (Lampiran C).

Modulus lapisan aspal ditentukan berdasarkan rentang temperatur udara 25°C sampai 44°C dan Temperatur Perkerasan Tahunan Rata-rata (WMAPT) 41°C.

Karakteristik modulus bahan berpengikat untuk pengembangan bagan desain dan desain mekanistik

Jenis material	Modulus Tipikal (MPa)	Rasio Poissons
Material distabilisasi dengan <i>foam bitumen</i> (nilai efektif jangka panjang)	600	0,40
Campuran aspal dengan aspal yang mengelupas (dibuang).	300	0,35
Campuran aspal yang retak.	600	0,35
Nilai material lainnya dapat dilihat pada <i>Bagian 1 Struktur Perkerasan Baru</i>		

LAMPIRAN L. Level Desain dan Pemicu Penanganan

Tahap analisis dan penanganan perkerasan:

Tahap Perencanaan Pemrograman (Tingkat Jaringan).	Pemilihan ruas yang akan ditangani dan bentuk penanganannya pada tingkat jaringan.
Tahap Desain (Tingkat Proyek).	Pengujian dengan interval pendek dan detail rencana untuk segmen yang sama.

Tabel L.1. menyajikan garis besar nilai pemicu yang dapat diterapkan pada tahap perencanaan pemrograman.

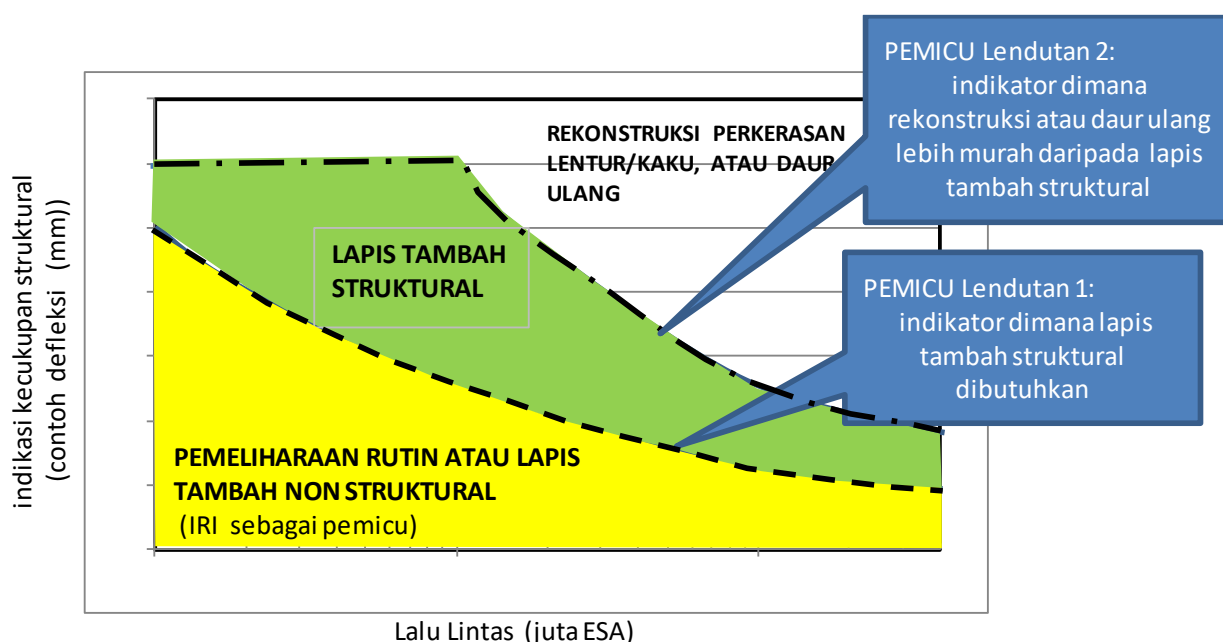
Tabel L.1. Umur Rencana, Hubungan Nilai Pemicu Penanganan dan Jenis Pelapisan Perkerasan

Kriteria Beban Lalulintas (juta ESA4)	< 0,5	0,5 – < 30	≥ 30
Umur Rencana Perkerasan Lentur	seluruh penanganan: 10 tahun	<ul style="list-style-type: none"> - rekonstruksi – 20 tahun - overlay struktural – 10 tahun - overlay non struktural – 10 tahun - penanganan sementara – sesuai kebutuhan 	
Pemicu tahap perencanaan pemrograman (tingkat jaringan)	<ul style="list-style-type: none"> - IRI - visual 	<ul style="list-style-type: none"> - IRI - visual - lendutan interval 500 m 	<ul style="list-style-type: none"> - IRI - visual - lendutan interval ≤ 500 m - <i>core</i> atau <i>test pit</i> setiap 5000 m

Nilai pemicu didefinisikan sebagai nilai batas yang menyatakan kapan penanganan perlu atau layak dilaksanakan (lihat Tabel L.2 sebagai ilustrasi Gambar L.1.).

Tabel L.2. Deskripsi Pemicu (Trigger)

Deskripsi	Pengukuran	Tujuan
Pemicu Lendutan 1	Lendutan BB ¹	Nilai yang mengindikasikan perlu <i>overlay</i> struktural.
Pemicu Lendutan 2		Nilai yang mengindikasikan rekonstruksi lebih murah daripada <i>overlay</i> .
Pemicu IRI 1	Nilai IRI	Nilai yang mengindikasikan perlu <i>overlay</i> non struktural.
Pemicu IRI 2		Nilai yang mengindikasikan dibutuhkan <i>overlay</i> struktural; tapi pemicu lendutan 1 lebih menentukan.
Pemicu IRI 3		Nilai yang mengindikasikan rekonstruksi lebih murah daripada <i>overlay</i> , tapi pemicu lendutan 2 lebih menentukan.
Pemicu Kondisi 1	Kedalaman alur > 30 mm, visual: retak, pelepasan butir, pengelupasan, atau IRI > 8, atau kendala peninggian (seperti pada terowongan, trotoar dll). Tidak dibutuhkan rekonstruksi.	Titik dimana pengupasan (<i>milling</i>) untuk memperbaiki bentuk sebelum <i>overlay</i> diperlukan.



Gambar L.1. Ilustrasi Konsep Pemicu Penanganan Perkerasan

¹Kalau menggunakan FWD lakukan koreksi nilai lendutan

Tabel L.3, Tabel L.4 dan Tabel L.5 menunjukkan detail penanganan dan jenis nilai pemicu dalam pemilihan penanganan untuk segmen yang seragam pada tahap desain. Selain nilai pemicu, pemilihan penanganan pada tahap desain tetap memerlukan pertimbangan teknis (*engineering judgment*).

Tabel L.3. Pemilihan Jenis Penanganan Perkerasan Lentur Eksisting dengan Beban Lalu Lintas 10 th < 1 juta ESA4

Jenis Penanganan		Pemicu untuk setiap jenis penanganan
1	Hanya pemeliharaan rutin	IRI di bawah pemicu IRI 1, luas kerusakan serius < 5% total area
2	Penambalan berat (<i>Heavy Patching</i>)	Lendutan melebihi pemicu lendutan 2 atau permukaan rusak berat dan luas area dari seluruh seksi jalan yang membutuhkan penambalan berat tidak lebih dari 30% total area (jika lebih besar lihat 5 atau 6)
3	Kupas dan ganti material di area tertentu	Dibutuhkan jika elevasi harus sama dengan elevasi struktur atau kerb, dll; juga jika kondisi perkerasan eksisting memiliki alur cukup dalam dan retak cukup parah.
4	<i>Overlay</i> non struktural	Pemicu IRI 1 dilampaui.
5	Rekonstruksi	Lendutan Pemicu 2 dilampaui, tebal lapisan aspal < 100mm, atau <i>heavy patching</i> lebih dari 30% total area, atau dinilai lebih sesuai atau lebih murah daripada daur ulang.
6	Daur ulang	Lendutan di atas lendutan pemicu 2, lapisan aspal > 100 mm atau <i>heavy patching</i> lebih dari 30% total area.

Tabel L.4. Pemilihan Jenis Penanganan Perkerasan Lentur Eksisting dengan Beban Lalu Lintas 10 tahun 1 – 30 juta ESA4

Jenis Penanganan		Pemicu untuk setiap jenis penanganan
1	Hanya pemeliharaan rutin	Lendutan dan IRI di bawah Pemicu 1, luas kerusakan serius < 5% terhadap total area.
2	Penambalan berat (<i>Heavy Patching</i>)	Lendutan melebihi Pemicu Lendutan 2 atau permukaan rusak berat dan luas area dari seluruh segmen jalan yang membutuhkan <i>heavy patching</i> lebih kecil dari 30% (jika lebih besar lihat 6 atau 7).
3	Kupas dan ganti material di area tertentu	Retak buaya yang luas, atau alur > 30 mm atau IRI > Pemicu IRI 2 dan hasil pertimbangan teknis.
4	<i>Overlay</i> non struktural	Lendutan kurang dari Pemicu Lendutan 1, indeks kerataan lebih besar dari pemicu IRI1.
5	<i>Overlay</i> struktural	Lebih besar dari Pemicu Lendutan 1 dan kurang dari Pemicu Lendutan 2
6	Rekonstruksi	Lendutan di atas Pemicu Lendutan 2, lapisan aspal <100mm.
7	Daur ulang	Lendutan di atas Pemicu Lendutan 2, lapisan aspal > 100mm.

Tabel L.5. Pemilihan Jenis Penanganan Untuk Perkerasan Lentur Eksisting dan Beban Lalu Lintas 10 th > 30 juta ESA4

Jenis Penanganan		Pemicu untuk setiap jenis penanganan
1	Hanya pemeliharaan rutin	Lendutan dan IRI di bawah Pemicu 1, luas kerusakan serius < 5% terhadap total area.
2	Penambalan berat (<i>Heavy Patching</i>)	Lendutan melebihi Pemicu Lendutan 2 atau atau permukaan rusak berat dan luas area dari seluruh segmen jalan yang membutuhkan <i>heavy patching</i> lebih kecil dari 30% total area (jika lebih besar lihat butir 5 atau 6).
3	Kupas dan ganti material di area tertentu	Retak buaya yang luas, atau alur >30 mm atau ketidakrataaan > pemicu IRI 2.
4	<i>Overlay</i> non struktural	Lendutan kurang dari pemicu lendutan 1, indeks kerataan lebih besar dari pemicu IRI1.
5	<i>Overlay</i> struktural	Lendutan melebihi Pemicu Lendutan 1 dan kurang dari Pemicu Lendutan 2. Tipe dan tebal penanganan ditentukan dari hasil analisis test pit.
6	Rekonstruksi atau daur ulang	Lendutan melebihi Pemicu Lendutan 2. Tipe dan tebal penanganan ditentukan dari hasil analisis test pit.
7	Daur ulang atau rekonstruksi	Analisis biaya selama umur pelayanan harus dilakukan terhadap semua opsi yang layak, termasuk daur ulang, rekonstruksi perkerasan lentur dan rekonstruksi perkerasan kaku.

Tabel L.6 dan L.7 memberikan nilai pemicu untuk tahap pelaksanaan untuk rentan lalu lintas tertentu.

Tabel L.6. Pemicu Ketidakrataaan Untuk *Overlay* dan Rekonstruksi

LHR (kend/hari)	Pemicu IRI 1 untuk <i>overlay</i> non- struktural	Pemicu IRI 2 untuk <i>overlay</i> struktural Lalu lintas < 1 juta ESA4 atau untuk pengupasan (untuk lalu lintas > 1 juta ESA4 harus menggunakan Pemicu Lendutan)	Pemicu IRI 3 untuk investigasi rekonstruksi
< 200	6,75	8	12
> 200 - 500	6,5		
> 500 - 7500	6,25		
> 7500	6		

Garis besar proses pemilihan penanganan:

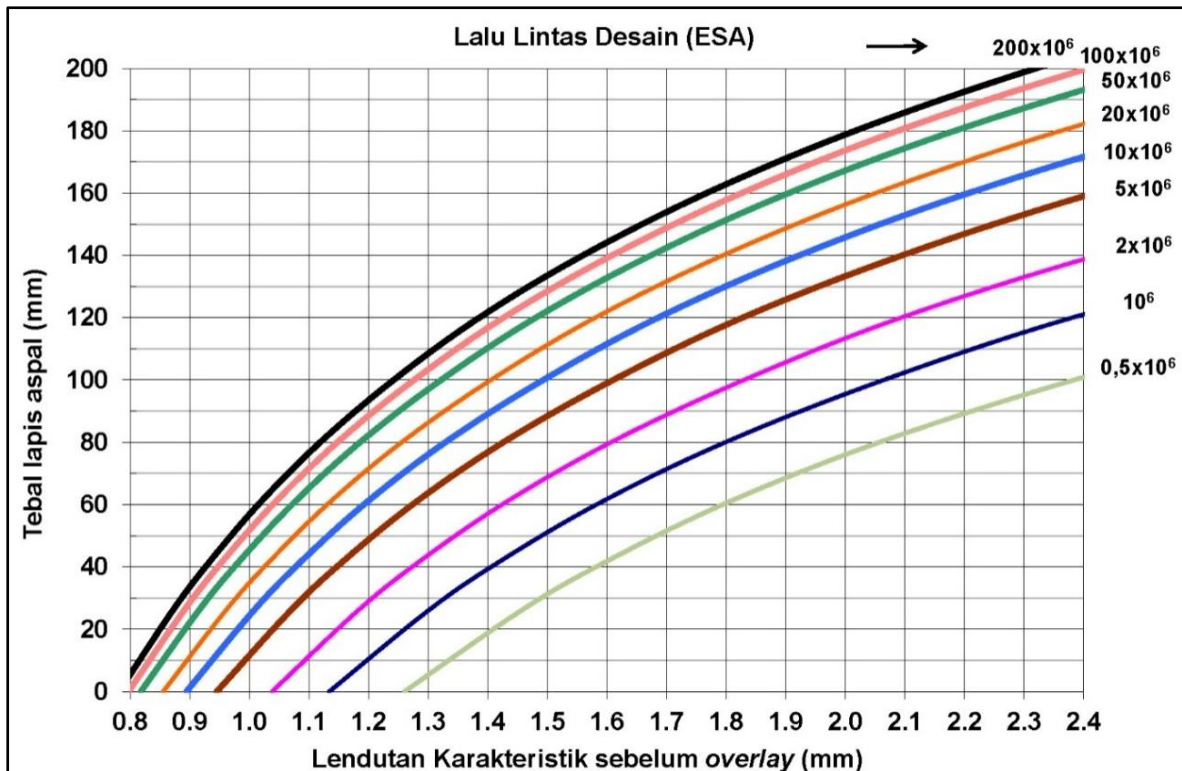
- 1 Tentukan beban lalu lintas 10 tahun (nilai ESA4) dengan metode yang diberikan pada Bagian 1 (Struktur Perkerasan Baru).
- 2 Tentukan umur desain dari Tabel L.1.
- 3 Gunakan tabel-tabel L.3 hingga L.7 untuk memilih jenis atau beberapa jenis penanganan yang optimum dan dapat menggunakan pertimbangan (*judgment*) jika diperlukan.

Jika diperoleh lebih dari satu solusi yang memungkinkan, pilih solusi yang paling efektif dengan menggunakan analisis biaya umur pelayanan (*discounted life cycle cost*).

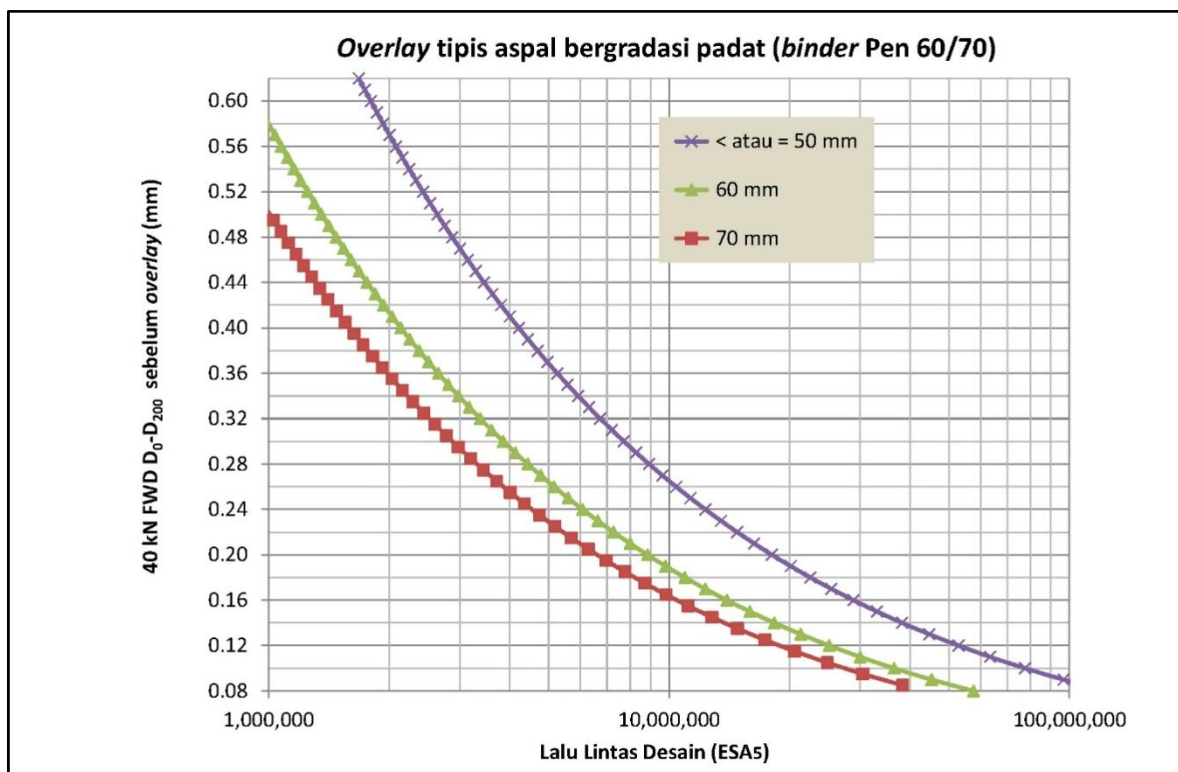
Tabel L.7. Lendutan Pemicu Untuk *Overlay* dan Rekonstruksi

Lalu lintas pada lajur rencana untuk 10 tahun (juta ESA5)	Jenis Lapis Permukaan	Lendutan Pemicu untuk overlay (Lendutan Pemicu 1)		Lendutan Pemicu untuk investigasi untuk rekonstruksi atau daur ulang (Lendutan Pemicu 2)	
		Lendutan (D_0) karakteristik FWD (mm)	Kurva FWD D_0 - D_{200} (mm)	Lendutan karakteristik FWD (mm)	Kurva FWD D_0 - D_{200} (mm)
≤ 1	HRS/AC	> 1.33		> 1.92	
$> 1 - 2$	HRS/AC	> 1.16		> 1.50	
$> 2 - 5$	AC		> 0.33		> 0.58
$> 5 - 10$	AC		> 0.23		> 0.40
$> 10 - 20$	AC		> 0.17		$> 0,30$
$> 20 - 50$	AC		> 0.12		> 0.22
$> 50 - 100$	AC		> 0.10		> 0.15
> 100	AC		> 0.08		> 0.12

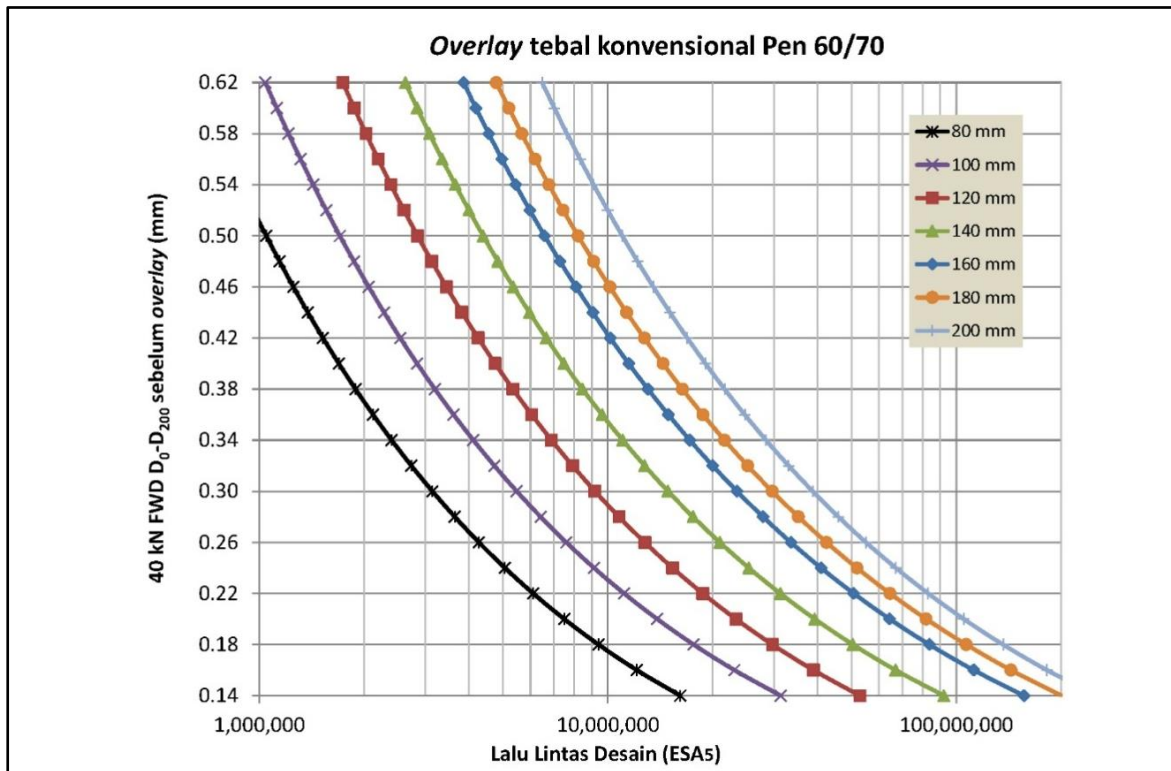
Ketentuan lendutan pemicu ditetapkan berdasarkan gambar-gambar L.1, L.2a. dan L.2b. di bawah ini. Ketiga gambar tersebut sama dengan bagan desain *overlay* Gambar 6.1, Gambar 6.5.a dan Gambar 6.5.b dengan pengecualian bahwa kurva untuk beban lebih besar dari 10×10^6 ESA4 (atau 20×10^6 ESA5) hanya berlaku untuk keperluan perencanaan program (level jaringan) dan tidak berlaku untuk keperluan desain (level proyek).



Gambar L.1. Tebal Overlay Berdasarkan Lendutan Balik Maksimum (Benkelman Beam) (Kurva Beban $> 10 \times 10^6$ ESA4 Hanya Berlaku Untuk Perencanaan Program)



Gambar L.2a. Tebal Overlay Tipis Berdasarkan Lengkung Lendutan (FWD) (Kurva Beban $> 20 \times 10^6$ ESA5 Hanya Berlaku Untuk Perencanaan Program)



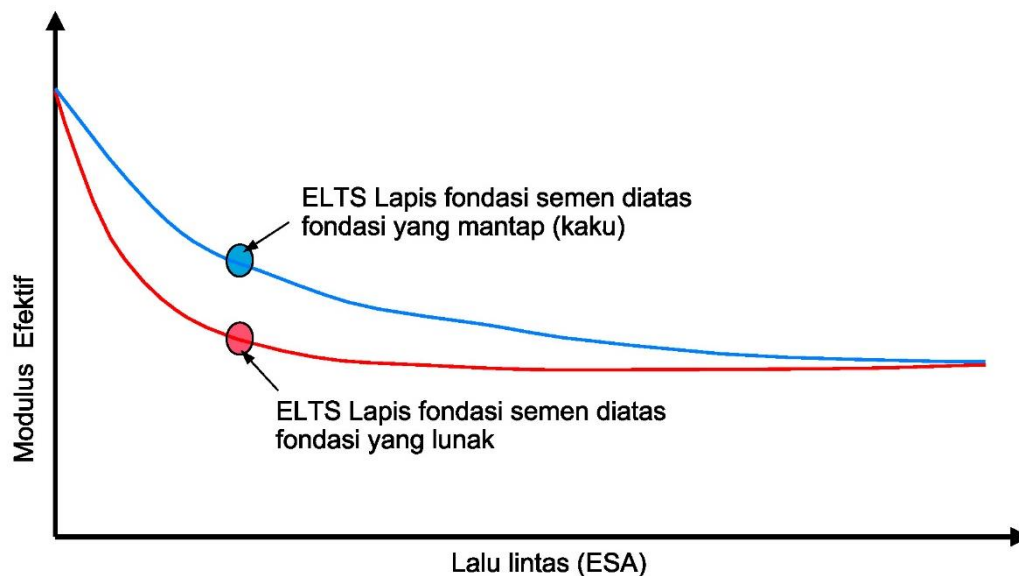
Gambar L.2b. Tebal Overlay Tebal Berdasarkan Lengkung Lendutan (FWD)
(Kurva Beban $> 20 \times 10^6$ ESA5 Hanya Berlaku Untuk Perencanaan Program)

LAMPIRAN M. Pengembangan Metode Desain Ketebalan Stabilisasi Bitumen Foam

Tiga jenis kerusakan yang berkaitan dengan model kerusakan yang sudah diidentifikasi untuk penanganan stabilisasi dengan *foam bitumen* (Jones & Ramanujam 2008) adalah:

- Alur pada perkerasan dan perubahan bentuk lapisan perkerasan dan tanah dasar.
- Retak *fatigue* pada lapis stabilisasi *foam bitumen*.
- Retak *fatigue* pada lapis permukaan aspal *overlay*.

Kadar aspal yang relatif rendah (2-3%) dengan beban yang sangat berat, berdasarkan penelitian di Afrika Selatan (Jooste dan Long, 2007), dapat mengakibatkan material stabilisasi *foam bitumen* yang mempunyai modulus awal tinggi menurun dengan cepat (Gambar L-1).



Catatan :
untuk campuran aspal panas yang dicampur dengan lapisan stabilisasi, batas rasio modular menunjukkan bahwa nilai kekakuan menurun dengan cepat akibat melemahnya daya dukung fondasi.

**Gambar M.1. Konsep Kekakuan Efektif Jangka Panjang
(Effective Long Term Stiffness,ELTS)**

Prosedur desain yang diusulkan didasarkan pada asumsi bahwa *foam bitumen* tidak akan mengalami retak *fatigue*, tetapi pembebanan yang berat dan kadar aspal yang rendah pada campuran akan menimbulkan retak halus dini seperti yang ditunjukkan penurunan nilai modulusnya. Dengan demikian tidak tepat jika mendesain berdasarkan kelelahan (*fatigue*) material *foam bitumen*.

Atas pertimbangan tersebut, desain mekanistik untuk lapisan stabilisasi *foam bitumen* harus didasarkan pada penetapan ketebalan lapis stabilisasi dan lapisan aspal di atasnya untuk menghindari alur dan perubahan bentuk (*rutting*). Analisis berdasarkan kriteria *fatigue* hanya dilakukan untuk lapis aspal di atas lapis *foam bitumen*.

Berdasarkan data dari Afrika Selatan (Jooste and Long, 2007), lapisan stabilisasi *foam bitumen* mempunyai karakteristik berikut:

- Modulus efektif jangka panjang untuk material stabilisasi *foam* bitumen adalah 600 MPa, lebih tinggi daripada modulus material berbutir tetapi lebih rendah daripada modulus lapisan aspal.
- Modulus material 100 mm di bawah lapisan stabilisasi *foam* bitumen dibatasi maksimum dua kali modulus material sisa di bawahnya (diambil dari konsep rasio modulus diuraikan oleh Jooste dan Long, 2007).

Karakteristik tersebut digunakan Austroad dalam analisis desain perkerasan (berdasarkan metode mekanistik empirik).

Stabilisasi dengan *foam* bitumen telah digunakan di Inggris pada jalan dengan tingkat lalu lintas seperti Indonesia. Ketentuan tebal minimum lapisan aspal permukaan di Inggris ditunjukkan pada Tabel M.1.

Tabel M.1. Ketentuan Untuk Ketebalan Lapisan Aspal Permukaan Metode TRL

Kategori jenis jalan	Standar Lalu lintas Desain (ESA5 x 10 ⁶)	Tebal minimum lapis permukaan (mm)
0	30 ≤ Lalu lintas < 80	100
1	10 ≤ Lalu lintas < 30	70
2	2,5 ≤ Lalu lintas < 10	50
3	0,5 ≤ Lalu lintas < 2,5	40
4	< 0,5	40

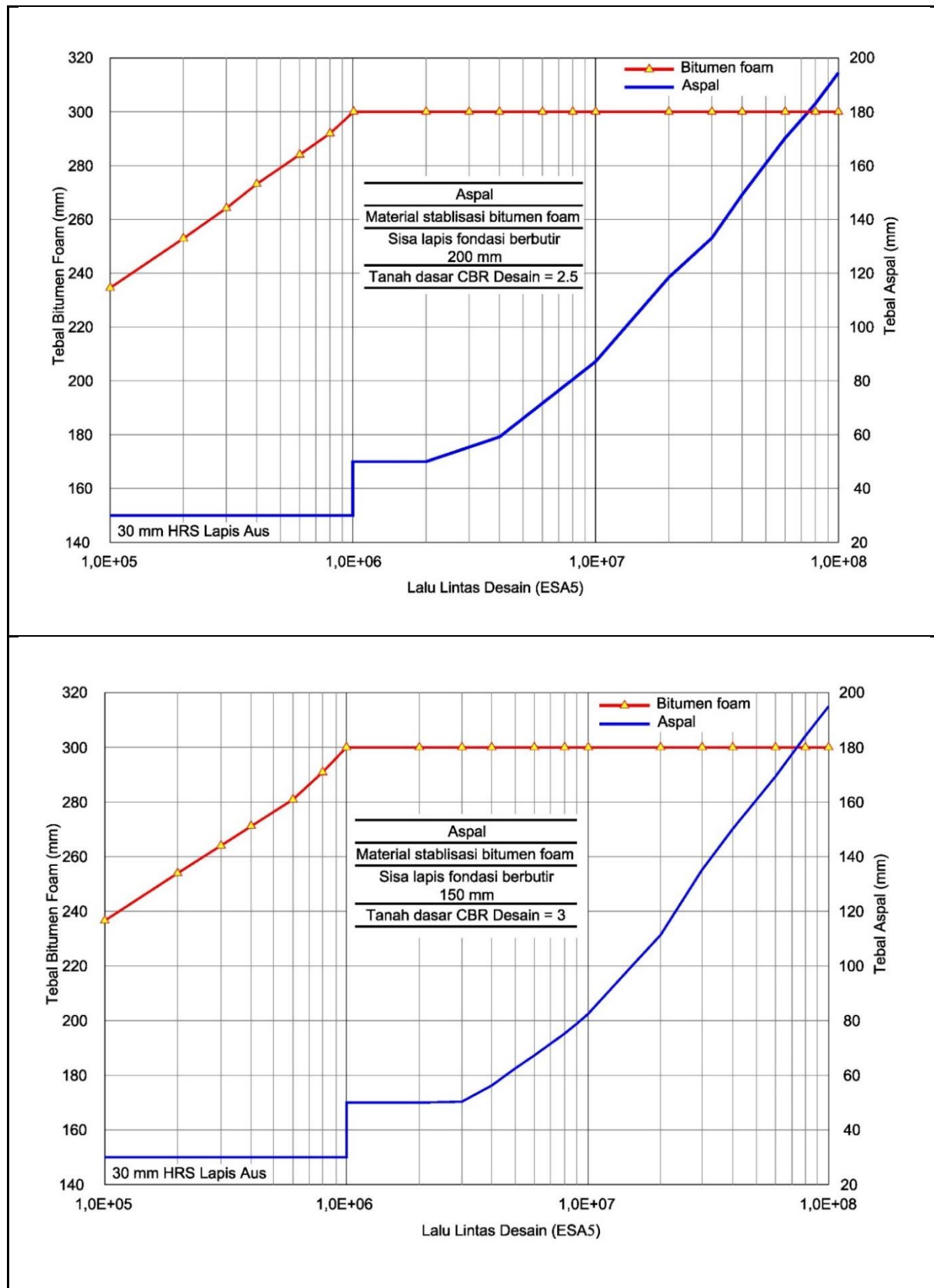
Sumber: Merrill et al. (2004).

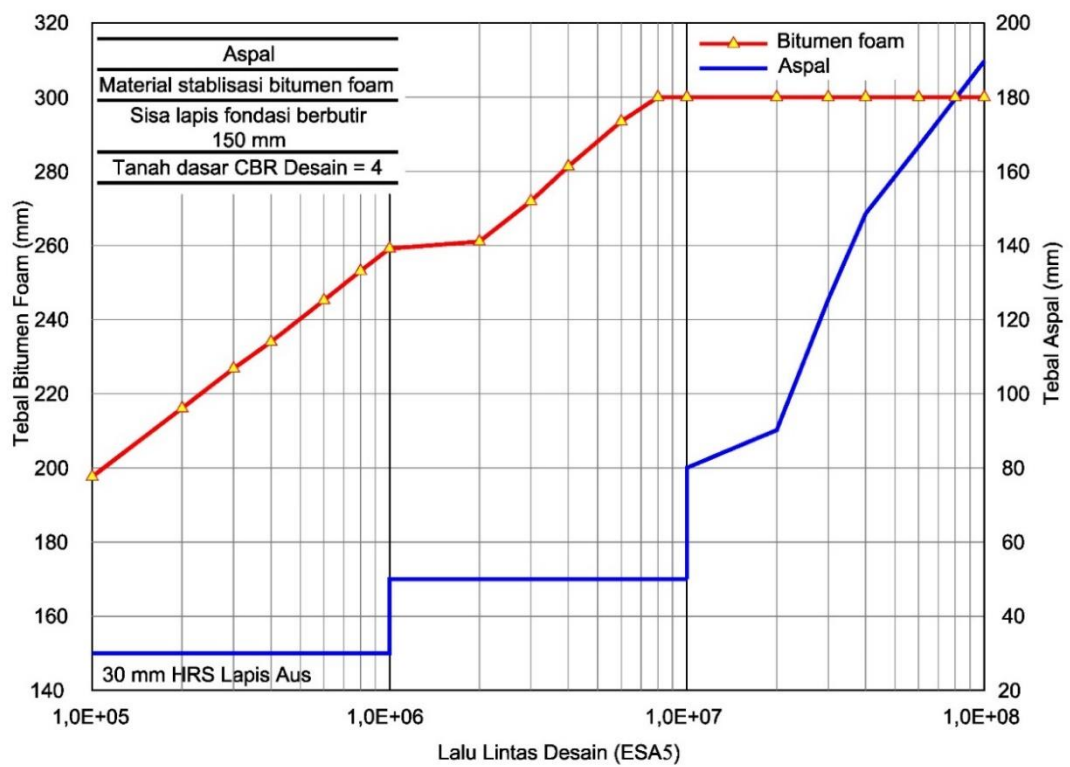
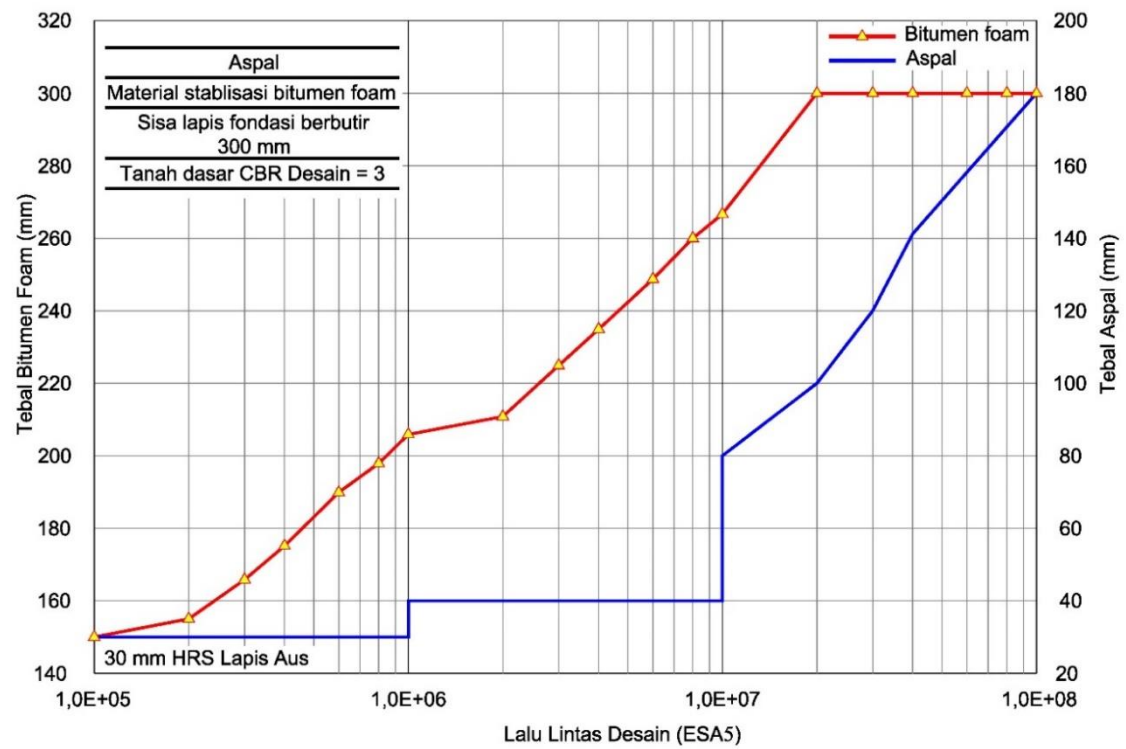
Berdasarkan ketentuan lapis permukaan di Inggris dan dengan mempertimbangkan lapis permukaan yang digunakan di Indonesia, Afrika Selatan dan Australia, Tabel L-2 menunjukkan ketentuan lapis permukaan minimum.

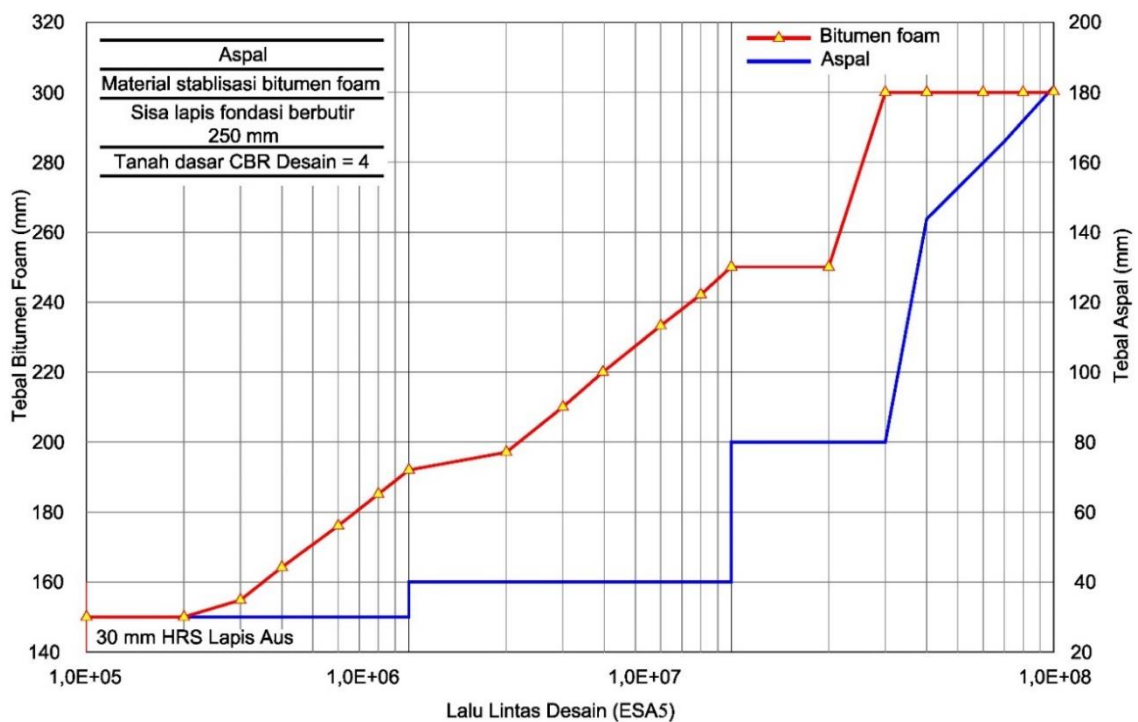
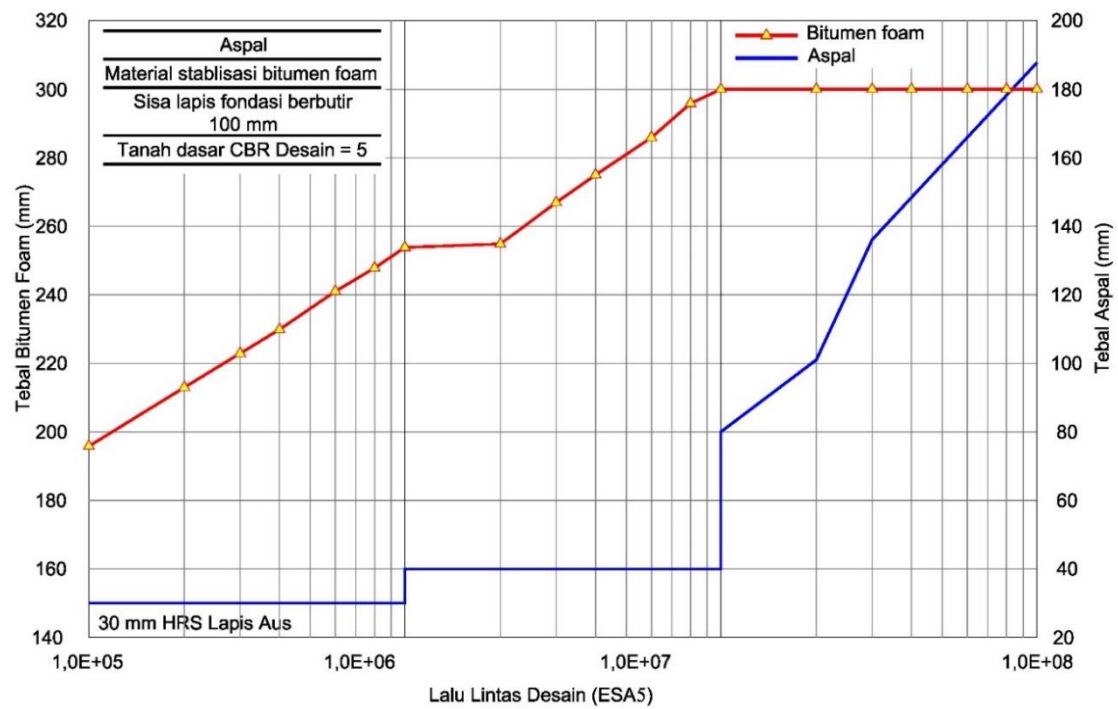
Tabel M.2. Ketentuan Lapis Aspal Permukaan di Atas Material Stabilisasi *Foam Bitumen*

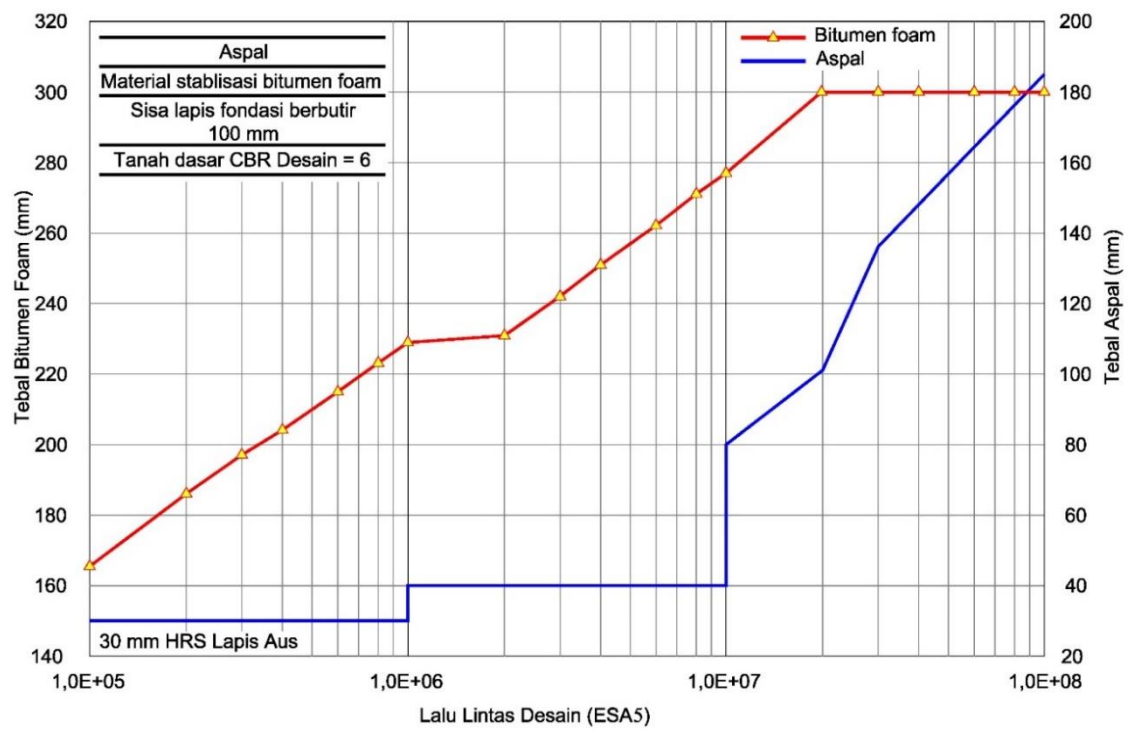
Lalu lintas Rencana (ESA 5 x 10 ⁶)	Lapisan permukaan minimum
≥10	100 mm terdiri atas: 40 mm AC WC 60 mm AC BC
1 ≤ Lalu lintas < 10	40 mm AC WC
< 1	30 HRS WC Atau <i>surface dressing</i>

LAMPIRAN N. **Bagan Desain Stabilisasi *Foam Bitumen* Untuk Lalu Lintas Desain Maksimum 100×10^6 ESA5**

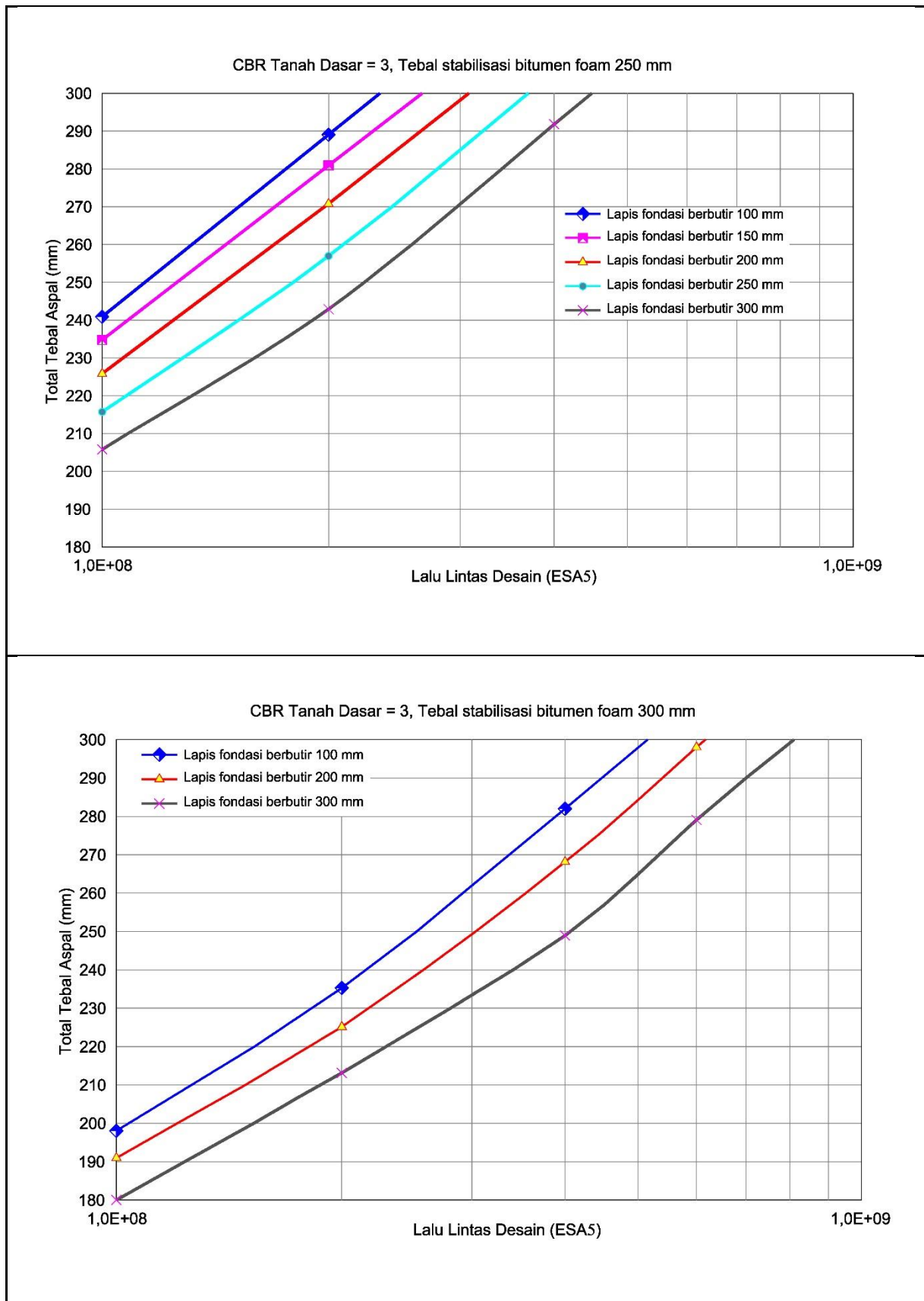


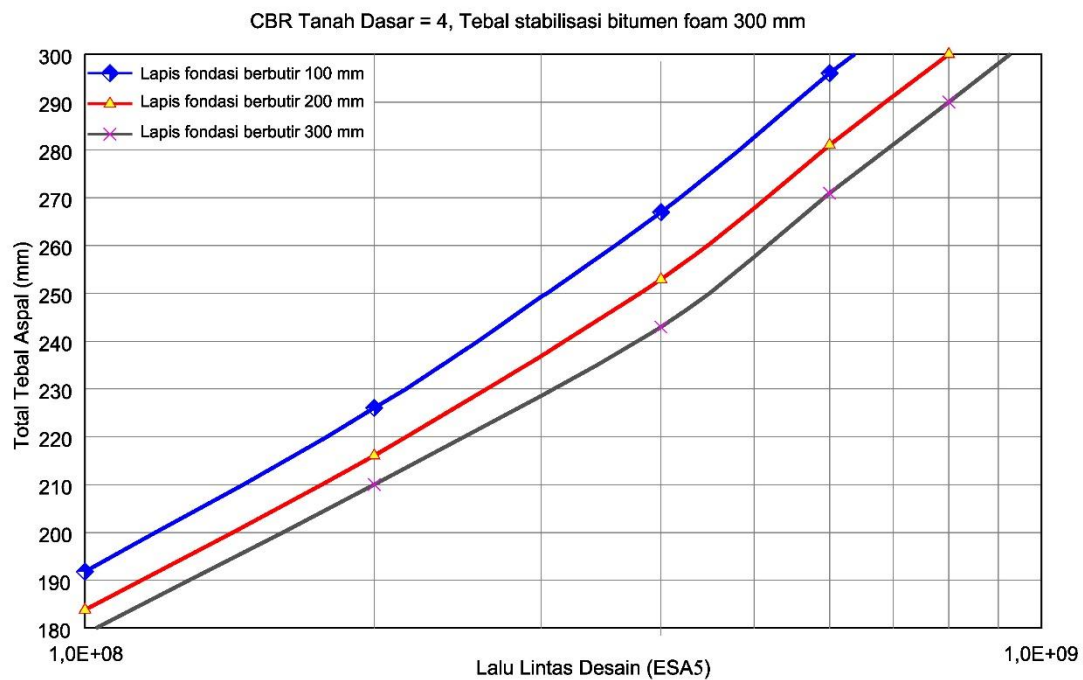
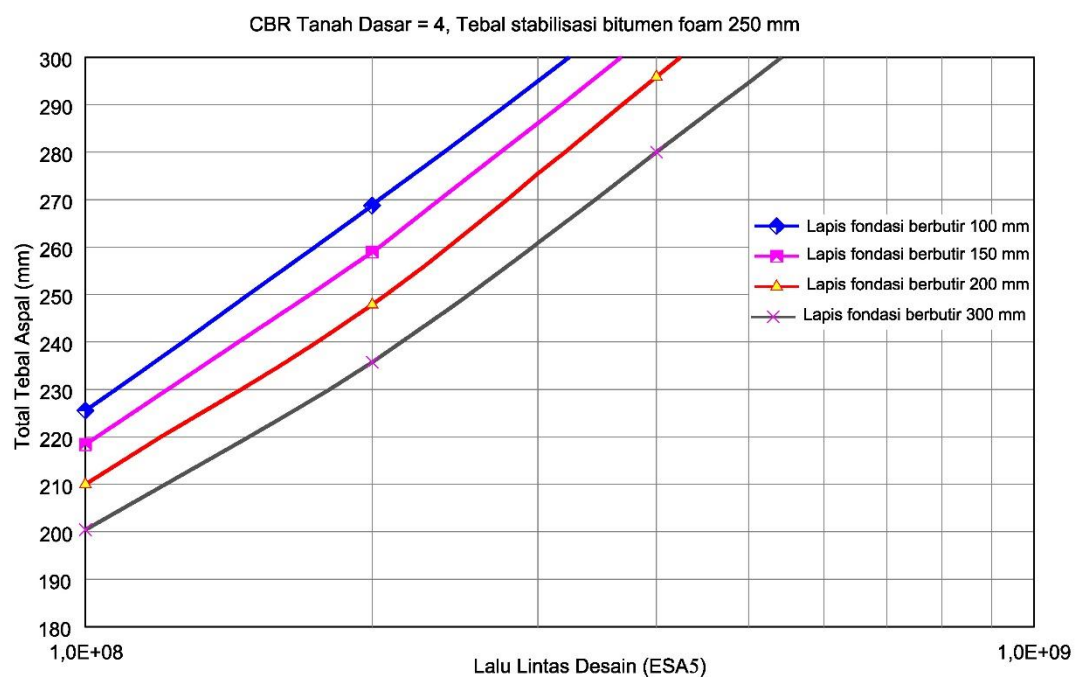


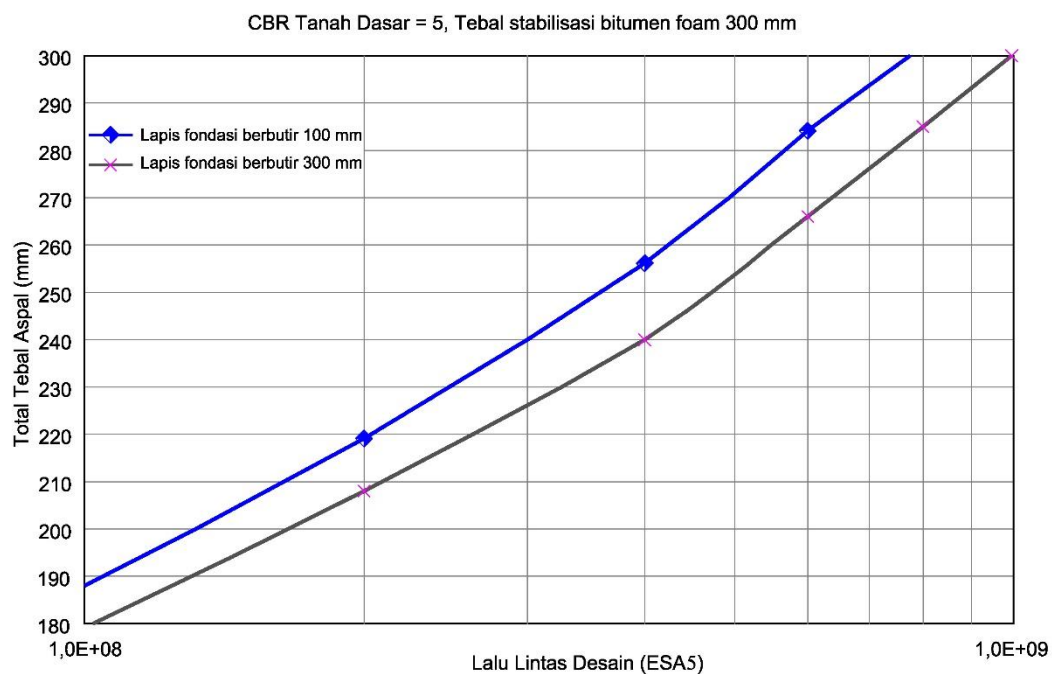
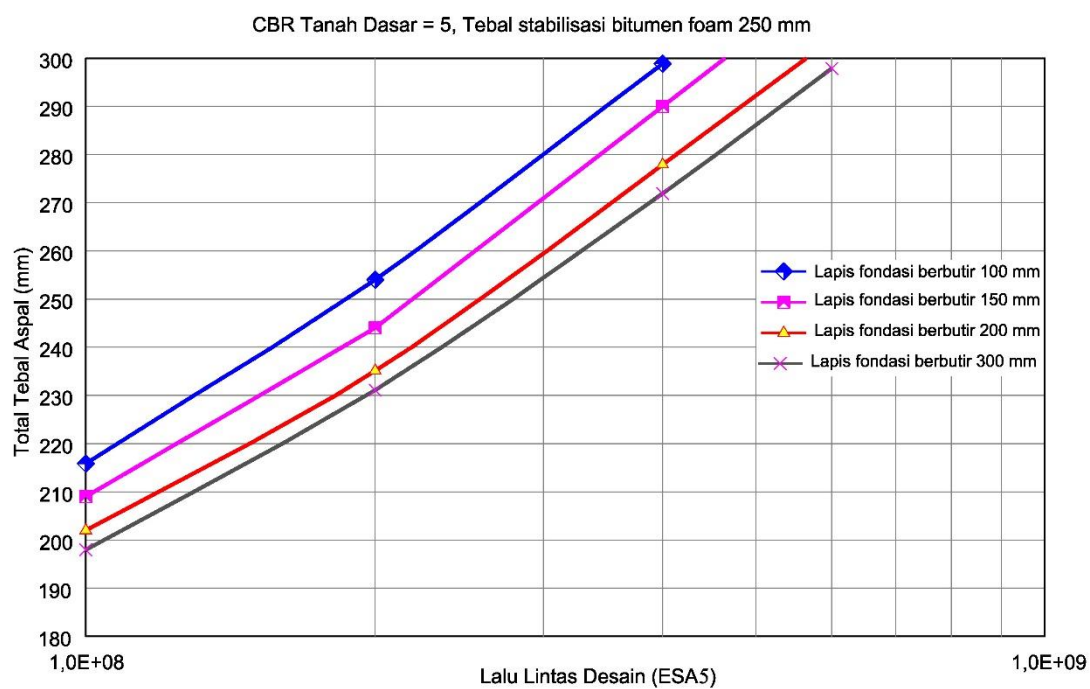




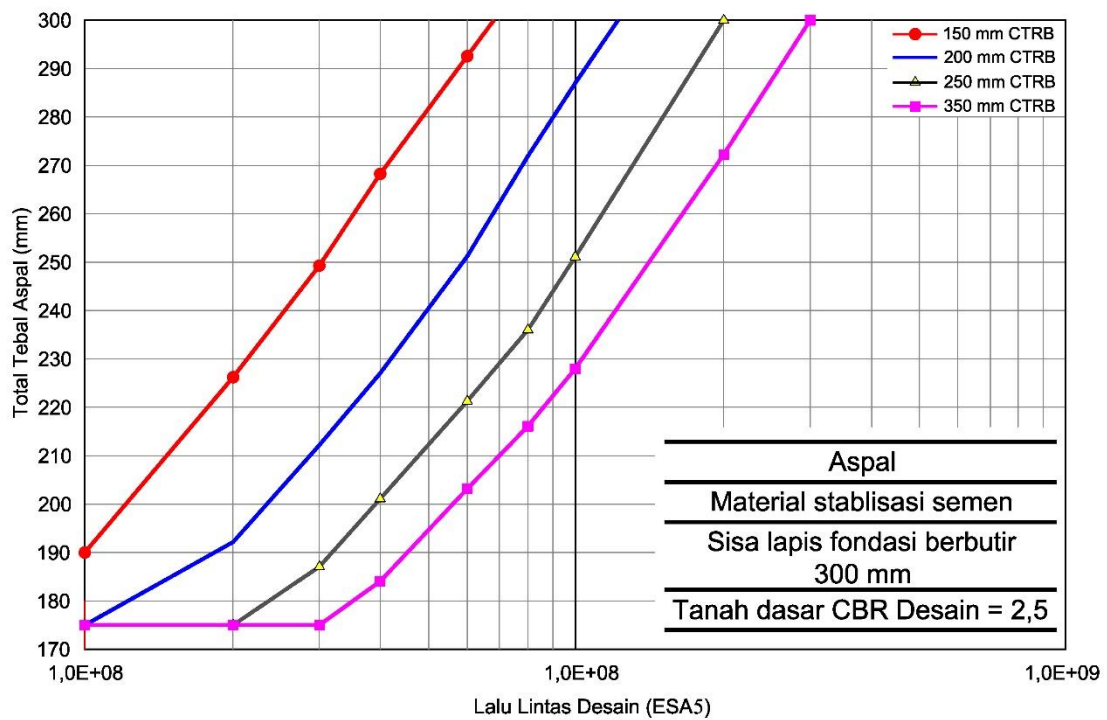
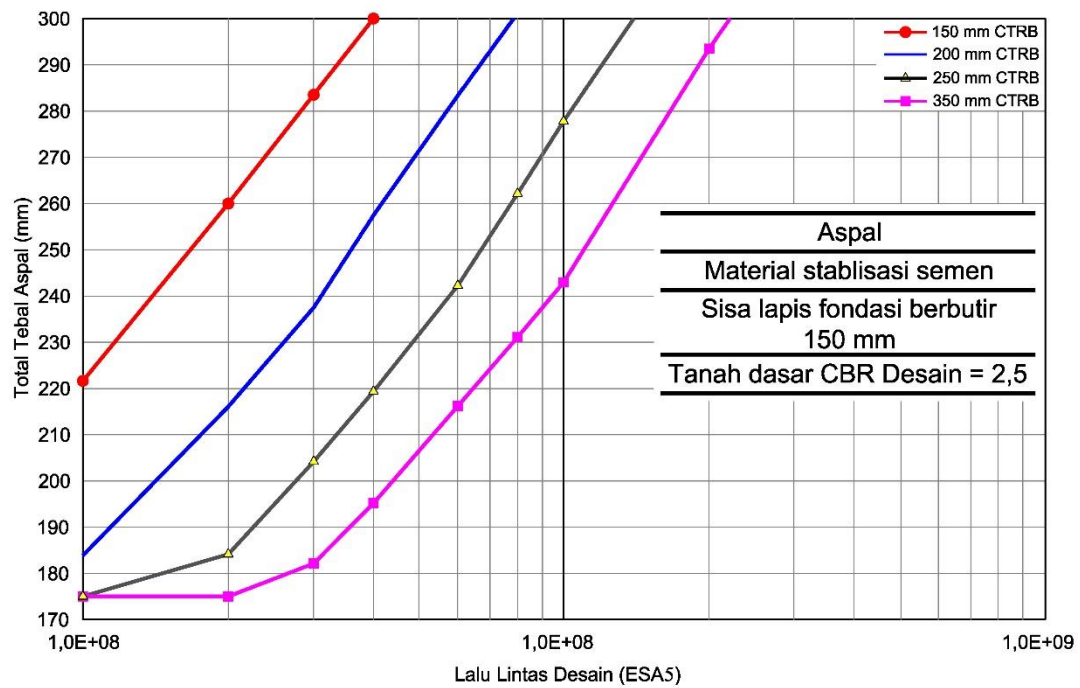
LAMPIRAN O. Bagan Desain Stabilisasi *Foam*, Lalu Lintas Desain $\geq 100 \times 10^6$ ESA5

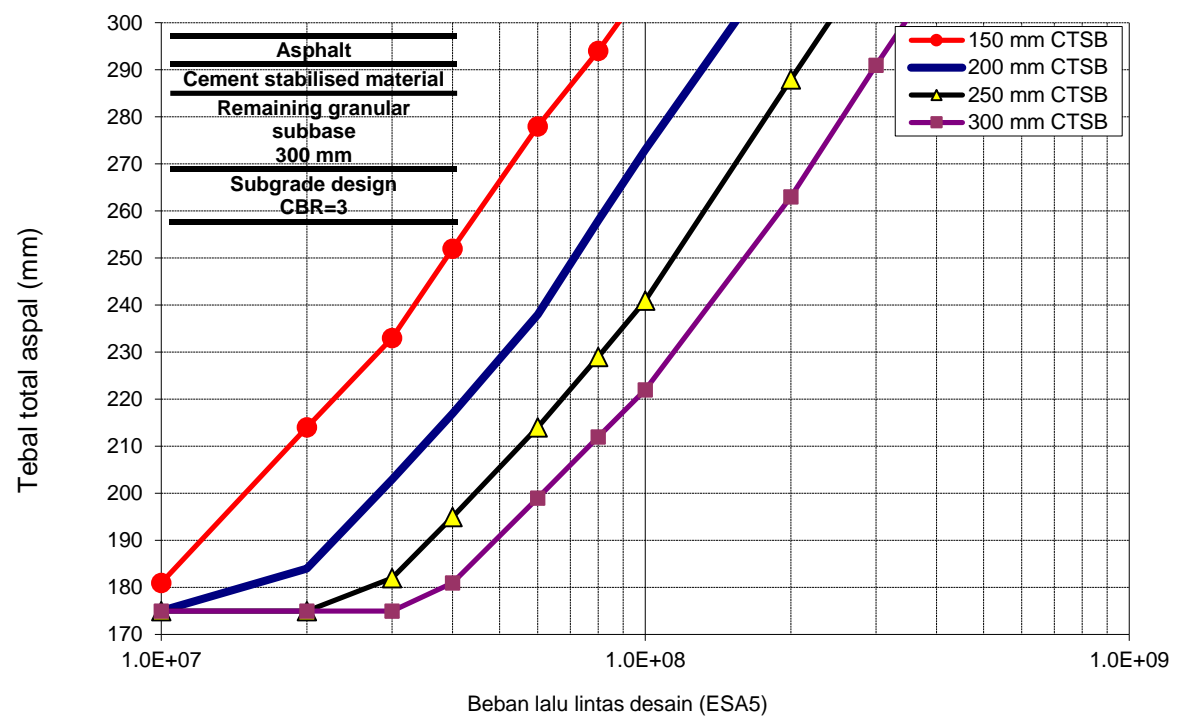
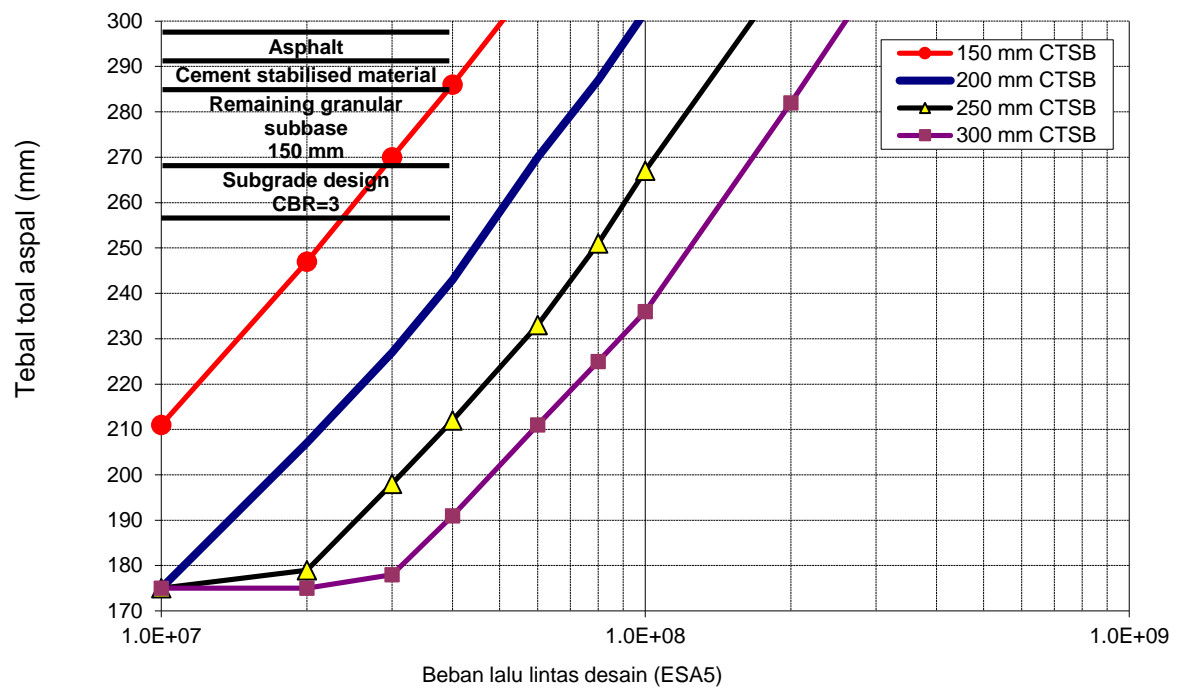


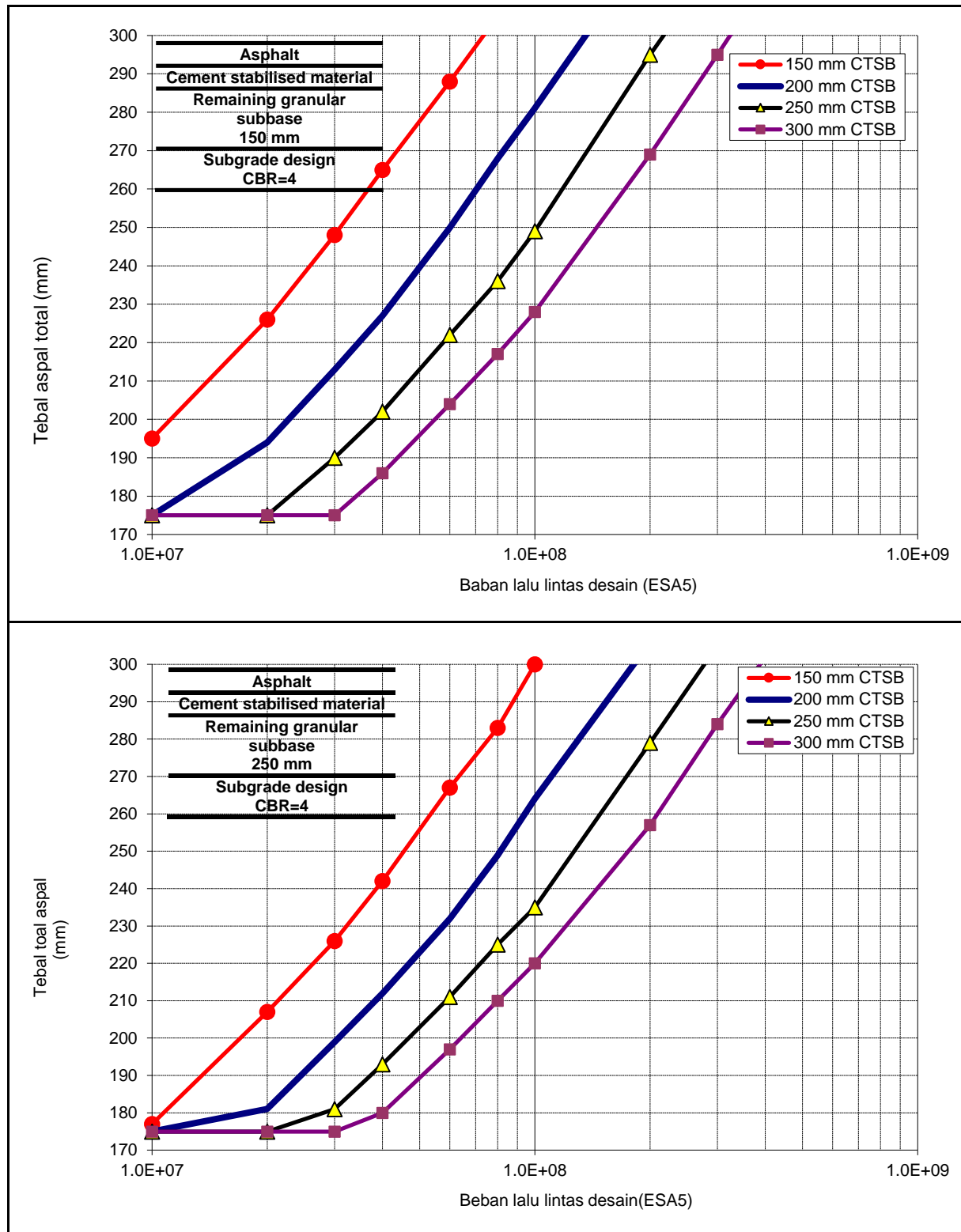


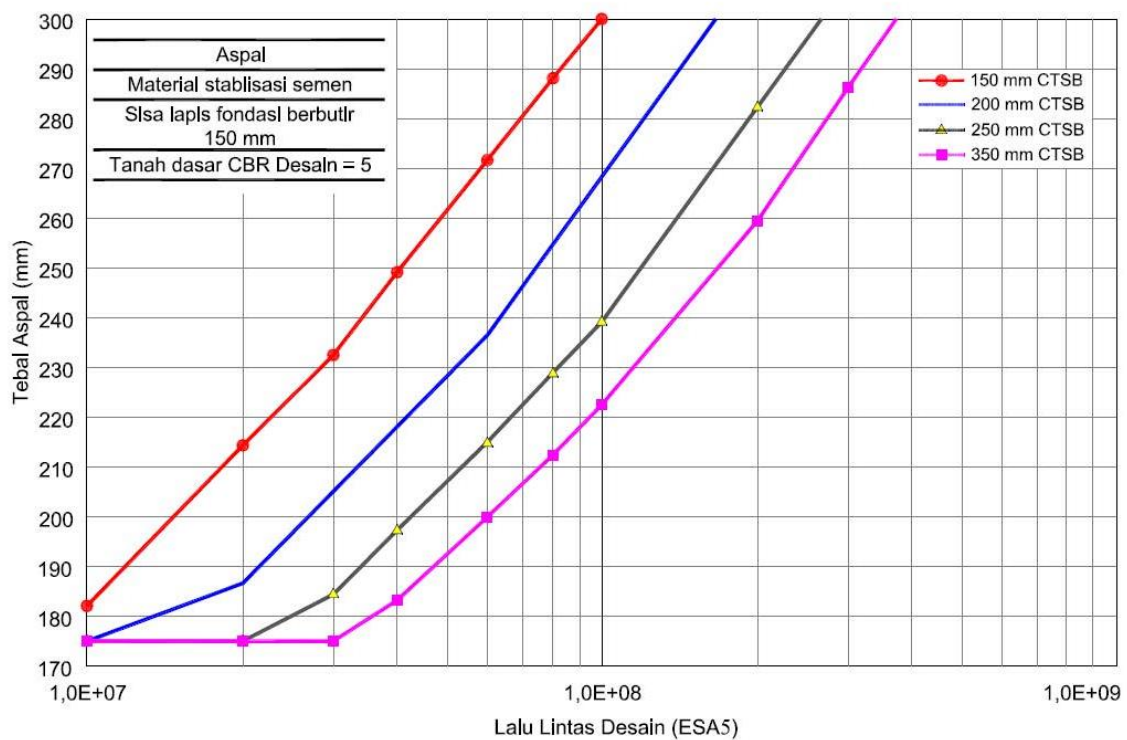
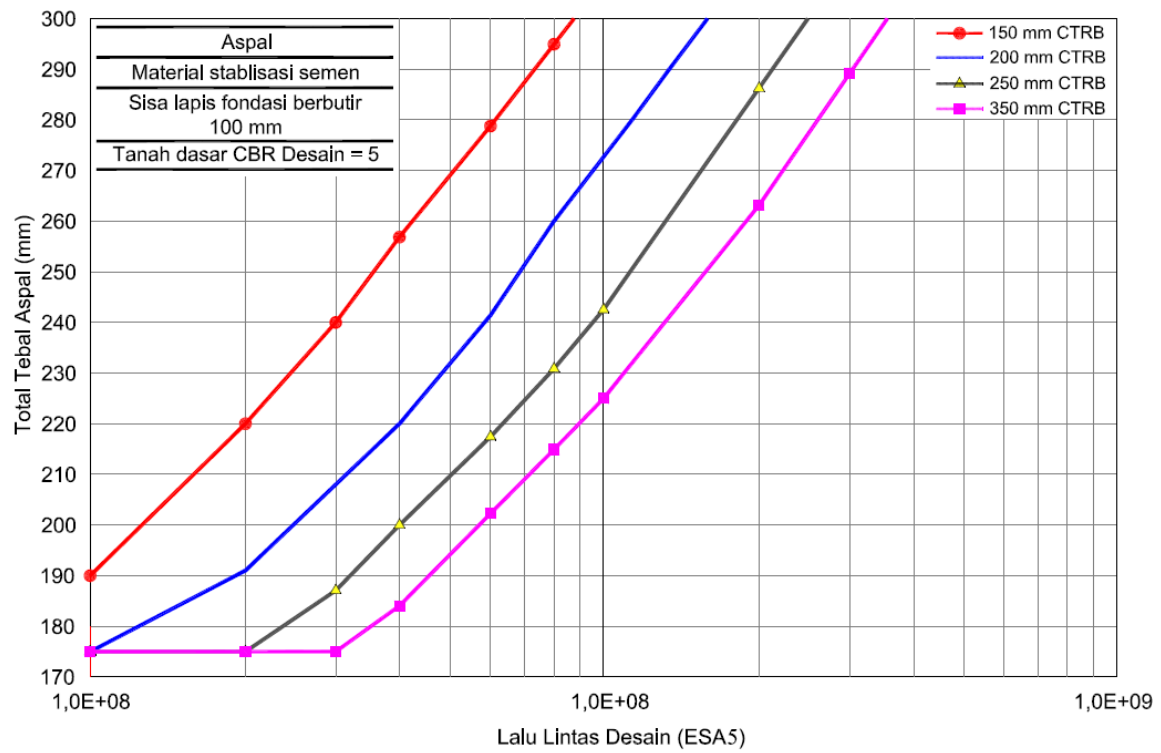


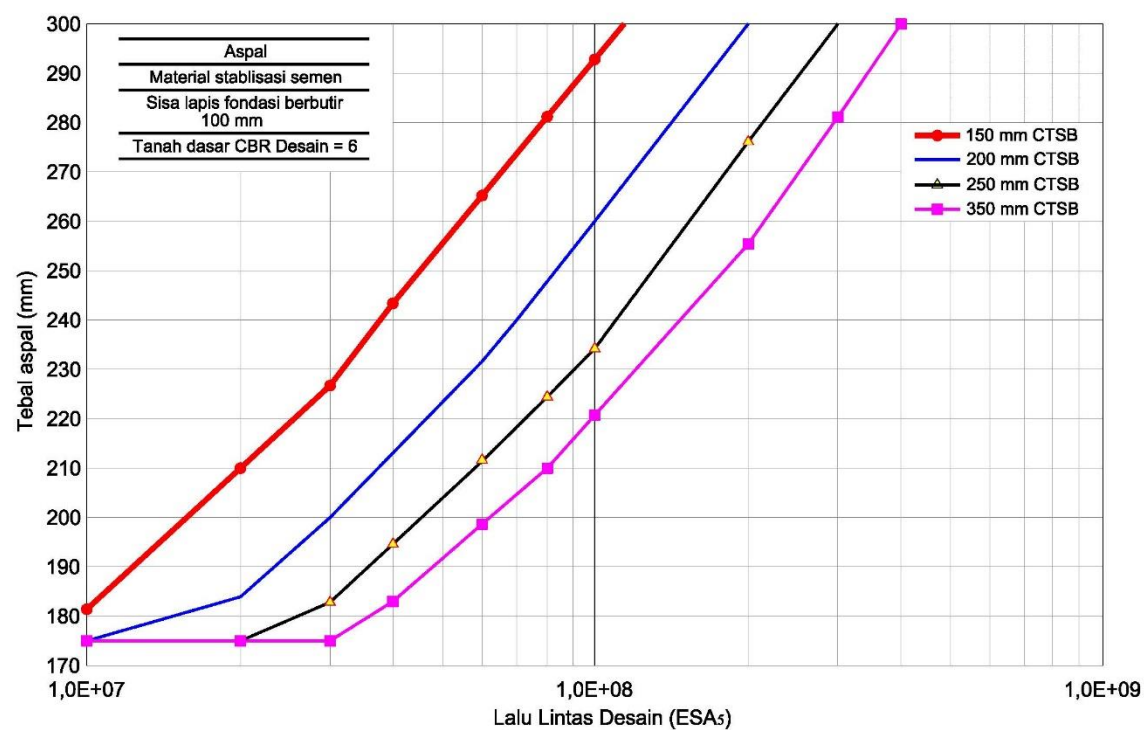
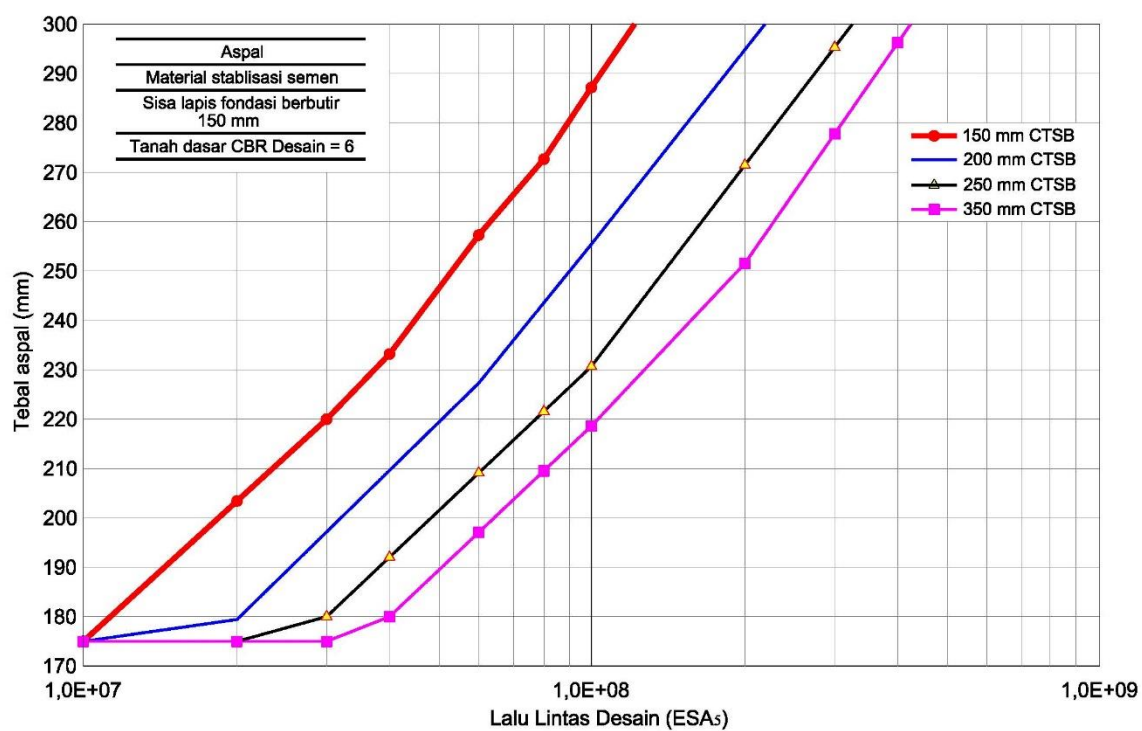
LAMPIRAN P. Bagan Desain Stabilisasi Semen











LAMPIRAN Q. Pemeliharaan Perkerasan Tanpa Penutup Aspal (Jalan Kerikil)

Jalan kerikil digunakan untuk lalu lintas rendah, sebagai penanganan sementara dan sebagai penanganan bertahap jika diprediksi akan terjadi penurunan yang besar (*settlement*) setelah konstruksi, seperti pada tanah gambut atau tanah lunak. Struktur dasar jalan kerikil terdiri atas beberapa lapisan kerikil dengan ketebalan dan kualitas tertentu, dihampar di atas tanah dasar.

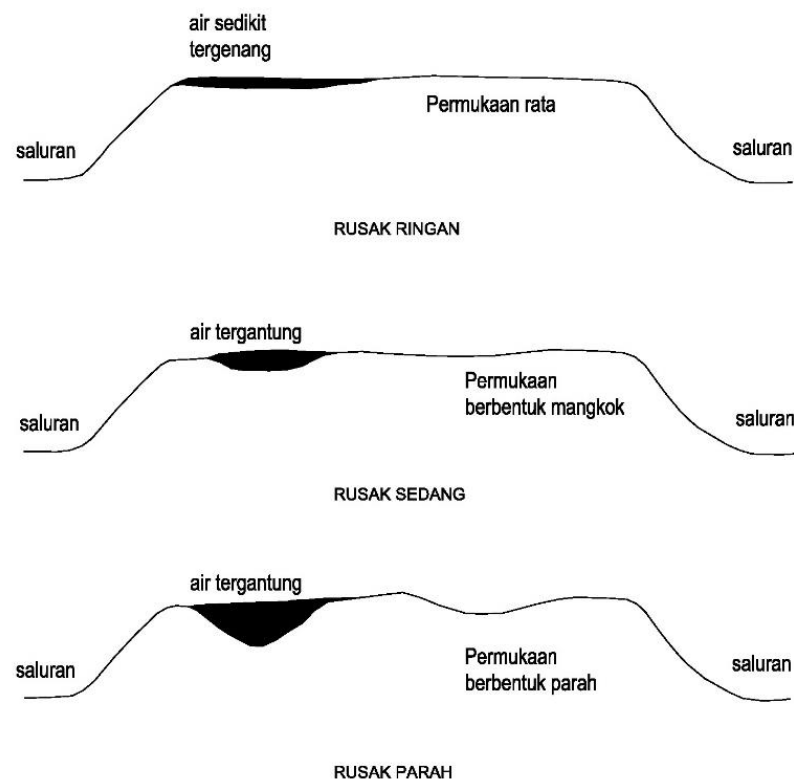
Ketebalan lapisan kerikil tergantung pada volume lalu lintas, kualitas kerikil yang digunakan, dan kekuatan tanah dasar. Secara struktur, jalan kerikil bekerja seperti perkerasan lentur. Kapasitas struktural dicapai dengan penyebaran beban. Prinsip dasar dari desain ketebalan jalan kerikil adalah untuk menyediakan ketebalan perkerasan yang cukup berdasarkan beban lalu lintas dan daya dukung tanah dasar sehingga tegangan yang mencapai tanah dasar tidak melebihi daya dukung tanah dasar. Pendekatan desain untuk jalan kerikil diuraikan dalam Bagian 1.

Perkerasan tanpa penutup aspal diperuntukkan untuk masa layan lalu lintas tidak melampaui 500.000 ESA4.

1. KERUSAKAN UMUM PERKERASAN TANPA PENUTUP ASPAL

a. Penampang melintang yang tidak benar

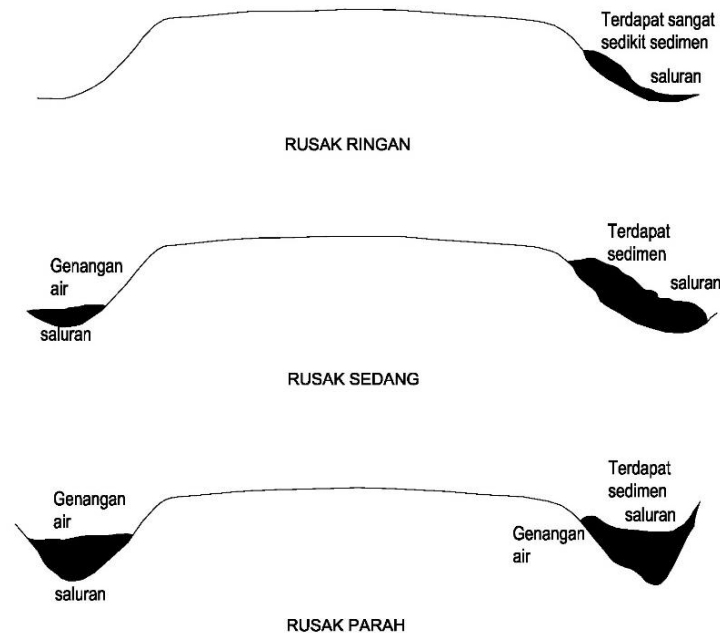
Jalan tanpa penutup aspal harus mempunyai lereng melintang yang cukup dari sumbu jalan ke bahu untuk mengalirkan seluruh air dari permukaan jalan ($> 3\%$). Penampang melintang akan rusak jika permukaan jalan tidak dibentuk atau dipelihara untuk mengalirkan air ke saluran. Pemeliharaan meliputi pembentukan kembali lereng melintang dan superelevasi dengan menggunakan motor grader, alat pemadat dan tangki air. Pengerikilan kembali (*regravelling*) mungkin diperlukan jika tebal kerikil eksisting tidak memenuhi tebal minimum yang disyaratkan.



Gambar Q.1. Penampang Melintang Tidak Benar

b. Drainase samping jalan yang tidak memadai

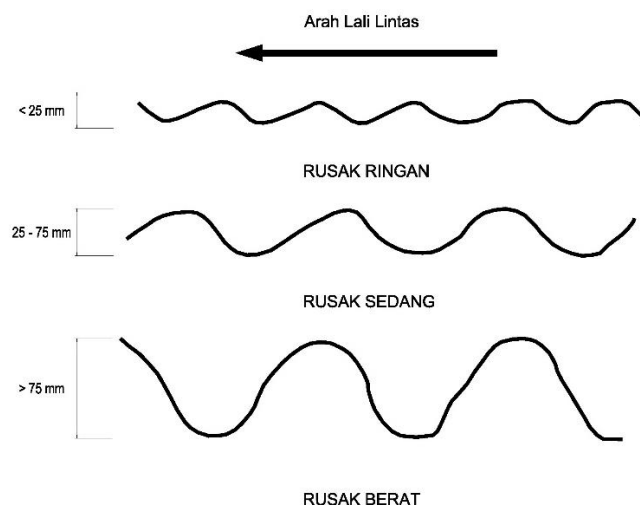
Drainase yang buruk menyebabkan kerusakan perkerasan dan erosi pada permukaan. Drainase menjadi masalah jika saluran dan gorong-gorong tidak dalam kondisi yang baik untuk mengarahkan dan mengalirkan air permukaan akibat bentuk dan pemeliharaan yang tidak benar.



Gambar Q.2. Drainase Samping Tidak Memadai

c. Keriting (*Corrugation*)

Gelombang atau keriting terbentuk dalam arah tegak lurus arah lalu lintas. Gelombang ini biasanya terjadi pada tanjakan, tikungan, daerah percepatan, pengereman, di daerah dengan tanah lunak atau berlubang. Jenis kerusakan umumnya disebabkan oleh lalu lintas dan agregat lepas, khususnya pada musim kemarau yang panjang. Pemeliharaan meliputi pembentukan kembali permukaan menggunakan motor grader, alat pemadat dan tangki air. Penanganannya umumnya dilakukan bersamaan dengan penanganan untuk mengoreksi permukaan dan memperbaiki drainase.

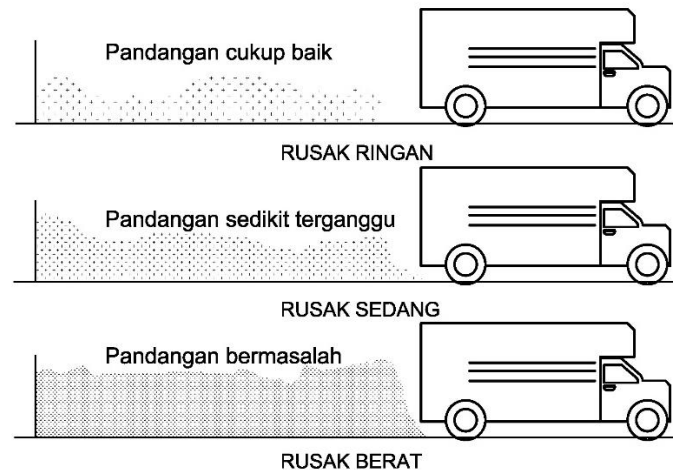


Gambar Q.3. Keriting

d. Debu

Pengausan jalan kerikil akibat lalu lintas akan melepaskan partikel besar dari tanah pengikat. Akibat lalu lintas, kepulan debu dapat membahayakan kendaraan yang melintas dan menyebabkan masalah lingkungan. Masalah ini dapat diperkecil dengan memilih kerikil untuk lapis permukaan.

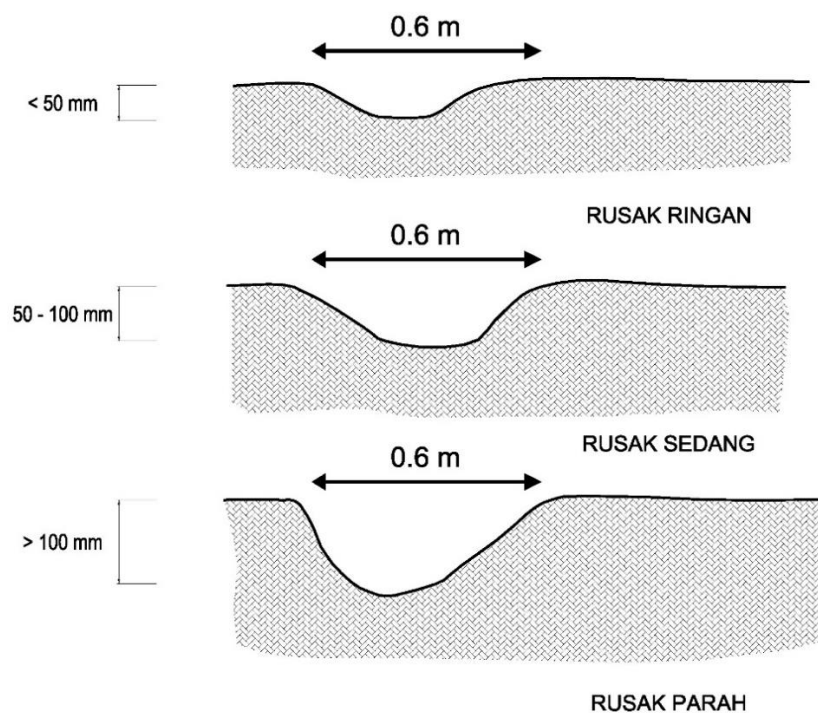
Jika volume lalu lintas mencukupi, lapis permukaan dengan laburan aspal.



Gambar Q.4. Debu

e. Lubang (Pothole)

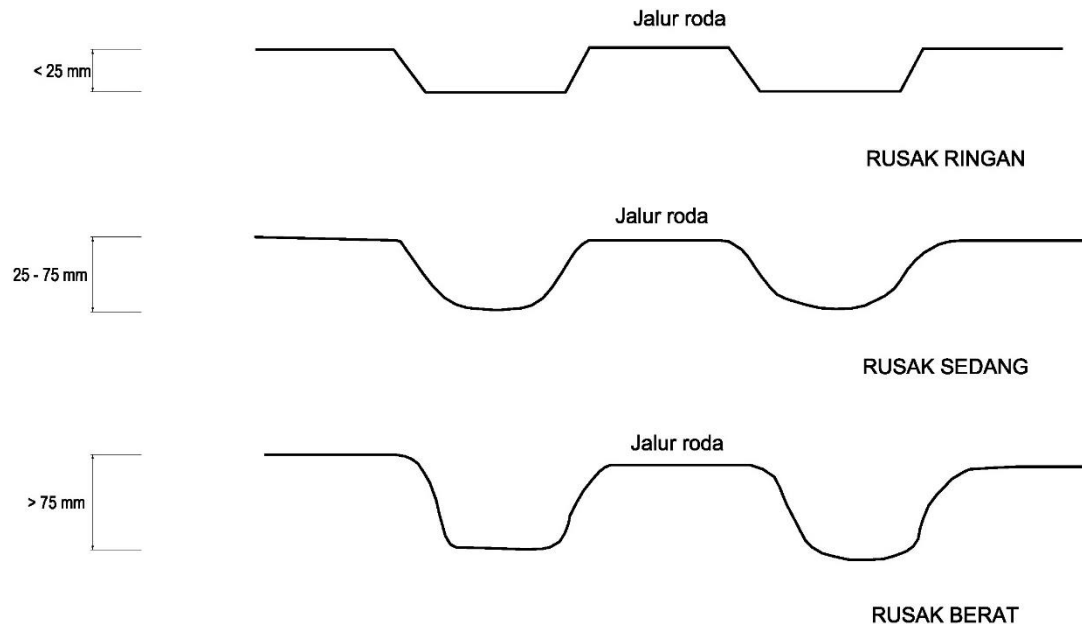
Lubang adalah lekukan berbentuk mangkuk di permukaan jalan, dengan diameter kurang dari 1 m. Lubang terbentuk karena lalu lintas mengangkat bagian-bagian kecil permukaan jalan. Lubang membesar dengan cepat jika ada genangan air didalamnya. Kemudian jalan akan berlubang ketika material permukaan mulai lepas atau tanah dasar lemah.



Gambar Q.5. Lubang

f. Alur

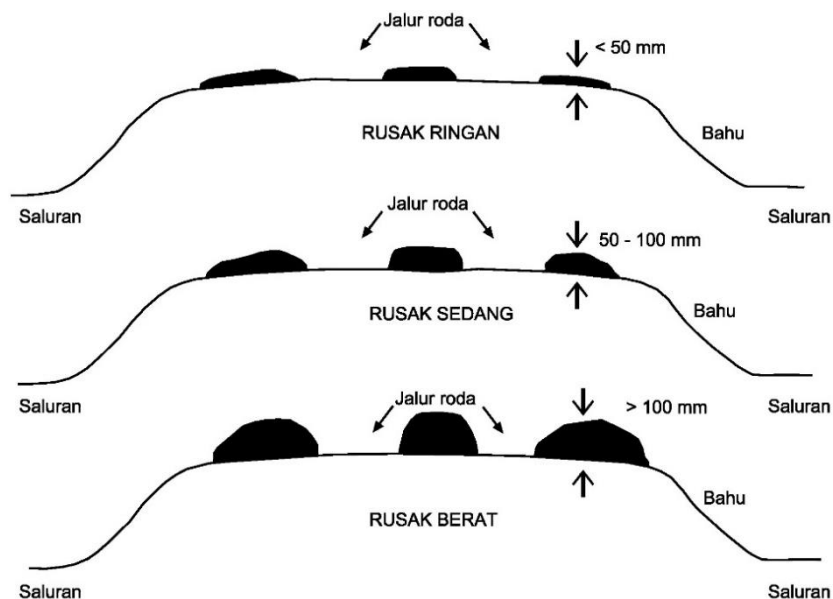
Alur adalah lekukan pada jalur roda sejajar sumbu jalan. Alur disebabkan oleh deformasi permanen pada lapisan jalan atau tanah dasar. Alur dapat terjadi karena repetisi lalu lintas kendaraan, terutama pada jalan di atas tanah lunak. Alur yang signifikan dapat merusak jalan.



Gambar Q.6. Alur

g. Agregat Lepas

Pengausan akibat lalu lintas pada jalan kerikil akan melepaskan partikel agregat dari material tanah pengikatnya. Hal ini menyebabkan agregat terlepas dari permukaan atau bahu jalan. Lalu lintas mendorong partikel agregat ini keluar dari jalur roda dan kemudian membentuk tumpukan pada tengah perkerasan atau sepanjang bahu.



Gambar Q.7. Agregat Lepas





2. PEMELIHARAAN PERKERASAN TANPA PENUTUP ASPAL (*UNSEALED*)



Pemicu dan teknik penanganan perkerasan tanpa penutup aspal dapat mengikuti ketentuan pada Tabel P.1. Kegiatan utama meliputi pembentukan kembali permukaan jalan, bahu dan saluran tepi, dengan perataan (*grading*) pengerikilan dan pemadatan kembali permukaan jalan.

Tabel Q.1. Pemeliharaan Perkerasan Tanpa Penutup Aspal

Kondisi Perkerasan	Nilai Kondisi	Kategori Penanganan	Kurva Kerusakan Perkerasan	Teknik Penanganan Tipikal
Sangat Baik	100 90	Tidak Membutuhkan penanganan		Membutuhkan penanganan kecil. Penggarukan/penggemburan rutin (blading).
Baik	80 70	Pemeliharaan Rutin/Preventif		Penggarukan/penggemburan rutin (blading), pemotongan area keriting dan penghamparan kembali kerikil jika terdapat air.
Sedang	60 50	Pemeliharaan Berat		Penggemburan permukaan untuk mengeliminasi keriting dan saluran sekunder. Pembersihan saluran dan gorong-gorong.
Rusak	40 30 20	Rehabilitasi		Pembentukan kembali permukaan dan bahu jalan. Penempatan lapis agregat baru. Rekonstruksi saluran utama dan pemeliharaan gorong-gorong.
Rusak Berat	10 0	Rekonstruksi		Rekonstruksi keseluruhan.

Nilai kondisi jalan kerikil:

Nilai Kondisi	Kerusakan yang tampak dan Kondisi Jalan secara Keseluruhan	Gambar
100 – 81 Sangat Baik	<ul style="list-style-type: none"> • Permukaan jalan dalam kondisi sangat baik dengan kualitas berkendara sangat baik. • Ketebalan kerikil baik, dan drainase juga baik. • Tidak ada kerusakan, dengan pengecualian tetap terdapat debu pada kondisi kering. 	
80 – 61 Baik	<ul style="list-style-type: none"> • Ketebalan kerikil cukup, lereng melintang perkerasan cukup baik, dan drainase dalam kondisi baik. • Terdapat sedikit agregat lepas dan sedikit keriting. • Terdapat alur kecil (< 25 mm) pada beberapa area selama musim hujan. 	
60 – 41 Sedang	<ul style="list-style-type: none"> • Kemiringan baik 75 – 150 mm. • Saluran utama terdapat pada 50% panjang jalan. • Dibutuhkan pembersihan gorong – gorong. • Saluran sekunder mulai muncul sepanjang garis bahu. • Lapisan kerikil cukup baik, namun penambahan agregat dibutuhkan pada beberapa area. • Keriting medium (kedalaman 25 – 50 mm) hampir 10-25% luas area. • Alur sedang (kedalaman 25 – 50 mm) terutama pada musim basah. • Lubang kecil mulai muncul (kedalaman < 50 mm). • Terdapat agregat lepas (kedalaman 50 mm). 	 

Nilai Kondisi	Kerusakan yang tampak dan Kondisi Jalan secara Keseluruhan	Gambar
40 – 21 Rusak	<ul style="list-style-type: none"> • Berkendara harus dalam kecepatan rendah (< 40 km/jam). • Lereng melintang jalan kecil atau tidak ada (< 75 mm). • Saluran utama yang baik kurang dari 50% panjang jalan. • Saluran sekunder dalam terdapat lebih dari 50% panjang jalan. • Terdapat area (lebih dari 25%) dengan agregat sedikit atau tidak ada agregat. • Gorong – gorong sebagian tertutup sedimen. • Keriting cukup parah (kedalaman > 75 mm) lebih dari 25% luas area jalan. • Alur cukup parah (> 75 mm pada 10 - 25% luas area selama musim hujan). • Lubang sedang (kedalaman 50 – 100 mm, lebih dari 10 – 25% luas area jalan). • Agregat lepas cukup parah (> 100 mm). 	
20 – 0 Rusak Berat	<ul style="list-style-type: none"> • Berkendara di atas jalan sangat sulit. • Tidak ada lereng melintang jalan, atau jalan berbentuk mangkok dengan genangan besar. • Saluran utama tidak ada. • Saluran sekunder dalam muncul hampir sepanjang jalan. • Gorong – gorong rusak atau diisi sedimen. • Alur banyak (> 75 mm lebih dari 25% area selama musim hujan). • Lubang banyak (kedalaman > 100 mm, lebih dari 25% luas area jalan). 	

Nilai Kondisi	Kerusakan yang tampak dan Kondisi Jalan secara Keseluruhan	Gambar
	<ul style="list-style-type: none"> Banyak area (> 25%) dengan sedikit atau tanpa agregat. 	

Untuk jalan kerikil, kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan per minggu, setiap beberapa minggu, atau setiap beberapa bulan. Berikut frekuensi pemeliharaan jalan kerikil yang disarankan:

Tabel Q.2. Frekuensi Pemeliharaan Perkerasan Tanpa Penutup Aspal

Lintas Harian Rata – Rata Truk (truk/hari 2 arah)	Medan	Frekuensi Pengerikilan Kembali (<i>regraveling</i>) tahun	Frekuensi Perataan (<i>blading</i>) bulan
Tinggi	Datar	4	4
	Berbukit	5	4
	Pegunungan	4	4
Sedang	Datar	7	3
	Berbukit	7	3
	Pegunungan	6	3
Rendah	Datar	5	2
	Berbukit	7	2
	Pegunungan	6	2



Penyusunan dan publikasi manual ini didukung oleh Pemerintah Australia

