



Manual Desain Perkerasan Jalan

No. 03/M/BM/2024

2024





KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jalan Pattimura Nomor 20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12110, Telepon (021)-7203165, Faksimili (021) 7393938

Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga;
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga;
3. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional di Direktorat Jenderal Bina Marga;
4. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga.

SURAT EDARAN
NOMOR: 15 /SE/Db/2024
TENTANG
MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2024

A. Umum

Manual Desain Perkerasan (MDP) menjadi panduan bagi perencana teknis jalan di Indonesia sejak edisi pertama tahun 2013. MDP diperbarui untuk menyesuaikan dengan perkembangan teknologi perkerasan jalan dan ketersediaan material. MDP 2024 menggantikan edisi tahun 2017 untuk menyelaraskan MDP dan Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan, serta mengintegrasikan beberapa pedoman teknis terkait dengan perencanaan teknis atau perancangan perkerasan jalan, preservasi perkerasan jalan dengan memperhatikan daya dukung tanah dasar, serta pembaharuan nilai parameter karakteristik material lokal.

MDP 2024 menggunakan pendekatan mekanistik empirik dalam perancangan perkerasan lentur dengan keluaran berupa katalog struktur. Perancangan perkerasan kaku dalam MDP 2024 menggunakan metode mekanistik empirik dari *Portland Cement Association*. Pada perancangan perkerasan kaku, analisis struktur perkerasan dengan perangkat lunak seperti SDPJ (*Software Design Perkerasan Jalan*) disarankan, dengan tambahan desain rehabilitasi. Referensi pada pedoman AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures* (1993) dan *Austrroads AGPT02-17* diadopsi sebagai pertimbangan validitas dan keamanan.

Berdasarkan uraian perkembangan tersebut, perlu menetapkan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga tentang Manual Desain Perkerasan Jalan 2024.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 12, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6760);

2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
3. Peraturan Presiden Nomor 27 Tahun 2020 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 40) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Presiden Nomor 24 Tahun 2024 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 27 Tahun 2020 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 37);
4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 473) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 11 Tahun 2022 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 1382);
5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2023 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 372);
6. Surat Perintah Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 03/SPRIN/M/2024.

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai panduan bagi seluruh pihak yang terlibat dalam perancangan dan pelaksanaan perkerasan jalan di Indonesia sebagai pembaruan terhadap Manual Desain Perkerasan (MDP) Jalan 2017. Surat Edaran ini bertujuan untuk menentukan parameter perancangan dan pelaksanaan perkerasan jalan serta menetapkan prosedur perancangan struktur perkerasan baru dan rehabilitasi baik pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku sehingga sesuai dengan umur layan (*service life*) yang ditetapkan.

D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran ini meliputi:

1. Bagian I mencakup 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.
2. Bagian II mencakup desain untuk rehabilitasi dan rekonstruksi perkerasan jalan.

E. Ketentuan Pengaturan

Dalam Surat Edaran ini mengubah beberapa ketentuan dalam Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 04/SE/Db/2017 tentang Penyampaian Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi 2017 di Direktorat

Jenderal Bina Marga dan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 18/SE/Db/2020 tentang Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017, yaitu:

1. Bagian I:

- a. Istilah *capping layer* dihilangkan karena merupakan nama fungsi material. Pada MDP Bagian I ini, istilahnya menjadi timbunan pilihan berbutir kasar dengan minimum CBR 30%, PI (6-15) dengan ukuran agregat maksimum 50 mm (seperti material sirtu) atau dapat menggunakan LFA Kelas C.
- b. Penangan tanah problematik dengan ketebalan di atas 1 m direkomendasikan dianalisis secara geoteknik.
- c. Perhitungan volume lalu lintas untuk kebutuhan desain lalu lintas rencana tidak mempertimbangkan batasan Rasio Volume Kapasitas (RVK).
- d. Pada MDP ini, untuk keberfungsian drainase bawah permukaan sudah dibuatkan opsi tipikal konstruksi lapisan drainase beserta *outletnya* baik di daerah galian maupun timbunan.
- e. Nilai reliabilitas yang digunakan baik untuk desain struktur perkerasan baru maupun untuk desain rehabilitasi adalah 90%.
- f. Bagan Desain katalog perkerasan lentur juga telah diubah dan ketebalannya disesuaikan dengan kemampuan alat pemadat pada setiap lapisan.
- g. Untuk lalu lintas rencana ESAL >30 juta direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 (*System Performance Grade, PG*).
- h. Bagan Desain-4 diubah menjadi Bagan Desain-11, untuk perkerasan kaku diubah isinya menjadi kriteria, spesifikasi, dan mutu bahan desain perkerasan kaku untuk lalu lintas berat.
- i. Untuk desain perkerasan kaku mengacu pada Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003 dengan dilengkapi formula dari pedoman *Austroads* AGPT02-2017.
- j. Bagan Desain-4A diubah menjadi Bagan Desain-8A untuk perkerasan kaku pada jalan dengan beban lalu lintas rendah yang mengacu pada SNI 8457:2017.

2. Bagian II:

- a. Uraian detail desain tebal lapis tambah pada beberapa jenis perkerasan.
- b. Prosedur tebal lapis tambah perkerasan lentur untuk lalu lintas rencana >10 juta ESA dan untuk lapis tambah perkerasan kaku dengan aspal serta perkerasan komposit merujuk pada Buku AASHTO 1993. Pada Bagian 2 Buku MDP 2024 ini diuraikan lebih detail, termasuk ekuivalen beban sumbu untuk perkerasan lentur ditetapkan menggunakan SN sebesar 5 dan untuk perkerasan kaku dengan D sebesar 10 inci sesuai AASHTO 1993 (*Guide for Design of Pavement Structures*) dan IPT yang digunakan sebesar 2,5. Selain itu, diuraikan lebih detail untuk VDF masing-masing kelas kendaraan.
- c. Tipe sumbu kendaraan yang tidak terdapat pada buku AASHTO 1993, pada buku Manual ini mengacu pada formula ekuivalen beban sumbu metode *Austroad*.

- d. Prosedur tebal lapis tambah lapis beton semen di atas perkerasan lentur merujuk pada metoda *Austrroads* AGPT05-19 yang dimodifikasi.
- e. Lampiran mengenai level desain pemicu penanganan tidak disertakan pada dokumen MDP ini.

Ketentuan lebih rinci mengenai Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 dimuat dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

F. Penutup

Pada saat Surat Edaran ini mulai berlaku, Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 04/SE/Db/2017 tentang Penyampaian Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi 2017 di Direktorat Jenderal Bina Marga dan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 18/SE/Db/2020 tentang Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 dicabut dan dinyatakan tidak berlaku.

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian Surat Edaran ini untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya. Atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
3. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal 14 Mei 2024

PLT. DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,



HEDY RAHADIAN

NIP 19640314 199003 1 002

PRAKATA

Manual Desain Perkerasan (MDP) diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBM) sebagai rujukan utama bagi pengelola dan perencana teknis jalan yang terlibat dalam perencanaan teknis perkerasan untuk semua jalan di Indonesia. Edisi pertama MDP diterbitkan pada tahun 2013 yang kemudian senantiasa ditinjau dan diperbarui dari waktu ke waktu melalui penerbitan suplemen atau pembaruan edisi untuk mengakomodasi perkembangan terbaru di bidang perkerasan jalan dan mempertimbangkan terhadap ketersediaan material.

MDP 2024 diterbitkan sebagai pengganti edisi sebelumnya (MDP dan Suplemen MDP 2017) dengan tujuan untuk:

1. menelaraskan manual perencanaan dengan spesifikasi pelaksanaan konstruksi;
2. menyatukan dan menelaraskan Manual dengan berbagai Pedoman di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang terkait dengan perencanaan perkerasan yang tersebar dalam beberapa penerbitan terpisah;
3. meningkatkan kinerja perkerasan dengan memberikan perhatian lebih pada preservasi daya dukung tanah dasar melalui perbaikan tanah dasar dan drainase perkerasan; dan
4. menyesuaikan masukan parameter karakteristik material lokal.

Selain itu, perubahan yang ada pada Manual ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Istilah *capping layer* dihilangkan karena merupakan nama fungsi material. Pada MDP Bagian I ini, istilahnya menjadi timbunan pilihan berbutir kasar dengan minimum CBR 30%, PI (6-15) dengan ukuran agregat maksimum 50 mm (seperti material sirtu) atau dapat menggunakan LFA Kelas C.
2. Penanganan tanah problematik dengan ketebalan di atas 1 m direkomendasikan dianalisis secara geoteknik.
3. Perhitungan volume lalu lintas untuk kebutuhan desain beban lalu lintas rencana tidak mempertimbangkan batasan Rasio Volume Kapasitas (RVK).
4. Pada MDP ini, untuk keberfungsian drainase bawah permukaan sudah dibuatkan opsi tipikal konstruksi lapisan drainase beserta *outletnya* baik di daerah galian maupun timbunan.
5. Nilai reliabilitas yang digunakan baik untuk desain struktur perkerasan baru maupun untuk desain rehabilitasi adalah 90%.
6. Bagan Desain katalog perkerasan lentur juga telah diubah dan ketebalannya disesuaikan dengan kemampuan alat pemadat pada setiap lapisan.
7. Untuk lalu lintas rencana ESAL >30 juta direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 (*System Performance Grade*, PG).
8. Bagan Desain-4 diubah menjadi Bagan Desain-8, untuk perkerasan kaku diubah isinya menjadi kriteria, spesifikasi, mutu bahan desain perkerasan kaku untuk lalu lintas berat.
9. Untuk desain perkerasan kaku mengacu Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003 dengan dilengkapi formula dari pedoman *Austroads* AGPT02-2017
10. Bagan Desain-4A diubah menjadi Bagan Desain-8A untuk perkerasan kaku pada jalan dengan beban lalu lintas rendah yang mengacu pada SNI 8457: 2017.
11. Uraian detail desain tebal lapis tambah pada beberapa jenis perkerasan.

12. Prosedur tebal lapis tambah perkerasan lentur untuk lalu lintas rencana > 10 juta ESA dan untuk lapis tambah perkerasan kaku dengan aspal serta perkerasan komposit merujuk pada Buku AASHTO 1993. Pada Bagian 2 Buku MDP ini diuraikan lebih detail, termasuk ekuivalen beban sumbu untuk perkerasan lentur ditetapkan menggunakan SN sebesar 5 dan untuk perkerasan kaku dengan D sebesar 10 inci sesuai AASHTO 1993 (*Guide for Design of Pavement Structures*) dan IPt yang digunakan sebesar 2,5. Selain itu, diuraikan lebih detail untuk VDF masing-masing kelas kendaraan.
13. Tipe sumbu kendaraan yang tidak terdapat pada buku AASHTO 1993, pada buku Manual ini mengacu pada formula ekuivalen beban sumbu metode *Austroads*.
14. Prosedur tebal lapis tambah lapis beton semen di atas perkerasan lentur merujuk pada metode *Austroads* AGPT05-19 yang dimodifikasi.
15. Lampiran mengenai level desain pemicu penanganan tidak disertakan pada dokumen MDP ini.

Untuk desain perkerasan jalan baru, pendekatan desain struktur perkerasan lentur yang direkomendasikan dalam MDP menggunakan metode analisis mekanistik empirik, melalui penyeragaman target rencana daya dukung tanah dasar, keluarannya disajikan dalam bentuk katalog struktur perkerasan yang dirancang berdasarkan karakteristik, parameter material, dan respon struktur perkerasan terhadap beban rencana tertentu.

Pada proyek yang memerlukan persyaratan khusus, analisis mekanistik multi lapisan dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak dengan model mekanistik yang sama sesuai rekomendasi manual ini dan dengan input parameter spesifik dari proyek yang bersangkutan.

Desain perkerasan beton jalan baru mengacu pada *Portland Cement Association* yang juga menggunakan metode mekanistik empirik di mana analisis tegangan tarik akibat repetisi beban pada tepi pelat dan lendutan akibat beban pada sudut pelat perkerasan beton masing-masing dihubungkan secara empirik dengan kegagalan lelah (*fatigue*) dan kegagalan erosi.

Banyaknya parameter desain pada perkerasan kaku menyebabkan penggunaan katalog menjadi tidak praktis lagi. Oleh sebab itu, untuk perkerasan kaku, disarankan untuk menggunakan analisis struktur perkerasan dengan perangkat lunak seperti SDPJ versi terakhir yang dirancang sesuai dengan prosedur dalam MDP.

Mengantisipasi kebutuhan penggunaan perkerasan beton semen sebagai alternatif yang semakin kompetitif, penambahan utama pada manual ini adalah dimasukkannya desain rehabilitasi berupa lapis tambah yang melibatkan perkerasan kaku seperti lapis tambah perkerasan lentur di atas perkerasan kaku dan perkerasan kaku di atas perkerasan lentur. AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures* (1993) dan *Austroads* AGPT02-17 digunakan sebagai acuan atas pertimbangan validitas dan keamanan.

Penyusunan MDP ini dilaksanakan oleh tim penyusun melalui serangkaian diskusi dan konsultasi dengan para pakar dari perguruan tinggi dan praktisi profesional yang berpengalaman serta ahli di bidangnya masing-masing. Masukan dan komentar yang diterima dari berbagai pihak telah dipertimbangkan dengan hati-hati dan dimasukkan ke dalam manual ini jika dipandang relevan dan diperlukan.

Semua komentar dan masukan mengenai Manual ini dapat disampaikan kepada Direktorat Jenderal Bina Marga melalui Kepala Balai Perkerasan dan Lingkungan Jalan, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan.

Jakarta, 14 Mei 2024

Plt. Direktur Jenderal Bina Marga,



Hedy Rahadian

SALINAN

10 2/2

PENYUSUN HARMONISASI MDP 2024

Tim Penyusun:

Neni Kusnianti, S.T., M.T.
Ir. Yudha Handita Pandjiriawan, M.T., M.B.A.
Dr. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
Ir. Nono, M.Eng.Sc.
Dzakiiyyul Fahmi, S.T., M.T.
Erwin Chairil Anwar, S.T., M.T.
Arthika Putri Syahfani, S.T., M.T.
Maulana Rafiq Ramdhan, S.T.
Tiffany Kurniawati, A.Md.
Bramanthyo Ario Putra, S.T.

Narasumber:

Dr. Kemas Ahmad Zamhari, M.Sc.
Ir. Purnomo
Ir. Agus Wardono
Dr. Ignatius Agung Wibowo

Tim Reviu:

Ir. Wardhani Sartono, M.Sc.
Ir. Latif Budi Suparma, M.Sc., Ph.D.
Ir. Suprpto Siswosukarto, Ph.D.
Neil Andika, S.T., M.Sc., Ph.D.
Taqia Rahman, S.T., M.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Djunaedi Kosasih, M.Sc.
Dr. Eri Susanto Hariyadi, S.T., M.T.
Dr. Harmein Rahman, S.T., M.T.
Prof. Dr. Ir. Sigit Pranowo Hadiwardoyo, DEA.

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
PENYUSUN HARMONISASI MDP 2024	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR BAGAN DESAIN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAGIAN 1 – STRUKTUR PERKERASAN BARU	
1. PENDAHULUAN	1-1
1.1 Ruang Lingkup	1-1
1.2 Pertimbangan Desain	1-1
1.3 Jenis Struktur Perkerasan	1-2
1.4 Acuan Normatif	1-5
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	3-1
3.2 Perkerasan Beton Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat	3-2
3.3 Perkerasan Beton Aspal dengan Aspal Modifikasi	3-2
3.4 Perkerasan Kaku	3-2
3.5 Perkerasan Tanpa Penutup (Jalan Kerikil)	3-3
3.6 Pelebaran Jalan	3-3
3.7 Konstruksi Jalan pada Lahan Gambut	3-3
3.8 Pelaburan (<i>Surface Dressing</i>) di Atas Lapis Fondasi Agregat	3-3
3.9 HRS-WC Tebal 50 mm di Atas Lapis Fondasi Agregat	3-3
3.10 Lapis Fondasi <i>Soil Cement</i>	3-3
3.11 Perkerasan Aspal Beton dengan <i>Cement Treated Base (CTB)</i>	3-3
4. LALU LINTAS	4-1
4.1 Analisis 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	4-4
4.8 Beban Sumbu Standar Kumulatif	4-7
4.9 Perkiraan Lalu Lintas untuk Jalan Lalu Lintas Rendah	4-7
4.10 Contoh Penggunaan	4-7
5. DRAINASE PERKERASAN JALAN	5-1
5.1 Umum	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	Investigasi dan Pengujian.....	6-1
6.2.1	Investigasi Tanah Dasar.....	6-1
6.2.2	Pengujian Daya Dukung dan Asumsi-Asumsi	6-2
6.2.3	Pengukuran Daya Dukung dengan DCP (<i>Dynamic Cone Penetrometer Test</i>)	6-2
6.3	Persyaratan Umum Persiapan Tanah Dasar	6-5
6.4	Umur Rencana Fondasi Perkerasan.....	6-5
6.5	Penurunan.....	6-5
6.5.1	Batasan Penurunan (<i>settlement limits</i>).....	6-5
6.5.2	Pra-Pembebanan.....	6-8
6.5.3	Penurunan Total pada Oprit Jembatan dan Struktur Yang Berdekatan dengan Struktur Yang Tetap	6-9
6.6	CBR Desain Tanah Dasar	6-9
6.6.1	Penentuan Segmen Tanah Dasar Yang Seragam.....	6-9
6.6.2	CBR Rencana untuk Stabilisasi Tanah Dasar	6-11
6.7	Tanah Ekspansif.....	6-11
6.8	Material Timbunan.....	6-12
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	6-16
6.9.4	Gambut.....	6-16
6.10	Desain Fondasi Perkerasan Kaku	6-16
6.10.1	Tanah Dasar Normal.....	6-16
6.11	Gambut	6-17
7.	DESAIN PERKERASAN LENTUR	7-1
7.1	Struktur Perkerasan.....	7-1
7.2	Metode Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Beraspal	7-1
7.2.1	Konsep Desain Perkerasan Lentur.....	7-3
7.2.2	Model Kinerja (Fungsi Transfer)	7-4
7.2.3	Karakterisasi Material.....	7-5
7.2.4	Prosedur Desain Perkerasan Lentur	7-9
7.2.5	Contoh Analisis Struktur Perkerasan.....	7-10
7.3	Bagan Desain Perkerasan Lentur.....	7-12
7.3.1	Perkerasan Lentur dengan CTB.....	7-12
7.3.2	Perkerasan Lentur dengan Lapis Fondasi Agregat.....	7-18
7.3.3	Perkerasan Lentur dengan HRS	7-19
7.3.4	Perkerasan Berbutir dengan Laburan.....	7-20
7.3.5	Perkerasan dengan Lapis Fondasi Stabilisasi Tanah Semen.....	7-21
7.3.6	Perkerasan dengan <i>Improve Subgrade</i> dengan Stabilisasi Semen	7-21
7.4	Contoh Penggunaan.....	7-22
8.	DESAIN PERKERASAN KAKU	8-1
8.1	Umum.....	8-1

8.2	Struktur Perkerasan dan Jenis Perkerasan Beton Semen	8-1
8.3	Persyaratan Teknis.....	8-1
8.3.1	Tanah Dasar	8-1
8.3.2	Fondasi Bawah	8-2
8.3.3	Beton Semen	8-4
8.3.4	Bahu Beton	8-4
8.3.5	Persyaratan Mutu Material Selain Mutu Beton	8-4
8.3.6	Lalu Lintas.....	8-5
8.3.7	Reliabilitas.....	8-7
8.3.8	Desain Ketebalan Beton.....	8-7
8.3.9	Perencanaan Tulangan	8-10
8.3.10	Perencanaan Sambungan.....	8-13
8.3.11	Pola Sambungan.....	8-18
8.3.12	Penutup Sambungan	8-20
8.4	Bagan Desain Perkerasan Kaku untuk Lalu Lintas Rendah.....	8-21
8.5	Contoh Penggunaan.....	8-22
9.	DESAIN PERKERASAN JALAN KERIKIL ATAU PERKERASAN DENGAN PENUTUP TIPIS.....	9-1
9.1	Desain Empiris Perkerasan Berbutir dengan Lapis Tipis Aspal	9-1
9.1.1	Penentuan Tebal Perkerasan.....	9-2
9.2	Contoh Penggunaan.....	9-4
10.	MASALAH PELAKSANAAN YANG MEMPENGARUHI DESAIN.....	10-1
10.1	Ketebalan Lapis Perkerasan.....	10-1
10.2	Daya Dukung Tepi Perkerasan.....	10-2
10.3	Konstruksi Perkerasan pada Galian Segi Empat (<i>Boxed Construction</i>)	10-3
10.4	Pengaruh Musim Hujan	10-4
10.5	Pelaksanaan Konstruksi dengan Lalu Lintas Tetap Melintas	10-4
10.6	Lokasi Sambungan.....	10-4
10.7	Kemampuan Kontraktor.....	10-4
10.8	Ketersediaan Alat	10-5
10.9	Konstruksi Bertahap	10-5
10.10	Penggunaan <i>Strain Absorbing Membrane Interlayers (SAMI)</i>	10-6
BAGIAN II – REHABILITASI PERKERASAN		
1.	PENDAHULUAN	1-1
1.1	Ruang Lingkup	1-1
1.2	Pertimbangan Desain	1-1
1.3	Jenis Struktur Perkerasan	1-2
1.4	Acuan Normatif.....	1-4
1.5	Istilah dan Definisi	1-5
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 Rencana Lebih dari 10 Juta ESA4.....	3-2
3.3	Survei Kondisi dan Koreksi Perkerasan Sebelum Lapis Tambah.....	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	Perbaikan Drainase	4-2
5.	PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN.....	5-1
6.	DESAIN TEBAL LAPIS TAMBAH.....	6-1
6.1	Pendahuluan	6-1
6.2	Prosedur Desain Lapis Tambah	6-1
6.3	Desain Tebal Lapis Tambah Nonstruktural.....	6-3
6.4	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Lentur.....	6-3
6.4.1	Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas Lebih Kecil atau sama dengan 100.000 ESA4.....	6-3
6.4.2	Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas 1 x 106 ESA5 sampai dengan 20 x 106 ESA5.....	6-4
6.4.3	Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas Lebih Besar dari 10 x 106 ESA4.....	6-19
6.5	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Kaku (AC di atas JPCP, JRCP, dan CRCP)	6-30
6.5.1	Contoh Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Kaku (AC di atas JPCP)	6-43
6.6	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Komposit (AC di atas AC/JPCP, AC/JRCP, dan AC/CRCP)	6-46
6.6.1	Contoh Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Komposit (AC di atas AC/JPCP, AC/JRCP, dan AC/CRCP).....	6-57
6.7	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Beton Semen di atas Perkerasan Lentur (JPCP, JRCP, CRCP di atas AC)	6-60
6.7.1	Contoh Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Beton Semen di atas Perkerasan Lentur (JPCP di atas AC).....	6-63
7.	DESAIN KETEBALAN PENGUPASAN DAN PELAPISAN TAMBAH (MILL AND INLAY).....	7-1
7.1	Pendahuluan	7-1
7.2	Metode Penentuan Tebal Rencana	7-1
7.3	Contoh Desain Ketebalan Pengupasan dan Pelapisan Tambah (<i>Mill and Inlay</i>)	7-3
8.	DESAIN REKONSTRUKSI PERKERASAN DENGAN TEKNOLOGI DAUR ULANG DAN STABILISASI	8-1
8.1	Pendahuluan	8-1
8.2	Desain Rekonstruksi Perkerasan Beraspal dengan Teknologi Daur Ulang.....	8-2
8.2.1	Desain Konstruksi dengan <i>Foam Bitumen</i>	8-2
8.2.2	Desain Rekonstruksi dengan Lapis Fondasi Stabilisasi Semen (CTRB).....	8-7
8.2.3	Contoh Perhitungan Desain Rekonstruksi Perkerasan Beraspal dengan Teknologi Daur Ulang	8-9

8.3	Rekonstruksi Jalan Kerikil (<i>Regravelling</i>).....	8-11
8.3.1	Perkerasan Tanpa Penutup Aspal	8-11
8.3.2	<i>Regravelling</i> perkerasan berpenutup aspal	8-12
8.4	Penanganan Lain yang Terkait dengan Rekonstruksi.....	8-12
8.4.1	Drainase.....	8-12
8.4.2	Penambalan Berat (<i>Heavy Patching</i>).....	8-12
8.4.3	Contoh Desain Penanganan Rekonstruksi Lainnya (Desain Lapis Tambah Disertai Pelebaran).....	8-12
9.	MASALAH PELAKSANAAN DAN KINERJA PERKERASAN	9-1
9.1	Penyiapan Perkerasan Eksisting Sebelum Lapis Tambah.....	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	Risiko Solusi Desain Menggunakan Aspal Modifikasi	9-1

SALINAN

DAFTAR TABEL

BAGIAN I – STRUKTUR PERKERASAN BARU

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	4-3
Tabel 4.4	Klasifikasi dan konfigurasi sumbu kendaraan	4-5
Tabel 4.5	Perkiraan lalu lintas untuk jalan lalu lintas rendah.....	4-7
Tabel 5.1	Tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir	5-2
Tabel 5.2	Gambar tipikal drainase jalan ⁽¹⁾	5-3
Tabel 6.1	Faktor penyesuaian modulus tanah dasar terhadap kondisi musim	6-3
Tabel 6.2	Rekomendasi batasan penurunan (<i>settlement</i>) pada timbunan di atas tanah lunak setelah pelaksanaan perkerasan	6-6
Tabel 6.3	Perkiraan waktu pra-pembebanan untuk timbunan rendah di atas tanah lunak	6-8
Tabel 6.4	Klasifikasi tanah ekspansif	6-12
Tabel 7.1	Karakterisasi modulus bahan berpegikat yang digunakan untuk pengembangan bagan desain dan untuk analisis mekanistik	7-5
Tabel 7.2	Faktor koreksi modulus campuran beraspal.....	7-6
Tabel 7.3	Karakteristik modulus lapisan teratas bahan berbutir	7-6
Tabel 7.4	Parameter kelelahan (<i>fatigue</i>) K^*	7-8
Tabel 7.5	Karakterisasi material	7-11
Tabel 7.6	Hasil analisis struktur perkerasan dan perhitungan repetisi beban izin	7-12
Tabel 8.1	Tebal fondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen	8-2
Tabel 8.2	Nilai koefisien gesekan (μ)	8-4
Tabel 8.3	Ketebalan beton minimum	8-5
Tabel 8.4	Konfigurasi sumbu kendaraan	8-6
Tabel 8.5	Koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen (S_e).....	8-8
Tabel 8.6	Koefisien untuk prediksi faktor erosi (F_3) untuk beton JPCP	8-9
Tabel 8.7	Koefisien untuk prediksi faktor Erosi (F_3) untuk beton CRCP	8-9
Tabel 8.8	Hubungan kuat tekan beton dan angka ekuivalen baja dan beton (n)	8-12
Tabel 8.9	Diameter ruji	8-15
Tabel 10.1	Ketebalan padat lapisan yang diizinkan pada penghamparan	10-1

BAGIAN II – REHABILITASI PERKERASAN

Tabel 2.1	Umur rencana jenis penanganan perkerasan lentur.....	2-1
Tabel 2.2	Umur rencana jenis penanganan perkerasan kaku dengan perkerasan lentur .	2-1
Tabel 3.1	Nilai LSF yang direkomendasikan.....	3-1
Tabel 5.1	Pemilihan jenis teknologi lapis tambah.....	5-1
Tabel 5.2	Pemilihan jenis rekonstruksi perkerasan	5-1
Tabel 6.1	Metoda lapis tambah.....	6-2
Tabel 6.2	Tebal lapis tambah untuk menurunkan IRI (nonstruktural)	6-3
Tabel 6.3	Faktor koreksi temperatur lendutan (D_0) untuk FWD*	6-9
Tabel 6.4	Faktor koreksi temperatur lengkung lendutan (D_0 - D_{200}) untuk FWD*.....	6-9

Tabel 6.5	Faktor koreksi temperatur lendutan (D_0) untuk <i>benkelman beam</i> *	6-10
Tabel 6.6	Faktor koreksi temperatur lengkung lendutan (D_0 - D_{200}) untuk <i>benkelman beam</i> *	6-10
Tabel 6.7	Faktor penyesuaian lengkung lendutan (D_0 - D_{200}) BB ke FWD.....	6-11
Tabel 6.8	Faktor penyesuaian lendutan (D_0) FWD ke BB	6-12
Tabel 6.9	Data lendutan (FWD)	6-12
Tabel 6.10	Rincian analisis lendutan	6-17
Tabel 6.11	Koefisien tebal lapisan aspal lapis tambah.....	6-23
Tabel 6.12	Jenis kerusakan dan tipe perbaikannya	6-30
Tabel 6.13	Koefisien transfer beban (J)	6-37
Tabel 6.14	Koefisien drainase C_d , untuk perkerasan kaku.....	6-40
Tabel 6.15	Perkiraan nilai F_{dur} berdasarkan kerusakan perkerasan beton	6-42
Tabel 6.16	Perkiraan nilai F_{fat} berdasarkan kerusakan perkerasan beton	6-42
Tabel 6.17	Jenis kerusakan yan perbaikan yang perlu dilakukan sebelum pelapisan tambah	6-47
Tabel 6.18	Perkiraan nilai F_{dur}	6-56
Tabel 6.19	Perkiraan nilai F_{ac}	6-56
Tabel 6.20	Jenis perbaikan perkerasan eksisting	6-61
Tabel 7.1	Prosedur desain ketebalan <i>mill and inlay</i>	7-1
Tabel 8.1	Pemilihan Metode Stabilisasi	8-3
Tabel 8.2	Tebal pelapisan minimum di atas material yang distabilisasi dengan <i>foam bitumen</i>	8-4
Tabel 8.3	Prosedur desain stabilisasi dengan <i>foam bitumen</i>	8-5
Tabel 8.4	Tebal lapis AC <i>base</i>	8-6
Tabel 8.5	Prosedur Desain CTRB	8-8

DAFTAR GAMBAR

BAGIAN I – STRUKTUR PERKERASAN BARU

Gambar 1.1	Tipikal struktur perkerasan lentur	1-4
Gambar 1.2	Tipikal struktur perkerasan kaku.....	1-5
Gambar 7.1	Model perkerasan pada prosedur mekanistik empiris.....	7-3
Gambar 7.2	Tipikal sistem perkerasan.....	7-9
Gambar 7.3	Prosedur desain perkerasan lentur menggunakan pendekatan mekanistik.....	7-10
Gambar 7.4	Penampang struktur perkerasan	7-11
Gambar 8.1	CBR tanah dasar efektif dan tebal fondasi bawah	8-3
Gambar 8.2	Tipikal sambungan memanjang.....	8-14
Gambar 8.3	Ukuran standar penguncian sambungan memanjang.....	8-14
Gambar 8.4	Sambungan susut melintang tanpa ruji.....	8-15
Gambar 8.5	Sambungan susut melintang dengan ruji.....	8-15
Gambar 8.6	Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur.....	8-16
Gambar 8.7	Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan	8-16
Gambar 8.8	Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi.....	8-17
Gambar 8.9	Sambungan isolasi.....	8-17
Gambar 8.10	Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada <i>manhole</i>	8-18
Gambar 8.11	Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada lubang masuk saluran	8-18
Gambar 8.12	Potongan melintang perkerasan dan lokasi sambungan	8-20
Gambar 8.13	Detail potongan melintang sambungan perkerasan.....	8-20
Gambar 9.1	Lapisan struktur perkerasan berbutir	9-3
Gambar 9.2	Penentuan tebal lapisan agregat contoh-1	9-5
Gambar 9.3	Penentuan ketebalan lapis agregat contoh-2.....	9-7
Gambar 10.1	Dukungan tepi perkerasan	10-2
Gambar 10.2	Dukungan median perkerasan	10-3
Gambar 10.3	Konstruksi perkerasan pada galian segi empat (kasus tipikal).....	10-4

BAGIAN II – REHABILITASI PERKERASAN

Gambar 1.1	Tipikal struktur perkerasan	1-4
Gambar 6.1	Solusi lapis tambah berdasarkan lendutan balik <i>benkelman beam</i> untuk WMAPT 41°C.....	6-4
Gambar 6.2	Fungsi lengkung lendutan	6-5
Gambar 6.3	Tebal lapis tambah tipis aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada WMAPT > 35°C	6-5
Gambar 6.4	Tebal Lapis Tambah Tebal Aspal Konvensional untuk Mencegah Retak Akibat Lelah pada WMAPT > 35°C.....	6-6
Gambar 6.5	Contoh penentuan tebal lapis tambah aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada WMAPT > 35°C	6-6
Gambar 6.6	Penentuan tebal lapis tambah berdasarkan D_0	6-15

Gambar 6.7	Penetapan tebal lapis tambah (Tipis)	6-15
Gambar 6.8	Penetapan tebal lapis tambah (Tebal)	6-16
Gambar 6.9	Koreksi nilai D_0 untuk Perkerasan Lentur dengan Lapis Granular dan yang Distabilisasi dengan Aspal	6-21
Gambar 6.10	Koreksi nilai D_0 untuk perkerasan lentur dengan lapis fondasi semen dan yang distabilisasi semen	6-21
Gambar 6.11	Faktor konversi dari kekurangan ketebalan perkerasan beton ke tebal lapis tambah AC	6-32
Gambar 6.12	Nilai k dinamik efektif yang ditentukan dari d_0 dan AREA	6-35
Gambar 6.13	Modulus elastis perkerasan beton ditentukan dari nilai K , AREA, dan tebal pelat	6-36
Gambar 6.14	Skema <i>load transfer</i>	6-37
Gambar 6.15	Grafik untuk mengestimasi modulus komposit reaksi tanah dasar, k	6-39
Gambar 6.16	Faktor F_{jc}	6-42
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>	7-3
Gambar 7.3	Penentuan tebal pengupasan LFA	7-4
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 <i>foam bitumen</i>	8-5
Gambar 8.4	Struktur perkerasan daur ulang	8-6
Gambar 8.5	Bagan desain ketebalan <i>cement treated recycled base (CTRB)</i>	8-8
Gambar 8.6	Penentuan tebal lapisan CTRB dan aspal	8-10
Gambar 8.7	Lapis tambah perkerasan tanpa penutup aspal	8-12
Gambar 8.8	Struktur perkerasan eksisting dan pelebaran	8-14
Gambar 9.1	Urutan pelaksanaan daur ulang dengan pelebaran	9-3

DAFTAR BAGAN DESAIN

BAGIAN I – STRUKTUR PERKERASAN BARU

Bagan Desain-1	Indikasi perkiraan nilai CBR	6-4
Bagan Desain-2	Desain fondasi jalan minimum ⁽¹⁾	6-15
Bagan Desain-3(1)	Desain perkerasan lentur dengan 150 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70).....	7-14
Bagan Desain-3(2)	Desain perkerasan lentur dengan 200 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70).....	7-15
Bagan Desain-3(3)	Desain perkerasan lentur dengan 250 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70).....	7-16
Bagan Desain-3(4)	Desain perkerasan lentur dengan 300 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70).....	7-17
Bagan Desain-3A	Desain perkerasan lentur – aspal dengan lapis fondasi agregat (aspal pen 60/70 dan PG70)	7-18
Bagan Desain-3B	Penyesuaian tebal lapis timbunan pilihan berbutir kasar atau LFA kelas C atau stabilisasi semen (hanya untuk bagan desain-3A) beban rencana 20 tahun > 5 juta ESA5	7-19
Bagan Desain-4	Desain perkerasan lentur dengan HRS ¹	7-19
Bagan Desain-5	Perkerasan berbutir dengan laburan ¹	7-20
Bagan Desain-6	Perkerasan dengan stabilisasi tanah semen (<i>soil cement</i>)	7-21
Bagan Desain-7	Perkerasan dengan <i>improve subgrade</i> stabilisasi semen.....	7-21
Bagan Desain-8	Perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat.....	8-4
Bagan Desain-9	Perkerasan tanpa penutup atau dengan lapis permukaan beraspal tipis.....	9-2

BAGIAN II – REHABILITASI PERKERASAN

-

DAFTAR LAMPIRAN

BAGIAN I – STRUKTUR PERKERASAN BARU

LAMPIRAN A.	Sumbu Standar – Perkerasan Lentur.....	A-1
LAMPIRAN B.	Zona Iklim.....	B-1
LAMPIRAN C.	Aspal Modifikasi.....	C-1
LAMPIRAN D.	Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN).....	D-1
LAMPIRAN E.	Desain Bahu Jalan.....	E-1
LAMPIRAN F.	Pencatatan DCP pada Area Tanah Lunak Dangkal	F-1
LAMPIRAN G.	Sistim Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO M 145 atau ASTM D3282.....	G-1
LAMPIRAN H.	Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>).....	H-1

BAGIAN II – REHABILITASI PERKERASAN

LAMPIRAN I.	Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>) untuk Perkerasan Lentur dan Kaku (Metode AASHTO)	I-1
LAMPIRAN J.	Bagan Desain Stabilisasi Foam Bitumen untuk Lalu Lintas Desain Maksimum 100×10^6 ESA5	J-1
LAMPIRAN K.	Bagan Desain Stabilisasi <i>Foam</i> , Lalu Lintas Desain $\geq 100 \times 10^6$ ESA5	K-1
LAMPIRAN L.	Bagan Desain Stabilisasi Semen	L-1
LAMPIRAN M.	Pemeliharaan Perkerasan Tanpa Penutup Aspal (Jalan Kerikil)	M-1
LAMPIRAN N.	Penyusunan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013-2020	N-1



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN
PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

BAGIAN I STRUKTUR PERKERASAN BARU

SALINAN

1. PENDAHULUAN

1.1 Ruang Lingkup

Lingkup Bagian I Manual ini meliputi penentuan kriteria desain perkerasan lentur dan perkerasan kaku untuk jalan baru, dan pelebaran jalan, serta menentukan faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan struktur perkerasan termasuk detail desain, drainase, dan persyaratan konstruksi. Bagian I manual ini mencakup:

- a. Desain umur rencana.
- b. Pemilihan struktur perkerasan.
- c. Desain lalu lintas.
- d. Desain drainase perkerasan jalan.
- e. Desain fondasi jalan.
- f. Desain perkerasan lentur.
- g. Desain perkerasan kaku.
- h. Desain perkerasan jalan kerikil atau perkerasan dengan penutup tipis.
- i. Masalah pelaksanaan yang mempengaruhi desain.

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 dengan perhatian khusus pada beban faktual.
- d. Pengaruh temperatur.
- e. Struktur perkerasan *cement treated base* (CTB).
- f. Prosedur rinci desain fondasi jalan.
- g. Pertimbangan desain drainase.
- h. Penerapan pendekatan mekanistik.
- i. Katalog desain.

1.2 Pertimbangan Desain

Desain perkerasan yang baik harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Mempertimbangkan faktor keselamatan jalan.
- b. Mempertimbangkan kelestarian lingkungan.
- c. Menjamin tercapainya tingkat layanan jalan sesuai umur rencana.
- d. Merupakan *discounted-life-cycle cost* yang terendah.
- e. Mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan dan pemeliharaan.
- f. Menggunakan material secara efisien dan memanfaatkan material lokal semaksimal mungkin.

Kebijakan desain dalam penggunaan manual ini adalah:

- a. Perencana Teknis, Pengawas Pelaksanaan, dan PPK harus menerapkan kebijakan “tanpa toleransi” dalam pelaksanaan pekerjaan jalan.

- b. Desain perkerasan harus mengakomodasi beban kendaraan faktual. Penggunaan beban sumbu yang terkendali (sesuai ketentuan) harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:
 - 1. prosedur pengendalian beban sumbu sudah diterbitkan dan jangka waktu penerapannya telah disetujui oleh semua pemangku kepentingan;
 - 2. telah ada tindakan awal penerapan kebijakan tersebut; dan
 - 3. adanya kepastian bahwa kebijakan tersebut dapat dicapai.
- c. Pemilihan solusi desain perkerasan didasarkan pada analisis biaya umur pelayanan (*discounted-life-cycle-cost*) terendah dengan mempertimbangkan sumber daya konstruksi.
- d. Setiap jenis pekerjaan jalan harus dilengkapi dengan drainase permukaan dan drainase bawah permukaan.
- e. Lapisan fondasi agregat harus dapat mengalirkan air dengan baik.
- f. Bahu jalan berpenutup (*sealed*) harus dibuat:
 - 1. Jika alinyemen vertikal (kelandaian) jalan lebih dari 4%.
 - 2. Pada area perkotaan.
 - 3. Jika terdapat kereb.
 - 4. Jika proporsi kendaraan bermotor roda dua cukup tinggi.

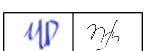
Bahu jalan berpenutup dan tidak berpenutup untuk jalan non tol memiliki kekuatan minimum untuk 10% beban rencana lajur utama. Khusus untuk jalan bebas hambatan (tol), beban rencana bahu berpenutup tidak kurang dari 60% beban lajur rencana.
- g. Sistem drainase permukaan harus disediakan secara komprehensif. Drainase bawah permukaan (*subdrain*) perlu dipertimbangkan dalam kondisi:
 - 1. terjadi kerusakan akibat air pada perkerasan eksisting;
 - 2. terdapat aliran air ke perkerasan, seperti aliran air tanah dari galian atau saluran irigasi; dan
 - 3. galian konstruksi perkerasan segi empat (*boxed construction*) yang tidak dilengkapi dengan drainase yang memadai untuk mengalirkan air yang terperangkap dalam galian.

1.3 Jenis Struktur Perkerasan

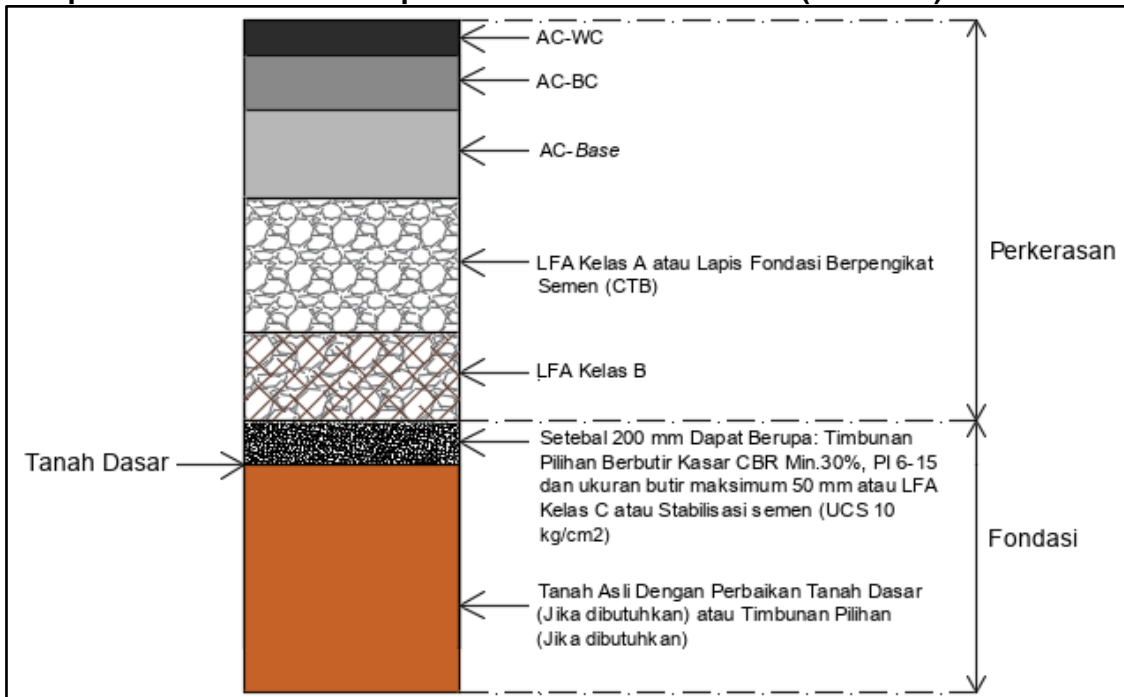
Jenis struktur perkerasan baru terdiri atas:

- a. perkerasan pada permukaan tanah asli (*at grade*);
- b. perkerasan pada timbunan; dan
- c. perkerasan pada galian.

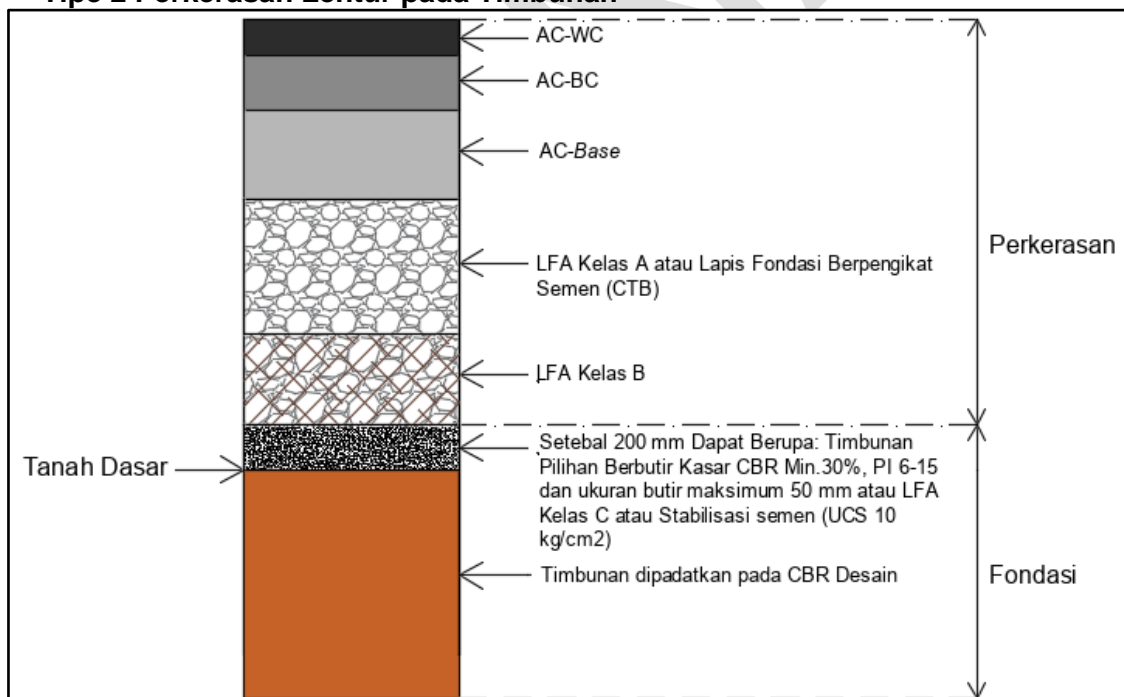
Tipikal struktur perkerasan dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 berikut ini:



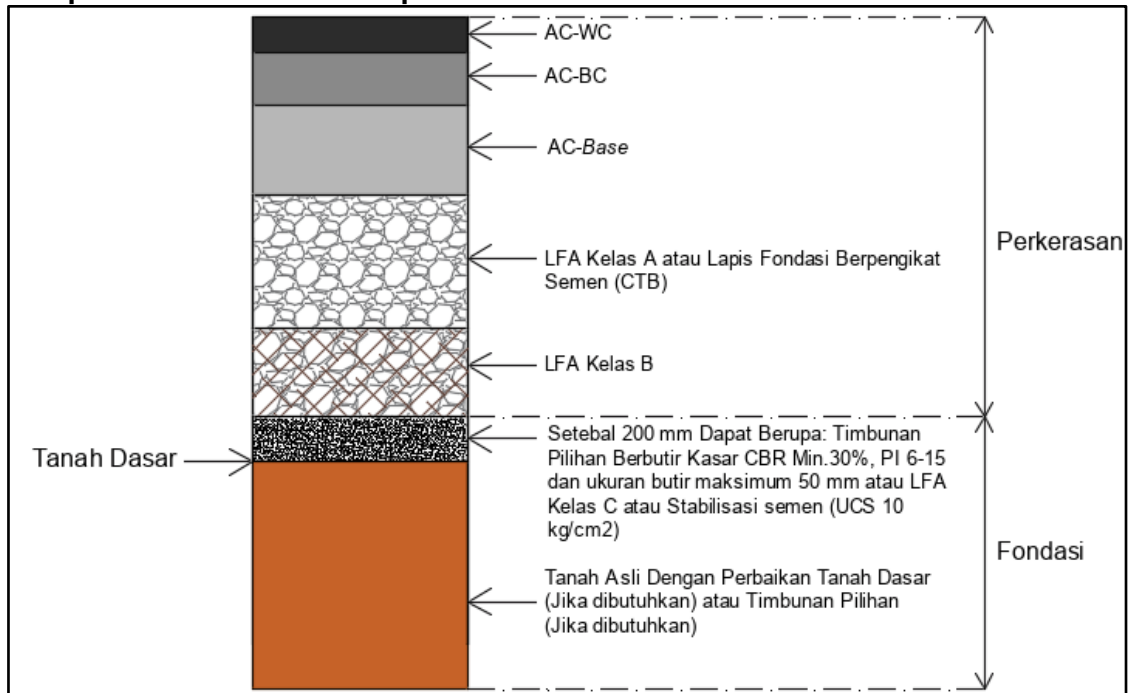
• Tipe 1 Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli (At Grade)



• Tipe 2 Perkerasan Lentur pada Timbunan

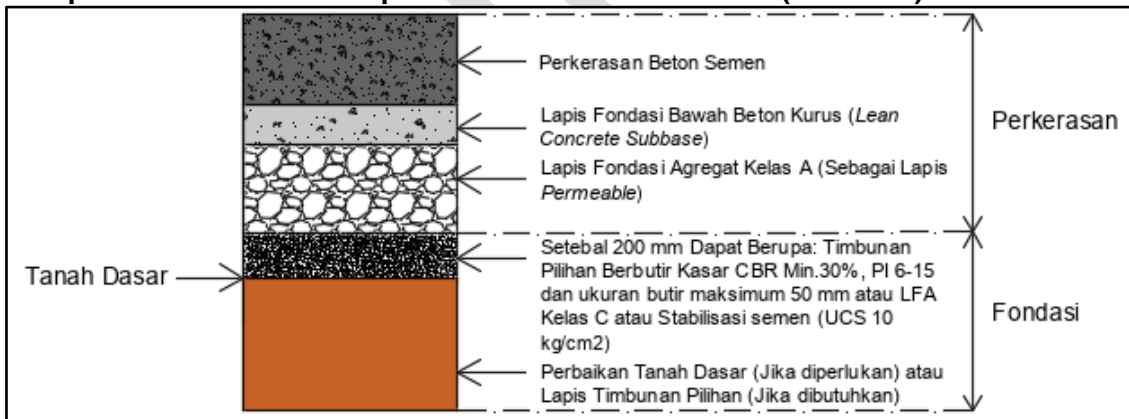


• Tipe 3 Perkerasan Lentur pada Galian

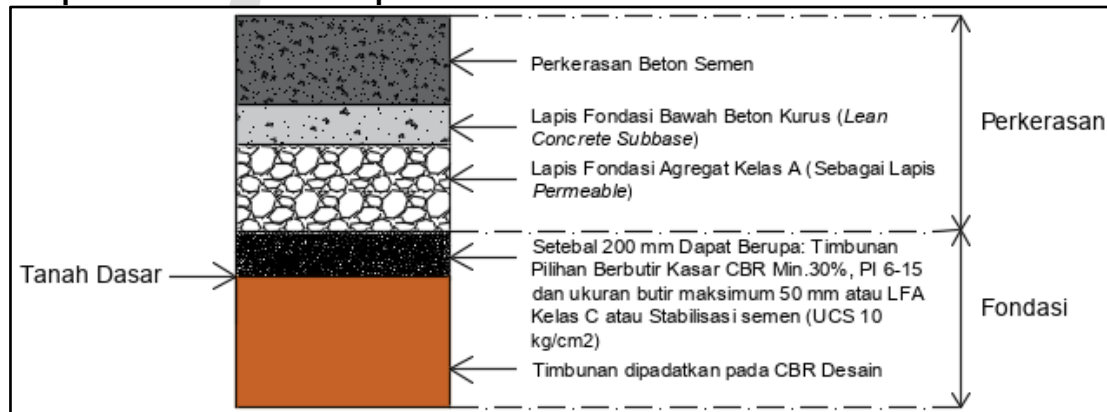


Gambar 1.1 Tipikal struktur perkerasan lentur

• Tipe 1 Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli (At Grade)

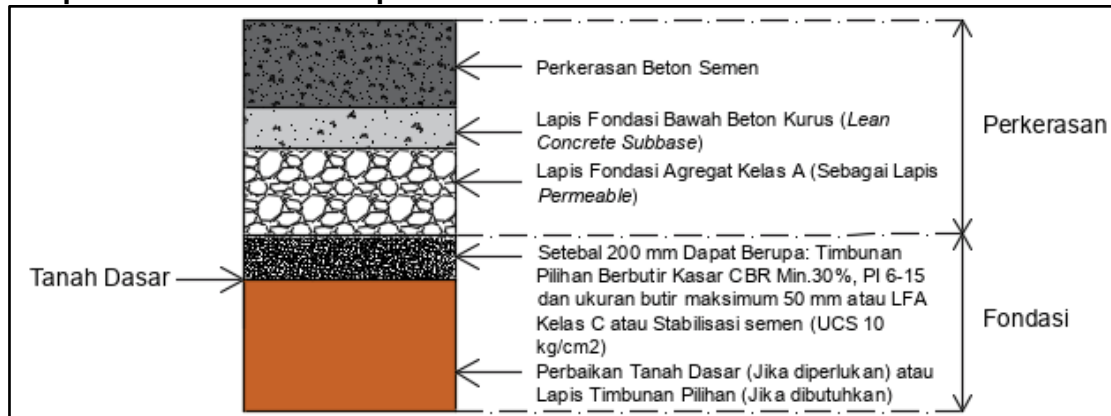


• Tipe 2 Perkerasan Kaku pada Timbunan



UP n/h

- Tipe 3 Perkerasan Kaku pada Galian



Gambar 1.2 Tipikal struktur perkerasan kaku

1.4 Acuan Normatif

Acuan yang digunakan pada penyusunan Manual ini sebagai berikut.

- M-155 *Standard Specification for Granular Material to Control Pumping under Concrete Pavement*, AASHTO (1987).
- Guide for Design of Pavement Structure*, AASHTO (1993).
- Austrroads AGPT02-17, Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design* (2017).
- Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) C-78M*, ASTM (2022).
- Metode Pengujian CBR Laboratorium SNI 03-1774-1989, Badan Standardisasi Nasional (1989).
- Spesifikasi Agregat Lapis Pondasi Bawah SNI 03-6388-2000, Badan Standardisasi Nasional (2000).
- Pedoman Kimpraswil Timbunan Jalan pada Tanah Lunak No: Pt T-09-2002-B.
- Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003.
- Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas Pd T-19-2004-B, Departmen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2004).
- Panduan Pengujian Kepadatan Ringan untuk Tanah SNI 1742:2008, Badan Standardisasi Nasional (2008).
- Metode Pengujian Kepadatan Berat untuk Tanah SNI 1743:2008, Badan Standardisasi Nasional (2008).
- Rancangan Tebal Jalan Beton untuk Lalu Lintas Rendah SNI 8457: 2017, Badan Standardisasi Nasional (2017).

1.5 Istilah dan Definisi

bahu jalan beton

bahu jalan yang terbuat dari pelat beton yang tersambung dengan tepi luar pelat beton lajur perkerasan melalui batang pengikat (*tyed shoulder*), atau berupa lajur perkerasan yang diperlebar dan menyatu dengan lajur lalu lintas selebar 600 mm (*widened concrete slab*).

Bahu beton juga berfungsi memberikan dukungan lateral terhadap beban roda pada tepi perkerasan

beton kurus (*lean mix concrete, LMC*)

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

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

discounted life-cycle cost

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

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

faktor ekuivalen beban (*vehicle damage factor*)

suatu faktor yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan perkerasan yang diakibatkan 1 (satu) lintasan kendaraan dengan beban sumbu tertentu relatif terhadap kerusakan dinyatakan dalam lintasan beban sumbu standar dalam satuan setara beban gandar standar (*equivalent standard axle load, ESA*)

koefisien variasi

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

modulus kekakuan (*stiffnes modulus*)

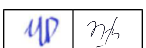
hubungan tegangan dan regangan yang menunjukkan kekakuan dari suatu bahan

tanah dasar (*subgrade*)

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

1.6 Simbol dan Singkatan

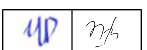
AASHTO	<i>Association of American State Highway and Transportation Officials</i>
AC	<i>Asphaltic Concrete</i>
AC Base	<i>Asphaltic Concrete Base Course</i>
AC BC	<i>Asphaltic Concrete Binder Course</i>
AC WC	<i>Asphaltic Concrete Wearing Course</i>
<i>Austroads</i>	<i>Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities</i>
A_s	Luas penampang tulangan yang dibutuhkan
A_t	Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan



b	Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan
BJTU	Baja tulangan ulir
BK	Beton kurus
BP	Bahan berpegikat
Burda	Laburan dua lapis
Burtu	Laburan satu lapis
CRCP	<i>Continuously Reinforced Concrete Pavements</i> , perkerasan beton semen menerus dengan tulangan
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CESA	<i>Cumulative Equivalent Standard Axles</i>
CIRCLY	<i>Australian mechanistic design software programme used by Austroads 2017</i>
CTB	<i>Cement Treated Base</i>
D	Tebal pelat beton
DD	Faktor distribusi arah
DCP	<i>Dynamic Cone Penetrometer</i>
DL	Faktor distribusi lajur
E_f	CBR tanah dasar efektif
ESA4	<i>Equivalent Standard Axle</i> – Pangkat 4
ESA5	<i>Equivalent Standard Axle</i> – Pangkat 5
F_3	Faktor erosi
f_{cf}	Kuat lentur karakteristik desain pada umur beton 28 hari
f_s	Tegangan tarik izin tulangan
g	Percepatan gravitasi
GMP	<i>General Mechanistic Procedure</i> (prosedur desain perkerasan secara mekanistik)
HRS	<i>Hot Rolled Sheet</i> , Lapis tipis aspal beton
IP	Indeks plastisitas
IRMS	<i>Indonesian Road Management System</i>
JPCP	<i>Jointed Plain Concrete Pavements</i> , Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan
JRCP	<i>Jointed Reinforced Concrete Pavements</i> , Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan
JSKN	Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana
$JSKN_{JK}$	Faktor ekuivalen beban tiap jenis kendaraan
L	Jarak ke sambungan tidak terikat atau tepi dasar
LFA	Lapis fondasi agregat
LHR_{JK}	Lalu Lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan
L_{ij}	Beban dari suatu kelompok sumbu

LL	<i>Liquid limit</i>
LMC	<i>Lean Mix Concrete</i>
L_{sf}	Faktor keamanan beban
MAPT	<i>Mean Annual Pavement Temperature</i>
MDD	<i>Maximum Dry Density</i>
MSCR	<i>Multiple Stress Creep Recovery</i>
N_f	Jumlah repetisi beban yang diizinkan
OMC	<i>Optimum Moisture Content</i>
P	Beban kelompok sumbu
PCC	<i>Portland Cement Concrete</i> (Perkerasan Beton Semen)
PKJI	Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia
PG	<i>Performance Grade</i>
PSI	<i>Present Serviceability Index</i> , Indeks pelayanan saat ini
R	Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
RVK	Rasio volume kapasitas
S_e	Tegangan ekuivalen beton
SG2	<i>Subgrade</i> dengan CBR 2%
S_{mix}	Kekakuan Campuran Beraspal (definisi <i>Shell Pavement Design Method</i>)
STRG	Sumbu tunggal roda ganda
STRT	Sumbu tunggal roda tunggal
STdRG	Sumbu tandem roda ganda
STdRT	Sumbu tandem roda tunggal
STrRG	Sumbu tridem roda ganda
SQdRG	Sumbu empat roda ganda
V_b	Volume aspal dalam campuran beraspal
VDF	<i>Vehicle Damage Factor</i>
WPI	<i>Weighted Plasticity Index</i>
ϕ	Diameter batang pengikat
μ	Koefisien gesekan antara dasar beton dan lapis fondasi
ρ	Massa persatuan volume
$\mu\varepsilon$	<i>Microstrain</i>

Halaman ini sengaja dikosongkan



2. UMUR RENCANA

Umur rencana perkerasan jalan 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
	Lapis Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, dan terowongan	
	Lapis Fondasi Berpengikat Semen, <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)	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 sumber resmi; dan
2. umur rencana harus memperhatikan kapasitas jalan.

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

10	2/2
----	-----

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 teknis 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	ESA5 (juta) dalam 20 tahun				
		0 - 1	1 - 4	4 - 10	>10 - 30	>30
AC modifikasi	3, 3A, 3B	-	-	-	-	2
AC dengan CTB					2	-
AC Modifikasi dengan CTB					-	2
AC dengan lapis fondasi agregat	3, 3A, 3B	-	1, 2	1, 2	2	-
HRS tipis di atas lapis fondasi agregat	4	2	2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan lapis fondasi agregat	5	3	3	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi <i>Soil Cement</i>	6	2	2	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi agregat dan perbaikan tanah dasar (dengan stabilisasi semen)	7	2	2			
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	8	-	-	-	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah	8A	-	-	1, 2	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat dan jalan kerikil)	9	1	-	-	-	-

Catatan:

Tingkat kesulitan:

1 - kontraktor kecil – medium;

2 - kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai; dan

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 perlu dipertimbangkan dalam menentukan pilihan jenis perkerasan. Kontraktor lokal pada umumnya mempunyai sumber daya setempat yang

40 7/6

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. Selain itu pemilihan teknologi perkerasan yang digunakan perlu memperhatikan pada kesediaan sumber daya material di mana pekerjaan tersebut dilakukan.

3.2 Perkerasan Beton Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat

Perkerasan aspal beton dengan lapis fondasi agregat semen (CTB) cenderung lebih murah daripada dengan lapis fondasi agregat untuk beban sumbu lebih dari 10 juta ESA5, namun kontraktor yang memiliki sumber daya untuk melaksanakan CTB terbatas.

3.3 Perkerasan Beton Aspal dengan Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi direkomendasikan digunakan untuk lapis aus (AC-WC) dan lapis antara (AC-BC) pada jalan dengan repetisi beban lalu lintas > 30 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 (penyedia dan pemasok) menyediakan alat penyimpanan dan pencampur yang memenuhi persyaratan.

3.4 Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku dapat digunakan untuk jalan dengan lalu lintas berat > 10 juta ESA4 dan memiliki tanah dasar yang seragam dan bukan pada tanah lunak (bermasalah). 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.

Kelebihan perkerasan kaku antara lain adalah:

- a. Pelaksanaan konstruksi dan pengendalian mutu lebih mudah.
- b. Biaya pemeliharaan lebih rendah jika mutu pelaksanaan baik.
- c. Pembuatan campuran lebih mudah.

Kekurangan antara lain:

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

Pada kondisi tertentu perkerasan kaku dapat juga digunakan untuk jalan dengan lalu lintas rendah. Untuk beban lalu lintas ringan, perkerasan kaku akan lebih mahal dibandingkan perkerasan lentur, terutama di daerah perdesaan 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.

3.5 Perkerasan Tanpa Penutup (Jalan Kerikil)

Perkerasan tanpa penutup (jalan kerikil) khusus untuk beban lalu lintas rendah (≤ 1 juta ESA4). Tipe perkerasan ini dapat juga diterapkan pada konstruksi secara bertahap di daerah yang rentan terhadap penurunan (*settlement*).

3.6 Pelebaran Jalan

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

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

3.7 Konstruksi Jalan 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.

3.8 Pelaburan (*Surface Dressing*) di Atas Lapis Fondasi Agregat

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.

3.9 HRS-WC Tebal 50 mm di Atas Lapis Fondasi Agregat

HRS-WC tebal 50 mm di atas Lapis Fondasi Berbutir merupakan solusi yang tepat biaya untuk jalan baru atau rekonstruksi dengan beban lalu lintas rendah (< 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 Subbab 3.8.

3.10 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. Selain itu keberhasilan dengan penggunaan teknologi *soil cement* tidak terlepas dari pelaksanaan perawatan yang disiplin.

3.11 Perkerasan Aspal Beton dengan *Cement Treated Base* (CTB)

Untuk jalan yang melayani lalu lintas sedang dan berat dapat dipilih lapis fondasi agregat semen (CTB) karena dapat menghemat secara signifikan dibandingkan dengan lapis fondasi agregat. Biaya perkerasan dengan lapis fondasi CTB pada umumnya lebih murah daripada perkerasan beraspal konvensional dengan lapis fondasi agregat untuk beban rencana > 10 juta ESA5, tergantung pada harga setempat dan kemampuan kontraktor. CTB dapat

menghemat penggunaan aspal dan material berbutir, dan kurang sensitif terhadap air dibandingkan dengan lapis fondasi agregat.

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 risiko retak reflektif dan untuk memudahkan konstruksi.

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

SALINAN

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

10	2/2
----	-----

4. LALU LINTAS

4.1 Analisis 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:

- a. Volume lalu lintas untuk setiap kelas kendaraan.
- b. Beban gandar kendaraan niaga dinyatakan dalam beban ekuivalen sumbu standar (ESAL).

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari:

- a. 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 mengacu pada pedoman yang terbaru atau survei menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama.
- b. Hasil-hasil survei lalu lintas sebelumnya.
- c. Nilai perkiraan dari Subbab 4.9 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 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). 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 teknis 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 ditunjukkan pada Tabel 4.4. Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang memiliki beban gandar yang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan.

¹Durasi kurang dari 7 x 24 jam dapat dilakukan untuk jalan dengan lalu lintas rendah

4.4 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas harus berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia dapat menggunakan Tabel 4.1.

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*):

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

Keterangan:

- 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 (UR_1 tahun) dan $i_2\%$ selama sisa periode berikutnya ($UR - UR_1$), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut:

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

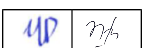
Keterangan:

- 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)
- UR_1 : Umur rencana periode 1 (tahun)

Pertumbuhan lalu lintas sesuai Tabel 4.1 nilainya harus disesuaikan bilamana terjadi perubahan tata guna lahan atau dibangunnya jaringan jalan baru.

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 (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 (CESAL) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Pada jalan yang demikian, walaupun sebagian besar kendaraan niaga mungkin akan menggunakan lajur luar, sebagian lainnya akan menggunakan lajur-lajur dalam. Faktor distribusi lajur harus berdasarkan data-data hasil survei lalu lintas setempat atau jika tidak tersedia dapat menggunakan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Faktor distribusi lajur (DL)

Jumlah Lajur Tiap 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*). Faktor Ekuivalen Beban atau *Vehicle Damage Factor* (VDF) dari sebuah kendaraan tertentu adalah jumlah nilai beban ESA dari seluruh kelompok sumbu kendaraan tersebut. Dengan menggunakan VDF, beban lalu lintas yang merupakan gabungan dari berbagai kendaraan dari berbagai kelas dengan beragam konfigurasi dan beban sumbu dapat dikonversi menjadi jumlah total beban ESA. Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif beban ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana yang diperoleh dari nilai VDF tersebut.

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 representative; dan
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.

Desain perkerasan harus mengakomodasi beban kendaraan aktual. Penggunaan beban sumbu yang terkendali (sesuai ketentuan) harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- a. prosedur pengendalian beban sumbu sudah diterbitkan dan jangka waktu penerapannya telah disetujui oleh semua pemangku kepentingan (*stakeholders*);
- b. telah ada tindakan awal penerapan kebijakan tersebut; dan
- c. adanya kepastian bahwa kebijakan tersebut dapat dicapai.

LAMPIRAN H menunjukkan nilai VDF regional masing-masing kelas kendaraan niaga untuk setiap provinsi yang dapat digunakan untuk merancang desain perkerasan lentur. Lampiran-lampiran tersebut diolah dari data studi WIM yang dilakukan Direktorat Jenderal Bina Marga pada tahun 2015 - 2023. Data tersebut perlu diperbarui secara berkala sekurang-kurangnya setiap 5 (lima) tahun. Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana teknis dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada LAMPIRAN H dapat digunakan untuk menghitung beban rencana. Namun bilamana untuk kelas kendaraan tertentu yang nilai VDF kendaraannya tidak tersedia pada Lampiran H, maka perencana teknis dapat menggunakan nilai VDF untuk kelas kendaraan pada lokasi terdekat yang diperkirakan mempunyai karakteristik lalu lintas yang sama.





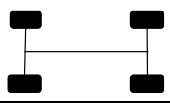

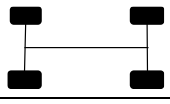

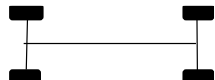



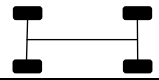

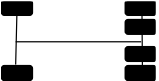

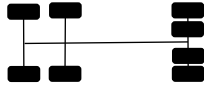


Perkiraan beban gandar kawasan dengan lalu lintas rendah dapat mengacu Tabel 4.5.

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

4.7 Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Beban lalu lintas desain perkerasan kaku didasarkan pada distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga (Jumlah Total Sumbu Kendaraan Niaga, JSKN) dan bukan pada nilai ESA. Karakteristik proporsi sumbu dan proporsi beban setiap kelompok sumbu dapat menggunakan data hasil survei jembatan timbang atau mengacu pada LAMPIRAN D yang menunjukkan distribusi beban JSKN per provinsi untuk dapat digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku.

Tabel 4.4 Klasifikasi dan konfigurasi sumbu kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Skema Konfigurasi
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3			
2	Kendaraan ringan - sedan, jeep, dan station wagon	1.1	2	 
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	1.1	2	 
4	Kendaraan ringan - pick up, micro truck	1.1	2	 
5A	Bus kecil	1.1	2	 
5B	Bus besar	1.2	2	 
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	1.1	2	 
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	1.2	2	 
7A1	Truk 3 sumbu-berat	11.2	2	 
7A2	Truk 3 sumbu-berat	1.22	2	 

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Skema Konfigurasi	Klasifikasi Kendaraan
7A3	Truk 4 sumbu-berat	11.22	2		
7B1	Truk 4 sumbu-berat	1.2+2.2	4		
7B2	Truk 5 sumbu-berat	11.2+2.2	4		
7B3	Truk 5 sumbu-berat	1.22+2.2	4		
7C1	Truk 4 sumbu-berat	1.2-22	3		
7C2A	Truk 5 sumbu-berat	1.22-22	3		
7C2B	Truk 5 sumbu-berat	1.2-222	3		
7C3	Truk 6 sumbu-berat	1.22-222	3		
7C4	Truk 7 sumbu-berat	1.22-2222	3		
8	Kendaraan tak bermotor				

4.8 Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Standard 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

$$\text{CESAL} = (\sum \text{LHR}_{\text{JK}} \times \text{VDF}_{\text{JK}}) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \quad (4.3)$$

Keterangan:

- 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, LAMPIRAN H
- 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

4.9 Perkiraan Lalu Lintas untuk Jalan Lalu Lintas Rendah

Pada daerah dengan lalu lintas rendah yang data lalu lintas tidak tersedia atau diperkirakan terlalu rendah maka dapat menggunakan Tabel 4.5.

Tabel 4.5 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	Beban Lalu Lintas Desain (Aktual) (ESA4)
Jalan desa minor dengan akses kendaraan berat terbatas	50	5	20	1	22	25.000
Jalan kecil dua arah	100	5	20	1	22	45.000
Jalan lokal	500	10	20	1	22	500.000

4.10 Contoh Penggunaan

Suatu ruas jalan baru (4-lajur 2-arah) yang dibangun di Jawa Barat-Pantura direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2025. Data lalu lintas harian yang digunakan untuk perencanaan diperoleh dari survei pada Januari 2024 adalah sebagai berikut:

Golongan Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Data LHR (2 Arah)
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3	-	-	11.197
2	Kendaraan ringan - sedan, <i>jeep</i> , dan <i>station wagon</i>	1.1	2	2.193
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	1.1	2	1.951
4	Kendaraan ringan - <i>pick up</i> dan <i>micro truck</i>	1.1	2	1.468
5A	Bus kecil	1.1	2	317
5B	Bus besar	1.2	2	262
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	1.1	2	322
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	1.2	2	2.505
7A1	Truk 3 sumbu-berat	11.2	2	753
7A2	Truk 3 sumbu-berat	1.22	2	416
7A3	Truk 4 sumbu-berat	11.22	2	-
7B1	Truk 4 sumbu-berat	1.2+2.2	4	-
7B2	Truk 5 sumbu-berat	11.2+2.2	4	52
7B3	Truk 5 sumbu-berat	1.22+2.2	4	-
7C1	Truk 4 sumbu-berat	1.2-22	3	269
7C2A	Truk 5 sumbu-berat	1.22-22	3	103
7C2B	Truk 5 sumbu-berat	1.2-222	3	93
7C3	Truk 6 sumbu-berat	1.22-222	3	59
7C4	Truk 7 sumbu-berat	1.22-2222	3	-
8	Kendaraan tak bermotor	-	-	539

Rencana *open traffic* pada Januari 2025, perkerasan direncanakan memiliki umur layan selama 20 (dua puluh) tahun dari Januari 2025 hingga Desember 2044. Hitung kumulatif beban (ESA4 & ESA5) untuk umur rencana 20 (dua puluh) tahun (2025-2044) dengan menggunakan VDF LAMPIRAN H dan angka pertumbuhan lalu lintas regional seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Asumsikan bahwa beban kendaraan sudah terkendali pada tahun 2028.

Tahapan perhitungan kumulatif beban (ESA4 & ESA5)

1. Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun 4,80 % (sesuai dengan pertumbuhan lalu lintas untuk arteri dan perkotaan di Pulau Jawa seperti pada Tabel 4.1).
2. Karena jalan rencana merupakan jalan dua arah maka distribusi arah sebesar 0,5. Selanjutnya, sesuai dengan Tabel 4.2, dengan jalan yang dirancang merupakan jalan 4 lajur – 2 arah terbagi, maka diperoleh faktor distribusi lajur sebesar 0,8.
3. Pengumpulan data survei LHR dilakukan pada Januari 2024; sedangkan tahun pertama pembukaan lalu lintas dilakukan pada Januari 2025 (1 tahun setelah 2024); permulaan periode beban normal MST 12 ton pada Januari 2028 (4 tahun setelah survei tahun 2024). Perhitungan lalu lintas pada saat dimulainya operasi jalan pada tahun 2025 (1 tahun setelah 2024): $LHR_{2025} = LHR_{2024} \times (1+i/100)^1$

4. Perhitungan lalu lintas pada saat periode beban sudah terkendali pada tahun 2028 (4 tahun dari 2024): $LHR\ 2028 = LHR\ 2024 \times (1+i/100)^4$
5. Perhitungan kebutuhan kumulatif sumbu standar menggunakan rumus pada Persamaan 4.3.
6. Selanjutnya perhitungan kebutuhan kumulatif sumbu standar pada contoh soal diselesaikan dengan menggunakan tabel berikut:

SALINAN

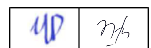
Perkiraan Kumulatif Beban Lalu Lintas CESA4 & CESA5

Golongan Kendaraan	LHR 2024	LHR 2025	LHR 2028	VDF4 Faktual	VDF4 Normal	VDF5 Faktual	VDF5 Normal	DD	DL	R (i=4.8%)		CESA4		CESA5	
										(3 tahun) 2025 - 2028	(17 tahun) 2028 - 2044	Faktual 2025 - 2028	Normal 2028 - 2044	Beban Faktual 2025 - 2028	Beban Normal 2028 - 2044
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1	11.197	11.734	13.507	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
2	2.193	2.298	2.645	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
3	1.951	2.045	2.353	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
4	1.468	1.538	1.771	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
5A	317	332	382	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
5B	262	275	316	1,2	1,2	1,3	1,3	0,5	0,80	3,15	25,39	151.355	1.406.095	163.968,1	1.523.270
6A	322	337	388	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,80	3,15	25,39	77.507	720.042	62.005,6	576.034
6B	2.505	2.625	3.022	3,8	0,8	5,5	0,7	0,5	0,80	3,15	25,39	4.582.539	8.962.516	6.632.621,9	7.842.202
7A1	753	789	908	7,8	2,8	12,3	3,2	0,5	0,80	3,15	25,39	2.827.512	9.429.426	4.458.768,3	10.776.487
7A2	416	436	502	16,3	4,6	33,6	6,3	0,5	0,80	3,15	25,39	3.264.343	8.558.219	6.728.952,0	11.721.039
7A3	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
7B1	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
7B2	52	54	63	12,9	5,9	18,9	6,9	0,5	0,80	3,15	25,39	322.930	1.372.106	473.129,4	1.604.666
7B3	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
7C1	269	282	324	6,7	4,5	9,6	5,7	0,5	0,80	3,15	25,39	867.645	5.413.736	1.243.192,4	6.857.398
7C2A	103	108	124	12,8	6,6	21,5	8,6	0,5	0,80	3,15	25,39	634.691	3.040.279	1.066.081,7	3.961.575
7C2B	93	97	112	14,8	6,4	26,8	8,9	0,5	0,80	3,15	25,39	662.612	2.661.921	1.199.865,5	3.701.734
7C3	59	62	71	20,8	7,0	44,2	9,6	0,5	0,80	3,15	25,39	590.786	1.847.065	1.255.420,2	2.533.118
7C4	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
8	539	565	650	-	-	-	-	0,5	0,80	3,15	25,39	-	-	-	-
Jumlah ESA												13.981.918	43.411.406	23.284.005	51.097.524
ESA												57.393.324		74.381.529	
												CESA4		CESA5	

Keterangan rumus setiap kolom

$$(3) = (2) \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^1$$

$$(4) = (2) \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^4$$



(5), (6), (7), (8) dari tabel *Vehicle Damage Factor* Jawa Barat – Pantura pada LAMPIRAN H

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	3,8	7,8	16,3	-	-	12,9	-	6,7	12,8	14,8	20,8	-
	Normal	1,2	0,5	0,8	2,8	4,6	-	-	5,9	-	4,5	6,6	6,4	7,0	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	5,5	12,3	33,6	-	-	18,9	-	9,6	21,5	26,8	44,2	-
	Normal	1,3	0,4	0,7	3,2	6,3	-	-	6,9	-	5,7	8,6	8,9	9,6	-

(9), (10) dari Bab 4.5 mengenai faktor distribusi arah dan distribusi lajur

$$(11) = \frac{(1+0,01 \times i)^3 - 1}{0,01 \times i} = 3,15$$

$$(12) = \frac{(1+0,01 \times i)^{17} - 1}{0,01 \times i} = 25,39$$

$$(13) = (3) \times (5) \times (9) \times (10) \times (11) \times 365$$

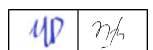
$$(14) = (4) \times (6) \times (9) \times (10) \times (12) \times 365$$

$$(15) = (3) \times (7) \times (9) \times (10) \times (11) \times 365$$

$$(16) = (4) \times (8) \times (9) \times (10) \times (12) \times 365$$

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



5. DRAINASE PERKERASAN JALAN

5.1 Umum

Drainase perkerasan jalan memiliki peran penting untuk menjaga air supaya tidak mempengaruhi konstruksi perkerasan jalan. Air memiliki pengaruh pada konstruksi perkerasan jalan, diantaranya (AASHTO, 1993):

- a. Keberadaan air pada permukaan aspal (campuran beraspal) dapat menyebabkan nilai modulus campuran berkurang, dan kehilangan kekuatan tarik. Pengaruh kejenuhan air pada lapisan ini dapat menyebabkan modulus campuran beraspal berkurang $\geq 30\%$.
- b. Pengaruh air pada lapisan *Asphalt Concrete Base (AC-Base)*, dapat menyebabkan pengurangan nilai modulus hingga 30% dan meningkatkan kerentanan terhadap erosi pada lapisan *Cement Treated Base (CTB)* dan *Lime Treated Base*.
- c. Peningkatan kadar air pada lapis fondasi agregat (*base* dan *subbase*) dapat menyebabkan penurunan modulus hingga 50% atau lebih.
- d. Tanah berbutir halus (*roadbed soil*) yang jenuh air dapat mengalami penurunan nilai modulus lebih dari 50%.

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

- a. Lapis fondasi agregat harus dapat mengalirkan air atau cukup *permeable*.
- b. Desain pelebaran perkerasan harus memastikan bahwa air dari lapis granular terbawah perkerasan eksisting dapat dialirkan dengan baik.
- c. Lintasan drainase yang kurang dari 500 mm dari tepi luar lapis granular ke tepi *verge* timbunan dapat mengalirkan air.
- d. *French drains* dalam arah melintang pada setiap titik terendah arah memanjang dan jarak maksimum sepanjang 50 m dianggap dapat mengalirkan air dari lapis fondasi bawah.
- e. Jika lapis fondasi bawah lebih rendah dari elevasi tanah disekitarnya, maka harus dipasang *subdrain* (apabila memungkinkan hindari kondisi seperti ini dengan membuat desain geometrik yang baik).
- f. *Subdrain* harus dibuat berdekatan dengan saluran U atau struktur lain yang berpotensi menghalangi aliran air dari setiap lapis fondasi bawah. Sulingan pada dinding saluran tepi tidak dapat diandalkan untuk berfungsi sebagai *subdrain*.
- g. *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 50 m. Level *inlet* dan *outlet subdrain* harus lebih tinggi 15 cm dari level muka air banjir rencana pada saluran permukaan.
- h. Untuk jalan dengan median pemisah, sistem *subdrain* pada median harus dibuat jika kemiringan permukaan jalan mengarah ke median (pada superelevasi). Sistem *subdrain* ini harus berakhir ke saluran drainase ke badan air.

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

5.2 Tinggi Minimum Timbunan untuk Drainase Perkerasan

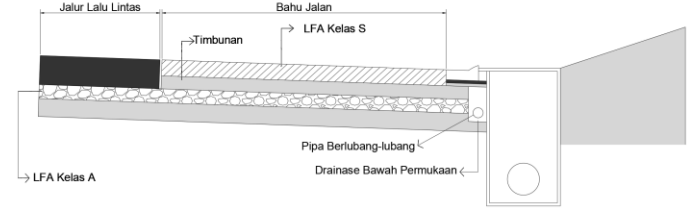
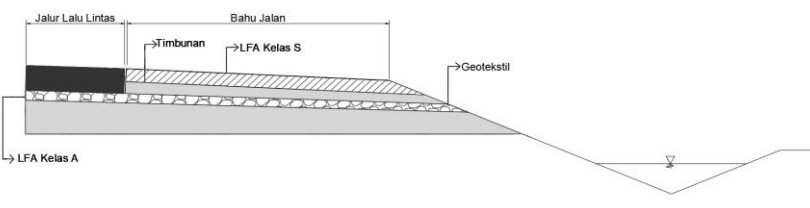
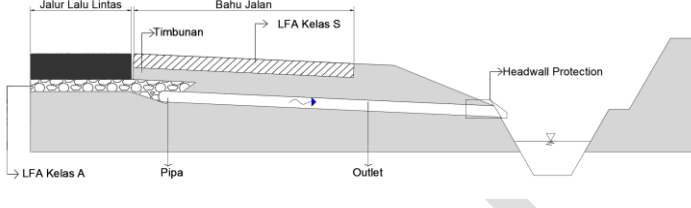
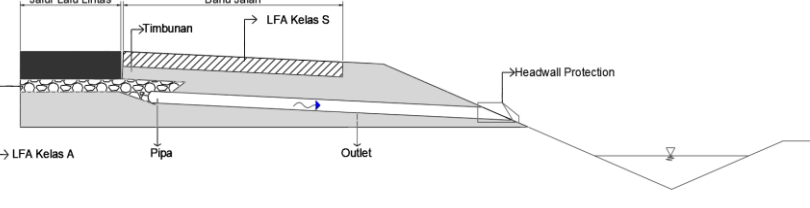
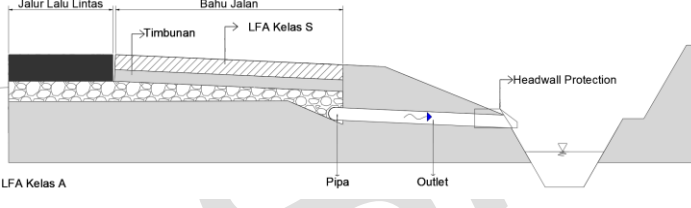
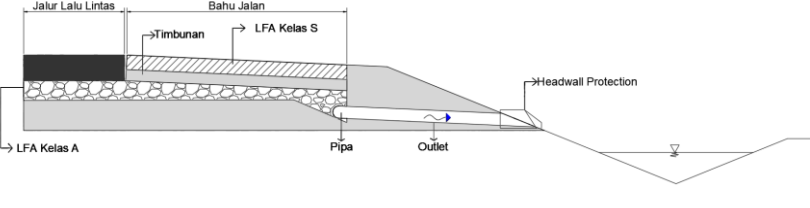
Tinggi minimum permukaan tanah dasar di atas muka air tanah dan level muka air banjir adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir

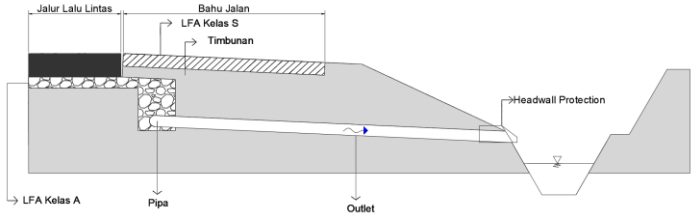
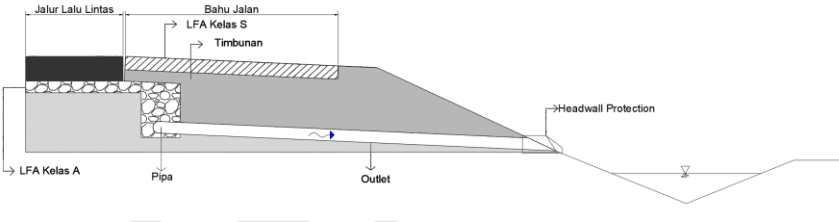
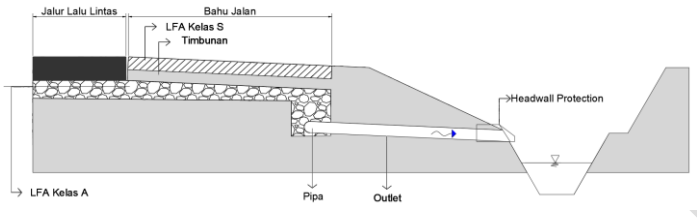
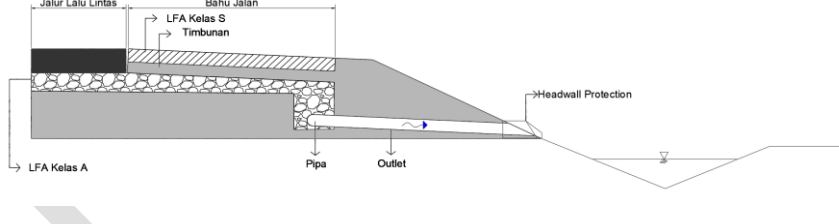
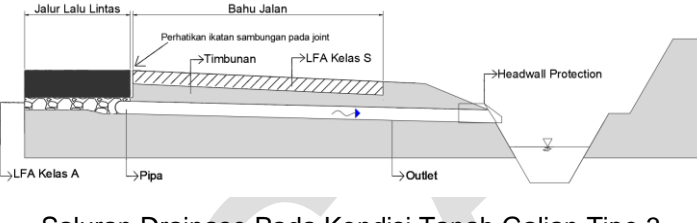
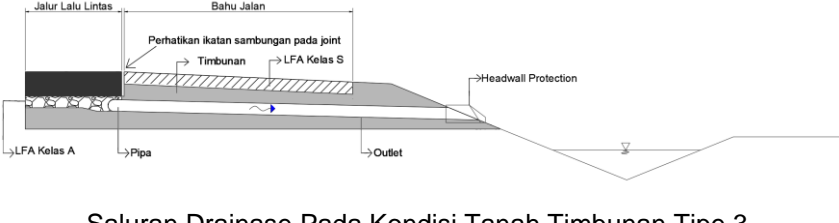
Kelas Jalan (berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan)	Tinggi Tanah Dasar di Atas Muka Air Tanah (mm)	Tinggi Tanah Dasar di Atas Muka Air Banjir (mm)
Jalan Bebas Hambatan	1200	
Jalan Raya	800 (tanah lunak jenuh atau gambut) 600 (tanah dasar normal)	500 (banjir 50 tahunan)
Jalan Sedang	600	500 (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 lapisan pencegah *pumping* butiran halus terhadap lapis fondasi (*subbase*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 tipikal struktur perkerasan.

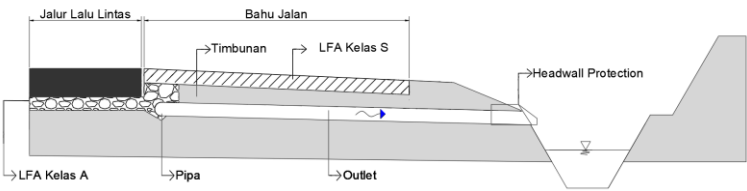
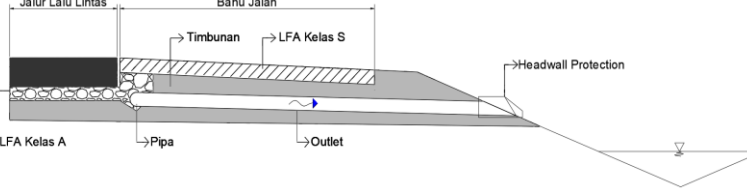
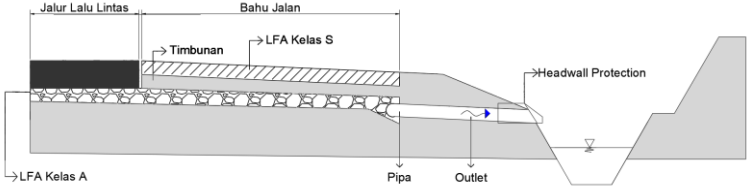
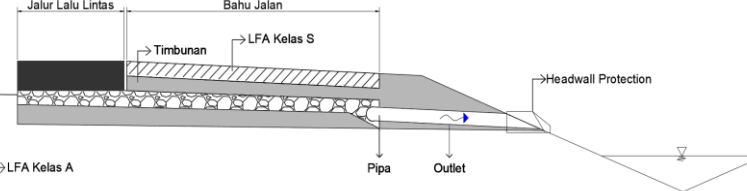
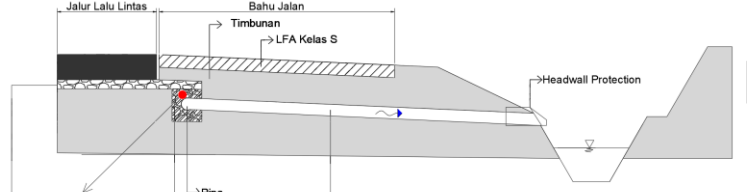
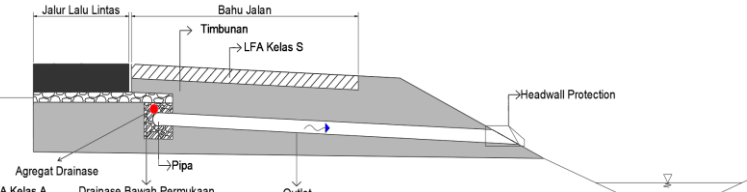
Tabel 5.2 Gambar tipikal drainase jalan⁽¹⁾

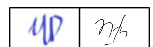
No.	Daerah Galian	Daerah Timbunan
1	 <p>Galian Dengan Drainase Bawah Permukaan yang Ideal</p>	 <p>Timbunan Dengan Lapis Fondasi Bawah Menerus Sampai Bahu Jalan</p>
2	 <p>Saluran Drainase Dangkal (Galian) Tipe 1</p>	 <p>Saluran Drainase Dangkal (Timbunan) Tipe 1</p>
3	 <p>Saluran Drainase Dangkal (Galian) Tipe 2</p>	 <p>Saluran Drainase Dangkal (Timbunan) Tipe 2</p>

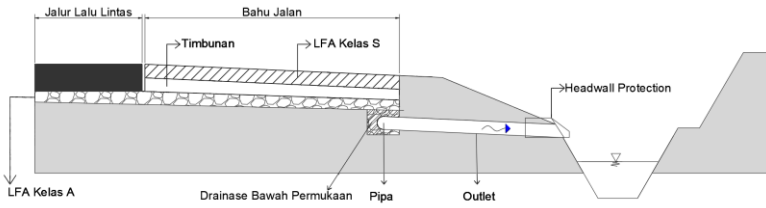
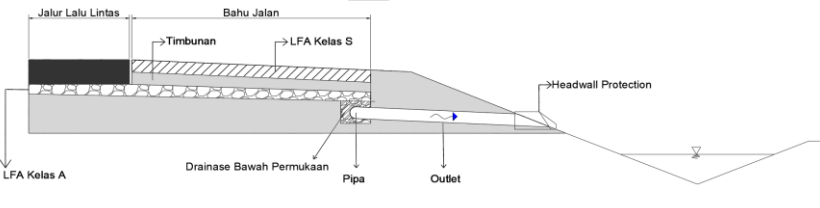
WP Mh

No.	Daerah Galian	Daerah Timbunan
4	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Dalam (Galian) Tipe 1</p>	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Dalam (Timbunan) Tipe 1</p>
5	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Dalam (Galian) Tipe 2</p>	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Dalam (Timbunan) Tipe 2</p>
6	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Galian Tipe 3</p>	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Timbunan Tipe 3</p>



No.	Daerah Galian	Daerah Timbunan
7	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Galian Tipe 4</p>	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Timbunan Tipe 4</p>
8	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Galian Tipe 5</p>	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Timbunan Tipe 5</p>
9	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Galian Tipe 6</p>	 <p style="text-align: center;">Saluran Drainase Pada Kondisi Tanah Timbunan Tipe 6</p>



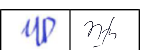
No.	Daerah Galian	Daerah Timbunan
10	 <p data-bbox="423 592 1025 624">Saluran Drainase pada kondisi tanah galian Tipe 7</p>	 <p data-bbox="1240 592 1877 624">Saluran Drainase pada kondisi tanah timbunan Tipe 7</p>

Catatan:

1. Gambar-gambar pada tabel 5.2 hanyalah tipikal sebagai contoh drainase perkerasan jalan, untuk detail desain dapat mengacu pada dokumen gambar standar.

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



6. DESAIN FONDASI JALAN

6.1 Pendahuluan

Bab ini membahas desain perbaikan tanah dasar, lapis penopang (untuk tanah lunak), *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. Hal-hal yang spesifik, terutama terkait dengan tanah problematik, dapat mengacu pada pedoman terkait yang berlaku di Direktorat Jenderal Bina Marga.

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, tanah ekspansif 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 beban 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 Investigasi dan Pengujian

6.2.1 Investigasi Tanah Dasar

- a. Material setempat harus digunakan semaksimal mungkin untuk menyeimbangkan galian dan timbunan (*cut and fill*). Dalam hal keseimbangan tersebut tidak dapat sepenuhnya diterapkan, perencana teknis harus merekomendasikan lokasi sumber bahan (*borrow area*) dan/atau lokasi pembuangan kelebihan hasil galian yang memenuhi syarat.
- b. Penentuan titik-titik pengambilan contoh tanah berdasarkan peta geologi, investigasi geologi (geolistrik, dan lain-lain), profil memanjang alinyemen jalan, dan *mass haul diagram*.
- c. Pengambilan benda uji tanah untuk mengetahui sifat-sifat tanah dan pengujian lain yang diperlukan sesuai dengan jenis dan kondisi tanah yang dihadapi. Perlu diperhatikan jarak antara titik-titik uji yang rapat pada segmen yang terindikasi mempunyai jenis tanah yang serupa untuk memastikan keseragaman segmen. DCP juga dilakukan untuk mengukur daya dukung tanah lunak seperti diuraikan pada butir 6.2.3.
- d. Pada lokasi rencana galian, penyelidikan harus mencapai level minimum 1 m di bawah rencana permukaan tanah dasar.

- e. Pada lokasi galian yang dalam sehingga pengambilan contoh tanah yang mencukupi untuk pengujian CBR laboratorium tidak dapat dilakukan maka dilakukan interpretasi dari pengujian sifat-sifat tanah dan berdasarkan hasil pengujian sondir dan N-SPT.
- f. Hasil investigasi harus dapat menyatakan dengan jelas lokasi-lokasi peralihan jenis tanah pada arah memanjang.

6.2.2 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 1742:2008 Cara uji kepadatan ringan untuk tanah).

Untuk desain, daya dukung rencana tanah dasar diperoleh dari nilai CBR rendaman 4 (empat) 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.

6.2.3 Pengukuran Daya Dukung Dengan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer Test*)

Pengujian daya dukung tanah dasar 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 F).
- 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 5.1)		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 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:

- a. harus mempunyai nilai CBR rendaman rencana minimum;
- b. tidak peka terhadap perubahan kadar air;
- c. dibentuk dengan benar, sesuai dengan bentuk geometrik jalan;
- d. ketebalan pemadatan harus menggunakan peralatan yang sesuai spesifikasi dan hasil kepadatannya memenuhi persyaratan; dan
- e. mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan konstruksi.

Persyaratan tambahan untuk perkerasan kaku di atas tanah lunak diuraikan pada Subbab 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 (empat puluh) 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 penguatan dengan lapisan aspal tambahan berulang kali selama masa pelayanannya sehingga biaya total perkerasan (*life cycle 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 Rekomendasi 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 100 mm Khusus untuk perkerasan kaku , berdasarkan pertimbangan hasil perhitungan desain yang menyatakan aman, baik untuk timbunan di atasnya maupun untuk konstruksi perkerasan.	a) Pra-pembebanan sebelum pelaksanaan perkerasan (pada oprit struktur mungkin diperlukan pra pembebanan yang sama dengan konsolidasi primer kecuali jika ada penanganan tambahan). b) Drainase vertikal atau beban tambah (<i>surchage</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 80-120 km/jam.	Di antara setiap dua titik secara memanjang dan melintang termasuk yang berdampingan dengan struktur tertanam dan atau pada <i>relief slab abutment</i> jembatan.	0,003:1 (perubahan kemiringan 0,3%).	Seperti penanganan penurunan total.
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana < 80 km/jam.		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 80-120 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 atau dukungan dari <i>micro pile</i> dan cakar ayam atau tulangan menerus.
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana <80 km/jam.		Perlu penanganan atau perbaikan apabila terjadi patahan atau perbedaan penurunan > 8 mm pada sambungan.	

Perbedaan penurunan dapat diakibatkan oleh konsolidasi primer dan sekunder tanah asli, variasi tebal dan karakteristik tanah lunak. Pematatan 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 comfort*) baik pada perkerasan kaku maupun lentur. Oleh sebab itu, gunakan perkerasan lentur apabila perbedaan penurunan melebihi batasan yang diuraikan pada Tabel 6.2.

Perbedaan penurunan adalah panjang setengah gelombang lengkung penurunan (selain penurunan yang berdekatan dengan struktur) diperkirakan tidak kurang dari 25 hingga 35 meter, pada kondisi tersebut perubahan gradien maksimum antara pelat beton (relatif terhadap terhadap gradien rencana) karena perbedaan penurunan pada tanah lunak dengan tebal 1 hingga 3 m, 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 gradien 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.

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, pematatan 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:

- a. Pada jarak 20 m dari abutmen jembatan.
- b. Lokasi-lokasi perkerasan melalui gorong-gorong.
- c. 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.

Batasan tidak berlaku untuk jalan kerikil (tanpa penutup). Jika perkerasan dilaksanakan secara bertahap dan tahap pertama berupa perkerasan lentur, batasan tersebut dapat dilonggarkan pada tahap pertama tetapi harus diberlakukan kembali pada pelaksanaan tahap akhir berupa perkerasan kaku.

Jika lapis tambah perkerasan lentur sudah dijadwalkan, batasan perbedaan penurunan diberlakukan untuk setiap umur rencana lapis tambahan.

2 (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.

6.5.2 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 m.

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) atau acuan lain yang berlaku. 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; dan
3. timbunan di atas tanah lunak dengan tinggi lebih dari 3 m membutuhkan penyelidikan geoteknik menyeluruh terutama untuk stabilitas lereng.

6.5.3 Penurunan Total Pada Oprit Jembatan dan Struktur yang Berdekatan dengan Struktur Yang Tetap

Batas penurunan dinyatakan pada Tabel 6.2. Penanganan untuk mengendalikan penurunan harus sesuai kajian geoteknik, antara lain dengan penggantian tanah, pemadatan dengan energi *impact* tinggi, kolom batu (*stone column*) 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 dan penyelidikan lapangan atas dasar kesamaan geologi, hidrologi, 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.

Perhitungan CBR karakteristik menggunakan 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 2 (dua) bagian, yaitu bagian yang mengandung "x" persen data dan bagian yang mengandung (100-x) persen data.

Nilai CBR yang dipilih adalah nilai persentil ke-10 (*10th 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 persentil ke-10 adalah sebagai berikut:

- a. Susun data CBR secara berurutan dari nilai terkecil hingga terbesar.
- b. Hitung jumlah total data nilai CBR (n).
- c. Hitung 10% dari (n), nilai yang diperoleh disebut sebagai indeks.
- d. Jika indeks yang diperoleh dari langkah c merupakan bilangan pecahan, lakukan pembulatan ke bilangan terdekat dan lanjutkan ke langkah e. Jika indeks yang dihasilkan berupa bilangan bulat, lanjutkan ke langkah f.

- e. Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah a), dihitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah c. Nilai CBR pada urutan tersebut adalah nilai CBR persentil ke-10.
- f. Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah a), dihitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah c. 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

- 1) 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.
- 2) Untuk persentil ke-10, indeks persentil adalah $10\% \times 20 = 2$ (langkah c).
- 3) Karena 2 adalah bilangan bulat maka berlaku langkah f: CBR pada persentil tersebut adalah rata-rata CBR pada nomor urut 2 dan 3 yaitu $(3+4)/2 = 3,5$.
- 4) Dengan demikian, nilai CBR karakteristik segmen 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%.

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 3 (tiga) nilai berikut:

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

$$CBR_{\text{stabilisasi}} = CBR_{\text{asal}} \times 2^{(\text{tebal lapis stabilisasi dalam mm})/150} \quad (6.1)$$

Tebal total tanah dasar $CBR_{\text{tanah stabilisasi}}$ adalah 200 mm untuk pemadat *pad foot* biasa atau sampai dengan 300 mm apabila disyaratkan dan digunakan alat pemadat *pad foot* dengan berat statik minimum 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 (empat) hari, nilai stabilisasi tanah semen CBR 15%.
- b. Berdasarkan nilai CBR tanah asal (tidak distabilisasi): $4 \times 4\% = 16\%$.
- c. Berdasarkan Persamaan 6.1 CBR stabilisasi adalah 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 $4 \times 2^{(300/150)} = 16\%$. 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 2,5% (diukur dengan pengujian CBR rendaman SNI 1744:2012 pada kadar air optimum dan kepadatan kering 100%).

Tanah ekspansif diklasifikasikan berdasarkan potensi pengembangannya (*swelling*) dan *Weighted Plasticity Index* (WPI) yang dibagi menjadi Rendah, Moderat, Tinggi, Sangat Tinggi,

dan Ekstrim. Tanah ekspansif diklasifikasikan sebagai tanah yang mempunyai Pengembangan Potensial yang disajikan dalam Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Klasifikasi tanah ekspansif

Klasifikasi	Weighted Plasticity Index (WPI) (PI dikali persentase yang lolos saringan ukuran 0,425 mm)	Pengembangan (%) ¹
Ekstrim	>4.200	>10,0
Sangat Tinggi	>3.200 – 4.200	>5,0 – 10,0
Tinggi	>2.200 – 3.200	2,5 – 5,0
Moderat	1.200 – 2.200	0,5 – 2,5
Rendah	<1.200	<0,5

Catatan:

1. Pengembangan pada Kadar Air Optimum (OMC) dan 98% Kepadatan Kering Maksimum (MDD) dengan menggunakan Kepadatan Ringan (*Standard Proctor*) dengan rendaman 4 (empat) hari dan beban tambahan 4,5 kg.

Persyaratan tambahan untuk tanah ekspansif adalah sebagai berikut :

- a. 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.
- b. Dipasang *subdrain* jika penggunaan dapat mengurangi variasi kadar air.
- c. Penanganan tanah ekspansif sesuai dengan Bagan Desain-2.

6.8 Material Timbunan

Pada Bagan Desain-2 menunjukkan tebal minimum material timbunan yaitu berupa tanah timbunan biasa dan timbunan pilihan untuk mencapai CBR desain 6% yang digunakan untuk pengembangan Katalog Desain tebal perkerasan. Apabila material timbunan akan digunakan untuk lalu lintas kendaraan konstruksi mungkin diperlukan yang lebih tebal.

Pertimbangan-pertimbangan di bawah ini berlaku dalam pelaksanaan pekerjaan timbunan.

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

b. Metode pemadatan

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

c. Geotekstil

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

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 normal 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; dan
- 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

Perbaikan tanah lunak untuk kedalaman kurang dari 1 m, sebaiknya dilakukan dengan penggantian tanah seluruhnya perlu dipertimbangkan. Adapun untuk tanah lunak yang memiliki kedalaman antara 1-4 m dapat ditangani contoh dengan metoda *micro piling* (cerucuk kayu) atau penggantian sebagian tanah lunak dan pra-pembebanan dengan perkiraan waktu pembebanan sesuai dengan Tabel 6.3. Namun untuk kepastian metode penanganannya harus mempertimbangkan selain hasil kajian geoteknik dan terhadap efektifitas dan efisiensinya.

SALINAN

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 Jalur Rencana Dengan Umur Rencana 40 Tahun (Juta ESA5)		
			<10	>10	
			Tebal Minimum Perbaikan Tanah Dasar (mm)		
5	SG5	Perbaikan tanah dengan material timbunan pilihan (CBR \geq 10%)	200	200	200
4	SG4		300	400	400
3	SG3			600	600
2,5	SG2,5				
<ul style="list-style-type: none"> Kekuatan tanah dasar < 2,5% atau tanah lunak 		Untuk tebal tanah lunak > 1 m harus ditangani dengan penanganan geoteknik, sedangkan untuk ketebalan \leq 1 m dapat diganti tanah timbunan dengan tebal minimum yang sama dengan ketentuan dan berlaku untuk tanah SG2,5 Bagan Desain ini.			
<ul style="list-style-type: none"> Tanah ekspansif 		Penanganan sesuai dengan kajian geoteknik terhadap besaran potensi pemuaian dengan ketebalan penutup tidak kurang dari 600 mm berupa material dengan potensi pemuaian tidak lebih besar dari 1,5%. Di atas lapis penutup tersebut harus ditambahkan lapis perbaikan SG2,5.			

Catatan:

- Untuk perkerasan kaku dan perkerasan lentur bilamana tanah dasarnya masih berbutir halus maka harus dipasang lapisan setebal 200 mm berupa lapisan: timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 – 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau dengan lapis stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²).
- Penanganan tanah ekspansif dapat mengacu pada Subbab 6.7 atau mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan PUPR tentang Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan PdT-10-2005-B, Pedoman Konstruksi dan Bangunan PUPR tentang Penanganan Tanah Ekspansif dengan Geomembran sebagai Penghalang Kelembaban Vertikal PdT-11-2004-B dan *Austroroads Guide to Pavement Technology Part 4I Eartworks Materials* AGPT04I-09.

6.9.3 Tanah Aluvial Kering

Tanah aluvial kering pada umumnya memiliki kekuatan sangat rendah (misalnya 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.

6.9.4 Gambut

Fondasi pada area gambut 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 penanggaan (*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 Desain 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.

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.

$$\text{CBR ekuivalen} = \left(\frac{\sum_i h_i \text{CBR}^{0,33}}{\sum_i h_i} \right)^3 \quad (6.2)$$

Keterangan, h_i = tebal lapis i dan $\sum h_i = 1$ m.

Penggunaan persamaan dapat berlaku pada kondisi sebagai berikut:

- 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.
- Lapisan dengan ketebalan kurang dari 200 mm harus digabungkan dengan lapisan yang berdekatan. Nilai CBR terendah harus digunakan untuk lapisan gabungan.
- CBR maksimum penggunaan formula ini adalah 15%.

Untuk mencegah *pumping*, baik untuk CBR efektif tanah dasar 6% maupun yang sudah diberi timbunan pilihan dengan CBR minimum 10%, maka pada perkerasan kaku harus dipasang timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6-15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau dengan lapis stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²) setebal 200 mm.

6.11 Gambut

Perkerasan kaku untuk kawasan gambut sebaiknya dihindari.

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

10	2/2
----	-----

7. DESAIN PERKERASAN LENTUR

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

7.1 Struktur Perkerasan

Desain perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana dapat dipilih berdasarkan material yang digunakan sebagai berikut.

- a. Bagan Desain-3(1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB.
- b. Bagan Desain-3(2) (dengan 200 mm CTB).
- c. Bagan Desain-3(3) (dengan 250 mm CTB).
- d. Bagan Desain-3(4) (dengan 300 mm CTB).
- e. Bagan Desain-3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal Pen 60/70 dan PG70).
- f. Bagan Desain-3B Penyesuaian Tebal Lapis Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen (Hanya untuk Bagan Desain-3A).
- g. Bagan Desain-4 Desain Perkerasan Lentur dengan HRS.
- h. Bagan Desain-5 Perkerasan Berbutir dengan Laburan.
- i. Bagan Desain-6 Perkerasan dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*).
- j. Bagan Desain-7 Perkerasan dengan Improve Subgrade Stabilisasi Semen.

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.

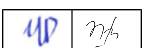
Catatan di bawah ini berlaku untuk perkerasan baru (Manual Bagian I):

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

- 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 deformasi permanen.
- Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan aspal beton dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris).
- Desain perkerasan kaku menggunakan jumlah kelompok dan distribusi beban sumbu kendaraan niaga (JSKN), 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.



Respon struktural tersebut digunakan untuk memprediksi kinerja struktur perkerasan dalam hal deformasi permanen dan retak lelah. 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:

- a. Dapat digunakan secara analitis untuk mengevaluasi perubahan atau variasi beban kendaraan terhadap kinerja perkerasan.
- b. Kinerja perkerasan dengan bahan-bahan baru dapat dievaluasi berdasarkan sifat-sifat mekanik bahan bersangkutan.
- c. Dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan sifat material akibat lingkungan dan iklim terhadap kinerja perkerasan.
- d. Mengevaluasi respons perkerasan terkait dengan moda kerusakan perkerasan secara spesifik (retak lelah 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 (lima) 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 dianggap 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 2 (dua) regangan yang kritis terkait dengan kinerja perkerasan adalah:

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

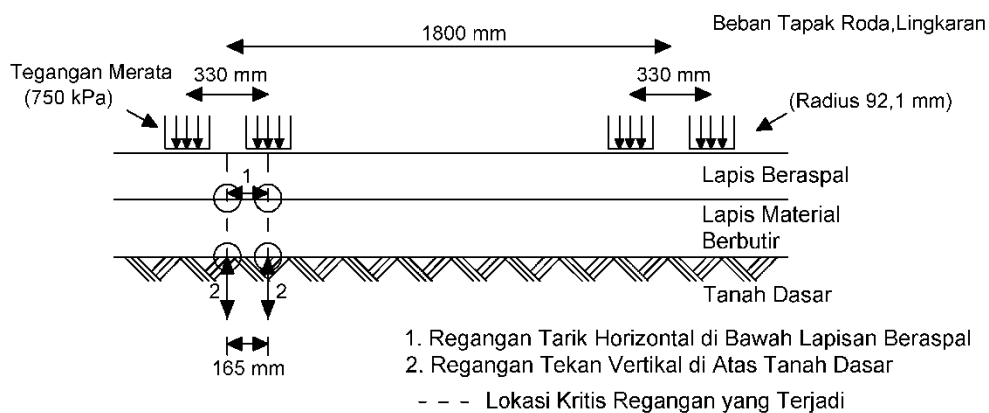
Regangan tekan vertikal yang terjadi pada permukaan tanah dasar digunakan sebagai kriteria desain untuk mengendalikan akumulasi deformasi permanen. Regangan tarik horizontal pada bagian bawah lapis berpengikat digunakan sebagai kriteria untuk mengendalikan kerusakan akibat lelah pada lapis bersangkutan.

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 lelah 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.

Prosedur desain berdasarkan analisa struktural perkerasan multi lapisan berdasarkan beban sumbu standar. Lokasi regangan kritis yang terjadi pada model perkerasan dan kondisi beban standar ditunjukkan pada Gambar 7.1.

Sumbu Tunggal Roda Ganda



Gambar 7.1 Model perkerasan pada prosedur mekanistik empiris

(sumber: Austroads AGPT02-17)

7.2.1 Konsep Desain Perkerasan Lentur

Konsep desain dalam menggunakan bagan desain untuk mencapai hasil yang maksimal secara teknis dan optimal untuk perkerasan lentur sebagaimana diuraikan dalam setiap bab adalah sebagai berikut:

- | | |
|--|--------|
| a. Tentukan umur rencana (Tabel 2.1 Umur rencana perkerasan jalan baru (UR)) | Bab 2 |
| b. Tentukan nilai-nilai ESA4 dan atau ESA5 sesuai umur rencana yang dipilih | Bab 4 |
| c. Tentukan tipe perkerasan berdasarkan Tabel 3.1 atau pertimbangan biaya (analisis <i>discounted life-cycle cost</i>) | Bab 3 |
| d. Tentukan segmen tanah dasar dengan daya dukung yang seragam | Bab 6 |
| e. Tentukan struktur fondasi perkerasan | Bab 6 |
| f. Tentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat berdasarkan analisa mekanistik empiris atau mengambil struktur perkerasan sesuai dengan Bagan Desain pada Bab 7 | Bab 7 |
| g. Tentukan standar drainase bawah permukaan yang dibutuhkan | Bab 5 |
| h. Tetapkan kebutuhan daya dukung tepi perkerasan | Bab 10 |

- i. Tentukan kebutuhan pelapisan (*sealing*) bahu jalan
 j. Ulangi langkah a sampai i untuk setiap segmen yang seragam

LAMPIRAN E

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 lelah dan deformasi permanen). Berikut ini adalah fungsi transfer yang digunakan pada manual ini.

7.2.2.1 Retak Lelah 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 lelah adalah:

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

Keterangan:

- N : jumlah repetisi izin beban
 $\mu\epsilon$: regangan tarik akibat beban (*microstrain*)
 V_b : volume aspal dalam campuran (%)
 E_{mix} : modulus campuran aspal (MPa)
 SF : *shift factor* antara hasil pengujian laboratorium dan *in-service fatigue lives* (nilai presuntif = 6)
 RF : faktor reliabilitas pada 90% sebesar 3,9

7.2.2.2 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:

$$N = \left[\frac{9300}{\mu\epsilon} \right]^7 \quad (7.2)$$

Keterangan:

- N : Jumlah repetisi izin beban
 $\mu\epsilon$: Regangan tekan pada permukaan tanah dasar (*microstrain*)



7.2.3 Karakterisasi Material

7.2.3.1 Material Berpengikat

Karakterisasi modulus bahan berpengikat (*bounded materials*) dan tanah dasar yang digunakan pada manual ini ditunjukkan pada Tabel 7.1. Modulus campuran beraspal pada Tabel 7.1 merupakan modulus pada suhu WMAPT 41°C.

Untuk tipe bahan yang menggunakan selain Aspal Pen 60-70 dan Aspal PG 70 maka perencana teknis diharuskan untuk melakukan pengujian parameter mekanistik pada suhu WMAPT rencana seperti pada Subbab 7.2.3.5.

Tabel 7.1 Karakterisasi modulus bahan berpengikat yang digunakan untuk pengembangan bagan desain dan untuk analisis mekanistik

Jenis Bahan	Modulus Tipikal	Rasio Poisson
HRS-WC	800 MPa	0,40
HRS-BC	900 MPa	
AC-WC (2 x 75 tumbukan)	1.100 MPa	
AC-WC (2 x 50 tumbukan)	1.000 MPa	
AC-BC (2 x 75 tumbukan)	1.200 MPa	
AC-Base (2 x 75 tumbukan)	1.500 MPa	
AC-WC PG70 (2 x 75 tumbukan)	1.300 MPa	
AC-BC PG70 (2 x 75 tumbukan)	1.400 MPa	
Bahan bersemen (CTB)	3.000 MPa (<i>pre cracking</i>)	0,20
Bahan bersemen (CTB)	500 MPa retak (<i>post cracking</i>)	0,20 (mulus) 0,35 (retak)
Tanah dasar (d 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 WMAPT 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 jika melakukan perhitungan sendiri melalui program CIRCLY.

Tabel 7.2 Faktor koreksi modulus campuran beraspal

Temperatur Perkerasan Aspal (WMAPT)	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 5 (lima) sub-lapisan dengan ketebalan yang sama dan nilai modulus yang semakin ke bawah semakin kecil. Tabel 7.3 menunjukkan modulus karakteristik permukaan sub-lapisan teratas yang digunakan untuk pengembangan bagan desain dan analisis mekanistik.

Tabel 7.3 Karakteristik modulus lapisan teratas bahan berbutir

Tebal Lapisan Aspal di Atas Lapisan Berbutir	Modulus Bahan Berbutir (MPa)
	(Langsung di Bawah AC: WC/BC/Base)
40 mm	350
75 mm	350
100 mm	350
125 mm	320
150 mm	280
175 mm	250
200 mm	220
225 mm	180
≥ 250 mm	150

Pendekatan dalam melakukan analisa modulus material berbutir dapat digunakan 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:

- Bagi lapisan berbutir dalam lima sub lapisan dengan ketebalan yang sama.
- Modulus sub lapisan teratas adalah nilai minimum dari modulus yang ditunjukkan dalam Tabel 7.3 dan modulus yang diperoleh dari formula berikut:

$$E_v \text{ sub-lapisan 1} = E_v \text{ tanah-dasar} \times 2^{(\text{tebal lapis total lapis berbutir}) / 125} \quad (7.3)$$

- Rasio nilai modulus antara sub-lapisan adalah:

$$R = \left[\frac{E_{\text{sub lapis 1}}}{E_{\text{tanah dasar}}} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (7.4)$$

- Modulus masing-masing sub-lapis dapat dihitung mulai dari sub lapis teratas menurun ke bawah, atau dari tanah dasar ke atas.
- Parameter modulus material berbutir (*cross anisotropic*) lainnya, modulus dalam arah horizontal (E_H) dan modulus geser (f) dihitung dari hubungan antara parameter:

$$1) E_H = 0.5 E_v; \text{ dan} \quad (7.5)$$

$$2) f = \frac{E_{v_i}}{1 + \mu_i} \quad (7.6)$$

- 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.

1) Bagi LFA dalam 5 sub-lapisan dengan tebal masing-masing 60 mm (300/5).

2) 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 Persamaan 7.3. E_v sub-lapisan teratas adalah 316 MPa ($60 \times 2^{(300/125)}$ MPa).

Dipilih nilai tekecil (150 MPa).

3) Menentukan rasio nilai modulus antara sub-lapisan dengan persamaan berikut:

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

4) Berdasarkan nilai R di atas maka modulus E_v sub lapisan berikutnya adalah sebagai berikut:

Sub lapisan 1:	= 150,0 MPa
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

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 leleh lapis beraspal ditunjukkan pada Tabel 7.4.

Tabel 7.4 Parameter kelelahan (*fatigue*) K*

Bahan lapisan aspal	Volume aspal (V _b) (%)	Parameter K untuk kondisi iklim Indonesia
HRS WC	15,05	0,008708
HRS Base	14,22	0,007919
AC WC (2 x 75 tumbukan)	12,20	0,006407
AC WC (2 x 50 tumbukan)	14,01	0,007522
AC BC (2 x 75 tumbukan)	11,50	0,005886
AC Base (2 x 75 tumbukan)	11,50	0,005432
AC WC PG70 (2 x 75 tumbukan)	12,20	0,006033
AC BC PG70 (2 x 75 tumbukan)	11,50	0,005569

$$K = \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36}} \right] \quad (7.7)$$

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

Contoh perhitungan volume aspal:

Misal diketahui berat jenis aspal 1,1; berat volume campuran aspal 2.300 kg/m³; kadar aspal campuran 6% (dalam berat). 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 138/1.100 = 0,1254 m³. Dengan demikian, volume aspal dalam 1 m³ campuran: 0,1254 x 100% = 12,54%.

7.2.3.5 Parameter Material Aspal Modifikasi

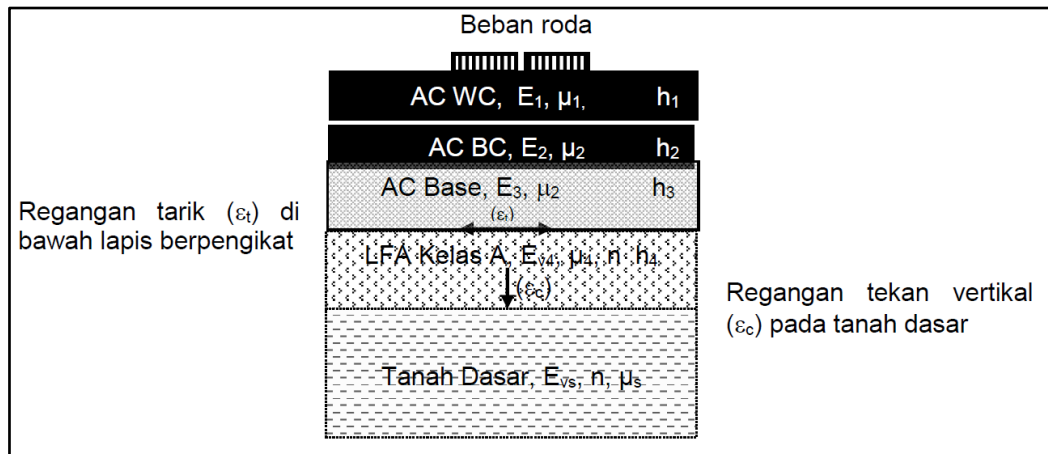
Penentuan parameter mekanistik untuk material selain campuran beraspal menggunakan Aspal Pen 60-70 dan Aspal PG 70 maka perencana teknis harus melakukan pengujian parameter mekanistik dengan kriteria sebagai berikut:

- Pengujian modulus dilakukan dengan *Indirect Tensile Test* pada laju pembebanan standard (40 ms rise time) yang setara dengan kecepatan operasional 90 km/jam. Untuk mendapatkan modulus pada kecepatan operasional (*design speed*) nilai tersebut perlu dikoreksi.
- Pengujian modulus mengikuti metode AASHTO R 30-02 *Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt* (HMA), Benda uji lepas dalam keadaan dikondisikan pada *short term aging*, benda uji dibiarkan dalam oven pada suhu 135°C selama 4 jam.
- Pengujian modulus dilakukan pada suhu 25°C.
- Penentuan modulus pada suhu 41°C menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\text{Modulus lapangan pada suhu WMAPT}}{\text{Modulus laboratorium pada suhu pengujian (25°C)}} = e^{(-0,08(WMAPT-T))} \quad (7.8)$$

7.2.4 Prosedur Desain Perkerasan Lentur

Tipikal sistem perkerasan lentur berdasarkan pendekatan mekanistik ditunjukkan pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Tipikal sistem perkerasan

Parameter elastik material yang digunakan adalah:

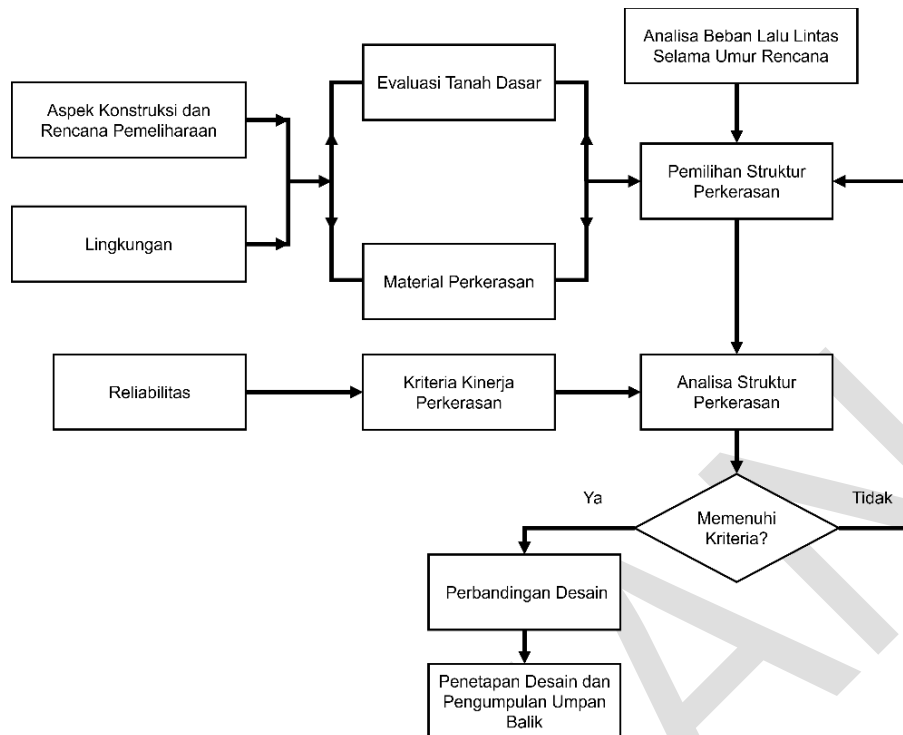
Untuk material isotropik:

E_i : modulus elastik lapisan i ; dan
 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); dan
 f_i : modulus geser lapis $i = \frac{E_{vi}}{1+\mu_i}$ 7.9.

Seperti ditunjukkan pada bagan alir prosedur perencanaan (Gambar 7.3), 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.



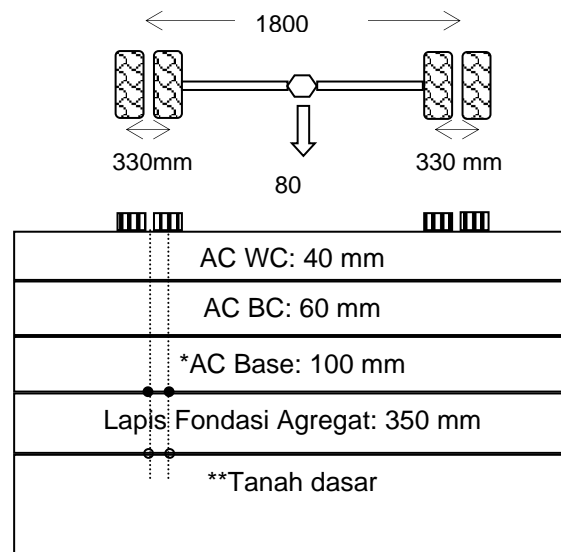
Gambar 7.3 Prosedur desain perkerasan lentur menggunakan pendekatan mekanistik

7.2.5 Contoh Analisis Struktur Perkerasan

Dalam subbab ini diuraikan contoh aplikasi analisis perkerasan berdasarkan metode mekanistik empiris. Gambar 7.4 menunjukkan struktur suatu perkerasan lentur. Karakteristik mekanik (parameter elastik) tiap lapis ditunjukkan pada Tabel 7.5. 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 reliabilitas fungsi transfer 90%.



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

Gambar 7.4 Penampang struktur perkerasan

Karakteristik bahan yang digunakan pada contoh ini adalah sebagai berikut:

Tabel 7.5 Karakterisasi material

Material	Modulus E (MPa)	Rasio Poisson	Derajat Anisotropik (n)	Vb	K	Modulus Geser, f (MPa)
AC WC	1.100	0,40	1	12,2	0,0064070	-
AC BC	1.200	0,40	1	11,5	0,0058865	-
AC Base	1.500	0,40	1	11,5	0,0054321	-
LFA Sub Lapis 1	220	0,35	2	-	-	163,0
LFA Sub Lapis 2	170	0,35	2	-	-	125,7
LFA Sub Lapis 3	131	0,35	2	-	-	96,9
LFA Sub Lapis 4	101	0,35	2	-	-	74,7
LFA Sub Lapis 5	78	0,35	2	-	-	57,6
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 yang dapat memodelkan struktur perkerasan multi lapisan yang bersifat elastik linier, isotropik untuk material berpengikat (*bounded material*), dan anisotropik untuk material tanpa pengikat (*unbounded material*) dapat digunakan. Hasil perhitungan regangan kritis dan repetisi beban standar yang diizinkan seperti pada Tabel 7.6.

Tabel 7.6 Hasil analisis struktur perkerasan dan perhitungan repetisi beban izin

Lapisan Struktur	Ketebalan (mm)	Regangan Tarik Kritisal ($\mu\epsilon$)	Regangan Tekan Kritisal ($\mu\epsilon$)	Repetisi Izin beban rencana (ESA)*
AC WC	40	52,0		42.446.281.758
AC BC	60	72,8		5.317.588.783
AC Base	100	246,0		8.243.340
Lapis Fondasi Agregat	350			-
Tanah Dasar	0		444	1.768.886.018

* Dihitung menggunakan fungsi *transfer*: Persamaan 7.1 dan Persamaan 7.3.

Analisis tersebut menunjukkan bahwa regangan kritisal yang menentukan adalah regangan tarik di serat bawah lapis AC *Base* dengan repetisi beban izin adalah **8,24 juta ESA5**.

7.3 Bagan Desain Perkerasan Lentur

Penyusunan Bagan Desain dimaksudkan untuk membantu perencana teknis jalan dalam menentukan struktur perkerasan jalan yang dapat digunakan pada ruas jalan yang akan dibangun. Bagan Desain Struktur Perkerasan Lentur disusun menggunakan karakteristik material sesuai dengan Tabel 7.1, Tabel 7.3, dan Tabel 7.4 dengan faktor reliabilitas 90%. Pemilihan struktur perkerasan berdasarkan bagan desain yang tersedia pada manual ini harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan, dan kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah. Perencana teknis dapat menghitung dan menentukan sendiri struktur perkerasan yang dibutuhkan dengan memperhatikan hal sebagai berikut:

- Apabila perencana teknis menggunakan material yang tidak terdapat pada manual ini, maka perencana teknis harus melakukan pengujian parameter mekanistik seperti pada Subbab 7.2.3.5 untuk mendapatkan karakteristik mekanistik sebagai input desain.
- Melakukan perhitungan desain struktur perkerasan berdasarkan metoda mekanistik empiris dengan tahapan sesuai Gambar 7.3 menggunakan perangkat lunak yang dapat memodelkan struktur perkerasan multi lapisan yang bersifat elastik linier, isotropik (untuk material berpegang, *bounded material*), dan anisotropik untuk material tanpa pengikat (*unbounded material*).

7.3.1 Perkerasan Lentur dengan CTB

Bagan desain perkerasan lentur dengan CTB dikembangkan berdasarkan ketentuan dan asumsi berikut:

- Untuk menjamin kesatuan lapisan maka CTB harus dilaksanakan dalam satu lapisan. Pelaksanaan dengan lebih dari satu lapisan berpotensi menimbulkan pemisahan lapisan akibat rendah atau hilangnya ikatan pada antarmuka lapisan lapisan CTB yang akan menyebabkan masing-masing lapisan akan bekerja sendiri-sendiri. Kondisi ini akan memicu timbulnya regangan tarik yang jauh lebih besar pada serat bawah masing-masing

- lapisan CTB sehingga ketahanan lapisan terhadap retak lelah akan berkurang secara signifikan.
- b. Dengan menggunakan alat pemadat yang normal digunakan untuk pelaksanaan perkerasan, kemampuan pelaksanaan pemadatan lapisan tunggal CTB terbatas hingga 200 mm.
 - c. Perlu diperhatikan alat penghampar agar menghasilkan material yang homogen.
 - d. Berdasarkan pengalaman di beberapa negara, perkerasan dengan aspal beton dengan ketebalan kurang dari 175 mm yang dihampar di atas lapisan CTB cenderung rentan terhadap retak refleksi akibat penyusutan lapisan CTB. Oleh sebab itu, dirasa perlu untuk membatasi tebal aspal di atas CTB tidak boleh kurang dari 175 mm.

Namun demikian, pengalaman antara lain di Pantura menunjukkan bahwa dengan alat pemadat *vibrating pad foot roller* dengan berat, amplitudo dan ketebalan *pad* yang cukup maka pemadatan lapisan tunggal CTB hingga 300 mm adalah dimungkinkan. Dengan penambahan ketebalan CTB diharapkan akan dapat dilakukan pengoptimalan ketebalan lapisan beraspal. Hal ini kemudian dituangkan di dalam Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan yang berlaku di Bina Marga.

Selain itu, perkerasan dengan CTB yang menggunakan kadar semen yang tepat dan tebal lapis aspal beton tidak lebih dari 100 mm di beberapa daerah dilaporkan menunjukkan kinerja yang baik. Namun apabila untuk mengantisipasi terjadinya retak refleksi khususnya untuk perkerasan yang melayani beban lalu lintas berat, maka salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan memasang lapisan SAMI di atas CTB sebelum dihampar campuran beraspal. Pada bagan desain yang disusun, lapis CTB dianggap telah mengalami retak (kondisi *post cracking*).

Atas pertimbangan tersebut, maka Bagan Desain-3 meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Varian ketebalan CTB 150 mm dipertahankan atas pertimbangan dapat dilaksanakan dengan alat pemadat yang normal digunakan pada pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan.
- b. Terdapat varian ketebalan CTB 200 mm, 250 mm, dan 300 mm.
- c. Ketebalan lapis aspal beton di atas CTB tidak kurang dari 100 mm.

Bagan Desain-3(1) Desain perkerasan lentur dengan 150 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)

STRUKTUR PERKERASAN											
	F(1) 1	F(1) 2	F(1) 3	F(1) 4	F(1) 5	F(1) 6	F(1) 7	F(1) 8	F(1) 9	F(1) 10	
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana \geq 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽³⁾						
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	> 1 - 6	> 6 - 10	> 10 - 20	>20 - 30	> 30 - 40	> 40 - 50	> 50 - 80	> 80 - 100	> 100 - 150	> 150 - 200	
Jenis permukaan berpegikat	AC										
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)										
Tebal Perkerasan (mm)											
AC WC	40	40	50	40	40	40	40	50	40	40	
AC BC	60	75	80	65	60	60	80	80	60	60	
	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-	
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	90	100	100	100	75	80	
	-	-	-	-	-	-	-	-	75	90	
CTB	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	

- (1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.
 (2) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
 (3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

Bagan Desain-3(2) Desain perkerasan lentur dengan 200 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN							
	F(2) 1	F(2) 2	F(2) 3	F(2) 4	F(2) 5	F(2) 6	F(2) 7	F(2) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70			Untuk beban rencana \geq 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽³⁾				
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	> 1 - 8	> 8 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 95	> 95 - 150	> 150 - 200
Jenis permukaan berpegikat	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
Tebal Perkerasan (mm)								
AC WC	40	50	50	40	40	40	50	40
AC BC	60	70	80	70	60	70	80	60
	-	-	-	70	-	-	-	-
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	100	100	100	75
	-	-	-	-	-	-	-	75
CTB	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200	200

- (1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.
- (2) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
- (3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

Bagan Desain-3(3) Desain perkerasan lentur dengan 250 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN						
	F(3) 1	F(3) 2	F(3) 3	F(3) 4	F(3) 5	F(3) 6	F(3) 7
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70			Untuk beban rencana \geq 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽³⁾			
Beban rencana 20 tahun (10^6 ESA5)	> 1 - 9	> 9 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 110	> 110 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC						
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)						
	Tebal Perkerasan (mm)						
AC WC	40	40	50	40	40	40	40
AC BC	60	70	80	60	70	65	80
	-	-	-	70	-	-	-
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	80	100	100
	-	-	-	-	-	-	-
CTB	250	250	250	250	250	250	250
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200

- (1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70
- (2) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
- (3) Khusus untuk AC WC dan AC BC

Bagan Desain-3(4) Desain perkerasan lentur dengan 300 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN							
	F(4) 1	F(4) 2	F(4) 3	F(4) 4	F(4) 5	F(4) 6	F(4) 7	F(4) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70			Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽³⁾				
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 10	> 10 - 17	>17 - 30	> 30 - 40	>40 - 60	>60 - 90	>90 - 150	>150 - 200
Jenis permukaan berpegang	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
Tebal Perkerasan (mm)								
AC WC	40	40	50	50	40	50	50	50
AC BC	60	70	75	80	60	60	60	75
	-	-	-	-	70	-	-	-
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	80	100	100
	-	-	-	-	-	-	-	-
CTB	300	300	300	300	300	300	300	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200	200

- (1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.
- (2) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
- (3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

7.3.2 Perkerasan Lentur dengan Lapis Fondasi Agregat

Bagan Desain-3A Desain perkerasan lentur – aspal dengan lapis fondasi agregat (aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF(1) 1	FFF(1) 2	FFF(1) 3	FFF(1) 4	FFF(1) 5	FFF(1) 6	FFF(1) 7	FFF(1) 8	FFF(1) 9
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70					Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾			
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	< 2	> 2 - 5	> 5 - 10	> 10 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 150	> 150 - 200
	Tebal Perkerasan (mm)								
AC WC	60 ⁽²⁾	40	40	40	40	40	40	50	40
AC BC	-	65	75	75	60	60	75	80	60
	-	80	80	-	-	-	-	-	-
AC Base ⁽³⁾	-	-	-	100	80	85	100	100	80
	-	-	-	-	80	100	100	100	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	90
Lapis Fondasi Agregat Kelas A ⁽⁴⁾	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽⁵⁾	-	-	200	200	200	200	200	200	200

- (1) Khusus untuk AC WC dan AC BC.
- (2) Tumbukan *Marshall* sebanyak 2 x 50 tumbukan.
- (3) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana di atas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.
- (4) Untuk perkerasan dengan jumlah lajur lebih dari 2 per arahnya, tebal lapis fondasi agregat kelas A minimal 300 mm.
- (5) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.

Bagan Desain-3B Penyesuaian tebal lapis timbunan pilihan berbutir kasar atau LFA kelas C atau stabilisasi semen (hanya untuk bagan desain-3A) beban rencana 20 tahun > 5 juta ESA5

		Tebal (mm)
Subgrade $6 < \text{CBR} < 10$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200
Subgrade $10 \leq \text{CBR} < 30$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	150
Subgrade $\text{CBR} \geq 30$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	-

7.3.3 Perkerasan Lentur dengan HRS

Bagan Desain-4 Desain perkerasan lentur dengan HRS¹

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA5)	FF1 < 0,5	$0,5 \leq \text{FF2} \leq 4,0$
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi Makadam	HRS ²
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS-WC	50	30
HRS-Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan $\text{CBR} > 10\%$ ³	150	150

Catatan:

¹ Bagan Desain-4 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 stabilisasi dengan $\text{CBR} > 10\%$ dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumberdaya penyedia jasa yang mumpuni tersedia.

7.3.4 Perkerasan Berbutir Dengan Laburan

Bagan Desain-5 Perkerasan berbutir dengan laburan¹

	STRUKTUR PERKERASAN		
	SD1	SD2	SD3
	Kumulatif Beban Rencana (ESA4x10 ⁶)		
	< 0,1	0,1 - 0,5	> 0,5 - 4
Burda			
Lapis Fondasi Agregat Kelas A ²	200	250	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas B, atau kerikil alam, atau stabilisasi dengan CBR > 10%, pada <i>subgrade</i> dengan CBR ≥ 5% ^{2,5}	100	110	140

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. Dibutuhkan pengendalian mutu yang baik untuk semua lapis perkerasan.
4. Kerikil alam dengan atau material stabiisasi dengan CBR > 10% dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumberdaya penyedia jasa yang mumpuni tersedia.

7.3.5 Perkerasan Dengan Lapis Fondasi Stabilisasi Tanah Semen

Bagan Desain-6 Perkerasan dengan stabilisasi tanah semen (*soil cement*)

(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)		
HRS WC, AC WC	50*		
Lapis Fondasi Tanah Semen Target UCS 2,4 MPa	160	220	300

* 50 mm berlaku untuk HRS dan AC-WC (pada desain 2x50 tumbukan *marshall*)

7.3.6 Perkerasan Dengan *Improve Subgrade* Dengan Stabilisasi Semen

Bagan Desain-7 Perkerasan dengan *improve subgrade* stabilisasi semen

(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)		
HRS WC, AC WC	50*		
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	160	220	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	110	150	200
Stabilisasi tanah asli hingga mencapai CBR ekuivalen 6%	160	200	260

* 50 mm berlaku untuk HRS dan AC-WC (pada desain 2x50 tumbukan *marshall*)

Catatan:

1. Bagan Desain-7 digunakan untuk semua tanah dasar dengan CBR \geq 2.5%. Ketentuan Bagan Desain-2 tetap berlaku untuk tanah dasar yang lebih lemah.
2. Stabilisasi tanah asli untuk mendapatkan CBR desain ekuivalen dengan CBR minimal 6%, dengan menggunakan pendekatan kriteria sebagai berikut:
Nilai minimal dari (i) 15%, (ii) nilai ditentukan dari pengujian CBR atau perkiraan CBR, dan (iii) nilai ditentukan dari dukungan yang diberikan oleh tanah dasar tanah dasar *in-situ* terhadap tanah dasar pilihan atau tanah yang distabilisasi menggunakan persamaan yang identik dengan persamaan sebagai berikut:

$$CBR_{is} = CBR_{ti} \times 2^{(\text{tebal lapisan material pilihan atau stabilisasi (mm)/150)}$$

7.10

Keterangan,

CBR_{is} : CBR *improvement subgrade*

CBR_{ti} : CBR tanah *in-situ*

UD mh

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. Hanya kontraktor berkualitas dan mempunyai peralatan diperbolehkan melaksanakan pekerjaan Burda atau pekerjaan Stabilisasi.
5. Dalam hal terdapat kendala untuk menerapkan Bagan Desain-5 dan Bagan Desain-6 dapat digunakan prosedur grafik Bagan Desain-9.

7.4 Contoh Penggunaan

Jalan raya (4-lajur 2-arah) direncanakan untuk melayani beban lalu lintas rencana 20 (dua puluh) tahun, seperti ditunjukkan dalam contoh (1) Subbab 4.10. Penyelidikan tanah menunjukkan bahwa daya dukung representatif tanah dasar: CBR 3%. Tentukan struktur perkerasan.

- a. Dari data lalu lintas dan hasil analisis contoh (1) Subbab 4.10 didapatkan nilai CESA4 sebesar 57.393.324 dan CESA5 sebesar 74.381.529.
- b. Desain fondasi.
Berdasarkan Bagan Desain-2, tanah dasar kategori SG3 untuk desain > 10 juta ESA5 diperlukan 400 mm timbunan pilihan CBR $\geq 10\%$.
- c. Untuk lalu lintas pada lajur rencana 74.381.529 ESA5 alternatif desain perkerasan lentur adalah:

- 1) Bagan Desain-3(1) (dengan 150 mm CTB)

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	80
AC Base	100
CTB	150
LFA kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200

- 2) Bagan Desain-3(2) (dengan 200 mm CTB)

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	60
AC Base	100
CTB	200
LFA kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200

- 3) Bagan Desain-3(3) (dengan 250 mm CTB)

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	70

UD mh

Lapisan	Tebal (mm)
AC Base	80
CTB	250
LFA kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200

4) Bagan Desain-3(4) (dengan 300 mm CTB)

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	50
AC BC	60
AC Base	80
CTB	300
LFA kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200

5) Bagan Desain-3A (dengan lapis fondasi agregat)

Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40
AC BC	75
AC Base	100
	100
LFA kelas A	200
LFA kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

UD	2/6
----	-----

8. DESAIN PERKERASAN KAKU

8.1 Umum

Bab ini menguraikan prosedur perencanaan perkerasan beton semen untuk jalan yang melayani lalu lintas berat. Metode perencanaan didasarkan pada:

- a. Perkiraan lalu lintas dan komposisinya selama umur rencana.
- b. Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dengan CBR (%).
- c. Kekuatan beton yang digunakan.
- d. Jenis bahu jalan.
- e. Jenis perkerasan.
- f. Jenis penyaluran beban.

8.2 Struktur Perkerasan dan Jenis Perkerasan Beton Semen

Perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 3 (tiga) jenis:

- a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan.
- b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan.
- c. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan.

Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis fondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal.

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung, dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen.

Lapis fondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang berfungsi sebagai berikut:

- a. Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.
- b. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
- c. Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan, dan tepi-tepi pelat.
- d. Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.

Pelat beton semen mempunyai sifat yang cukup kaku serta dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya.

8.3 Persyaratan Teknis

8.3.1 Tanah Dasar

Daya dukung tanah dasar dapat dilihat pada Bab 6 Subbab 6.6 mengenai CBR Desain Tanah Dasar.

8.3.2 Fondasi Bawah

Bahan fondasi bawah dapat berupa:

- a. Bahan dengan Pengikat (BP)
 - 1) stabilisasi semen (*Cement Treated Based, CTB*);
 - 2) beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*); atau
 - 3) campuran beraspal.
- b. Beton kurus (*BK/Lean Mix Concrete*).

Lapis fondasi bawah perlu diperlebar sampai 400 mm di luar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah lunak dan tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan fondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis fondasi dengan lebar sampai ke tepi luar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah lunak dan tanah ekspansif.

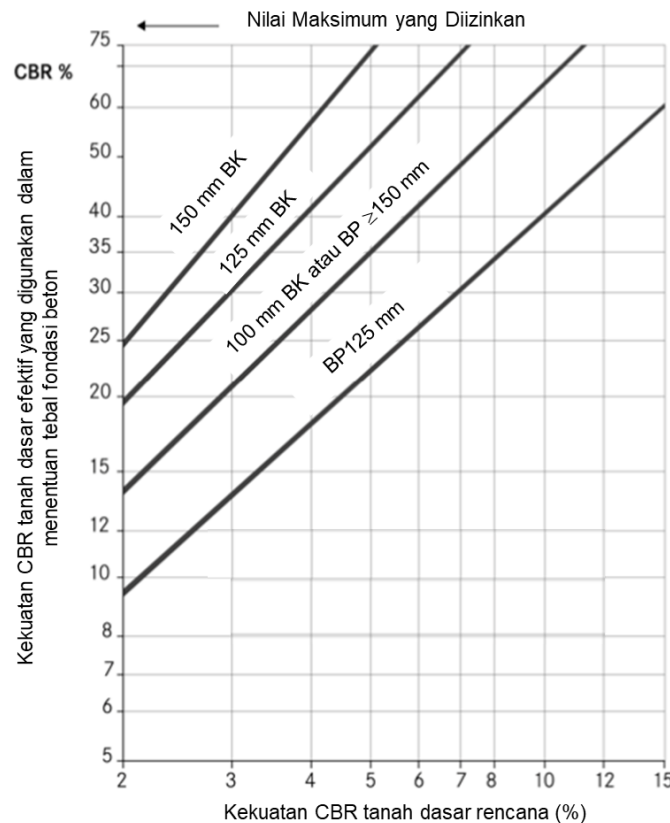
Beton kurus harus mempunyai mutu sesuai dengan SNI 6388:2015 dan AASHTO M-155 serta SNI 1743:2008. Bilamana diperoleh konstruksi hasil perencanaan rentan terhadap terjadinya erosi maka direkomendasikan tebal lapis fondasi beton kurus dengan tebal minimum 150 mm.

Perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji direkomendasikan untuk dirancang menggunakan campuran beton kurus sebagai lapis fondasi bawah. Tebal lapis fondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Tabel 8.1 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 8.1.

Tabel 8.1 Tebal fondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen

Lalu Lintas Desain (JSKN)	Jenis Lapis Fondasi
Sampai dengan 10^6	BP 125 mm
10^6 Sampai dengan 5×10^6	BK 100 mm atau BP 150 mm
5×10^6 Sampai dengan 1×10^7	BK 125 mm
Lebih dari 1×10^7	BK 150 mm

Catatan : BP (Bahan Berpengikat) dan BK (Beton Kurus)



Gambar 8.1 CBR tanah dasar efektif dan tebal fondasi bawah

Lapis Fondasi Bawah Dengan Bahan Pengikat (*Bound Sub-Base*)

Lapis fondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat digunakan salah satu dari:

- Stabilisasi material berbutir (*Cement Treated Based*, CTB) harus mempunyai kuat tekan sebesar 3,5 – 4,5 MPa.
- Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*).
- Campuran beton kurus padat giling yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm²).

Lapis Fondasi Bawah dengan Campuran Beton Kurus (*Lean-Mix Concrete*)

Campuran Beton Kurus (BK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 (dua puluh delapan) hari pada rentang 8 – 11 MPa.

Lapis Pemecah Ikatan Fondasi Bawah dan Pelat

Perencanaan ini didasarkan pada anggapan bahwa tidak ada ikatan antara pelat beton dengan lapis fondasi bawah di bawahnya. Lapis pemisah (*bond breaker*) dapat berupa lapisan membran kedap air dengan ketebalan 125 mikron atau bahan lain untuk jenis pemecah ikatan dan koefisien geseknya dapat dilihat pada Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Nilai koefisien gesekan (μ)

No.	Lapis Pemecah Ikatan	Koefisien Gesekan (μ)
1	Lapis resap ikat aspal diatas permukaan fondasi bawah	1,0
2	Laburan lilin (<i>paraffin</i>) tipis pemecah ikat	1,5
3	Karet kompon perawatan beton (<i>a chlorinated rubber curing compound</i>)	2,0

8.3.3 Beton Semen

Mutu beton semen harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 (dua puluh delapan) hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya minimal 4,5 MPa. Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat.

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton harus dilakukan berdasarkan pengujian laboratorium dengan material yang digunakan pada proyek yang akan dikerjakan. Namun, bilamana belum tersedia dapat didekati dengan rumus berikut:

$$f_{cf} = K(f_c')^{0,50} \text{ dalam MPa} \quad (8.1)$$

Keterangan:

f_c' : Kuat tekan beton karakteristik 28 (dua puluh delapan) hari (kg/cm²)

f_{cf} : Kuat Tarik lentur beton 28 (dua puluh delapan) hari (kg/cm²)

K : Konstanta 0,75 (agregat pecah)

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 2491:2014 sebagai berikut:

$$f_{cf} = 1,37f_{cs} \text{ dalam MPa} \quad (8.2)$$

Keterangan:

f_{cs} : Kuat tarik belah beton 28 (dua puluh delapan) hari

8.3.4 Bahu Beton

Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Sehingga, bahu harus terbuat dari bahan yang sama dengan perkerasan beton semen, hal ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja perkerasan.

Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam Bab ini adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb (*creb and gutter*).

8.3.5 Persyaratan Mutu Material Selain Mutu Beton

Bagan Desain-8 Perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat

Jenis perkerasan	Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (<i>Jointed Plain Concrete Pavement</i>), beton semen bersambung dengan tulangan (JRCP), dan beton semen menerus dengan tulangan (CRCP).
------------------	---

40 7/8

Sambungan melintang	Harus dipotong dengan kedalaman seperempat sampai dengan sepertiga tebal beton. Dipasang ruji (<i>dowel</i>), berupa baja tulangan polos (BJTP 280), dengan jarak antar tulangan 300 mm, panjang <i>dowel</i> 450 mm, dan diameter <i>dowel</i> minimal seperdelapan tebal beton.
Sambungan memanjang	Dipasang batang pengikat (<i>tie bar</i>), berupa baja tulangan sirip (BJTS 420A), dengan jarak antar tulangan 600 mm, panjang <i>tie bar</i> 700 mm, dan diameter <i>tie bar</i> minimum 16 mm.
Bahu jalan	Dalam bentuk satu kesatuan dengan pelat beton lajur lalu lintas (monolit) dengan lebar minimum 600 mm atau dengan batang pengikat (<i>tie bar</i>) untuk lebar bahu jalan minimum 1500 mm dan harus menggunakan beton dengan kereb dan saluran beton (<i>cebr and gutter</i>) kualitas yang sama dengan lajur utama.
Lapis fondasi	Lapis fondasi disesuaikan dengan Subbab 8.3.2.
Lapis drainase	Lapis fondasi agregat kelas A yang berfungsi sebagai lapis drainase dengan tebal 200 mm untuk 2 lajur per arah dan untuk yang lebih dari 2 lajur per arah setebal 300 mm.
Lapis pemecah ikatan fondasi bawah dengan pelat (<i>base bond breaker</i>)	Berupa membran kedap air dengan tebal minimum 125 mikron khusus pada lapis fondasi berupa beton korus.
Rasio dimensi slab beton (Panjang-Lebar)	Sekitar 1,25 (khusus untuk beton semen bersambung tanpa tulangan (<i>Jointed Plain Concrete Pavement</i>)).

Tabel 8.3 Ketebalan beton minimum

Jenis Perkerasan	Lalu Lintas Rencana		
	$1 \times 10^6 \leq \text{JSKN} < 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq \text{JSKN} < 5 \times 10^7$	$\text{JSKN} \geq 5 \times 10^7$
JPCP	150 mm	200 mm	250 mm
JRCP	150 mm	180 mm	230 mm
CRCP	150 mm	180 mm	230 mm

8.3.6 Lalu Lintas

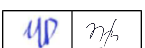
Desain perkerasan kaku menggunakan Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) dan bukan nilai ESA sebagai satuan beban lalu lintas untuk perkerasan beton.

Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 (dua) tahun terakhir.

Pada Lampiran D disajikan data distribusi beban JSKN per provinsi. Data tersebut dikembangkan dari studi penimbangan beban gandar kendaraan di beberapa provinsi pada periode 5 (lima) tahun terakhir (2015 – 2019). Dengan tersedianya data tersebut maka desain perkerasan kaku dapat dilakukan menggunakan data yang lebih sesuai baik untuk kondisi beban berlebih maupun beban normal (terkendali).

Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 5 (lima) jenis kelompok sumbu sebagai berikut:

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).



- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- Sumbu tandem roda tunggal (STdRT).
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG)
- Sumbu *tridem* roda ganda (STrRG).
- Sumbu empat roda ganda (SQdRG).

Konfigurasi sumbu setiap kelas kendaraan dapat dilihat pada Tabel 8.4.

Tabel 8.4 Konfigurasi sumbu kendaraan

Kelas Kendaraan	JSKN	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
5B	2	1	1	-	-	-	-
6A	2	2	-	-	-	-	-
6B	2	1	1	-	-	-	-
7A1	2	-	1	1	-	-	-
7A2	2	1	-	-	1	-	-
7A3	2	-	-	1	1	-	-
7B1	4	1	3	-	-	-	-
7B2	4	-	3	1	-	-	-
7B3	4	1	2	-	1	-	-
7C1	3	1	1	-	1	-	-
7C2A	3	1	-	-	2	-	-
7C2B	3	1	1	-	-	1	-
7C3	3	1	-	-	1	1	-
7C4	3	1	-	-	1	-	1

Semua roda yang dimaksud adalah roda ban konvensional. Pembebanan kumulatif pada perkerasan jalan selama periode waktu tertentu pada dasarnya adalah perhitungan setiap kelompok gandar yang melintasi perkerasan jalan selama periode waktu tersebut, bersama dengan jenis dan bebannya. Pembebanan kumulatif ini ditentukan oleh:

- jumlah kumulatif kelompok gandar yang melintasi perkerasan selama periode tersebut.
- proporsi setiap jenis kelompok total gandar.
- untuk setiap jenis kelompok gandar, distribusi frekuensi beban kelompok gandar.

Gambaran umum prosedur untuk menentukan lalu lintas desain diantaranya:

- Menentukan umur rencana.
- Menghitung jumlah rata-rata kendaraan harian.
- Menghitung jumlah JSKN setiap jenis kendaraan berat harian.
- Menghitung kumulatif jumlah JSKN pada jalur desain selama umur rencana menggunakan persamaan 8.3.

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (8.3)$$

UD mh

Keterangan:

- LHR_{JK} : lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)
- JSKN_{JK} : Sumbu Total Kendaraan Niaga tiap jenis kendaraan niaga (Tabel 8.4)
- DD : Faktor distribusi arah
- DL : Faktor distribusi lajur (Tabel 4.2)
- JSKN : Jumlah Sumbu Total Kendaraan Niaga selama umur rencana
- R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif (Subbab 4.4)

- e. Dalam penentuan nilai kumulatif JSKN dalam desain perkerasan kaku, maka perlu memperhatikan distribusi beban JSKN dan faktor keamanan beban untuk mengetahui karakteristik desain lalu lintas pada semua tipe perkerasan kaku.

8.3.7 Reliabilitas

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (L_{sf}). Faktor keamanan beban ini digunakan sebesar 90% dengan nilai faktor keamanan beban (L_{SF}) untuk JPCP sebesar 1,2 dan CRCP sebesar 1,1.

Faktor Keamanan beban untuk perkerasan kaku pada bundaran harus memenuhi gaya radial atau sentris yang disalurkan ke roda luar sehingga nilai reliabilitas ditambah 0,3.

8.3.8 Desain Ketebalan Beton

Dua hal yang perlu dipertimbangkan dalam membuat desain tebal perkerasan beton, diantaranya:

- Retak Lelah (*fatigue*) pada perkerasan.
- Erosi tanah dasar atau lapis fondasi bawah yang timbul akibat lendutan berulang pada sambungan dan retakan.

8.3.8.1 Persamaan Desain Perkerasan Kaku

a. Retak lelah (*fatigue*)

Jumlah repetisi beban yang diizinkan (N_f) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut :

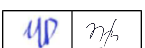
$$\log_{10} N_f = \left(\frac{0,9719 - S_r}{0,0828} \right) \text{ jika } S_r > 0,55 \quad (8.4)$$

$$N_f = \left(\frac{4,258}{S_r - 0,4325} \right)^{3,268} \text{ jika } 0,45 \leq S_r \leq 0,55 \quad (8.5)$$

$$S_r = \frac{S_e}{0,944 f_{cf}} \left(\frac{PL_{SF}}{4,45F_1} \right)^{0,94} \quad (8.6)$$

Keterangan:

- S_e : tegangan ekuivalen beton (MPa)
- f_{cf} : kuat lentur karakteristik desain pada umur beton 28 hari (MPa)
- P : beban kelompok sumbu (kN)
- L_{SF} : faktor *load safety*
- F_1 : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)
: 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)



- : 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)
- : 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)
- : 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)
- : 72 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)
- N_f : tak terhingga jika nilai S_r kurang dari 0,45

Tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) didapatkan dari Persamaan 8.7.

Koefisien a hingga j pada Persamaan 8.7 didapatkan dari Tabel 8.5 sampai Tabel 8.7:

$$S_e \text{ atau } F_3 = a + \frac{b}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e \cdot [\ln(E_f)]^2 + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot [\ln(E_f)]^3 + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2} \quad (8.7)$$

Keterangan: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j adalah koefisien pada Tabel 8.5 sampai Tabel 8.7

D : tebal pelat beton (mm)

E_f : CBR Tanah Dasar Efektif (%)

b. Kerusakan erosi

Jumlah beban yang diizinkan (N_e) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$\log_{10}(F_2 N_e) = 14,524 - 6,777 \left[\max \left(0 \text{ atau } \left(\frac{P L_{SF}}{4,45 F_4} \right)^2 \cdot \frac{10^{F_3}}{41,35} - 9,0 \right) \right]^{0,103} \quad (8.8)$$

Keterangan P dan L_{SF} sama dengan pada Persamaan 8.4 dan Persamaan 8.5.

- F_2 : penyesuaian untuk efek pada sisi pelat
 - : 0,06 untuk pelat dengan bahu bukan beton
 - : 0,94 untuk pelat dengan bahu beton
- F_3 : faktor erosi
- F_4 : penyesuaian beban untuk erosi karena kelompok sumbu
 - : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)
 - : 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)
 - : 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)
 - : 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)
 - : 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)
 - : 54 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)

Faktor erosi (F_3) didapatkan dari Persamaan 8.7 menggunakan koefisien a sampai j pada Tabel 8.5, Tabel 8.6, dan Tabel 8.7. Tidak ada batasan yang ditetapkan untuk input beban sumbu dan faktor keamanan beban sumbu yang digunakan pada Persamaan 8.4 dan Persamaan 8.7.

Tabel 8.5 Koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen (S_e)

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
a	-0,051	0,330	0,088	-0,145
b	26,0	206,5	301,5	258,6
c	0,0899	-0,4684	-0,1846	0,0080
d	35.774	28.661	4.418	1.408

40 7/6

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
e	-0,0376	0,1650	0,0939	0,0312
f	14,57	2,82	-59,93	-61,25
g	-861.548	-686.510	280.297	488.079
h	0,0031	-0,0186	-0,0128	-0,0058
i	1,3098	-1,9606	4,1791	4,7428
j	-4.009	-2.717	1.768	2.564

Tabel 8.6 Koefisien untuk prediksi faktor erosi (F_3) untuk beton JPCP

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT	STRG	STdRG & STdRT	STrRG & SQdRG
a	0,345	0,914	1,564	2,104
b	534,6	539,8	404,1	245,4
c	-0,1711	-0,1416	-0,1226	-0,2473
d	-44.908	-44.900	-32.024	-15.007
e	0,0347	0,0275	0,0256	0,0469
f	20,49	16,37	-9,79	8,86
g	1.676.710	1.654.590	1.150.280	518.916
h	-0,0038	-0,0032	-0,0052	-0,0075
i	-1,3829	-0,9584	2,1997	1,5517
j	-913	-765	469	-599

Tabel 8.7 Koefisien untuk prediksi faktor erosi (F_3) untuk beton CRCP

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT	STRG	STdRG & STdRT	STrRG & SQdRG
a	-0,184	0,440	0,952	1,65
b	602,3	609,8	544,9	359,4
c	-0,0085	-0,0484	-0,0404	-0,1765
d	-50.996	-52.519	-47.500	-28.901
e	-0,0122	0,0017	0,0179	0,0435
f	8,99	9,62	-31,54	-15,97
g	1.874.370	1.949.350	1.719.950	1.085.800
h	0,0008	-0,0007	-0,0051	-0,0084
i	-0,4759	-0,6314	3,3789	3,2908
j	-374	-326	1.675	758

8.3.8.2 Prosedur Desain Perkerasan Kaku

Prosedur desain tebal pelat beton mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji atau menerus dengan tulangan.
- b. Tentukan jenis dan tebal fondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana sesuai dengan Tabel 8.1 dan Tabel 8.4.
- c. Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan fondasi bawah yang dipilih sesuai dengan Gambar 8.1.
- d. Tentukan mutu beton yang dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) f_{ct} pada umur 28 hari.
- e. Pilih faktor keamanan beban lalu lintas (F_{KB}).
- f. Tentukan tebal pelat beton minimum sesuai dengan Tabel 8.3.
- g. Tentukan taksiran tebal pelat beton desain yang melebihi tebal pelat beton minimum.
- h. Tentukan tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) untuk STRT dari Persamaan 8.4 hingga Persamaan 8.7.
- i. Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}) untuk menentukan beban rencana per roda.
- j. Dengan faktor rasio tegangan dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk *fatigue* dari Persamaan 8.4 atau Persamaan 8.5 yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
- k. Hitung persentase dari repetisi *fatigue* yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- l. Dengan menggunakan faktor erosi (S_e), tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi dari Persamaan 8.8.
- m. Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- n. Hitung jumlah total *fatigue* dengan menjumlah persentase *fatigue* dari setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
- o. Ulangi langkah h sampai dengan langkah n untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
- p. Hitung jumlah total kerusakan akibat *fatigue* dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
- q. Ulangi langkah g sampai dengan langkah p hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat *fatigue* dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.

8.3.9 Perencanaan Tulangan

Tujuan utama penulangan adalah:

- a. Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan.
- b. Memungkinkan penggunaan pelat beton yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan.

Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan dalam hal beton bertulang menerus, diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut.



8.3.9.1 Tulangan Pada Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan atau JPCP, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Bagian-bagian pelat yang diperkirakan akan mengalami retak akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pengaturan pola sambungan, maka pelat harus diberi tulangan.

Penerapan tulangan pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan umumnya dilaksanakan pada:

- Pelat dengan bentuk tak lazim (*odd-shaped slabs*), Pelat disebut tidak lazim bila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar dari 1,25 atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.
- Pelat dengan sambungan tidak sejalur (*mismatched joints*).
- Pelat berlubang (*pits or structures*).

8.3.9.2 Tulangan Pada Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan

Pada perkerasan semen bersambung dengan tulangan diperlukan tulangan dengan luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \quad (8.9)$$

Keterangan:

- A_s : Luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)
 f_s : Kuat tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya sebesar 0,6 kali tegangan leleh
 g : Percepatan gravitasi (m/detik^2)
 h : Tebal pelat beton (m)
 L : Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)
 M : Berat per satuan volume pelat (kg/m^3)
 μ : Koefisien gesekan antara pelat beton dan fondasi bawah sebagaimana pada Tabel 8.2.

8.3.9.3 Tulangan Pada Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan

Penulangan memanjang

Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut:

$$P_s = \frac{100 \times f_{ct} \times (1,3 - 0,2\mu)}{f_y - n \times f_{ct}} \quad (8.10)$$

Keterangan:

- P_s : Persentase persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)
 f_{ct} : Kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{ct})$ (kg/cm^2)
 f_y : Tegangan leleh rencana baja (kg/cm^2)
 n : Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya



Tabel 8.8 Hubungan kuat tekan beton dan angka ekuivalen baja dan beton (n)

f_c (kg/cm ²)	n
175-225	10
235-285	8
≥ 290	6

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang, perlu dipasang agar jarak dan lebar retakan dapat dikendalikan. Secara teoritis jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut:

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \times p^2 \times u \times f_b (\epsilon_s \times E_c - f_{ct})} \quad (8.11)$$

Keterangan:

- L_{cr} : jarak teoritis antara retakan (cm)
 p : perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton
 u : perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$
 f_b : tegangan lekat antara tulangan dengan beton = $(1,97\sqrt{f_c})/d$. (kg/cm²)
 ϵ_s : koefisien susut beton = (400×10^{-6})
 f_{ct} : kuat tarik langsung beton = $(0,4-0,5 f_c)$ (kg/cm²)
 n : angka ekuivalensi antara baja dan beton = (E_s/E_c)
 E_c : modulus elastisitas beton = $14.850\sqrt{f_c}$ (kg/cm²)
 E_s : modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

Untuk menjamin agar didapat retakan-retakan yang halus dan jarak antara retakan yang optimum, maka:

- Persentase tulangan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar.
- Perlu menggunakan tulangan ulir (*deformed bars*) untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 dan 250 cm.

Jarak antar tulangan 100 mm-225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

Penulangan melintang

Luas tulangan melintang (A_s) yang diperlukan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung menggunakan Persamaan 8.9. Tulangan melintang direkomendasikan sebagai berikut:

- Diameter batang ulir tidak lebih kecil dari 12 mm.
- Jarak maksimum tulangan dari sumbu ke sumbu 75 cm.

Penempatan tulangan

Penulangan memanjang pada perkerasan beton semen harus ditempatkan pada kedalaman lebih besar dari 65 mm dari permukaan untuk tebal pelat ≤ 20 cm. Untuk tebal pelat > 20 cm

penempatan tulangan memanjang di antara sepertiga hingga setengah tebal pelat dari permukaan. Tulangan arah memanjang dipasang di atas tulangan arah melintang.

8.3.10 Perencanaan Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk:

- Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan.
- Pengaruh lenting (*curling/warping*) serta beban lalu lintas.
- Memudahkan pelaksanaan.
- Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain:

- Sambungan memanjang.
- Sambungan melintang.
- Sambungan isolasi.

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*).

Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 m.

Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm.

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan 8.12 dan 8.13:

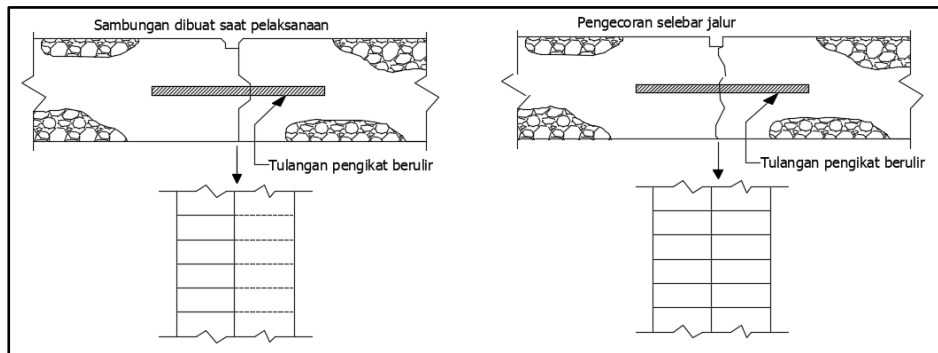
$$A_t = 204 \times b \times h \quad (8.12)$$

$$l = (38,3 \times \phi) + 75 \quad (8.13)$$

Keterangan:

- A_t : Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm^2)
 b : Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m)
 h : Tebal pelat (m)
 l : Panjang batang pengikat (mm)
 ϕ : Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

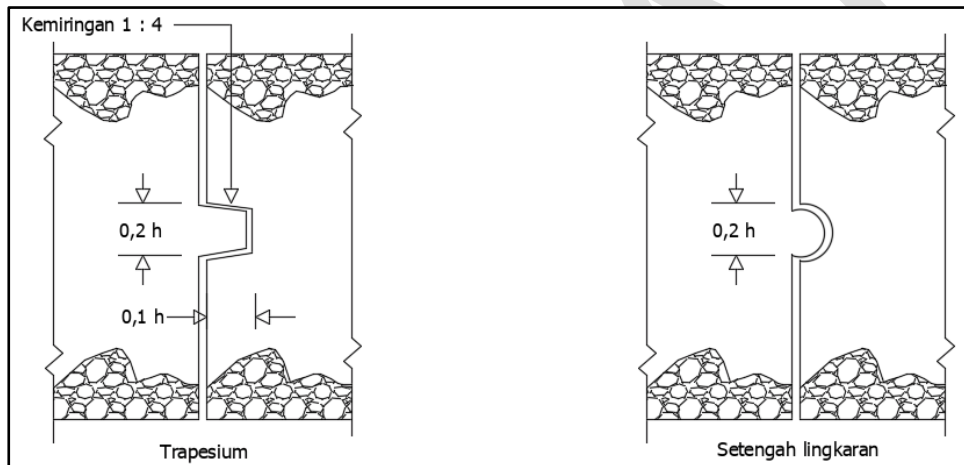
Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 70 cm. Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada Gambar 8.2.



Gambar 8.2 Tipikal sambungan memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8.3.



Gambar 8.3 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang

Sebelum penghamparan pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

Sambungan susut memanjang

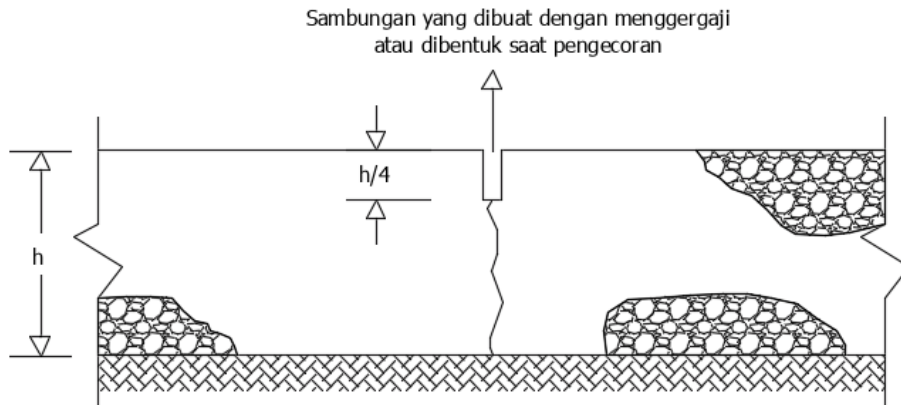
Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang

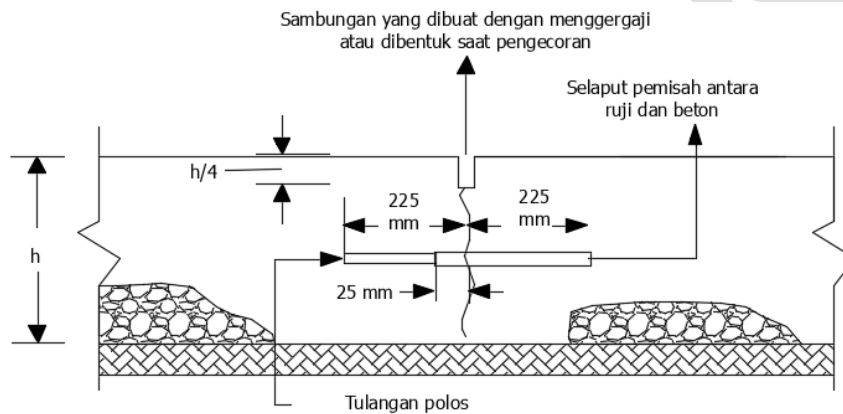
Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1:10 searah perputaran jarum jam.

Sambungan susut melintang

Kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8.4 dan Gambar 8.5.



Gambar 8.4 Sambungan susut melintang tanpa ruji



Gambar 8.5 Sambungan susut melintang dengan ruji

Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4-5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8-15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.

Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut.

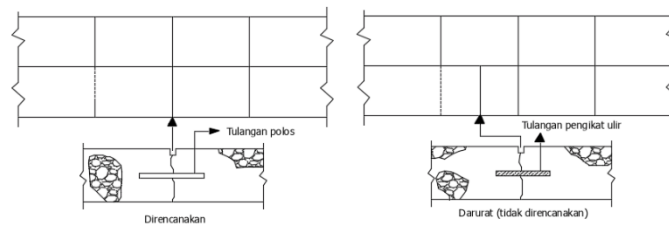
Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 8.9.

Tabel 8.9 Diameter ruji

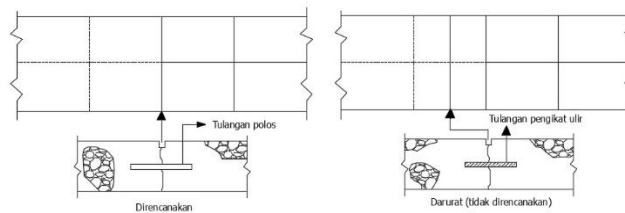
No	Tebal Pelat Beton, h (mm)	Diameter Ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36
6	$250 < h \leq 300$	38

Sambungan pelaksanaan melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat. Tipikal sambungan pelaksanaan melintang diperlihatkan pada Gambar 8.6 dan Gambar 8.7. Sambungan pelaksanaan tersebut di atas harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk ketebalan lebih dari 17 cm, ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm dan jarak 60 cm.



Gambar 8.6 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur

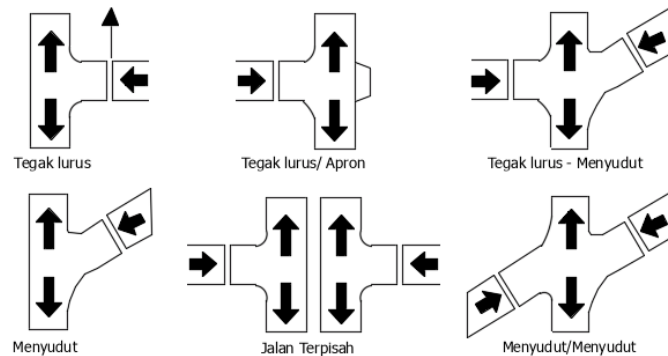


Gambar 8.7 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan

Sambungan isolasi

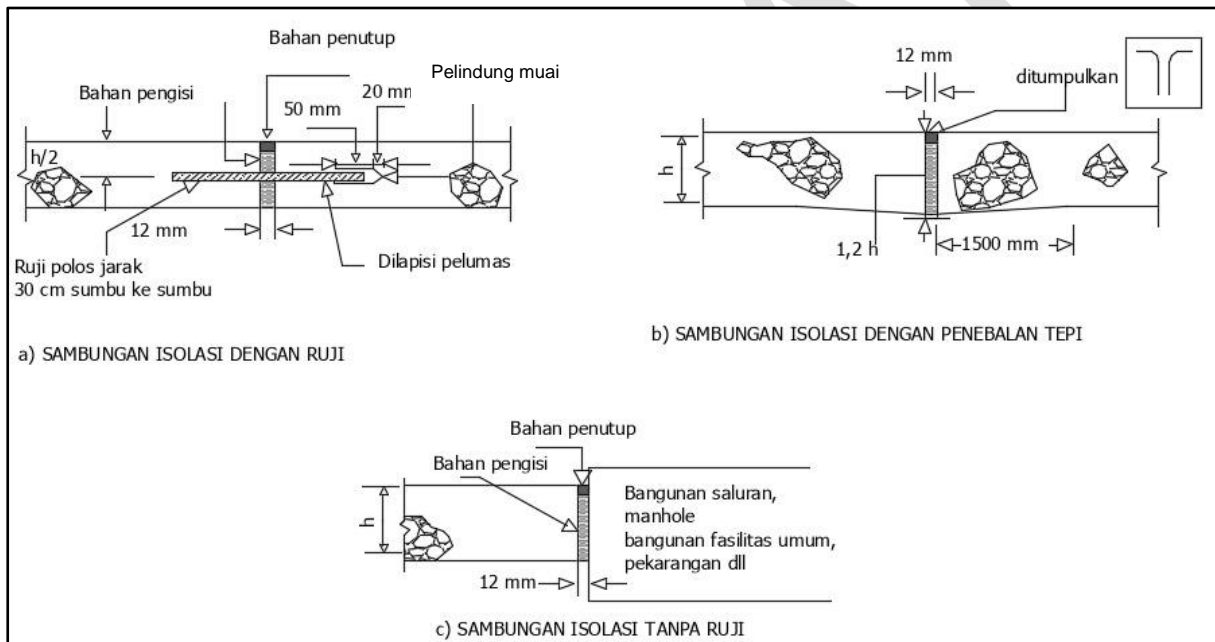
Sambungan isolasi memisahkan perkerasan dengan bangunan yang lain, misalnya *manhole*, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan, dan lain sebagainya. Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi diperlihatkan pada Gambar 8.8.

Sambungan isolasi yang diperlukan di belakang tulangan



Gambar 8.8 Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi

Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (*joint sealer*) setebal 5-7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*) sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 8.9.

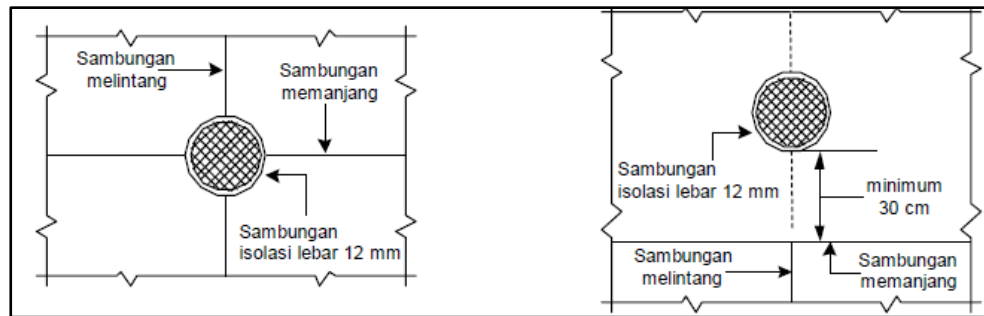


Gambar 8.9 Sambungan isolasi

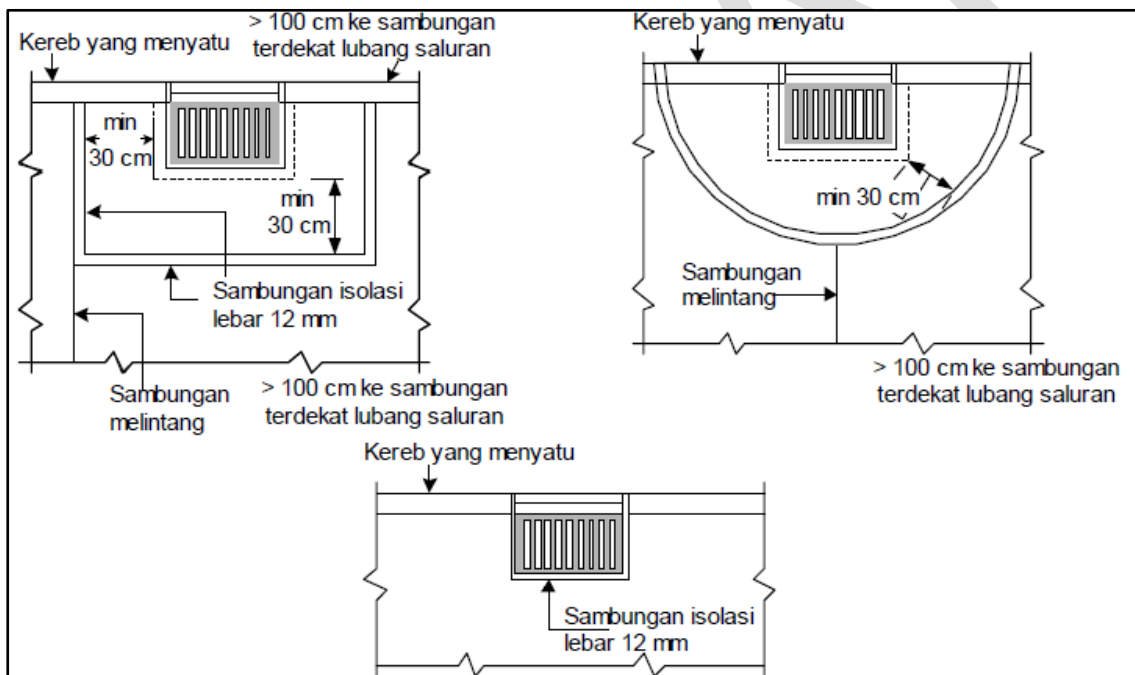
Sambungan isolasi yang digunakan pada bangunan lain, seperti jembatan perlu pemasangan ruji sebagai transfer beban. Pada ujung ruji harus dipasang pelindung muai agar ruji dapat bergerak bebas. Pelindung muai harus cukup panjang sehingga menutup ruji 50 mm dan masih mempunyai ruang bebas yang cukup dengan panjang minimum lebar sambungan isolasi ditambah 6 mm seperti diperlihatkan pada Gambar 8.9a. Ukuran ruji dapat dilihat pada Tabel 8.9.

Sambungan isolasi pada persimpangan dan ram tidak perlu diberi ruji tetapi diberikan penebalan tepi untuk mereduksi tegangan. Setiap tepi sambungan ditebalkan 20% dari tebal perkerasan sepanjang 1,5 m seperti diperlihatkan pada Gambar 8.9b.

Sambungan isolasi yang digunakan pada lubang masuk ke saluran, *manhole*, tiang listrik, dan bangunan lain yang tidak memerlukan penebalan tepi dan ruji, ditempatkan di sekeliling bangunan tersebut sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 8.9c, Gambar 8.10, dan Gambar 8.11.



Gambar 8.10 Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada *manhole*



Gambar 8.11 Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada lubang masuk saluran

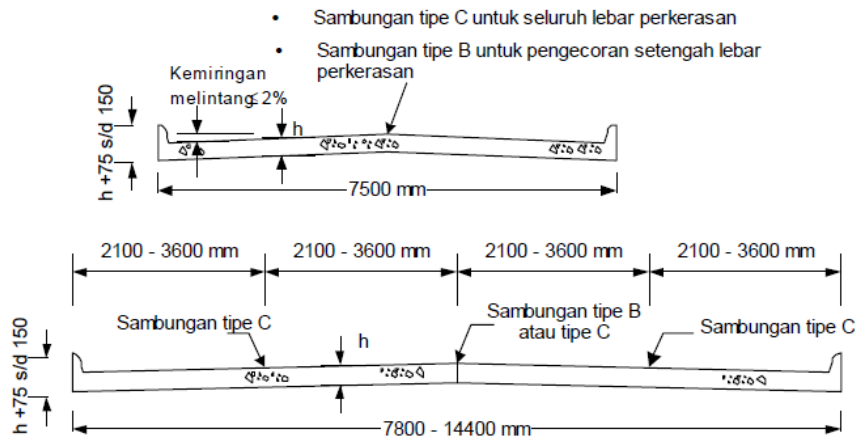
8.3.11 Pola Sambungan

Pola sambungan pada perkerasan beton semen harus mengikuti batasan-batasan sebagai berikut:

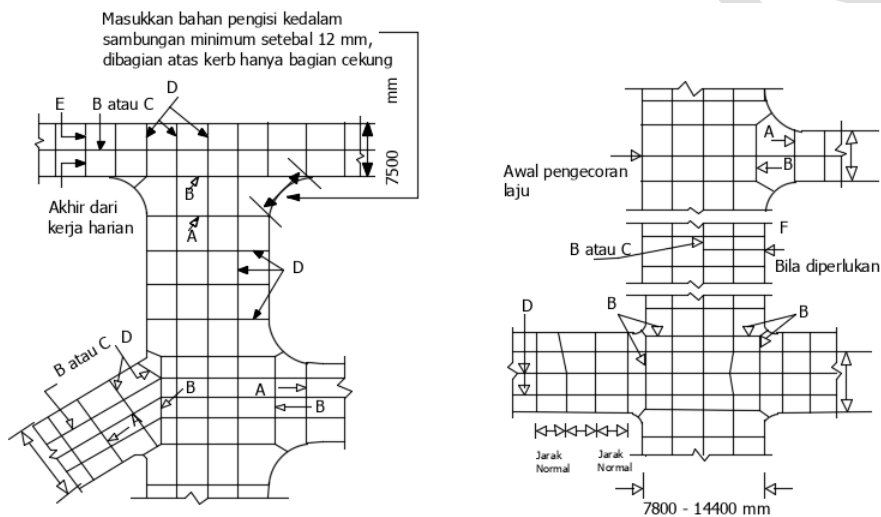
- Hindari bentuk panel yang tidak teratur. Usahakan bentuk panel sepersegi mungkin. Perbandingan maksimum panjang panel terhadap lebar adalah 1,25.
- Jarak maksimum sambungan memanjang 3-4 m.
- Jarak sambungan melintang maksimum 5,0 m.
- Semua sambungan susut harus menerus sampai kereb dan mempunyai kedalaman seperempat dan sepertiga dari tebal perkerasan.

- e. Antar sambungan harus bertemu pada satu titik untuk menghindari terjadinya retak refleksi pada lajur yang bersebelahan.
- f. Sudut antar sambungan yang lebih kecil dari 60 derajat harus dihindari dengan mengatur 0,5 m panjang terakhir dibuat tegak lurus terhadap tepi perkerasan.
- g. Apabila sambungan berada dalam area 1,5 m dengan *manhole* atau bangunan yang lain, jarak sambungan harus diatur sedemikian rupa sehingga antara sambungan dengan *manhole* atau bangunan yang lain tersebut membentuk sudut tegak lurus. Hal tersebut berlaku untuk bangunan yang berbentuk bundar. Untuk bangunan berbentuk segi empat, sambungan harus berada pada sudutnya atau di antara dua sudut.
- h. Semua bangunan lain seperti *manhole* harus dipisahkan dari perkerasan dengan sambungan muai selebar 12 mm yang meliputi keseluruhan tebal pelat.
- i. Perkerasan yang berdekatan dengan bangunan lain atau *manhole* harus ditebalkan 20% dari ketebalan normal dan berangsur-angsur berkurang sampai ketebalan normal sepanjang 1,5 m seperti diperlihatkan pada Gambar 8.9b.
- j. Panel yang tidak persegi empat dan yang mengelilingi *manhole* harus diberi tulangan berbentuk anyaman sebesar 0,15% terhadap penampang beton semen dan dipasang 5 cm di bawah permukaan atas. Tulangan harus dihentikan 7,5 cm dari sambungan.

Tipikal pola sambungan diperlihatkan pada Gambar 8.12 dan Gambar 8.13.



Gambar 8.12 Potongan melintang perkerasan dan lokasi sambungan



Gambar 8.13 Detail potongan melintang sambungan perkerasan

Keterangan Gambar 8.12 dan Gambar 8.13:

- A = Sambungan isolasi
- B = Sambungan pelaksanaan memanjang
- C = Sambungan susut memanjang
- D = Sambungan susut melintang
- E = Sambungan susut melintang yang direncanakan
- F = Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan

8.3.12 Penutup Sambungan

Penutup sambungan dimaksudkan untuk mencegah masuknya air dan/atau benda lain ke dalam sambungan perkerasan. Benda-benda lain yang masuk ke dalam sambungan dapat menyebabkan kerusakan berupa gompal dan/atau pelat beton yang saling menekan ke atas (*blow up*).

8.4 Bagan Desain Perkerasan Kaku untuk Lalu Lintas Rendah

Bab ini berdasarkan SNI 8457:2017 dalam perencanaan teknis jalan beton untuk lalu lintas rendah yang meliputi persyaratan teknis tanah dasar, lapis fondasi bawah, beton kurus, beton semen, lalu lintas, dan sambungan. Rancangan jalan beton pada bab ini untuk melayani beban lalu lintas harian rata-rata kendaraan niaga (LHR_N) kurang dari 500 kendaraan per hari dan beban lalu lintas kurang dari satu juta ESAL selama umur rencana 20 (dua puluh) tahun.

Dalam perencanaan teknis jalan beton untuk lalu lintas rendah ini, penentuan tebal jalan beton didasarkan pada kategori lalu lintas yang dinyatakan dalam lalu lintas rata-rata kendaraan niaga (LHR_N). Yang termasuk jenis kendaraan niaga pada perencanaan ini adalah kendaraan angkutan barang, bus, truk sedang, dan truk berat dengan sumbu tunggal roda tunggal.

Jumlah kendaraan dengan beban MST (Muatan Sumbu Terberat) yang melewati ruas jalan ditentukan maksimal 10% LHR_N . Apabila melebihi 10% LHR_N , maka dipertimbangkan untuk menaikkan kategori LHR_N ke kriteria jalan yang lebih tinggi.

Penentuan tebal jalan beton yang tepat merupakan bagian penting dari desain jalan beton. Ketebalan jalan beton yang tidak memadai akan menyebabkan retak dan tidak tercapainya umur layanan.

Dengan mempertimbangkan aspek kemudahan perencanaan dan kemudahan pelaksanaan, desain perkerasan kaku untuk lalu lintas rendah dapat melihat pada Bagan Desain-8A.

Bagan Desain-8A. Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah*

		Kriteria Jalan	
		Jalan lokal	Jalan kolektor
LHR_N		<50	50-500
Beban MST ¹⁾		Maks. 5 Ton	Maks. 8 Ton
Tebal beton		150 mm	200 mm
Kuat lentur minimum, S_c		3,5 MPa	3,8 MPa
Tebal beton kurus ²⁾		100 mm	100 mm
Tebal lapis fondasi agregat	Tanah Dasar :		
	• $4\% \leq CBR < 6\%$	250 mm	250 mm
	• $CBR > 6\%$	150 mm	150 mm
Jarak sambungan melintang		4,0 m	4,0 m
Batang pengikat (<i>tie bars</i>)	Mutu Baja Min.	BjTS 30	BjTS 30
	Diameter, \emptyset	13 mm	16 mm
	Panjang, L	600 mm	700 mm
	Spasi, S	750 mm	750 mm
Ruji (<i>dowel</i>)	Mutu Baja Min.	Tanpa Ruji	BjTP 30
	Diameter, \emptyset		25 mm
	Panjang, L		450 mm
	Spasi, S		300 mm

Catatan:

- 1) Jumlah kendaraan dengan Beban MST (Muatan Sumbu Terberat) yang melewati ruas jalan ditentukan maksimal 10% LHR_N .
- 2) Beton kurus berfungsi sebagai lantai kerja dan tidak diperhitungkan dalam perhitungan kekuatan struktur (beton kurus, f_c' 8-10 MPa).

8.5 Contoh Penggunaan

Suatu ruas jalan baru (4-lajur 2-arah) akan dibangun di suatu wilayah jalan yang direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2025. Data lalu lintas harian yang digunakan untuk perencanaan diperoleh dari hasil survei dan analisa kebutuhan pergerakan di ruas jalan tersebut pada tahun 2025, dengan data sebagai berikut:

Gol. Kend.	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kel. sumbu	Data LHR (2 Arah)
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3			10.197
2	Kendaraan ringan - sedan, <i>jeep</i> , dan <i>station wagon</i>	1.1	2	1.393
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	1.1	2	1.151
4	Kendaraan ringan - <i>pick up</i> , <i>micro truck</i> dan mobil hantar	1.1	2	518
5A	Bus kecil	1.1	2	167
5B	Bus besar	1.2	2	112
6A	Truk 2 sumbu – truk ringan	1.1	2	172
6B	Truk 2 sumbu – truk sedang	1.2	2	1.655
7A1	Truk 3 sumbu – berat	11.2	2	203
7A2	Truk 3 sumbu – berat	1.22	2	66
7A3	Truk 4 sumbu – berat	11.22	2	-
7B1	Truk 4 sumbu - berat	1.2+2.2	4	-
7B2	Truk 5 sumbu – berat	11.2+2.2	4	28
7B3	Truk 5 sumbu – berat	1.22+2.2	4	-
7C1	Truk 4 sumbu - berat	1.2-22	3	89
7C2A	Truk 5 sumbu – berat	1.22-22	3	33
7C2B	Truk 5 sumbu – berat	1.2-222	3	23
7C3	Truk 6 sumbu – berat	1.22-222	3	19
7C4	Truk 7 sumbu - berat	1.22-2222	3	-
8	Kendaraan tak bermotor			389

Diketahui Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) Beban Faktual pada daerah tersebut adalah sebagai berikut:

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,05	0,19	0,00	0,31	0,00	0,00
20	9,52	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00
30	39,26	12,53	0,00	0,00	0,00	0,00
40	16,71	21,76	0,00	0,00	0,00	0,00
50	8,82	15,96	0,00	0,31	0,00	0,00
60	15,89	9,79	0,00	0,76	0,00	0,00
70	5,98	8,67	0,00	1,38	0,00	0,00
80	2,89	9,02	0,00	3,06	0,00	0,00
90	0,89	4,89	0,00	3,67	0,00	0,00
100	0,00	2,95	0,00	4,13	0,00	0,00
110	0,00	2,53	0,00	6,42	0,00	0,00
120	0,00	1,97	0,00	6,27	0,00	0,00
130	0,00	0,40	0,00	9,33	0,00	0,00
140	0,00	0,08	0,00	7,95	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
150	0,00	8,80	0,00	7,03	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,57	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	8,41	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,83	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,45	50,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,14	50,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	0,00

Jalan direncanakan memiliki umur rencana 40 (empat puluh) tahun (2025-2064) dan angka pertumbuhan lalu lintas regional seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1, untuk 20 tahun pertama adalah sebesar 4,8%, sedangkan untuk 20 (dua puluh) tahun berikutnya ditetapkan sebesar 2,4%. Reliabilitas yang ditetapkan 90% dengan nilai faktor keamanan beban (LSF) sebesar 1,2.

Tahapan perhitungan tebal perkerasan kaku yang diperlukan.

a. Tebal Perkerasan

Data LHR dikonversi ke JSKN menggunakan Tabel 8.4 Konfigurasi Sumbu Kendaraan, sehingga didapatkan hasil seperti tabel dibawah ini.

Gol. Kend	LHR	HVAG	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrR G	SQrR G
5B	112	224	112	112	0	0	0	0
6A	172	344	344	0	0	0	0	0
6B	1655	3310	1655	1655	0	0	0	0
7A1	203	406	0	203	203	0	0	0
7A2	66	132	66	0	0	66	0	0
7A3	0	0	0	0	0	0	0	0
7B1	0	0	0	0	0	0	0	0
7B2	28	112	0	84	28	0	0	0
7B3	0	0	0	0	0	0	0	0
7C1	89	267	89	89	0	89	0	0
7C2A	33	99	33	0	0	66	0	0
7C2B	23	69	23	23	0	0	23	0
7C3	19	57	19	0	0	19	19	0
7C4	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2400	5020	2341	2166	231	240	42	0

40 7/6

Gol. Kend	LHR	HVAG	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrR G	SQrR G
Proporsi Jenis Kendaraan (%)		100,00	46,63	43,15	4,60	4,78	0,84	0.00

Nilai JSKN harian adalah 5.020 JSKN. Untuk menghitung jumlah rata-rata harian dari kendaraan berat pada jalur desain secara kumulatif dengan menggunakan Persamaan 8.3.

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = (5.020) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 95,49$$

$$JSKN = 69.983.215,45 = 7 \times 10^7 \text{ JSKN}$$

Keterangan:

- 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)
 UR_1 : Umur rencana periode 1 (tahun)

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

$$R = \frac{(1+0,01 (4,8))^{20} - 1}{0,01 (4,8)} + (1+0,01 (4,8))^{(20-1)} (1+0,01 (2,4)) \left\{ \frac{(1+0,01 (2,4))^{(40-20)} - 1}{0,01 (2,4)} \right\}$$

$$R = 95,49$$

Jenis struktur perkerasan kaku yang dirancang adalah pada Gambar berikut:

- 1) Jenis perkerasan adalah beton bersambung tanpa tulangan (JPCP) kuat tarik lentur (f_s) sebesar minimum 4,5 MPa (45kg/cm²) dengan bahu jalan beton.
- 2) Daya Dukung Setiap Lapisan
 - a) Nilai CBR tanah dasar eksisting adalah 6%.
 - b) Selanjutnya, di atas tanah dasar diletakkan timbunan pilihan berbutir kasar dengan CBR 30% dengan tebal 200 mm.
 - c) LFA kelas A dengan CBR 90%.
- 3) Tahapan perhitungan tebal perkerasan beton semen
 - a) Menghitung CBR tanah dasar ekuivalen desain menggunakan Persamaan 6.2

Material	Daya Dukung CBR (%)	Tebal (m)
LFA Kelas A	90	0,2
Timbunan pilihan berbutir kasar	30	0,2
Tanah dasar	6	

$$CBR_{\text{ekuivalen}} = \left(\frac{\sum h_i CBR_i^{0,33}}{\sum h_i} \right)^3 = \left(\frac{[(0,2 \times 90^{0,33}) + (0,2 \times 30^{0,33}) + (0,6 \times 6^{0,33})]}{(0,2+0,2+0,6)} \right)^3 = 17,68 \%$$

- b) Jumlah sumbu kendaraan berat, JSKN adalah 7×10^7 .
- c) Rencana menggunakan lapis fondasi bawah beton kurus setebal 100 mm.

40 7/6

- d) Berdasarkan Gambar 8.1 dan rencana tebal fondasi bawah maka didapatkan CBR Tanah Dasar Efektif adalah 75%.
- e) Reliabilitas pada perencanaan ini adalah 90%, dengan faktor keamanan beban (LSF) perkerasan kaku sebesar 1,2.
- f) Berdasarkan Tabel 8.3 didapatkan tebal minimum beton adalah 250 mm.
- g) Setelah didapatkan nilai tebal minimum, dilakukan perhitungan untuk Repetisi beban yang diizinkan sesuai dengan kelompok sumbunya berdasarkan distribusi beban JSKN rencana. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel A sampai Tabel F.

Tabel A. Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRT

STRT				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repetisi Beban yang Diizinkan
100	-	0,47	69.983.215,45	-
90	0,01	0,47	69.983.215,45	290.456,83
80	0,03	0,47	69.983.215,45	943.168,81
70	0,06	0,47	69.983.215,45	1.951.608,82
60	0,16	0,47	69.983.215,45	5.185.796,69
50	0,09	0,47	69.983.215,45	2.878.459,84
40	0,17	0,47	69.983.215,45	5.453.408,61
30	0,39	0,47	69.983.215,45	12.812.736,20
20	0,10	0,47	69.983.215,45	3.106.909,03
10	0,0005	0,47	69.983.215,45	16.317,80

Tabel B. Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – (STdRT)

STdRT				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repetisi Beban yang Diizinkan
100	-	0,05	69.983.215,45	-
90	-	0,05	69.983.215,45	-
80	-	0,05	69.983.215,45	-
70	-	0,05	69.983.215,45	-
60	-	0,05	69.983.215,45	-
50	-	0,05	69.983.215,45	-
40	-	0,05	69.983.215,45	-
30	-	0,05	69.983.215,45	-
20	-	0,05	69.983.215,45	-
10	-	0,05	69.983.215,45	-

Tabel C. Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRG

STRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repetisi Beban yang Diizinkan
160	-	0,43	69.983.215,45	-
150	0,09	0,43	69.983.215,45	2.657.243,17
140	0,00	0,43	69.983.215,45	24.156,76
130	0,00	0,43	69.983.215,45	120.783,78
120	0,02	0,43	69.983.215,45	594.860,12
110	0,03	0,43	69.983.215,45	763.957,41
100	0,03	0,43	69.983.215,45	890.780,38
90	0,05	0,43	69.983.215,45	1.476.581,72
80	0,09	0,43	69.983.215,45	2.723.674,25
70	0,09	0,43	69.983.215,45	2.617.988,44
60	0,10	0,43	69.983.215,45	2.956.183,03
50	0,16	0,43	69.983.215,45	4.819.272,85
40	0,22	0,43	69.983.215,45	6.570.637,67
30	0,13	0,43	69.983.215,45	3.783.551,93
20	0,0048	0,43	69.983.215,45	144.940,54
10	0,0019	0,43	69.983.215,45	57.372,30

Tabel D. Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRG

STdRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repetisi Beban yang Diizinkan
320	-	0,05	69.983.215,45	-
310	0,02	0,05	69.983.215,45	51.190,91
300	0,01	0,05	69.983.215,45	46.172,19
290	0,01	0,05	69.983.215,45	35.800,18
280	0,02	0,05	69.983.215,45	81.972,37
270	0,03	0,05	69.983.215,45	97.363,10
260	0,02	0,05	69.983.215,45	71.600,36
250	0,02	0,05	69.983.215,45	81.972,37
240	0,01	0,05	69.983.215,45	40.818,90
230	0,02	0,05	69.983.215,45	61.228,34
220	0,02	0,05	69.983.215,45	66.581,64
210	0,02	0,05	69.983.215,45	71.600,36
200	0,03	0,05	69.983.215,45	97.363,10
190	0,05	0,05	69.983.215,45	173.982,18

STdRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repetisi Beban yang Diizinkan
180	0,05	0,05	69.983.215,45	173.982,18
170	0,08	0,05	69.983.215,45	281.382,71
160	0,07	0,05	69.983.215,45	219.819,79
150	0,07	0,05	69.983.215,45	235.210,52
140	0,08	0,05	69.983.215,45	265.991,98
130	0,09	0,05	69.983.215,45	312.164,18
120	0,06	0,05	69.983.215,45	209.782,36
110	0,06	0,05	69.983.215,45	214.801,07
100	0,04	0,05	69.983.215,45	138.182,00
90	0,04	0,05	69.983.215,45	122.791,27
80	0,03	0,05	69.983.215,45	102.381,82
70	0,01	0,05	69.983.215,45	46.172,19
60	0,01	0,05	69.983.215,45	25.428,16
50	0,0031	0,05	69.983.215,45	10.372,01
40	-	0,05	69.983.215,45	-
30	-	0,05	69.983.215,45	-
20	-	0,05	69.983.215,45	-
10	0,0031	0,05	69.983.215,45	10.372,01

Tabel E. Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STrRG

STrRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repetisi Beban yang Diizinkan
270	-	0,01	69.983.215,45	-
260	0,50	0,01	69.983.215,45	292.758,47
250	0,50	0,01	69.983.215,45	292.758,47

Tabel F. Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – SQdRG

SQdRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repetisi Beban yang Diizinkan
30	0,00	0,00	69.983.215,45	0,00
20	0,00	0,00	69.983.215,45	0,00
10	0,00	0,00	69.983.215,45	0,00

- 4) Selanjutnya, diperhitungkan faktor kelelahan (*fatigue*) dan faktor erosi dari tebal beton minimum menggunakan Persamaan 8.4 sampai dengan Persamaan 8.7, sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel dibawah ini.

SALINAN

Tabel G. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRT

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,58	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,66
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
90,00	108,00	290.456,83	<i>UNLIMITED</i>	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	0,00

Tabel H. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STdRT

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,58	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,30
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
90,00	108,00	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	0,00

Tabel I. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRG

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,84	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,30
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
150,00	180,00	2657243,17	<i>UNLIMITED</i>	0,00	500.348	531,08
140,00	168,00	24156,76	<i>UNLIMITED</i>	0,00	827.935	2,92
130,00	156,00	120783,78	<i>UNLIMITED</i>	0,00	1.503.068	8,04
120,00	144,00	594860,12	<i>UNLIMITED</i>	0,00	3.172.428	18,75
110,00	132,00	763957,41	<i>UNLIMITED</i>	0,00	9.003.882	8,48

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,84	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,30
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
100,00	120,00	890780,38	<i>UNLIMITED</i>	0,00	65.462.800	1,36
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	570,63

- 5) Berdasarkan perhitungan faktor *fatigue* dan erosi, tebal minimum beton sebesar 250 mm tidak memadai untuk beban lalu lintas. Sehingga tebal beton harus ditambahkan hingga total dari masing-masing faktor *fatigue* dan erosi adalah 100% (lihat Tabel J sampai Tabel O).

Tabel J. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRT (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,46
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
90,00	108,00	290456,83	<i>UNLIMITED</i>	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

Tabel K. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STdRT (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,15
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
90,00	108,00	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

Tabel L. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRG (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,66	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,06
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
150,00	180,00	2657243,17	UNLIMITED	0,00	3.587.435	74,07
140,00	168,00	24156,76	UNLIMITED	0,00	8.243.317	0,29
130,00	156,00	120783,78	UNLIMITED	0,00	30.448.130	0,40
120,00	144,00	594860,12	UNLIMITED	0,00	UNLIMITED	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	74,76

Tabel M. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STdRG (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,56	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,15
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
310,00	372,00	51190,91	UNLIMITED	0,00	1.073.594	4,77
300,00	360,00	46172,19	UNLIMITED	0,00	1.404.760	3,29
290,00	348,00	35800,18	UNLIMITED	0,00	1.887.168	1,90
280,00	336,00	81972,37	UNLIMITED	0,00	2.622.062	3,13
270,00	324,00	97363,10	UNLIMITED	0,00	3.809.696	2,56
260,00	312,00	71600,36	UNLIMITED	0,00	5.892.462	1,22
250,00	300,00	81972,37	UNLIMITED	0,00	10.015.887	0,82
240,00	288,00	40818,90	UNLIMITED	0,00	19.993.611	0,20
230,00	276,00	61228,34	UNLIMITED	0,00	56.327.101	0,11
220,00	264,00	66581,64	UNLIMITED	0,00	742.400.165	0,01

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,56	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,15
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	17,99

Tabel N. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STrRG (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,17
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
50,00	60,00	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00
40,00	48,00	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

Tabel O. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – SQdRG (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repetisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,17
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repetisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
100,00	120,00	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00	355.526.638.325.653	0,00
90,00	108,00	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00	355.526.638.325.653	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

- 6) Dari hasil analisis, tebal beton yang memadai untuk dilintasi oleh beban lalu lintas pada desain perkerasan kaku ini adalah **300 mm** (total faktor *fatigue* sebesar 00,00% dan faktor erosi 92,75%). Tebal beton yang dibutuhkan adalah setebal 300 mm yang dipasang dengan susunan konstruksi ditunjukkan dibawah ini.

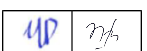
Material	Tebal (mm)
Beton Semen = F_s 4,5 MPa	300
Lapis Fondasi Bawah, Beton Kurus	100
LFA Kelas A = CBR 90%	200
Timbunan pilihan berbutir kasar = CBR 30%	200
Tanah dasar = CBR 6%	-

Perkerasan beton didesain sebagai beton bersambung tanpa tulangan (JPCP) maka:

- Lebar pelat : 2 x 3,5 m
- Panjang pelat : 5 m
- Sambungan susut dipasang setiap jarak 5 m
- Ruji digunakan 38 mm (Tabel 8.9), Panjang 45 cm, jarak 30 cm
- Batang pengikat digunakan baja ulir 16 mm, Panjang 70 cm, dan jarak 75 cm

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



9. DESAIN PERKERASAN JALAN KERIKIL ATAU PERKERASAN DENGAN PENUTUP TIPIS

Bab ini menguraikan desain struktur lapisan perkerasan di atas tanah dasar untuk perkerasan jalan kerikil atau perkerasan dengan penutup tipis (formasi atas).

9.1 Desain Empiris Perkerasan Berbutir dengan Lapis Tipis Aspal

Metode desain perkerasan secara empiris berlaku untuk perkerasan dengan lapis agregat (*unbounded*) tanpa lapis penutup, atau dengan lapis penutup berupa laburan (burtu atau burda).

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.

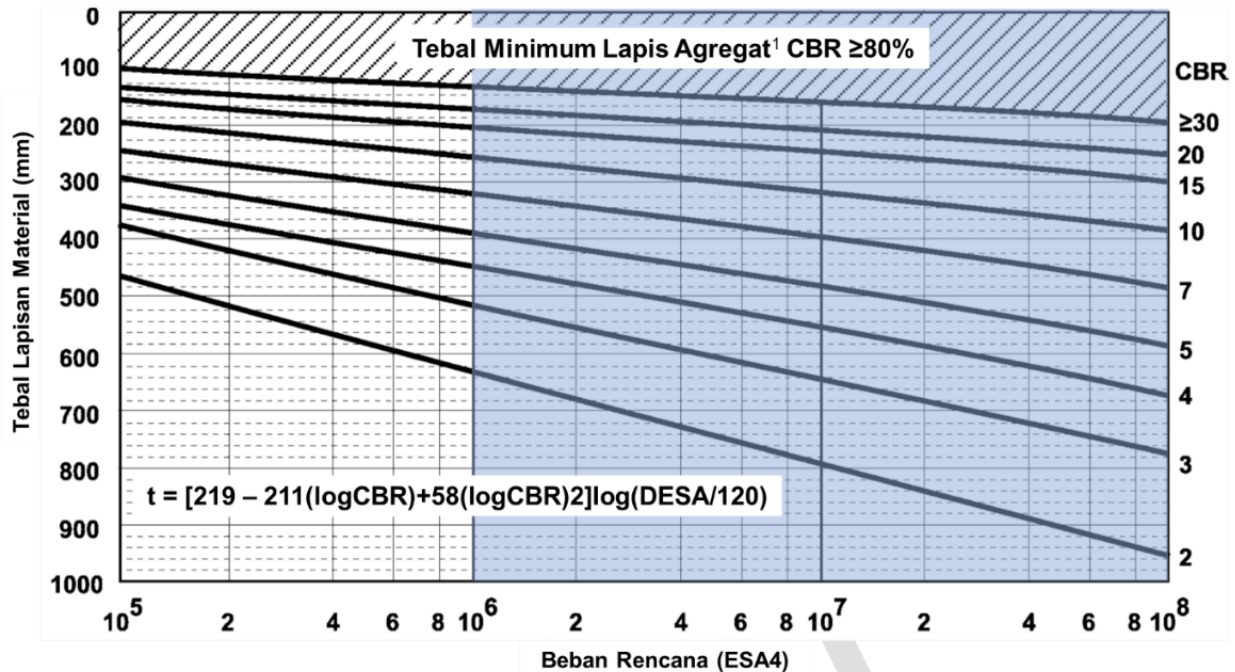
Walaupun metode mekanistik dapat diterapkan untuk jalan kerikil akan tetapi keandalan pendekatan tersebut untuk perkerasan dengan aspal tipis masih dipertanyakan. Asumsi yang digunakan pada metode mekanistik yang ada dianggap belum memadai antara lain:

- a. Asumsi bahwa lapis penutup terikat sepenuhnya (*fully bounded*) dengan lapis agregat.
- b. Beban horizontal yang terjadi akibat efek pengerem, 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.

9.1.1 Penentuan Tebal Perkerasan

Bagan Desain-9 Perkerasan tanpa penutup atau dengan lapis permukaan beraspal tipis*



*Sumber: Austroads AGPT02-17

Untuk beban rencana > 1 juta ESA4 digunakan untuk desain bahu tanpa penutup

Bagan Desain-9 dapat digunakan untuk merencanakan perkerasan yang terdiri dari lapisan granular tanpa pengikat (*unbound*) dengan permukaan berupa: (i) Lapis Permukaan Agregat (tanpa penutup beraspal) atau, (ii) dengan permukaan berupa lapisan laburan aspal seperti BURTU atau BURDA. Prosedur desain bersifat empiris berdasarkan kriteria untuk menahan terjadinya alur (*rutting*) dan deformasi.

Tanah dasar dapat berupa tanah *in-situ* atau tanah dasar yang ditingkatkan (*improved subgrade*), baik berupa material pilihan atau tanah yang distabilisasi (biasanya dengan kapur).

Ketebalan material yang dibutuhkan di atas tanah dasar ditentukan dengan menggunakan grafik Bagan Desain-9 dengan pembebanan lalu lintas desain dalam satuan ESA4.

Komposisi struktur perkerasan jalan dirancang dengan menyediakan penutup di atas tanah dasar berupa bahan granular dengan ketebalan tertentu. Ketebalan penutup yang dibutuhkan di atas suatu lapisan material ditentukan dari nilai desain CBR material yang digunakan. Ketebalan yang ditunjukkan pada sumbu vertikal grafik menunjukkan ketebalan minimum di atas tanah dasar dan lapisan-lapisan di atasnya.

Lapisan teratas yang ditunjukkan pada grafik adalah material granular dengan $\text{CBR} \geq 80\%$, sebagai lapis permukaan agregat (untuk jalan dengan perkerasan tanpa penutup beraspal) atau, lapis fondasi atas (untuk perkerasan dengan penutup laburan aspal atau aspal tipis). Lapis fondasi yang langsung di bawah lapis agregat teratas adalah lapis fondasi agregat dengan CBR desain $\geq 30\%$. Lapis struktur perkerasan dapat dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1 Lapisan struktur perkerasan berbutir

Untuk perkerasan yang langsung di atas tanah dasar *in-situ* tebal total lapis granular di atasnya dan CBR rencana lapisan-lapisan di atasnya ditentukan langsung dari grafik bagan.

Untuk perkerasan dengan tanah dasar yang ditingkatkan (*improved subgrade*) dengan material pilihan atau distabilisasi dengan kapur, desain dilakukan secara iteratif sebagai berikut:

- a. Asumsikan konfigurasi perkerasan jalan.
- b. CBR desain dari tanah dasar dengan material pilihan dan bahan tanah dasar yang distabilisasi dengan kapur dapat ditetapkan berdasarkan:
 - 1) Bagan Desain-2 untuk mendapatkan CBR desain ekuivalen dengan CBR 6; atau
 - 2) nilai minimal dari (i) 15%, (ii) nilai ditentukan dari pengujian CBR atau perkiraan CBR , dan (iii) nilai ditentukan dari dukungan yang diberikan oleh tanah dasar tanah dasar *in-situ* terhadap tanah dasar pilihan atau tanah yang distabilisasi menggunakan persamaan yang identik dengan Persamaan 6.1.
- c. Dengan menggunakan Bagan Desain-9, tentukan ketebalan total lapisan yang diperlukan untuk melindungi tanah dasar (*improved subgrade*). Pilih ketebalan dan kualitas bahan granular yang sesuai.
- d. Hitung ketebalan total semua lapisan di atas tanah dasar (baik *in-situ* maupun *improved subgrade*) dan bandingkan dengan ketebalannya penutup yang dibutuhkan menurut grafik bagan desain.
- e. Jika total tebal lapisan penutup tanah dasar tidak mencukupi, ulangi langkah a sampai d.

9.2 Contoh Penggunaan

Contoh penggunaan Bagan Desain-9 untuk perkerasan tanpa penutup beraspal atau dengan lapis permukaan beraspal tipis.

Untuk memudahkan maka Persamaan 6.1 CBR tanah dasar yang ditingkatkan (*improved subgrade*) dengan mempertimbangkan CBR tanah dasar *in-situ*.

Contoh – 1

Tentukan struktur untuk perkerasan dengan parameter desain sebagai berikut:

- a. Umur rencana 10 tahun
- b. Lapis permukaan: lapis agregat tanpa pengikat aspal
- c. Beban rencana 400.000 ESA4
- d. CBR rencana tanah dasar *in-situ*: 3%
- e. Bahan tersedia:
 - 1) lapis permukaan agregat CBR_{desain} 80%, gradasi maksimum 19 mm;
 - 2) LFA CBR_{desain} 35%, gradasi maksimum 37.5 mm;
 - 3) material pilihan: CBR_{desain} 10%.

Langkah – 1 Menaksir tebal material pilihan.

Coba dengan 150 mm.

Langkah – 2 Menetapkan nilai CBR desain *improved subgrade*.

Nilai rencana CBR *improved subgrade* adalah nilai terkecil dari (i) 15%; (ii) hasil uji laboratorium: (iii) nilai CBR dari Persamaan 6.1. Dari persamaan tersebut diperoleh:

$$CBR_{\text{improved}} = 3 \times 2^{(150/150)} = 6.$$

Nilai CBR rencana adalah nilai terkecil dari: (i) 15%; (ii) 10% dan (iii) 6%, dengan demikian nilai CBR rencana *improved subgrade* adalah 6%. Catatan: nilai yang diperoleh identik dengan nilai CBR rencana subgrade sesuai dengan Bagan Desain-2 (MDP 2017, Bagian I).

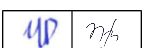
Langkah – 3: Memilih jenis dan ketebalan lapis agregat.

Dari grafik Bagan Desain-9 (Gambar 9.2 Penentuan Tebal Lapisan Agregat Contoh-1), untuk beban rencana 400.000 ESA4, di atas tanah dasar yang ditingkatkan (*improved subgrade*) dengan CBR rencana 6% diperlukan lapis penutup dengan tebal total 320 mm. Sedangkan, di atas tanah dasar *in-situ* diperlukan 460 mm lapis agregat penutup.

Ditunjukkan pula bahwa tebal minimum lapis permukaan agregat 120 mm ($CBR \geq 80\%$). Dengan demikian, di bawah lapis permukaan agregat diperlukan lapis fondasi agregat ($CBR \geq 30\%$) dengan tebal 200 mm (i.e. 320 mm – 120 mm).

Dari material yang tersedia, untuk lapis permukaan dapat digunakan lapis agregat permukaan CBR_{desain} 80%, gradasi maksimum 19 mm dengan ketebalan rencana 120 mm. Sebagai lapis fondasi, dapat digunakan LFA CBR_{desain} 35%, gradasi maksimum 37.5 mm dengan ketebalan rencana 200 mm.

Langkah – 4: Periksa apakah total struktur perkerasan memenuhi syarat ketebalan lapis agregat penutup di atas *improved subgrade* dan di atas tanah dasar *in-situ*.



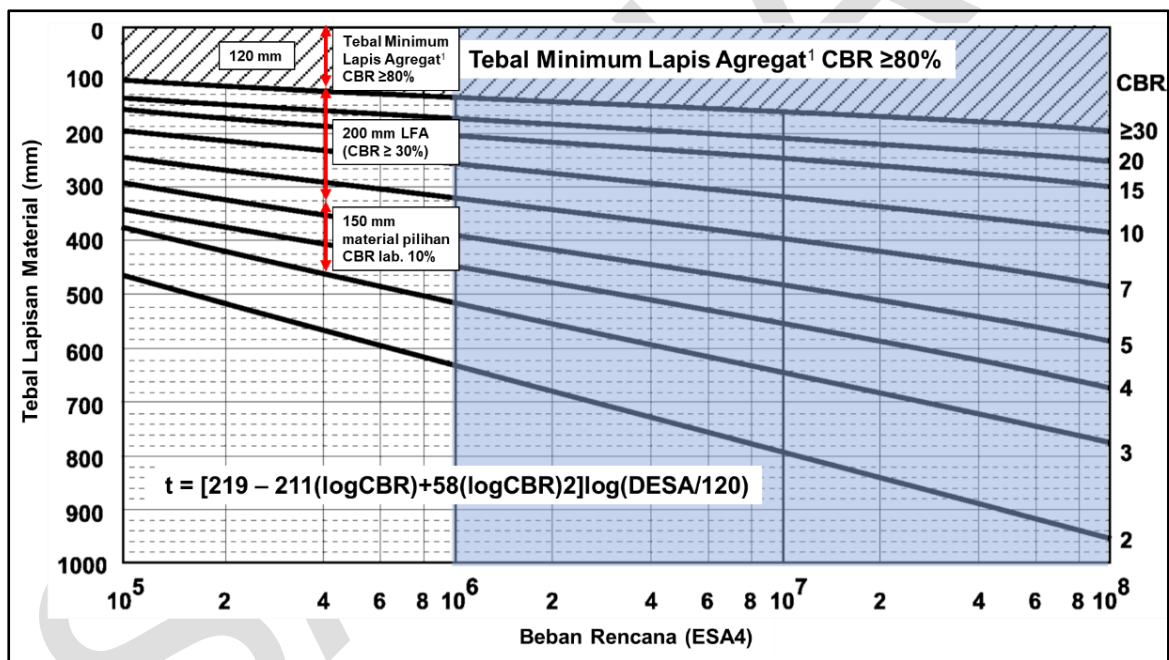
Tebal lapis agregat di atas *improved subgrade* adalah 320 mm (seperti 120 mm lapis permukaan agregat ditambah 200 mm lapis fondasi agregat) sama dengan ketebalan perlu yang diperoleh dari grafik Bagan Desain 7.

Tebal total di atas tanah dasar *in-situ* adalah 470 mm (ie. 320 mm lapis agregat + 150 mm material pilhan) lebih besar dari tebal perlu minimum (460 mm) menurut grafik Bagan Desain-9.

Dengan demikian struktur perkerasan desain memenuhi ketentuan ketebalan lapis agregat penutup.

Struktur Perkerasan Desain Contoh - 1

Material	Tebal (mm)
Lapis Permukaan Agregat (CBR \geq 80 %)	120
LFA (CBR \geq 30 %)	200
Material pilihan dengan CBR lab desain 10 %	150
Tanah dasar <i>in-situ</i> CBR 3 %	-



1) Lapis permukaan agregat

Gambar 9.2 Penentuan tebal lapisan agregat contoh-1

Contoh - 2:

- Umur rencana: 10 tahun
- Lapis permukaan: Burda
- Beban pada lajur rencana: 500.000 ESA4
- CBR tanah dasar *in-situ*: 4%
- Bahan tersedia:
 - Burda
 - Lapis fondasi agregat: Kelas A, Kelas B dan Kelas C
 - Material pilihan dengan CBR lab rencana: 15%

UP n/s

Langkah – 1: Menaksir tebal lapis material pilihan.

Coba dengan tebal 200 mm.

Langkah – 2: Menetapkan nilai CBR desain *improved subgrade*.

Nilai rencana CBR *improved subgrade* adalah nilai terkecil dari (i) 15%; (ii) hasil uji laboratorium; (iii) nilai CBR dari Persamaan 6.1.

Dari persamaan diperoleh:

$$CBR_{\text{improved}} = 4 \times 2^{(200/150)} = 10$$

Nilai CBR rencana adalah nilai terkecil dari: (i) 15%; (ii) 15% dan (iii) 10%; dengan demikian nilai CBR rencana (*improved subgrade*) adalah 10%.

Langkah – 3: Memilih jenis dan ketebalan lapis agregat.

Dari grafik Bagan Desain-9 (Gambar 9.3 Penentuan Ketebalan Lapis Agregat Contoh-2) untuk beban rencana 500.000 ESA4, di atas tanah dasar yang ditingkatkan (*improved subgrade*) dengan CBR rencana 10% diperlukan lapis penutup dengan tebal total 240 mm. Sedangkan, di atas tanah dasar *in-situ* (CBR 4%) diperlukan penutup setebal 410 mm.

Ditunjukkan pula bahwa diperlukan lapis fondasi atas dengan tebal minimum 125 mm (CBR \geq 80%).

Langsung di bawah lapis fondasi atas, di atas permukaan *improved subgrade*, diperlukan lapis fondasi bawah dengan CBR \geq 30% setebal 115 mm (i.e. 240 mm – 125 mm).

Dari material yang tersedia, untuk lapis fondasi atas dapat digunakan LFA Kelas A dengan ketebalan 125 mm. Untuk lapisan *subbase*, dari segi daya dukung (CBR \geq 30%), maka LFA Kelas B dapat digunakan dengan ketebalan praktis 150 mm.

Langkah – 4: Memeriksa ketebalan total di atas tanah dasar.

Dengan demikian struktur lapis granular perkerasan di atas lapisan material pilihan menjadi: 125 mm LFA Kelas A + 150 mm LFA Kelas B atau total 275 mm (> 240 mm persyaratan tebal minimum di atas *improved subgrade*).

Tebal total lapisan di atas tanah dasar *in-situ* adalah: 200 mm (material pilihan) + 275 mm (LFA Kelas A + Kelas B) atau sama dengan 475 mm > 410 mm yang merupakan persyaratan tebal pentup minimum di atas tanah dasar *in-situ* dengan CBR 4.

Ketebalan Burda dianggap tidak menyumbang pada kekuatan struktur perkerasan,

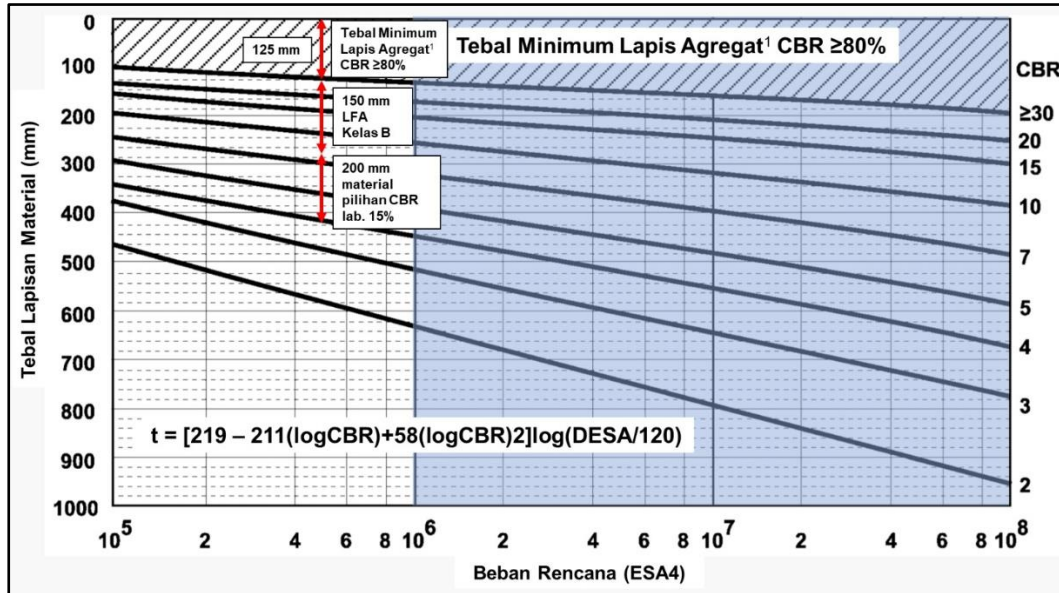
Dengan demikian, struktur desain perkerasan adalah sebagai berikut:

Struktur Perkerasan Desain Contoh-2

Material	Tebal (mm)
Burda	-
LFA Kelas A	125
LFA Kelas B	150

40 7/6

Material	Tebal (mm)
Material pilihan dengan CBR lab 15 %	200
Tanah dasar in-situ CBR 4%	-



Gambar 9.3 Penentuan ketebalan lapis agregat contoh-2

Halaman ini sengaja dikosongkan

SALINAN

UD	ny
----	----

10. 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.

10.1 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 10.1. 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 10.1 Ketebalan padat lapisan yang diizinkan pada penghamparan

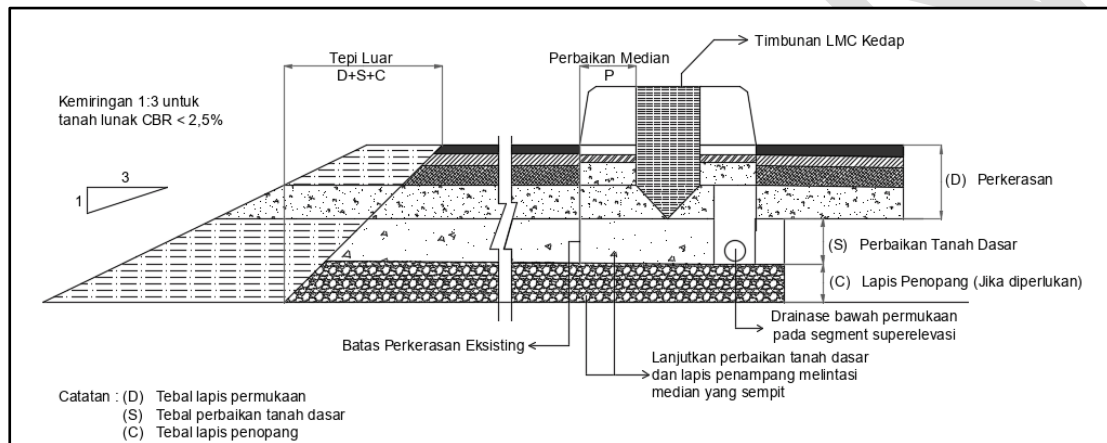
B a h a n	Rentang tebal padat per hamparan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis ⁽¹⁾
(1)	(2)	(3)
HRS WC	30 – 50	tidak
HRS Base	35 – 50	ya
AC WC	40 – 70	ya
AC BC	60 – 80	ya
AC – Base	75 – 100	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas A (gradasi dengan ukuran maksimum 37.5 mm)	150 – 200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas B (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	150 – 200	ya
LFA Kelas C (Untuk Bahu Jalan, gradasi dengan ukuran maksimum 25,4 mm)	120 – 200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas S (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	150 – 200	ya
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30 mm)	150 – 300	tidak
Stabilisasi tanah atau kerikil alam	150 – 200	tidak
Kerikil alam	150 – 200	ya

Catatan: ⁽¹⁾ Jika tebal padat yang diperlukan melebihi rentang tebal pada kolom (2) maka dapat dilakukan beberapa lapis hamparan, dengan tebal sesuai pada kolom (2), kecuali untuk HRS WC, CTB, dan stabilisasi tanah atau kerikil alam, hanya diizinkan dihampar dalam 1 (satu) lapis.

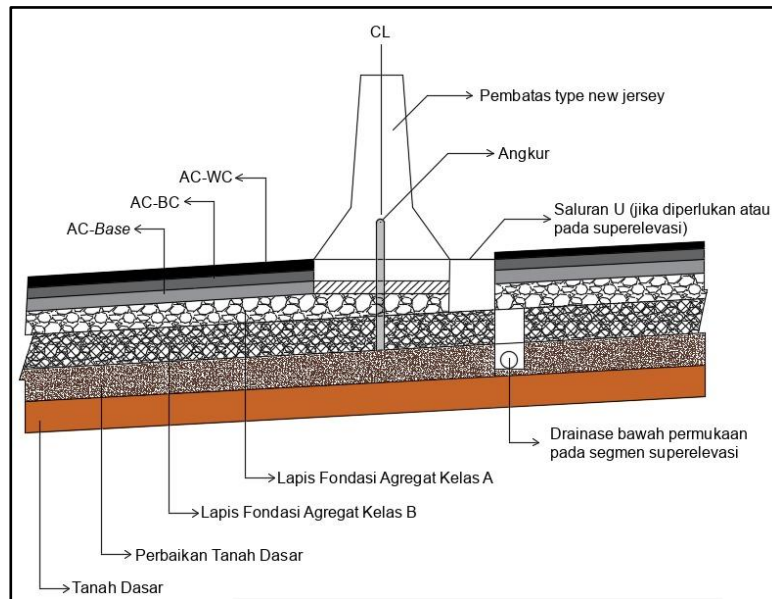
10.2 Daya Dukung Tepi Perkerasan

Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama bila terletak pada tanah lunak atau tanah gambut. Ketentuan daya dukung tepi harus dinyatakan secara detil 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 10.1.
- Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak ($\text{CBR} < 2,5\%$) atau tanah gambut harus dipasang pada kemiringan tidak lebih curam dari $1V : 3H$.



Gambar 10.1 Dukungan tepi perkerasan



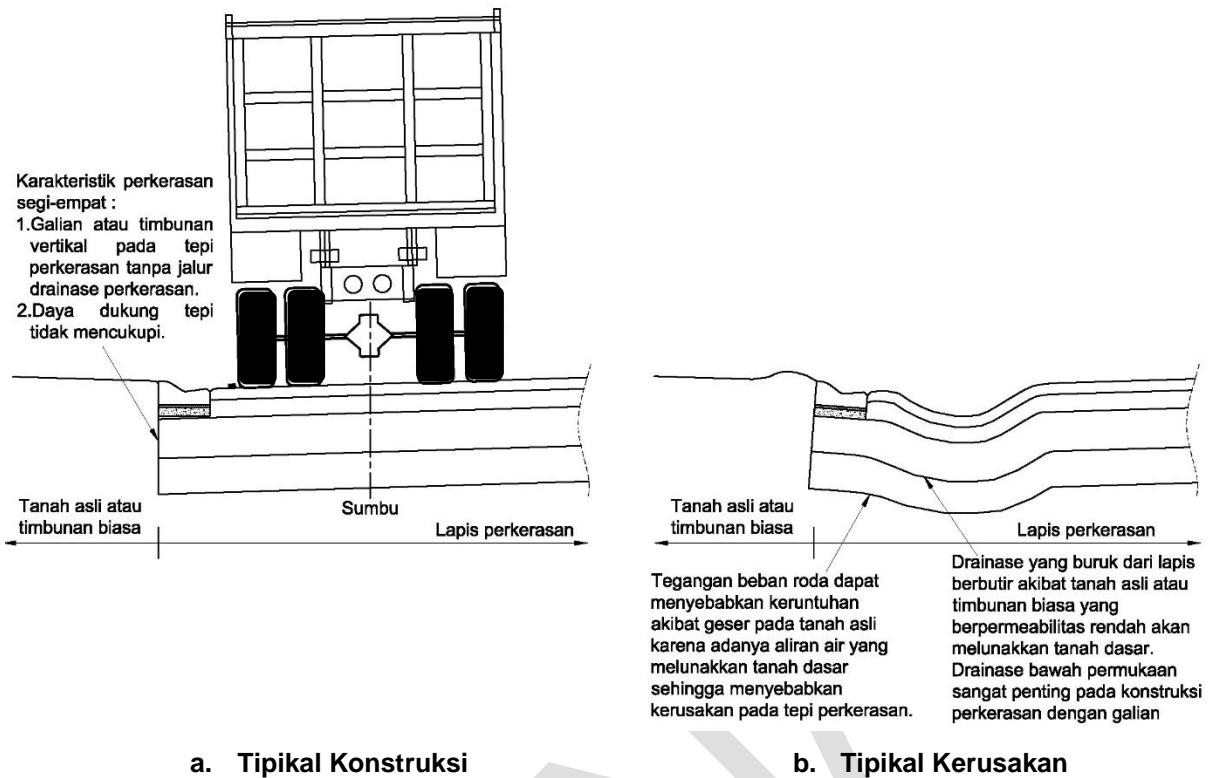
Gambar 10.2 Dukungan median perkerasan

Lapis penopang dan perbaikan tanah dasar harus diperlebar sampai ke bawah median seperti ditunjukkan pada Gambar 10.2. 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.

10.3 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 10.3). 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 10.3 Konstruksi perkerasan pada galian segi empat (kasus tipikal)

10.4 Pengaruh Musim Hujan

Perencana teknis 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).

10.5 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.

10.6 Lokasi Sambungan

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

10.7 Kemampuan Kontraktor

Peralatan dan ketrampilan khusus diperlukan untuk pekerjaan Burtu dan Burda, stabilisasi, *cement treated base* dan perkerasan beton semen, penggunaan aspal modifikasi yang

UP mh

memerlukan bahan dan peralatan khusus. Pekerjaan-pekerjaan tersebut disarankan untuk dikerjakan oleh kontraktor-kontraktor yang mempunyai pengalaman dan akses terhadap sumber daya yang diperlukan.

10.8 Ketersediaan Alat

Jenis perkerasan yang dipilih harus sesuai dengan peralatan yang tersedia. Untuk proyek konstruksi yang besar, akan lebih ekonomis jika dilakukan atau impor peralatan-peralatan yang dibutuhkan. Sedangkan untuk area yang jauh (*remote*), peralatan yang tersedia di sekitar proyek akan berdampak pada pemilihan jenis perkerasan dan komposisi materialnya.

Kadang-kadang, jika sejumlah pekerjaan kecil akan dibangun dalam waktu singkat di wilayah yang sama, maka jumlah alternatif ekonomi yang tersedia dapat ditingkatkan.

10.9 Konstruksi Bertahap

Pembangunan jalan secara bertahap mungkin dilakukan seiring bertambahnya lalu lintas dan keterbatasan anggaran. Jika konstruksi bertahap lebih ekonomis, maka kebijakan ini dapat diterapkan. Akan tetapi, tahap pertama dari konstruksi bertahap ini harus kompatibel dengan perbaikan selanjutnya. Sebagai contoh, diketahui bahwa kinerja lapis permukaan aspal bergantung pada kekakuan lapis di bawahnya. Oleh karena itu, jika konstruksi permukaan aspal direncanakan di kemudian hari, maka perkerasan awal harus memiliki kekakuan yang memadai.

Konstruksi bertahap juga dapat digunakan dimana cenderung terjadi perubahan pola lalu lintas sebagai akibat adanya pembukaan jaringan jalan yang baru atau situasi dimana terjadi penurunan akibat kondisi tanah dasar yang buruk.

Pemeliharaan khusus harus dilakukan pada konstruksi perkerasan bertahap yang menggunakan lapisan terikat karena apabila retak lelah pada tahap pertama terjadi, maka biaya tambahan akan dibebankan pada tahap konstruksi kedua untuk mencegah refleksi dari retak tersebut, sehingga biaya keseluruhan akan meningkat secara signifikan.

Dalam semua kasus, perkerasan seharusnya tidak boleh dibiarkan mengalami penurunan kondisi perkerasan yang dapat menyebabkan diperlukannya rekonstruksi secara luas sebelum pelaksanaan tahap kedua.

Faktor-faktor yang harus dinilai ketika mempertimbangkan konstruksi bertahap diantaranya adalah:

- a. Konsekuensi ekonomis dan sosial akibat adanya kerusakan perkerasan pada tahap pertama sebagai akibat dari penundaan konstruksi tahap kedua.
- b. Biaya yang menyimpang dan ketentuan lain untuk lalu lintas selama konstruksi tahap kedua, hal ini sangat signifikan di daerah pegunungan atau rawa.
- c. Dampak dari meninggikan tingkat perkerasan pada tahap kedua pada kereb, *culvert*, *guardrail*, dan komponen jalan lainnya.
- d. Permeabilitas relatif dari material tanah dasar perkerasan dan pengaruh drainase perkerasan dengan penghilangan bahan tahap kedua.

- e. Kesulitan yang berkaitan dengan pencapaian standar konstruksi yang tinggi dengan beberapa material perkerasan jika konstruksi di bawah lalu lintas dibutuhkan.

Pada beberapa area, merupakan praktik yang umum untuk menunda penempatan lapisan aus pada jalan dengan permukaan aspal. Praktik tersebut dapat mengurangi umur perkerasan secara signifikan, bergantung pada lama penundaan pemasangan lapisan aus tersebut. Keterlambatan ini seharusnya diizinkan untuk menentukan ketebalan desain lapisan. Sebagai contoh, untuk jalan beraspal dengan lalu lintas berat, tambahan aspal setebal 5 hingga 10 mm dibutuhkan untuk tebal lapisan aspal akhir, jika pemasangan lapis aus tersebut ditunda hingga dua tahun. Jika terdapat lapisan terikat, proses desain mekanistik empiris memungkinkan untuk penentuan umur konfigurasi perkerasan.

Jika pemasangan lapisan aus ditunda, maka beberapa modifikasi untuk drainase permukaan dibutuhkan untuk memastikan air tidak berkumpul di atas permukaan jalan. Selain itu, pertimbangan perlu diberikan untuk memastikan bahwa permukaan sementara memiliki kekesatan yang memadai.

10.10 Penggunaan *Strain Absorbing Membrane Interlayers (SAMI)*

Penggunaan SAMI cukup sering digunakan pada beberapa proyek yang membutuhkan lapisan penahan retak refleksi seperti pada pekerjaan lapis tambah. SAMI bisa terbuat dari campuran antara *crumb rubber* atau polimer dengan bitumen, yang bisa juga dari geotekstil. Lapisan SAMI telah terbukti dalam mengurangi terjadinya retak reflektif.

SAMI ditempatkan di atas lapisan beraspal dan biasanya diaplikasikan pada tingkatan 1,8 hingga 2,3 L/m² (perlu evaluasi kaitannya ketebalan minimum SAMI) dan dilapisi dengan lapisan tipis agregat dengan ukuran tunggal 10 mm atau 14 mm untuk mencegah terbawa oleh roda mesin *paving*.

SAMI dapat digunakan secara efektif pada perkerasan yang masih memiliki kemampuan struktural baik tetapi telah mengalami kerusakan retak pada permukaan yang cukup luas. Juga lapisan SAMI dapat ditempatkan di atas lapisan fondasi yang distabilisasi semen dimana terdapat potensi retakan refleksi yang akan terjadi di masa mendatang. Efektifitas penggunaan SAMI berkurang signifikan pada retakan yang memiliki lebar lebih dari 3 mm.

LAMPIRAN

SALINAN

MD	2/6
----	-----

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

MD	2/6
----	-----

Lampiran A
Informatif
Sumbu Standar – Perkerasan Lentur

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

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

Keterangan:

- L_{ij} : Beban pada sumbu atau kelompok sumbu
 SL : Beban standar untuk sumbu atau kelompok sumbu (nilai SL mengikuti ketentuan dalam Pd T-05-2005-B tentang pedoman perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metoda lendutan desain).

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

Lampiran B Informatif Zona Iklim

Dalam desain perkerasan, iklim mempengaruhi:

- a. temperatur dan nilai modulus lapisan beraspal; dan
- b. 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, dan Kepulauan Maluku	1400 - 1800
III	Tropis, lembab dengan musim hujan sedang	Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua, dan 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 ditunjukkan di peta)	> 3000

UD mh

Lampiran C Informatif Aspal Modifikasi

Aspal Modifikasi dan Inovasi Material Lainnya

Perkerasan lentur yang menggunakan aspal modifikasi dapat menggunakan Bagan Desain-3, dan 3A. 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 dan sudah disahkan oleh laboratorium terakreditasi.
- 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
Informatif
Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)

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

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

SQdRG: Sumbu quad roda ganda

DISTRIBUSI BEBAN JSKN – SUMATERA – KEP. RIAU – BANGKA BELITUNG

ACEH – SUMATERA UTARA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,04	0,15	4,84	0,00	0,76	0,00
20	16,52	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
30	22,12	11,87	0,00	0,00	0,00	0,00
40	11,83	16,30	1,61	0,00	0,00	0,00
50	18,18	13,62	4,84	0,04	0,00	0,00
60	13,47	12,45	3,23	0,30	0,00	0,00
70	15,03	8,85	0,00	0,91	0,00	0,00
80	2,04	6,11	3,23	2,23	0,00	0,00
90	0,59	4,62	8,06	2,70	0,00	0,00
100	0,19	3,93	16,13	3,23	0,76	0,00
110	0,00	3,98	11,29	3,31	1,53	0,00
120	0,00	3,73	3,23	2,84	0,00	0,00
130	0,00	2,84	11,29	3,32	0,00	0,00
140	0,00	9,08	1,61	3,56	0,00	0,00
150	0,00	2,21	9,68	4,22	3,82	0,00
160	0,00	0,08	4,84	4,14	1,53	0,00
170	0,00	0,08	11,29	4,47	1,53	0,00
180	0,00	0,05	0,00	4,67	1,53	0,00
190	0,00	0,02	3,23	4,51	2,29	0,00
200	0,00	0,02	1,61	5,05	5,34	0,00
210	0,00	0,00	0,00	5,06	3,05	0,00
220	0,00	0,00	0,00	5,14	3,05	0,00
230	0,00	0,00	0,00	6,87	4,58	0,00
240	0,00	0,00	0,00	4,21	5,34	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,54	3,82	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,27	6,11	0,00
270	0,00	0,00	0,00	3,03	6,11	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,50	1,53	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,10	8,40	0,00
300	0,00	0,00	0,00	2,11	3,05	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
310	0,00	0,00	0,00	12,39	3,82	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,17	2,29	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,02	6,11	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,02	4,58	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,02	1,53	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,02	1,53	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
450	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
480	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
490	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
510	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
520	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
530	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
540	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
550	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
560	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

UD mh

ACEH – SUMATERA UTARA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STFRG (%)	SQdRG(%)
10	0,04	0,15	4,84	0,00	0,76	0,00
20	16,52	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
30	22,12	11,87	0,00	0,00	0,00	0,00
40	11,83	16,30	1,61	0,00	0,00	0,00
50	18,18	13,62	4,84	0,04	0,00	0,00
60	13,47	12,45	3,23	0,30	0,00	0,00
70	15,03	8,85	0,00	0,91	0,00	0,00
80	2,82	32,02	3,23	2,23	0,00	0,00
90	0,00	0,71	82,26	2,70	0,00	0,00
100	0,00	3,99	0,00	3,23	0,76	0,00
110	0,00	0,00	0,00	3,31	1,53	0,00
120	0,00	0,00	0,00	2,84	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	3,32	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	3,56	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	4,22	3,82	0,00
160	0,00	0,00	0,00	4,14	1,53	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,47	1,53	0,00
180	0,00	0,00	0,00	64,71	1,53	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	86,26	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

SUMBAR LINTAS BARAT (PESISIR) UTARA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SOdRG (%)
10	1,23	0,28	0,00	0,10	11,11	0,00
20	13,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	29,41	0,95	0,00	0,48	0,00	0,00
40	29,14	6,39	0,00	0,29	0,00	0,00
50	9,67	12,26	0,00	1,05	0,00	0,00
60	13,36	12,90	0,00	1,05	0,00	0,00
70	3,40	14,17	0,00	3,15	0,00	0,00
80	0,21	32,14	0,00	3,05	11,11	0,00
90	0,06	4,40	0,00	9,25	11,11	0,00
100	0,00	1,67	0,00	8,10	11,11	0,00
110	0,00	1,35	0,00	7,34	0,00	0,00
120	0,00	1,27	0,00	7,15	11,11	0,00
130	0,00	1,55	0,00	8,20	0,00	0,00
140	0,00	1,43	0,00	7,82	0,00	0,00
150	0,00	9,25	0,00	4,86	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	1,72	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,43	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	3,05	11,11	0,00
250	0,00	0,00	0,00	4,86	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	5,53	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	6,29	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SUMBAR LINTAS BARAT (PESISIR) UTARA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SOdRG (%)
10	1,23	0,28	0,00	0,10	11,11	0,00
20	13,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	29,41	0,95	0,00	0,48	0,00	0,00
40	29,14	6,39	0,00	0,29	0,00	0,00
50	9,67	12,26	0,00	1,05	0,00	0,00
60	13,36	12,90	0,00	1,05	0,00	0,00
70	3,40	14,17	0,00	3,15	0,00	0,00
80	0,26	50,24	0,00	3,05	11,11	0,00
90	0,00	0,12	0,00	9,25	11,11	0,00
100	0,00	2,70	0,00	8,10	11,11	0,00
110	0,00	0,00	0,00	7,34	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	7,15	11,11	0,00
130	0,00	0,00	0,00	8,20	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	7,82	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	4,86	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	35,08	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	44,44	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SUMBAR LINTAS BARAT (PESISIR) SELATAN BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,12	0,45	0,00	0,32	6,06	0,00
20	23,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	24,29	14,89	0,00	0,00	0,00	0,00
40	20,94	18,75	0,00	0,00	0,00	0,00
50	15,71	14,00	0,00	0,11	0,00	0,00
60	9,23	12,42	0,00	0,43	0,00	0,00
70	5,71	8,54	0,00	1,02	0,00	0,00
80	0,32	6,60	0,00	2,43	0,00	0,00
90	0,11	4,76	0,00	3,56	0,00	0,00
100	0,03	4,09	0,00	4,53	0,00	0,00
110	0,00	3,43	0,00	6,90	0,00	0,00
120	0,00	2,37	0,00	6,09	0,00	0,00
130	0,00	2,08	0,00	7,33	3,03	0,00
140	0,00	3,82	0,00	7,12	3,03	0,00
150	0,00	3,77	0,00	7,22	9,09	0,00
160	0,00	0,04	0,00	6,31	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,58	6,06	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,93	9,09	0,00
190	0,00	0,00	0,00	7,55	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	6,95	3,03	0,00
210	0,00	0,00	0,00	5,66	6,06	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,94	3,03	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,61	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,21	9,09	0,00
250	0,00	0,00	0,00	1,13	12,12	0,00
260	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	1,13	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,22	3,03	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,11	6,06	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	9,09	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SUMBAR LINTAS BARAT (PESISIR) SELATAN BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,12	0,45	0,00	0,32	6,06	0,00
20	23,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	24,29	14,89	0,00	0,00	0,00	0,00
40	20,94	18,75	0,00	0,00	0,00	0,00
50	15,71	14,00	0,00	0,11	0,00	0,00
60	9,23	12,42	0,00	0,43	0,00	0,00
70	5,71	8,54	0,00	1,02	0,00	0,00
80	0,46	30,52	0,00	2,43	0,00	0,00
90	0,00	0,22	0,00	3,56	0,00	0,00
100	0,00	0,22	0,00	4,53	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	6,90	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	6,09	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	7,33	3,03	0,00
140	0,00	0,00	0,00	7,12	3,03	0,00
150	0,00	0,00	0,00	7,22	9,09	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,31	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,58	6,06	0,00
180	0,00	0,00	0,00	42,05	9,09	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	63,64	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SUMBAR LINTAS TENGAH UTARA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,05	0,19	0,00	0,31	0,00	0,00
20	9,52	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00
30	39,26	12,53	0,00	0,00	0,00	0,00
40	16,71	21,76	0,00	0,00	0,00	0,00
50	8,82	15,96	0,00	0,31	0,00	0,00
60	15,89	9,79	0,00	0,76	0,00	0,00
70	5,98	8,67	0,00	1,38	0,00	0,00
80	2,89	9,02	0,00	3,06	0,00	0,00
90	0,89	4,89	0,00	3,67	0,00	0,00
100	0,00	2,95	0,00	4,13	0,00	0,00
110	0,00	2,53	0,00	6,42	0,00	0,00
120	0,00	1,97	0,00	6,27	0,00	0,00
130	0,00	0,40	0,00	9,33	0,00	0,00
140	0,00	0,08	0,00	7,95	0,00	0,00
150	0,00	8,80	0,00	7,03	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,57	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	8,41	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,83	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,45	50,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,14	50,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SUMBAR LINTAS TENGAH UTARA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,05	0,19	0,00	0,31	0,00	0,00
20	9,52	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00
30	39,26	12,53	0,00	0,00	0,00	0,00
40	16,71	21,76	0,00	0,00	0,00	0,00
50	8,82	15,96	0,00	0,31	0,00	0,00
60	15,89	9,79	0,00	0,76	0,00	0,00
70	5,98	8,67	0,00	1,38	0,00	0,00
80	3,77	30,53	0,00	3,06	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	3,67	0,00	0,00
100	0,00	0,11	0,00	4,13	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	6,42	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	6,27	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	9,33	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	7,95	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	7,03	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,57	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	8,41	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	34,40	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

UP n/s

SUMBAR LINTAS TENGAH SELATAN BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SCdRG (%)
10	0,05	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
20	17,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	24,10	6,72	0,00	0,00	0,00	0,00
40	8,86	21,95	0,00	0,00	0,00	0,00
50	9,57	19,10	0,00	0,06	0,00	0,00
60	20,95	11,85	0,00	0,06	0,00	0,00
70	11,42	10,95	0,00	0,11	0,00	0,00
80	5,84	7,21	0,00	0,72	0,00	0,00
90	1,76	1,91	0,00	1,38	0,00	0,00
100	0,24	2,08	0,00	1,32	0,00	0,00
110	0,00	3,91	0,00	1,82	0,00	0,00
120	0,00	3,09	0,00	2,86	0,00	0,00
130	0,00	2,04	0,00	4,13	0,00	0,00
140	0,00	1,55	0,00	3,58	0,00	0,00
150	0,00	7,37	0,00	4,24	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	5,07	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	4,96	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	6,39	14,29	0,00
200	0,00	0,00	0,00	7,82	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	9,31	14,29	0,00
220	0,00	0,00	0,00	6,83	14,29	0,00
230	0,00	0,00	0,00	5,62	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	4,63	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,19	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	3,91	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	4,13	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	2,97	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	4,30	14,29	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	14,29	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	28,57	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SUMBAR LINTAS TENGAH SELATAN BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SCdRG (%)
10	0,05	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
20	17,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	24,10	6,72	0,00	0,00	0,00	0,00
40	8,86	21,95	0,00	0,00	0,00	0,00
50	9,57	19,10	0,00	0,06	0,00	0,00
60	20,95	11,85	0,00	0,06	0,00	0,00
70	11,42	10,95	0,00	0,11	0,00	0,00
80	7,84	27,81	0,00	0,72	0,00	0,00
90	0,00	0,33	0,00	1,38	0,00	0,00
100	0,00	1,02	0,00	1,32	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	1,82	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	2,86	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	4,13	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	4,24	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	5,07	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	70,87	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	14,29	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	85,71	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

JAMBI BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,70	0,13	0,00	0,12	50,00	0,00
20	19,01	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00
30	27,78	6,67	0,00	0,00	0,00	0,00
40	20,00	15,66	0,00	0,04	0,00	0,00
50	13,93	16,24	0,00	0,58	0,00	0,00
60	5,00	17,83	0,00	0,93	0,00	0,00
70	6,98	11,69	0,00	0,81	0,00	0,00
80	1,76	8,46	0,00	1,12	0,00	0,00
90	2,61	3,80	0,00	1,04	0,00	0,00
100	2,17	3,35	0,00	1,51	0,00	0,00
110	0,04	2,95	0,00	2,55	0,00	0,00
120	0,00	1,95	0,00	3,36	0,00	0,00
130	0,00	1,30	0,00	4,37	0,00	0,00
140	0,00	4,34	0,00	3,71	0,00	0,00
150	0,00	5,09	0,00	3,05	16,67	0,00
160	0,00	0,02	0,00	3,28	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,79	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	3,32	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	4,48	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	4,71	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,98	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	4,52	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,48	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,74	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	16,27	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	1,74	16,67	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	12,79	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	16,67	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

JAMBI BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG (%)
10	0,70	0,13	0,00	0,12	50,00	0,00
20	19,01	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00
30	27,78	6,67	0,00	0,00	0,00	0,00
40	20,00	15,66	0,00	0,04	0,00	0,00
50	13,93	16,24	0,00	0,58	0,00	0,00
60	5,00	17,83	0,00	0,93	0,00	0,00
70	6,98	11,69	0,00	0,81	0,00	0,00
80	6,59	31,08	0,00	1,12	0,00	0,00
90	0,00	0,03	0,00	1,04	0,00	0,00
100	0,00	0,14	0,00	1,51	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,55	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	3,36	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	4,37	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	3,71	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	3,05	16,67	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,28	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,79	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	69,74	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SUMSEL (JALINTIM) BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,01	0,04	1,69	0,00	0,00	0,00
20	5,24	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
30	9,29	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00
40	31,99	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
50	34,81	2,47	0,00	0,06	0,00	0,00
60	11,50	7,41	0,00	0,03	1,52	0,00
70	5,53	11,51	3,39	0,29	0,00	0,00
80	1,18	17,67	3,39	0,54	1,52	0,00
90	0,41	15,44	3,39	0,96	0,00	0,00
100	0,05	10,88	15,25	2,14	1,52	0,00
110	0,00	9,01	11,86	2,80	0,00	0,00
120	0,00	4,62	11,86	3,73	1,52	0,00
130	0,00	3,38	11,86	4,56	0,00	0,00
140	0,00	3,47	10,17	6,05	1,52	0,00
150	0,00	8,62	25,42	6,63	3,03	0,00
160	0,00	0,01	1,69	7,68	4,55	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,52	1,52	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,86	7,58	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,13	4,55	0,00
200	0,00	0,00	0,00	4,33	6,06	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,72	7,58	0,00
220	0,00	0,00	0,00	4,88	6,06	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,09	7,58	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,71	9,09	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,84	4,55	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,61	4,55	0,00
270	0,00	0,00	0,00	4,05	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,45	3,03	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,26	3,03	0,00
300	0,00	0,00	0,00	1,59	4,55	0,00
310	0,00	0,00	0,00	10,39	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,06	1,52	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,03	1,52	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
480	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
490	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
510	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

UD mh

SUMSEL (JALINTIM) BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STIRG (%)	SQdRG(%)
10	0,01	0,04	1,69	0,00	0,00	0,00
20	5,24	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
30	9,29	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00
40	31,99	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
50	34,81	2,47	0,00	0,06	0,00	0,00
60	11,50	7,41	0,00	0,03	1,52	0,00
70	5,53	11,51	3,39	0,29	0,00	0,00
80	1,64	72,49	3,39	0,54	1,52	0,00
90	0,00	0,14	91,53	0,96	0,00	0,00
100	0,00	0,47	0,00	2,14	1,52	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	3,73	1,52	0,00
130	0,00	0,00	0,00	4,56	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	6,05	1,52	0,00
150	0,00	0,00	0,00	6,63	3,03	0,00
160	0,00	0,00	0,00	7,68	4,55	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,52	1,52	0,00
180	0,00	0,00	0,00	57,01	7,58	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	71,21	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

LAMPUNG (JALINTIM) BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,04	0,03	5,56	0,00	0,00	0,00
20	13,08	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00
30	26,26	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	7,74	13,28	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,11	7,66	0,00	0,05	0,00	0,00
60	12,95	4,04	0,00	0,14	0,00	0,00
70	8,54	7,80	0,00	0,33	0,00	0,00
80	5,71	5,57	0,00	0,49	0,00	0,00
90	4,70	5,30	5,56	1,33	0,00	0,00
100	14,87	20,79	11,11	2,24	0,00	0,00
110	0,00	3,63	16,67	3,92	0,00	0,00
120	0,00	1,73	11,11	5,66	1,23	0,00
130	0,00	0,56	11,11	5,10	4,94	0,00
140	0,00	0,23	5,56	6,92	7,41	0,00
150	0,00	0,10	5,56	6,80	9,88	0,00
160	0,00	0,01	5,56	6,78	6,17	0,00
170	0,00	0,01	0,00	7,22	8,64	0,00
180	0,00	0,01	11,11	5,90	11,11	0,00
190	0,00	0,02	0,00	6,29	2,47	0,00
200	0,00	0,01	0,00	5,29	3,70	0,00
210	0,00	0,03	11,11	5,41	4,94	0,00
220	0,00	0,01	0,00	4,38	3,70	0,00
230	0,00	0,01	0,00	2,47	3,70	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,33	2,47	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,49	7,41	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,45	3,70	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,68	3,70	0,00
280	0,00	0,00	0,00	1,40	3,70	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,75	1,23	0,00
300	0,00	0,00	0,00	1,33	3,70	0,00
310	0,00	0,00	0,00	1,51	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	1,51	2,47	0,00
330	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,82	1,23	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,47	1,23	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
390	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00
450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
480	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
490	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
510	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
520	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
530	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

LAMPUNG (JALINTIM) BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,04	0,03	5,56	0,00	0,00	0,00
20	13,08	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00
30	26,26	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	7,74	13,28	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,11	7,66	0,00	0,05	0,00	0,00
60	12,95	4,04	0,00	0,14	0,00	0,00
70	8,54	7,80	0,00	0,33	0,00	0,00
80	25,28	37,74	0,00	0,49	0,00	0,00
90	0,00	0,05	94,44	1,33	0,00	0,00
100	0,00	0,18	0,00	2,24	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	3,92	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	5,66	1,23	0,00
130	0,00	0,00	0,00	5,10	4,94	0,00
140	0,00	0,00	0,00	6,92	7,41	0,00
150	0,00	0,00	0,00	6,80	9,88	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,78	6,17	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,22	8,64	0,00
180	0,00	0,00	0,00	53,02	11,11	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	48,15	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

BENGKULU BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STIRG (%)	SQdRG(%)
10	0,46	0,84	0,00	14,81	0,00	0,00
20	27,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	36,20	7,63	0,00	0,00	0,00	0,00
40	16,18	22,05	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,86	18,88	0,00	0,00	0,00	0,00
60	5,67	16,65	0,00	0,00	0,00	0,00
70	3,75	10,33	0,00	0,00	0,00	0,00
80	1,92	6,60	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,82	3,16	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,46	1,67	0,00	7,41	0,00	0,00
110	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	3,07	0,00	7,41	0,00	0,00
130	0,00	2,23	0,00	11,11	0,00	0,00
140	0,00	0,56	0,00	14,81	0,00	0,00
150	0,00	2,05	0,00	3,70	0,00	0,00
160	0,00	0,84	0,00	3,70	0,00	0,00
170	0,00	0,84	0,00	3,70	0,00	0,00
180	0,00	0,47	0,00	3,70	0,00	0,00
190	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	11,11	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	7,41	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

BENGKULU BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STIRG (%)	SQdRG(%)
10	0,46	0,84	0,00	14,81	0,00	0,00
20	27,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	36,20	7,63	0,00	0,00	0,00	0,00
40	16,18	22,05	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,86	18,88	0,00	0,00	0,00	0,00
60	5,67	16,65	0,00	0,00	0,00	0,00
70	3,75	10,33	0,00	0,00	0,00	0,00
80	3,20	23,63	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,00	0,00	0,00	7,41	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	7,41	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	11,11	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	14,81	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

UD mh

KEPULAUAN RIAU BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,15	0,31	0,00	0,17	0,00	0,00
20	10,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	26,78	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
40	34,38	2,95	0,00	0,04	0,00	0,00
50	16,18	7,42	0,00	0,17	0,00	0,00
60	2,64	5,56	0,00	0,52	0,00	0,00
70	7,85	26,06	0,00	1,81	0,00	0,00
80	1,49	39,35	0,00	4,22	0,00	0,00
90	0,00	2,30	0,00	6,25	0,00	0,00
100	0,00	1,30	0,00	6,85	0,00	0,00
110	0,00	0,89	0,00	9,40	0,00	0,00
120	0,00	0,41	0,00	7,07	0,00	0,00
130	0,00	1,10	0,00	8,49	0,00	0,00
140	0,00	11,30	0,00	8,88	0,00	0,00
150	0,00	1,03	0,00	7,07	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	1,51	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	1,81	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	1,64	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	2,24	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	19,35	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

KEPULAUAN RIAU BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10,00	0,15	0,31	0,00	0,17	0,00	0,00
20,00	10,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30,00	26,78	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
40,00	34,38	2,95	0,00	0,04	0,00	0,00
50,00	16,18	7,42	0,00	0,17	0,00	0,00
60,00	2,64	5,56	0,00	0,52	0,00	0,00
70,00	7,85	26,06	0,00	1,81	0,00	0,00
80,00	1,49	57,69	0,00	4,22	0,00	0,00
90,00	0,00	0,00	0,00	6,25	0,00	0,00
100,00	0,00	0,00	0,00	6,85	0,00	0,00
110,00	0,00	0,00	0,00	9,40	0,00	0,00
120,00	0,00	0,00	0,00	7,07	0,00	0,00
130,00	0,00	0,00	0,00	8,49	0,00	0,00
140,00	0,00	0,00	0,00	8,88	0,00	0,00
150,00	0,00	0,00	0,00	7,07	0,00	0,00
160,00	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00
170,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00
180,00	0,00	0,00	0,00	35,13	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

DISTRIBUSI BEBAN JSKN – JAWA

BANTEN - PANTURA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,45	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
30	30,17	5,90	0,00	0,00	0,00	0,00
40	30,59	13,96	0,00	0,02	0,00	0,00
50	16,49	14,25	0,00	0,48	0,00	0,00
60	13,07	12,71	0,00	2,33	0,00	0,00
70	5,90	10,78	0,00	6,00	2,16	0,00
80	2,56	5,96	0,00	9,80	3,60	0,00
90	0,51	1,02	0,00	12,24	3,60	0,00
100	0,16	5,73	0,00	11,51	3,60	0,00
110	0,09	3,97	0,00	10,07	5,04	0,00
120	0,00	2,61	0,00	7,09	5,76	0,00
130	0,00	8,00	0,00	6,13	2,16	0,00
140	0,00	8,34	0,00	4,59	3,60	0,00
150	0,00	6,07	0,00	2,71	5,04	0,00
160	0,00	0,06	0,00	2,07	7,91	0,00
170	0,00	0,00	0,00	2,29	5,04	0,00
180	0,00	0,00	0,00	1,38	5,04	0,00
190	0,00	0,06	0,00	1,23	5,76	0,00
200	0,00	0,00	0,00	1,33	5,04	0,00
210	0,00	0,00	0,00	2,17	4,32	0,00
220	0,00	0,00	0,00	1,21	2,88	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,69	3,60	0,00
240	0,00	0,00	0,00	1,04	2,88	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,85	4,32	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,33	3,60	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,83	1,44	0,00
280	0,00	0,00	0,00	1,74	1,44	0,00
290	0,00	0,00	0,00	1,40	1,44	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,71	1,44	0,00
310	0,00	0,00	0,00	0,77	1,44	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	2,16	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

BANTEN - PANTURA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SCdRG(%)
10	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,45	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
30	30,17	5,90	0,00	0,00	0,00	0,00
40	30,59	13,96	0,00	0,02	0,00	0,00
50	16,49	14,25	0,00	0,48	0,00	0,00
60	13,07	12,71	0,00	2,33	0,00	0,00
70	5,90	10,78	0,00	6,00	2,16	0,00
80	3,33	25,77	0,00	9,80	3,60	0,00
90	0,00	0,45	0,00	12,24	3,60	0,00
100	0,00	15,61	0,00	11,51	3,60	0,00
110	0,00	0,00	0,00	10,07	5,04	0,00
120	0,00	0,00	0,00	7,09	5,76	0,00
130	0,00	0,00	0,00	6,13	2,16	0,00
140	0,00	0,00	0,00	4,59	3,60	0,00
150	0,00	0,00	0,00	2,71	5,04	0,00
160	0,00	0,00	0,00	2,07	7,91	0,00
170	0,00	0,00	0,00	2,29	5,04	0,00
180	0,00	0,00	0,00	22,68	5,04	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	5,76	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	41,73	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

BANTEN - JALUR TENGAH BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,21	0,59	0,00	0,44	0,00	0,00
20	0,10	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00
30	1,24	3,56	0,00	0,15	0,00	0,00
40	11,13	6,30	0,00	1,33	0,00	0,00
50	21,39	4,89	0,00	1,62	0,00	0,00
60	24,18	10,67	0,00	3,39	0,00	0,00
70	31,03	10,01	0,00	2,51	0,00	0,00
80	6,39	3,71	0,00	3,98	0,00	0,00
90	3,40	7,19	0,00	7,23	0,00	0,00
100	0,36	6,00	0,00	5,46	0,00	0,00
110	0,52	2,00	0,00	5,60	0,00	0,00
120	0,05	6,82	0,00	6,64	0,00	0,00
130	0,00	8,23	0,00	6,05	0,00	0,00
140	0,00	29,58	0,00	3,69	0,00	0,00
150	0,00	0,07	0,00	5,90	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,83	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,98	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	2,06	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	4,28	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	3,69	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	5,16	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	4,13	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	2,65	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,83	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	3,98	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	3,10	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

BANTEN - JALUR TENGAH BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,21	0,59	0,00	0,44	0,00	0,00
20	0,10	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00
30	1,24	3,56	0,00	0,15	0,00	0,00
40	11,13	6,30	0,00	1,33	0,00	0,00
50	21,39	4,89	0,00	1,62	0,00	0,00
60	24,18	10,67	0,00	3,39	0,00	0,00
70	31,03	10,01	0,00	2,51	0,00	0,00
80	10,72	61,30	0,00	3,98	0,00	0,00
90	0,00	0,22	0,00	7,23	0,00	0,00
100	0,00	2,08	0,00	5,46	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	5,60	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	6,64	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	6,05	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	3,69	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	5,90	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,83	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,98	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	38,20	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

UD mh

JAWA BARAT - PANTURA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SOdRG (%)
10	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
20	5,15	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
30	12,94	1,85	0,00	0,03	0,00	0,00
40	15,38	5,30	0,00	0,10	0,00	0,00
50	15,28	7,53	0,77	0,15	0,00	0,00
60	17,83	6,30	1,92	0,42	0,00	0,00
70	29,82	8,27	4,62	0,61	0,24	0,00
80	2,62	6,69	5,00	0,90	0,32	0,00
90	0,69	8,14	2,69	1,44	0,64	0,00
100	0,27	7,80	4,62	1,66	1,20	0,00
110	0,00	5,33	5,77	1,97	0,80	0,00
120	0,00	3,55	8,08	1,97	1,12	0,00
130	0,00	5,60	9,62	2,24	2,00	0,00
140	0,00	33,06	10,77	2,18	3,12	0,00
150	0,00	0,17	6,15	2,26	3,59	0,00
160	0,00	0,07	40,00	2,73	3,19	0,00
170	0,00	0,05	0,00	3,22	3,91	0,00
180	0,00	0,08	0,00	3,54	3,19	0,00
190	0,00	0,06	0,00	3,54	4,47	0,00
200	0,00	0,03	0,00	3,63	3,43	0,00
210	0,00	0,03	0,00	3,35	3,91	0,00
220	0,00	0,01	0,00	2,40	3,75	0,00
230	0,00	0,01	0,00	3,31	3,59	0,00
240	0,00	0,01	0,00	6,34	3,35	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,88	3,51	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,94	3,19	0,00
270	0,00	0,00	0,00	4,58	3,43	0,00
280	0,00	0,00	0,00	4,64	2,08	0,00
290	0,00	0,00	0,00	3,00	1,92	0,00
300	0,00	0,00	0,00	2,69	3,59	0,00
310	0,00	0,00	0,00	28,17	2,08	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,09	3,04	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,12	1,68	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,16	1,84	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,10	1,20	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,10	2,40	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,21	1,84	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,06	2,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SOdRG (%)
390	0,00	0,00	0,00	0,11	0,80	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,06	2,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,04	11,74	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,02	0,56	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,02	1,44	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,03	0,80	0,00
450	0,00	0,00	0,00	0,01	0,40	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00
470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00
480	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
490	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
510	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00
520	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA BARAT - PANTURA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
20	5,15	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
30	12,94	1,85	0,00	0,03	0,00	0,00
40	15,38	5,30	0,00	0,10	0,00	0,00
50	15,28	7,53	0,77	0,15	0,00	0,00
60	17,83	6,30	1,92	0,42	0,00	0,00
70	29,82	8,27	4,62	0,61	0,24	0,00
80	3,59	67,75	5,00	0,90	0,32	0,00
90	0,00	0,43	87,69	1,44	0,64	0,00
100	0,00	2,51	0,00	1,66	1,20	0,00
110	0,00	0,00	0,00	1,97	0,80	0,00
120	0,00	0,00	0,00	1,97	1,12	0,00
130	0,00	0,00	0,00	2,24	2,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	2,18	3,12	0,00
150	0,00	0,00	0,00	2,26	3,59	0,00
160	0,00	0,00	0,00	2,73	3,19	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,22	3,91	0,00
180	0,00	0,00	0,00	78,14	3,19	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	4,47	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	72,20	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA BARAT - LINTAS TENGAH BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,04	0,38	0,00	0,02	22,22	0,00
20	0,06	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3,72	2,93	0,00	0,09	0,00	0,00
40	18,69	5,21	0,00	0,50	0,00	0,00
50	24,65	7,62	0,00	1,20	0,00	0,00
60	22,41	15,31	0,00	1,27	0,00	0,00
70	14,87	12,78	0,00	2,40	0,00	0,00
80	11,78	5,96	0,00	3,36	0,00	0,00
90	1,88	6,14	0,00	4,73	0,00	0,00
100	0,39	7,44	0,00	5,83	0,00	0,00
110	1,40	6,84	0,00	6,91	0,00	0,00
120	0,11	6,39	0,00	7,59	0,00	0,00
130	0,00	17,32	0,00	6,48	0,00	0,00
140	0,00	5,31	0,00	5,07	11,11	0,00
150	0,00	0,05	0,00	4,63	11,11	0,00
160	0,00	0,03	0,00	3,55	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	6,02	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	4,09	11,11	0,00
190	0,00	0,00	0,00	3,66	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	4,79	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	3,76	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,86	11,11	0,00
230	0,00	0,00	0,00	4,73	11,11	0,00
240	0,00	0,00	0,00	4,46	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,15	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,22	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	1,31	11,11	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,92	11,11	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

JAWA BARAT - LINTAS TENGAH BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,04	0,38	0,00	0,02	22,22	0,00
20	0,06	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3,72	2,93	0,00	0,09	0,00	0,00
40	18,69	5,21	0,00	0,50	0,00	0,00
50	24,65	7,62	0,00	1,20	0,00	0,00
60	22,41	15,31	0,00	1,27	0,00	0,00
70	14,87	12,78	0,00	2,40	0,00	0,00
80	15,56	52,76	0,00	3,36	0,00	0,00
90	0,00	0,55	0,00	4,73	0,00	0,00
100	0,00	2,18	0,00	5,83	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	6,91	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	7,59	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	6,48	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	5,07	11,11	0,00
150	0,00	0,00	0,00	4,63	11,11	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	6,02	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	40,35	11,11	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	44,44	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

JAWA BARAT - LINTAS SELATAN BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SOdRG (%)
10	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
20	9,87	0,51	0,00	1,54	0,00	0,00
30	61,21	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
40	21,92	15,29	0,00	0,77	0,00	0,00
50	3,19	19,42	0,00	0,00	0,00	0,00
60	3,03	14,56	0,00	0,77	0,00	0,00
70	0,56	10,13	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,19	7,47	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	6,86	0,00	1,54	0,00	0,00
100	0,00	5,81	0,00	1,54	0,00	0,00
110	0,00	6,17	0,00	5,38	0,00	0,00
120	0,00	4,19	0,00	8,46	0,00	0,00
130	0,00	2,26	0,00	8,46	0,00	0,00
140	0,00	5,41	0,00	9,23	5,88	0,00
150	0,00	0,02	0,00	6,15	0,00	0,00
160	0,00	0,02	0,00	5,38	5,88	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,38	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88	0,00
210	0,00	0,00	0,00	2,31	5,88	0,00
220	0,00	0,00	0,00	5,38	5,88	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,54	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	1,54	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,31	11,76	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,31	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	16,15	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	35,29	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0

JAWA BARAT - LINTAS SELATAN BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
20	9,87	0,51	0,00	1,54	0,00	0,00
30	61,21	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
40	21,92	15,29	0,00	0,77	0,00	0,00
50	3,19	19,42	0,00	0,00	0,00	0,00
60	3,77	62,78	0,00	0,77	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,02	0,00	1,54	0,00	0,00
100	0,00	0,11	0,00	1,54	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	5,38	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	8,46	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	8,46	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	9,23	5,88	0,00
150	0,00	0,00	0,00	6,15	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	5,38	5,88	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,38	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	38,46	5,88	0,00
210	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88	0,00
220	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88	0,00
230	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,00	58,82	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0

DKI - PANTURA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,01	0,09	0,67	0,00	0,00	0,00
20	0,01	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,24	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
40	3,16	4,76	0,00	0,01	0,00	0,00
50	17,37	12,77	0,00	0,05	0,00	0,00
60	36,67	21,92	0,00	0,17	0,00	0,00
70	26,57	22,98	0,67	0,84	0,00	0,00
80	9,70	16,91	2,01	2,29	0,00	0,00
90	3,49	9,30	10,74	4,92	0,51	0,00
100	1,14	3,38	34,23	7,73	3,08	0,00
110	0,35	2,61	24,83	10,17	4,10	0,00
120	1,30	0,69	9,40	11,03	6,15	0,00
130	0,00	1,54	6,71	11,00	8,72	0,00
140	0,00	2,01	6,04	10,71	6,15	0,00
150	0,00	0,15	0,67	9,16	11,28	0,00
160	0,00	0,00	0,00	7,38	7,18	0,00
170	0,00	0,00	4,03	5,29	9,74	0,00
180	0,00	0,00	0,00	3,85	11,28	0,00
190	0,00	0,00	0,00	2,66	6,67	0,00
200	0,00	0,00	0,00	3,51	8,72	0,00
210	0,00	0,00	0,00	1,84	5,64	0,00
220	0,00	0,00	0,00	1,71	2,56	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,48	3,59	0,00
240	0,00	0,00	0,00	1,04	0,51	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	0,55	1,54	0,00
270	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,21	0,51	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	0,03	0,51	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

DKI - PANTURA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,01	0,09	0,67	0,00	0,00	0,00
20	0,01	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,24	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
40	3,16	4,76	0,00	0,01	0,00	0,00
50	17,37	12,77	0,00	0,05	0,00	0,00
60	36,67	21,92	0,00	0,17	0,00	0,00
70	26,57	22,98	0,67	0,84	0,00	0,00
80	15,97	21,83	2,01	2,29	0,00	0,00
90	0,00	7,36	96,64	4,92	0,51	0,00
100	0,00	7,41	0,00	7,73	3,08	0,00
110	0,00	0,00	0,00	10,17	4,10	0,00
120	0,00	0,00	0,00	11,03	6,15	0,00
130	0,00	0,00	0,00	11,00	8,72	0,00
140	0,00	0,00	0,00	10,71	6,15	0,00
150	0,00	0,00	0,00	9,16	11,28	0,00
160	0,00	0,00	0,00	7,38	7,18	0,00
170	0,00	0,00	0,00	5,29	9,74	0,00
180	0,00	0,00	0,00	19,26	11,28	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	25,13	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

UP n/s

JAWA TENGAH - PANTURA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STfRG (%)	SGdRG(%)
10	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
20	7,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
30	22,11	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00
40	24,58	0,83	0,00	0,04	0,00	0,00
50	22,50	3,94	1,02	0,06	0,00	0,00
60	11,31	13,59	1,02	0,28	0,00	0,00
70	11,06	17,36	0,00	0,61	0,00	0,00
80	0,83	6,87	3,06	0,76	0,64	0,00
90	0,30	10,36	12,24	1,21	0,64	0,00
100	0,11	10,91	3,06	1,53	0,00	0,00
110	0,00	8,01	9,18	2,05	0,96	0,00
120	0,00	6,29	10,20	3,13	0,64	0,00
130	0,00	3,69	4,08	3,81	0,64	0,00
140	0,00	14,53	11,22	4,00	1,28	0,00
150	0,00	3,21	5,10	4,00	1,28	0,00
160	0,00	0,24	6,12	3,60	1,28	0,00
170	0,00	0,07	9,18	4,51	6,09	0,00
180	0,00	0,00	5,10	4,93	2,88	0,00
190	0,00	0,00	19,39	2,94	3,53	0,00
200	0,00	0,00	0,00	3,61	4,81	0,00
210	0,00	0,00	0,00	5,36	1,60	0,00
220	0,00	0,00	0,00	4,63	4,49	0,00
230	0,00	0,00	0,00	7,07	5,77	0,00
240	0,00	0,00	0,00	3,39	3,21	0,00
250	0,00	0,00	0,00	4,10	1,92	0,00
260	0,00	0,00	0,00	5,83	2,56	0,00
270	0,00	0,00	0,00	5,41	3,53	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,85	2,88	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,44	3,21	0,00
300	0,00	0,00	0,00	3,60	1,60	0,00
310	0,00	0,00	0,00	14,19	3,85	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,03	2,88	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,01	3,85	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	10,90	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STfRG (%)	SGdRG(%)
390	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	14,10	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA TENGAH - PANTURA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SDdRG(%)
10	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
20	7,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
30	22,11	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00
40	24,58	0,83	0,00	0,04	0,00	0,00
50	22,50	3,94	1,02	0,06	0,00	0,00
60	11,31	13,59	1,02	0,28	0,00	0,00
70	11,06	17,36	0,00	0,61	0,00	0,00
80	1,24	55,99	3,06	0,76	0,64	0,00
90	0,00	0,35	94,90	1,21	0,64	0,00
100	0,00	7,83	0,00	1,53	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,05	0,96	0,00
120	0,00	0,00	0,00	3,13	0,64	0,00
130	0,00	0,00	0,00	3,81	0,64	0,00
140	0,00	0,00	0,00	4,00	1,28	0,00
150	0,00	0,00	0,00	4,00	1,28	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,60	1,28	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,51	6,09	0,00
180	0,00	0,00	0,00	70,38	2,88	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	3,53	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	80,13	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA TENGAH – LINTAS SELATAN BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	15,64	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
30	48,36	6,74	0,00	0,00	0,00	0,00
40	10,92	15,42	2,94	0,00	0,00	0,00
50	7,36	17,84	0,00	0,04	0,00	0,00
60	7,11	13,17	0,00	0,31	0,00	0,00
70	8,71	9,48	0,00	0,33	0,00	0,00
80	1,41	8,49	8,82	0,76	0,00	0,00
90	0,39	8,91	14,71	1,07	0,00	0,00
100	0,08	6,95	14,71	2,18	0,00	0,00
110	0,01	4,95	14,71	2,59	0,00	0,00
120	0,00	2,74	17,65	3,52	0,97	0,00
130	0,00	3,08	2,94	4,16	1,62	0,00
140	0,00	1,33	5,88	5,21	1,62	0,00
150	0,00	0,45	2,94	5,33	2,27	0,00
160	0,00	0,08	2,94	5,62	1,62	0,00
170	0,00	0,13	0,00	6,03	3,25	0,00
180	0,00	0,03	5,88	4,41	5,19	0,00
190	0,00	0,00	5,88	3,64	4,87	0,00
200	0,00	0,00	0,00	3,31	4,55	0,00
210	0,00	0,00	0,00	7,10	3,90	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,21	5,84	0,00
230	0,00	0,00	0,00	2,61	4,87	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,06	5,52	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,39	4,87	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,26	0,97	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,70	4,22	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,82	3,57	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,72	2,92	0,00
300	0,00	0,00	0,00	2,35	1,95	0,00
310	0,00	0,00	0,00	21,10	2,27	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,02	2,27	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,04	2,27	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,02	2,60	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,02	2,92	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,02	14,61	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,02	0,32	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0

JAWA TENGAH - LINTAS SELATAN BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	15,64	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
30	48,36	6,74	0,00	0,00	0,00	0,00
40	10,92	15,42	2,94	0,00	0,00	0,00
50	7,36	17,84	0,00	0,04	0,00	0,00
60	17,72	53,59	0,00	0,31	0,00	0,00
70	0,00	0,60	0,00	0,33	0,00	0,00
80	0,00	0,54	8,82	0,76	0,00	0,00
90	0,00	0,63	14,71	1,07	0,00	0,00
100	0,00	4,44	73,53	2,18	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,59	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	3,52	0,97	0,00
130	0,00	0,00	0,00	4,16	1,62	0,00
140	0,00	0,00	0,00	5,21	1,62	0,00
150	0,00	0,00	0,00	5,33	2,27	0,00
160	0,00	0,00	0,00	5,62	1,62	0,00
170	0,00	0,00	0,00	6,03	3,25	0,00
180	0,00	0,00	0,00	4,41	5,19	0,00
190	0,00	0,00	0,00	3,64	4,87	0,00
200	0,00	0,00	0,00	54,79	4,55	0,00
210	0,00	0,00	0,00	0,00	3,90	0,00
220	0,00	0,00	0,00	0,00	5,84	0,00
230	0,00	0,00	0,00	0,00	4,87	0,00
240	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,00	4,87	0,00
260	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00
270	0,00	0,00	0,00	0,00	4,22	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,00	2,92	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,00	37,34	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0

JAWA TIMUR - PANTURA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,07	0,02	0,94	0,00	0,00	0,00
20	9,32	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
30	26,79	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00
40	26,39	10,11	1,42	0,01	0,00	0,00
50	14,49	12,85	3,77	0,10	0,00	0,00
60	8,36	14,48	1,89	0,14	0,00	0,00
70	9,50	9,45	3,77	0,40	0,00	0,00
80	2,59	6,27	5,19	0,83	0,00	0,00
90	0,75	6,91	5,66	1,31	0,00	0,00
100	0,24	5,81	6,60	1,95	0,36	0,00
110	1,50	6,00	5,19	1,90	0,00	0,00
120	0,00	5,08	6,60	1,87	0,18	0,00
130	0,00	3,88	9,91	1,94	0,18	0,00
140	0,00	8,11	7,08	2,28	0,54	0,00
150	0,00	5,72	33,96	2,19	0,90	0,00
160	0,00	0,20	8,02	3,48	0,90	0,00
170	0,00	0,03	0,00	3,19	1,80	0,00
180	0,00	0,11	0,00	3,42	1,44	0,00
190	0,00	0,16	0,00	3,94	1,80	0,00
200	0,00	0,00	0,00	4,09	0,90	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,06	2,15	0,00
220	0,00	0,00	0,00	4,33	1,62	0,00
230	0,00	0,00	0,00	4,98	2,51	0,00
240	0,00	0,00	0,00	6,01	3,23	0,00
250	0,00	0,00	0,00	7,62	3,77	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,54	4,31	0,00
270	0,00	0,00	0,00	9,75	21,90	0,00
280	0,00	0,00	0,00	3,19	3,77	0,00
290	0,00	0,00	0,00	3,11	3,41	0,00
300	0,00	0,00	0,00	4,18	3,41	0,00
310	0,00	0,00	0,00	2,00	3,59	0,00
320	0,00	0,00	0,00	14,18	4,13	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,01	2,69	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	3,59	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	2,69	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
380	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	2,69	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	8,44	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA TIMUR - PANTURA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STIRG (%)	SDdRG(%)
10	0,07	0,02	0,94	0,00	0,00	0,00
20	9,32	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
30	26,79	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00
40	26,39	10,11	1,42	0,01	0,00	0,00
50	14,49	12,85	3,77	0,10	0,00	0,00
60	8,36	14,48	1,89	0,14	0,00	0,00
70	9,50	9,45	3,77	0,40	0,00	0,00
80	5,09	42,47	5,19	0,83	0,00	0,00
90	0,00	0,81	83,02	1,31	0,00	0,00
100	0,00	4,99	0,00	1,95	0,36	0,00
110	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	1,87	0,18	0,00
130	0,00	0,00	0,00	1,94	0,18	0,00
140	0,00	0,00	0,00	2,28	0,54	0,00
150	0,00	0,00	0,00	2,19	0,90	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,48	0,90	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,19	1,80	0,00
180	0,00	0,00	0,00	78,43	1,44	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	91,92	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA TIMUR - LINTAS SELATAN BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STIRG (%)	SGdRG(%)
10	0,02	0,02	3,13	0,00	0,00	0,00
20	15,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	36,20	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00
40	17,05	6,85	6,25	0,00	0,00	0,00
50	9,35	11,79	12,50	0,00	0,00	0,00
60	6,66	10,79	6,25	0,56	0,00	0,00
70	3,91	19,76	3,13	0,84	0,00	0,00
80	10,02	13,92	6,25	1,34	0,00	0,00
90	1,20	2,53	12,50	1,69	3,45	0,00
100	0,53	3,44	3,13	1,48	0,00	0,00
110	0,04	3,04	9,38	2,46	0,00	0,00
120	0,00	2,64	6,25	1,90	0,00	0,00
130	0,00	12,11	6,25	2,46	10,34	0,00
140	0,00	4,79	0,00	1,97	0,00	0,00
150	0,00	2,82	3,13	1,48	3,45	0,00
160	0,00	0,76	21,88	2,32	0,00	0,00
170	0,00	0,04	0,00	1,55	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	1,97	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	8,29	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,99	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,65	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	4,92	3,45	0,00
250	0,00	0,00	0,00	4,92	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	4,85	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	7,52	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	7,73	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	8,43	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	7,03	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	4,36	3,45	0,00
320	0,00	0,00	0,00	1,26	3,45	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,70	3,45	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,91	3,45	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,84	3,45	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,35	3,45	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STIRG (%)	SGdRG(%)
380	0,00	0,00	0,00	0,07	3,45	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	51,72	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA TIMUR - LINTAS SELATAN BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,02	0,02	3,13	0,00	0,00	0,00
20	15,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	36,20	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00
40	17,05	6,85	6,25	0,00	0,00	0,00
50	9,35	11,79	12,50	0,00	0,00	0,00
60	6,66	10,79	6,25	0,56	0,00	0,00
70	3,91	19,76	3,13	0,84	0,00	0,00
80	11,79	32,18	6,25	1,34	0,00	0,00
90	0,00	0,79	62,50	1,69	3,45	0,00
100	0,00	13,13	0,00	1,48	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,46	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	2,46	10,34	0,00
140	0,00	0,00	0,00	1,97	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	1,48	3,45	0,00
160	0,00	0,00	0,00	2,32	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	79,97	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	82,76	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA TIMUR - JALUR PENGHUBUNG BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	7,34	6,85	0,00	0,04	4,65	0,00
20	39,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	14,25	6,80	0,00	0,00	0,00	0,00
40	10,18	16,26	0,00	0,00	0,00	0,00
50	12,35	22,29	0,00	0,09	0,00	0,00
60	9,31	12,40	0,00	0,13	0,00	0,00
70	4,29	10,83	5,56	0,17	0,00	0,00
80	1,71	4,03	5,56	0,52	0,00	0,00
90	0,83	4,66	8,33	0,95	0,00	0,00
100	0,71	3,97	25,00	2,42	2,33	0,00
110	0,00	1,86	19,44	4,50	0,00	0,00
120	0,00	2,67	11,11	6,49	0,00	0,00
130	0,00	3,15	19,44	6,92	0,00	0,00
140	0,00	2,96	2,78	8,86	4,65	0,00
150	0,00	1,25	0,00	7,57	9,30	0,00
160	0,00	0,01	2,78	7,22	6,98	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,78	9,30	0,00
180	0,00	0,00	0,00	7,70	6,98	0,00
190	0,00	0,01	0,00	6,23	4,65	0,00
200	0,00	0,00	0,00	5,14	6,98	0,00
210	0,00	0,00	0,00	5,06	6,98	0,00
220	0,00	0,00	0,00	4,37	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	2,72	2,33	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,46	9,30	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,29	4,65	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,55	2,33	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	1,69	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,81	2,33	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	0,04	2,33	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
350	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

JAWA TIMUR - JALUR PENGHUBUNG BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SDdRG(%)
10	7,34	6,85	0,00	0,04	4,65	0,00
20	39,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	14,25	6,80	0,00	0,00	0,00	0,00
40	10,18	16,26	0,00	0,00	0,00	0,00
50	12,35	22,29	0,00	0,09	0,00	0,00
60	9,31	12,40	0,00	0,13	0,00	0,00
70	4,29	10,83	5,56	0,17	0,00	0,00
80	3,24	19,16	5,56	0,52	0,00	0,00
90	0,00	1,65	88,89	0,95	0,00	0,00
100	0,00	3,77	0,00	2,42	2,33	0,00
110	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	6,49	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	6,92	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	8,86	4,65	0,00
150	0,00	0,00	0,00	7,57	9,30	0,00
160	0,00	0,00	0,00	7,22	6,98	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,78	9,30	0,00
180	0,00	0,00	0,00	46,35	6,98	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	51,16	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,03	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3,33	1,11	0,00	0,12	0,00	0,00
40	15,23	3,78	0,00	0,12	0,00	0,00
50	22,36	7,35	0,00	0,60	0,00	0,00
60	22,08	15,02	0,00	0,96	0,00	0,00
70	12,99	13,51	0,00	1,44	0,00	0,00
80	20,27	6,73	0,00	2,40	0,00	0,00
90	2,68	6,16	0,00	5,17	0,00	0,00
100	0,75	8,91	0,00	5,41	0,00	0,00
110	0,22	3,98	0,00	8,41	0,00	0,00
120	0,00	4,27	0,00	8,77	0,00	0,00
130	0,00	24,96	0,00	7,69	0,00	0,00
140	0,00	3,78	0,00	5,65	14,29	0,00
150	0,00	0,08	0,00	5,53	14,29	0,00
160	0,00	0,04	0,00	3,85	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	4,57	14,29	0,00
190	0,00	0,00	0,00	4,57	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	5,41	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	2,28	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	2,76	14,29	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,73	14,29	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,28	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,04	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,76	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,88	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,88	14,29	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,04	14,29	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,03	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3,33	1,11	0,00	0,12	0,00	0,00
40	15,23	3,78	0,00	0,12	0,00	0,00
50	22,36	7,35	0,00	0,60	0,00	0,00
60	22,08	15,02	0,00	0,96	0,00	0,00
70	12,99	13,51	0,00	1,44	0,00	0,00
80	23,92	58,33	0,00	2,40	0,00	0,00
90	0,00	0,04	0,00	5,17	0,00	0,00
100	0,00	0,53	0,00	5,41	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	8,41	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	8,77	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	7,69	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	5,65	14,29	0,00
150	0,00	0,00	0,00	5,53	14,29	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	40,02	14,29	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	57,14	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

DISTRIBUSI BEBAN JSKN – KALIMANTAN

KALIMANTAN TIMUR BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,27	0,69	0,00	1,40	70,59	0,00
20	17,43	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
30	30,35	2,38	0,00	0,12	0,00	0,00
40	19,79	15,90	0,00	0,00	0,00	0,00
50	10,91	15,76	0,00	0,00	0,00	0,00
60	7,89	12,49	0,00	0,00	0,00	0,00
70	6,32	8,84	0,00	0,70	0,00	0,00
80	2,88	10,40	0,00	0,70	0,00	0,00
90	2,81	7,13	0,00	0,93	0,00	0,00
100	1,37	5,01	0,00	1,05	0,00	0,00
110	0,00	4,90	0,00	2,33	0,00	0,00
120	0,00	3,17	0,00	4,66	0,00	0,00
130	0,00	1,86	0,00	5,47	0,00	0,00
140	0,00	2,77	0,00	6,87	0,00	0,00
150	0,00	1,71	0,00	7,92	0,00	0,00
160	0,00	2,11	0,00	6,87	0,00	0,00
170	0,00	1,96	0,00	8,50	11,76	0,00
180	0,00	1,51	0,00	9,08	0,00	0,00
190	0,00	1,12	0,00	9,43	0,00	0,00
200	0,00	0,19	0,00	6,75	5,88	0,00
210	0,00	0,01	0,00	5,59	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,84	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,26	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	3,96	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	1,51	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,10	11,76	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
340	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

KALIMANTAN TIMUR BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,27	0,69	0,00	1,40	70,59	0,00
20	17,43	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
30	30,35	2,38	0,00	0,12	0,00	0,00
40	19,79	15,90	0,00	0,00	0,00	0,00
50	10,91	15,76	0,00	0,00	0,00	0,00
60	7,89	12,49	0,00	0,00	0,00	0,00
70	6,32	8,84	0,00	0,70	0,00	0,00
80	7,05	43,78	0,00	0,70	0,00	0,00
90	0,00	0,04	0,00	0,93	0,00	0,00
100	0,00	0,05	0,00	1,05	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	4,66	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	5,47	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	6,87	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	7,92	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,87	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	8,50	11,76	0,00
180	0,00	0,00	0,00	52,50	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	17,65	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

KALIMANTAN UTARA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,60	1,43	0,00	2,56	0,00	0,00
20	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	53,31	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,28	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,17	34,17	0,00	0,00	0,00	0,00
60	8,28	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	7,98	16,82	0,00	0,85	0,00	0,00
80	1,20	4,83	0,00	0,85	0,00	0,00
90	1,05	3,04	0,00	0,85	0,00	0,00
100	0,15	3,40	0,00	1,71	0,00	0,00
110	0,00	4,65	0,00	1,71	0,00	0,00
120	0,00	1,61	0,00	3,42	0,00	0,00
130	0,00	1,07	0,00	0,85	0,00	0,00
140	0,00	3,04	0,00	5,13	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	5,98	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	5,13	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	9,40	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	17,09	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	17,09	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	7,69	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	3,42	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	1,71	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	2,56	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	3,42	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	1,71	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	4,27	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	1,71	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

KALIMANTAN UTARA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,60	1,43	0,00	2,56	0,00	0,00
20	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	53,31	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,28	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,17	34,17	0,00	0,00	0,00	0,00
60	8,28	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	7,98	16,82	0,00	0,85	0,00	0,00
80	2,41	21,29	0,00	0,85	0,00	0,00
90	0,00	0,18	0,00	0,85	0,00	0,00
100	0,00	0,18	0,00	1,71	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	1,71	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	3,42	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	5,13	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	5,98	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	5,13	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	9,40	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	61,54	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

KALIMANTAN SELATAN BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,08	0,16	72,22	0,33	25,00	0,00
20	4,75	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
30	14,52	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00
40	22,01	10,83	0,00	0,11	0,00	0,00
50	29,29	15,64	0,00	0,43	0,00	0,00
60	18,21	17,32	5,56	0,80	0,00	0,00
70	6,59	12,66	0,00	1,63	0,00	0,00
80	3,56	6,37	0,00	1,63	0,00	0,00
90	0,97	6,26	5,56	2,68	0,00	0,00
100	0,02	5,83	0,00	3,62	2,78	0,00
110	0,00	4,81	0,00	4,24	2,78	0,00
120	0,00	3,33	5,56	5,54	0,00	0,00
130	0,00	4,84	0,00	5,58	2,78	0,00
140	0,00	4,17	0,00	6,12	0,00	0,00
150	0,00	2,65	0,00	5,87	0,00	0,00
160	0,00	0,00	5,56	6,63	0,00	0,00
170	0,00	0,00	5,56	7,10	2,78	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,18	5,56	0,00
190	0,00	0,00	0,00	6,12	5,56	0,00
200	0,00	0,00	0,00	4,53	2,78	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,74	2,78	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,44	5,56	0,00
230	0,00	0,00	0,00	2,75	2,78	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,03	8,33	0,00
250	0,00	0,00	0,00	3,66	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	1,52	2,78	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,28	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	1,48	2,78	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,06	8,33	0,00
300	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	5,32	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	1,27	5,56	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,07	2,78	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

KALIMANTAN SELATAN BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,08	0,16	72,22	0,33	25,00	0,00
20	4,75	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
30	14,52	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00
40	22,01	10,83	0,00	0,11	0,00	0,00
50	29,29	15,64	0,00	0,43	0,00	0,00
60	18,21	17,32	5,56	0,80	0,00	0,00
70	6,59	12,66	0,00	1,63	0,00	0,00
80	4,55	38,08	0,00	1,63	0,00	0,00
90	0,00	0,05	22,22	2,68	0,00	0,00
100	0,00	0,15	0,00	3,62	2,78	0,00
110	0,00	0,00	0,00	4,24	2,78	0,00
120	0,00	0,00	0,00	5,54	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	5,58	2,78	0,00
140	0,00	0,00	0,00	6,12	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	5,87	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,63	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,10	2,78	0,00
180	0,00	0,00	0,00	47,72	5,56	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	5,56	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	52,78	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

DISTRIBUSI BEBAN JSKN – SULAWESI

SULAWESI UTARA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,08	0,12	27,27	0,00	14,29	0,00
20	12,87	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
30	19,02	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00
40	25,28	8,56	0,00	0,00	0,00	0,00
50	13,44	9,31	9,09	0,00	0,00	0,00
60	11,66	16,73	0,00	0,06	0,00	0,00
70	10,54	12,34	9,09	0,16	0,00	0,00
80	5,57	16,32	0,00	0,47	0,00	0,00
90	1,04	16,74	0,00	0,73	0,00	0,00
100	0,50	4,29	0,00	1,17	0,00	0,00
110	0,01	3,28	9,09	1,19	0,00	0,00
120	0,00	2,21	9,09	2,27	0,00	0,00
130	0,00	1,51	9,09	2,57	0,00	0,00
140	0,00	1,79	0,00	2,69	0,00	0,00
150	0,00	1,61	9,09	2,96	0,00	0,00
160	0,00	0,44	0,00	3,38	0,00	0,00
170	0,00	0,36	0,00	4,41	0,00	0,00
180	0,00	0,30	9,09	4,27	0,00	0,00
190	0,00	0,31	9,09	4,07	0,00	0,00
200	0,00	0,20	0,00	4,25	0,00	0,00
210	0,00	0,24	0,00	3,95	0,00	0,00
220	0,00	0,17	0,00	4,27	0,00	0,00
230	0,00	0,20	0,00	4,74	0,00	0,00
240	0,00	0,18	0,00	5,40	0,00	0,00
250	0,00	0,11	0,00	6,23	7,14	0,00
260	0,00	0,15	0,00	6,52	7,14	0,00
270	0,00	0,02	0,00	6,92	0,00	0,00
280	0,00	0,03	0,00	7,71	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	6,34	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	5,14	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	2,27	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	2,61	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	1,84	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,10	57,14	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
380	0,00	0,00	0,00	0,00	7,14	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	7,14	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

SULAWESI UTARA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SCdRG(%)
10	0,08	0,12	27,27	0,00	14,29	0,00
20	12,87	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
30	19,02	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00
40	25,28	8,56	0,00	0,00	0,00	0,00
50	13,44	9,31	9,09	0,00	0,00	0,00
60	11,66	16,73	0,00	0,06	0,00	0,00
70	10,54	12,34	9,09	0,16	0,00	0,00
80	7,12	42,58	0,00	0,47	0,00	0,00
90	0,00	0,81	54,55	0,73	0,00	0,00
100	0,00	7,07	0,00	1,17	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	2,27	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	2,57	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	2,69	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,38	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,41	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	77,94	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	85,71	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

GORONTALO - SULTENG – SULTRA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
10	0,84	0,14	0,00	0,07	50,00	0,00
20	33,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	21,64	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00
40	25,74	5,14	0,00	0,00	0,00	0,00
50	7,74	8,82	0,00	0,00	0,00	0,00
60	2,89	6,40	0,00	0,13	0,00	0,00
70	3,93	24,87	0,00	0,39	0,00	0,00
80	3,16	41,01	0,00	0,52	0,00	0,00
90	0,76	3,89	0,00	1,05	0,00	0,00
100	0,07	1,66	0,00	1,31	0,00	0,00
110	0,02	1,36	0,00	1,18	0,00	0,00
120	0,00	0,67	0,00	1,44	0,00	0,00
130	0,00	1,18	0,00	1,70	0,00	0,00
140	0,00	1,67	0,00	3,41	0,00	0,00
150	0,00	1,03	0,00	2,75	0,00	0,00
160	0,00	0,71	0,00	3,21	0,00	0,00
170	0,00	0,21	0,00	2,55	0,00	0,00
180	0,00	0,02	0,00	2,95	0,00	0,00
190	0,00	0,01	0,00	3,93	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	4,45	0,00	0,00
210	0,00	0,02	0,00	4,19	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,73	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	7,07	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,36	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	3,60	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	3,34	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	6,29	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	7,07	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	6,94	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	14,21	16,67	0,00
320	0,00	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG(%)
370	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	16,67	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	16,67	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

GORONTALO - SULTENG – SULTRA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	ScdRG (%)
10	0,84	0,14	0,00	0,07	50,00	0,00
20	33,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	21,64	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00
40	25,74	5,14	0,00	0,00	0,00	0,00
50	7,74	8,82	0,00	0,00	0,00	0,00
60	2,89	6,40	0,00	0,13	0,00	0,00
70	3,93	24,87	0,00	0,39	0,00	0,00
80	4,02	49,31	0,00	0,52	0,00	0,00
90	0,00	0,33	0,00	1,05	0,00	0,00
100	0,00	3,78	0,00	1,31	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	3,41	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,21	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	2,55	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	80,29	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	100	0,00

SULAWESI BARAT BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,09	0,24	16,00	0,22	0,00	0,00
20	12,24	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
30	26,87	3,73	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,64	9,27	0,00	0,13	0,00	0,00
50	10,14	13,09	0,00	0,09	0,00	0,00
60	12,85	11,35	4,00	0,58	0,00	0,00
70	6,00	21,39	0,00	0,71	0,00	0,00
80	8,20	11,72	12,00	0,80	0,00	0,00
90	3,34	3,19	16,00	1,86	0,00	0,00
100	0,64	2,16	8,00	2,26	0,00	0,00
110	0,00	1,14	8,00	2,61	0,00	0,00
120	0,00	1,82	4,00	3,85	0,00	0,00
130	0,00	3,07	8,00	4,07	0,00	0,00
140	0,00	8,13	8,00	5,44	0,00	0,00
150	0,00	7,99	4,00	3,98	0,00	0,00
160	0,00	0,43	8,00	3,54	0,00	0,00
170	0,00	0,40	0,00	4,03	0,00	0,00
180	0,00	0,17	4,00	3,76	0,00	0,00
190	0,00	0,24	0,00	3,89	0,00	0,00
200	0,00	0,17	0,00	4,20	0,00	0,00
210	0,00	0,12	0,00	4,20	0,00	0,00
220	0,00	0,04	0,00	3,67	0,00	0,00
230	0,00	0,03	0,00	3,14	0,00	0,00
240	0,00	0,03	0,00	4,25	0,00	0,00
250	0,00	0,01	0,00	5,09	0,00	0,00
260	0,00	0,03	0,00	6,33	0,00	0,00
270	0,00	0,02	0,00	6,73	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	6,24	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	4,82	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	2,21	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	4,96	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	0	0,00

SULAWESI BARAT BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,09	0,24	16,00	0,22	0,00	0,00
20	12,24	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
30	26,87	3,73	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,64	9,27	0,00	0,13	0,00	0,00
50	10,14	13,09	0,00	0,09	0,00	0,00
60	12,85	11,35	4,00	0,58	0,00	0,00
70	6,00	21,39	0,00	0,71	0,00	0,00
80	12,17	40,00	12,00	0,80	0,00	0,00
90	0,00	0,19	68,00	1,86	0,00	0,00
100	0,00	0,73	0,00	2,26	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,61	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	4,07	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	5,44	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	3,98	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,54	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,03	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	65,84	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	0	0,00

UP n/s

SULAWESI SELATAN BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,21	0,11	7,14	0,05	10,34	0,00
20	10,86	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
30	20,03	5,23	0,00	0,00	0,00	0,00
40	24,35	15,82	2,38	0,01	0,00	0,00
50	19,85	16,49	0,00	0,03	0,00	0,00
60	11,89	12,12	7,14	0,06	0,00	0,00
70	5,22	8,61	0,00	0,19	0,00	0,00
80	7,46	10,19	11,90	0,34	0,00	0,00
90	0,12	7,86	4,76	0,62	0,00	0,00
100	0,01	4,47	16,67	1,12	0,00	0,00
110	0,00	2,90	7,14	2,18	0,00	0,00
120	0,00	2,45	2,38	3,33	0,00	0,00
130	0,00	2,65	11,90	4,98	0,00	0,00
140	0,00	7,87	23,81	7,06	0,00	0,00
150	0,00	2,87	2,38	7,36	0,00	0,00
160	0,00	0,01	2,38	7,90	3,45	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,62	3,45	0,00
180	0,00	0,00	0,00	6,72	6,90	0,00
190	0,00	0,01	0,00	5,94	3,45	0,00
200	0,00	0,00	0,00	5,40	3,45	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,22	3,45	0,00
220	0,00	0,00	0,00	21,72	6,90	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,90	6,90	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,82	10,34	0,00
250	0,00	0,00	0,00	1,35	3,45	0,00
260	0,00	0,00	0,00	1,28	17,24	0,00
270	0,00	0,00	0,00	0,95	6,90	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,82	3,45	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,84	3,45	0,00
310	0,00	0,00	0,00	2,23	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

SULAWESI SELATAN BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,21	0,11	7,14	0,05	10,34	0,00
20	10,86	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
30	20,03	5,23	0,00	0,00	0,00	0,00
40	24,35	15,82	2,38	0,01	0,00	0,00
50	19,85	16,49	0,00	0,03	0,00	0,00
60	11,89	12,12	7,14	0,06	0,00	0,00
70	5,22	8,61	0,00	0,19	0,00	0,00
80	7,59	39,19	11,90	0,34	0,00	0,00
90	0,00	0,49	71,43	0,62	0,00	0,00
100	0,00	1,60	0,00	1,12	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,18	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	4,98	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	7,06	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	7,36	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	7,90	3,45	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,62	3,45	0,00
180	0,00	0,00	0,00	57,16	6,90	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	72,41	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

40 7/6

DISTRIBUSI BEBAN JSKN – BALI – NTB – NTT – MALUKU – MALUKU UTARA – PAPUA BARAT DAN PAPUA

BALI BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,03	0,08	3,57	0,01	50,00	0,00
20	2,59	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
30	11,47	0,84	0,00	0,01	0,00	0,00
40	17,50	3,51	3,57	0,03	0,00	0,00
50	24,60	4,95	5,36	0,06	0,00	0,00
60	13,70	7,49	8,93	0,09	0,00	0,00
70	11,52	6,33	10,71	0,22	0,00	0,00
80	16,64	12,06	1,79	0,58	0,00	0,00
90	1,59	11,16	3,57	0,74	0,00	0,00
100	0,36	5,52	1,79	1,08	0,00	0,00
110	0,01	5,12	14,29	1,80	0,00	0,00
120	0,00	4,50	16,07	2,30	0,00	0,00
130	0,00	21,26	3,57	2,78	0,00	0,00
140	0,00	1,53	7,14	3,14	0,00	0,00
150	0,00	15,62	19,64	3,87	0,00	0,00
160	0,00	0,02	0,00	4,00	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,09	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,60	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	5,67	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	5,97	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	7,25	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	5,15	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	3,11	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	3,29	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	13,97	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

BALI BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	0,03	0,08	3,57	0,01	50,00	0,00
20	2,59	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
30	11,47	0,84	0,00	0,01	0,00	0,00
40	17,50	3,51	3,57	0,03	0,00	0,00
50	24,60	4,95	5,36	0,06	0,00	0,00
60	13,70	7,49	8,93	0,09	0,00	0,00
70	11,52	6,33	10,71	0,22	0,00	0,00
80	18,60	74,29	1,79	0,58	0,00	0,00
90	0,00	0,35	66,07	0,74	0,00	0,00
100	0,00	2,15	0,00	1,08	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	2,78	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	3,14	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	3,87	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	75,24	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

UD n/s

NUSA TENGGARA BARAT BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
10	2,08	0,07	10,34	0,13	28,57	0,00
20	34,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	28,03	7,11	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,26	10,59	3,45	0,13	0,00	0,00
50	8,44	11,47	10,34	0,47	0,00	0,00
60	2,32	13,28	3,45	1,19	0,00	0,00
70	2,13	13,08	17,24	1,99	0,00	0,00
80	1,65	9,33	3,45	3,35	0,00	0,00
90	0,93	16,03	3,45	6,24	0,00	0,00
100	0,72	6,35	6,90	5,77	0,00	0,00
110	0,16	1,19	6,90	6,24	0,00	0,00
120	0,00	2,09	6,90	5,73	0,00	0,00
130	0,00	2,48	6,90	5,26	14,29	0,00
140	0,00	1,70	0,00	3,06	14,29	0,00
150	0,00	0,60	6,90	2,25	0,00	0,00
160	0,00	0,54	13,79	3,06	0,00	0,00
170	0,00	0,85	0,00	5,77	0,00	0,00
180	0,00	1,09	0,00	4,92	0,00	0,00
190	0,00	1,15	0,00	4,03	0,00	0,00
200	0,00	0,58	0,00	3,48	0,00	0,00
210	0,00	0,21	0,00	2,80	0,00	0,00
220	0,00	0,07	0,00	1,95	14,29	0,00
230	0,00	0,05	0,00	2,72	0,00	0,00
240	0,00	0,04	0,00	3,27	0,00	0,00
250	0,00	0,01	0,00	5,22	0,00	0,00
260	0,00	0,02	0,00	2,89	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,76	0,00	0,00
280	0,00	0,01	0,00	2,21	0,00	0,00
290	0,00	0,01	0,00	1,06	0,00	0,00
300	0,00	0,01	0,00	1,06	0,00	0,00
310	0,00	0,01	0,00	1,23	14,29	0,00
320	0,00	0,00	0,00	1,19	14,29	0,00
330	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG(%)
360	0,00	0,00	0,00	1,74	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
470	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

UD n/s

NUSA TENGGARA BARAT BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STRG (%)	SQdRG (%)
10	2,08	0,07	10,34	0,13	28,57	0,00
20	34,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	28,03	7,11	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,26	10,59	3,45	0,13	0,00	0,00
50	8,44	11,47	10,34	0,47	0,00	0,00
60	2,32	13,28	3,45	1,19	0,00	0,00
70	2,13	13,08	17,24	1,99	0,00	0,00
80	3,46	43,43	3,45	3,35	0,00	0,00
90	0,00	0,26	51,72	6,24	0,00	0,00
100	0,00	0,71	0,00	5,77	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	6,24	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	5,73	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	5,26	14,29	0,00
140	0,00	0,00	0,00	3,06	14,29	0,00
150	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	5,77	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	49,36	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	42,86	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0,00

NUSA TENGARA TIMUR - MALUKU - MALUKU UTARA - PAPUA BARAT – PAPUA BEBAN FAKTUAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STR T (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SCdRG(%)
10	0,15	0,27	0,00	0,72	0,00	0,00
20	25,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	39,57	9,39	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,52	22,61	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,39	16,36	0,00	0,10	0,00	0,00
60	4,47	17,36	0,00	0,00	0,00	0,00
70	3,04	15,21	0,00	0,61	0,00	0,00
80	0,65	10,01	0,00	0,41	0,00	0,00
90	0,38	2,88	0,00	1,33	0,00	0,00
100	0,03	1,85	0,00	3,17	0,00	0,00
110	0,00	1,02	0,00	6,23	0,00	0,00
120	0,00	0,83	0,00	5,52	0,00	0,00
130	0,00	0,25	0,00	8,68	0,00	0,00
140	0,00	1,68	0,00	9,19	0,00	0,00
150	0,00	0,28	0,00	8,58	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	5,82	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	3,98	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	3,47	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	1,94	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	3,47	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	5,41	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,55	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,15	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,04	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	1,84	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	11,64	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

NUSA TENGARA TIMUR - MALUKU - MALUKU UTARA - PAPUA BARAT – PAPUA BEBAN NORMAL

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STR T (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SCdRG(%)
10	0,15	0,27	0,00	0,72	0,00	0,00
20	25,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	39,57	9,39	0,00	0,00	0,00	0,00
40	19,52	22,61	0,00	0,00	0,00	0,00
50	6,39	16,36	0,00	0,10	0,00	0,00
60	4,47	17,36	0,00	0,00	0,00	0,00
70	3,04	15,21	0,00	0,61	0,00	0,00
80	1,06	18,77	0,00	0,41	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00
100	0,00	0,03	0,00	3,17	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	6,23	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	8,68	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	9,19	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	8,58	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	5,82	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	46,07	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	0	100	0	0,00

UD n/s

Lampiran E
Informatif
Desain Bahu Jalan

E.1. BAHU PERKERASAN LENTUR JALAN TOL

Ketentuan untuk bahu jalan tol harus memiliki kekuatan struktur sebesar 60% dari kekuatan struktur perkerasan lentur pada lajur lalu lintas. Berhubung jalan tol merupakan jalan arteri primer, umumnya menampung lalu lintas > 100 juta ESA dan struktur perkerasan bahu juga harus berpenutup.

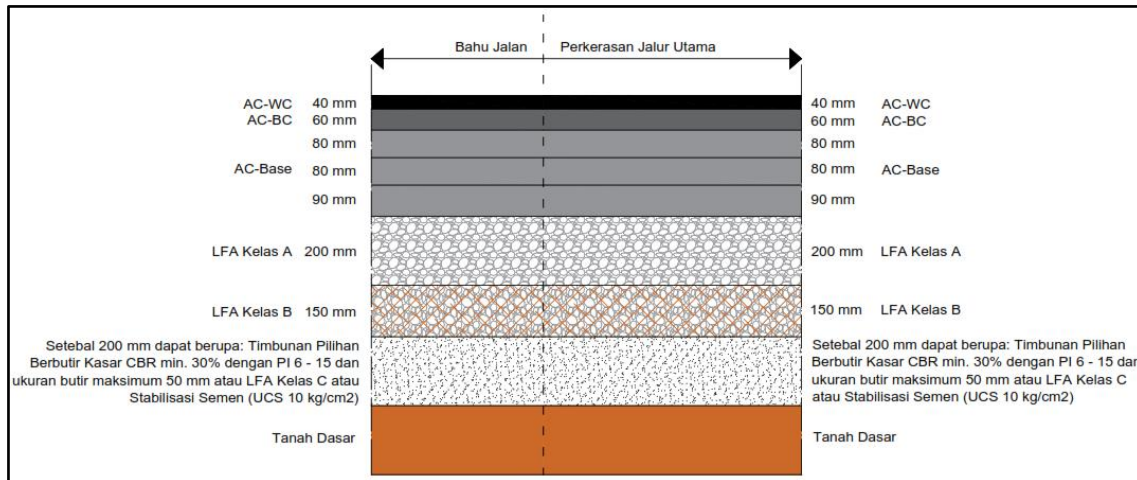
Contoh struktur bahu perkerasan lentur

- a) Bila mana rencana pada lajur lalu lintas sebesar 200,0E+06 ESA5, maka kebutuhan kekuatan lentur pada bahu adalah $200,0E+06 \times 60\% = 120,0E+06$ ESA5.
- b) Berdasarkan keperluan kekuatan struktur untuk melayani lalu lintas seperti pada Lampiran E.1.a) maka dapat mengambil konstruksi berdasarkan Bagan Desain-3 sampai Bagan Desain-3A.

Contoh bilamana kita mengambil struktur perkerasan berdasarkan Bagan Desain-3A dengan lapis fondasi LFA. Sehingga keperluan rencana lajur lalu lintas sebesar 200,0E+06 ESA5, strukturnya mengambil pada kolom FFF(1) 9 untuk struktur lajur lalu lintas. Sedangkan untuk keperluan lalu lintas bahu jalan sebesar 120,0E+06 ESA5, strukturnya mengambil pada kolom FFF(1) 8 untuk struktur bahu jalan.

- c) Berdasarkan data struktur perkerasan lentur pada lajur lalu lintas dan bahu jalan diperlukan beberapa penyesuaian untuk kemudahan pengerjaan yaitu penyesuaian tebal lapisan beraspal untuk bahu jalan. Seperti disajikan pada Tabel di bawah ini dan struktur perkerasan seperti disajikan pada Gambar E.1

Perkerasan Bahu Jalan		Perkerasan Lajur Utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40	AC WC	40
AC BC	60	AC BC	60
AC Base	80	AC Base	80
	80		80
	90		90
LFA Kelas A	200	LFA Kelas A	200
LFA Kelas B	150	LFA Kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200



Gambar E.1 Struktur perkerasan bahu jalan dan jalur lalu lintas jalan tol

E.2. BAHU PERKERASAN LENTUR JALAN NON TOL

Ketentuan untuk bahu jalan non tol harus memiliki kekuatan struktur sebesar 10% dari kekuatan struktur perkerasan lentur pada lajur lalu lintas. Fondasi yang digunakan (baik lapis fondasi berbutir maupun CTB) harus dibuat menerus dari jalur utama hingga bahu jalan. Hal tersebut dimaksudkan untuk meneruskan distribusi tegangan dari beban roda. Selain itu, jika menggunakan fondasi berbutir, fondasi menerus tersebut dimaksudkan untuk bisa mengalirkan air secara menerus dari jalur utama ke bahu jalan.

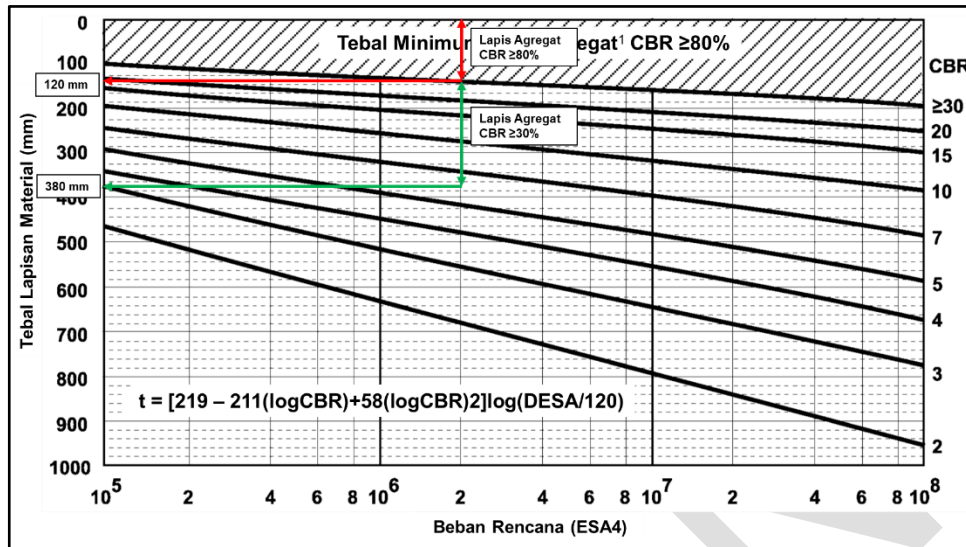
Untuk jalur utama yang memiliki kemiringan $< 4\%$, maka dapat menggunakan bahu jalan tanpa penutup. Sedangkan jika jalur utama memiliki kemiringan $> 4\%$, maka harus menggunakan bahu jalan berpenutup.

E.2.1. Bahu tanpa penutup

Contoh desain bahu tanpa penutup:

- Bila mana rencana pada lajur lalu lintas sebesar $20,0E+06$ ESA4, maka kebutuhan kekuatan lentur pada bahu adalah $20,0E+06 \times 10\% = 2,0E+06$ ESA4.
- CBR tanah dasar sebesar 6%.
- Berdasarkan keperluan kekuatan struktur untuk melayani lalu lintas seperti pada Lampiran E.1.a) maka dapat mengambil mengambil konstruksi berdasarkan Bagan Desain-3 sampai Bagan Desain-3A untuk lajur lalu lintas dan Bagan Desain-9 untuk bahu jalan tanpa penutup.

Contoh bilamana kita mengambil struktur pekerasan berdasarkan Bagan Desain-3A dengan lapis fondasi LFA untuk lajur lalu lintas. Sehingga keperluan rencana lajur lalu lintas sebesar $20,0E+06$ ESA4, strukturnya mengambil pada kolom FFF(1) 6 untuk struktur lajur lalu lintas. Sedangkan untuk pengambilan struktur bahu jalan didasarkan pada Bagan Desain-9, untuk CBR tanah dasar sebesar 6% didapatkan tebal struktur bahu jalan setebal 380 mm. Tebal struktur bahu jalan disajikan pada Gambar E.2.



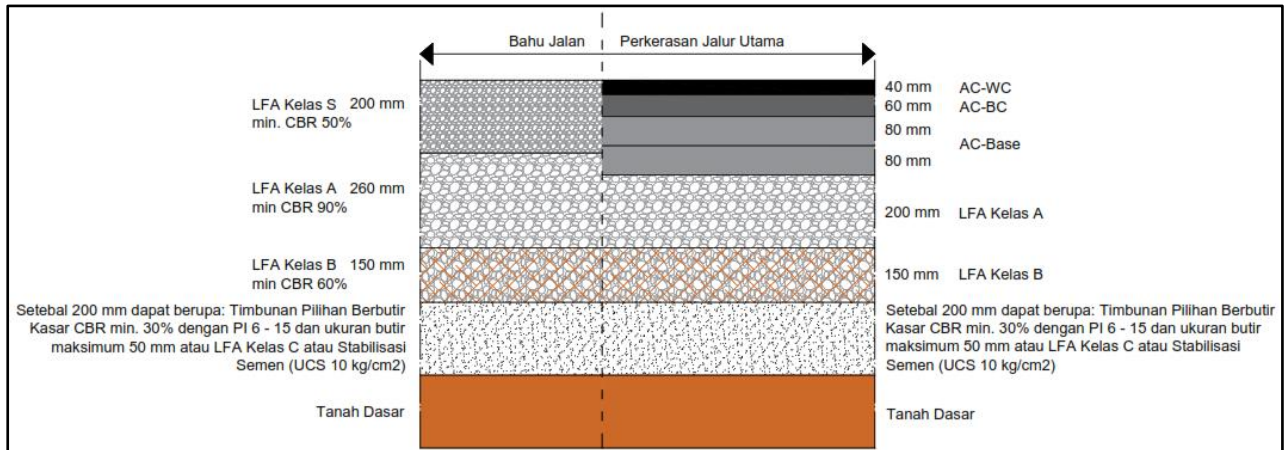
¹⁾ Untuk perkerasan tanpa penutup: Lapis permukaan agregat
 Untuk perkerasan dengan permukaan beraspal tipis: Lapis fondasi

Gambar E.2. Penentuan tebal struktur bahu jalan

- d) Berdasarkan data struktur yang diperoleh untuk bahu jalan, diperlukan beberapa penyesuaian untuk sistem lapisan drainase yang menerus serta untuk kemudahan pengerjaan. Jadi, untuk LFA pada bahu jalan (setebal 380 - 120 = 260 mm) sesuai Gambar E.2 harus disamakan jenis materialnya dengan LFA lajur lalu lintas yaitu dengan ketebalan 200 mm LFA Kelas A dan 150 mm LFA Kelas B. Adapun untuk tebal agregat lapis permukaan (Seksi 5.2 Speksifikasi Umum Bina Marga) yang diperoleh setebal 120 mm sesuai Gambar E.2, maka karena peruntukkannya untuk bahu jalan, direkomendasikan dengan LFA Kelas S dengan CBR min 50% dan tebal min. 150 mm. Struktur lajur lalu lintas dan bahu jalan tanpa penutup disajikan pada Tabel dibawah ini dan pada Gambar E.3.

Perkerasan Bahu Jalan		Perkerasan Lajur Utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
LFA Kelas S	200	AC WC	40
		AC BC	60
		AC Base	80
LFA Kelas A	260		80
		LFA Kelas A	200
LFA Kelas B	150	LFA Kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200

UP n/s



Gambar E.3 Struktur perkerasan bahu tanpa penutup dan jalur lalu lintas jalan non tol

E.2.1. Bahu Berpenutup

Contoh desain bahu dengan penutup:

- a) Bila mana rencana pada lajur lalu lintas sebesar 20,0E+06 ESA5, maka kebutuhan kekuatan lentur pada bahu adalah $20,0E+06 \times 10\% = 2,0E+06$ ESA5.
- b) Berdasarkan keperluan kekuatan struktur untuk melayani lalu lintas seperti pada Lampiran E.2.1.a) maka dapat mengambil konstruksi berdasarkan Bagan Desain-3 sampai Bagan Desain-3A.

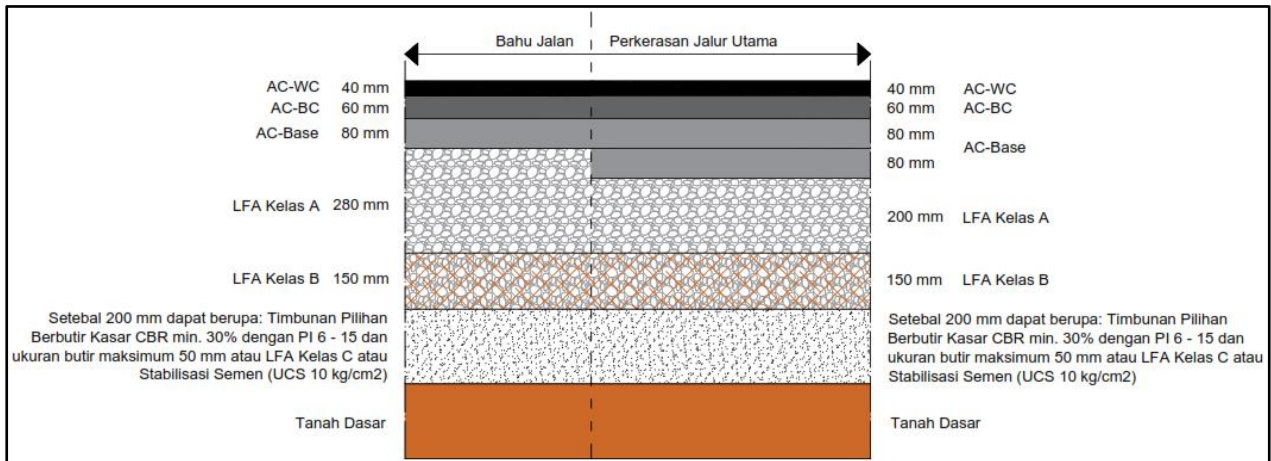
Contoh bilamana kita mengambil struktur pekerasan berdasarkan Bagan Desain-3A dengan lapis fondasi LFA. Sehingga keperluan rencana lajur lalu lintas sebesar 20,0E+06 ESA5, strukturnya mengambil pada kolom FFF(1) 5 untuk struktur lajur lalu lintas. Sedangkan untuk keperluan lalu lintas bahu jalan sebesar 2,0E+06 ESA5, strukturnya mengambil pada kolom FFF(1) 2 untuk struktur bahu jalan.

- c) Berdasarkan data struktur perkerasan lentur pada lajur lalu lintas dan bahu jalan diperlukan beberapa penyesuaian untuk kemudahan pengerjaan yaitu penyesuaian tebal lapisan beraspal untuk bahu jalan. Seperti disajikan pada Tabel dibawah ini dan struktur perkerasan seperti disajikan pada Gambar E.4

Perkerasan Bahu Jalan		Perkerasan Lajur Utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
AC WC	40	AC WC	40
AC BC	60	AC BC	60
AC Base	80	AC Base	80
LFA Kelas A	280		LFA Kelas A
LFA Kelas B	150	LFA Kelas B	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar	200	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C	200

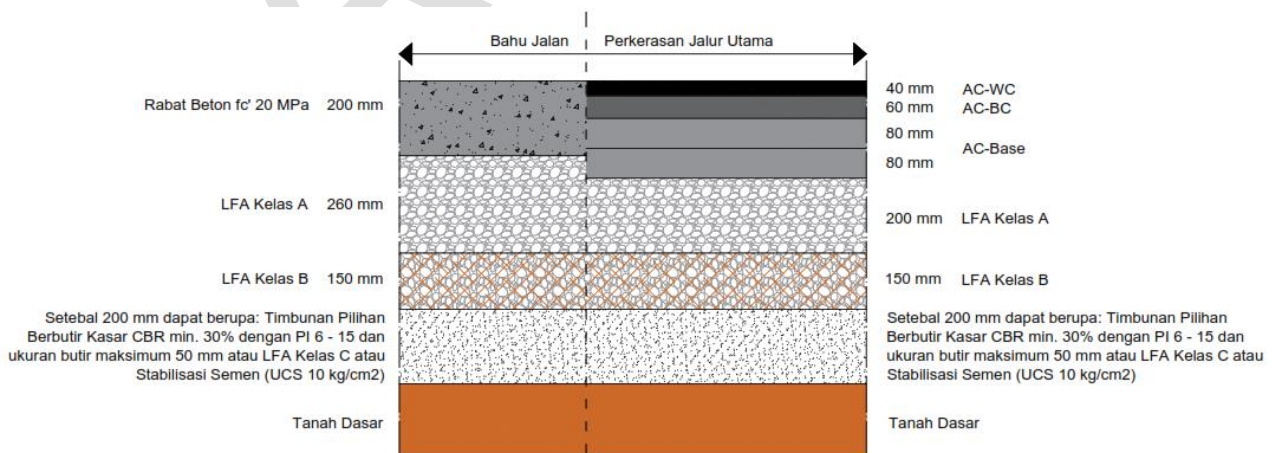
UP n/s

Perkerasan Bahu Jalan		Perkerasan Lajur Utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen		atau Stabilisasi Semen	



Gambar E.4 Struktur perkerasan bahu jalan dan jalur utama jalan non tol

Untuk Jalan Non Tol yang berpenutup dapat juga menggunakan lapis permukaan dengan beton rabat mutu f_c' 20 MPa sebagai alternatif pengganti aspal beton. Namun demikian perlu diperhatikan karena materialnya memiliki kekakuan yang berbeda antara beton rabat pada bahu dengan aspal beton pada lajur lalu lintas. Hal tersebut kemungkinan besar akan terjadi retak pada sambungan arah memanjang, sehingga untuk mengatasinya harus dilakukan pemeliharaan pengisian celah retakan dengan *joint sealant* agar konstruksi bawah perkerasan tidak terjadi erosi. Struktur bahu dengan beton rabat disajikan pada Gambar E.5.



Gambar E.5. Struktur bahu dengan beton rabat

UD n/s

Lampiran F
Informatif
Pencatatan DCP pada Area Tanah Lunak Dangkal

Daerah tanah lunak dengan timbunan hingga ketinggian 3 m 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 m. 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 m 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 m (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 di mana kekuatan tanah eksisting mencapai CBR 2,5%.

Lampiran G
Informatif
Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO M 145 atau ASTM D3282

Table 1—Classification of Soils and Soil–Aggregate Mixtures

General Classification	Granular Materials (35 Percent or Less Passing 75 μm)				Silt–Clay Materials (More Than 35 Percent Passing 75 μm)			
	Group Classification	A-1	A-3 ^a	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Sieve analysis, percent passing:								
2.00 mm (No. 10)	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	50 max	51 min	—	—	—	—	—	—
75 μm (No. 200)	25 max	10 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40):								
Liquid limit	—	—	—	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min
Plasticity index	6 max	Nonplastic (NP)	^b	10 max	10 max	11 min	11 min	11 min
General rating as subgrade	Excellent to Good				Fair to Poor			

^a The placing of A-3 before A-2 is necessary in the “left to right elimination process” and does not indicate superiority of A-3 over A-2.

^b See Table 2 for values.

Table 2—Classification of Soils and Soil–Aggregate Mixtures

General Classification	Granular Materials (35 Percent or Less Passing 75 μm)							Silt–Clay Materials (More Than 35 Percent Passing 75 μm)			
	A-1		A-2					A-7			
Group Classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, percent passing:											
2.00 mm (No. 10)	50 max	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	30 max	50 max	51 min	—	—	—	—	—	—	—	—
75 μm (No. 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40):											
Liquid limit	—	—	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min
Plasticity index	6 max	NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min ^a	11 min ^a
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to Good							Fair to Poor			

^a Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than $LL - 30$. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than $LL - 30$. (See Figure 2.)

Lampiran H
Informatif
Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)

**VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) – SUMATERA – KEPULAUAN RIAU – BANGKA
 BELITUNG**

ACEH DAN SUMATERA UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,6	10,1	10,2	-	-	-	-	8,2	6,6	11,1	16,0	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	3,0	3,9	-	-	-	-	5,7	5,6	6,8	9,0	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,2	17,2	19,7	-	-	-	-	11,9	9,2	19,5	29,4	-
	Normal	1,3	0,4	0,4	3,4	5,2	-	-	-	-	7,2	7,2	9,6	12,8	-

SUMATERA BARAT LINTAS TENGAH UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,5	-	5,1	-	-	-	-	6,8	4,1	6,1	-	-
	Normal	1,2	0,5	0,5	-	2,5	-	-	-	-	4,0	4,1	4,2	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,9	-	8,8	-	-	-	-	10,5	4,9	10,1	-	-
	Normal	1,3	0,4	0,5	-	3,1	-	-	-	-	5,2	4,9	6,0	-	-

SUMATERA BARAT LINTAS TENGAH SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,4	-	9,6	-	-	-	-	6,8	8,7	13,9	17,6	-
	Normal	1,2	0,5	0,5	-	4,5	-	-	-	-	5,3	7,3	5,5	9,6	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,9	-	17,0	-	-	-	-	9,6	12,4	26,1	31,4	-
	Normal	1,3	0,4	0,4	-	6,0	-	-	-	-	6,7	9,9	7,9	14,0	-

SUMATERA BARAT LINTAS BARAT PESISIR UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,5	-	5,3	-	-	-	-	4,8	-	7,8	6,8	-
	Normal	1,2	0,5	0,6	-	3,0	-	-	-	-	4,5	-	5,8	6,8	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,9	-	8,7	-	-	-	-	6,1	-	10,4	9,1	-
	Normal	1,3	0,4	0,5	-	3,7	-	-	-	-	5,6	-	7,2	9,1	-

40 2/2

SUMATERA BARAT LINTAS BARAT PESISIR SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,6	-	3,7	-	-	-	-	3,6	1,3	11,2	5,9	-
	Normal	1,2	0,5	0,5	-	2,6	-	-	-	-	3,5	1,3	5,5	4,7	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,0	-	5,5	-	-	-	-	4,0	1,4	20,1	8,5	-
	Normal	1,3	0,4	0,5	-	3,3	-	-	-	-	4,0	1,4	7,7	6,2	-

RIAU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,3	9,7	13,6	-	-	-	-	7,4	10,4	20,7	15,4	-
	Normal	1,2	0,5	0,7	3,1	4,8	-	-	-	-	4,7	7,2	7,8	7,4	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	3,2	15,7	26,1	-	-	-	-	10,7	15,4	40,4	27,9	-
	Normal	1,3	0,4	0,7	3,6	6,3	-	-	-	-	5,9	9,6	11,5	10,1	-

JAMBI

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,4	-	13,8	-	-	-	-	8,4	5,5	-	10,1	-
	Normal	1,2	0,5	0,5	-	4,6	-	-	-	-	6,1	5,5	-	5,7	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,8	-	25,4	-	-	-	-	11,9	7,5	-	18,0	-
	Normal	1,3	0,4	0,4	-	6,0	-	-	-	-	8,0	7,5	-	8,2	-

BENGKULU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,2	-	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,5	-	12,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,3	0,4	0,4	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SUMATERA SELATAN (JALAN LINTAS TIMUR)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,6	7,2	8,8	-	-	-	-	9,0	11,0	7,5	10,2	-
	Normal	1,2	0,5	0,8	3,0	3,8	-	-	-	-	4,9	7,0	5,3	6,6	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	3,3	10,7	16,3	-	-	-	-	14,7	17,4	11,9	16,7	-
	Normal	1,3	0,4	0,7	3,4	4,9	-	-	-	-	6,3	9,3	7,1	8,9	-

LAMPUNG (JALAN LINTAS TIMUR)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,2	8,7	10,3	-	-	-	-	8,4	5,8	5,9	9,1	-
	Normal	1,2	0,5	0,7	2,6	4,2	-	-	-	-	4,1	4,1	3,4	5,6	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,9	14,6	18,4	-	-	-	-	12,5	8,2	8,3	14,9	-
	Normal	1,3	0,4	0,7	2,9	5,4	-	-	-	-	4,7	4,9	3,8	7,3	-

KEPULAUAN RIAU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,7	-	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,2	0,5	0,5	-	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,2	-	9,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	-	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

BANGKA BELITUNG

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,2	-	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,5	-	12,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,3	0,4	0,4	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) – JAWA**BANTEN – PANTURA**

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,9	-	3,5	-	6,6	-	-	4,0	5,4	6,3	8,7	-
	Normal	1,2	0,5	0,7	-	1,8	-	3,5	-	-	2,8	3,5	3,6	5,4	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	4,1	-	5,9	-	9,6	-	-	5,7	8,4	10,0	14,3	-
	Normal	1,3	0,4	0,6	-	2,2	-	3,9	-	-	3,4	4,7	4,7	7,1	-

BANTEN – LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	4,5	-	6,2	-	-	-	-	5,8	-	-	-	-
	Normal	1,2	0,5	1,5	-	3,1	-	-	-	-	3,7	-	-	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	6,3	-	10,3	-	-	-	-	8,3	-	-	-	-
	Normal	1,3	0,4	1,5	-	3,9	-	-	-	-	4,6	-	-	-	-

DKI PANTURA (CAKUNG – CILINCING)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,6	3,5	4,8	-	-	-	-	3,4	5,0	4,1	3,8	-
	Normal	1,2	0,5	1,4	2,0	2,9	-	-	-	-	2,7	3,6	2,7	2,9	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	3,2	4,9	7,2	-	-	-	-	4,1	6,8	5,4	5,0	-
	Normal	1,3	0,4	1,3	2,1	3,5	-	-	-	-	2,9	4,2	2,9	3,2	-

JAWA BARAT – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	3,8	7,8	16,3	-	-	12,9	-	6,7	12,8	14,8	20,8	-
	Normal	1,2	0,5	0,8	2,8	4,6	-	-	5,9	-	4,5	6,6	6,4	7,0	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	5,5	12,3	33,6	-	-	18,9	-	9,6	21,5	26,8	44,2	-
	Normal	1,3	0,4	0,7	3,2	6,3	-	-	6,9	-	5,7	8,6	8,9	9,6	-

JAWA BARAT – LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	3,5	-	5,7	-	-	-	-	4,0	2,6	4,1	4,4	-
	Normal	1,2	0,5	1,1	-	3,1	-	-	-	-	2,9	2,0	4,0	4,2	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	4,9	-	9,2	-	-	-	-	5,5	3,5	5,4	5,6	-
	Normal	1,3	0,4	1,0	-	4,0	-	-	-	-	3,5	2,2	5,2	5,3	-

JAWA BARAT – LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,4	-	9,8	-	-	-	-	3,8	-	12,0	26,3	-
	Normal	1,2	0,5	0,3	-	3,4	-	-	-	-	2,3	-	6,1	10,3	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,8	-	19,3	-	-	-	-	5,3	-	20,4	54,8	-
	Normal	1,3	0,4	0,2	-	4,4	-	-	-	-	2,7	-	8,5	15,1	-

JAWA TENGAH – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,6	14,9	11,2	-	-	12,2	-	9,4	14,2	15,8	22,2	-
	Normal	1,2	0,5	0,7	3,3	3,9	-	-	5,3	-	3,7	7,7	7,0	9,3	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	3,5	27,0	22,3	-	-	19,6	-	15,3	23,9	27,7	43,4	-
	Normal	1,3	0,4	0,6	3,8	5,3	-	-	6,1	-	4,2	10,7	9,9	13,7	-

JAWA TENGAH – LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	0,9	-	13,5	20,7	16,4	-	-	7,4	11,1	16,4	15,3	-
	Normal	1,2	0,5	0,3	-	4,4	4,8	4,9	-	-	5,0	8,1	7,5	8,4	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,1	-	26,8	47,0	29,4	-	-	10,5	17,0	28,7	27,4	-
	Normal	1,3	0,4	0,2	-	5,8	6,3	5,6	-	-	6,3	10,9	10,3	11,9	-

DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	3,8	-	6,4	-	-	-	-	6,4	3,5	6,2	5,2	-
	Normal	1,2	0,5	1,1	-	3,2	-	-	-	-	4,3	2,2	6,0	5,0	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	5,3	-	10,6	-	-	-	-	9,0	5,3	8,1	6,7	-
	Normal	1,3	0,4	1,0	-	4,0	-	-	-	-	5,3	2,4	7,9	6,4	-

JAWA TIMUR – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,2	8,1	14,3	-	10,2	16,9	-	9,8	15,5	21,4	21,7	-
	Normal	1,2	0,5	0,6	2,9	4,4	-	4,6	7,1	-	4,8	8,3	7,6	9,4	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,9	12,4	28,5	-	16,2	25,7	-	15,8	26,5	42,2	42,5	-
	Normal	1,3	0,4	0,6	3,4	6,0	-	5,2	8,4	-	5,9	11,7	10,8	13,9	-

JAWA TIMUR – JALAN LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,7	10,3	18,8	-	29,0	18,2	-	11,8	16,9	21,4	35,4	-
	Normal	1,2	0,5	0,7	3,1	5,5	-	7,6	8,1	-	7,6	10,3	7,1	12,8	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	3,7	16,5	35,3	-	53,9	26,7	-	17,2	27,2	46,5	70,1	-
	Normal	1,3	0,4	0,7	3,6	7,5	-	9,1	9,8	-	9,9	14,4	11,3	19,2	-

JAWA TIMUR – JALAN LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,7	4,9	14,6	-	17,8	-	-	9,9	15,1	15,4	29,4	-
	Normal	1,2	0,5	0,6	2,1	4,8	-	6,4	-	-	6,5	7,9	7,2	10,7	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,1	7,4	27,9	-	29,1	-	-	14,2	26,3	27,9	59,1	-
	Normal	1,3	0,4	0,5	2,4	6,5	-	7,5	-	-	8,4	10,9	10,6	16,0	-

JAWA TIMUR JALAN PENGHUBUNG LINTAS PULAU JAWA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,1	4,6	6,0	-	2,5	7,1	-	10,7	6,4	5,3	8,8	-
	Normal	1,2	0,5	0,3	2,5	3,4	-	1,5	5,0	-	7,4	5,1	3,8	6,1	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,4	6,3	9,5	-	3,5	9,1	-	15,3	9,1	8,4	13,5	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	2,8	4,3	-	1,6	5,7	-	9,5	6,5	5,1	8,2	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) – KALIMANTAN

KALIMANTAN BARAT / KALIMANTAN TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,5	-	4,9	-	-	-	-	2,6	5,1	3,9	7,6	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	2,5	-	-	-	-	2,4	5,1	3,9	4,3	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,9	-	8,7	-	-	-	-	3,3	6,8	5,2	13,3	-
	Normal	1,3	0,4	0,4	-	3,2	-	-	-	-	3,0	6,8	5,2	5,9	-

KALIMANTAN TIMUR

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,8	-	6,7	-	-	-	-	4,2	6,9	1,8	0,6	-
	Normal	1,2	0,5	0,6	-	3,8	-	-	-	-	3,2	5,3	1,8	0,6	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,3	-	10,7	-	-	-	-	5,8	9,9	2,6	0,5	-
	Normal	1,3	0,4	0,5	-	4,9	-	-	-	-	4,0	6,9	2,6	0,5	-

KALIMANTAN UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,1	-	6,7	-	-	-	-	3,7	-	-	-	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	4,3	-	-	-	-	3,1	-	-	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,2	-	10,3	-	-	-	-	4,6	-	-	-	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	-	5,5	-	-	-	-	3,6	-	-	-	-

KALIMANTAN SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,3	-	5,5	-	-	-	-	6,3	7,6	6,9	9,1	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	3,0	-	-	-	-	4,7	5,8	5,5	6,3	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,7	-	9,4	-	-	-	-	8,8	11,3	10,5	14,8	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	-	3,9	-	-	-	-	5,9	7,7	7,4	8,8	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) – SULAWESI

SULAWESI UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,2	9,0	13,2	-	-	-	-	10,6	11,5	-	31,8	-
	Normal	1,2	0,5	0,5	2,4	4,9	-	-	-	-	7,0	7,3	-	11,5	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,3	15,5	25,2	-	-	-	-	15,3	17,6	-	64,3	-
	Normal	1,3	0,4	0,4	2,8	6,5	-	-	-	-	9,0	9,9	-	17,2	-

GORONTALO - SULTENG – SULTRA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	0,9	-	16,9	-	-	-	-	10,5	10,7	-	24,8	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	4,9	-	-	-	-	6,8	4,1	-	9,7	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	0,9	-	34,0	-	-	-	-	15,2	19,7	-	48,9	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	-	6,6	-	-	-	-	8,9	5,5	-	14,6	-

SULAWESI BARAT

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	2,1	6,4	11,5	-	-	-	-	5,9	2,0	-	-	-
	Normal	1,2	0,5	0,6	2,3	4,4	-	-	-	-	4,3	2,0	-	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,9	9,9	21,3	-	-	-	-	8,5	2,2	-	-	-
	Normal	1,3	0,4	0,5	2,6	5,8	-	-	-	-	5,4	2,2	-	-	-

SULAWESI SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,7	8,1	6,3	-	-	-	-	5,9	9,5	6,4	5,4	-
	Normal	1,2	0,5	0,5	2,9	3,8	-	-	-	-	4,3	6,4	5,1	3,7	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	2,2	12,9	10,2	-	-	-	-	7,9	14,5	9,2	8,4	-
	Normal	1,3	0,4	0,5	3,4	5,0	-	-	-	-	5,3	8,5	6,6	4,6	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) – BALI – NUSA TENGGARA BARAT – NUSA TENGGARA TIMUR – MALUKU – MALUKU UTARA AND PAPUA BARAT – PAPUA

BALI

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	3,8	7,4	12,4	-	-	-	-	8,0	5,0	11,2	7,1	-
	Normal	1,2	0,5	1,0	2,6	4,7	-	-	-	-	4,9	4,2	5,2	5,5	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	5,2	11,6	23,4	-	-	-	-	12,3	7,2	20,7	11,9	-
	Normal	1,3	0,4	1,0	3,0	6,2	-	-	-	-	6,3	5,6	7,6	8,5	-

NUSA TENGGARA BARAT

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	1,4	3,8	9,8	-	-	-	-	3,5	2,6	3,0	4,3	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	1,7	3,5	-	-	-	-	2,5	2,6	2,9	3,5	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	1,8	5,6	18,0	-	-	-	-	4,9	3,3	4,4	6,8	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	1,8	4,7	-	-	-	-	3,0	3,3	4,1	5,1	-

**NUSA TENGGARA TIMUR – MALUKU – MALUKU UTARA
PAPUA BARAT – PAPUA**

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	0,8	-	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,2	0,5	0,4	-	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VDF5	Faktual	1,3	0,4	0,8	-	26,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,3	0,4	0,3	-	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN
PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

BAGIAN II

REHABILITASI PERKERASAN

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

1. PENDAHULUAN

1.1 Ruang Lingkup

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

- a. Desain beban lalu lintas dan umur rencana.
- b. Kondisi perkerasan eksisting.
- c. Kondisi drainase perkerasan eksisting.
- d. Desain lapis tambah (*overlay*) struktural.
- e. Desain lapis tambah nonstruktural.
- f. Desain ketebalan pengupasan dan pelapisan tambah (*mill and inlay*).
- g. Desain rekonstruksi perkerasan dengan teknologi daur ulang dan stabilisasi.
- h. Masalah pelaksanaan dan kinerja perkerasan.

Analisis lapis tambah menggunakan data lendutan dan lengkung lendutan dengan pendekatan desain mekanistik empiris untuk rehabilitasi jalan.

Manual ini harus memperhatikan aspek-aspek sebagai berikut:

- a. Penggunaan material yang efisien.
- b. Pertimbangan kepraktisan pelaksanaan.
- c. Penerapan analisis biaya siklus pelayanan selama periode analisis keekonomian (*discounted life cycle cost*).
- d. Koreksi terhadap faktor iklim yang mempengaruhi masa pelayanan perkerasan.
- e. Analisis beban sumbu yang realistis.
- f. Pengaruh temperatur.
- g. Struktur perkerasan lapis fondasi stabilisasi.
- h. Drainase perkerasan.
- i. Desain berdasarkan nomogram untuk rekonstruksi dengan teknologi daur ulang.

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

1.2 Pertimbangan Desain

Desain harus memenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut:

- a. menjamin tercapainya tingkat layanan jalan sepanjang umur rencana;
- b. biaya siklus masa pelayanan (*discounted lifecycle cost*) terendah;
- c. kemudahan pelaksanaan dan pemeliharaan;
- d. penggunaan material secara efisien dan pemanfaatan material lokal;
- e. faktor keselamatan pengguna jalan; dan
- f. kelestarian lingkungan.

Kebijakan desain terkait dengan penggunaan manual ini adalah:

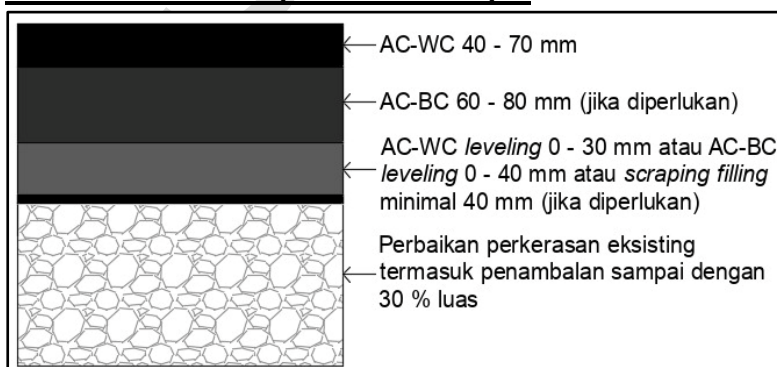
- a. Rencana pemeliharaan aset jalan harus dapat:
 - 1) mengoptimasi pelayanan dan pemeliharaan;

- 2) menyediakan rencana penanganan tahun jamak yang komprehensif;
 - 3) dimutakhirkan setiap tahun berdasarkan pekerjaan terkontrak yang telah selesai dan hasil survei kondisi jalan terakhir; dan
 - 4) memastikan bahwa peningkatan kapasitas dilakukan bersamaan dengan penanganan terjadwal lainnya.
- b. Prioritas penganggaran harus berdasarkan pada:
- 1) Kondisi jalan dengan prioritas:
 - a) kebutuhan pencegahan dan pengawetan; dan
 - b) kebutuhan pemeliharaan tertinggi.
 - 2) Sisa umur rencana (minimal 2 tahun untuk lalu lintas berat).
 - 3) Volume lalu lintas.
 - 4) Penghematan biaya selama umur pelayanan.
- c. 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.
- d. Perkerasan dengan kerusakan permukaan perkerasan yang berupa kerusakan deformasi plastis (keriting dan sungkur), retak (kulit buaya dan blok) dengan tingkat keparahan sedang sampai berat, *stripping* dan *revelling* dengan tingkat keparahan berat direkomendasikan penanganannya dengan pengupasan dan pengisian kembali (*scraping filling*) sebelum pelapisan tambah. Setelah pengupasan, ketebalan pelapisan tambah minimum harus ditambah dengan setebal kupasan rata-rata. Ketentuan ini tidak berlaku untuk daerah yang perlu penambalan, rekonstruksi atau daur ulang.
- e. Perkerasan yang rusak berat setempat-setempat, perkerasan dengan lendutan yang lebih tinggi ditinjau dari nilai karakteristik desain lapis tambah harus dilakukan pengembalian kondisi sebelum pelapisan tambah. Struktur penambalan minimum harus setara dengan struktur perkerasan eksisting untuk lokasi tersebut.

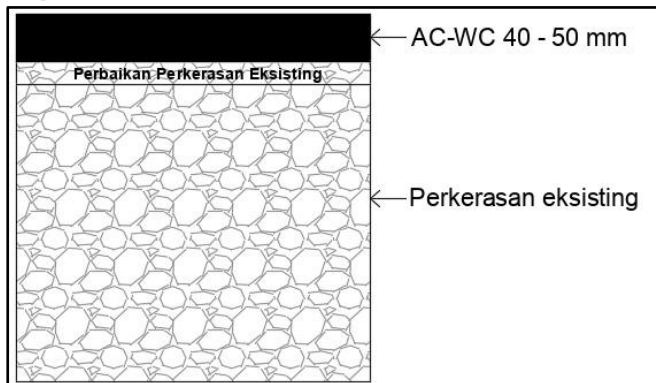
1.3 Jenis Struktur Perkerasan

Jenis struktur perkerasan pada Manual Desain Perkerasan Bagian II dapat dilihat pada Gambar 1.1.

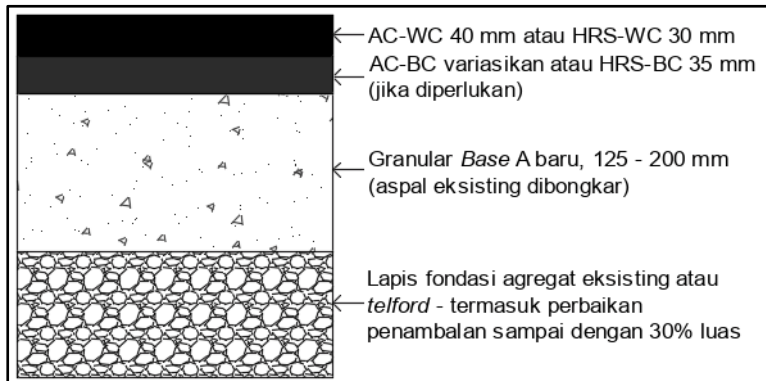
Standar Struktur Lapis Tambah Aspal



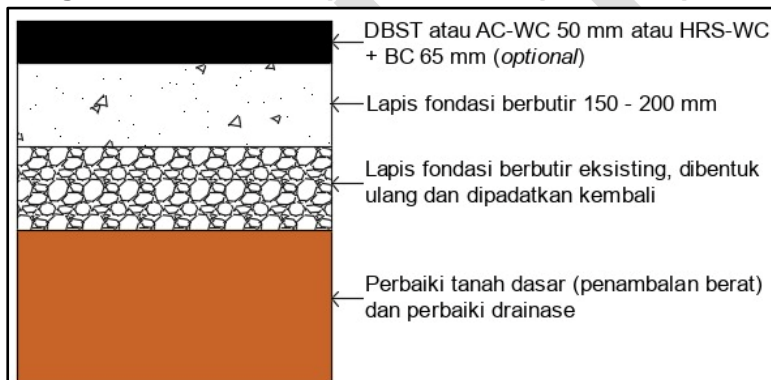
Lapis Tambah Nonstruktural



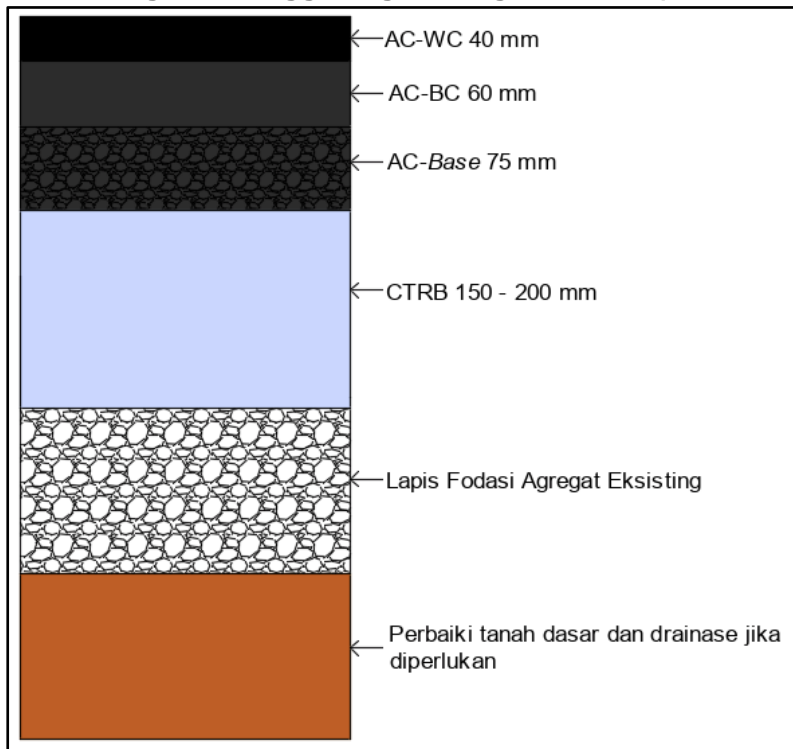
Rekonstruksi – Dengan Peningkatan Struktur



Pengkerikilan Kembali pada Jalan Tanpa Penutup



Daur Ulang – Penanggulangan dengan Semen (*Cement Treated*)



Gambar 1.1 Tipikal struktur perkerasan

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

1.4 Acuan Normatif

Acuan yang digunakan pada penyusunan Manual Desain Perkerasan Bagian 2 ini sebagai berikut.

- Guide for Design of Pavement Structure*, AASHTO (1993).
- Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures* (Withdrawn 2003), ASTM D 4123-82, ASTM (1995).
- Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements*, ASTM D 4695-03, ASTM, (2003).
- Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*, ASTM D 4694-09, ASTM, (2009).
- Guide to Pavement Technology Part 5: Pavement Evaluation and Treatment Design*, AGPT05-11, Austroad (2011).
- Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM C 496-96, ASTM (2017).
- Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Pavements*, AGPT 02-2017, Austroads (2017).
- Guide to Pavement Technology Part 5: Pavement Evaluation and Treatment Design*, AGPT05-19, Austroad (2019).

- i. *Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Tests of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*, ASTM D 1196/ D1196M-21, ASTM (2021).

1.5 Istilah dan Definisi

alur (*rutting*)

depresi permukaan pada jejak roda kendaraan. Di sepanjang sisi alur dapat terjadi peninggian. Pada beberapa kasus, alur dapat dilihat setelah hujan, yaitu apabila alur tergenang air. Alur berasal dari deformasi permanen pada lapis perkerasan atau tanah dasar, yang biasanya disebabkan konsolidasi atau pergerakan lateral bahan perkerasan akibat beban kendaraan

ambles/depresi (*depression*)

kondisi pada suatu lokasi, elevasi permukaan perkerasan lebih rendah dari permukaan perkerasan di sekitarnya. Ambles atau depresi diakibatkan oleh penurunan tanah dasar atau sebagai akibat pelaksanaan yang tidak semestinya. Ambles/depresi dapat menimbulkan ketidakrataan dan ketika cukup dalam serta tergenang air dapat menimbulkan *hydroplaning*

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

gompal

Kerusakan atau pecahnya tepi panel perkerasan kaku. Gompal sudut membentuk sudut dengan bidang vertikal, sedangkan gompal sambungan biasanya tidak membentuk bidang vertikal, tetapi membentuk sudut terhadap bidang datar

keriting (*corrugation*)

Keriting, dikenal juga dengan "papan cucian" ("*washboarding*"), merupakan seri punggung (*ridges*) dan lembah (*valleys*) yang jaraknya berdekatan, biasanya kurang dari 3 m (10 feet) dan terjadi cukup beraturan. Punggung dan lembah mempunyai arah yang tegak lurus terhadap arah lalu lintas. Penyebab keriting adalah lalu lintas yang dikombinasikan dengan lapis beraspal atau lapis fondasi yang tidak stabil

pelepasan butir (*ravelling*)

pelepasan butir merupakan fenomena tercabutnya butir-butir agregat kasar. Pelepasan butir dapat diakibatkan oleh kandungan aspal yang rendah, campuran yang kurang baik, pemadatan yang kurang, segregasi atau pengelupasan aspal

pemompaan (*pumping*)

fenomena keluarnya bahan fondasi melalui sambungan atau retak. Pemompaan terjadi akibat defleksi pelat pada saat roda kendaraan melintasi sambungan. Pertama-tama air di bawah

panel yang pertama tertekan dan kemudian tertekan kembali oleh panel yang ke dua. Proses tersebut menimbulkan erosi butir-butir tanah sehingga di bawah panel timbul rongga dan akhirnya panel kehilangan daya dukung

penanganan sementara (*interim treatment*)

penanganan sementara untuk mempertahankan kondisi jalan sampai solusi yang permanen dapat dilaksanakan

penanggaan (*faulting*)

perbedaan elevasi dua panel yang berdampingan pada sambungan. Penyebab umum penanggaan adalah penurunan (*settlement*) karena fondasi yang lunak, pemompaan atau erosi bahan di bawah panel, atau pelengkungan (*curling*) bagian tepi panel sebagai akibat perubahan temperatur atau kelembaban

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

penurunan lajur atau bahu (*lane/shoulder drop off*)

perbedaan elevasi permukaan bagian tepi perkerasan dengan permukaan bahu. Kerusakan ini diakibatkan oleh erosi atau penurunan bahu, atau pelaksanaan pembangunan yang tidak memperhatikan ketinggian perkerasan dan bahu

punch out

fenomena dengan panel pecah menjadi beberapa bagian. *Punch out* dapat terjadi dalam beberapa bentuk dan ukuran, namun biasanya hal tersebut dibatasi oleh retak dan sambungan. Jarak antara sambungan dan retak atau antara dua retak yang berdekatan adalah <1,5 m (<5 feet)

retak aktif (*working crack*)

retak aktif juga merupakan retakan yang memiliki pergerakan 3 mm atau lebih pada kurun waktu tertentu. Retak aktif pada umumnya menunjukkan beberapa perubahan arah, lebar atau kedalaman yang diakibatkan oleh beban jalur roda yang melintas di atas perkerasan

retak kulit buaya (*alligator cracking*)

rangkaian retak saling berhubungan pada permukaan lapis beton aspal sebagai akibat keruntuhan leleh oleh beban kendaraan yang berulang. Akibat beban kendaraan berulang yang terus menerus, retak menjadi saling berhubungan dan membentuk kotak-kotak dengan sudut tajam yang menyerupai pola kawat kandang ayam atau pola kulit buaya

retak memanjang dan melintang (bukan retak refleksi)

retak memanjang merupakan retak yang sejajar dengan sumbu jalan atau arah penghamparan. Retak memanjang dapat disebabkan oleh pembentukan sambungan memanjang yang kurang baik, penyusutan lapis beton aspal yang diakibatkan oleh temperatur yang rendah atau penuaan aspal, atau siklus temperatur harian, atau gabungan dari faktor-faktor tersebut, serta retak refleksi dari retak pada lapisan di bawah lapis permukaan, termasuk retak pada pelat kaku, tetapi bukan sambungan pelat kaku. Retak melintang

merupakan retak yang terjadi pada arah lebar perkerasan dan hampir tegak lurus sumbu jalan atau arah penghamparan. Retak melintang biasanya tidak terkait dengan beban

retak refleksi sambungan (*joint reflection cracking*)

hanya mencakup retak yang terjadi pada lapis beton aspal yang dihampar pada perkerasan kaku bersambung, tidak mencakup retak refleksi yang berasal dari lapis fondasi lain yang distabilisasi. Retak refleksi diakibatkan oleh pergerakan pelat kaku yang ditimbulkan oleh perubahan temperatur atau kadar air pada pelat beton. Meskipun kerusakan ini tidak terkait dengan beban, namun beban kendaraan dapat menghancurkan beton aspal di sekitar retak

retak tepi (*edge cracking*)

retak tepi merupakan retak yang sejajar dengan tepi perkerasan dan biasanya terjadi sekitar 0,3 m sampai 0,5 m (1 *feet* sampai 1,5 *feet*) dari tepi luar perkerasan. Retak tepi diperparah oleh beban kendaraan dan dapat ditimbulkan oleh pelemahan lapis fondasi atas atau tanah dasar

segmen seragam (*homogeneous section*)

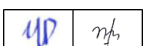
segmen jalan yang dapat ditangani sebagai satu kesatuan desain perkerasan berdasarkan kesamaan daya dukung tanah dasar, lendutan, IRI, kondisi visual atau kombinasi dari faktor-faktor tersebut

sungkur (*shoving*)

perubahan bentuk longitudinal lapis permukaan yang permanen dan setempat sebagai akibat beban kendaraan. Pada saat beban kendaraan mendorong lapis permukaan, maka pada lapis permukaan akan terjadi gelombang yang pendek. Kerusakan ini biasanya hanya terjadi pada campuran beraspal yang tidak stabil (misal campuran yang menggunakan aspal cair atau aspal emulsi). Sungkur juga dapat terjadi pada lapis beton aspal yang berbatasan dengan perkerasan kaku, yaitu pada saat pelat kaku memanjang sehingga mendorong lapis beraspal

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



2. LALU LINTAS DAN UMUR RENCANA

Umur rencana untuk berbagai jenis penanganan lapis tambah ditunjukkan pada Tabel 2.1 untuk perkerasan lentur dan Tabel 2.2 untuk perkerasan kaku. Ketentuan lain mengenai analisis lalu lintas, penentuan nilai VDF dan JSKN, mengacu pada Bagian 1 Struktur Perkerasan Baru (Bab 4 mengenai lalu lintas), kecuali penentuan nilai VDF untuk perencanaan tebal lapis tambah dengan metode AASHTO 1993.

Tabel 2.1 Umur rencana jenis penanganan perkerasan lentur

a. Penanganan Perkerasan Lentur dengan Perkerasan Lentur		
Kriteria Beban Lalu Lintas (juta ESA4)	ESA 4 < 10	ESA 4 ≥ 10
Umur Rencana Perkerasan Lentur	Seluruh penanganan: 10 tahun	<ul style="list-style-type: none"> - Rekonstruksi – 20 tahun - Lapis tambah struktural – 10 tahun - Lapis tambah non struktural – 10 tahun - Penanganan sementara – sesuai kebutuhan
b. Penanganan Perkerasan Lentur dengan Perkerasan Kaku		
Kriteria Beban Lalu Lintas (JSKN)	JSKN < 15 Juta	JSKN ≥ 15 Juta
Umur Rencana Perkerasan Lentur	Seluruh penanganan: 15 tahun	- Rekonstruksi dan lapis tambah dengan perkerasan kaku – 40 tahun

Tabel 2.2 Umur rencana jenis penanganan perkerasan kaku dengan perkerasan lentur

Kriteria beban lalu lintas (JSKN)	JSKN < 15 Juta	JSKN ≥ 15 Juta
Umur Rencana Perkerasan Kaku	Seluruh penanganan: 15 tahun	<ul style="list-style-type: none"> - Lapis tambah struktural – 10 tahun - Lapis tambah non struktural – 10 tahun - Penanganan sementara – sesuai kebutuhan

Untuk menghindari terjadinya segmen-segmen pendek dengan perbedaan umur yang signifikan akibat penanganan rehabilitasi/rekonstruksi yang pendek-pendek pada suatu ruas (papan catur), maka umur rencana penanganan segmen yang bersangkutan dapat disesuaikan dengan umur rencana penanganan yang paling dominan pada ruas tersebut.

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 teknis.

- Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (seperti Burtu atau Burda), perkerasan tanpa penutup (*Unsealed granular pavement*) dan perencanaan teknis tebal lapis tambah berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur (*rutting*).
- Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan beton aspal dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan teknis tebal lapis tambah berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak lelah (*fatigue*).
- ESA AASHTO digunakan untuk desain tebal lapis tambah pada perkerasan lentur dan kaku dengan menggunakan metode AASHTO 1993
- Desain perkerasan kaku menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan niaga (JSKN) dan bukan nilai ESA sebagai satuan beban lalu lintas untuk perkerasan beton.

Dalam perhitungan lapis tambah menggunakan metode AASHTO 1993 diperlukan perhitungan beban lalu lintas rencana yang dinyatakan dalam ekuivalen sumbu standar sesuai dengan yang tertera pada dokumen AASHTO 1993, dalam MDP ini dinyatakan sebagai ekuivalen beban sumbu standar (ESA) AASHTO.

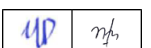
Untuk mendapatkan repitisi beban lalu lintas rencana salah satunya diperlukan beban sumbu masing-masing kelas kendaraan. Untuk mendapatkan beban sumbu gandar masing-masing kelas kendaraan sebaiknya dilakukan pengukuran langsung di lapangan.

Berdasarkan hasil penimbangan terhadap beban sumbu pada setiap kelas kendaraan selanjutnya untuk memperoleh besaran ekuivalen beban sumbu standar (ESA) AASHTO untuk setiap sumbu pada setiap kelas kendaraan, yaitu dengan mengacu Lampiran I.1.1 untuk faktor ekuivalen beban sumbu standar untuk desain lapis tambah perkerasan lentur di atas perkerasan jalan eksisting berupa perkerasan lentur dan pada Lampiran I.2.1 untuk faktor ekuivalen beban sumbu standar untuk desain lapis tambah perkerasan lentur di atas perkerasan jalan eksisting berupa perkerasan kaku. Selanjutnya dapat diperoleh besaran nilai VDF AASHTO yang mewakili untuk setiap kelas kendaraan.

Bilamana survei penimbangan beban sumbu kendaraan tidak mungkin dilakukan oleh perencana teknis maka dapat menggunakan nilai VDF AASHTO pada Lampiran I.1.2 untuk desain lapis tambah perkerasan lentur di atas perkerasan jalan eksisting berupa perkerasan lentur dan Lampiran I.2.2 untuk desain lapis tambah perkerasan lentur di atas perkerasan jalan eksisting berupa perkerasan kaku. Jika tidak tersedianya nilai VDF kelas kendaraan tertentu maka dapat diambil untuk kendaraan dengan kelompok sumbu yang relatif sama.

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



3. KONDISI PERKERASAN EKSTING

3.1 Kasus Umum

Bab 6 Bagian 1 tentang Desain Fondasi Jalan 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 untuk rekonstruksi diukur dengan menggunakan:

- a. DCP pada periode terbasah sepanjang tahun;
- b. klasifikasi tanah seperti ditunjukkan pada Bagan Desain-1 (Bagian 1); atau
- c. 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 balik (*back calculation*) data lendutan. Nilai CBR yang diperoleh dari analisis lendutan dengan perhitungan balik 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.

Pada analisa penentuan ketebalan yang diperlukan pada rehabilitasi dan rekonstruksi, perlu dilakukan penyelidikan tebal perkerasan eksisting dengan tingkat akurasi yang tinggi. Yaitu dengan melakukan *test pit* dengan interval yang sesuai keseragaman konstruksi berdasarkan data historis perkerasan jalan sesuai dengan *database*. Jika *database* tidak tersedia, dapat menggunakan *georadar* dengan divalidasi oleh beberapa titik *test pit* pada ruas yang ditinjau.

Nilai karakteristik yang digunakan dalam perencanaan teknis sesuai prinsip-prinsip yang sama seperti untuk analisis tanah dasar perkerasan baru. Untuk penentuan segmen homogen dalam perencanaan teknis rehabilitasi dapat menggunakan data lendutan dengan persamaan sebagai berikut sebagai berikut:

- a. Koefisien variasi segmen yang homogen = (standar deviasi lendutan)/(lendutan rata-rata), dan tidak boleh melebihi 0,3.
Lendutan karakteristik = lendutan rata-rata + L_{SF} x standar deviasi (L_{SF} berdasarkan banyak titik pengujian, lihat Tabel 3.1).
- b. Ketebalan sisa perkerasan eksisting sesudah penanganan yang lain = ketebalan sisa rata-rata – 1,28 x standar deviasi (reliabilitas 90%).

Tabel 3.1 Nilai L_{SF} yang direkomendasikan

Jumlah Pengukuran Defleksi	L_{SF}	Jumlah Pengukuran Defleksi	L_{SF}
10	1,38	19	1,33
12	1,36	24	1,32
14	1,35	≥ 30	1,31
16	1,34		

3.2 Jalan dengan Lalu Lintas Rencana Lebih dari 10 Juta ESA4

Data lendutan maksimum dianggap tidak cukup memadai untuk desain lapis tambah 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:

- Modulus eksisting dan daya dukung tanah dasar harus diukur atau menggunakan nilai seperti dinyatakan dalam Bagian 1 Bab 6 dan Bab 7. Adapun untuk koefisien lapis material lapis tambah dapat dilihat pada Tabel 6.9.
- 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.
- Untuk lalu lintas > 30 juta ESA4 dan dibutuhkan rekonstruksi, dapat dipertimbangkan penggunaan perkerasan kaku.
- Jika perkerasan eksisting merupakan perkerasan kaku yang akan dilebarkan, maka sebaiknya konstruksi pelebarannya juga menggunakan perkerasan kaku.
- Jika perkerasan eksisting masih mengalami penurunan. Baik rehabilitasi maupun rekonstruksi, tidak direkomendasikan menggunakan perkerasan kaku.
- Jika beban lalu lintas rencana 30 juta ESA4 dan lendutan cukup besar, maka penggunaan lapis tambah aspal modifikasi dapat dipertimbangkan.
- Bila bukti historis perkerasan eksisting menunjukkan kerusakan berlebihan, penanganan membutuhkan rekonstruksi dan terdapat lapisan tanah lunak yang relatif tidak dalam maka menggunakan teknologi *geofoam* timbunan ringan, namun untuk tanah lunak yang cukup dalam maka dapat menggunakan metode pendukung seperti cakar ayam atau *micro pile*.

3.3 Survei Kondisi dan Koreksi Perkerasan Sebelum Lapis Tambah

Secara umum evaluasi kondisi perkerasan harus melihat pada dua hal yaitu kondisi fungsional dan kondisi struktural. Kondisi fungsional merupakan kondisi perkerasan yang didasarkan pada tingkat kenyamanan pengguna jalan. Sedangkan kondisi struktural adalah kemampuan perkerasan dalam melayani beban lalu lintas. Penanganan perkerasan harus melihat pada dua kondisi tersebut.

Biasanya pengguna jalan hanya tertarik pada tingkat kondisi fungsional atau *serviceability* dari perkerasan jalan. Namun penurunan kondisi fungsional seringkali dapat dijelaskan dengan penurunan kondisi struktural.

Perlu dicatat bahwa kondisi perkerasan seringkali bervariasi secara substansial dengan waktu, sehingga data kondisi memiliki rentang umur yang terbatas. Selain itu, data dapat dipengaruhi oleh kondisi iklim pada saat data dikumpulkan. Maka data yang digunakan dalam menganalisis perkerasan dan memilih penanganan yang tepat harus relevan dan sesuai dengan tujuan penanganan.

Pengumpulan data historis perkerasan jalan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses investigasi kondisi perkerasan, hal ini berkaitan dengan detail dan konstruksi yang telah dilakukan. Data desain perkerasan eksisting perlu dikumpulkan dalam membantu investigasi kondisi perkerasan.

Dalam penanganan kondisi fungsional perlu memerhatikan intensitas dan kerapatan kondisi kerusakan yang terjadi. Jika kondisi kerusakan fungsional terjadi dalam titik-titik yang tidak merata maka kondisi penanganan dapat dilakukan secara setempat. Jika kondisi kerusakan sudah merata maka penanganan berupa *mill and inlay* dapat menjadi solusi. Hal yang sama dengan penanganan kondisi struktural, seperti lapis tambah atau penanganan setempat perlu melihat pada kerapatan kerusakan di ruas jalan tersebut.

Dalam perencanaan teknis tebal lapis tambah, harus dilakukan survei kondisi perkerasan. Perbaikan yang perlu dilakukan sebelum lapis tambah 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 lapis-lapis tambah terjadi akibat tidak diperbaikinya kerusakan perkerasan eksisting sebelum lapis tambah.

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

Survei drainase dan kerusakan akibat air, daur ulang perkerasan sebagai alternatif dari lapis tambah dibahas secara khusus pada Bab Drainase Perkerasan Eksisting.

Beberapa kerusakan perkerasan perlu dilakukan penanganan terlebih dahulu sebelum lapis tambah. Berikut adalah beberapa tipe jenis kerusakan yang harus dilakukan penanganan, apabila tidak dilakukan maka lapis lapis tambah dapat mengalami kerusakan dini.

- a. Retak kulit buaya: Semua daerah yang mengalami kerusakan kulit buaya yang cukup parah harus diperbaiki. Penanganan harus termasuk pada perbaikan lapis *subsurface* untuk memastikan integritas struktural perkerasan.
- b. Retak refleksi: Jenis kerusakan yang sering terjadi setelah lapis tambah 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.

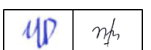
- c. Alur pada perkerasan: Penyebab alur pada perkerasan aspal perlu diketahui sebelum desain tebal lapis tambah. Apabila alur terjadi pada perkerasan eksisting diakibatkan oleh ketidakstabilan lapis aspal, lapis tambah secara langsung bukan solusi yang tepat. Pengupasan (*milling*) harus dilakukan untuk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

Bilamana terjadi kerusakan berupa retak-retak, alur, deformasi plastik (seperti: keriting dan sungkur), dan lainnya dengan tingkat kerapatan yang tinggi untuk menjamin keseragaman struktur perkerasan yang akan diperbaiki maka penanganan yang harus dilakukan dengan melaksanakan pengupasan lapisan permukaan perkerasan eksisting dengan alat *milling*.

SALINAN

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



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 teknis rehabilitasi, perencana teknis 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 teknis 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:

- a. kemiringan memanjang;
- b. kemiringan melintang;
- c. lebar lapisan perkerasan;
- d. struktur dan tebal perkerasan;
- e. ketinggian timbunan dan kedalaman galian;
- f. kemiringan dan dimensi kelengkapan drainase seperti saluran dan gorong-gorong; dan
- g. 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:

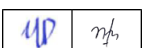
- a. Apakah air mengalir dengan baik melalui permukaan perkerasan dan bahu jalan;
- b. apakah ada akumulasi air pada perkerasan dan sekitarnya;
- c. ketinggian muka air di saluran;
- d. apakah air pernah melimpah dari saluran;
- e. apakah ada air pada sambungan atau retakan perkerasan;
- f. apakah ada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

4.3 Perbaikan Drainase

Pada spot-spot perkerasan eksisting yang akan dilakukan rehabilitasi yang terindikasi penyebab kerusakannya akibat pengaruh intrusi air melalui permukaan atau rembesan dari tepi kiri dan kanan serta *uplift* dari muka air tanah yang menyebabkan air terjebak dibawah permukaan perkerasan. Untuk menangani spot-spot perkerasan eksisting tersebut perlu diperbaiki sistem drainasenya seperti pembuatan subdrain, perbaikan saluran tepi atau saluran samping. Bilamana perkerasan tersebut perlu dilakukan reconstruksi, maka perbaikannya harus termasuk pemasangan lapisan drainase yang menerus hingga ke saluran tepi.

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



5. PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN

Pemilihan perkerasan bervariasi tergantung pada lalu lintas dan umur rencana, serta jenis penanganan. Untuk perkerasan lentur ditunjukkan pada Tabel 5.1, sedangkan untuk perkerasan kaku ditunjukkan pada Tabel 5.2. Faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan:

- 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.
- Umur rencana lapis tambah perkerasan lentur adalah 10 (sepuluh) tahun.
- Jika tebal lapis tambah 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 lapis tambah.
- Bahan pengikat modifikasi memberikan manfaat yang signifikan namun membutuhkan sumber daya kontraktor dan keahlian yang sering kali tidak tersedia. Aspal modifikasi dapat memperlebar rentang volume beban lalu lintas untuk penggunaan lapis tambah aspal tipis dan lapis aus dengan lalu lintas berat.
- Perkerasan kaku dapat menjadi solusi yang tepat untuk jalan yang rusak berat dengan beban lalu lintas 20 (dua puluh) tahun $> 10 \times 10^6$ ESA4, namun demikian perbandingan desain dan analisis biaya perlu dilakukan.
- Daur ulang (*recycling*) membutuhkan peralatan dan kontraktor dengan keahlian khusus. Tinggi minimum permukaan tanah dasar di atas muka air tanah dan level muka air banjir adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5.1 Bagian I.

Tabel 5.1 Pemilihan jenis teknologi lapis tambah

LAPIS TAMBAH PERKERASAN EKSISTING			
Struktur Perkerasan	Kumulatif ESA4 20* tahun (juta)**	Kumulatif ESA4 20* tahun (juta)**	
	< 10	>10 - 30	>30
AC WC/BC Pen 60/70			
AC W /BC Modifikasi			

Keterangan:

* 20 tahun digunakan untuk menyetarakan perbandingan, bukan sebagai umur rencana. Umur rencana lapis tambah AC adalah 10 (sepuluh) tahun (lihat butir (b) di atas).

** ESA5 digunakan untuk perhitungan lapis tambah dengan campuran aspal.

Tabel 5.2 Pemilihan jenis rekonstruksi perkerasan

REKONSTRUKSI					
Struktur Perkerasan	Kumulatif ESA5 20* tahun (juta)**				
	<0,1	0,1 - 4	4 - 10	>10-30	>30
Perkerasan beton di atas tanah normal					
CTRB + Foam Bitumen + AC Modifikasi					
CTRB + AC modifikasi					

REKONSTRUKSI					
Struktur Perkerasan	Kumulatif ESA5 20* tahun (juta)**				
	<0,1	0,1 - 4	4 - 10	>10-30	>30
CTRB + AC					
HRS + lapis fondasi agregat kelas A					
Perkerasan tanpa penutup					

Keterangan:

*20 tahun digunakan untuk menyetarakan perbandingan, bukan sebagai umur rencana. Umur rencana lapis tambah AC adalah 10 (sepuluh) tahun (lihat butir (b) di atas).

**ESA5 digunakan untuk menyetarakan perbandingan berbagai alternatif penanganan reconstruksi. Ketentuan di atas tidak berlaku mutlak, perencana teknis 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.

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

6. DESAIN TEBAL LAPIS TAMBAH

6.1 Pendahuluan

Bab ini menguraikan prosedur penentuan desain tebal lapis tambah untuk memperbaiki perkerasan eksisting yang mengalami *distress* atau kerusakan struktural.

Penanganan lapis tambah seringkali dimaksudkan untuk memperbaiki fungsi jalan misalnya penanganan bentuk permukaan, kenyamanan dan perbaikan lain pada permukaan jalan yang sifatnya nonstruktural.

Acuan untuk desain lapis tambah pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur dengan lalu lintas rencana di atas 10×10^6 ESA4 menggunakan metode AASHTO 1993.

Pendekatan dalam penentuan lapis tambah secara umum meliputi dua kriteria, yaitu:

- a. deformasi permanen menggunakan lendutan maksimum; dan
- b. retak lelah menggunakan lengkung lendutan.

Jika diperlukan lapis tambah untuk perkerasan dengan beban lalu lintas rencana ≥ 100.000 ESA4, maka perlu dilakukan pemeriksaan kinerja terhadap *fatigue* pada lapis tambah. Pada jalan dengan lalu lintas rendah (< 100.000 ESA4) dan perkerasan 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 Lapis tambah digunakan metode desain lapis tambah *Austroads* AGPT05-11. Lendutan maksimum (D_0) digunakan untuk menentukan tebal lapis tambah yang berfungsi untuk mencegah terjadinya alur dan perubahan bentuk permanen pada *subbase* dan tanah dasar.

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 lapis tambah mampu menahan retak lelah.

Perkiraan kinerja berdasarkan retak lelah dihitung menggunakan lengkung lendutan karakteristik (D_0 - D_{200}). Bagan desain untuk menghitung ketebalan lapis tambah berdasarkan nilai lengkung lendutan dan rentang beban lalu lintas untuk kondisi iklim tropis ditunjukkan pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4.

6.2 Prosedur Desain Lapis Tambah

Terdapat tiga prosedur tebal lapis tambah campuran aspal di atas perkerasan lentur berdasarkan beban lalu lintas yaitu:

- a. 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 tersebut, kinerja *fatigue* lapis tambah pada desain jalan dengan beban lalu lintas rencana lebih kecil dari 100.000

ESA4 dan perkerasan dengan HRS tidak diperlukan. Desain tebal lapis tambah cukup dengan pendekatan lendutan maksimum (D_0).

b. Lalu lintas lebih besar dari $100.000 < \text{ESA4} < 10 \times 10^6 \text{ ESA4}$

Pada jalan dengan lalu lintas lebih besar dari 100.000 ESA4 terdapat potensi retak lelah (*fatigue*) pada lapisan aspal. Dengan demikian, harus diperhitungkan kriteria deformasi permanen dengan pendekatan lendutan maksimum D_0 dan kriteria retak lelah dengan pendekatan lengkung lendutan, D_0 - D_{200} .

c. Lalu Lintas lebih besar $10 \times 10^6 \text{ ESA4}$

Untuk pekerjaan rehabilitasi dengan beban lalu lintas lebih besar daripada $10 \times 10^6 \text{ ESA4}$ harus digunakan prosedur mekanistik empiris 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 lapis tambah 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 AASHTO 1993 temperatur perkerasan standar untuk lendutan maksimum (D_0) yang digunakan adalah 68°F atau 20°C. Dengan demikian, lendutan maksimum pada temperatur perkerasan saat pengukuran harus distandarkan ke temperatur 20°C.

Apabila akan melakukan analisa menggunakan metoda AASHTO 1993, maka pengambilan data pada perkerasan lentur direkomendasikan untuk dilakukan pada temperatur perkerasan maksimum 30°C. Sedangkan pengambilan data lendutan pada perkerasan kaku direkomendasikan pada temperatur lingkungan di bawah 27°C. Penentuan metoda tebal lapis tambah dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Metoda lapis tambah

No.	Kebutuhan Desain	Metoda	Input Beban Lalu Lintas	Satuan Beban Lalu Lintas
1	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di Atas Perkerasan Lentur			
	• Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas Lebih Kecil atau Sama dengan 100.000 ESA4	Lendutan balik maksimum	VDF4	CESA4
	• Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas 100.000 ESA4 sampai dengan $10 \times 10^6 \text{ ESA4}$	Lendutan balik maksimum Lengkung lendutan	VDF4 VDF5	CESA4 CESA5
	• Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas Lebih Besar dari $10 \times 10^6 \text{ ESA4}$	AASHTO 1993	VDF AASHTO Lentur	CESA AASHTO Lentur
2	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di Atas Perkerasan Kaku (AC di atas JPCP, JRCP, CRCP)	AASHTO 1993	VDF AASHTO Kaku	CESA AASHTO Kaku

3	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di Atas Perkerasan Komposit (AC di Atas AC/JPCP, AC/JRCP, dan AC/CRCP)	AASHTO 1993	VDF AASHTO Kaku	CESA AASHTO Kaku
4	Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Beton Semen Di Atas Perkerasan Lentur (JPCP di Atas AC)	Modifikasi Metoda <i>Austrroads</i> AGPT05-19 dan AASHTO 1993	Distribusi sumbu kendaraan berat dan JSKN	JSKN

6.3 Desain Tebal Lapis Tambah Nonstruktural

Tebal lapis tambah harus lebih besar atau sama dengan tebal minimum. Permukaan yang tidak rata memerlukan lapis aspal yang lebih tebal untuk mencapai level kerataan yang dikehendaki. Untuk mencapai IRI yang diharapkan, pengupasan (*milling*) lapis permukaan beraspal perlu dipertimbangkan. Adapun kerusakan permukaan perkerasan yang berupa kerusakan deformasi plastis (keriting dan sungkur), retak (kulit buaya dan blok) dengan tingkat keparahan sedang sampai berat, *stripping* dan *ravelling* dengan tingkat keparahan berat direkomendasikan penanganannya dengan pengupasan (*milling*) sebelum pelapisan tambah. Apabila lapis tambah didesain hanya untuk memperbaiki kerataan saja (nonstruktural), gunakan tebal lapis tambah dari Tabel 6.2 di bawah ini.

Tabel 6.2 Tebal lapis tambah untuk menurunkan IRI (nonstruktural)

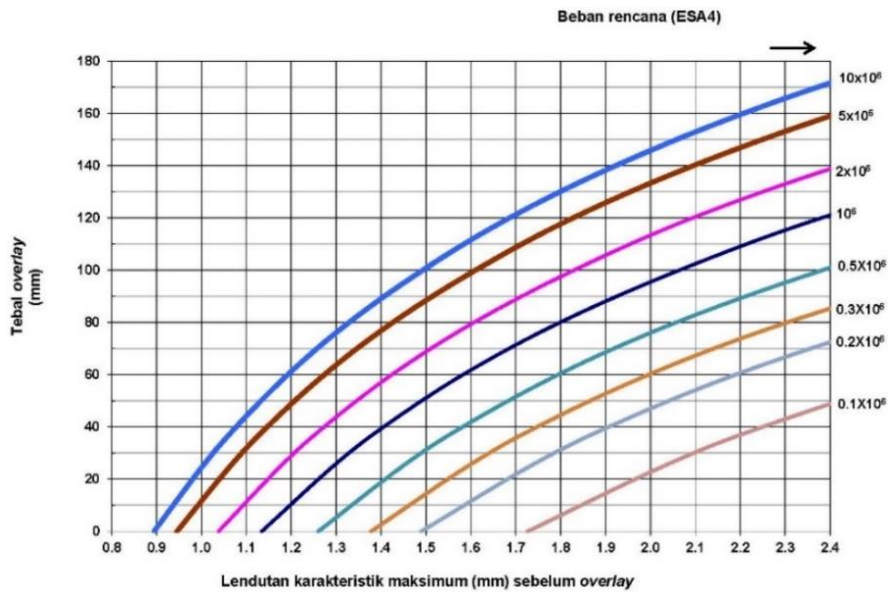
IRI Rata-Rata Perkerasan Eksisting	Tebal Lapis Tambah Minimum Nonstruktural untuk Mencapai IRI 3 m/km Setelah Lapis tambah (mm)
4	40
5	45
6	50

6.4 Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Lentur

6.4.1 Desain Tebal Lapis Tambah Untuk Lalu Lintas Lebih Kecil atau sama dengan 100.000 ESA4

Bagan desain Gambar 6.1 digunakan untuk menentukan kebutuhan lapis tambah untuk mengantisipasi deformasi permanen. Untuk menentukan tebal lapis tambah 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 lapis tambah pada sumbu vertikal. Bagan desain Gambar 6.1 berlaku untuk beban rencana sampai dengan 10×10^6 ESA4.



Gambar 6.1 Solusi lapis tambah berdasarkan lendutan balik *benkelman beam* untuk WMAPT 41°C

6.4.2 Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas 1×10^6 ESA5 sampai dengan 20×10^6 ESA5

Untuk lalu lintas dengan beban lebih besar dari 1×10^6 ESA5 sampai dengan 20×10^6 ESA5, desain tebal menggunakan Gambar 6.1 tersebut harus digunakan bersamaan dengan Gambar 6.3 dan Gambar 6.4 untuk mengantisipasi retak lelah. Dalam penggunaannya dibutuhkan justifikasi teknis, jika tidak ada indikasi potensi kegagalan tanah dasar, solusi berdasarkan lengkung lendutan sudah cukup memadai.

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 lapis tambah berdasarkan lengkung lendutan adalah sebagai berikut:

- Gunakan alat FWD, atau apabila menggunakan alat BB (*benkelman beam*), lakukan pengukuran mengikuti prosedur yang disetujui untuk mengukur lengkung lendutan.
- Tentukan nilai rata-rata lengkung lendutan sebelum lapis tambah sebagai nilai lengkung lendutan yang mewakili atau nilai karakteristik.
- 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-langkah di atas dengan faktor penyesuaian faktor koreksi lengkung lendutan BB ke FWD. (Catatan: koreksi temperatur tidak diperlukan).
- Tentukan tebal lapis tambah yang dibutuhkan sesuai ketentuan dalam Subbab 6.2.

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

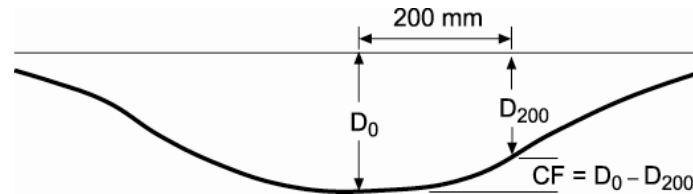
$$CF = D_0 - D_{200} \quad (6.1)$$

Keterangan:

D_0 : Karakteristik lendutan maksimum pada suatu titik uji pada pusat beban (mm)

D_{200} : Karakteristik lendutan yang terjadi pada titik yang berjarak 200 mm dari titik uji (pusat beban) (mm)

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

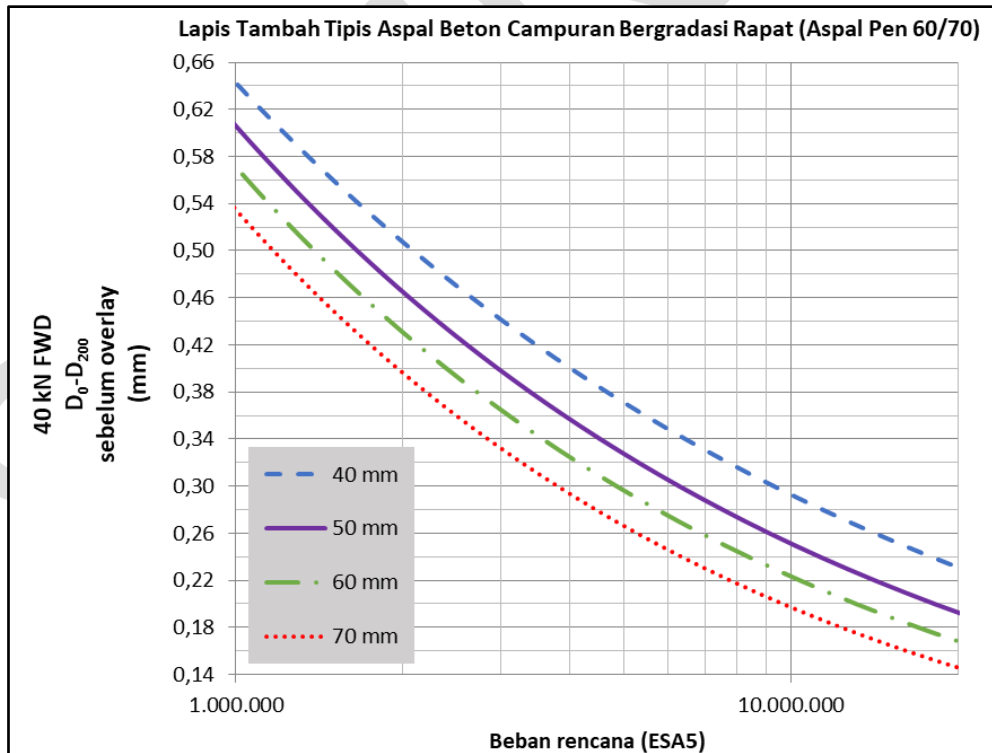


Gambar 6.2 Fungsi lengkung lendutan

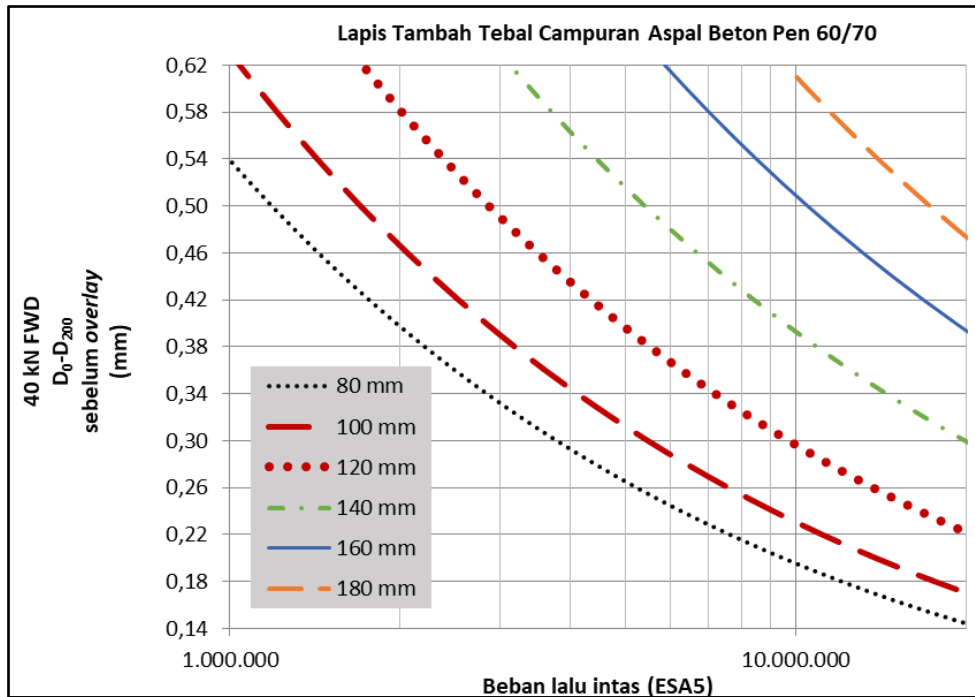
Sumber: Austroads 2008

6.4.2.1 Grafik Desain Lengkung Lendutan pada WMAPT 41°C

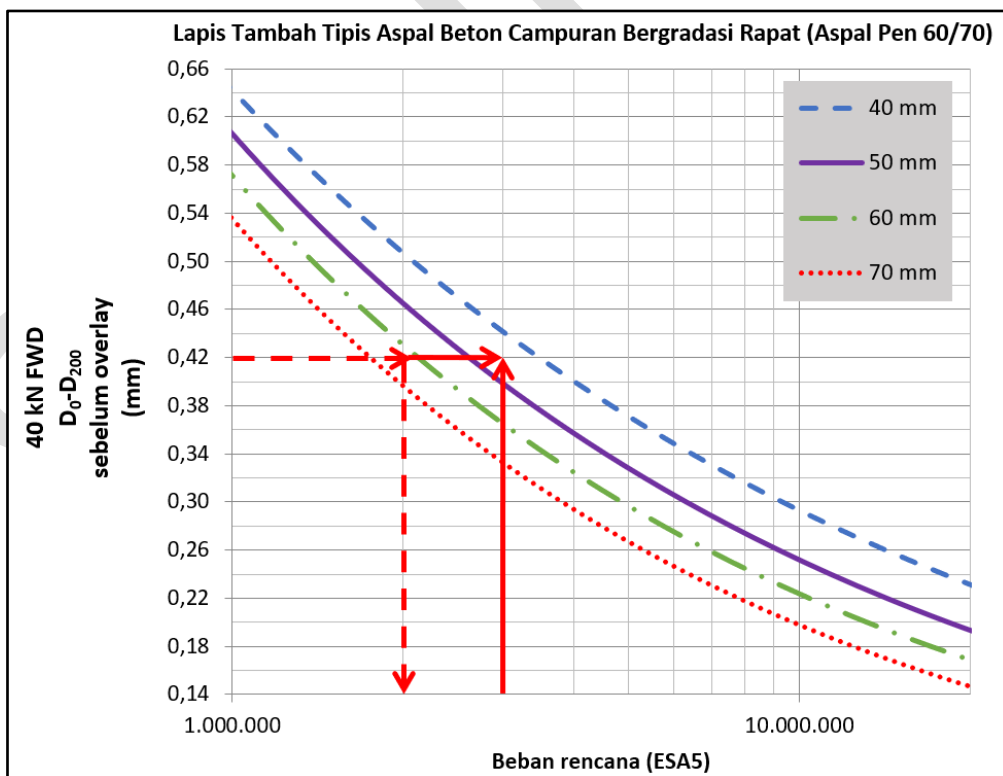
Tebal lapis tambah berdasarkan lengkung lendutan dapat ditentukan sebagai lapis tambah tipis atau lapis tambah tebal seperti ditunjukkan pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4 dengan contoh penggunaan seperti diuraikan pada Gambar 6.5.



Gambar 6.3 tebal lapis tambah tipis aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada WMAPT > 35°C

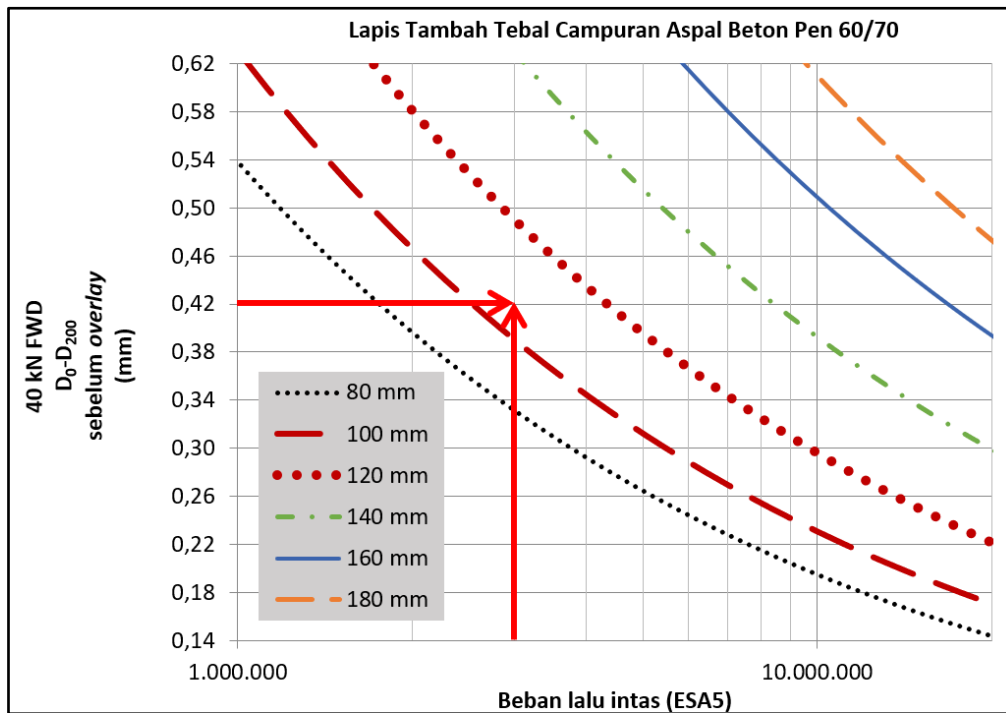


Gambar 6.4 Tebal lapis tambah tebal aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada WMAPT > 35°C



(a) Lapis tambah tipis





(b) Lapis tambah tebal

Gambar 6.5 Contoh penentuan tebal lapis tambah aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada $WMAPT > 35^{\circ}C$

Contoh:

- 1) Diketahui beban lalu lintas rencana 3×10^6 ESA5; lengkung lendutan rata-rata karakteristik $D_0-D_{200} = 0,42$ mm; tebal lapis tambah minimum untuk perbaikan bentuk (kerataan dan lereng permukaan) = 60 mm; tebal lapis tambah untuk mencegah deformasi permanen = 40 mm (berdasarkan analisis lendutan balik BB maksimum (D_0) menggunakan Gambar 6.1).
- 2) Tentukan tebal pelapisan minimum untuk memenuhi:
 - a) perbaikan bentuk berdasarkan Tabel 6.2;
 - b) perbaikan bentuk khusus misal perbaikan lereng melintang atau superelevasi; dan
 - c) kebutuhan berdasarkan lendutan maksimum berdasarkan Gambar 6.1.

Tebal yang dipilih adalah tebal minimum terbesar yang diperoleh dari ketiga kriteria tersebut di atas.
- 3) Tebal minimum lapis tambah untuk mencegah retak lelah berdasarkan Gambar 6.5 a untuk beban lalu lintas 3×10^6 ESA5 adalah 45 mm (garis panah penuh).
- 4) Pada tebal lapis tambah minimum untuk perbaikan bentuk = 60 mm, beban lalu lintas sebelum retak *fatigue* berdasarkan lendutan karakteristik adalah $2,1 \times 10^6$ ESA5 (garis panah putus-putus pada Gambar 6.5) sehingga tidak memenuhi kebutuhan untuk beban rencana 3×10^6 ESA5.

- 5) Tebal minimum terbesar dari langkah (2) 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 (4)). Dengan demikian tebal pelapisan yang dibutuhkan untuk mencegah retak leleh pada umur rencana seperti yang ditunjukkan oleh garis panah penuh pada Gambar 6.5 b (lapis tambah tebal). Dalam contoh ini ketebalan desain lapis tambah adalah 110 mm.

6.4.2.2 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. Berdasarkan pertimbangan tersebut, 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:

$$\text{Faktor koreksi musim kemarau} = 1,2 \quad (6.2)$$

$$\text{Faktor koreksi musim penghujan} = 1,0^* \quad (6.3)$$

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

6.4.2.3 Penyesuaian Nilai Pengukuran Lendutan Terhadap Temperatur Pengujian

Untuk lapis tambah 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).

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:

$$f_T = \frac{\text{WMAAT}}{\text{Temperatur Perkerasan Saat Pengukuran Lendutan}} \quad (6.4)$$

Langkah – 2: Tentukan faktor koreksi temperatur menggunakan:

Tabel 6.3 dan Tabel 6.4 untuk pengujian menggunakan FWD atau Tabel 6.5 dan Tabel 6.6 apabila pengujian lendutan menggunakan *benkelman beam*. Pengujian lendutan perkerasan dengan tebal permukaan beraspal kurang dari 25 mm tidak memerlukan faktor koreksi temperatur.

Gunakan Tabel 6.3 dan Tabel 6.4 Jika Survei Lendutan Menggunakan FWD

Tabel 6.3 Faktor koreksi temperatur lendutan (D_0) untuk FWD*

WMAPT 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 WMAPT)/(Lendutan Pengukuran)

Tabel 6.4 Faktor koreksi temperatur lengkung lendutan (D_0 - D_{200}) untuk FWD*

WMAPT 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

WMAPT Temp _{lapangan}	Tebal Aspal Eksisting (mm)					
	25	50	100	150	200	300
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 WMAPT)/(Lendutan Pengukuran)

Gunakan Tabel 6.5 dan Tabel 6.6 jika survei lendutan menggunakan alat BB

Tabel 6.5 Faktor koreksi temperatur lendutan (D_0) untuk *benkelman beam**

WMAPT 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 WMAPT)/(Lendutan Pengukuran)

Tabel 6.6 Faktor koreksi temperatur lengkung lendutan (D_0 - D_{200}) untuk *benkelman beam**

WMAPT 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

WMAPT Temp _{lapangan}	Tebal Aspal Eksisting (mm)							
	25	50	75	100	150	200	250	300
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

$(\text{Lengkungan Lendutan pada suhu WMAPT})/(\text{Lengkung Lendutan Pengukuran})$

6.4.2.4 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 hasil pengukuran.

Bagan desain lapis tambah 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 Penyesuaian. 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 6.7 dapat digunakan.

Tabel 6.7 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 6.8.

Gunakan Tabel 6.8 jika survei pengukuran lendutan maksimum (D_0) menggunakan FWD

Tabel 6.8 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

6.4.2.5 Lengkung Lendutan Karakteristik (*Characteristic Curvature*)

Untuk tujuan evaluasi desain lapis tambah pada perkerasan lentur, Lengkung Lendutan Karakteristik harus digunakan untuk lalu lintas lebih besar dari 1×10^6 ESA5. Nilai ini ditentukan sesudah dilakukan koreksi terhadap musim, temperatur dan faktor penyesuaian 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.

6.4.2.6 Contoh Desain Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas $100.000 < \text{ESA4} \leq 10 \times 10^6 \text{ ESA4}$

Segmen jalan direncanakan melayani 10.000.000 ESA4 atau 20.000.000 ESA5 untuk umur rencana lapis tambah 10 (sepuluh) tahun. Ketidakrataan permukaan (IRI) saat ini = 6 m/km. Pengujian lendutan dengan alat FWD dilakukan pada bulan November (musim hujan). Tentukan tebal lapis tambah perkerasan berdasarkan data lendutan dan data lainnya seperti ditunjukkan pada Tabel 6.9.

Tabel 6.9 Data lendutan (FWD)

Kode STA	STA	Beban (kN)	D_0 (μm)	D_{200} (μm)	Suhu Aspal ($^{\circ}\text{C}$)	Tebal Aspal (eksisting) (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	20+000	39,71	738,8	578,4	38	150
2	20+200	38,72	414,6	307,5	38	150
3	20+400	39,22	571,6	410,8	38	150
4	20+600	39,00	669,3	482,5	38	150
5	20+800	39,94	716,9	549,7	38	150
6	21+000	39,29	347,6	242,5	38	150
7	21+200	39,97	788,1	568,4	38	150
8	21+400	39,39	729,3	453,9	38	150

Kode STA	STA	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)	Suhu Aspal (°C)	Tebal Aspal (eksisting) (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
9	21+600	39,82	434,3	272,0	38	150
10	21+800	38,84	694,9	526,5	38	150
11	22+000	39,46	650,0	488,6	38	150
12	22+200	39,00	895,0	595,3	38	150
13	22+400	39,83	468,3	296,7	38	150
14	22+600	38,58	870,0	678,3	38	150
15	22+800	39,92	527,0	348,0	38	150
16	23+000	39,29	428,1	271,9	38	150
17	23+200	40,04	311,9	213,0	38	150
18	23+400	39,04	692,6	521,0	38	150
19	23+600	39,76	459,2	268,0	38	150
20	23+800	39,41	397,1	231,0	38	150
21	24+000	39,23	367,5	258,0	38	150
22	24+200	39,23	688,0	502,0	38	150
23	24+400	39,48	697,1	544,0	38	150
24	24+600	39,36	290,7	202,0	38	150
25	24+800	40,04	518,3	377,0	38	150
26	25+000	39,44	764,6	549,0	38	150
27	25+200	38,74	439,1	272,0	38	150
28	25+400	39,61	683,6	523,0	38	150
29	25+600	39,41	663,0	492,0	38	150
30	25+800	38,72	889,0	702,0	38	150

Berikut adalah garis besar langkah penyelesaian (lihat data di atas dan tabel rincian analisis lendutan untuk detail perhitungan).

Langkah – 1: Dari Tabel 6.2 diperlukan lapis tambah minimum 50 mm untuk menurunkan IRI dari 6 m/km menjadi 3 m/km.

Langkah – 2: Karena pengujian lendutan dilakukan pada musim penghujan maka tidak diperlukan faktor koreksi musim. Selanjutnya, walaupun alat FWD telah diatur 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) Tabel 6.10.

Langkah – 3: Hitung D₀-D₂₀₀ pada kolom (10) Tabel 6.10 dengan cara kolom (10) = kolom (8) dikurang kolom (9).

Langkah – 4:

- Hitung rasio WMAPT dan Temperatur aspal saat pengukuran (kolom-11 Tabel 6.10).
- Dengan WMAPT 41°C, rasio WMAPT dan $T_{\text{aspal}} = 41$ / Kolom (6) Tabel 6.10.
- 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 6.3) (kolom 12) dan koreksi temperatur untuk D_0 - D_{200} (kolom 13) (lihat Tabel 6.4).
- Lendutan D_0 yang dinyatakan di dalam kolom (14) = kolom (12) dikali kolom (8).
- D_0 - D_{200} yang telah dikoreksi pada Kolom (15) = kolom (13) dikali kolom (10).

Langkah – 5: Konversikan nilai D_0 FWD (kolom (14)) menjadi D_0 BB dengan menggunakan faktor penyesuaian lendutan.

Langkah – 6: Dari kolom (16), hitung lendutan maksimum D_0 rata-rata, standar deviasi dan koefisien variasi. Berdasarkan nilai yang diperoleh tentukan nilai D_0 yang mewakili (*representative maximum deflection*) dan periksa apakah segmen yang bersangkutan cukup seragam (koefisien variasi ≤ 0.30). Dari rincian analisis diperoleh:

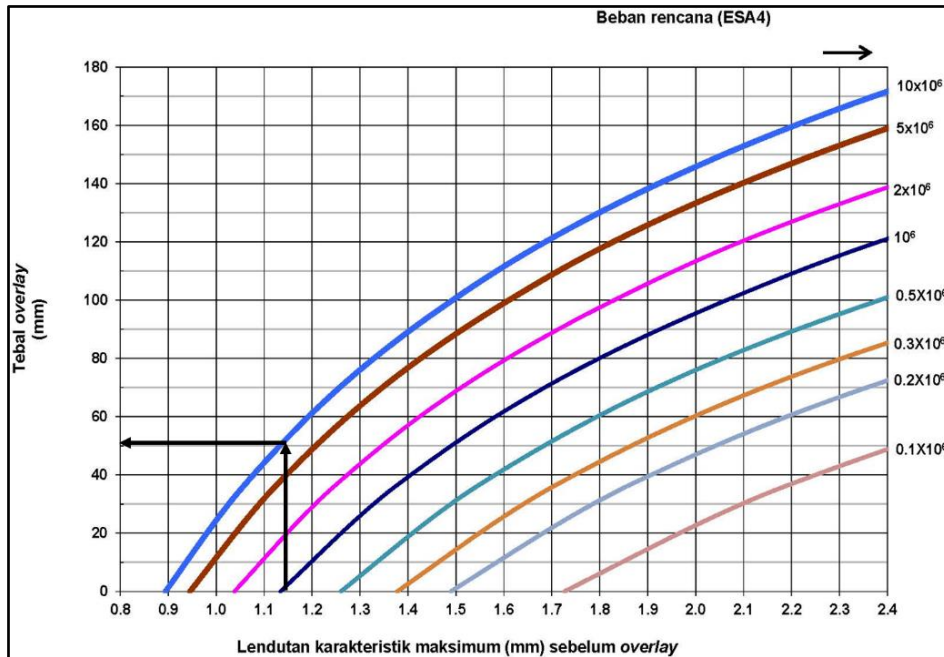
- D_0 rata-rata = 772 (μm);
- deviasi standar = 226 (μm);
- koefisien variasi $\approx 29\%$; \rightarrow segmen cukup seragam.
- $D_{0\text{wakil}} = D_{0\text{rata-rata}} + L_{\text{SF}} \times \text{Deviasi Standar}$.
- untuk 95% keterwakilan, $L_{\text{SF}} = 1.645 \rightarrow D_{0\text{wakil}} = 772 + 1.645 \times 226 = 1144 \mu\text{m} \approx 1,14 \text{ mm}$.

Langkah – 7: 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 = 182 $\mu\text{m} \approx 0.18 \text{ mm}$.

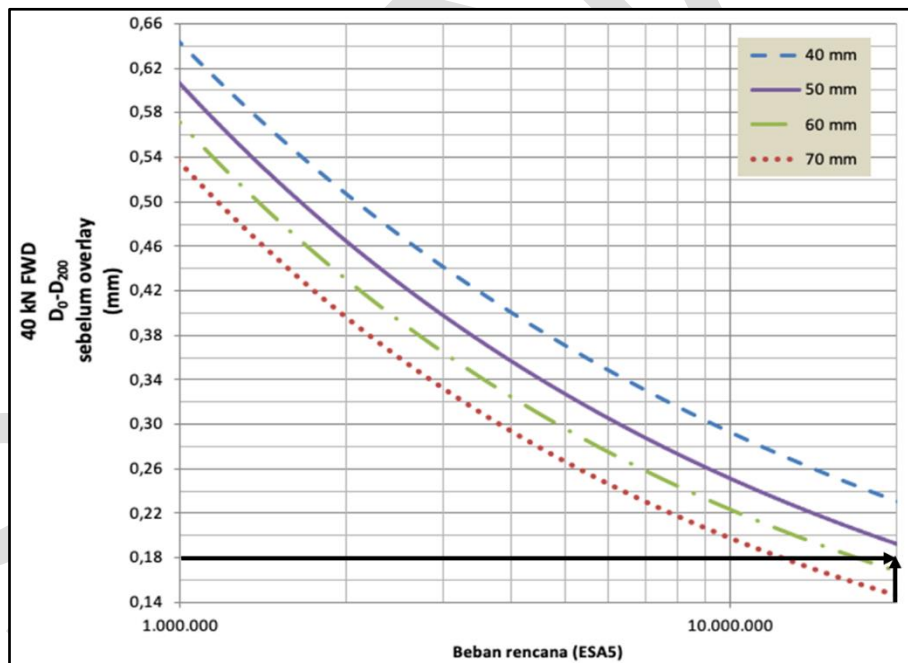
Langkah – 8: Tentukan tebal lapis tambah berdasarkan lendutan maksimum (Gambar 6.6); lendutan karakteristik 1,14 mm \rightarrow diperlukan tebal lapis tambah 50 mm.

Langkah – 9: Periksa kriteria retak *fatigue*; dari perhitungan di atas diperoleh (D_0 - D_{200}) $W_{\text{wakil}} = 0.18 \rightarrow$ tebal lapis tambah untuk mengatasi retak lelah untuk lapis tambah tipis: $\leq 60 \text{ mm}$ (Gambar 6.7) atau, dengan lapis tambah tebal: $\geq 105 \text{ mm}$ (Gambar 6.8).

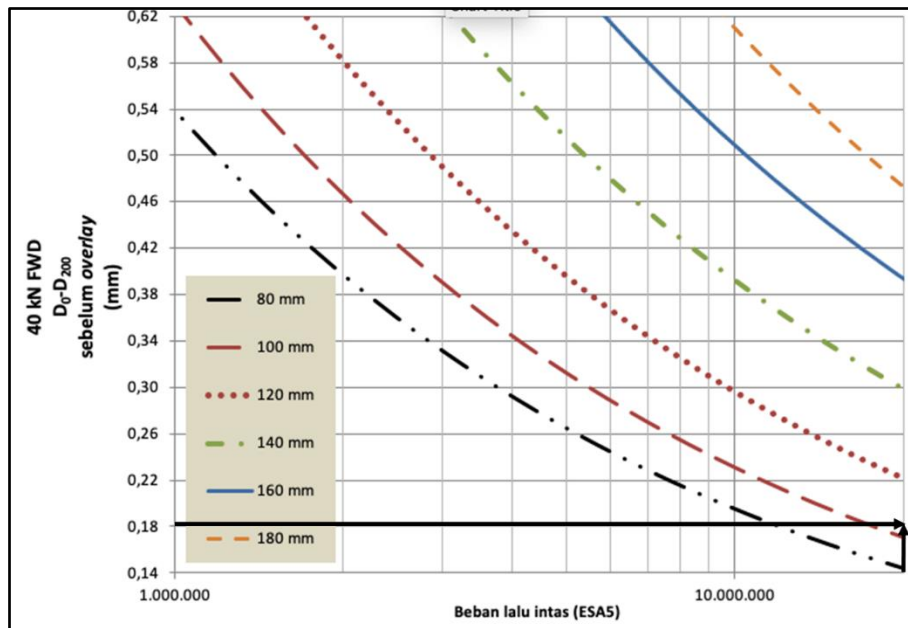
Dengan memperhatikan keperluan tebal lapis tambah untuk fungsional adalah 50 mm, dan untuk keperluan lapis tambah tipis adalah 60 mm, sehingga perhitungan lapis tambah tebal tidak diperlukan lagi.



Gambar 6.6 Penentuan tebal lapis tambah berdasarkan D_0



Gambar 6.7 Penetapan tebal lapis tambah (tipis)



Gambar 6.8 Penetapan tebal lapis tambah (tebal)

Kesimpulan:

- (i) Diperlukan lapis tambah minimum 50 mm untuk menurunkan IRI menjadi 3 m/km.
- (ii) Lapis tambah setebal 60 mm memenuhi kriteria tebal berdasarkan lendutan maksimum D_0 dan lengkung lendutan (untuk retak *fatigue*) dengan lapis tambah tipis.
- (iii) Opsi lapis tambah tipis 60 mm memenuhi kedua kriteria struktural (deformasi permanen dan retak lelah) dan kebutuhan tebal minimum untuk menurunkan IRI, sehingga lapis tambah tebal (105 mm) tidak dipilih sebagai tebal lapis tambah minimum. Pilih tebal lapis tambah minimum 60 mm.

Selesai.

Tabel 6.10 Rincian analisis lendutan

Station ID	Station	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)	Temp. Aspal	Tebal Aspal (mm)	D ₀ normal	D ₂₀₀ normal	D ₀ -D ₂₀₀	AMPT/Tlap	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) (40/(3))x(4)	(9) (40/(3))x(5)	(10) (8) - (9)	(11) 41/(6)	(12) Tabel 6.3	(13) Tabel 6.4	(14) (12)x(8)	(15) (13)x(10)	(16) (Faktor Tabel 6.8)x(14)
1	20+000	39,71	739	578	38	150	744	583	162	1,08	1,02	1,06	762	171	953
2	20+200	38,72	415	308	38	150	428	318	111	1,08	1,02	1,06	439	117	548
3	20+400	39,22	572	411	38	150	583	419	164	1,08	1,02	1,06	597	173	746
4	20+600	39,00	669	483	38	150	686	495	192	1,08	1,02	1,06	703	202	879
5	20+800	39,94	717	550	38	150	718	551	167	1,08	1,02	1,06	735	177	919
6	21+000	39,29	348	243	38	150	354	247	107	1,08	1,02	1,06	362	113	453
7	21+200	39,97	788	568	38	150	789	569	220	1,08	1,02	1,06	808	232	1010
8	21+400	39,39	729	454	38	150	741	461	280	1,08	1,02	1,06	758	295	948
9	21+600	39,82	434	272	38	150	436	273	163	1,08	1,02	1,06	447	172	558
10	21+800	38,84	695	527	38	150	716	542	173	1,08	1,02	1,06	733	183	916
11	22+000	39,46	650	489	38	150	659	495	164	1,08	1,02	1,06	675	173	843
12	22+200	39,00	895	595	38	150	918	611	307	1,08	1,02	1,06	940	325	1175
13	22+400	39,83	468	297	38	150	470	298	172	1,08	1,02	1,06	482	182	602
14	22+600	38,58	870	678	38	150	902	703	199	1,08	1,02	1,06	924	210	1155
15	22+800	39,92	527	348	38	150	528	349	179	1,08	1,02	1,06	541	189	676
16	23+000	39,29	428	272	38	150	436	277	159	1,08	1,02	1,06	446	168	558
17	23+200	40,04	312	213	38	150	312	213	99	1,08	1,02	1,06	319	104	399
18	23+400	39,04	693	521	38	150	710	534	176	1,08	1,02	1,06	727	186	908
19	23+600	39,76	459	268	38	150	462	270	192	1,08	1,02	1,06	473	203	591
20	23+800	39,41	397	231	38	150	403	234	169	1,08	1,02	1,06	413	178	516
21	24+000	39,23	368	258	38	150	375	263	112	1,08	1,02	1,06	384	118	480

Station ID	Station	Beban (kN)	D ₀ (μm)	D ₂₀₀ (μm)	Temp. Aspal	Tebal Aspal (mm)	D ₀ normal	D ₂₀₀ normal	D ₀ -D ₂₀₀	AMPT/Tlap	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) (40/(3))x(4)	(9) (40/(3))x(5)	(10) (8) - (9)	(11) 41/(6)	(12) Tabel 6.3	(13) Tabel 6.4	(14) (12)x(8)	(15) (13)x(10)	(16) (Faktor Tabel 6.8)x(14)
22	24+200	39,23	688	502	38	150	702	512	190	1,08	1,02	1,06	718	200	898
23	24+400	39,48	697	544	38	150	706	551	155	1,08	1,02	1,06	723	164	904
24	24+600	39,36	291	202	38	150	295	205	90	1,08	1,02	1,06	303	95	378
25	24+800	40,04	518	377	38	150	518	377	141	1,08	1,02	1,06	530	149	663
26	25+000	39,44	765	549	38	150	775	557	219	1,08	1,02	1,06	794	231	993
27	25+200	38,74	439	272	38	150	453	281	173	1,08	1,02	1,06	464	182	580
28	25+400	39,61	684	523	38	150	690	528	162	1,08	1,02	1,06	707	171	884
29	25+600	39,41	663	492	38	150	673	499	174	1,08	1,02	1,06	689	183	861
30	25+800	38,72	889	702	38	150	918	725	193	1,08	1,02	1,06	940	204	1176
													Rata-rata	182	772
													Std. Dev		226
													Koef Variasi		29%
													Lendutan Karakteristik		1144

6.4.3 Tebal Lapis Tambah untuk Lalu Lintas Lebih Besar dari 10×10^6 ESA4

Perencanaan teknis tebal lapis tambah sesuai metode AASHTO 1993 menggunakan alat ukur lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Pengukuran lendutan, dilakukan menggunakan beban 9000 lbs (40 kN).

Metode AASHTO 1993 memperhatikan konsep tingkat kepercayaan atau reliabilitas dalam perhitungannya. Penerapan konsep reliabilitas harus memperhatikan langkah-langkah berikut ini:

- Definisikan klasifikasi fungsional jalan dan tentukan apakah merupakan jalan perkotaan atau jalan antar kota.
- Pilih tingkat reliabilitas (90%).
- Pilih deviasi standar (S_0) yang harus mewakili kondisi setempat. Rentang nilai S_0 adalah 0,35-0,45, yang direkomendasikan sebesar 0,39.
- Dengan ditetapkannya reliabilitas 90% maka nilai Z_R sebesar -1,282.

Pada perhitungan tebal lapis tambah campuran beraspal di atas perkerasan lentur pada Manual ini tidak termasuk untuk perbaikan kerusakan yang terjadi pada perkerasan eksisting. Sehingga sebelum dilakukan pekerjaan lapis tambah hendaknya untuk area-area yang mengalami kerusakan harus dilakukan perbaikan terlebih dahulu. Untuk mendeteksi area-area yang mengalami kerusakan tersebut maka perlu dilakukan survei kondisi (PCI).

Perhitungan tebal lapis tambah campuran aspal di atas perkerasan lentur berdasarkan metode AASHTO 1993 mencakup beberapa langkah sebagai berikut:

Langkah 1: Lalu Lintas

- Prediksi beban lalu lintas masa mendatang per lajur selama periode desain.
- Gunakan perhitungan ESA dari ekuivalen beban untuk perkerasan lentur.
- Jumlah repitisi beban lalu lintas rencana mengacu pada Bagian I Bab 4 Butir 4.8 dengan konfigurasi sumbu kendaraan untuk masing-masing kelas pada Bagian I Bab 4 Tabel 4.4. Berdasarkan hasil penimbangan terhadap beban sumbu pada setiap kelas kendaraan selanjutnya untuk memperoleh besaran ekuivalen beban sumbu standar (ESA) AASHTO untuk setiap sumbu pada setiap kelas kendaraan, yaitu dengan mengacu Lampiran I.1.1 Sehingga diperoleh besaran nilai VDF AASHTO yang mewakili untuk setiap kelas kendaraan. Namun, bilamana survei penimbangan beban sumbu kendaraan tidak mungkin dilakukan oleh perencana teknis maka dapat menggunakan nilai VDF AASHTO pada Lampiran I.1.2 pada perhitungan desain.

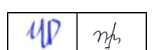
Langkah 2: Modulus Resilien Tanah Dasar

Untuk jarak yang cukup jauh dari pusat beban, lendutan yang diukur mencerminkan nilai modulus *resilien* tanah dasar M_R (psi). Persamaan yang digunakan untuk menghitung modulus *resilien* tanah dasar adalah sebagai berikut:

$$M_R = \frac{0,24P}{d_r r} \quad (6.5)$$

Keterangan:

- M_R : Modulus Resilien tanah dasar hasil perhitungan balik (psi)
 P : Beban yang digunakan (*pound*)



- d_r : Lendutan pada jarak *offset* r dari pusat beban (inci)
 r : Jarak *offset* (inci)

Pada perhitungan modulus resilien tanah dasar ini tidak dibutuhkan koreksi temperatur karena lendutan yang digunakan hanya akibat deformasi tanah dasar. Lendutan yang digunakan untuk perhitungan balik ini harus diukur cukup jauh dari pusat pembebanan sehingga memberikan estimasi yang cukup akurat untuk perhitungan modulus resilien tanah dasar. Jarak minimum pengukuran lendutan untuk estimasi modulus *resilien* tanah dasar adalah:

$$r \geq 0.7a_e \quad (6.6)$$

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left(D^3 \frac{E_p}{M_R} \right)^2} \quad (6.7)$$

Keterangan:

- a_e : jari-jari gelembung tegangan pada permukaan batas antara tanah dasar dan struktur perkerasan (inci)
 a : jari-jari pelat pembebanan (inci)
 D : total ketebalan lapisan perkerasan di atas tanah dasar (inci)
 E_p : modulus efektif semua lapisan perkerasan di atas tanah dasar (psi)

Langkah 3. Modulus Efektif Perkerasan E_p

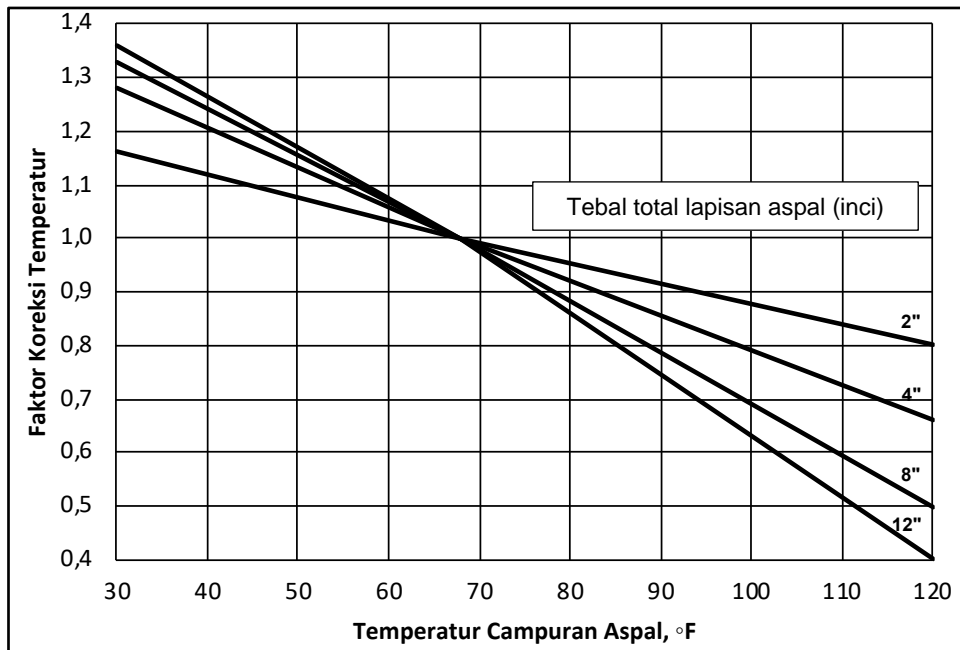
Modulus resilien tanah dasar yang telah didapatkan, juga tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar telah diketahui, maka perhitungan modulus lapisan perkerasan, E_p (psi) dapat dilakukan menggunakan Persamaan 6.8. Nilai d_0 perlu dikoreksi terhadap suhu standar 68°F (20°C) mengikuti Gambar 6.9 dan Gambar 6.10.

$$d_0 \text{ terkoreksi} = 1,5 \text{ pa} \left\{ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D^3 E_p}{a^3 M_R} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\} \quad (6.8)$$

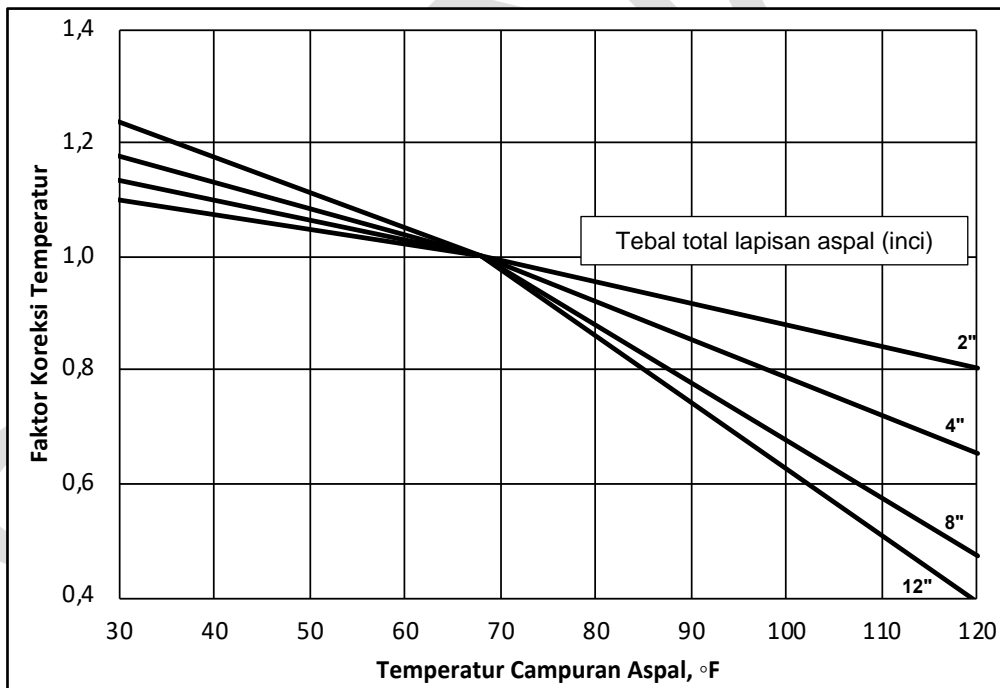
Keterangan:

- d_0 terkoreksi : Ledutan maksimum di titik pusat beban yang sudah terkoreksi terhadap suhu 68°F (inci)
 P : Tekanan pada pelat beban (psi)
 a : Jari-jari pelat beban (inci)
 D : Total tebal lapisan perkerasan di atas tanah dasar (inci)
 M_R : Modulus resilien tanah dasar (psi)
 E_p : Modulus efektif semua lapisan perkerasan di atas tanah dasar (psi)

Grafik faktor koreksi temperatur untuk struktur perkerasan dengan lapis pondasi granular atau yang distabilisasi dengan aspal, dan grafik koreksi temperatur perkerasan lentur dengan lapis pondasi semen menurut metoda AASHTO 1993.



Gambar 6.9 Koreksi nilai D_0 untuk perkerasan lentur dengan lapis *granular* dan yang distabilisasi dengan aspal



Gambar 6.10 Koreksi nilai D_0 untuk perkerasan lentur dengan lapis fondasi semen dan yang distabilisasi semen

Langkah 4. Indeks tebal perkerasan efektif (SN_{eff})

Menghitung *Structural Number Effective*, SN_{eff} (inci) yang merupakan besaran nilai struktural yang dimiliki oleh struktur perkerasan eksisting.

$$SN_{\text{eff}} = 0,0045D^3 \sqrt{E_p} \quad (6.9)$$

Keterangan:

SN_{eff} : *Structural Number Effective* (inci)

D : Total ketebalan lapisan perkerasan di atas tanah dasar (inci)

E_p : Modulus efektif semua lapisan perkerasan di atas tanah dasar (psi)

Langkah 5. Modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan ($M_{R\text{desain}}$)

Modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan diperoleh dengan mengoreksi modulus tanah dasar hasil perhitungan balik dengan faktor $C=0,33$ (untuk beban FWD yang digunakan kira-kira 9000 lbs). Sehingga $M_{R\text{desain}}$ didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_{R\text{desain}} = C \frac{0,24P}{d_r} \quad (6.10)$$

Keterangan:

C : 0,33

P : Beban yang digunakan (*pounds*)

d_r : Lendutan pada jarak *offset* r dari pusat beban (inci)

r : Jarak *offset* (inci)

Langkah 6. *Structural Number* Rencana (SN_r)

Nilai *structural number* rencana (SN_r) adalah besaran yang diperlukan untuk melayani total pengulangan beban sumbu standar yang diperkirakan akan lewat selama masa layan rencana lapisan tambahan. Nilai SN_r dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10} (SN_r + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN_r + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} M_{R\text{desain}} - 8,07 \quad (6.11)$$

Keterangan:

W_{18} : Akumulasi ekivalen beban sumbu standar pada lajur rencana selama umur rencana (ESA AASHTO Lentur)

Z_R : Deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan 90% (-1,282)

S_0 : Gabungan *standard error* untuk perkiraan lalu lintas dan kinerja (0,39)

ΔPSI : Perbedaan antara tingkat pelayanan awal dan akhir pada umur rencana
Tingkat pelayanan awal (p_0) adalah 4,2 dan tingkat pelayanan akhir (p_i) adalah 2,5 sesuai dengan AASHTO 1993.

Langkah 7. Perhitungan tebal lapis tambah

Tebal lapis tambah dihitung menggunakan hubungan berikut ini:

$$D_{ol} = \frac{(SN_r - SN_{\text{eff}})}{a_{ol}} \quad (6.12)$$

Keterangan:

D_{ol} : Tebal lapis tambah (inci)

a_{ol} : Koefisien tebal lapisan aspal lapis tambah

Setelah didapatkan hasil tebal lapis tambah menggunakan Persamaan 6.12 dilakukan konversi satuan dari inci ke milimeter yang dibulatkan keatas. Koefisien kekuatan relatif bahan jalan untuk campuran beraspal sebagai lapis permukaan (lapis aus dan lapis antara) disajikan pada Tabel 6.11.

Tabel 6.11 Koefisien tebal lapisan aspal lapis tambah

Jenis Bahan	Koefisien Kekuatan Relatif (a_{0i})
Laston modifikasi	
• Lapis aus modifikasi (AC WC Mod)	0,414
• Lapis antara modifikasi (AC BC Mod)	0,360
Laston	
• Lapis aus (AC WC)	0,400
• Lapis antara (AC BC)	0,344
Lapis aus laston (HRS WC)	0,350

6.4.3.1 Contoh Perhitungan CESA AASHTO

Suatu ruas jalan baru (4-lajur 2-arah) yang dibangun di Jawa Barat-Pantura direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2025. Data lalu lintas harian yang digunakan untuk perencanaan diperoleh dari survei pada Januari 2024 adalah sebagai berikut:

Golongan Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Data LHR (2 Arah)
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3			11.197
2	Kendaraan ringan - sedan, <i>jeep</i> , dan <i>station wagon</i>	1.1	2	2.193
3	Kendaraan ringan - angkutan umum sedang	1.1	2	1.951
4	Kendaraan ringan - <i>pick up</i> , <i>micro truck</i> , dan mobil hantar	1.1	2	1.468
5A	Bus kecil	1.1	2	317
5B	Bus besar	1.2	2	262
6A	Truk 2 sumbu - truk ringan	1.1	2	322
6B	Truk 2 sumbu - truk sedang	1.2	2	2.505
7A1	Truk 3 sumbu - berat	11.2	2	753
7A2	Truk 3 sumbu - berat	1.22	2	416
7A3	Truk 4 sumbu - berat	11.22	2	
7B1	Truk 4 sumbu - berat	1.2+2.2	4	
7B2	Truk 5 sumbu - berat	11.2+2.2	4	52
7B3	Truk 5 sumbu - berat	1.22+2.2	4	
7C1	Truk 4 sumbu - berat	1.2-22	3	269
7C2A	Truk 5 sumbu - berat	1.22-22	3	103
7C2B	Truk 5 sumbu - berat	1.2-222	3	93
7C3	Truk 6 sumbu - berat	1.22-222	3	59

4P m/s

Golongan Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Data LHR (2 Arah)
7C4	Truk 7 sumbu - berat	1.22-2222	3	
8	Kendaraan tak bermotor			539

Hitung kumulatif beban VDF AASHTO Lentur dan Kaku untuk umur rencana 10 tahun (2025-2034) dengan menggunakan VDF AASHTO berdasarkan Lampiran I dan angka pertumbuhan lalu lintas regional. Asumsikan bahwa beban kendaraan sudah terkendali pada tahun 2028.

Penyelesaian:

Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun 4,80% (sesuai dengan pertumbuhan lalu lintas untuk arteri dan perkotaan di Pulau Jawa seperti pada Tabel 4.1 Bagian I).

Karena jalan rencana merupakan jalan dua arah. Maka distribusi arah sebesar 0,5. Selanjutnya, sesuai dengan Tabel 4.2 Bagian I dan jalan yang direncanakan merupakan jalan 4 lajur - 2 arah terbagi, maka diperoleh faktor distribusi lajur sebesar 0,8.

Pengumpulan data survei LHR dilakukan pada Januari 2024; sedangkan tahun pertama pembukaan lalu lintas dilakukan pada Januari 2025 (1 tahun setelah 2024); permulaan periode beban normal MST 12 ton pada Januari 2028 (4 tahun setelah survei tahun 2024). Perhitungan lalu lintas pada saat mulai operasi jalan pada tahun 2025 (1 tahun setelah 2024):
 $LHR_{2025} = LHR_{2024} \times (1+i/100)^1$

Perhitungan lalu lintas pada saat periode beban sudah terkendali pada tahun 2028 (4 tahun dari 2024): $LHR_{2028} = LHR_{2024} \times (1+i/100)^4$

Perhitungan kebutuhan kumulatif sumbu standar menggunakan rumus pada Persamaan 4.4 Bagian 1 MDP. Selanjutnya perhitungan kebutuhan kumulatif sumbu standar pada contoh soal diselesaikan dengan menggunakan tabel berikut:

Perkiraan Kumulatif Beban Lalu Lintas CESA AASHTO Lentur dan Kaku

Golongan Kendaraan	LHR 2024	LHR 2025	LHR 2028	VDF Lentur Faktual	VDF Lentur Normal	VDF Kaku Faktual	VDF Kaku Normal	DD	DL	R (i=4.8%)		CESA AASHTO LENTUR		CESA AASHTO KAKU	
										(3 tahun) 2025 - 2028	(7 tahun) 2028 - 2034	Faktual 2025 - 2028	Normal 2028 - 2034	Beban Faktual 2025 - 2028	Beban Normal 2028 - 2034
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1	11,197	11,734	13,507	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
2	2,193	2,298	2,645	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
3	1,951	2,045	2,353	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
4	1,468	1,538	1,771	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
5A	317	332	382	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
5B	262	275	316	2.6	1.9	3.4	2.5	0.5	0.80	3.15	8.09	325,414	702,015	428,840	926,063
6A	322	337	388	0.3	0.1	0.3	0.1	0.5	0.80	3.15	8.09	46,428	61,992	53,971	67,541
6B	2,505	2,625	3,022	3.6	1.9	4.6	2.5	0.5	0.80	3.15	8.09	4,287,106	6,925,724	5,546,612	8,945,643
7A1	753	789	908	7.3	2.6	10.6	3.5	0.5	0.80	3.15	8.09	2,659,426	2,828,138	3,829,908	3,803,107
7A2	416	436	502	10.7	2.6	23.4	5.1	0.5	0.80	3.15	8.09	2,136,256	1,515,232	4,686,890	3,029,996
7A3	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
7B1	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
7B2	52	54	63	10.8	5.1	14.2	6.5	0.5	0.80	3.15	8.09	269,524	381,256	356,348	484,158
7B3	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
7C1	269	282	324	5.3	3.2	9.1	5.2	0.5	0.80	3.15	8.09	683,895	1,209,491	1,173,093	2,003,048
7C2A	103	108	124	8.7	3.9	18.2	7.8	0.5	0.80	3.15	8.09	432,189	565,897	900,999	1,140,076
7C2B	93	97	112	10.6	4.1	18.7	8.5	0.5	0.80	3.15	8.09	472,595	549,911	838,861	1,122,777
7C3	59	62	71	12.6	3.8	28.9	8.7	0.5	0.80	3.15	8.09	357,739	316,258	820,032	735,350
7C4	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
8	539	565	650	-	-	-	-	0.5	0.80	3.15	8.09	-	-	-	-
Jumlah ESA												11,670,571	15,055,915	18,635,554	22,257,759
ESA												26,726,485		40,893,313	
CESA AASHTO LENTUR												CESA AASHTO KAKU			

Keterangan rumus setiap kolom

$$(3) = (2) \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^1$$

$$(4) = (2) \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^4$$

(5), (6), (7), (8) dari tabel *Vehicle Damage Factor Jawa Barat Pantura* pada Lampiran I.1.2 dan I.2.1

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2.6	0.3	3.6	7.3	10.7	-	-	10.8	-	5.3	8.7	10.6	12.6	-
	Normal	1.9	0.1	1.9	2.6	2.6	-	-	5.1	-	3.2	3.9	4.1	3.8	-
VDF Kaku	Faktual	3.4	0.3	4.6	10.6	23.4	-	-	14.2	-	9.1	18.2	18.7	28.9	-
	Normal	2.5	0.1	2.5	3.5	5.1	-	-	6.5	-	5.2	7.8	8.5	8.7	-

(9), (10) dari Subbab 4.5 Bagian 1 MDP mengenai faktor distribusi arah dan distribusi lajur

$$(11) = \frac{(1 + 0,01 \times i)^3 - 1}{0,01 \times i} = 3,15$$

$$(12) = \frac{(1 + 0,01 \times i)^7 - 1}{0,01 \times i} = 8,09$$

$$(13) = (3) \times (5) \times (9) \times (10) \times (11) \times 365$$

$$(14) = (4) \times (6) \times (9) \times (10) \times (12) \times 365$$

$$(15) = (3) \times (7) \times (9) \times (10) \times (11) \times 365$$

$$(16) = (4) \times (8) \times (9) \times (10) \times (12) \times 365$$

6.4.3.2 Contoh Desain Tebal Lapis Tambah AC di Atas Perkerasan Lentur

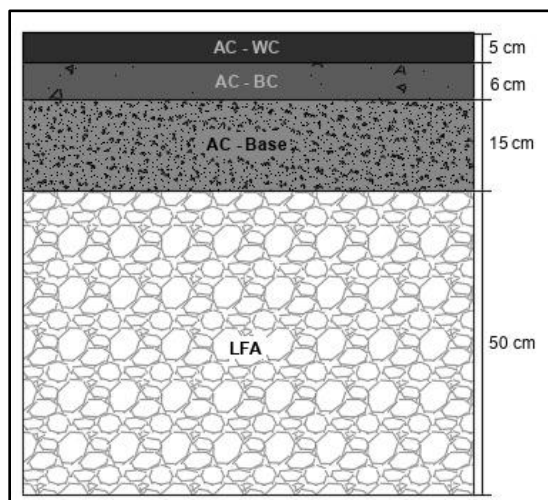
Suatu ruas jalan dengan perkerasan lentur akan dilakukan kegiatan rehabilitasi berupa lapis tambah menggunakan lapisan campuran aspal (AC). Lalu lintas selama umur rencana 10 (sepuluh) tahun sebesar 26.726.485 ESAL yang diperoleh sesuai Subbab 6.4.3.1. Dalam evaluasi kekuatan struktur eksisting, lakukan pengujian lendutan menggunakan alat *falling weight deflectometer* (FWD). Berdasarkan data hasil pengujian FWD tersebut, setelah dianalisis diperoleh data lendutan wakilnya sebagai berikut.

Temperatur (°C)			Tegangan (kPa)	Beban (kN)	Lendutan (mikrometer)								
Perkerasan	Permukaan	Udara			df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	df ₈
28,3	30,8	27,0	575	40,63	427	345	280	211	161	98	68	54	49

Dengan jarak *geophone* dari pusat beban adalah sebagai berikut:

No. <i>Geophone</i>	df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	df ₈
Jarak ke pusat beban (mm)	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800

Ruas jalan yang akan dilakukan lapis tambah memiliki struktur perkerasan sebagai berikut:



Berikut adalah garis besar langkah penyelesaian:

a. Mengubah satuan menjadi satuan U.S Unit

Satuan pada data lendutan FWD pada tengah pelat diubah menjadi satuan U.S unit.

df ₀	: 16,8 mils	df ₅	: 3,9 mils
df ₁	: 13,6 mils	df ₆	: 2,7 mils
df ₂	: 11,0 mils	df ₇	: 2,1 mils
df ₂	: 8,3 mils	df ₈	: 1,9 mils
df ₄	: 6,3 mils		

Beban : 9134 Pounds

b. Menghitung nilai modulus tanah dasar

Dalam perhitungan M_R diperlukan data lendutan pada geophone ke 2 dan seterusnya. Dalam contoh perhitungan ini digunakan *geophone* df_5 yang memiliki nilai lendutan 3,87 *mils* dan jarak 35,43 inci.

$$M_R = \frac{0,24P}{d_r}$$

$$M_R = \frac{0,24 \times 9134}{3,87 \times 0,001 \times 35,43}$$

$$M_R = 16.007 \text{ psi}$$

c. Menghitung Koreksi Temperatur

Tebal aspal = 26 cm = 10,2 inci

Temperatur perkerasan = 28,3°C = (28,3 x 9/5) + 32 = 83°F

Menggunakan grafik pada Gambar 6.9, maka didapatkan nilai koreksi temperatur adalah sebesar 0,84.

d. Menghitung Modulus Perkerasan

Dalam perhitungan modulus perkerasan menggunakan persamaan berikut:

$$d_0 \text{ terkoreksi} = 1,5 \text{ pa} \left\{ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D^3 \sqrt{E_p}}{a \sqrt{M_R}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\}$$

Dengan nilai-nilai input sebagai berikut:

d_0 terkoreksi : 16,81 x 0,84 = 14,12 *mils*

P : 575 kPa = 83,4 psi

a : jari-jari pelat beban : 15 cm = 5,9 inci

D : 76 cm = 29,9 inci

M_R : 16.007 psi

Dengan melakukan proses iterasi atau coba-coba nilai E_p pada persamaan, maka didapatkan nilai $E_p = 66.701$ psi.

e. Mengecek persyaratan $r \geq 0,7a_e$

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

Menggunakan nilai M_R dan E_p yang sudah didapatkan pada langkah sebelumnya maka:

$$a_e = \sqrt{\left[5,9^2 + \left(29,9^3 \sqrt{\frac{66.701}{16.007}} \right)^2 \right]} = 48,28$$

$$0,7a_e = 33,7$$

Pada langkah b. telah menggunakan nilai df_5 dengan nilai $r=35,43$ inci.

Sehingga $r \geq 0,7a_e$, nilai M_R , E_p dan r pada langkah sebelumnya dapat digunakan karena telah memenuhi syarat.

f. Menghitung Nilai *Structural Number Effective* (SN_{eff})

$$SN_{\text{eff}} = 0,0045D^3 \sqrt{E_p}$$

$$SN_{\text{eff}} = 0,0045 \times 29,9^3 \sqrt{66.701} = 5,46 \text{ inci}$$

g. Menghitung Modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan ($M_{R_{\text{Desain}}}$)

$$M_{R_{\text{desain}}} = C \frac{0,24P}{d_r}$$

$$M_{R_{\text{desain}}} = 0,33 \frac{0,24 \times 9134}{3,87 \times 0,001 \times 35,43} = 5.336$$

h. Menghitung *Structural Number Rencana* (SN_f)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9,36 * \log_{10}(SN_f + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log_{10} M_{R_{\text{desain}}} - 8,07$$

Diketahui lalu lintas rencana adalah sebesar 26,7 juta ESAL:

$$\log_{10} W_{18} = \log_{10} 26.726.485 = 7,43$$

Reliabilitas : 90%

Standar deviasi (Z_R) : -1,282

S_0 : 0,39

PSI_0 : 4.2

PSI_t : 2.5

$$7,43 = -1,282 \times 0,39 + 9,36 * \log_{10}(SN_f + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{4,2-2,5}{4,2-1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log_{10} 5.336 - 8,07$$

Dengan melakukan proses iterasi atau coba-coba nilai SN_f pada persamaan, maka didapatkan nilai $SN_f = 6,17$ inci.

i. Menghitung tebal lapis tambah

$$D_{ol} = \frac{(SN_f - SN_{\text{eff}})}{a_{ol}}$$

Tebal lapis tambah menggunakan material AC-WC yang memiliki koefisien relatif $a_{ol} = 0,4$

$$D_{ol} = \frac{(6,17 - 5,46)}{0,4} = 1,78 \text{ inci} = 4,53 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$$

6.5 Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Kaku (AC di atas JPCP, JRCP, dan CRCP)

Bagian ini mencakup desain dari pelapisan tambah campuran beraspal pada JPCP, JRCP, atau CRCP eksisting. Bagian ini juga digunakan untuk mendesain lapis tambah campuran beton aspal jika pelapisan tambah campuran beraspal sebelumnya sudah dihilangkan. Dalam penerapan pelapisan tambah campuran beraspal di atas JPCP, JRCP, dan CRCP perlu didahului dengan tahapan sebagai berikut:

1. Perbaiki kerusakan pada permukaan perkerasan jalan.
2. Perbaiki dan peningkatan drainase perkerasan.
3. Penerapan lapis perekat (*tack coat*).
4. Jika diperlukan penanganan kontrol retak refleksi sebelum melakukan penambahan lapis tambah campuran beraspal.

Kelayakan

Kondisi di mana pelapisan tambah beton aspal pada perkerasan kaku tidak layak dilakukan diantaranya adalah:

- 1) Perkerasan lama yang mengalami retak dan gompal di sambungan yang begitu banyak sehingga diperlukan pembongkaran dan penggantian pelat beton yang ada secara menyeluruh.
- 2) Kerusakan signifikan pada pelat beton telah terjadi karena masalah daya tahan yang parah (misalnya retak durabilitas atau agregat reaktif).
- 3) Ambang bebas arah vertikal pada jembatan tidak memadai untuk ketebalan lapis tambahan yang dibutuhkan. Hal ini dapat di atasi dengan mengurangi ketebalan lapis tambah di bawah jembatan (walaupun hal ini dapat berakibat kegagalan dini pada lokasi tersebut), juga rekonstruksi pada perkerasan di bawah jembatan.

Perbaiki Sebelum Pelapisan Tambah

Jenis kerusakan yang terjadi pada perkerasan beton bersambung dengan atau tanpa tulangan (JPCP dan JRCP) atau pada perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP) harus diperbaiki sebelum pelaksanaan pelapisan tambah beton aspal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.12.

Tabel 6.12 Jenis kerusakan dan tipe perbaikannya

Jenis Kerusakan	Tipe Perbaikan
Retak aktif (<i>Working cracks</i>)	Perbaiki <i>full depth</i> atau penggantian pelat
<i>Punchout</i>	Perbaiki <i>full depth</i> pelat beton
Gompal di sambungan	Perbaiki <i>full depth</i> atau sebagian kedalaman (<i>partial-depth repair</i>)
Tambalan yang rusak	Perbaiki <i>full depth</i>
<i>Rocking/Pumping</i>	Injeksi (<i>Grouting</i>)
Ambblas	Pengangkatan pelat (<i>slab jacking</i>) atau rekonstruksi

Perbaikan *full depth* dan penggantian pelat pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan dan perkerasan beton bersambung dengan tulangan harus menggunakan material yang sama, yang dilengkapi dengan *dowel* atau *tie bar* sesuai keperluannya. Begitu juga untuk perbaikan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan, harus dengan mutu beton yang sama. Untuk mendeteksi area-area yang mengalami kerusakan tersebut maka perlu dilakukan survei kondisi permukaan perkerasan (PCI).

Pengendalian Retak Refleksi

Dalam pelapisan tambah beton aspal JPCP atau JRCP, retak refleksi biasanya berkembang relatif segera setelah lapis tambah ditempatkan (sering dalam waktu kurang dari setahun). Retak refleksi memiliki pengaruh yang cukup besar dalam penurunan masa layan lapis tambah pada JPCP atau JRCP. Perencana teknis perlu mempertimbangkan cara-cara untuk mengendalikan retak refleksi seperti penggunaan SAMI, peningkatan tebal lapis tambah dan lain-lain.

Perencanaan Teknis Tebal Lapis Tambah

Tebal lapis tambah yang dibutuhkan merupakan fungsi dari kapasitas struktural yang diperlukan dengan memperhitungkan perkembangan beban lalu lintas yang akan datang dan kapasitas struktural perkerasan eksisting. Ketebalan lapis tambah yang diperlukan untuk meningkatkan kapasitas struktural dan mendukung lalu lintas dimasa mendatang ditentukan dari persamaan berikut:

$$D_{oi} = A(D_f - D_{eff}) \quad (6.13)$$

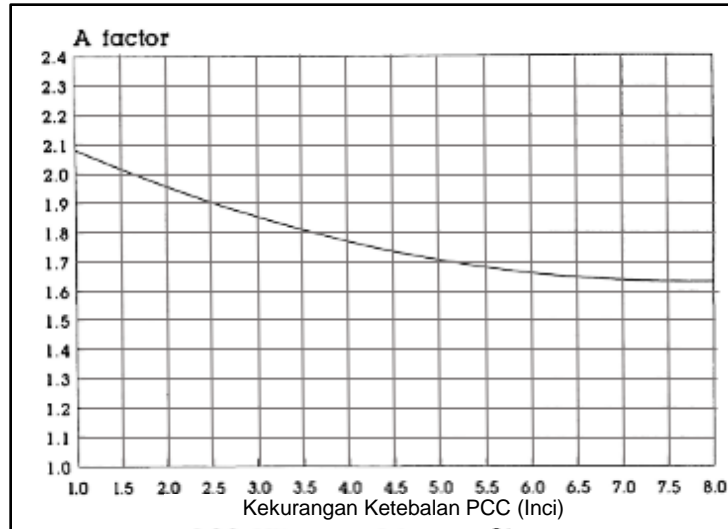
Keterangan:

- D_{oi} : Tebal lapis tambah beton aspal yang diperlukan (inci)
 A : Faktor konversi dari kekurangan tebal pelat beton ke tebal lapis tambah beton aspal
 D_f : Tebal pelat untuk melayani beban lalu lintas dimasa mendatang (inci)
 D_{eff} : Tebal efektif dari pelat beton eksisting (inci)

Faktor A merupakan fungsi dari kekurangan tebal pelat beton sesuai Persamaan 6.14.

$$A = 2,2233 + 0,0099 (D_f - D_{eff})^2 - 0,1534 (D_f - D_{eff}) \quad (6.14)$$

Ketebalan tipikal lapis tambah beton aspal pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, umumnya antara 3 sampai 6 inci. Ketebalan lapis tambah yang diperlukan dapat ditentukan melalui tahapan desain berikut. Tahapan desain ini merupakan pendekatan komprehensif sebagai pertimbangan dalam pengujian perkerasan untuk memperoleh input desain yang berlaku. Jika hal ini tidak mungkin untuk dilakukan pengujian (seperti untuk jalan dengan lalu lintas rendah), maka desain lapis tambah yang diperkirakan dapat dikembangkan berdasarkan observasi kerusakan dengan melewati langkah 4 dan 5, dan estimasi input data lainnya.



Gambar 6.11 Faktor konversi dari kekurangan ketebalan perkerasan beton ke tebal lapis tambah AC

Desain lapis tambah dapat dikerjakan untuk penampang seragam atau berdasarkan sambungan ke sambungan. Langkah penentuan tebal lapis tambah dengan beton aspal seperti yang dijelaskan berikut ini:

Langkah 1: Desain perkerasan eksisting

1. ketebalan pelat eksisting.
2. tipe transfer beban dengan batang ruji atau tanpa batang ruji (takikan).
3. tipe bahu jalan.

Langkah 2. Analisis lalu lintas

1. Prediksi beban lalu lintas masa mendatang pada ruas jalan rencana selama periode desain.
2. Gunakan perhitungan ESA dari ekuivalen beban untuk perkerasan kaku.
3. Jumlah repetisi beban lalu lintas rencana mengacu pada Bagian I Bab 4 subbab 4.8 dengan menggunakan VDF AASHTO Kaku sedangkan umur rencana mengacu pada Bagian II Bab 2. Konfigurasi sumbu kendaraan untuk masing-masing kelas pada Bagian I Bab 4 Tabel 4.4. Berdasarkan hasil penimbangan terhadap beban sumbu pada setiap kelas kendaraan selanjutnya untuk memperoleh besaran ekuivalen beban sumbu standar (ESA) AASHTO untuk setiap sumbu pada setiap kelas kendaraan, yaitu dengan mengacu LAMPIRAN I. Sehingga diperoleh besaran nilai VDF AASHTO yang mewakili untuk setiap kelas kendaraan. Namun, bilamana survei penimbangan beban sumbu kendaraan tidak mungkin dilakukan oleh perencana teknis maka dapat menggunakan nilai VDF AASHTO pada LAMPIRAN I.

Langkah 3: Survei kondisi

Penurunan kondisi perkerasan kaku yang diukur pada survei kondisi perkerasan digunakan untuk memperkirakan banyaknya kerusakan pada JPCP, JRCP, dan CRCP. Survei kondisi tersebut dilakukan umumnya pada jalur kendaraan berat. Penurunan kondisi dapat diartikan rusak sedang atau berat. Jenis-jenis kerusakan yang menyatakan penurunan kondisi adalah:

1. Kondisi JPCP dan JRCP
 - a. Jumlah kerusakan pada sambungan melintang, per mil.
 - b. Jumlah retak melintang, per mil.
 - c. Jumlah tambalan terkecuali sambungan lebar (lebih besar dari 1 inci), dan sambungan muai per mil (kecuali pada jembatan).
 - d. Masalah daya tahan perkerasan beton
 - 1) Retak durabilitas dengan tingkat keparahan rendah hanya retak saja, keparahan sedang ditunjukkan dengan beberapa gompal, tingkat keparahan tinggi disertai gompal.
 - 2) Retak agregat reaktif: tingkat keparahan rendah, sedang dan tinggi.
 - e. *Faulting*, atau *pumping* pada sambungan, retakan, dan tepi perkerasan.
2. Kondisi CRCP
 - a. Jumlah *punchout*, per mil.
 - b. Jumlah retak melintang, per mil.
 - c. Jumlah tambalan beton aspal kecuali untuk sambungan yang lebar (lebih dari 1 inci) dan sambungan *expansion joints* per mil (kecuali pada jembatan).
 - d. Volume perbaikan yang baru diperbaiki sebelum lapis tambah, per mil.
 - e. Masalah daya tahan Perkerasan Beton

Terdapat pelat beton yang memiliki tingkat keparahan masalah daya tahan secara keseluruhan (catatan: pengelupasan permukaan dengan retakan rapat dimana CRCP yang mendasarinya masih baik tidak boleh dianggap sebagai masalah daya tahan).

 - 1) Retakan "D"; dan tingkat keparahan rendah (hanya retakan), tingkat keparahan sedang (beberapa *spalling*), tingkat keparahan tinggi (*severe spalling*).
 - 2) Retak agregat reaktif: tingkat keparahan rendah, sedang, tinggi.
 - f. Tanda *pumping* dari agregat halus atau air.

Langkah 4. Uji lendutan

Pengukuran lendutan pada pelat beton sepanjang ruas jalan yang diamati dengan interval yang cukup akan memberikan penilaian kondisi yang tepat. Interval secara tipikal diambil antara 30 m sampai 100 m. Pengukuran lendutan dilakukan pada jejak roda luar dengan menempatkan sensor pada 0; 304,8; 609,6; 914,4 milimeter (0, 12, 24, dan 36 satuan dalam inci) dari pusat beban. Alat uji seperti FWD dianjurkan untuk mengukur lendutan dengan beban berat sebesar 40 kN (9.000 *pounds*). Petunjuk tambahan untuk pengujian lanjutan adalah ASTM D 4694 (2009) dan ASTM D 4695 (2003). Untuk setiap pelat yang diuji, metode hitung balik (*backcalculation*) digunakan untuk mendapatkan nilai k efektif dan modulus elastisitas pelat atau dengan menggunakan Gambar 6.12 dan Gambar 6.13. Nilai AREA untuk setiap kurva lendutan dihitung dengan Persamaan 6.15. AREA secara tipikal akan mempunyai nilai dari 29 sampai 32 untuk beton yang baik.

$$\text{AREA} = 6 \left[1 + 2 \left(\frac{d_{12}}{d_0} \right) + 2 \left(\frac{d_{24}}{d_0} \right) + \left(\frac{d_{36}}{d_0} \right) \right] \quad (6.15)$$

Keterangan:

d_0 : Lendutan pada titik tengah pelat beban (inci)

d_i : Lendutan pada 12, 24, dan 36 inci dari titik tengah pelat (inci)

Penilaian nilai modulus reaksi tanah dasar (k) lapisan di bawah pelat beton dan modulus pelat beton (E) perkerasan eksisting dengan metode lendutan

$$k = \left(\frac{p}{8d_0 l_k^2} \right) \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \times \left[\ln \left(\frac{a}{2l_k} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left(\frac{a}{l_k} \right)^2 \right\} \quad (6.16)$$

Keterangan:

- k : modulus reaksi tanah dasar (pci)
 d₀ : lendutan maksimum pada titik tengah pelat beban (inci)
 p : beban (*pound*)
 γ : konstanta *Euler's* = 0,57721566490
 a : Jari jari pelat beban (inci)
 l_k : *radius of relative stiffness* (inci), $l_k = \left[\frac{\ln \left(\frac{36 \cdot \text{AREA}}{1812,279133} \right)}{-2,559340} \right]^{4,387009}$

Jika direncanakan menggunakan ketebalan lapis tambah untuk segmen seragam, hitung nilai k dinamis efektif rata-rata dari pelat perkerasan yang diuji pada segmen seragam. Nilai tipikal k dinamis adalah 50 sampai 500 psi/inci.

1. Nilai k dinamis

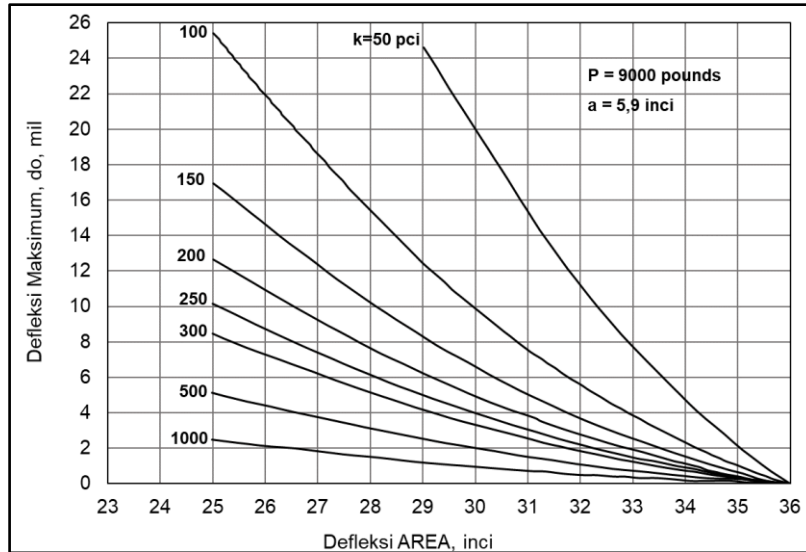
Masukkan nilai d₀ dan AREA pada Gambar 6.12 dan Gambar 6.13, untuk menentukan nilai k dinamis efektif dibawah pelat beton atau dihitung dengan menggunakan Persamaan 6.16. Pelat Beban yang digunakan untuk mengukur lendutan berbentuk lingkaran dengan jari-jari 15 cm (5,9 inci) dan beban sebesar 40 kN (9.000 *pound*).

Jika direncanakan menggunakan ketebalan lapis tambah untuk segmen seragam, hitung nilai k dinamis efektif rata-rata dari pelat perkerasan yang diuji pada segmen seragam. Nilai tipikal k dinamis adalah 50 sampai 500 psi/inci.

2. Nilai k statis efektif

Nilai k statis efektif diperlukan untuk penyesuaian terhadap pengaruh musim. Akan tetapi, nilai k dapat berubah secara substansi dan hanya mempunyai pengaruh kecil terhadap ketebalan lapis tambah.

$$\text{Nilai k statis efektif} = \frac{\text{nilai k dinamis}}{2} \quad (6.17)$$



Gambar 6.12 Nilai k dinamik efektif yang ditentukan dari d₀ dan AREA

3. Modulus elastisitas pelat perkerasan beton (E)

Untuk menentukan nilai modulus elastis pelat beton eksisting:

- masukkan nilai AREA pada Gambar 6.13;
- tentukan kurva nilai k dinamis;
- tentukan nilai ED³, dimana D adalah ketebalan pelat perkerasan kaku; dan
- hitung E dengan nilai ED³ yang telah diketahui.

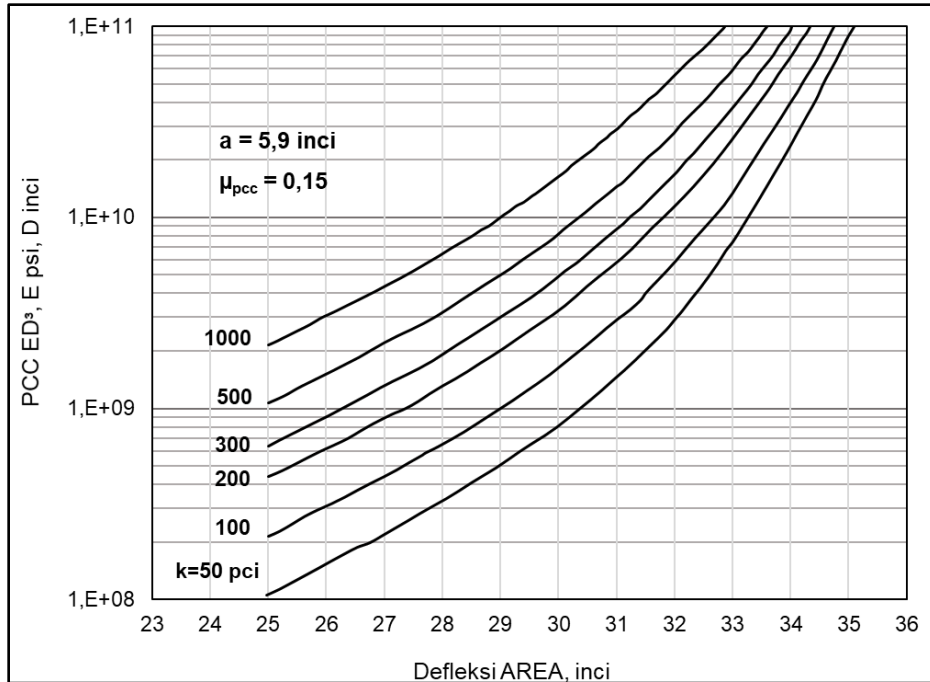
Nilai E secara tipikal mempunyai rentang dari 3 sampai 8 juta psi. Jika nilai E pelat perkerasan yang telah didapat di luar dari rentang tersebut, kesalahan mungkin terjadi pada saat pengambilan asumsi ketebalan perkerasan, lendutan diambil di atas pelat perkerasan yang retak atau perkerasan kaku telah mengalami penurunan kondisi secara signifikan.

Selain dengan menggunakan Gambar 6.13, dalam menentukan nilai modulus elastis pelat beton eksisting dapat juga dengan menggunakan Persamaan 6.18

$$E_c = \frac{l_k^4 \times (12 \times (1 - \mu_{pcc}^2) k)}{D^3} \quad (6.18)$$

Keterangan:

- E_c : Modulus pelat beton (psi)
 l_k : *Radius of relative stiffness* (inci)
 D : Tebal pelat beton (inci)
 μ : *Poisson ratio* pelat beton = 0,15
 k : Modulus reaksi tanah dasar efektif (psi/inci)



Gambar 6.13 Modulus elastis perkerasan beton ditentukan dari nilai K, AREA, dan tebal pelat

Jika direncanakan menggunakan ketebalan lapis tambah untuk segmen seragam, hitung nilai E rata-rata dari pelat perkerasan beton yang diuji pada segmen seragam. Jika setiap nilai k atau nilai E terlihat keluar dari garis secara signifikan maka nilai-nilai tersebut jangan digunakan. Nilai modulus elastisitas pelat beton adalah 3 sampai 8 juta psi untuk pelat beton yang kuat, sedangkan untuk nilai modulus lebih kecil dari 3 juta psi menunjukkan bahwa pelat beton tersebut lemah atau mutunya rendah.

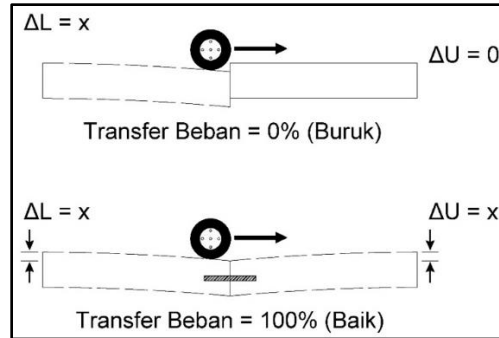
4. Transfer beban pada sambungan

Untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, pengukuran nilai transfer beban pada sambungan dilakukan pada di sisi luar jejak roda sebagai representatif sambungan melintang dan pada temperatur udara kurang dari dari 27°C (80°F). Penempatan pelat beban dilakukan pada satu sisi dari sambungan dengan tepi pelat menyentuh sambungan. Lendutan diukur pada titik tengah pelat beban dan pada 300 mm (12 inci) dari titik tengah. Hitung persentase transfer beban dengan persamaan berikut:

$$\Delta LT = 100 \left(\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l} \right) B \quad (6.19)$$

Keterangan:

- ΔLT : Persentase Lendutan transfer beban (%)
- Δ_{ul} : Lendutan sisi pada pelat yang tidak dibebani (*unloaded*) (inci)
- Δ_l : Lendutan sisi pada pelat yang dibebani (inci)
- B : Faktor koreksi lentur pelat beton



Gambar 6.14 Skema load transfer

Faktor koreksi kelenturan pelat beton (B) penting diperhitungkan, sebab lendutan d_0 dan d_{12} yang diukur pada jarak 300 mm (12 inci), tidak akan setara bila diukur pada tengah pelat perkerasan. Nilai yang tepat sebagai faktor koreksi dapat ditentukan dari rasio antara d_0 dengan d_{12} untuk pengukuran tipikal lendutan pada titik tengah pelat perkerasan, sebagaimana diperlihatkan dalam persamaan di bawah ini. Nilai B secara tipikal berada antara 1,05 dan 1,15.

$$B = \frac{d_0 \text{ tengah pelat}}{d_{12} \text{ tengah pelat}} \quad (6.20)$$

Jika direncanakan menggunakan ketebalan lapis tambah untuk segmen seragam, hitung nilai transfer defleksi rata-rata dari sambungan perkerasan yang diuji pada segmen seragam.

Untuk perkerasan JPCP dan JRCP, koefisien transfer beban (J) ditentukan menggunakan nilai pada Tabel 6.13. Jika rehabilitasi akan memasukkan bahu jalan beton, faktor J yang lebih kecil bisa lebih tepat digunakan.

Tabel 6.13 Koefisien transfer beban (J)

Transfer Beban (%)	J
> 70	3,2
50 – 70	3,5
< 50	4,0

Jika rehabilitasi mencakup penambahan bahu beton dengan batang pengikat (*tie bar*), disarankan mengambil nilai J yang lebih rendah. Untuk CRCP, gunakan nilai $J = 2,2$ hingga 2,6 pada desain tebal lapis tambah, dengan asumsi bahwa retak aktif yang terjadi telah diperbaiki dengan adanya tulangan menerus pada beton.

Langkah 5. **Coring dan uji bahan (sangat dianjurkan)**

Modulus of rupture PCC (S_c')

Pengambilan contoh untuk pengujian uji kuat tarik tak langsung (*indirect tension*) (ASTM C 496) dilakukan pada tengah pelat perkerasan dengan bor inti berdiameter 6 inci. Selanjutnya hitung kuat tarik tak langsung (psi) dari bor inti tersebut. Estimasi nilai *modulus of rupture* dengan persamaan berikut.

$$S'_c = 210 + 1,02 \times IT \quad (6.21)$$

Keterangan:

S'_c : Modulus of rupture (psi)

IT : Kuat tarik tak langsung dari bor inti berdiameter 6 inci (psi)

Langkah 6: Menentukan ketebalan pelat perkerasan yang diperlukan untuk beban lalu lintas rencana (D_r)

Input data untuk menentukan nilai D_r yang digunakan pada perhitungan tebal lapis tambah AC pada perkerasan beton direpresentasikan oleh pelat perkerasan eksisting dan properti pondasi. Properti dari pelat perkerasan eksisting (seperti modulus elastisitas, modulus of rupture dan transfer beban) akan mengontrol kinerja lapis tambah AC.

1. Nilai k statis efektif di bawah pelat perkerasan beton eksisting
Nilai tersebut ditentukan dari salah satu metode berikut:
 - a. Menghitung balik nilai k dinamis efektif dari kurva lendutan. Nilai k dinamis efektif dibagi dua untuk mendapatkan nilai k statis efektif. Nilai k statis efektif diperlukan untuk menyesuaikan pengaruh musim.
 - b. Melakukan uji beban pelat (*plate loading test*) sesuai ASTM D 1196, setelah pelat beton dibongkar pada beberapa lokasi. Alternatif ini sering tidak digunakan karena sangat mahal dan memakan waktu. Nilai statis k yang diperoleh perlu disesuaikan dengan pengaruh musim.
 - c. Estimasi dari data tanah, tipe pondasi dan ketebalan menggunakan Gambar 6.15. Alternatif ini sederhana, tetapi nilai k statis yang didapat merupakan estimasi kasar. Nilai statis k yang diperoleh perlu disesuaikan dengan pengaruh musim.
2. Desain Penurunan “Indeks Pelayanan” PSI (*Present Serviceability Index*). PSI setelah lapis tambah (P_0) dikurangi PSI pada waktu perbaikan selanjutnya (P_t).
3. Faktor koefisien transfer beban (J)
Faktor koefisien transfer beban (J) pada pelat perkerasan eksisting dapat dilihat pada tabel 6.13.
4. Modulus of rupture PCC
Modulus of rupture pelat beton eksisting ditentukan dari salah satu cara berikut:
 - a. perkiraan dari kuat tarik tak langsung yang diukur dari bor inti dengan diameter 6 inci seperti yang dijelaskan pada Langkah 5; dan
 - b. perkiraan dari hitung balik nilai E pelat perkerasan kaku dengan menggunakan Persamaan 6.22 berikut.

$$S'_c = 43,5 \left(\frac{E}{10^6} \right) + 488,5 \quad (6.22)$$

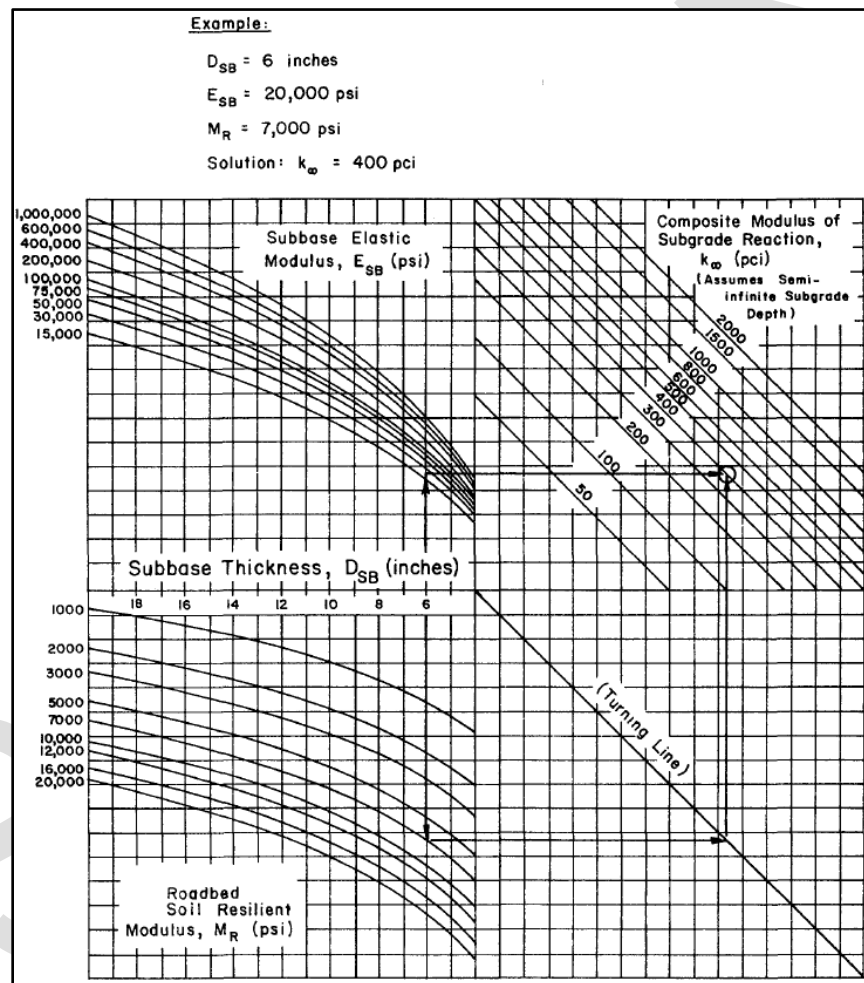
Keterangan:

S'_c : Modulus of rupture (psi)

E : Modulus elastisitas pelat perkerasan kaku dari hitung balik (psi)

5. Modulus elastis pelat perkerasan kaku eksisting, ditentukan dari salah satu cara berikut:
 - a. Hitung balik dari pengukuran lendutan seperti yang diuraikan dalam Tahap 4.
 - b. Diperkirakan dari uji *indirect tensile strength*.
6. Kehilangan daya dukung dari pelat perkerasan eksisting:

Sudut sambungan yang mempunyai kehilangan daya dukung diidentifikasi dengan uji lendutan FWD. Kehilangan daya dukung eksisting dapat dikoreksi dengan stabilisasi pelat perkerasan. Untuk desain ketebalan lapis tambah diasumsikan pelat perkerasan mempunyai daya dukung penuh, $LS = 0$.
7. Reliabilitas (R) ditetapkan sebesar 90%.
8. Standar deviasi keseluruhan (S_o) untuk perkerasan kaku, tipikal 0,39.



Gambar 6.15 Grafik untuk mengestimasi modulus komposit reaksi tanah dasar, k

9. Kemampuan drainase bawah permukaan

Untuk menentukan nilai C_d perlu ditinjau kemampuan drainase bawah permukaan dari perkerasan eksisting. *Pumping* atau *faulting* pada sambungan serta retak yang telah ditentukan pada langkah 3 membuktikan bahwa ada masalah pada drainase bawah

permukaan. Sebagai catatan bahwa kondisi drainase bawah permukaan yang buruk pada AASHTO Road Test diberikan nilai $C_d = 1,0$.

Tabel 6.14 Koefisien drainase C_d , untuk perkerasan kaku

Kualitas Drainase	Persentase Waktu Di Mana Struktur Perkerasan Mengalami Tingkat Kadar Air yang Hampir Mendekati Jenuh			
	<1%	1 – 5%	5 – 25%	>25%
Sangat Baik	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Baik	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Sedang	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Jelek	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Sangat Jelek	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

10. Perhitungan kebutuhan tebal pelat beton rencana, D_f
Hitung D_f dengan menggunakan Persamaan 6.23 untuk desain perkerasan kaku.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 7,35 \times \log_{10}(D_f + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D_f + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \times p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S_c' \times C_d \times [D_f^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \left[D_f^{0,75} \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]} \right] \quad (6.23)$$

Keterangan:

- W_{18} : Akumulasi ekuivalen beban sumbu standar pada lajur rencana selama umur rencana (ESAL AASHTO Kaku)
 Z_R : Deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan 90% (-1,282)
 S_0 : Gabungan *standard error* untuk perkiraan lalu lintas dan kinerja (0,39)
 ΔPSI : Perbedaan antara tingkat pelayanan awal dan akhir pada umur rencana
: Tingkat pelayanan awal (p_0) adalah 4,5 dan tingkat pelayanan akhir (p_t) adalah 2,5 sesuai dengan AASHTO 1993.
 D_f : Tebal pelat beton rencana (yang dibutuhkan) (inci)
 S_c' : *Modulus of rupture* (psi)
 J : Koefisien penyaluran beban
 C_d : Koefisien drainase
 E_c : Modulus elastisitas beton (psi)
 k : Modulus reaksi tanah dasar (pci)

Bilamana perencanaan tebal lapis tambah digunakan untuk segmen seragam, maka digunakan nilai rata-rata. Jika dalam satu segmen didapatkan data yang beragam maka bisa dibuat per sub segmen dengan batasan nilai keseragaman kurang dari 30% sesuai dengan subbab 3.1 mengenai penentuan segmen homogen.

Langkah 7. Menentukan tebal pelat perkerasan efektif (D_{eff}) dari perkerasan eksisting

Tebal efektif perkerasan eksisting (D_{eff}) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$D_{eff} = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D \quad (6.24)$$

Keterangan:

- D : Tebal perkerasan beton eksisting (inci)
 F_{jc} : Faktor penyesuaian sambungan dan retak
 F_{dur} : Faktor penyesuaian daya tahan
 F_{fat} : Faktor penyesuaian kerusakan akibat retak lelah

1. Faktor penyesuaian sambungan dan retak (F_{jc})

Faktor ini disesuaikan dengan penurunan nilai indeks kondisi pelayanan (*Present Serviceability Index*, PSI) yang disebabkan oleh kerusakan retak yang muncul pada lapis tambah sebagai akibat dari sambungan yang rusak dan belum diperbaiki, juga retak dan *faulting* pada perkerasan eksisting sebelum dilapis ulang. Sambungan yang rusak atau retak pada perkerasan eksisting akan secara cepat menembus masuk ke dalam lapisan tambah AC dan berkontribusi pada kehilangan tingkat pelayanan. Oleh karena itu, direkomendasikan bahwa semua kerusakan sambungan, retak dan *faulting* pada perkerasan eksisting haruslah diperbaiki sebelum pelapisan tambah, sehingga nilai $F_{jc} = 1,0$.

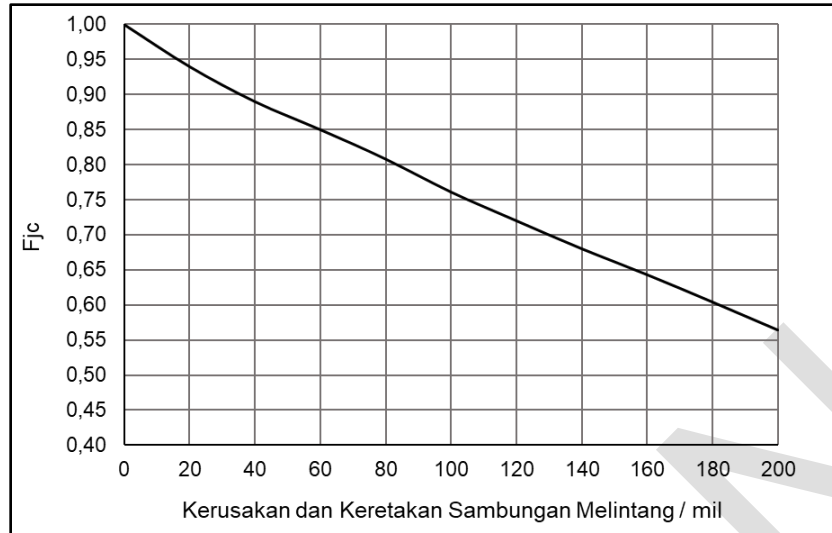
Jika tidak mungkin untuk memperbaiki semua kerusakan, beberapa aspek berikut diperlukan dalam penentuan F_{jc} , untuk meningkatkan ketebalan lapis tambah dan menghitung penurunan nilai PSI dari keretakan pada jalur rencana, diantaranya:

- Jumlah sambungan yang rusak yang tidak diperbaiki per mil.
- Jumlah retak yang tidak diperbaiki per mil.
- Jumlah *punchouts* yang tidak diperbaiki per mil.
- Jumlah sambungan muai, kecuali sambungan lebar (lebih dari 1 inci), dan tambalan penuh selebar lajur, tambalan dengan AC sepanjang lebar lajur per mil.

Perhatikan bahwa retak yang rapat dan disatukan oleh tulangan pada JRCP atau CRCP tidak termasuk. Tetapi jika retak pada JRCP dan CRCP terjadi dan telah pecah maka hal tersebut merupakan indikasi bahwa tulangan tidak bekerja dengan baik, hal ini juga merupakan indikasi retak aktif.

Jumlah total dari sambungan yang rusak tidak diperbaiki, retak, *punchouts*, *faulting* per mil pada jalur rencana adalah digunakan untuk menentukan nilai F_{jc} dari Gambar 6.16.

Perkerasan dengan retakan "D" atau kerusakan agregat reaktif sering mengalami kerusakan pada sambungan dan retakan karena masalah daya tahan. Faktor F_{dur} digunakan untuk sebagai salah satu input dalam penentuan ketebalan lapis tambah. Oleh karena itu, jika hal ini terjadi, F_{jc} harus ditentukan dari Gambar 6.16 hanya dengan menggunakan sambungan rusak yang tidak diperbaiki dan retakan yang bukan disebabkan masalah daya tahan. Jika kerusakan sambungan dan retak disebabkan oleh retak karena faktor daya tahan maka $F_{jc}=1,0$. Hal ini untuk menghindari dua kali perhitungan dengan faktor F_{jc} dan F_{dur} .



Gambar 6.16 Faktor F_{jc}

2. Faktor penyesuaian daya tahan (F_{dur})

Faktor ini digunakan untuk kehilangan kemampuan layan yang disebabkan oleh masalah daya tahan beton atau agregat reaktif. Penggunaan data survei kondisi dari Langkah 3 untuk menentukan F_{dur} pada tabel 6.15

Tabel 6.15 Perkiraan nilai F_{dur} berdasarkan kerusakan perkerasan beton

Deskripsi kerusakan	F_{dur}
Tidak ada tanda-tanda masalah daya tahan pada beton PCC	1,00
Ada retak daya tahan, tetapi tidak ada gompal	0,96 – 0,99
Ada retak substansial dan beberapa gompal	0,88 – 0,95
Terjadi retak yang luas dan beberapa gompal	0,80 – 0,88

3. Faktor penyesuaian kerusakan akibat retak lelah (F_{fat})

Faktor ini disesuaikan untuk memperhitungkan kerusakan retak lelah yang mungkin terjadi pada pelat perkerasan. Hal ini ditentukan dengan observasi penambahan retak melintang pada JPCP dan JRCP atau *punchouts* pada CRCP sebagai faktor utama yang disebabkan oleh beban berulang. Dengan menggunakan data survei kondisi dari Langkah 3, maka dapat diperkirakan F_{fat} pada lajur rencana, seperti tertera pada Tabel 6.16.

Tabel 6.16 Perkiraan nilai F_{fat} berdasarkan kerusakan perkerasan beton

Deskripsi Kerusakan	F_{fat}
Sedikit retak melintang/ <i>punchout</i> , bukan disebabkan kerusakan akibat retak daya tahan atau agregat reaktif <ul style="list-style-type: none"> JPCP, < 5 persen pelat perkerasan terjadi retak JRCP, < 25 retak aktif per mil CRCP, < 4 <i>punchout</i> per mil 	0,97 – 1,00
Jumlah retak melintang/ <i>punchout</i> yang terjadi cukup signifikan, bukan disebabkan kerusakan akibat retak daya tahan atau agregat reaktif <ul style="list-style-type: none"> JPCP, 5 - 15% pelat perkerasan terjadi retak 	0,94 – 0,96

Deskripsi Kerusakan	F _{fat}
<ul style="list-style-type: none"> JRCP, 25 - 75 retak aktif per mil CRCP, 4 - 12 <i>punchout</i> per mil 	
Jumlah retak melintang/ <i>punchout</i> sangat banyak, bukan disebabkan kerusakan akibat retak daya tahan atau agregat reaktif <ul style="list-style-type: none"> JPCP, >15 persen pelat perkerasan terjadi retak JRCP, >75 retak aktif per mil CRCP, > 12 <i>punchout</i> per mil 	0,90 – 0,93

Langkah 8. Menentukan tebal lapis tambah

Tebal lapis tambah AC dihitung dari persamaan berikut:

$$D_{oi}=A(D_f-D_{eff}) \quad (6.25)$$

Keterangan:

- D_{oi} : Ketebalan lapis tambah AC yang diperlukan (inci)
 A : Faktor konversi ketebalan lapis tambah AC (Gambar 6.11 atau Persamaan 6.14)
 D_f : Ketebalan pelat perkerasan yang ditentukan dari Langkah 6 (inci)
 D_{eff} : Ketebalan efektif pelat perkerasan eksisting yang ditentukan dari Langkah 7(inci)

Ketebalan lapis tambah yang ditentukan dari hubungan di atas adalah tebal lapis tambah yang diperlukan dalam mengoreksi kekurangan struktural. Setelah didapatkan hasil tebal lapis tambah menggunakan Persamaan 6.25, dilakukan konversi satuan dari inci ke milimeter yang dibulatkan keatas.

6.5.1 Contoh Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Kaku (AC di atas JPCP)

Segmen jalan dengan perkerasan kaku JPCP direncanakan melayani lalu lintas sebesar 40.893.313 ESAL AASHTO Kaku dan memiliki tebal 28 cm akan dilakukan pelapisan tambah AC. Pengujian FWD dilakukan pada tengah dan sambungan pelat beton dengan diameter pelat beban sebesar 300 mm. Analisa desain lapis tambah ini menggunakan reliabilitas 90% sehingga memiliki nilai Z_R sebesar -1,282. Standar deviasi yang digunakan adalah 0,39. Tentukan tebal lapis tambah perkerasan (*overlay*) berdasarkan data lendutan dan data lainnya seperti ditunjukkan pada data berikut:

Data Lendutan (FWD) pada Tengah Pelat (*Basin*)

STA	Beban (kN)	Suhu (°C)		Lendutan (mikrometer)								
		Udara	Perm.	df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	df ₈
00+012	40	28,0	26,5	60,6	55,9	53,7	49,8	47	40,7	34,7	29,4	25,2

Data Lendutan (FWD) pada Sambungan Pelat (*Joint*)

STA	Beban (kN)	Suhu (°C)		Lendutan (mikrometer)								
		Udara	Perm.	df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	df ₈
00+014	39,87	27,0	26,0	55,70	53,90	48,30	44,80	41,60	35,20	26,70	23,00	22,70

Dengan jarak *geophone* dari pusat beban adalah sebagai berikut:

No. <i>Geophone</i>	df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	df ₈
Jarak ke pusat beban (mm)	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800

Berikut adalah garis besar langkah penyelesaian:

a. Mengubah satuan menjadi satuan U.S Unit

Satuan pada data lendutan FWD pada tengah pelat diubah menjadi satuan U.S unit.

$$\begin{aligned} df_0 &: 2,39 \text{ mils} & df_5 &: 1,60 \text{ mils} \\ df_1 &: 2,20 \text{ mils} & df_6 &: 1,37 \text{ mils} \\ df_2 &: 2,11 \text{ mils} & df_7 &: 1,16 \text{ mils} \\ df_3 &: 1,96 \text{ mils} & df_8 &: 0,99 \text{ mils} \\ df_4 &: 1,85 \text{ mils} & & \end{aligned}$$

Beban : 9.000 Pounds

b. Menghitung PCC AREA

$$AREA = 6 \times \left[1 + 2 \left(\frac{d_{12}}{d_{0pcc}} \right) + 2 \left(\frac{d_{24}}{d_{0pcc}} \right) + \left(\frac{d_{36}}{d_{0pcc}} \right) \right]$$

Perhitungan AREA ini menggunakan data lendutan FWD pada tengah pelat (*basin*), dimana:

$$d_{12} \rightarrow d_{300} = df_2$$

$$d_{24} \rightarrow d_{600} = df_4$$

$$d_{36} \rightarrow d_{900} = df_5$$

$$AREA = 6 \times \left[1 + 2 \left(\frac{2,11}{2,39} \right) + 2 \left(\frac{1,85}{2,39} \right) + \left(\frac{1,60}{2,39} \right) \right]$$

$$AREA = 29,9 \text{ inci}$$

c. Menghitung *Dense Liquid Radius*

$$l_k = \left[\frac{\ln \left(\frac{36 - AREA}{1812,279133} \right)}{-2,559340} \right]^{4,387009} = \left[\frac{\ln \left(\frac{36 - 29,899}{1812,279133} \right)}{-2,559340} \right]^{4,387009} = 33,4 \text{ inci}$$

d. Menghitung *Effective k Value*

$$k = \left(\frac{p}{8d_0 l_k^2} \right) \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \times \left[\ln \left(\frac{a}{2l_k} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left(\frac{a}{l_k} \right)^2 \right\}$$

γ : konstanta Euler's = 0,57721566490

Diameter pelat beban FWD yang dipakai adalah 300 mm, sehingga jari-jarinya adalah 150 mm atau 5,91 inci. Berikut perhitungan nilai k.

$$k = \left(\frac{9000}{8 \times (2,39 \times 10^{-3}) \times 33,39^2} \right) \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \times \left[\ln \left(\frac{5,91}{2 \times 33,39} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left(\frac{5,91}{33,39} \right)^2 \right\}$$

$$k = 415,8 \text{ pci}$$

Sedangkan untuk nilai k efektif dihitung sebagai berikut:

$$k_{\text{eff}} = \frac{k}{2} = \frac{415,8}{2} = 207,9 \text{ pci}$$

e. Menghitung Modulus Pelat Beton, Modulus PCC

$$E_c = \frac{l_k^4 \times 12 (1 - \mu_{\text{pcc}}^2) k_{\text{eff}}}{D_{\text{pcc}}^3}$$

Tebal pelat beton sebesar 28 cm atau 11,02 inci dan *poisson's ratio* beton sebesar 0,15.

$$E_c = \frac{33,4^4 \times 12 (1 - 0,15^2) 207,91}{11,02^3}$$

$$E_c = 2.261.519 \text{ psi}$$

f. Menghitung Log W_{18}

$$\text{Log } W_{18} = \log(40.893.313) = 7,6$$

g. Menghitung lendutan transfer beban (*load transfer*) dan koefisien drainase

Lendutan transfer beban dihitung sebagai berikut:

$$\Delta LT = 100 \left(\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l} \right) B ; \text{ dimana } B = \frac{d_{0 \text{ tengah pelat}}}{d_{12 \text{ tengah pelat}}}$$

$$\Delta LT = 100 \left(\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l} \right) \frac{d_{0 \text{ tengah pelat}}}{d_{12 \text{ tengah pelat}}} = 100 \left(\frac{48,3}{55,7} \right) \frac{60,6}{53,7} = 97,86\%$$

Tabel 6.12 menunjukkan nilai koefisien transfer beban (J) sebesar 3,2. Berdasarkan data, kondisi drainase berada pada kondisi baik dengan struktur yang terekspos kelembaban 25% sehingga nilai C_d sebesar 1,00 (Tabel 6.14).

h. Menghitung *Modulus of Rupture* (S'_c)

$$S'_c = 43,5 \times \left(\frac{E_c}{10^6} \right) + 488,5 = 43,5 \times \left(\frac{2.261.519}{10^6} \right) + 488,5 = 586,9 \text{ psi}$$

i. Menghitung D_f , Kebutuhan Tebal Beton

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10} (D_f + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D_f + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_t) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c C_d \times [D_f^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \left[D_f^{0,75} \frac{18,42}{(E_c / k_{\text{eff}})^{0,25}} \right]} \right)$$

Dalam mencari nilai D_f beberapa parameter ditentukan seperti Standar Deviasi (S_0) dengan mengambil nilai 0,39. Selain itu, perbedaan antara tingkat pelayanan awal dan akhir pada umur rencana atau ΔPSI ditentukan untuk Tingkat pelayanan awal (p_0) adalah 4,5 dan tingkat pelayanan akhir (p_t) adalah 2,5 sesuai dengan AASHTO 1993. Sehingga perhitungan nilai D_f dilakukan sebagai berikut:

$$7,61 = -1,282 \times 0,39 + 7,35 \log_{10}(D_f + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{4,5 - 2,5}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^{-7}}{(D_f + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10} \left(\frac{586,9 \times 1 \times [D_f^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times 3,2 \left[D_f^{0,75} \frac{18,42}{(2,261.519/207,9)^{0,25}} \right]} \right)$$

Dengan proses iterasi perhitungan didapatkan nilai $D_f = 12,89$ inci

j. Menentukan nilai F_{jc} , F_{dur} , dan F_{fat}

Dari data kondisi perkerasan didapatkan bahwa dalam satu mil terdapat 10 titik kerusakan pada sambungan, sehingga F_{jc} ditentukan berdasarkan Gambar 6.16, didapatkan nilai $F_{jc} = 0,96$.

Penentuan F_{dur} berdasarkan data kondisi perkerasan didapatkan bahwa jalan eksisting hanya memiliki sedikit retak melintang dan tidak ada tanda-tanda masalah daya tahan pada beton sehingga berdasarkan Tabel 6.15 nilai $F_{dur} = 1$. Dari data kondisi perkerasan didapatkan bahwa tidak ada tanda-tanda masalah daya tahan, sedikit retak melintang bukan disebabkan oleh kerusakan akibat retak daya tahan atau agregat reaktif (< 5% pelat perkerasan terjadi retak) sehingga berdasarkan Tabel 6.16 nilai $F_{fat} = 1$.

k. Menghitung nilai D_{eff}

$$D_{eff} = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D$$

Dimana D adalah tebal pelat beton sebesar 28 cm atau 11,02 inci, sehingga nilai D_{eff} adalah

$$D_{eff} = 0,96 \times 1 \times 1 \times 11,02 = 10,58 \text{ inci}$$

l. Menghitung nilai A

$$A = 2,2233 + 0,0099(D_f - D_{eff})^2 - 0,1534(D_f - D_{eff})$$

$$A = 2,2233 + 0,0099(12,89 - 10,58)^2 - 0,1534(12,89 - 10,58) = 1,92$$

m. Menghitung tebal lapis tambah AC, D_{ol}

$$D_{ol} = A(D_f - D_{eff}) = 1,92(12,89 - 10,58) = 4,44 \text{ inci} = 11,27 \text{ cm} \approx 12 \text{ cm}$$

6.6 Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Komposit (AC di atas AC/JPCP, AC/JRCP, dan AC/CRCP)

Subbab ini membahas mengenai perhitungan desain lapis tambah beton aspal di atas perkerasan beton semen yang telah diberi lapisan beton aspal sebelumnya, sebelum pelaksanaan pelapisan tambah beton aspal yang baru perlu dilakukan perbaikan yang meliputi:

1. Perbaiki kerusakan setempat untuk perkerasan beton aspal yang mengalami kerusakan dengan kerapatan rendah dan perbaikan drainase jika diperlukan.
2. Perbaiki segmental dengan pengupasan lapisan beton aspal lama menggunakan alat *Milling Machine* bila kerusakannya memiliki kerapatan yang merata.
3. Pemberian lapis pengikat (*tack coat*).
4. Penempatan lapis tambah beton aspal, termasuk penanganan pengendalian retak refleksi (jika diperlukan)

Kelayakan

Pelapisan tambah beton aspal di atas perkerasan komposit merupakan suatu teknik yang cukup layak, kecuali bila perkerasan lama perlu dibongkar dan diganti. Berikut ini merupakan kondisi yang tidak layak untuk melakukan pelapisan tambah beton aspal yang baru yaitu:

- 1) Jumlah kerusakan retak pada pelat dan gompal pada sambungan begitu besar, sehingga perlu dilakukan pembongkaran dan penggantian pada perkerasan lama.
- 2) Adanya kerusakan yang cukup berat pada pelat perkerasan beton akibat masalah daya tahan.
- 3) Ruang bebas dalam arah vertikal pada suatu jembatan yang tidak memadai.

Perbaikan Sebelum Pelapisan tambah

Berikut ini kerusakan pada AC/JPCP, AC/JRCP, dan AC/CRCP yang harus diperbaiki dahulu sebelum pelapisan tambah beton aspal yang baru, seperti disajikan pada Tabel 6.17.

Tabel 6.17 Jenis kerusakan dan perbaikan yang perlu dilakukan sebelum pelapisan tambah

Jenis Kerusakan	Jenis Perbaikan
Alur	Miling
Retak refleksi	Perbaikan <i>full depth</i> atau penggantian pelat
Kerusakan pada pelat yang sudah diperbaiki	Perbaikan <i>full depth</i> atau penggantian pelat
<i>Punchout</i>	Perbaikan <i>full depth</i> atau penggantian pelat
Kerusakan setempat hanya pada lapisan beton aspal	Tambalan dengan beton aspal
Kerusakan setempat hanya pada pelat beton	Perbaikan <i>full depth</i> atau penggantian pelat
<i>Pumping</i>	Pembuatan tali air dari tepi perkerasan ke arah keluar bahu jalan
Penurunan / Peninggian	Peninggian permukaan beton aspal, <i>slab jacking</i> , atau rekonstruksi lokal

Catatan:

Untuk penanganan retak refleksi pada perkerasan beraspal eksisting dengan lebar celah kurang dari 10 mm namun pelat beton masih utuh, perbaikannya dapat juga menggunakan teknologi SAMI sebelum diberi lapisan tambah.

Pada AC/JPCP dan AC/JRCP, retak refleksi dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi pada beton aspal merupakan bukti dari retak aktif, sambungan yang rusak atau perbaikan yang tidak sempurna pada pelat beton, di mana semua ini harus diperbaiki dengan cara *full depth*. Retak

refleksi dengan tingkat kerusakan rendah bisa terjadi pada sambungan regular atau pada perbaikan sambungan dengan cara *full depth*.

Pada AC/CRCP, retak refleksi pada semua tingkatan menunjukkan adanya retak aktif, kerusakan pada sambungan pelaksanaan atau kerusakan pada perbaikan pelat beton, semua ini harus diperbaiki.

Pengendalian Retak Refleksi

Retak refleksi pada lapisan tambah beton aspal pada AC/JPCP, AC/JRCP, atau AC/CRCP terjadi di atas retak refleksi pada lapisan beton aspal yang pertama, dan mungkin juga terjadi di atas hasil perbaikan yang baru.

Perbaikan sebelum pelapisan tambah, termasuk perbaikan *full depth* adalah salah satu yang efektif untuk mengontrol retak refleksi dan kerusakan yang terjadi pada lapisan tambah aspal yang ke dua dari AC/JPCP atau AC/JRCP. Air yang terperangkap dapat di atasi dengan pembuatan tali air dari tepi perkerasan ke arah keluar bahu jalan. Apabila pengaruh dari muka air tanah tinggi maka harus dibuatkan *subdrain* dibawah saluran tepi kiri atau kanan jalan.

Retak refleksi seringkali mempengaruhi umur dari pelapisan tambah beton aspal di atas AC/JPCP atau AC/JRCP. Kerusakan retak refleksi akan menurunkan tingkat pelayanan perkerasan dan juga memerlukan pemeliharaan yang sering, seperti *sealing*, *milling*, dan tambalan.

Penanganan retak refleksi tidak diperlukan pada pelapisan tambah beton aspal di atas perkerasan beton CRCP, kecuali pada sambungan memanjang dan selama penanganan tersebut untuk memperbaiki daerah yang mengalami kerusakan dan retak.

Perencanaan Teknis Tebal Lapis Tambah

Pelapisan tambah yang diperlukan untuk kebutuhan pelayanan beban lalu lintas selama umur rencana. Ketebalan lapisan tambah bisa ditentukan melalui langkah-langkah berikut ini.

Langkah 1. Identifikasi perencanaan teknis dan kondisi perkerasan lama

1. Tebal lapisan beton aspal eksisting.
2. Tebal pelat beton pada perkerasan eksisting.
3. Tipe transfer beban (menggunakan ruji, tanpa ruji atau CRCP).
4. Tipe bahu jalan (perkerasan beton dengan batang pengikat, monolit, atau beton aspal). rekomendasi koefisien transfer beban untuk variasi tipe perkerasan dan kondisi desain tipe bahu jalan.

Langkah 2. Analisa beban lalu lintas

1. Prediksi beban lalu lintas masa mendatang pada ruas jalan rencana selama periode desain.
2. Gunakan perhitungan ESA dari ekuivalen beban untuk perkerasan kaku.
3. Jumlah repetisi beban lalu lintas rencana mengacu pada Bagian I Bab 4 subbab 4.8 dengan menggunakan VDF AASHTO Kaku sedangkan umur rencana mengacu pada Bagian II Bab 2. Konfigurasi sumbu kendaraan untuk masing-masing kelas pada Bagian I Bab 4 Tabel 4.4. Berdasarkan hasil penimbangan terhadap beban sumbu pada setiap kelas kendaraan selanjutnya untuk memperoleh besaran ekuivalen beban sumbu standar (ESA) AASHTO untuk setiap sumbu pada setiap kelas kendaraan, yaitu dengan mengacu LAMPIRAN I. Sehingga diperoleh besaran nilai VDF AASHTO Kaku yang mewakili untuk setiap kelas

kendaraan. Namun, bilamana survei penimbangan beban sumbu kendaraan tidak mungkin dilakukan oleh perencana teknis maka dapat menggunakan nilai VDF AASHTO Kaku pada LAMPIRAN I.

Langkah 3. Survei kondisi permukaan perkerasan

Survei dilakukan untuk mendapatkan data kerusakan perkerasan pada lajur yang paling berat menerima beban lalu lintas, hal ini dilakukan untuk menentukan perkiraan jumlah dan jenis kerusakan tersebut. Tingkat keparahan kerusakan dikategorikan ke dalam sedang dan tinggi.

Kondisi perkerasan AC/JPCP atau AC/JRCP

1. Jumlah kerusakan retak refleksi per mil.
2. Jumlah kerusakan sambungan melintang per mil.
3. Jumlah tambalan *full depth* beton aspal, dan sambungan muai per mil (kecuali pada jembatan).
4. Keberadaan *pumping* dari material halus atau air pada retak dan tepi perkerasan.
5. Kedalaman alur rata-rata.
6. Jumlah kerusakan setempat.

Kondisi perkerasan AC/CRCP

1. Jumlah *punchout* yang tidak diperbaiki per mil.
2. Jumlah kerusakan retak melintang yang tidak diperbaiki per mil.
3. Jumlah kerusakan yang tidak diperbaiki pada perkerasan eksisting dan perbaikan *full depth* per mil.
4. Keberadaan *pumping* dari material halus atau air pada retak dan tepi perkerasan.
5. Kedalaman alur rata-rata.

Langkah 4. Pengujian lendutan

Pengujian lendutan sepanjang segmen yang direncanakan dengan interval yang umum antara 30 sampai dengan 100 m. Pengukuran lendutan dilakukan pada jejak roda luar dengan menempatkan sensor pada 0; 304,8; 609,6; 914,4 mm (0, 12, 24, dan 36 inci) dari pusat beban, di mana pengukuran dilakukan pada jejak roda luar dengan beban yang disarankan 40 kN (9000 pounds). Bilamana alur pada perkerasan akan menyebabkan ketidaksempurnaan pada penempatan pelat, maka lendutan diukur di antara jejak roda. Metode uji ASTM D 4694 dan D 4695 memberikan pedoman tambahan pada pengukuran lendutan.

1. Temperatur beton aspal

Temperatur beton aspal selama pengujian harus diukur. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat lubang (melakukan pengeboran) secara langsung pada permukaan beton aspal, memasukan cairan dan batang termometer, serta dibaca temperatur beton aspal ketika sudah stabil. Hal ini harus dilakukan paling sedikit tiga kali pada setiap hari pengujian, sehingga bisa dibuat kurva antara temperatur beton aspal terhadap waktu, dan bisa digunakan untuk perhitungan pada kurva lendutan.

2. Modulus elastisitas beton aspal

Modulus lapisan beton aspal harus ditentukan dari masing-masing pengukuran kurva lendutan. Ada dua metode untuk menentukan modulus beton aspal, E_{ac} .

a. Estimasi E_{ac} dari temperatur beton aspal

Modulus elastisitas lapisan beton aspal bisa diperkirakan dari sifat campuran beton aspalnya dan temperatur beton aspal pada waktu pengujian lendutan, menggunakan persamaan berikut:

$$\log E_{ac} = 5,553833 + 0,028829 \left(\frac{P_{200}}{F^{0,170333}} \right) - 0,03476 V_v + 0,070377 \eta_{70^\circ F, 10^6} + 0,000005 t_p^{(1,3+0,49825 \log F)} P_{ac}^{0,5} - \frac{0,00189}{F^{1,1}} \times t_p^{(1,3+0,49825 \log F)} P_{ac}^{0,5} + 0,931757 \left(\frac{1}{F^{0,02774}} \right) \quad (6.26)$$

Keterangan:

E_{ac} : Modulus elastisitas beton aspal (psi)

P_{200} : Persen agregat lolos #200

F : Frekuensi beban (Hz)

V_v : Rongga udara (%)

$\eta_{70^\circ F, 10^6}$: *Absolute* viskositas pada 70°F, 10⁶ poise (1 untuk AC-10/Pen Grade 40, dan 2 untuk AC-20/Pen Grade 60)

P_{ac} : Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran

t_p : Temperatur beton aspal (*mix*) (°F)

Persamaan antara modulus elastisitas beton aspal (E_{ac}) dan temperatur beton aspal untuk frekuensi beban tertentu, bisa disederhanakan (misalnya; frekuensi beban 18 Hz untuk pembebanan FWD antara 25 sampai 30 mili *second*) dengan menganggap parameter nilai campuran beton aspal dengan nilai tipikalnya, seperti P_{ac} , V_v , P_{200} dan μ . Sebagai contoh, campuran beraspal dari suatu daerah mempunyai nilai tipikal sebagai berikut:

- a. P_{200} : 4 persen
- b. V_v : 5 persen
- c. $\eta_{70^\circ F, 10^6}$: 2 untuk AC-20
- d. P_{ac} : 5 persen

Untuk nilai tersebut di atas dengan frekuensi beban FWD 18 Hz, diperoleh persamaan modulus elastisitas beton aspal E_{ac} terhadap temperatur beton aspal menjadi:

$$\log E_{ac} = 6,451235 - 0,000164671 t_p^{1,92544} \quad (6.27)$$

Perlu dicatat, bahwa persamaan modulus beton aspal sebagai fungsi parameter campuran dan temperatur berlaku untuk campuran yang baru. Beton aspal yang telah dihampar lama mungkin mempunyai modulus yang lebih tinggi (karena aspal mengalami *aging*) atau lebih rendah (akibat kerusakan pada beton aspal, misal pengelupasan (*stripping*) atau kasus lainnya).

- b. Pengujian modulus resilien dari beton aspal hasil *coring* di lapangan, bisa digunakan untuk menentukan hubungan antara modulus beton aspal dan temperatur. Hubungan ini bisa dipergunakan untuk menentukan modulus beton aspal dari masing-masing cekung lendutan pada saat waktu dan temperatur pengujian dilakukan.
3. Nilai "k" efektif dinamis di bawah pelat beton.

Hitung kompresi yang terjadi pada beton aspal dibawah pelat beban, dengan menggunakan persamaan berikut:

AC Eksisting di atas PCC (AC/PCC) Terikat (Lapisan Perekat Masih Baik).

$$d_{0 \text{ compress}} = -0,0000328 + 121,5006 \left(\frac{D_{ac}}{E_{ac}} \right)^{1,0798} \quad (6.28)$$

AC Eksisting di atas PCC (AC/PCC) Tidak Terikat (Lapisan Perekat Kurang Berfungsi)

$$d_{0 \text{ compress}} = -0,00002133 + 38,6872 \left(\frac{D_{ac}}{E_{ac}} \right)^{0,94551} \quad (6.29)$$

Keterangan:

$d_{0 \text{ compress}}$: Kompresi lapisan beton aspal di bawah pelat beban, inci

D_{ac} : Tebal beton aspal, inci

E_{ac} : Modulus beton aspal, psi

Kondisi *interface* tidak dapat diketahui pasti, lapisan beton aspal eksisting dengan perkerasan beton memiliki ikatan yang baik di awal, namun sejalan dengan waktu, kekuatan ikatan tersebut tidak dapat diketahui secara pasti. Hal yang dapat dilakukan, ialah melakukan pengambilan contoh inti (*coring*) untuk mengetahui kekuatan ikatan tersebut. Sekiranya *coring* tidak dilakukan maka perencana teknis dapat melakukan penilaian secara konservatif.

Dengan menggunakan persamaan di atas, d_0 pada pelat pada sistem perkerasan AC/PCC ditentukan dengan mengurangi besar $d_{0 \text{ compress}}$ yang terjadi pada permukaan beton aspal dari d_0 yang diukur pada permukaan beton aspal. Selanjutnya hitung AREA pada pelat beton PCC untuk masing-masing kurva lendutan dengan persamaan sebagai berikut.

$$AREA_{pcc} = 6 \times \left[1 + 2 \left(\frac{d_{12}}{d_{0 \text{ pcc}}} \right) + 2 \left(\frac{d_{24}}{d_{0 \text{ pcc}}} \right) + \left(\frac{d_{36}}{d_{0 \text{ pcc}}} \right) \right] \quad (6.30)$$

Keterangan:

$d_{0 \text{ pcc}}$: Lendutan pelat beton pada pusat beban (inci) (Lendutan permukaan d_0 dikurangi $d_{0 \text{ compress}}$ (inci))

d_i : Lendutan pada 12; 24; dan 36 inci dari pusat beban (inci)

Data data tersebut dimasukkan pada Gambar 6.12 untuk menentukan “k” dinamis efektif di bawah pelat untuk pelat beban dengan jari-jari 150 mm (5,9 inci) dan beban sebesar 40 kN (9.000 *pounds*). Untuk beban sekitar 9 kN (2000 *pounds*), lendutannya bisa secara linear dikorelasikan terhadap lendutan dengan beban 40 kN (9.000 *pounds*).

4. k efektif statis

Nilai k efektif statis = 0,5 x k efektif dinamis.

Nilai k efektif statis mungkin perlu penyesuaian akibat pengaruh musim. Walaupun perubahan nilai k cukup besar, namun pengaruhnya kecil pada tebal pelapisan tambah.

5. Modulus elastisitas pelat beton (E)

Dengan menggunakan Gambar 6.13 masukkan nilai $AREA_{pcc}$ dari permukaan pelat beton dan nilai k maka akan didapat ED^3 , di mana D menunjukkan ketebalan pelat, inci. Dari sini didapat nilai E yang umumnya berkisar antara 3 sampai 8 juta psi. Bila nilai E di luar kisaran tersebut, kesalahan mungkin terjadi pada penentuan tebal pelat, pengukuran cekung lendutan yang

melalui retakan atau tingkat kerusakan perkerasan beton yang sudah cukup parah. Jika satu ketebalan lapis tambah akan didesain pada segmen yang seragam, maka hitung nilai E rata-rata pada pelat yang dilakukan pengukuran pada segmen seragam tersebut. Jangan gunakan data yang nilainya jauh atau di luar rentang dari data-data yang ada.

6. Penyaluran beban di sambungan pada AC/JPCP dan AC/JRCP

Ukur penyaluran beban pada jejak roda luar (atau antara jejak roda bila terjadi alur yang besar pada permukaan AC) pada retak refleksi di atas sambungan perkerasan beton. Jangan melakukan pengukuran penyaluran beban bila temperatur lingkungan lebih dari 27°C (80°F). Letakkan pelat beban pada satu sisi perkerasan di mana tepi pelat menyentuh sambungan. Ukur lendutan di bawah pusat beban dan pada jarak 300 mm (12 inci) dari pusat beban. Hitung lendutan penyaluran beban dengan persamaan berikut.

$$\Delta LT = 100 \times \left(\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l} \right) \times B \quad (6.31)$$

Keterangan:

ΔLT : Lendutan penyalur beban (%)

Δ_{ul} : Lendutan pada sisi yang tidak dibebani

Δ_l : Lendutan pada sisi yang dibebani

B : Koreksi lendutan pelat dan koreksi kompresi pada beton aspal (AC)

Nilai faktor koreksi lendutan pelat, bisa ditentukan dari perbandingan d_0 terhadap d_{12} pada pengukuran lendutan di tengah pelat, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 6.20.

Untuk AC/JPCP dan AC/JRCP, perhitungan koefisien penyaluran beban (J) berdasarkan Tabel 6.13. Jika pada rehabilitasi akan termasuk penggunaan bahu beton yang diikatkan, maka disarankan pemilihan nilai J yang lebih kecil. Untuk AC/CRCP, gunakan nilai J = 2,2 sampai 2,6 untuk desain pelapisan tambah, dengan anggapan *working crack* telah diatasi dengan penggunaan perkerasan beton menerus dengan tulangan yang dilapis beton aspal (AC).

Langkah 5. Pengambilan benda uji inti dan pengujian material (sangat disarankan)

1. Modulus lapis beton aspal (AC)

Pengujian laboratorium terhadap contoh beton aspal hasil *coring*, ialah pengujian modulus elastisitas lapis permukaan beton aspal tersebut. Hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan pengujian kuat tarik tidak langsung – dengan beban berulang (ASTM D 4123). Pengujian harus dilakukan pada dua atau lebih temperatur yang berbeda, untuk menentukan titik-titik pada kurva $\log E_{ac}$ terhadap temperatur.

Sebagai contoh, E_{ac} pada 70°F dan 90°F bisa digunakan untuk menentukan nilai E_{ac} pada temperatur lainnya dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\log E_{ac \ t^{\circ}F} = \left(\frac{\log E_{ac \ 70^{\circ}F} - \log E_{ac \ 90^{\circ}F}}{70 - 90} \right) * (t^{\circ}F - 70^{\circ}F) + \log E_{ac \ 70^{\circ}F} \quad (6.32)$$

Keterangan:

- E_{ac} : modulus elastis beton aspal (psi)
 t : temperatur pengujian pada beton aspal ($^{\circ}F$)

Untuk menginterpretasikan data dari *Non Destructive Test* (NDT) (nilai modulus AC dari hasil pengujian laboratorium), harus disesuaikan untuk memperhitungkan perbedaan frekuensi pembebanan pada saat pengujian (umumnya 1 sampai 2 Hz) dan frekuensi pembebanan pengujian lendutan biasanya 18 Hz untuk FWD. Penyesuaian dibuat dengan mengalikan nilai E_{ac} laboratorium dengan konstanta yang didapat dari pengujian laboratorium pada temperatur tertentu melalui persamaan pada langkah 2 dimana modulus AC merupakan fungsi dari parameter campuran dan temperatur. Modulus E_{ac} lapangan biasanya 2 sampai 2,5 kali lebih besar dari modulus laboratorium.

Disarankan setiap instansi laboratorium uji mempunyai korelasi antara modulus resilien dengan kuat tarik tidak langsung untuk jenis beton aspal tertentu.

2. *Modulus of rupture* dari pelat beton (S'_c)

Lakukan pengujian kuat tarik tidak langsung dari benda uji yang diambil dari bagian tengah pelat sesuai ASTM C 496. Hitung *modulus of rupture* beton dengan persamaan berikut:

$$S'_c = 210 + 1,02 IT \quad (6.33)$$

Keterangan:

- S'_c : *modulus of rupture* (psi)
 IT : kuat tarik tidak langsung dari benda uji dengan diameter 6 inci (psi)

Nilai S'_c bisa didapat dari persamaan yang berdasarkan pada modulus beton (E).

Langkah 6. Penentuan tebal yang diperlukan untuk melayani beban lalu lintas rencana (D_f)

Input untuk menentukan D_f dalam pelapisan tambah beton aspal pada perkerasan AC/PCC ialah kondisi pelat dan lapisan pondasinya. Parameter yang diperlukan, ialah:

1. Nilai k statis efektif dibawah perkerasan lama, yang bisa ditentukan dari salah satu metode di bawah ini:
 - a. Perhitungan balik nilai k dinamis dari kurva lendutan seperti yang diuraikan pada Langkah 4. Hitung nilai k statis dengan mengalikan 0,5 pada nilai k dinamis. Nilai k statis efektif perlu disesuaikan terhadap pengaruh musim.
 - b. Melakukan pengujian "*plate loading*" sesuai ASTM D1196, setelah pelat beton eksisting diangkat. Metode ini memakan waktu yang lama dan biaya yang besar serta jarang dipergunakan. Nilai k statis efektif perlu disesuaikan terhadap pengaruh iklim.
 - c. Perkirakan dari nilai kekuatan tanah dan tipe serta tebal pondasi, menggunakan Gambar 6.15. Metode ini sederhana, tetapi nilai k perlu disesuaikan terhadap pengaruh iklim, dan memberikan pendekatan nilai yang cukup kasar.
2. Desain Penurunan "Indeks Pelayanan" PSI (*Present Serviceability Index*). PSI setelah lapis tambah (P_0) dikurangi PSI pada waktu perbaikan selanjutnya (P_t).
3. Koefisien transfer beban (J) pada pelat beton eksisting.
4. *Modulus of rupture* dari pelat beton, ditentukan dengan salah satu metode berikut:

- a. Perkirakan dari nilai *Indirect Tensile Strength* (contoh dengan diameter 6 inci seperti diuraikan pada Langkah 5.
- b. Pada AC/JPCP dan AC/JRCP, perkirakan dari nilai modulus pelat, yang dihitung sesuai uraian pada Langkah 4. Pergunakan persamaan berikut :

$$S'_c = 43,5 \left(\frac{E}{10^6} \right) + 488,5 \quad (6.34)$$

Keterangan:

S'_c : modulus of rupture (psi)

E : Modulus elastisitas beton dari perhitungan balik (psi)

Untuk AC/CRCP, tidak disarankan menggunakan perhitungan balik dari nilai E untuk mendapatkan perkiraan S'_c , karena retak yang tidak terefleksi pada lapisan beton aspal eksisting bisa terjadi pada pelat beton CRCP yang letaknya di dalam cakupan kurva lendutan pada pengukuran lendutan.

5. Modulus elastis dari pelat beton, ditentukan dari salah satu metode berikut:
 - a. Perhitungan balik dari pengukuran lendutan, seperti diuraikan pada Langkah 4.
 - b. Tentukan dari nilai *indirect tensile strength*.
6. Kehilangan daya dukung yang mungkin terjadi setelah rehabilitasi. Prosedur penggunaan lendutan untuk menyelidiki kehilangan daya dukung dibawah pelat AC/PCC belum ada. Untuk perencanaan teknis tebal lapis tambah perkerasan, asumsikan nilai $LS = 0$.
7. Reliabilitas (R) dengan satuan persen, pergunakan nilai R sebesar 90%.
8. Standar deviasi (S_0) yaitu 0,39.
9. Kemampuan drainase bawah tanah dari perkerasan eksisting, setelah perbaikan subdrain bila ada, penentuan nilai C_d , seperti ditunjukkan pada Tabel 6.14. *Pumping* atau *faulting* pada retak refleksi merupakan suatu bukti bahwa ada masalah pada drainase bawah permukaan. Sebagai catatan bahwa kondisi drainase bawah permukaan yang buruk pada AASHTO *Road Test* diberikan nilai $C_d = 1,0$.
10. Hitung tebal pelat beton yang dibutuhkan D_f dengan nilai parameter perencanaan teknis di atas yang menggunakan persamaan perencanaan perkerasan beton, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 6.35.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 7,35 \times \log_{10}(D_f + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D_f + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \times p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S'_c \times C_d \times [D_f^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \left[D_f^{0,75} \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]} \right] \quad (6.35)$$

Keterangan:

W_{18} : Akumulasi ekuivalen beban sumbu standar pada lajur rencana selama umur rencana (ESAL AASHTO Kaku)

Z_R : Deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan 90% (-1,282)

S_0 : Standar deviasi keseluruhan (0,39)

ΔPSI : Perbedaan antara tingkat pelayanan awal dan akhir pada umur rencana

	: Tingkat pelayanan awal (p_0) adalah 4,5 dan tingkat pelayanan akhir (p_t) adalah 2,5 sesuai dengan AASHTO 1993.
D_f	: Tebal pelat beton rencana (yang dibutuhkan) (inci)
S_c'	: <i>Modulus of rupture</i> (psi)
J	: Koefisien penyaluran beban
C_d	: Koefisien drainase
E_c	: Modulus elastisitas beton (psi)
k	: Modulus reaksi tanah dasar (pci)

Langkah 7. Penentuan tebal pelat efektif (D_{eff}) dari perkerasan lama

Survey kondisi perkerasan AC/PCC diperlukan dalam rangka penentuan D_{eff} . Tebal D_{eff} dihitung dengan persamaan berikut:

$$D_{eff} = (D_{pcc} \times F_{jc} \times F_{dur}) + \left[\left(\frac{D_{ac}}{2,0} \right) \times F_{ac} \right] \quad (6.36)$$

Keterangan:

D_{eff}	: Tebal pelat efektif (inci)
D_{pcc}	: Tebal pelat beton perkerasan eksisting (inci)
D_{ac}	: Tebal lapisan beton aspal (inci)
F_{jc}	: Faktor penyesuaian sambungan dan retak
F_{dur}	: Faktor penyesuaian daya tahan
F_{ac}	: Faktor penyesuaian kualitas beton aspal

1. Faktor koreksi sambungan dan retak (F_{jc}). Faktor ini merupakan faktor koreksi terhadap pengurangan nilai indeks pelayanan (PSI) yang disebabkan oleh kerusakan retak refleksi yang akan terjadi pada lapisan tambah akibat retak refleksi yang tidak diperbaiki dan kerusakan lainnya yang berupa *faulting* pada perkerasan AC/PCC sebelum dilapis tambah. Kerusakan berupa retak refleksi pada perkerasan lama AC/PCC akan cepat naik kelapisan di atasnya dan memberikan kontribusi terhadap penurunan tingkat pelayanan. Karena itu, sangat disarankan semua kerusakan retak refleksi dan setiap *faulting* yang besar pada perkerasan lama harus diperbaiki dengan cara *full depth* dengan menggunakan ruji atau batang pengikat pada perkerasan beton sebelum pelapisan tambah dilakukan, sehingga $F_{jc} = 1,0$.

Bila tidak mungkin memperbaiki semua kerusakan yang ada, berikut ini data yang diperlukan untuk menentukan F_{jc} , guna menentukan tebal pelapisan tambah dengan memperhitungkan penurunan PSI, akibat kerusakan retak refleksi:

- Jumlah kerusakan retak yang tidak diperbaiki per mil.
- Jumlah kerusakan *punchout* per mil.
- Jumlah sambungan muai (*expansion joint*), kecuali sambungan lebar (> 1 inci), serta *full depth*, tambalan AC selebar lajur penuh per mil.

Jumlah total dari kerusakan retak refleksi, *punchout*, serta kerusakan *faulting* yang tidak diperbaiki per mil digunakan untuk menentukan F_{jc} dari Gambar 6.16.

2. Faktor Penyesuaian Daya Tahan (F_{dur}). Faktor ini untuk menyesuaikan penambahan kehilangan indeks pelayanan (PSI) pada pelapisan tambah, bila pelat beton eksisting mempunyai masalah daya tahan seperti retak daya tahan atau kerusakan akibat agregat yang

reaktif. Dengan menggunakan data kondisi perkerasan, F_{dur} ditentukan berdasarkan ketentuan di bawah ini.

Tabel 6.18 Perkiraan nilai F_{dur}

Deskripsi Kerusakan	F_{dur}
Tidak ada masalah daya tahan pada perkerasan beton	1,00
Diketahui ada masalah daya tahan pada perkerasan, tetapi tidak ada kerusakan setempat atau kerusakan lainnya yang terlihat	0,96 – 0,99
Terlihat pada permukaan ada kerusakan akibat daya tahan (kerusakan setempat).	0,88 – 0,95
Kerusakan daya tahan yang sangat banyak (misalkan kerusakan setempat), yang terlihat pada permukaan perkerasan.	0,80 – 0,88

3. Faktor penyesuaian kualitas beton aspal F_{ac} . Faktor ini mengoreksi kontribusi lapisan beton aspal eksisting terhadap D_{eff} berdasarkan kualitas beton aspal tersebut. Nilai ini dipilih hanya tergantung pada kerusakan yang ada pada lapisan beton aspal saja (tidak termasuk retak refleksi yang tidak akan hilang oleh pengupasan permukaan aspal) seperti alur, *stripping*, *shoving* serta pelapukan dan *raveling*, jika permukaan aspal tidak dilakukan pengupasan. Untuk perkerasan beton aspal yang kualitasnya sangat jelek, disarankan untuk dikupas secara total.

Tabel 6.19 Perkiraan nilai F_{ac}

Deskripsi kerusakan	F_{ac}
Tidak ada masalah kerusakan pada beton aspal	1,00
Diketahui ada sedikit masalah kerusakan pada beton aspal (pelapukan, <i>raveling</i>) yang tidak dikoreksi oleh pengupasan permukaan.	0,96 – 0,99
Terlihat pada permukaan ada kerusakan yang signifikan (alur, pengelupasan, sungkur).	0,88 – 0,95
Kerusakan yang sangat banyak pada lapisan beton aspal (alur, pengelupasan, sungkur).	0,80 – 0,88

Tahap 8. Penentuan tebal pelapisan tambah

Tebal lapisan beton aspal dihitung dengan persamaan berikut:

$$D_{oi} = A(D_f - D_{eff}) \quad (6.37)$$

Keterangan:

D_{oi} : ketebalan pelapisan beton aspal yang diperlukan (inci)

A : faktor untuk mengkonversi kekurangan tebal lapisan beton terhadap ketebalan beton aspal

D_f : tebal pelat yang ditentukan, sesuai perhitungan pada Langkah 6 (inci)

D_{eff} : tebal efektif dari pelat eksisting sesuai perhitungan pada Langkah 7 (inci)

Faktor A , merupakan fungsi dari kekurangan tebal pelat, sesuai persamaan berikut yang juga diilustrasikan pada Gambar 6.11.

$$A=2,2233+0,0099(D_f-D_{\text{eff}})^2-0,1534(D_f-D_{\text{eff}}) \quad (6.38)$$

Hasil perhitungan pelapisan tambah ini harus cukup wajar sesuai dengan kekurangan kekuatan struktural perkerasan, tetapi bilamana hasilnya kurang wajar, perlu dilakukan peninjauan kembali.

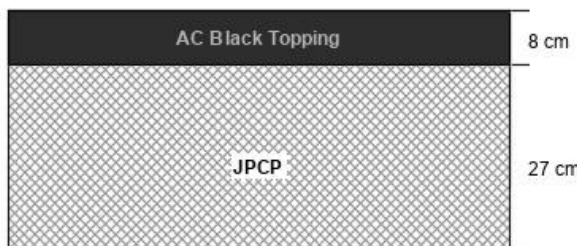
6.6.1 Contoh Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Aspal di atas Perkerasan Komposit (AC di atas AC/JPCP, AC/JRCP, Dan AC/CRCP)

Didapatkan data lendutan hasil pengujian *Falling Weight Deflectometer* (FWD) pada tengah pelat beton adalah sebagai berikut:

STA	Tegangan	Beban	Lendutan (mikrometer)								
	kPa		df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	df ₈
32+800	566	40	116	84	83	80	74	63	53	43	34

Sehingga data desain untuk perhitungan tebal lapis tambah adalah sebagai berikut:

df ₀	: 116 μm	df ₆	: 53 μm
df ₁	: 84 μm	df ₇	: 43 μm
df ₂	: 83 μm	df ₈	: 34 μm
df ₃	: 80 μm	Beban	: 40 kN
df ₄	: 74 μm	Tegangan	: 566 kPa
df ₅	: 63 μm		



Selain itu, pada waktu terpisah dengan suhu udara dibawah 27°C, dilakukan pengujian lendutan pada sambungan yang terefleksi pada celah retakan yang terjadi pada permukaan lapisan beraspal untuk mendapatkan nilai transfer beban. Data lendutan pada sambungan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\Delta_{ul} = 33,11 \mu\text{m}$$

$$\Delta_l = 47,2 \mu\text{m}$$

Data lainnya untuk perencanaan teknis tebal lapis tambah:

- CESAL rencana : 40.893.313
- IP₀ : 4,5
- IP_t : 2,5
- Reliabilitas : 90%
- Konstanta normal : -1,282
- Deviasi Standar : 0,39
- Mengubah satuan menjadi satuan U.S Unit:

d_1 : 4,57 mils	d_6 : 2,48 mils
d_2 : 3,30 mils	d_7 : 2,07 mils
d_3 : 3,28 mils	d_8 : 1,68 mils
d_4 : 3,13 mils	d_9 : 1,35 mils
d_5 : 2,93 mils	

- Struktur Perkerasan
 - Tebal Aspal ACWC : 3,15 inci
 - Tebal JPCP : 10,63 inci

- a. Menghitung faktor transfer beban
Lendutan transfer beban dihitung sebagai berikut:

$$\Delta LT = 100 \left(\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l} \right) B ; \text{ dimana } B = \frac{d_0 \text{ tengah pelat}}{d_{12 \text{ tengah pelat}}}$$

$$\Delta LT = 100 \left(\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l} \right) \frac{d_0 \text{ tengah pelat}}{d_{12 \text{ tengah pelat}}}$$

$$\Delta LT = 100 \left(\frac{33,1}{47,2} \right) \frac{116}{83}$$

$$\Delta LT = 97,65 \%$$

Berdasarkan Tabel 6.13, nilai koefisien transfer beban (J) didapat sebesar 3,2.

- b. Menghitung modulus lapisan beraspal
Pengujian dilakukan pada suhu perkerasan 40°C , $t_p = 40,0^\circ\text{C} = 104^\circ\text{F}$
 $\text{Log} E_{ac} = 6,451235 - 0,000164671 \times t_p^{1,92544} = 6,451235 - 0,000164671 \times 104^{1,92544} = 155,4 \text{ psi}$

- c. Menghitung D_o PCC (pelat beton)

$$d_{0 \text{ compress}} = -0,0000328 + 121,5006 \times \left(\frac{D_{ac}}{E_{ac}} \right)^{1,0798}$$

$$d_{0 \text{ compress}} = -0,0000328 + 121,5006 \times \left(\frac{3,15}{155,402} \right)^{1,0798}$$

$$d_{0 \text{ compress}} = 0,0010068 \text{ inci}$$

$$d_{0 \text{ compress}} = 1,01 \text{ mils}$$

$$D_{0 \text{ pcc}} = d_o - d_{0 \text{ compress}}$$

$$D_{0 \text{ pcc}} = 4,57 - 1,01 = 3,56 \text{ mils}$$

- d. Menghitung PCC Area

$$\text{Area} = 6 \times \left[1 + 2 \left(\frac{d_{12}}{d_{0 \text{ pcc}}} \right) + 2 \left(\frac{d_{24}}{d_{0 \text{ pcc}}} \right) + \left(\frac{d_{36}}{d_{0 \text{ pcc}}} \right) \right] = 31,101 \text{ inci}$$

- e. Menghitung Dense Liquid Radius

$$l_k = \left[\frac{\ln \left(\frac{36 - \text{AREA}}{1812,279133} \right)}{-2,559340} \right]^{4,387009} = 39,4 \text{ inci}$$

- f. Menghitung Effective k-value

$$k = \left(\frac{P}{8 d_0 l_k^2} \right) \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \times \left[\ln \left(\frac{a}{2l_k} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left(\frac{a}{l_k} \right)^2 \right\} \text{ dimana, } \gamma = 0,57721566490$$

$$k=201,14 \text{ pci}$$

$$k_{\text{eff}} = \frac{201,14}{2} = 100,57 \text{ psi/inchi}$$

g. Menghitung Modulus PCC (Pelat Beton)

$$E_c = \frac{l_k^4 \times 12(1-\mu_{\text{pcc}}^2)k}{D_{\text{pcc}}^3}$$

$$E_c = 2.367.937 \text{ psi}$$

h. Menghitung Log W18

$$\log W_{18} = \text{Log } 40.893.313 = 7,61$$

i. Menghitung F_{jc} , F_{dur} , dan F_{ac}

Dari kondisi perkerasan didapatkan nilai-nilai faktor sebagai berikut:

Faktor	Nilai	Keterangan
F_{jc}	0,96	Dari data kondisi perkerasan didapatkan bahwa dalam satu mil terdapat 9 titik kerusakan pada sambungan
F_{dur}	1	Tidak ada masalah daya tahan pada perkerasan beton
F_{ac}	0,88	Terlihat pada permukaan ada kerusakan yang cukup signifikan

j. Menghitung S'_c , *Modulus of Rupture*

$$S'_c = 43,5 \times \left(\frac{E_c}{10^6} \right) + 488,5 = 591,5 \text{ psi}$$

k. Menghitung D_f

Asumsi nilai C_d sebesar 1,00.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D_f + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D_f + 1)^{8,46}}} + (4,2 - 0,32 P_t) \times \log_{10} \left(\frac{S'_c C_d \times [D_f^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \left[D_f^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]} \right)$$

$$7,61 = -1,282 \times 0,39 + 7,35 \log_{10}(D_f + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{4,5-2,5}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D_f + 1)^{8,46}}} + (4,2 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10} \times$$

$$\left(\frac{591,5 \times 1,0 \times [D_f^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times 3,2 \left[D_f^{0,75} - \frac{18,42}{(2.367.937 / 100,57)^{0,25}} \right]} \right)$$

Dengan proses iterasi perhitungan maka didapatkan nilai $D_f = 11,52$ inci

Menghitung Nilai D_{eff}

$$D_{\text{eff}} = (D_{\text{pcc}} \times F_{jc} \times F_{dur}) + \left[\left(\frac{D_{\text{ac}}}{2,0} \right) \times F_{ac} \right]$$

$$D_{\text{eff}} = (10,6 \times 0,96 \times 1,0) + \left[\left(\frac{3,2}{2,0} \right) \times 0,88 \right] = 11,59 \text{ inci}$$

l. Menghitung Nilai A

$$A=2,2233+0,0099 \times (D_f - D_{\text{eff}})^2 - 0,1534 \times (D_f - D_{\text{eff}}) = 2,23$$

m. Menghitung Tebal Lapis Tambah AC, Dol

$$D_{\text{ol}} = A(D_f - D_{\text{eff}}) = 2,23(11,52 - 11,59) = -0,16 \text{ inci (tidak membutuhkan tebal lapis tambah)}$$

6.7 Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Beton Semen di atas Perkerasan Lentur (JPCP, JRCP, CRCP di atas AC)

Pelapisan ulang JPCP, JRCP, dan CRCP pada perkerasan beton aspal dilakukan untuk meningkatkan kapasitas struktural dan kondisi fungsional. Pekerjaan ini dapat terdiri atas pekerjaan berikut:

1. Perbaikan area yang rusak dan peningkatan lapis bawah drainase (jika dibutuhkan).
2. Pelebaran (jika dibutuhkan).
3. Penanganan dengan *milling* pada permukaan perkerasan lentur eksisting jika terdapat kerusakan mayor bukan struktural berupa dan khusus untuk perbaikan kemiringan melintang yang tidak memadai selain perbaikannya dengan *milling* dapat juga dengan perbaikan *leveling*.
4. Perbaikan dengan lapis tambah perkerasan beton (PCC).

Kelayakan

Pertimbangan pelapisan tambah perkerasan lentur dengan PCC jika perkerasan eksisting mengalami kerusakan dengan kerapatan yang tinggi disertai tingkat kerusakan yang cukup parah, baik kerusakan struktural berupa retak maupun kerusakan fungsional seperti deformasi plastis, sehingga bilamana dilakukan penanganan dengan lapisan perkerasan lentur dipandang tidak ekonomis secara *life cycle cost* (misal: tebal lapisan perkerasan lentur yang diperlukan untuk penanganan dengan perkerasan lentur dengan umur rencana 10 tahun diperoleh tebal lapis tambah lebih besar 150 mm belum termasuk perbaikan permukaan eksisting yang harus dilakukan sebelum pemberian lapis tambah). Adapun untuk penanganan dengan lapis tambah perkerasan kaku umur rencananya sampai dengan 40 tahun.

Kondisi pelapisan ulang dengan PCC yang tidak layak, sebagai berikut:

- 1) Jumlah kerusakan dengan tingkat kerapatan rendah (spot-spot) atau tipe kerusakan dengan tingkat keparahan yang rendah (seperti: *stripping*, pelepasan butir, dan retak halus) dan terdapat alternatif lain yang jauh lebih ekonomis untuk dilakukan.
- 2) Jarak bebas vertikal pada jembatan tidak cukup untuk ketebalan lapisan yang dibutuhkan.
- 3) Perkerasan eksisting yang rentan terhadap kerusakan *heaves* (akibat pergerakan tanah/tanah ekspansif), tanah lunak, dan penurunan.
- 4) Jika panjang yang harus ditangani kurang dari 1 km.

Perbaikan Sebelum Lapis Tambah

Perbaikan yang perlu dilakukan sebelum pelapisan ulang ditunjukkan pada Tabel 6.20 berikut:

Tabel 6.20 Jenis perbaikan perkerasan eksisting

Tipe Kerusakan	Tipe Lapis tambah	Tipe Perbaikan
Retak Buaya	JPCP atau JRCP	<i>Scraping and filling</i>
	CRCP	<i>Scraping and filling</i> pada defleksi yang besar
Retak melintang	JPCP, JRCP, dan CRCP	Tidak diperlukan perbaikan
<i>Pumping, stripping</i>	JPCP, JRCP, dan CRCP	Pembuatan saluran tepi (jika diperlukan) Pengelupasan lapisan yang mengalami <i>stripping</i> parah
Penurunan/ <i>settlement</i>	JPCP, JRCP, dan CRCP	<i>Leveling</i> menggunakan beton aspal

Pengendalian Retak Refleksi

Retak refleksi umumnya tidak menjadi masalah untuk pelapisan ulang JPCP, JRCP atau CRCP pada perkerasan beton aspal. Namun, jika perkerasan beton aspal eksisting memiliki retakan termal melintang yang parah, hal ini memungkinkan untuk diberikan beberapa jenis lapisan pemisah seperti penggunaan lapisan SAMI, atau geosintetik di atas retakan melintang untuk mengurangi potensi retak refleksi.

Perencanaan Teknis Tebal Perkerasan Kaku

Tahapan dalam perencanaan teknis tebal lapis tambah perkerasan kaku di atas perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

Langkah 1. Identifikasi Struktur Perkerasan Eksisting

Identifikasi jenis material dan tebal perkerasan eksisting

Langkah 2. Survei Kondisi Jalan

Hal yang harus diperhatikan dalam survei kondisi jalan dan sangat mempengaruhi kinerja pelapisan ulang antara lain:

1. penurunan dan *swelling*;
2. tanda-tanda adanya kerusakan *stripping*; dan
3. kerusakan retak (retak buaya, retak tidak beraturan, retak tunggal melintang dan memanjang).

Langkah 3. Pengujian Lendutan

Pengujian ini, biasa dilakukan misalnya dengan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dengan jarak antara 50 – 100 m.

Langkah 4. Mengevaluasi Kebutuhan Tebal Struktur Lapis Tambah Dengan Perkerasan Lentur

Tahapan evaluasi kebutuhan lapis tambah dengan perkerasan lentur mengacu pada subbab 6.4.3. Bilamana tebal lapisan perkerasan lentur yang diperlukan untuk penanganan dengan perkerasan lentur dengan umur rencana 10 (sepuluh) tahun diperoleh tebal lapis tambah lebih besar 150 mm belum termasuk perbaikan permukaan eksisting yang harus dilakukan sebelum pemberian lapis tambah, hal ini tidak layak dilakukan karena tidak ekonomis secara *life cycle cost*.

Sehingga penggunaan lapis tambah dengan perkerasan kaku menjadi opsi penanganan, selanjutnya mengikuti tahapan berikutnya.

Langkah 5. Perhitungan Estimasi CBR Tanah Dasar

1. Tentukan nilai modulus tanah dasar (M_R) berdasarkan hitung balik dari data lendutan FWD mengacu pada Persamaan 6.5.
2. Cari nilai CBR tanah dasar dengan mengkonversi berdasarkan nilai M_R menggunakan Persamaan 6.39.

$$CBR_{\text{tanah dasar}} = \frac{M_R}{1500} \quad (6.39)$$

Keterangan:

$CBR_{\text{tanah dasar}}$: daya dukung tanah dasar (%)

M_R : modulus tanah dasar (psi)

Langkah 6. Penentuan CBR Ekuivalen Lapis Pondasi dan Tanah Dasar

Memperhitungkan keberadaan lapis fondasi agregat dan/atau lapis yang berpengikat semen (stabilisasi semen) di bawah perkerasan lentur eksisting sebagai nilai *improve subgrade* maka perlu dilakukan pengujian CBR di lapangan dengan menggunakan DCP. Pengujian DCP dilakukan dengan alat yang menggunakan *conus* dengan derajat 30 sesuai dengan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 04/SE/M/2010. Formula untuk mendapatkan nilai CBR *improve subgrade* atau CBR ekuivalen dari lapis fondasi agregat dan/atau lapis dan stabilisasi semen beserta tanah dasar pada setiap titiknya menggunakan Persamaan 6.40.

$$CBR_{\text{ekuivalen}} = \left(\frac{\sum_i h_i CBR_i^{0,33}}{\sum_i h} \right)^3 \quad (6.40)$$

Keterangan:

$CBR_{\text{ekuivalen}}$: Nilai CBR ekuivalen per titik pengujian (%)

CBR_i : Nilai CBR dari lapis pondasi lapis agregat atau lapis pondasi semen dengan DCP, sedangkan CBR tanah dasar hasil hitung balik dari pengujian lendutan (%)

h_i : Tebal material untuk lapis agregat atau lapis pondasi semen sesuai dengan tebal di lapangan, dan untuk tanah dasar (*subgrade*) ketebalan minimum 0,5 m (m)

$\sum h$: Total tebal lapisan yang ditinjau (maksimum 1 meter) (m)

Persamaan 6.40 berlaku untuk:

1. 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.
2. Lapisan dengan ketebalan kurang dari 200 mm harus digabungkan dengan lapisan yang berdekatan. Nilai CBR terendah harus digunakan untuk lapisan gabungan.
3. CBR maksimum penggunaan formula ini adalah 15%.

Selanjutnya, penentuan segmen seragam berdasarkan CBR ekuivalen per titik pengujian.

Langkah 7. Analisa Lalu Lintas untuk Desain Perkerasan Kaku

Jumlah beban lalu lintas kedepan pada lajur rencana selama umur rencana (JSKN) mengacu pada Bagian I Bab 8 Butir 8.3.6 mengenai Lalu Lintas.

Langkah 8. Penentuan Tebal Pelapisan Ulang

Untuk penentuan tebal pelapisan ulang menggunakan perkerasan beton di atas perkerasan lentur mengacu pada Bagian I Bab 8 dengan tahapan perhitungan mengacu pada Butir 8.3.8.2.

6.7.1 Contoh Desain Tebal Lapis Tambah Campuran Beton Semen di atas Perkerasan Lentur (JPCP di atas AC)

Suatu ruas jalan dengan perkerasan lentur akan dilakukan kegiatan rehabilitasi berupa lapis tambah menggunakan JPCP. Ruas jalan eksisting jalan (4-lajur 2-arah) berada di suatu daerah dan rencana pekerjaan rehabilitasi akan dikerjakan pada tahun 2025.

Umur rencana tebal lapis tambah campuran beton semen di atas perkerasan lentur (JPCP di atas AC) adalah 40 tahun (2025-2064) dan angka pertumbuhan lalu lintas regional seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1 Bagian I untuk 20 tahun pertama adalah sebesar 4,8%, sedangkan untuk 20 tahun berikutnya ditetapkan sebesar 2,4%. Reliabilitas yang digunakan adalah 90% dengan nilai faktor keamanan beban (LSF) sebesar 1,2.

a. Analisa Lalu Lintas untuk Desain Perkerasan Kaku

Diketahui LHR pada ruas jalan rencana pada tahun 2025 seperti pada tabel dibawah ini.

Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	DATA LINTAS HARIAN RATA-RATA (2 Arah)
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3			10.197
2	Kendaraan ringan - sedan, jeep, station wagon	1,1	2	1.393
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	1,1	2	1.151
4	Kendaraan ringan - pick up, micro truk dan mobil hantar	1,1	2	518
5A	Bus kecil	1,1	2	167
5B	Bus besar	1,2	2	112
6A	Truk 2 sumbu – truk ringan	1,1	2	172
6B	Truk 2 sumbu – truk sedang	1,2	2	1.655
7A1	Truk 3 sumbu – berat	11,2	2	203
7A2	Truk 3 sumbu – berat	1,22	2	66
7A3	Truk 4 sumbu – berat	11,22	2	-
7B1	Truk 4 sumbu - berat	1.2+2.2	4	-
7B2	Truk 5 sumbu – berat	11.2+2.2	4	28
7B3	Truk 5 sumbu – berat	1.22+2.2	4	-
7C1	Truk 4 sumbu - berat	1.2-22	3	89
7C2A	Truk 5 sumbu – berat	1.22-22	3	33
7C2B	Truk 5 sumbu – berat	1.2-222	3	23
7C3	Truk 6 sumbu – berat	1.22-222	3	19
7C4	Truk 7 sumbu - berat	1.22-2222	3	-
8	Kendaraan tak bermotor			389

Dari data LHR di atas, dihitung menggunakan Tabel 8.4 Bagian I, sehingga didapatkan konversi LHR ke JSKN seperti:

Gol. Kend	LHR	HVAG	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQrRG
5B	112	224	112	112	0	0	0	0
6A	172	344	344	0	0	0	0	0
6B	1655	3310	1655	1655	0	0	0	0
7A1	203	406	0	203	203	0	0	0
7A2	66	132	66	0	0	66	0	0
7A3	0	0	0	0	0	0	0	0
7B1	0	0	0	0	0	0	0	0

GoI. Kend	LHR	HVAG	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQrRG
7B2	28	112	0	84	28	0	0	0
7B3	0	0	0	0	0	0	0	0
7C1	89	267	89	89	0	89	0	0
7C2A	33	99	33	0	0	66	0	0
7C2B	23	69	23	23	0	0	23	0
7C3	19	57	19	0	0	19	19	0
7C4	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2400	5020	2341	2166	231	240	42	0
Proporsi Jenis Kendaraan (%)		100,00	46,63	43,15	4,60	4,78	0,84	0.00

Diketahui Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) Beban Faktual pada daerah tersebut adalah sebagai berikut:

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,05	0,19	0,00	0,31	0,00	0,00
20	9,52	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00
30	39,26	12,53	0,00	0,00	0,00	0,00
40	16,71	21,76	0,00	0,00	0,00	0,00
50	8,82	15,96	0,00	0,31	0,00	0,00
60	15,89	9,79	0,00	0,76	0,00	0,00
70	5,98	8,67	0,00	1,38	0,00	0,00
80	2,89	9,02	0,00	3,06	0,00	0,00
90	0,89	4,89	0,00	3,67	0,00	0,00
100	0,00	2,95	0,00	4,13	0,00	0,00
110	0,00	2,53	0,00	6,42	0,00	0,00
120	0,00	1,97	0,00	6,27	0,00	0,00
130	0,00	0,40	0,00	9,33	0,00	0,00
140	0,00	0,08	0,00	7,95	0,00	0,00
150	0,00	8,80	0,00	7,03	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	6,57	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	8,41	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	1,83	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,45	50,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,14	50,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
300	0,00	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	0,00

Nilai JSKN harian adalah 5.020 JSKN. Untuk menghitung jumlah rata-rata harian dari kendaraan berat pada jalur desain secara kumulatif dengan menggunakan Persamaan 8.3 Bagian I

$$JSKN=(\Sigma LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$R = \frac{(1+0,01 i_1)^{UR1} - 1}{0,01 i_1} + (1+0,01 i_1)^{(UR1-1)} (1+0,01 i_2) \left\{ \frac{(1+0,01 i_2)^{(UR-UR1)} - 1}{0,01 i_2} \right\}$$

$$R = \frac{(1+0,01 (4,8))^{20} - 1}{0,01 (4,8)} + (1+0,01 (4,8))^{(20-1)} (1+0,01 (2,4)) \left\{ \frac{(1+0,01 (2,4))^{(40-20)} - 1}{0,01 (2,4)} \right\}$$

$$R=95,49$$

$$JSKN=(5.020) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 95,49$$

$$JSKN=69.983.215,45 = 7 \times 10^7 \text{ JSKN}$$

Didapatkan nilai JSKN sebesar 69.983.215,45 atau 7×10^7 .

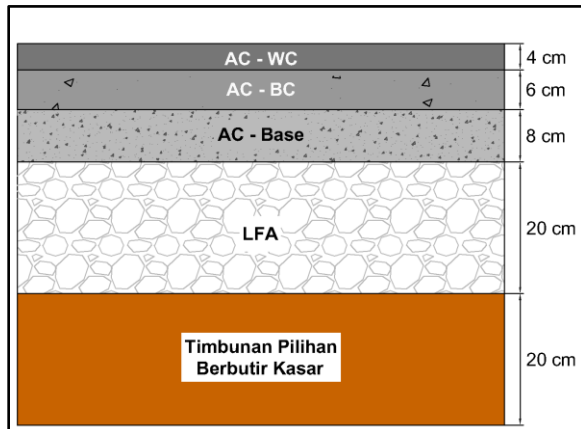
Sebagai dasar penentuan tebal lapis tambah maka dilakukan pengujian lendutan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Data-data yang diperlukan untuk desain adalah sebagai berikut:

Temperatur (°C)			Tegangan	Beban	Lendutan (0,001mm)								
Perkerasan	Permukaan	Udara	(kPa)	(kN)	df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	Df ₈
28	31	24	575	40,63	427	345	280	211	161	98	68	54	49

Dengan jarak geophone dari pusat beban adalah sebagai berikut:

No. Geophone	df ₀	df ₁	df ₂	df ₃	df ₄	df ₅	df ₆	df ₇	Df ₈
Jarak ke pusat beban (mm)	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800

Ruas jalan yang akan dilakukan lapis tambah memiliki struktur perkerasan sebagai berikut.



Berikut adalah garis besar langkah penyelesaian:

b. Mengubah satuan menjadi satuan U.S Unit

Satuan pada data lendutan FWD pada tengah pelat diubah menjadi satuan U.S unit.

df_0	: 16,8 mils	df_5	: 3,8 mils
df_1	: 13,5 mils	df_6	: 2,6 mils
df_2	: 11 mils	df_7	: 2,1 mils
df_3	: 8,3 mils	df_8	: 1,9 mils
df_4	: 6,3 mils	Beban	: 9134,0 Pounds

c. Menghitung nilai modulus tanah dasar

Dalam perhitungan M_R diperlukan data lendutan pada *geophone* ke-2 (df_1) dan seterusnya. Dalam contoh perhitungan ini digunakan *geophone* ke 6 (df_5) yang memiliki nilai lendutan 3,8 mils dan jarak 35,43 inci.

$$M_R = \frac{0.24P}{d_{r,r}} = \frac{0.24 \times 9134,0}{3,8 \times 0,001 \times 35,43} = 16.007 \text{ psi}$$

d. Menghitung modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan ($M_{R \text{ Desain}}$)

$$M_{R \text{ desain}} = C \frac{0.24P}{d_{r,r}} = 0,33 \frac{0.24 \times 9134,0}{3,8 \times 0,001 \times 35,43} = 5.373$$

e. Perhitungan estimasi CBR tanah dasar

$$CBR_{\text{tanah dasar}} = \frac{M_{R \text{ desain}}}{1.500} = \frac{5.373}{1.500} = 3,58\%$$

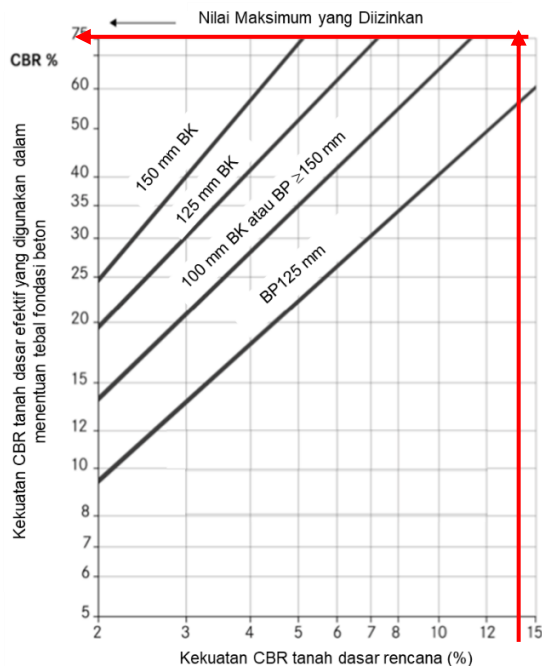
f. Penentuan CBR ekuivalen Lapis Pondasi dan Tanah Dasar

Berdasarkan pengujian DCP didapatkan CBR untuk lapis fondasi agregat (LFA) adalah 90%, dan CBR untuk timbunan pilihan berbutir kasar sebesar 30%. Sehingga untuk perhitungan CBR ekuivalen menggunakan data berikut.

Material	Daya Dukung CBR (%)	Tebal (m)
LFA Kelas A	90	0,2
Timbunan pilihan berbutir kasar	30	0,2
Tanah dasar	3,58	0,6

$$CBR_{\text{ekuivalen}} = \left(\frac{\sum_i h_i CBR_i^{0,33}}{\sum_i h} \right)^3 = \left(\frac{[(0,2 \times 90^{0,33}) + (0,2 \times 30^{0,33}) + (0,6 \times 3,58^{0,33})]}{(0,2+0,2+0,6)} \right)^3 = 14,40 \%$$

g. Penentuan nilai CBR efektif tanah dasar



Dengan ketebalan lapis aspal adalah 180 mm, sehingga nilai BP ≥ 150 mm. Berdasarkan grafik disamping didapatkan nilai CBR efektif tanah dasar adalah 75%

h. Penentuan tebal lapis tambah

Prosedur penentuan tebal lapis tambah dapat dilihat lebih rinci pada Bagian I subbab 8.3.8.2.

- 1) Jenis perkerasan adalah beton polos (JPCP) dan memiliki bahu jalan beton.
- 2) Estimasi nilai CBR tanah dasar 3,58%.
- 3) JSKN adalah 7×10^7
- 4) Menentukan tebal lapis fondasi bawah berdasarkan tebal aspal pada perkerasan eksisting, yaitu 190 mm.
- 5) Menentukan CBR tanah dasar efektif dari tebal fondasi bawah berdasarkan langkah g (75%).
- 6) Reliabilitas yang digunakan pada perencanaan ini adalah 90%, maka untuk faktor keamanan beban (L_{SF}) adalah 1,2.
- 7) Tebal minimum beton dapat dilihat pada Tabel 8.3 Bagian I (250 mm).
- 8) Setelah didapatkan nilai tebal minimum, dilakukan perhitungan untuk repitisi beban yang diizinkan sesuai dengan kelompok sumbunya berdasarkan distribusi beban JSKN rencana. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel A sampai Tabel F.

Tabel A. Hasil hitung repitisi beban yang diizinkan – STRT

STRT				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
100	-	0,47	69.983.215,45	-
90	0,01	0,47	69.983.215,45	290.456,83
80	0,03	0,47	69.983.215,45	943.168,81
70	0,06	0,47	69.983.215,45	1.951.608,82
60	0,16	0,47	69.983.215,45	5.185.796,69
50	0,09	0,47	69.983.215,45	2.878.459,84
40	0,17	0,47	69.983.215,45	5.453.408,61
30	0,39	0,47	69.983.215,45	12.812.736,20
20	0,10	0,47	69.983.215,45	3.106.909,03
10	0,0005	0,47	69.983.215,45	16.317,80

Tabel B. Hasil hitung repitisi beban yang diizinkan – (STdRT)

STdRT				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
100	-	0,05	69.983.215,45	-
90	-	0,05	69.983.215,45	-
80	-	0,05	69.983.215,45	-

Tabel C. Hasil hitung repitisi beban yang diizinkan – STRG

STRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
160	-	0,43	69.983.215,45	-
150	0,09	0,43	69.983.215,45	2.657.243,17
140	0,00	0,43	69.983.215,45	24.156,76
130	0,00	0,43	69.983.215,45	120.783,78
120	0,02	0,43	69.983.215,45	594.860,12
110	0,03	0,43	69.983.215,45	763.957,41
100	0,03	0,43	69.983.215,45	890.780,38
90	0,05	0,43	69.983.215,45	1.476.581,72
80	0,09	0,43	69.983.215,45	2.723.674,25
70	0,09	0,43	69.983.215,45	2.617.988,44
60	0,10	0,43	69.983.215,45	2.956.183,03

STRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
50	0,16	0,43	69.983.215,45	4.819.272,85
40	0,22	0,43	69.983.215,45	6.570.637,67
30	0,13	0,43	69.983.215,45	3.783.551,93
20	0,0048	0,43	69.983.215,45	144.940,54
10	0,0019	0,43	69.983.215,45	57.372,30

Tabel D. Hasil hitung repitisi beban yang diizinkan – STdRG

STdRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
320	-	0,05	69.983.215,45	-
310	0,02	0,05	69.983.215,45	51.190,91
300	0,01	0,05	69.983.215,45	46.172,19
290	0,01	0,05	69.983.215,45	35.800,18
280	0,02	0,05	69.983.215,45	81.972,37
270	0,03	0,05	69.983.215,45	97.363,10
260	0,02	0,05	69.983.215,45	71.600,36
250	0,02	0,05	69.983.215,45	81.972,37
240	0,01	0,05	69.983.215,45	40.818,90
230	0,02	0,05	69.983.215,45	61.228,34
220	0,02	0,05	69.983.215,45	66.581,64
210	0,02	0,05	69.983.215,45	71.600,36
200	0,03	0,05	69.983.215,45	97.363,10
190	0,05	0,05	69.983.215,45	173.982,18
180	0,05	0,05	69.983.215,45	173.982,18
170	0,08	0,05	69.983.215,45	281.382,71
160	0,07	0,05	69.983.215,45	219.819,79
150	0,07	0,05	69.983.215,45	235.210,52
140	0,08	0,05	69.983.215,45	265.991,98
130	0,09	0,05	69.983.215,45	312.164,18
120	0,06	0,05	69.983.215,45	209.782,36
110	0,06	0,05	69.983.215,45	214.801,07
100	0,04	0,05	69.983.215,45	138.182,00
90	0,04	0,05	69.983.215,45	122.791,27
80	0,03	0,05	69.983.215,45	102.381,82

STdRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
70	0,01	0,05	69.983.215,45	46.172,19
60	0,01	0,05	69.983.215,45	25.428,16
50	0,0031	0,05	69.983.215,45	10.372,01
40	-	0,05	69.983.215,45	-
30	-	0,05	69.983.215,45	-
20	-	0,05	69.983.215,45	-
10	0,0031	0,05	69.983.215,45	10.372,01

Tabel E. Hasil hitung repitisi beban yang diizinkan – STRRG

STrRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
270	-	0,01	69.983.215,45	-
260	0,50	0,01	69.983.215,45	292.758,47
250	0,50	0,01	69.983.215,45	292.758,47

Tabel F. Hasil hitung repitisi beban yang diizinkan – SQdRG

SQdRG				
Beban Sumbu (kN)	Proporsi Beban (%100)	Proporsi Kelompok Sumbu (%/100)	Desain Lalu Lintas (JSKN)	Repitisi Beban yang Diizinkan
30	0,00	0,00	69.983.215,45	0,00
20	0,00	0,00	69.983.215,45	0,00

Selanjutnya, diperhitungkan faktor kelelahan (*fatigue*) dan faktor erosi dari tebal beton minimum. Sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel G. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRT

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,58	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,66
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
90,00	108,00	290.456,83	UNLIMITED	0,00	UNLIMITED	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	0,00

Tabel H. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STdRT

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,58	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,30
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
100,00	120,00	0,00	UNLIMITED	0,00	22.673.739	0,00
90,00	108,00	0,00	UNLIMITED	0,00	UNLIMITED	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	0,00

Tabel I. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRG

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,84	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,30
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
150,00	180,00	2657243,17	UNLIMITED	0,00	500.348	531,08
140,00	168,00	24156,76	UNLIMITED	0,00	827.935	2,92
130,00	156,00	120783,78	UNLIMITED	0,00	1.503.068	8,04
120,00	144,00	594860,12	UNLIMITED	0,00	3.172.428	18,75
110,00	132,00	763957,41	UNLIMITED	0,00	9.003.882	8,48
100,00	120,00	890780,38	UNLIMITED	0,00	65.462.800	1,36
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	570,63

Berdasarkan perhitungan faktor *fatigue* dan erosi, tebal minimum beton sebesar 250 mm tidak memadai untuk beban lalu lintas. Sehingga tebal beton harus ditambahkan hingga total dari masing-masing faktor *fatigue* dan erosi adalah 100% (lihat Tabel J sampai Tabel O).

Tabel J. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRT (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban Yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	1,46
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
100,00	120,00	0,00	UNLIMITED	0,00	UNLIMITED	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

Tabel K. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STdRT (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,15
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
100,00	120,00	0,00	UNLIMITED	0,00	UNLIMITED	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

Tabel L. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRG (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,66	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,06
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
150,00	180,00	2657243,17	UNLIMITED	0,00	3.587.435	74,07
140,00	168,00	24156,76	UNLIMITED	0,00	8.243.317	0,29
130,00	156,00	120783,78	UNLIMITED	0,00	30.448.130	0,40
120,00	144,00	594860,12	UNLIMITED	0,00	UNLIMITED	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	74,76

Tabel M. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STdRG (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,56	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,15
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
310,00	372,00	51190,91	UNLIMITED	0,00	1.073.594	4,77
300,00	360,00	46172,19	UNLIMITED	0,00	1.404.760	3,29
290,00	348,00	35800,18	UNLIMITED	0,00	1.887.168	1,90
280,00	336,00	81972,37	UNLIMITED	0,00	2.622.062	3,13
270,00	324,00	97363,10	UNLIMITED	0,00	3.809.696	2,56
260,00	312,00	71600,36	UNLIMITED	0,00	5.892.462	1,22
250,00	300,00	81972,37	UNLIMITED	0,00	10.015.887	0,82
240,00	288,00	40818,90	UNLIMITED	0,00	19.993.611	0,20
230,00	276,00	61228,34	UNLIMITED	0,00	56.327.101	0,11
220,00	264,00	66581,64	UNLIMITED	0,00	742.400.165	0,01
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	17,99

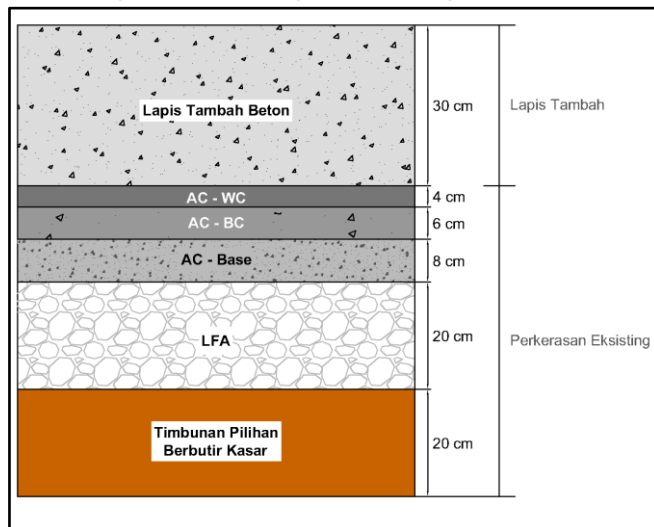
Tabel N. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – STRRG (tebal 300 mm)

Beban Sumbu (kN)	Repitisi Betan LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,17
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
50,00	60,00	0,00	UNLIMITED	0,00	UNLIMITED	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

Tabel O. Hasil hitung faktor *fatigue* dan erosi – SQdRG (tebal 300 mm)

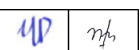
Beban Sumbu (kN)	Repitisi Beton LSF (Beban Rencana)	Repitisi Beban yang Diizinkan	Ekuivalensi Faktor <i>Fatigue</i>	0,44	Ekuivalensi Faktor Erosi	2,17
			Analisis Faktor <i>Fatigue</i>		Analisis Faktor Erosi	
			Repitisi yang Diizinkan	<i>Fatigue</i> (%)	Repitisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
100,00	120,00	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00	<i>UNLIMITED</i>	0,00
Total			<i>Fatigue</i> (%)	0,00	Erosi (%)	00,00

- 10) Dari hasil analisis, tebal beton yang memadai untuk dilintasi oleh beban lalu lintas pada desain perkerasan kaku ini (D_{0i}) adalah 300 mm (total faktor *fatigue* sebesar 00,00% dan faktor erosi 92,75%)
- 11) Struktur perkerasan lapis tambah perkerasan kaku (JPCP) di atas perkerasan lentur dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



7. DESAIN KETEBALAN PENGUPASAN DAN PELAPISAN TAMBAH (*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.

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

Pada segmen yang memerlukan tebal lapis tambah lebih dari 50 mm, penanganan yang lebih efektif dilakukan adalah dengan cara memperkuat segmen yang lemah melalui pengupasan dan pelapisan tambah (*milling and reinstatement* atau *inlay*) sehingga akan didapatkan tebal yang lebih tipis.

Penanganan dengan *mill and inlay* dapat digunakan untuk kondisi jalan di sepanjang ruas yang dipantau, hal ini dilakukan untuk menunjukkan adanya segmen-segmen yang memiliki kekuatan struktur berbeda. Khusus pada segmen-segmen yang memiliki kekuatan lemah tersebut perlu diinvestigasi perkiraan penyebabnya. Contohnya, pada segmen tersebut bisa saja kerusakannya diakibatkan oleh lapisan permukaan beraspal yang memiliki deformasi plastis atau bisa juga kontruksi perkerasan yang mengalami *fatigue*. Untuk itu pada segmen-segmen tersebut memang perlu dilakukan *mill and inlay*.

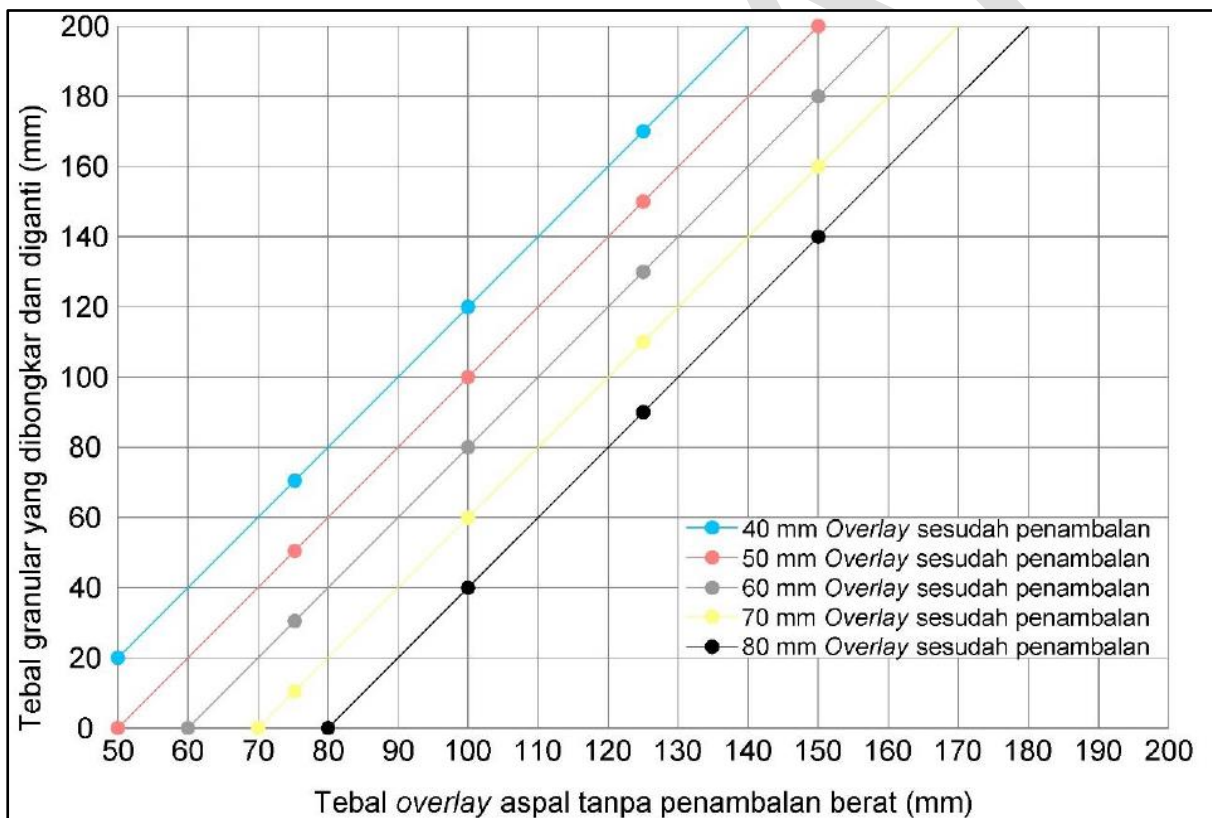
7.2 Metode Penentuan Tebal Rencana

Prosedur perhitungan kedalaman pengupasan dan ketebalan pelapisan kembali permukaan yang dikupas telah diuraikan pada Tabel 7.1. Metode ini digunakan untuk merencanakan ketebalan *inlay* untuk penyamaan elevasi permukaan lajur atau penyamaan ketebalan lapis tambah setelah pengupasan. Prosedur ini menggunakan satuan beban lalu lintas ESA5 dan berlaku untuk beban lalu lintas rencana maksimum 20×10^6 ESA5.

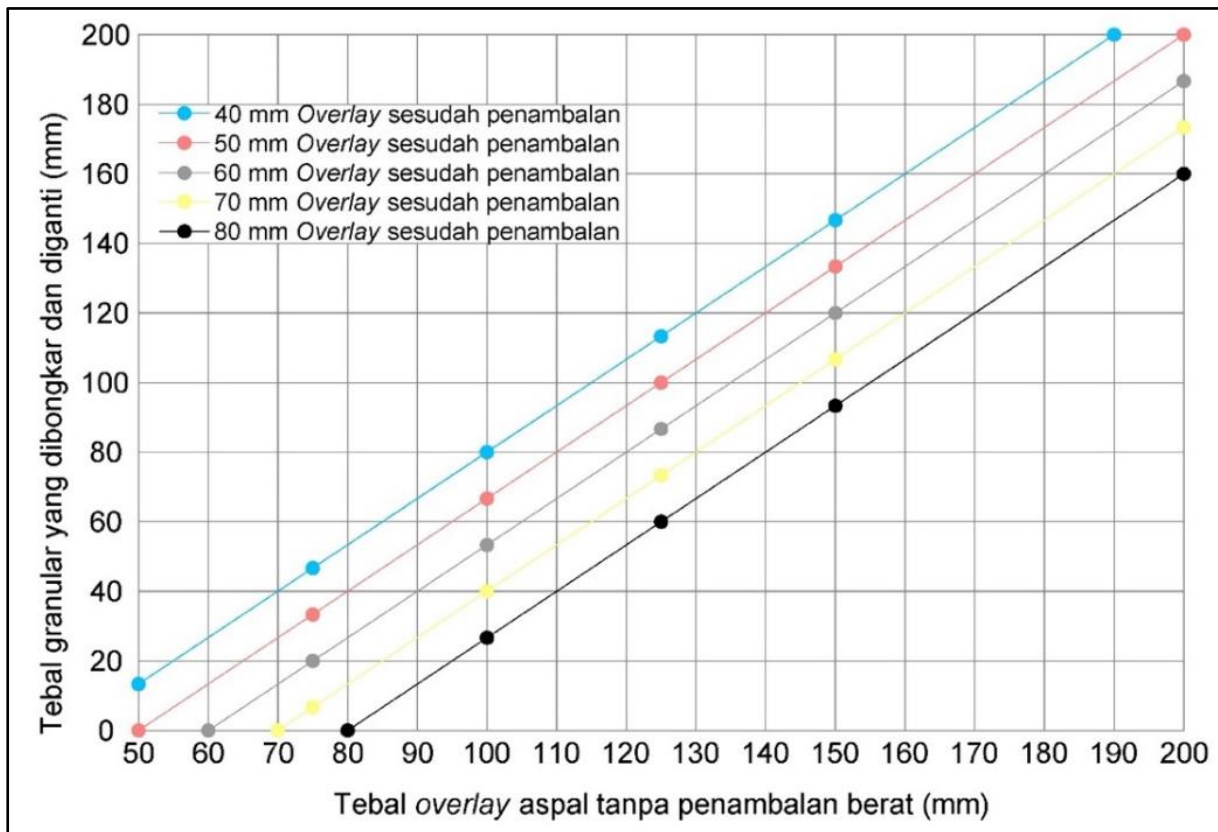
Tabel 7.1 Prosedur desain ketebalan *mill and inlay*

Langkah	Kegiatan
1	Hitung ketebalan lapis tambah untuk mencegah deformasi permanen tanpa pengupasan (<i>OLAYdef</i>) berdasarkan lendutan dan beban lalu lintas seperti diuraikan dalam Bab 6.
2	Jika ketebalan lapis tambah (<i>OLAYdef</i>) lebih dari 50 mm, tentukan tebal yang dikehendaki setelah pengupasan dan <i>inlay</i> (<i>OLAYmill</i>).
3	Kedalaman kupasan dan pelapisan tambah dengan campuran beraspal untuk mencegah deformasi permanen adalah tebal aspal eksisting ditambah tebal lapis

Langkah	Kegiatan
	berbutir yang dikupas, ditentukan dari $OLAY_{def}$ dan $OLAY_{mill}$ berdasarkan Gambar 7.1.
4	Hitung ketebalan lapis tambah untuk mencegah <i>fatigue</i> tanpa pengupasan ($OLAY_{fat}$) berdasarkan lengkung lendutan dan beban lalu lintas seperti diuraikan dalam Bab 6.
5	Jika ketebalan lapis tambah ($OLAY_{def}$) lebih dari 50 mm, tentukan tebal lapis tambah yang dikehendaki setelah pengupasan dan <i>inlay</i> ($OLAY_{mill}$).
6	Kedalaman kupasan dan lapis tambah dengan campuran beraspal untuk mencegah <i>fatigue</i> adalah tebal aspal eksisting ditambah tebal lapis berbutir yang dikupas yang ditentukan dari $OLAY_{fat}$ dan $OLAY_{mill}$ berdasarkan Gambar 7.2.
7	Kedalaman kupasan dan ketebalan <i>inlay</i> rencana adalah yang tertebal dari desain untuk mencegah deformasi permanen (langkah 3) dan desain untuk mencegah retak lelah (langkah 6).



Gambar 7.1 Ketebalan pengupasan lapisan berbutir untuk mencegah deformasi permanen



Gambar 7.2 Ketebalan pengupasan lapisan berbutir untuk mencegah *fatigue*

7.3 Contoh Desain Ketebalan Pengupasan dan Pelapisan Tambah (*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 lapis tambah tanpa *milling* dan *inlay* pada suatu segmen jalan menunjukkan bahwa:

1. untuk mencegah deformasi permanen ($OLAY_{def}$) diperlukan lapis tambah 50 mm; dan
2. untuk mencegah *fatigue* ($OLAY_{fat}$) diperlukan 100 mm.

Pada segmen tersebut, secara keseluruhan, lapis tambah 50 mm dapat mengatasi *fatigue* pada 80% area, sedangkan pada 20% sisanya diperlukan lapis tambah 100 mm. Dengan demikian opsi pertama adalah melapis seluruh luas segmen dengan 100 mm.

Opsi kedua adalah efektifitas penanganan ditingkatkan dengan menerapkan penguatan pada setempat area yang memerlukan lapis tambah 100 mm dengan cara pengupasan dan pelapisan tambah yang kemudian diikuti dengan lapis tambah 50 mm pada keseluruhan segmen.

Input perencanaan untuk memperkuat 20% area tersebut adalah sebagai berikut:

1. perkerasan eksisting terdiri atas 120 mm aspal dan 300 mm material berbutir; dan
2. tebal lapis tambah tanpa pengupasan 50 mm untuk mencegah deformasi permanen (*OLAYdef*) dan 100 mm untuk mencegah retak *fatigue* (*OLAYfat*).

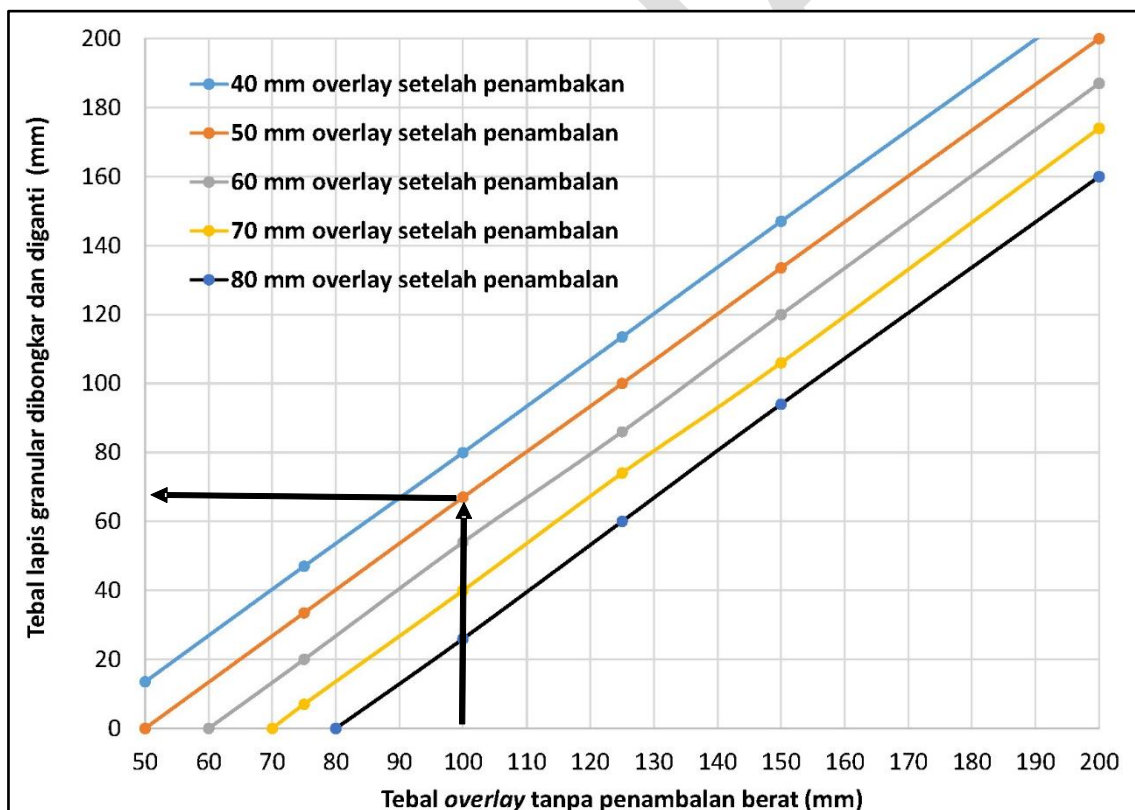
Penyelesaian:

1. Ketebalan untuk mencegah deformasi permanen

Langkah pertama adalah menentukan kedalaman pengupasan untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen. Karena tebal lapis tambah 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 lapis tambah untuk mencegah *fatigue* tanpa pengupasan adalah 100 mm yang meliputi 20% dari total area segmen. Ditunjukkan pada Gambar 7.3 bahwa untuk tebal lapis tambah 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 (contohnya, 120 mm aspal eksisting + 70 mm eksisting lapis fondasi agregat).



Gambar 7.3 Penentuan tebal pengupasan LFA

Penanganan yang disarankan:

Ketebalan pengupasan merupakan nilai yang terbesar di antara ketebalan pengupasan untuk mencegah deformasi permanen (0 mm) dan untuk mencegah *fatigue* dengan tebal lapis tambah 50 mm (190 mm).

Kesimpulan:

Opsi penanganan kedua yang perlu dipertimbangkan. Pada tempat-tempat yang memiliki 50 mm lapis tambah tidak mencukupi untuk mencegah *fatigue* (total: 20% luas segemen), sehingga perlu:

1. dilakukan perkuatan dengan mengupas 120 mm aspal dan 70 mm lapis fondasi agregat eksisting;
2. pelapisan kembali kupasan tersebut dengan 190 mm aspal dalam dua lapisan; dan
3. dilakukan lapis tambah 50 mm pada keseluruhan segmen setelah langkah 2.

Bandingkan kedua opsi tersebut di atas dengan mempertimbangkan aspek biaya dan pelaksanaan.

Selesai.

SALINAN

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

8. DESAIN REKONSTRUKSI PERKERASAN DENGAN TEKNOLOGI DAUR ULANG DAN STABILISASI

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 dan dikumpulkan, selanjutnya 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 ditempat, 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 tentang desain rekonstruksi dengan reklamasi perkerasan aspal menggunakan *foam bitumen* dan stabilisasi semen. Diuraikan pula 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.

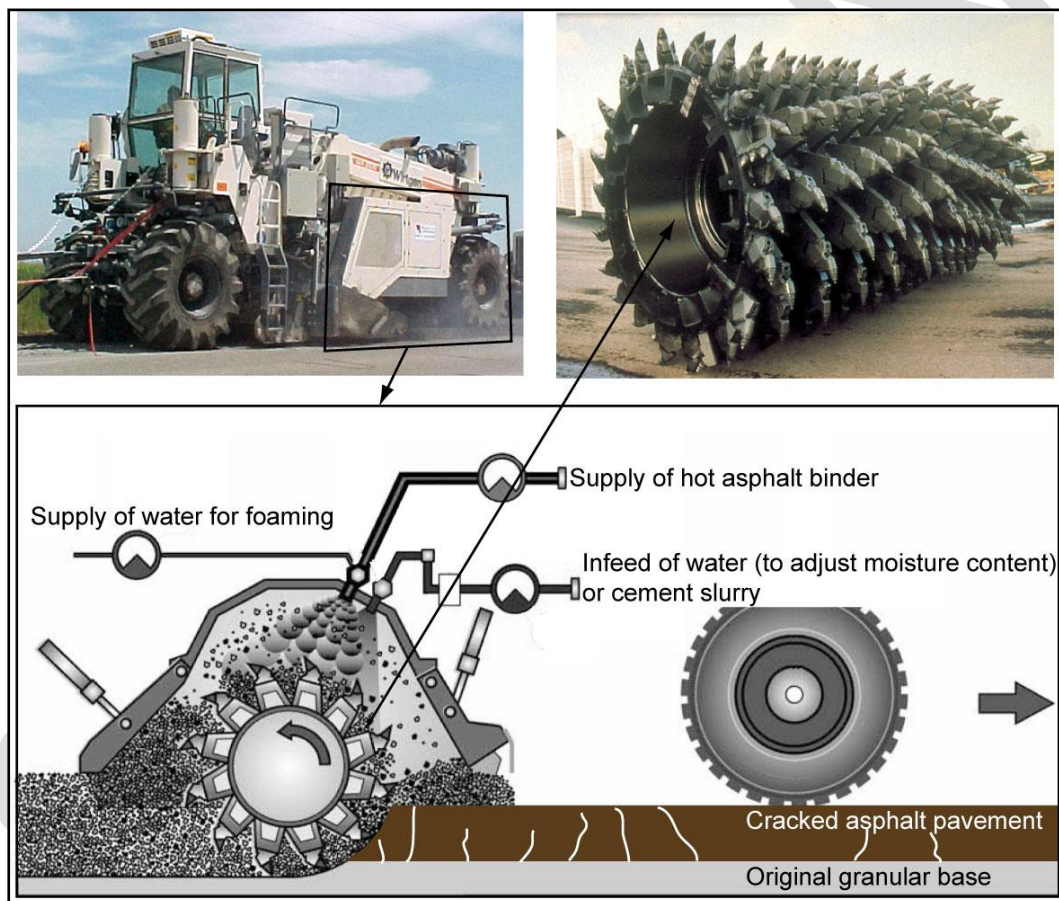
Desain rekonstruksi dengan penggantian seluruh struktur perkerasan atau *full depth replacement* sama dengan desain perkerasan baru telah diuraikan dalam Bagian I dan karena itu tidak dibahas secara khusus pada bab ini.

8.2 Desain Rekonstruksi Perkerasan Beraspal dengan Teknologi Daur Ulang

8.2.1 Desain Konstruksi dengan *Foam Bitumen*

8.2.1.1 Umum

Foam bitumen adalah bahan pengikat aspal panas yang dalam waktu singkat berubah bentuk dari 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% sampai 3% dan ditambah semen 1% sebagai pengikat kedua bahan tersebut. Kapur dapat digunakan untuk material yang mempunyai plastisitas lebih tinggi.

Kekuatan atau kekakuan campuran *foam bitumen* diperoleh dari:

1. gesekan antara partikel agregat;
2. viskositas bitumen pada kondisi operasional; dan

3. 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 banyak dikembangkan oleh berbagai negara. Karena metode tersebut bersifat sementara, kinerja perkerasan dengan stabilisasi *foam bitumen* yang telah dilaksanakan di Indonesia perlu dievaluasi untuk pengembangan metode ini dimasa yang akan datang.

8.2.1.2 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 indeks plastisitas hingga 20. Lihat Tabel 8.1 sebagai panduan.

Gradasi ukuran butir material harus terletak di Zona A pada distribusi ukuran butir yang ditunjukkan pada Gambar 8.2.

Tabel 8.1 Pemilihan metode stabilisasi

Ukuran Partikel	Lebih dari 25% lolos 0.425 mm			Kurang dari 25% lolos 0.425 mm		
	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 sesuai	diragukan atau memerlukan bahan pengikat	umumnya 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 Bagian petunjuk beton.

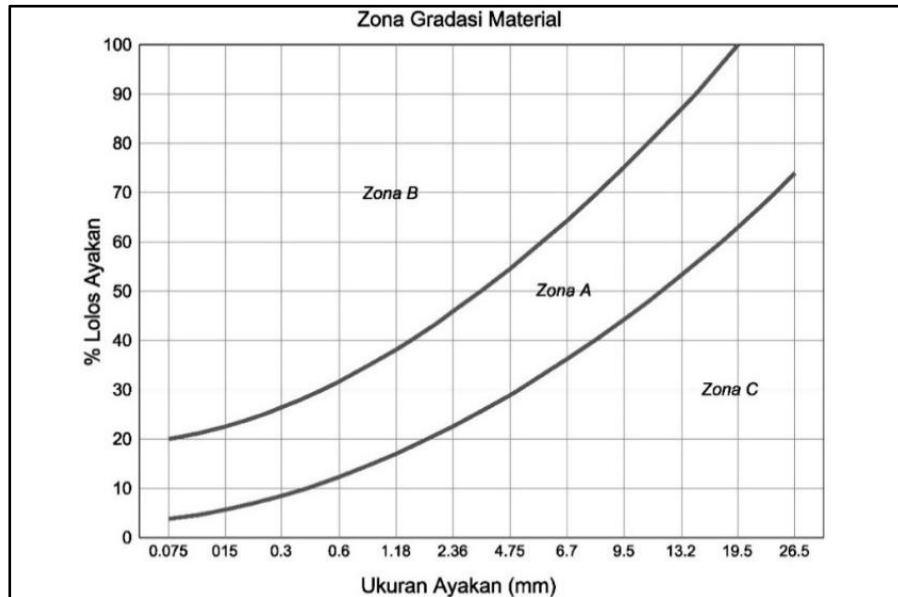
** Hanya diambil sebagai panduan. Rujuk literatur lain untuk informasi lainnya pada tanah berbutir halus atau plastisitas lebih tinggi.

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

8.2.1.3 Pelapisan Minimum

Tabel 8.2 menunjukkan ketentuan pelapisan aspal minimum yang disarankan di atas lapisan yang distabilisasi dengan *foam bitumen*.

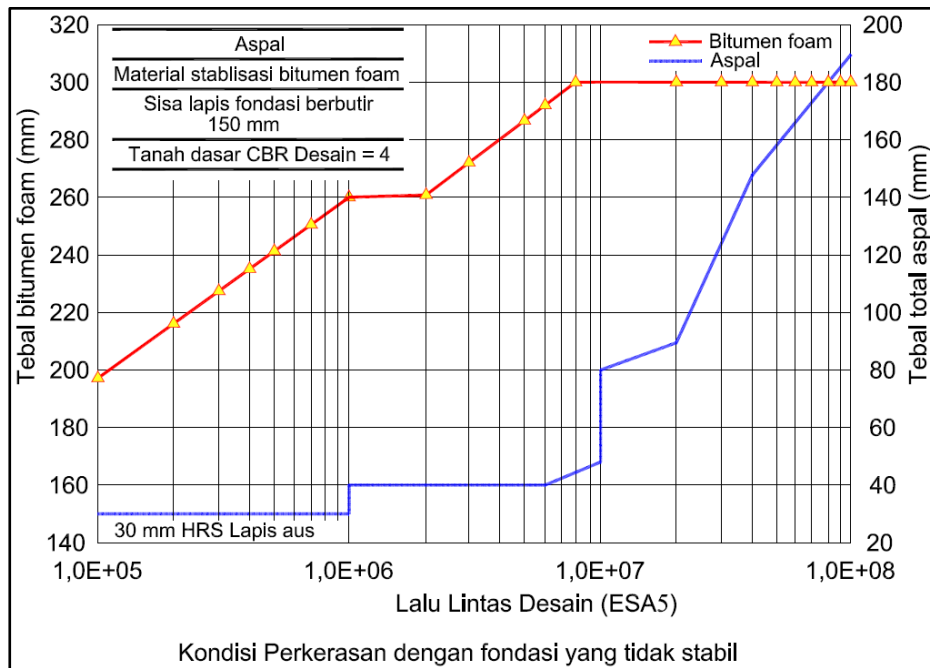
Tabel 8.2 Tebal pelapisan minimum di atas material yang distabilisasi dengan *foam bitumen*

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

8.2.1.4 Bagan Desain Tebal Lapis Fondasi Stabilisasi *Foam Bitumen*

Metode desain secara mekanistik untuk mendesain perkerasan lentur baru dan ketentuan pelapisan minimum dapat dilihat pada Tabel 10.1 Bagian I. Rujukan tersebut digunakan sebagai dasar pembuatan bagan desain. Gambar 8.3 merupakan salah satu bagan desainnya.

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 *Cement Treated Recycling Base* (CTRB).



Gambar 8.3 Contoh bagan desain untuk perencanaan teknis tebal daur ulang dengan stabilisasi *foam bitumen*

8.2.1.5 Prosedur Desain

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

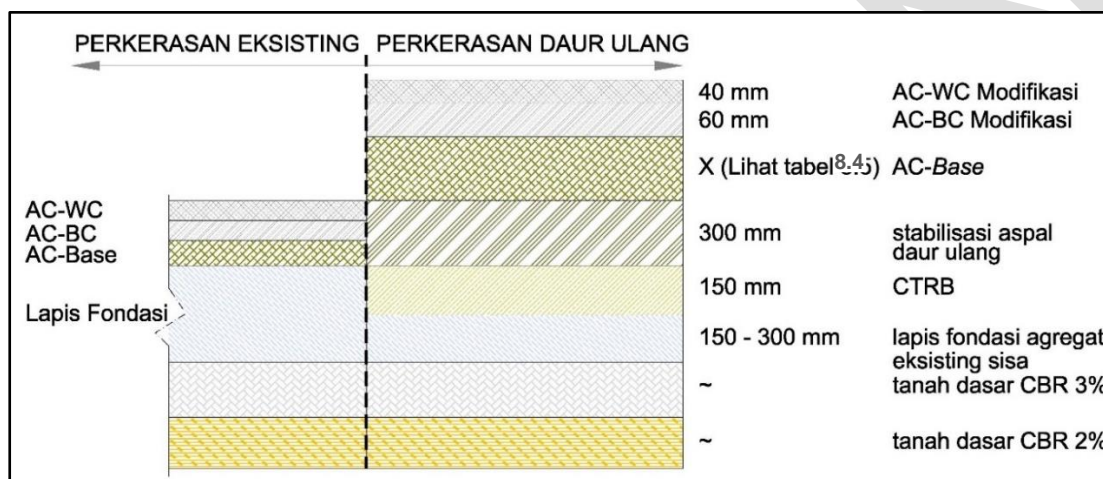
Tabel 8.3 Prosedur desain stabilisasi dengan *foam bitumen*

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 di stabilisasi. Untuk perkerasan dengan CBR desain tanah dasar kurang dari 5%, diperlukan material perkerasan sisa setebal minimum 100 mm di bawah <i>foam bitumen</i> .

Langkah	Kegiatan
6	Menggunakan bagan desain pada Lampiran J dan Lampiran K, tentukan ketebalan lapisan aspal yang diperlukan di atas material yang distabilisasi dengan <i>foam bitumen</i> .

8.2.1.6 Contoh Kasus : 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 8.4. Tebal lapis AC Base ditentukan menggunakan Tabel 8.4.



Tipikal tanah asli di bawah perkerasan eksisting pada area timbunan rendah di atas tanah lunak – Untuk kondisi lainnya dibutuhkan desain mekanistik.

Gambar 8.4 Struktur perkerasan daur ulang

Tabel 8.4 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	75
30	75	0

Asumsi desain kasus khusus ini adalah:

1. Perkerasan beraspal eksisting dikupas dan disimpan sementara pada lokasi tertentu hingga memenuhi kebutuhan tebal desain lapisan *foam bitumen (Cold Mix Recycling Foam Bitumen, CMRFB)*. Kemudian dilaksanakan pekerjaan lapis CTRB; setelah selesai dilanjutkan dengan pelaksanaan pekerjaan lapis CMRFB di atasnya.
2. Tebal lapis CTRB adalah 150 mm dan lapis CMRFB 300 mm.
3. 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).
4. 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.
5. CBR minimum yang diharapkan pada tanah dasar eksisting 3%, namun dimungkinkan tanah dengan CBR 2% terdapat di bawah tanah dasar.
6. 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.

8.2.2 Desain Rekonstruksi dengan Lapis Fondasi Stabilisasi Semen (CTRBS)

8.2.2.1 Umum

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 Zona A grafik distribusi ukuran butir yang ditunjukkan pada Gambar 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. Karena material berbutir seharusnya menggunakan kuat tekan beton dengan nilai kuat tekan 2 - 4,5 MPa pada umur 7 (tujuh) hari.

8.2.2.2 Tebal Minimum Lapis Permukaan

Retak permukaan biasa terjadi apabila CTRBS digunakan dengan penutup lapis aspal tipis. Disarankan tidak menggunakan semen *portland* reaksi cepat (*quick-setting portland cement*) sebagai bahan CTRBS karena dapat menyebabkan terjadinya keretakan dini apabila dilalui lalu lintas beban berat, yang mengakibatkan biaya pemeliharaan tinggi. Lapis permukaan beraspal di atas lapis stabilisasi semen CTRBS disarankan memiliki tebal minimum 175 mm (*Austrroads AGPT-02, 2017*).

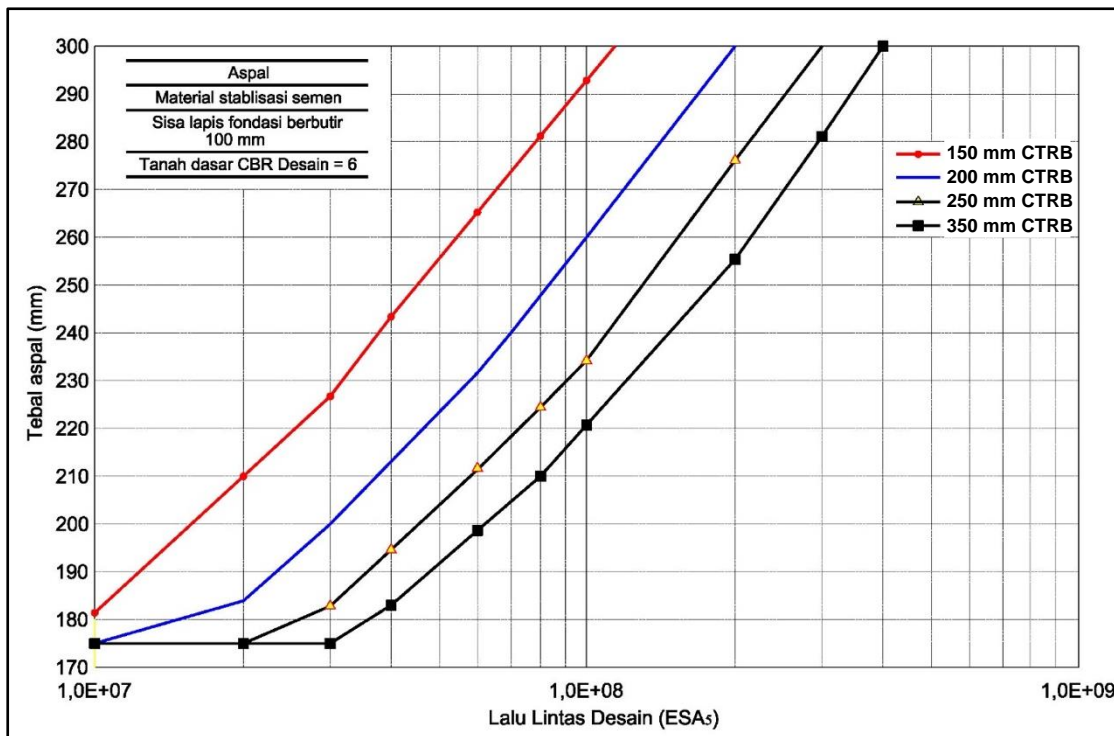
8.2.2.3 Desain Tebal Lapis Fondasi Stabilisasi Semen

Metode desain perkerasan lentur secara mekanistik dan tebal lapis permukaan beraspal minimum 175 mm digunakan sebagai dasar membuat bagan desain ketebalan. Gambar 8.5

menunjukkan bagan desain untuk CBR desain 6%. Bagan desain untuk berbagai nilai CBR lainnya ditunjukkan pada Lampiran L.

Dalam pembuatan bagan desain tersebut, hal yang dipertimbangkan adalah 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 8.5 Bagan desain ketebalan *cement treated recycled base (CTRB)*

8.2.2.4 Prosedur Desain

Tabel 8.5 menunjukkan langkah-langkah desain struktural stabilisasi semen.

Tabel 8.5 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.

Langkah	Kegiatan
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 L, tentukan ketebalan lapisan aspal yang diperlukan di atas material yang distabilisasi semen.

8.2.3 Contoh Perhitungan Desain Rekonstruksi Perkerasan Beraspal dengan Teknologi Daur Ulang

Survei kondisi suatu segmen jalan menunjukkan bahwa segmen tersebut dalam keadaan rusak ($PCI < 50$) dengan retak buaya yang meluas. Beberapa titik lokasi 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).

Test pit dan DCP serta analisis lalu lintas menghasilkan data masukan sebagai berikut:

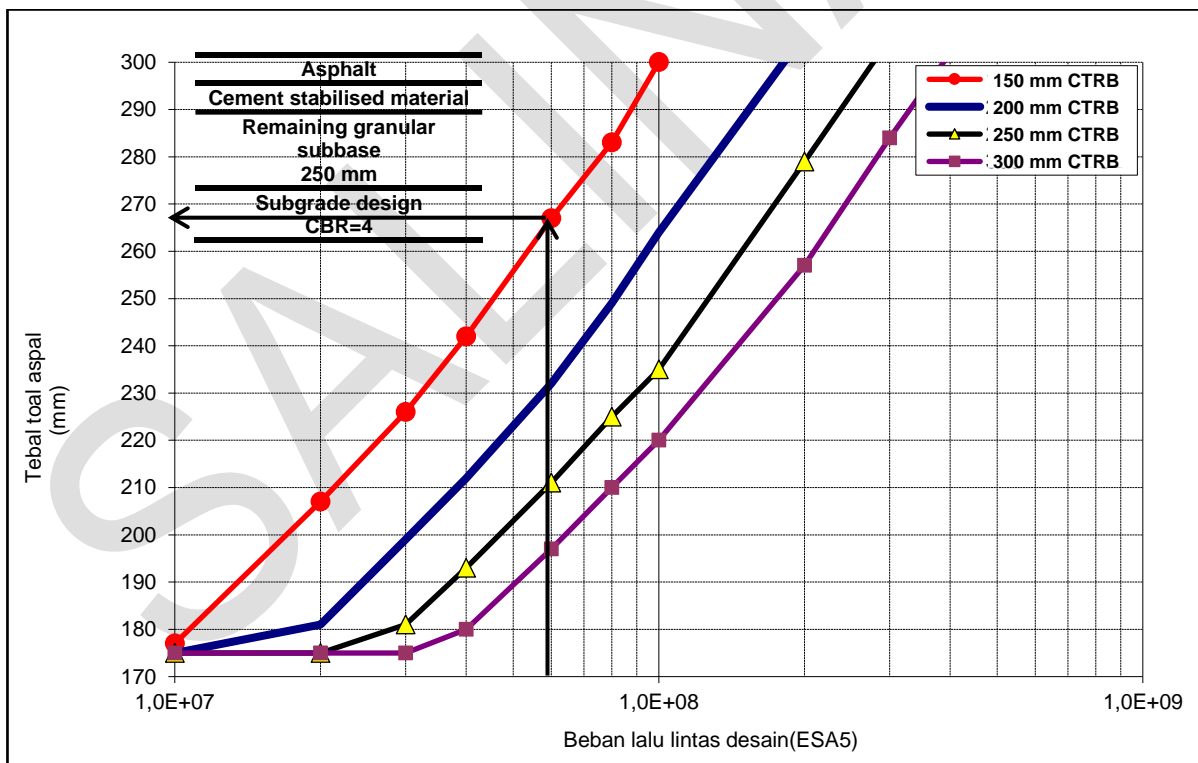
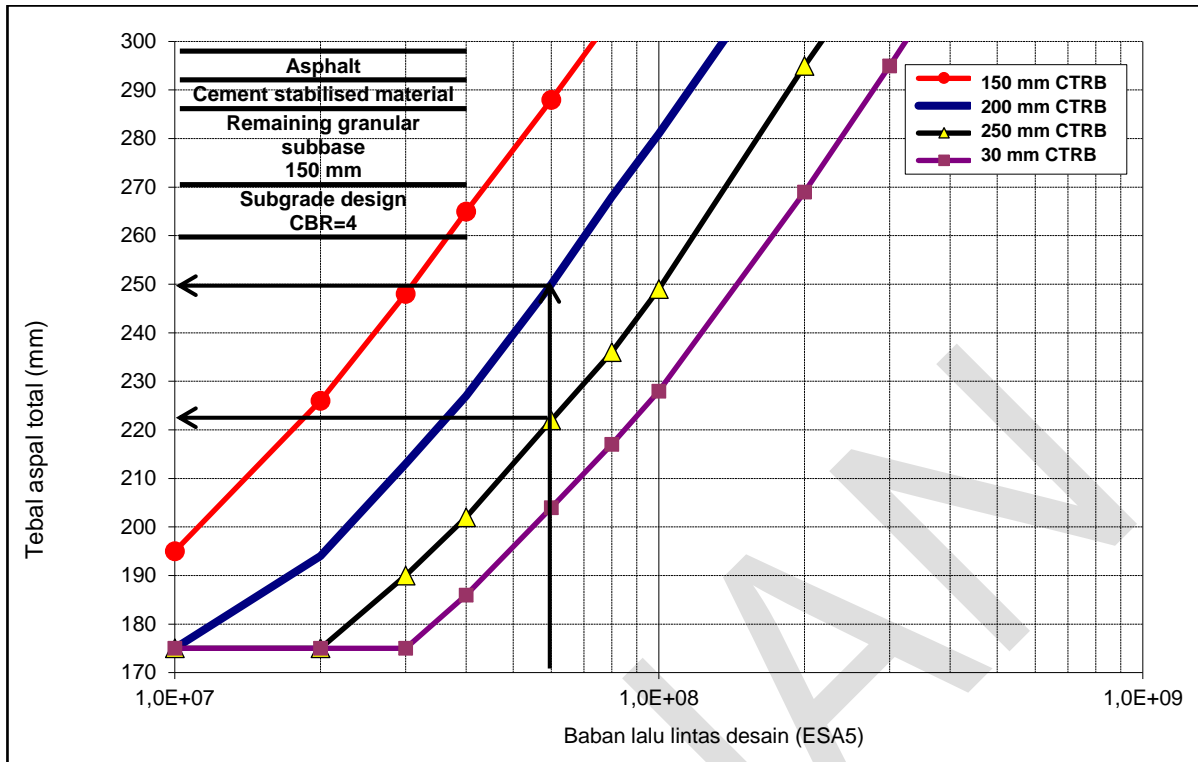
1. Struktur perkerasan eksisting adalah:
 - a. 120 mm beton aspal.
 - b. 300 mm lapis fondasi agregat dengan IP 4%.
2. Daya dukung representatif tanah dasar: CBR 4 %.
3. Kumulatif beban lalu lintas rencana 20 tahun: 60E+06 ESA5.

Menentukan tebal perkerasan:

1. Tebal total material eksisting: 420 mm (120 mm aspal + 300 mm lapis fondasi agregat).
2. Tebal minimum sisa lapis fondasi setelah rekonstruksi: 150 mm atau 250 mm.
3. Tebal material eksisting yang dapat digunakan untuk CTRB daur ulang:
 - a. 420 mm – 150 mm = 270 mm (untuk sisa lapis fondasi 150 mm); atau
 - b. 420 mm – 250 mm = 170 mm (untuk sisa 250 mm).
4. Menggunakan bagan desain untuk tanah dasar CBR 4% dan tebal sisa lapis fondasi minimum 150 mm dan 250 mm (Lampiran K) alternatif struktur perkerasan rekonstruksi dengan daur ulang CTRB adalah sebagai berikut:

Sisa lapis fondasi agregat eksisting minimum	mm	150			250
		1	2	3	
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	
CTRB	mm	250	200	150	

* 420 mm – tebal CTRB



Gambar 8.6 Penentuan tebal lapisan CTRB dan aspal

Kesimpulan:

1. Dari 2 (dua) bagan desain rekonstruksi dengan CTRB diperoleh 3 (tiga) alternatif struktur yang dapat dipilih.
2. Lakukan pemilihan atas dasar pertimbangan biaya dan ketersediaan sumber daya setempat.

8.3 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.

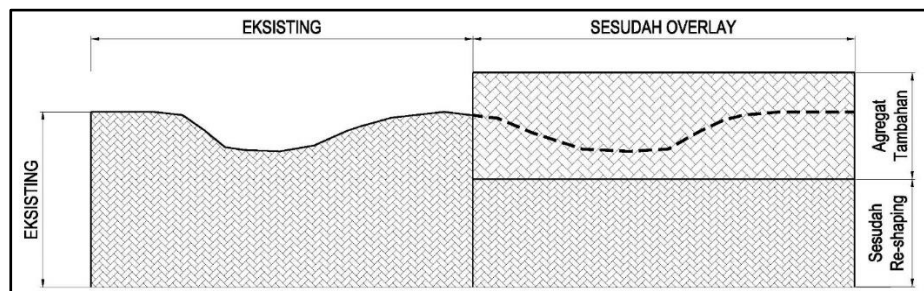
8.3.1 Perkerasan Tanpa Penutup Aspal

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-9 (Bagian 1). Pertebal lapisan jika kurang dari yang disyaratkan pada Bagan Desain-9 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 100 mm.

Jika perkerasan eksisting berupa *telford* atau lapisan yang tidak dapat dicampur dengan material baru, maka ketentuan tebal minimum pada Bagian 1 Tabel 10.1 harus diikuti.

Contoh: Lalu lintas 600.000 ESA4 untuk umur rencana 10 (sepuluh) tahun, CBR tanah dasar minimum 4% 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-9 adalah 420 mm, maka dibutuhkan agregat tambahan dengan tebal padat 120 mm.



Gambar 8.7 Lapis tambah perkerasan tanpa penutup aspal

8.3.2 *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.

8.4 Penanganan Lain yang Terkait dengan Rekonstruksi

Perbaiki lubang, penutupan retak, pengupasan permukaan dengan alur atau retak berat, perbaikan drainase permukaan dan bawah permukaan, dan penanganan lainnya yang dibutuhkan sebelum lapis tambah atau penanganan lain yang sesuai. Penanganan khusus yang diuraikan berikut ini harus dilakukan.

8.4.1 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 Bagian I Bab 5.

8.4.2 Penambalan Berat (*Heavy Patching*)

Daerah yang membutuhkan *heavy patching* harus didesain seperti perkerasan baru (Bagian I). *Heavy patching* diperlukan pada lokasi yang perkerasan eksistingnya rusak atau yang struktur perkerasan dan fondasinya tidak memadai untuk didaur ulang atau direkonstruksi.

8.4.3 Contoh Desain Penanganan Rekonstruksi Lainnya (Desain Lapis Tambah Disertai Pelebaran)

Suatu ruas jalan dengan lebar 5 m 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:

1. Perkerasan lajur lalu lintas:
 - a. IRI perkerasan eksisting: 4 m/km.

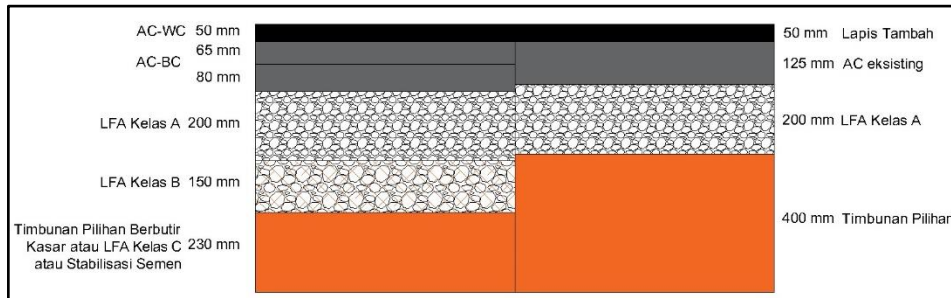
- b. Lapis aspal 125 mm: permukaan kasar, agregat pada permukaan lepas-lepas (*raveling*) karena oksidasi; retak halus di beberapa tempat.
 - c. Lapis fondasi agregat 250 mm.
 - d. Material pilihan 300 mm.
 - e. CBR_{wakil} tanah dasar 4%.
 - f. Data lendutan (FWD):
 - g. Lendutan wakil:
 - 1) Lendutan maksimum setelah dikonversi ke lendutan BB = 1,20 mm.
 - 2) Lengkung lendutan = 0,24 mm.
 - h. Bahu jalan:
 - 1) Lapis fondasi kelas S: 120 mm dalam kondisi kurang terawat
 - 2) Material pilihan: 300 mm.
2. Analisis tebal perkerasan
- a. Tebal lapis tambah minimum berdasarkan IRI:
 - 1) IRI permukaan eksisting 4 m/km → tebal lapis tambah minimum untuk mencapai IRI 3 m/km = 40 mm.
 - b. Penentuan tebal lapis tambah berdasarkan data lendutan:
 - 1) Tebal lapis tambah berdasarkan lendutan maksimum 1,20 mm dan beban rencana $5E+06$ ESA4 = 50 mm.
 - 2) Tebal lapis tambah berdasarkan lengkung lendutan rata-rata 0,24 mm dan beban rencana $10E+06$ ESA5 = 50 mm.
 - c. Tebal lapis tambah perlu berdasarkan butir a dan b di atas = 50 mm.
 - d. Struktur perkerasan pada pelebaran

Dengan tanah dasar CBR 4% diperlukan minimum 200 mm perbaikan tanah dengan material timbunan pilihan ($CBR \geq 10\%$), seperti pada Manual Bagian I 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	65
	80
LFA kelas A	200
LFA kelas B	150
Timbunan pilihan berbutir kasar ($CBR \geq 30\%$)	200

- e. Gabungan struktur perkerasan eksisting setelah lapis tambah dan pelebaran



Gambar 8.8 Struktur perkerasan eksisting dan pelebaran

- * Atas pertimbangan praktis, tebal lapisan aspal pada pelebaran disesuaikan dengan tebal lapis tambah perkerasan eksisting.

SALINAN

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

9. MASALAH PELAKSANAAN DAN KINERJA PERKERASAN

9.1 Penyiapan Perkerasan Eksisting Sebelum Lapis Tambah

Penyiapan perkerasan sebelum lapis tambah 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 lapis tambah dimulai.

9.2 Ketebalan Lapis Perkerasan

Ketebalan minimum lapis perkerasan harus mengikuti ketentuan pada Bagian 1 (Struktur Perkerasan Baru) Tabel 10.1. 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 10.

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). Mempertimbangkan jarak lintasan kendaraan dan tepi galian agar perkerasan eksisting tidak roboh dan harus mempertimbangkan kedalaman penggalian praktis dan keselamatan pelaksanaan. Kondisi tersebut mungkin akan membatasi jenis perkerasan yang bisa digunakan.

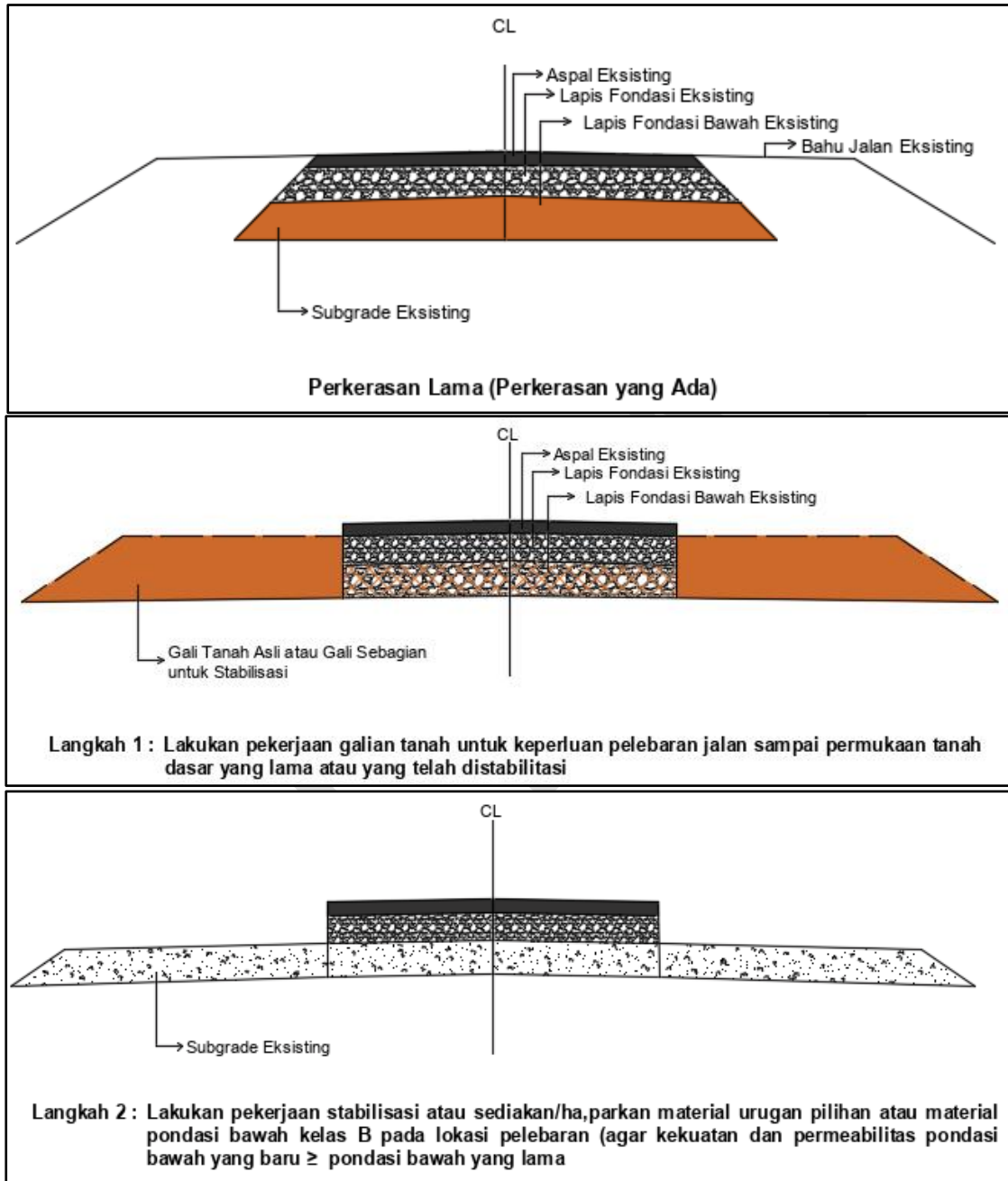
9.5 Risiko Solusi Desain Menggunakan Aspal Modifikasi

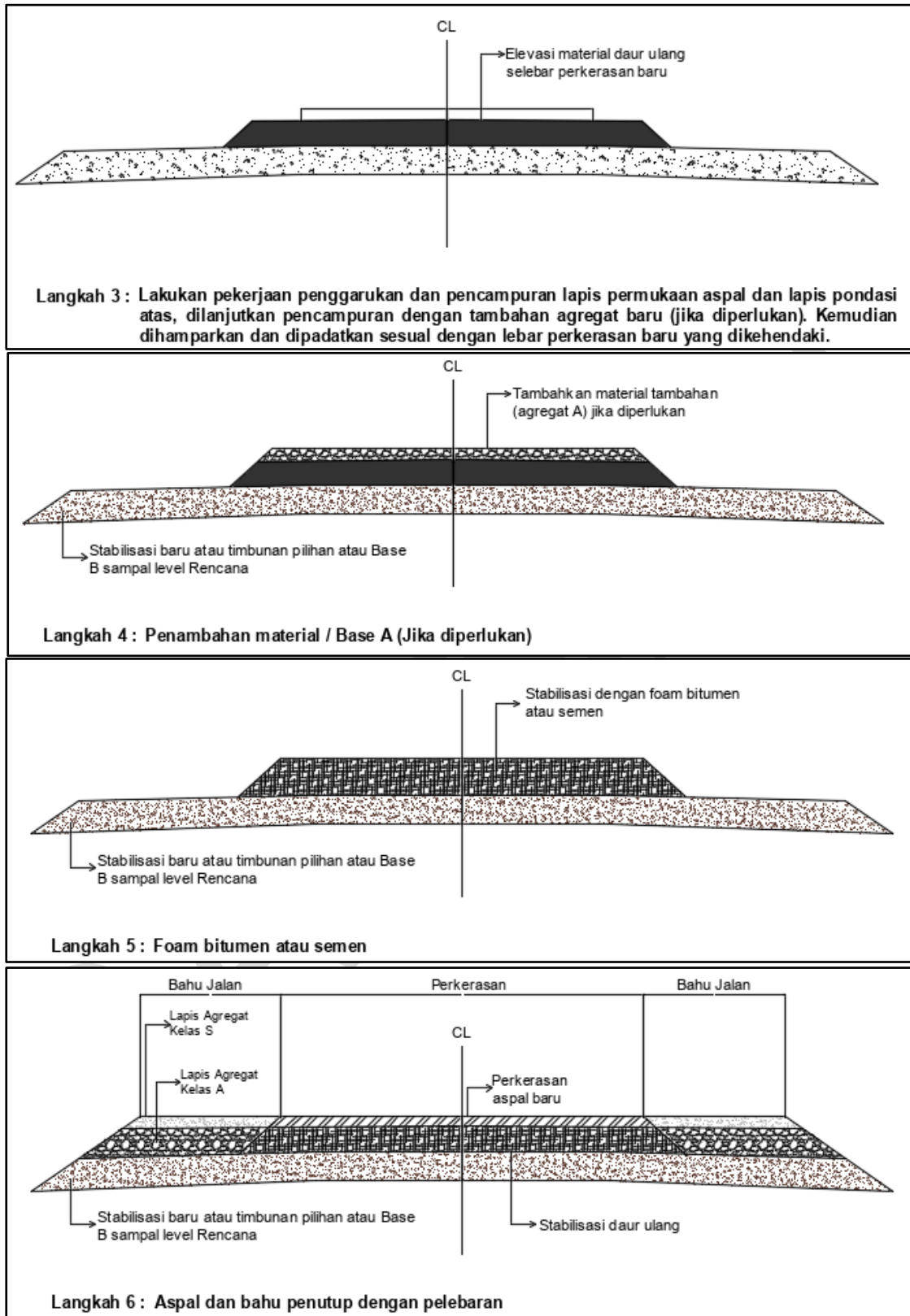
Desain untuk lalu lintas lebih kecil dari 30×10^6 ESA5 membutuhkan aspal modifikasi untuk lapis permukaannya. Penggunaan aspal modifikasi dapat memperpanjang umur *fatigue* dengan lapis tambah aspal tipis dengan biaya yang lebih efektif.

Sebelum solusi ini dilaksanakan, penyedia jasa harus menyediakan sumber daya yang memadai.

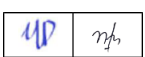
Berbagai jenis aspal modifikasi banyak tersedia, namun demikian, fasilitas untuk pengangkutan, penyimpanan dan produksi campuran dengan aspal modifikasi di lapangan

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.



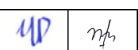


Gambar 9.1 Urutan pelaksanaan daur ulang dengan pelebaran



SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



LAMPIRAN

SALINAN

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran I
Informasi
Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) untuk Perkerasan Lentur
dan Kaku (Metode AASHTO)

I.1.1. Faktor Ekuivalen Beban Sumbu Standar untuk Perkerasan Lentur

Beban Sumbu (Ton)	Jenis Sumbu Kendaraan					
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
1,00	0,01878	0,00023	0,00014	0,00002	0,00002	0,00000
2,00	0,09507	0,00363	0,00226	0,00035	0,00027	0,00006
3,00	0,3005	0,0180	0,0114	0,0017	0,0012	0,0003
4,00	0,7336	0,0560	0,0361	0,0053	0,0037	0,0010
5,00	1,5212	0,1353	0,0882	0,0128	0,0085	0,0024
6,00	2,8182	0,2779	0,1829	0,0262	0,0168	0,0050
7,00	4,808	0,511	0,339	0,048	0,030	0,009
8,00	7,701	0,866	0,578	0,081	0,049	0,016
9,00	11,737	1,378	0,926	0,128	0,077	0,025
10,00	17,185	2,089	1,412	0,194	0,114	0,039
11,00	24,34	3,04	2,07	0,28	0,16	0,06
12,00	33,52	4,29	2,93	0,40	0,23	0,08
13,00	45,09	5,89	4,03	0,54	0,31	0,11
14,00	59,42	7,89	5,42	0,73	0,40	0,15
15,00	76,92	10,36	7,15	0,95	0,52	0,20
16,00	98,03	13,37	9,25	1,22	0,67	0,25
17,00	123,21	16,98	11,79	1,55	0,84	0,32
18,00	152,96	21,29	14,82	1,94	1,04	0,41
19,00	187,80	26,35	18,40	2,40	1,27	0,51
20,00	228,27	32,27	22,59	2,94	0,71	0,62
21,00	274,96	39,13	27,45	3,56	0,88	0,76
22,00	328,46	47,02	33,07	4,27	1,05	0,91
23,00	389,42	56,04	39,50	5,08	1,25	1,09
24,00	458,49	66,29	46,83	6,00	1,47	1,29
25,00	536,37	77,89	55,14	7,04	1,73	1,52
26,00		90,94	64,51	8,22	2,01	1,77
27,00		105,56	75,02	9,51	2,33	2,06
28,00		121,86	86,76	10,95	2,68	2,39
29,00		139,97	99,84	12,53	3,07	2,75
30,00		160,02	114,34	14,29	3,51	3,14
31,00		182,15	130,36	16,21	3,98	3,59
32,00		206,48	148,02	18,33	4,51	4,07
33,00		233,16	167,40	20,64	5,08	4,60

Beban Sumbu (Ton)	Jenis Sumbu Kendaraan					
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
34,00		262,33	188,63	23,16	5,70	5,19
35,00		294,15	211,83	25,90	6,38	5,83
36,00			237,09	28,87	7,12	6,52
37,00			264,55	32,09	7,92	7,28
38,00			294,33	35,57	8,79	8,10
39,00			326,56	39,32	9,72	8,98
40,00			361,36	43,35	10,72	9,94
41,00			398,88	47,69	11,80	10,97
42,00			439,24	52,33	12,96	12,08
43,00			482,59	57,31	14,20	13,27
44,00			529,07	62,63	15,53	14,55
45,00			578,84	68,30	16,94	15,92
46,00					18,46	17,38
47,00					20,06	18,95
48,00					21,77	20,61
49,00					23,59	22,38
50,00					25,52	24,27
51,00					27,56	26,27
52,00					29,72	28,39
53,00					32,00	30,63
54,00					34,41	33,01
55,00					36,95	35,53
56,00					39,63	38,18
57,00					42,45	40,98
58,00					45,42	43,94
59,00					48,54	47,05
60,00					51,81	50,32
61,00						53,76
62,00						57,37
63,00						61,16
64,00						65,14
65,00						69,30
66,00						73,67
67,00						78,24
68,00						83,01
69,00						88,00
70,00						93,22

Beban Sumbu (Ton)	Jenis Sumbu Kendaraan					
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
Keterangan	-STRT : Sumbu Tunggal Roda Tunggal -STRD : Sumbu Tunggal Roda Ganda -STdRT : Sumbu Tandem Roda Tunggal			-STdRG : Sumbu Tandem Roda Ganda -STrRD : Sumbu Tripel Roda Ganda -SQdRG : Sumbu Empat Roda Ganda		

I.1.2. VDF AASHTO untuk Perkerasan Lentur

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – SUMATERA – KEPULAUAN RIAU – BANGKA BELITUNG

ACEH DAN SUMATERA UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,5	8,4	6,8	-	-	-	-	6,3	4,3	6,0
	Normal	1,9	0,1	0,9	2,6	2,2	-	-	-	-	3,9	3,2	4,0	4,7	-

SUMATERA BARAT LINTAS TENGAH UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,4	-	3,4	-	-	-	-	4,8	2,7	3,7
	Normal	1,9	0,1	1,0	-	1,5	-	-	-	-	2,4	2,7	2,6	-	-

SUMATERA BARAT LINTAS TENGAH SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,3	-	6,8	-	-	-	-	4,7	6,2	8,5
	Normal	1,9	0,1	0,9	-	2,7	-	-	-	-	3,3	4,1	3,5	5,2	-

SUMATERA BARAT LINTAS BARAT PESISIR UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,4	-	3,6	-	-	-	-	4,0	-	6,1
	Normal	1,9	0,1	0,9	-	1,9	-	-	-	-	3,4	-	4,0	3,9	-

SUMATERA BARAT LINTAS BARAT PESISIR SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,4	-	2,6	-	-	-	-	3,0	0,9	6,9	3,8	-
	Normal	1,9	0,1	1,0	-	1,6	-	-	-	-	2,9	0,9	3,6	2,8	-

RIAU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,1	9,0	9,6	-	-	-	-	5,9	7,1	12,1	9,1	-
	Normal	1,9	0,1	1,3	2,9	3,0	-	-	-	-	3,1	3,9	4,7	4,1	-

JAMBI

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,3	-	10,4	-	-	-	-	6,0	3,7	-	5,9	-
	Normal	1,9	0,1	0,9	-	2,7	-	-	-	-	3,7	3,0	-	3,2	-

BENGKULU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,0	-	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	0,7	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SUMATERA SELATAN (JALAN LINTAS TIMUR)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,4	6,2	6,0	-	-	-	-	6,1	7,6	4,7	5,5	-
	Normal	1,9	0,1	1,7	2,7	2,3	-	-	-	-	2,8	3,9	3,5	3,4	-

LAMPUNG (JALAN LINTAS TIMUR)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,1	8,5	7,8	-	-	-	-	7,2	3,9	5,1	5,3	-
	Normal	1,9	0,1	1,3	2,5	2,8	-	-	-	-	3,3	2,6	2,7	3,1	-

KEPULAUAN RIAU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,5	-	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	0,9	-	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

BANGKA BELITUNG

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,0	-	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	0,7	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – JAWA

BANTEN – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,6	-	2,5	-	5,4	-	-	3,0	3,2	4,2	5,0	-
	Normal	1,9	0,1	1,4	-	1,1	-	3,0	-	-	1,9	1,7	2,2	2,9	-

BANTEN – LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	4,3	-	4,4	-	-	-	-	4,2	-	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	2,0	-	1,9	-	-	-	-	2,5	-	-	-	-

DKI PANTURA (CAKUNG – CILINCING)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,5	3,2	4,0	-	-	-	-	2,9	3,7	3,7	2,6	-
	Normal	1,9	0,1	1,8	1,8	2,2	-	-	-	-	2,2	2,5	2,3	1,9	-

JAWA BARAT – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	3,6	7,3	10,7	-	-	10,8	-	5,3	8,7	10,6	12,6	-
	Normal	1,9	0,1	1,9	2,6	2,6	-	-	5,1	-	3,2	3,9	4,1	3,8	-

JAWA BARAT – LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	3,3	-	4,3	-	-	-	-	3,0	1,9	3,1	2,9	-
	Normal	1,9	0,1	2,0	-	2,0	-	-	-	-	2,0	1,4	3,0	2,6	-

JAWA BARAT – LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,6	-	12,5	-	-	-	-	4,7	-	15,5	38,2	-
	Normal	1,9	0,1	1,3	-	5,9	-	-	-	-	3,3	-	8,9	14,5	-

JAWA TENGAH – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,4	13,2	7,3	-	-	11,2	-	8,5	9,0	11,2	11,8	-
	Normal	1,9	0,1	1,6	3,0	2,1	-	-	5,0	-	2,9	3,7	4,5	4,7	-

JAWA TENGAH – LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,0	-	19,2	23,2	17,1	-	-	9,4	14,8	20,1	20,5	-
	Normal	1,9	0,1	0,8	-	9,0	11,5	13,2	-	-	5,9	7,0	11,0	8,6	-

DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	3,5	-	4,6	-	-	-	-	4,6	2,5	4,6	3,5	-
	Normal	1,9	0,1	2,0	-	2,0	-	-	-	-	2,8	1,6	4,4	3,2	-

JAWA TIMUR – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,0	7,3	9,8	-	9,1	15,7	-	8,3	10,1	15,7	11,8	-
	Normal	1,9	0,1	1,3	2,7	2,4	-	4,2	6,6	-	3,6	4,0	4,8	4,8	-

JAWA TIMUR JALAN LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	2,5	9,8	14,1	-	25,9	16,2	-	9,4	11,2	10,5	20,5	-
	Normal	1,9	0,1	1,6	3,0	3,3	-	7,1	7,5	-	5,2	5,2	3,7	6,7	-

JAWA TIMUR JALAN LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,5	3,9	10,1	-	15,9	-	-	7,7	9,2	10,1	16,7	-
	Normal	1,9	0,1	1,0	1,7	2,7	-	5,9	-	-	4,3	3,9	4,6	5,7	-

JAWA TIMUR JALAN PENGHUBUNG LINTAS PULAU JAWA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,0	4,5	4,4	-	2,2	6,7	-	8,5	4,0	3,3	4,7	-
	Normal	1,9	0,1	0,7	2,5	2,2	-	1,4	4,7	-	5,2	2,9	2,5	3,2	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – KALIMANTAN

KALIMANTAN BARAT / KALIMANTAN TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,3	-	3,0	-	-	-	-	2,0	3,5	2,5	4,3	-
	Normal	1,9	0,1	0,8	-	1,3	-	-	-	-	1,7	2,9	2,5	2,3	-

KALIMANTAN TIMUR

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,7	-	4,8	-	-	-	-	3,3	5,0	1,0	0,4	-
	Normal	1,9	0,1	1,1	-	2,5	-	-	-	-	2,3	3,2	1,0	0,4	-

KALIMANTAN UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	0,9	-	4,6	-	-	-	-	3,1	-	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	0,7	-	2,7	-	-	-	-	2,4	-	-	-	-

KALIMANTAN SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,2	-	3,7	-	-	-	-	4,6	4,5	3,9	4,8	-
	Normal	1,9	0,1	0,8	-	1,8	-	-	-	-	3,1	2,9	3,2	3,3	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – SULAWESI

SULAWESI UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,1	8,7	9,0	-	-	-	-	8,5	7,7	-	18,4	-
	Normal	1,9	0,1	0,9	2,3	2,9	-	-	-	-	4,8	4,0	-	5,9	-

GORONTALO - SULTENG – SULTRA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	0,8	-	11,2	-	-	-	-	8,4	7,0	-	14,5	-
	Normal	1,9	0,1	0,7	-	2,8	-	-	-	-	4,7	2,0	-	5,2	-

SULAWESI BARAT

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,9	6,1	8,0	-	-	-	-	4,2	1,5	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	1,1	2,2	2,6	-	-	-	-	2,8	1,4	-	-	-

SULAWESI SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,6	6,6	4,5	-	-	-	-	4,7	6,0	4,3	3,5	-
	Normal	1,9	0,1	1,0	2,6	2,3	-	-	-	-	3,1	3,4	3,4	2,2	-

**VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – BALI – NUSA TENGGARA BARAT –
NUSA TENGGARA TIMUR – MALUKU – MALUKU UTARA AND PAPUA BARAT –
PAPUA**

BALI

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	3,6	6,1	8,5	-	-	-	-	5,9	3,5	6,9	3,9	-
	Normal	1,9	0,1	2,1	2,2	2,8	-	-	-	-	3,2	2,2	3,3	2,8	-

NUSA TENGGARA BARAT

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	1,3	3,7	6,9	-	-	-	-	2,6	1,8	1,8	2,4	-
	Normal	1,9	0,1	0,9	1,6	2,0	-	-	-	-	1,7	1,6	1,7	2,0	-

**NUSA TENGGARA TIMUR – MALUKU – MALUKU UTARA
PAPUA BARAT – PAPUA**

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Lentur	Faktual	2,6	0,3	0,7	-	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	0,6	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

I.2.1. Faktor Ekuivalen Beban Sumbu Standar untuk Perkerasan Kaku

Beban Sumbu Ton	Jenis Sumbu Kendaraan					
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
1,00	0,00176	0,00019	0,00021	0,00005	0,00005	0,00001
2,00	0,02817	0,00336	0,00339	0,00074	0,00055	0,00009
3,00	0,1426	0,0178	0,0172	0,0037	0,0024	0,0005
4,00	0,4507	0,0583	0,0542	0,0114	0,0066	0,0015
5,00	1,1004	0,1460	0,1323	0,0276	0,0148	0,0036
6,00	2,2818	0,3091	0,2744	0,0566	0,0286	0,0075
7,00	4,227	0,583	0,508	0,104	0,050	0,014
8,00	7,211	1,010	0,867	0,176	0,080	0,024
9,00	11,551	1,640	1,389	0,281	0,123	0,038
10,00	17,606	2,530	2,117	0,426	0,180	0,058
11,00	25,78	3,75	3,10	0,62	0,25	0,09
12,00	36,51	5,36	4,39	0,87	0,35	0,12
13,00	50,28	7,45	6,05	1,20	0,46	0,17
14,00	67,64	10,10	8,13	1,61	0,60	0,22
15,00	89,13	13,42	10,72	2,11	0,77	0,29
16,00	115,38	17,50	13,88	2,72	0,98	0,38
17,00	147,05	22,46	17,68	3,46	1,21	0,49
18,00	184,82	28,42	22,23	4,34	1,49	0,61
19,00	229,44	35,50	27,59	5,37	1,81	0,76
20,00	281,70	43,84	33,88	6,57	2,18	0,93
21,00	342,41	53,59	41,18	7,97	2,60	1,13
22,00	412,43	64,90	49,60	9,58	3,07	1,36
23,00	492,69	77,93	59,25	11,41	3,61	1,63
24,00	584,13	92,85	70,25	13,50	4,21	1,93
25,00	687,74	109,83	82,71	15,87	4,87	2,27
26,00		129,07	96,76	18,52	5,61	2,66
27,00		150,75	112,53	21,50	6,43	3,09
28,00		175,09	130,15	24,82	7,50	3,58
29,00		202,29	149,76	28,51	8,64	4,12
30,00		232,58	171,51	32,59	9,91	4,72
31,00		266,17	195,54	37,10	11,31	5,38
32,00		303,32	222,02	42,06	12,86	6,11
33,00		344,27	251,10	47,49	14,57	6,91
34,00		389,27	282,95	53,43	16,43	7,78
35,00		438,59	317,74	59,91	18,47	8,74
36,00			355,64	66,96	20,70	9,78
37,00			396,83	74,61	23,12	10,91
38,00			441,50	82,90	25,76	12,14
39,00			489,84	91,85	28,61	13,47

Beban Sumbu Ton	Jenis Sumbu Kendaraan					
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
40,00			542,05	101,51	31,69	14,91
41,00			598,32	111,91	35,01	16,46
42,00			658,86	123,08	38,59	18,12
43,00			723,89	135,06	42,44	19,91
44,00			793,61	147,90	46,57	21,83
45,00			868,26	161,62	51,00	23,88
46,00					55,74	26,08
47,00					60,80	28,42
48,00					66,19	30,91
49,00					71,94	33,57
50,00					78,06	36,40
51,00					84,57	39,40
52,00					91,47	42,58
53,00					98,79	45,95
54,00					106,54	49,52
55,00					114,73	53,29
56,00					123,40	57,27
57,00					132,55	61,47
58,00					142,20	65,90
59,00					152,36	70,57
60,00					163,07	75,48
61,00						80,63
62,00						86,05
63,00						91,74
64,00						97,71
65,00						103,96
66,00						110,50
67,00						117,35
68,00						124,52
69,00						132,01
70,00						139,83
Keterangan:	-STRT : Sumbu Tunggal Roda Tunggal -STRD : Sumbu Tunggal Roda Ganda -STdRT : Sumbu Tandem Roda Tunggal			-STdRG : Sumbu Tandem Roda Ganda -STrRD : Sumbu Tripel Roda Ganda -SQdRG : Sumbu Empat Roda Ganda		

I.2.2. VDF AASHTO untuk Perkerasan Kaku

**VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – SUMATERA – KEPULAUAN RIAU –
BANGKA BELITUNG**

ACEH DAN SUMATERA UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,9	11,7	14,6	-	-	-	-	11,2	9,1	14,0	20,7	-
	Normal	2,5	0,1	1,2	3,5	4,4	-	-	-	-	6,4	6,7	8,9	11,0	-

SUMATERA BARAT LINTAS TENGAH UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,8	-	7,1	-	-	-	-	8,4	6,1	8,4	-	-
	Normal	2,5	0,1	1,3	-	2,9	-	-	-	-	4,0	6,1	5,7	-	-

SUMATERA BARAT LINTAS TENGAH SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,7	-	13,8	-	-	-	-	8,4	12,9	19,0	25,5	-
	Normal	2,5	0,1	1,1	-	5,3	-	-	-	-	5,6	8,4	7,6	12,4	-

SUMATERA BARAT LINTAS BARAT PESISIR UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,0	-	7,3	-	-	-	-	6,7	-	11,2	9,8	-
	Normal	2,5	0,1	1,1	-	3,7	-	-	-	-	5,5	-	8,2	9,8	-

SUMATERA BARAT LINTAS BARAT PESISIR SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,9	-	5,3	-	-	-	-	4,8	2,0	15,3	8,7	-
	Normal	2,5	0,1	1,3	-	3,2	-	-	-	-	4,7	2,0	7,5	6,4	-

RIAU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,8	13,0	19,6	-	-	-	-	10,3	13,9	28,5
	Normal	2,5	0,1	1,7	3,9	5,7	-	-	-	-	5,5	7,8	10,8	9,2	-

JAMBI

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,7	-	20,0	-	-	-	-	10,4	8,1	-
	Normal	2,5	0,1	1,2	-	5,3	-	-	-	-	6,1	6,5	-	7,8	-

BENGKULU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,3	-	10,8	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	2,5	0,1	0,9	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SUMATERA SELATAN (JALAN LINTAS TIMUR)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	3,0	8,6	12,6	-	-	-	-	12,1	16,1	10,5
	Normal	2,5	0,1	2,1	3,6	4,5	-	-	-	-	5,3	8,1	7,4	8,0	-

LAMPUNG (JALAN LINTAS TIMUR)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,9	12,1	14,9	-	-	-	-	10,9	7,5	8,1
	Normal	2,5	0,1	1,7	3,4	5,2	-	-	-	-	5,2	5,0	4,7	7,0	-

KEPULAUAN RIAU

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
		VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,9	-	7,5	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	2,5	0,1	1,2	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

BANGKA BELITUNG

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	2,5	0,3	1,3	-	10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	1,9	0,1	0,9	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – JAWA

BANTEN – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	3,4	-	5,1	-	6,8	-	-	5,2	6,8	7,2	11,5	-
	Normal	2,5	0,1	1,9	-	2,2	-	3,7	-	-	3,1	3,4	4,3	6,6	-

BANTEN – LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	6,1	-	8,6	-	-	-	-	6,7	-	-	-	-
	Normal	2,5	0,1	2,7	-	3,6	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-

DKI PANTURA (CAKUNG – CILINCING)

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	3,4	4,5	7,1	-	-	-	-	4,7	6,9	5,7	5,1	-
	Normal	2,5	0,1	2,5	2,6	4,0	-	-	-	-	3,6	4,7	3,8	4,0	-

JAWA BARAT – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	4,6	10,6	23,4	-	-	14,2	-	9,1	18,2	18,7	28,9	-
	Normal	2,5	0,1	2,5	3,5	5,1	-	-	6,5	-	5,2	7,8	8,5	8,7	-

JAWA BARAT – LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	4,3	-	8,3	-	-	-	-	5,1	3,9	5,6	6,5	-
	Normal	2,5	0,1	2,6	-	3,8	-	-	-	-	3,3	2,7	5,4	5,9	-

JAWA BARAT – LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,0	-	3,9	-	-	-	-	3,0	-	8,2	13,3	-
	Normal	2,5	0,1	0,8	-	2,0	-	-	-	-	2,0	-	4,0	5,6	-

JAWA TENGAH – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	3,1	18,8	16,1	-	-	14,5	-	12,9	19,9	19,3	29,6	-
	Normal	2,5	0,1	2,1	4,0	4,3	-	-	6,3	-	4,6	7,9	9,1	11,4	-

JAWA TENGAH – LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	0,8	-	5,1	9,3	5,2	-	-	5,9	8,9	9,6	10,5	-
	Normal	2,5	0,1	0,7	-	2,7	2,7	4,2	-	-	3,6	4,4	4,9	4,5	-

DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	4,6	-	8,9	-	-	-	-	7,5	5,2	8,4	7,8	-
	Normal	2,5	0,1	2,7	-	3,8	-	-	-	-	4,6	3,1	8,1	7,0	-

JAWA TIMUR – PANTURA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,6	10,2	20,7	-	11,9	20,5	-	12,5	22,3	26,5	29,7	-
	Normal	2,5	0,1	1,7	3,6	4,8	-	5,3	8,4	-	5,6	8,6	10,0	11,7	-

JAWA TIMUR JALAN LINTAS TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	3,2	13,4	27,3	-	34,1	21,3	-	16,0	23,8	30,6	48,4	-
	Normal	2,5	0,1	2,0	4,0	6,3	-	8,9	9,5	-	8,5	10,6	10,0	15,8	-

JAWA TIMUR JALAN LINTAS SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,0	5,5	20,8	-	20,6	-	-	12,9	20,2	20,8	42,5	-
	Normal	2,5	0,1	1,3	2,3	5,2	-	7,4	-	-	7,1	8,3	9,9	13,7	-

JAWA TIMUR JALAN PENGHUBUNG LINTAS PULAU JAWA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,3	6,2	8,6	-	2,7	8,7	-	14,1	8,3	7,5	10,4	-
	Normal	2,5	0,1	0,8	3,3	4,3	-	1,6	6,0	-	8,5	5,9	5,3	7,3	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – KALIMANTAN

KALIMANTAN BARAT / KALIMANTAN TENGAH

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,7	-	6,4	-	-	-	-	3,5	7,5	5,3	11,0	-
	Normal	2,5	0,1	1,1	-	2,7	-	-	-	-	2,9	6,2	5,3	5,8	-

KALIMANTAN TIMUR

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,2	-	9,4	-	-	-	-	5,9	10,2	2,5	0,9	-
	Normal	2,5	0,1	1,5	-	4,7	-	-	-	-	3,9	6,5	2,5	0,9	-

KALIMANTAN UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,2	-	8,9	-	-	-	-	5,1	-	-	-	-
	Normal	2,5	0,1	0,9	-	5,2	-	-	-	-	4,2	-	-	-	-

KALIMANTAN SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,5	-	7,8	-	-	-	-	8,2	9,7	8,2	11,7	-
	Normal	2,5	0,1	1,0	-	3,6	-	-	-	-	5,2	6,0	6,7	7,9	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – SULAWESI

SULAWESI UTARA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,4	12,2	19,0	-	-	-	-	14,4	15,7	-	45,9	-
	Normal	2,5	0,1	1,2	3,1	5,6	-	-	-	-	7,9	8,1	-	14,6	-

GORONTALO - SULTENG – SULTRA

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,0	-	23,9	-	-	-	-	14,2	15,6	-	36,0	-
	Normal	2,5	0,1	0,9	-	5,5	-	-	-	-	7,7	4,2	-	12,4	-

SULAWESI BARAT

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,5	8,4	16,5	-	-	-	-	7,5	3,0	-	-	-
	Normal	2,5	0,1	1,4	3,0	5,1	-	-	-	-	4,7	2,9	-	-	-

SULAWESI SELATAN

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	2,0	9,1	9,2	-	-	-	-	7,7	12,4	8,8	8,0	-
	Normal	2,5	0,1	1,3	3,4	4,6	-	-	-	-	5,2	7,0	7,0	5,1	-

VEHICLE DAMAGE FACTOR (VDF) AASHTO – BALI – NUSA TENGGARA BARAT – NUSA TENGGARA TIMUR – MALUKU – MALUKU UTARA AND PAPUA BARAT – PAPUA

BALI

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	4,8	8,4	17,8	-	-	-	-	10,9	7,4	15,4	10,3	-
	Normal	2,5	0,1	2,8	3,0	5,4	-	-	-	-	5,6	4,6	7,0	7,2	-

NUSA TENGGARA BARAT

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	1,6	5,3	13,9	-	-	-	-	4,5	3,9	4,2	6,3	-
	Normal	2,5	0,1	1,1	2,2	4,0	-	-	-	-	2,9	3,6	4,0	5,1	-

NUSA TENGGARA TIMUR – MALUKU – MALUKU UTARA

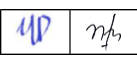
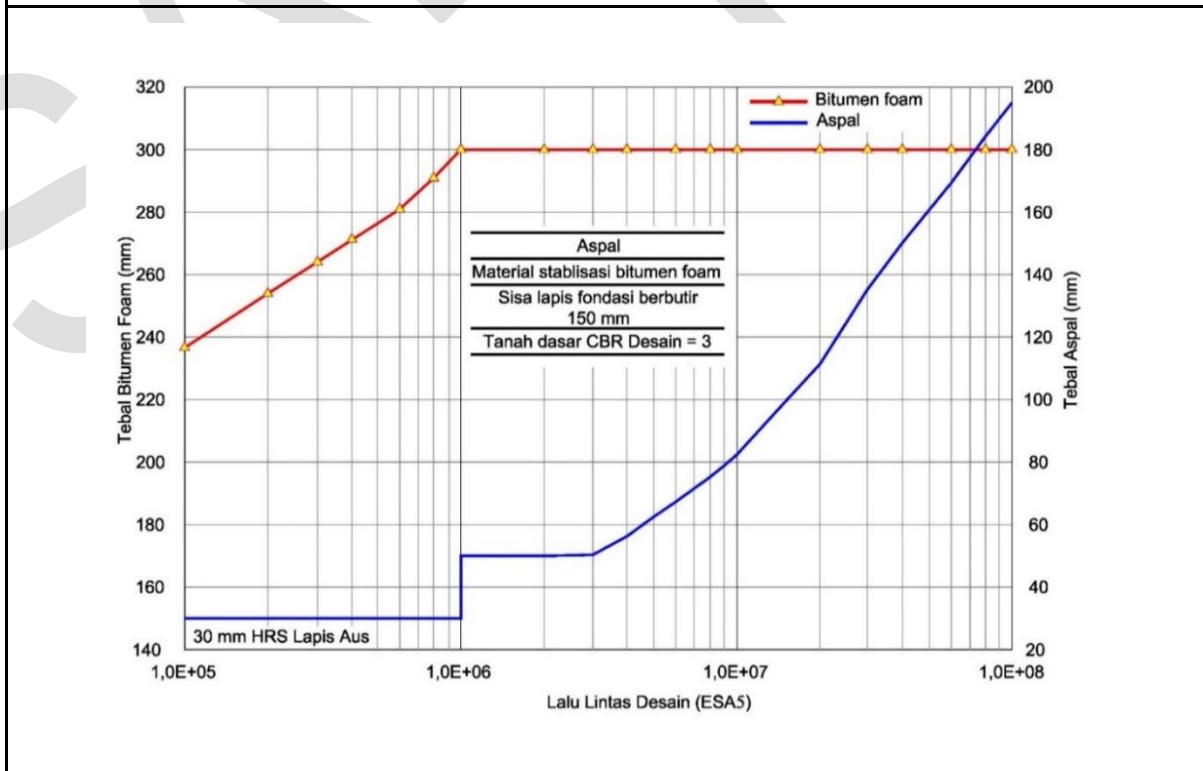
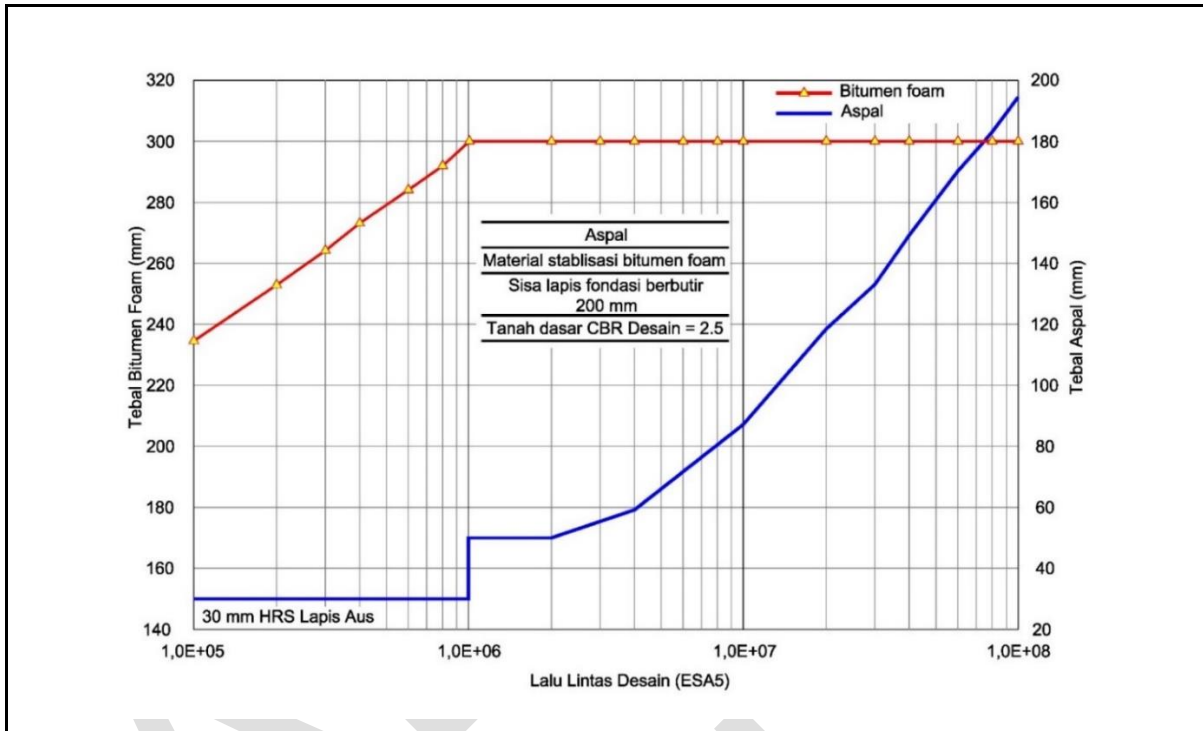
PAPUA BARAT – PAPUA

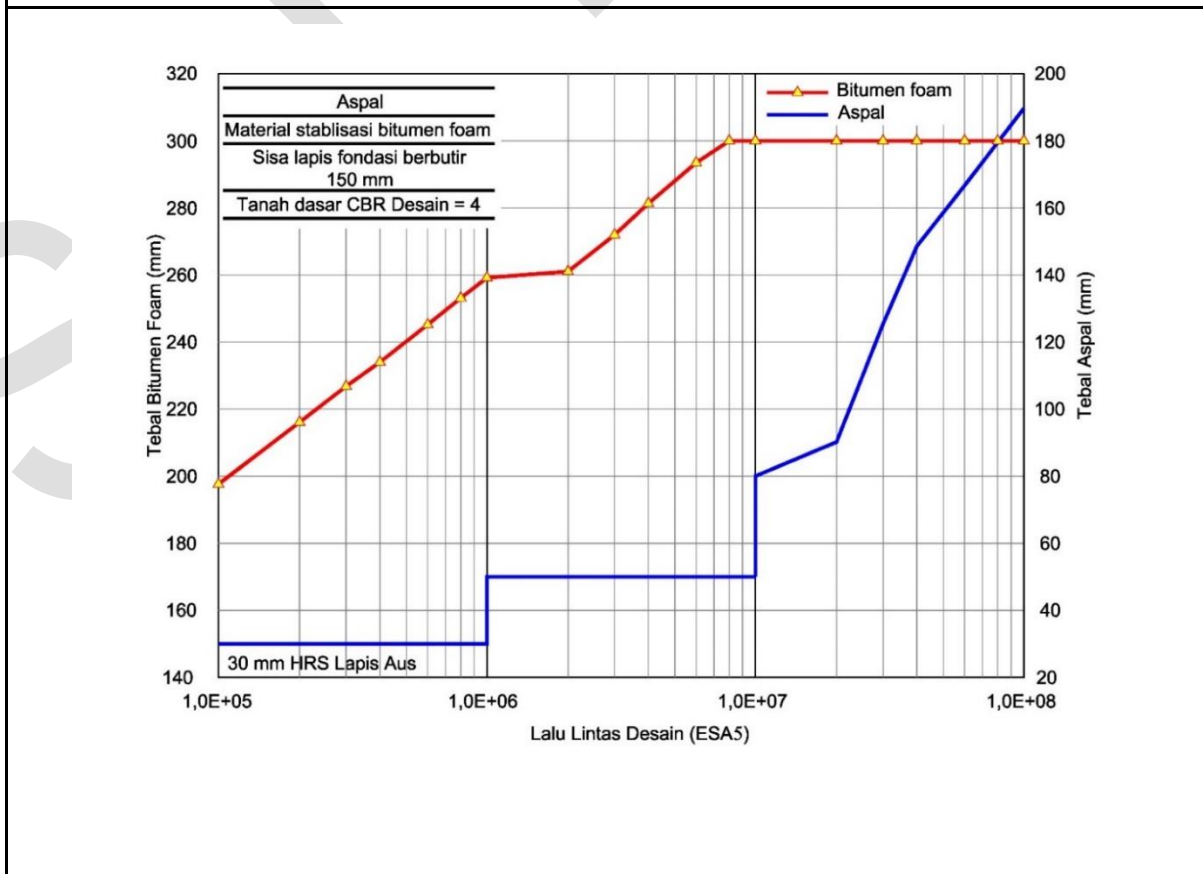
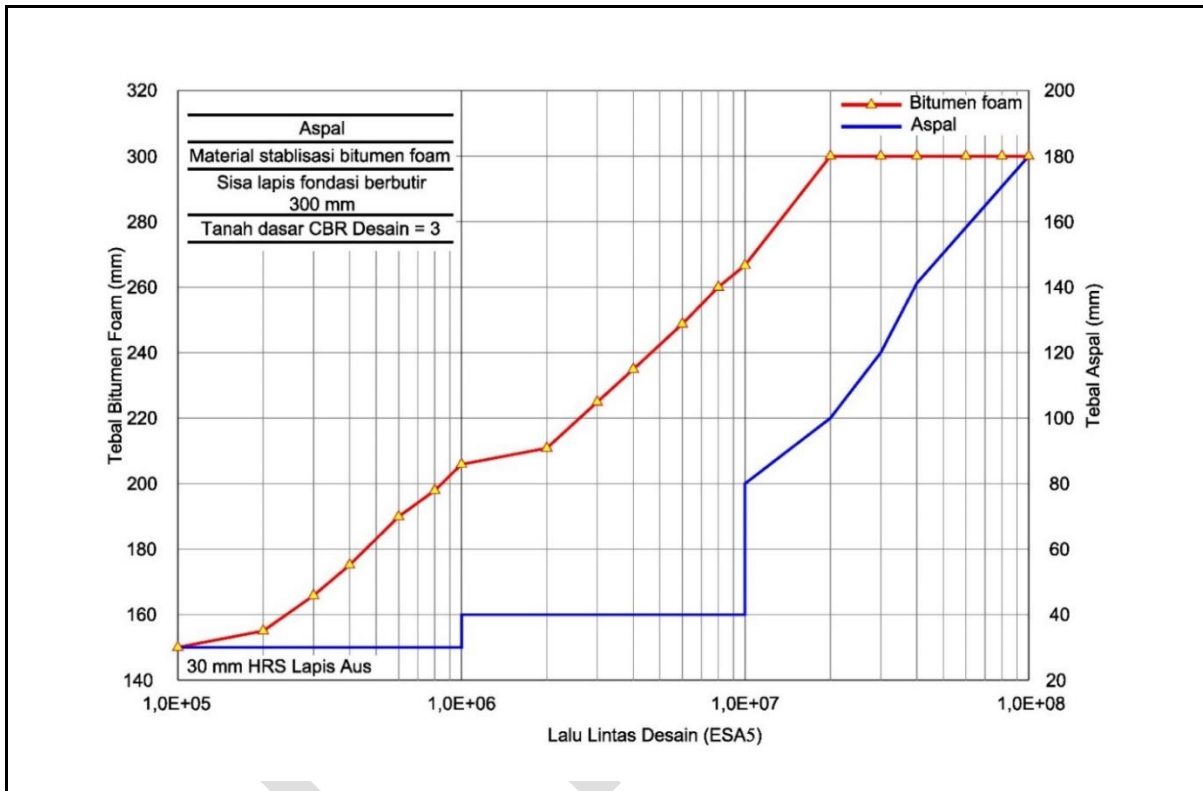
Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF Kaku	Faktual	3,4	0,3	0,9	-	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Normal	2,5	0,1	0,7	-	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

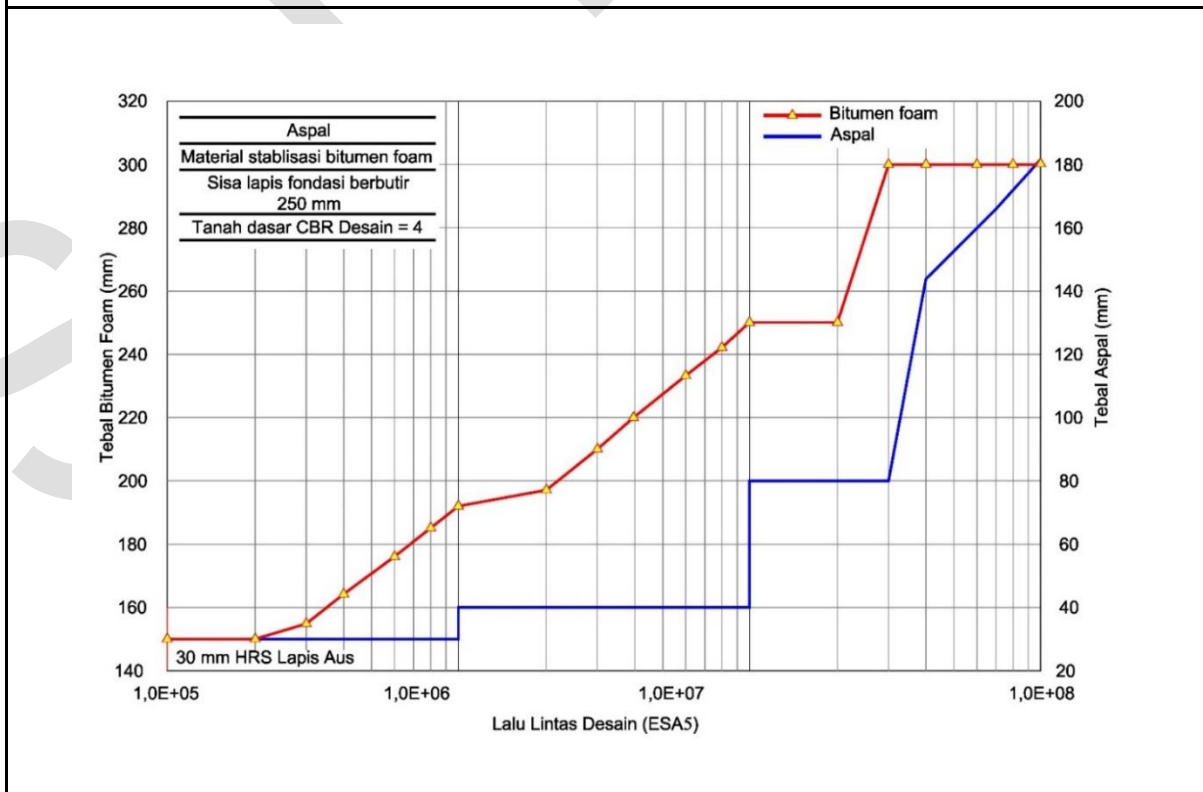
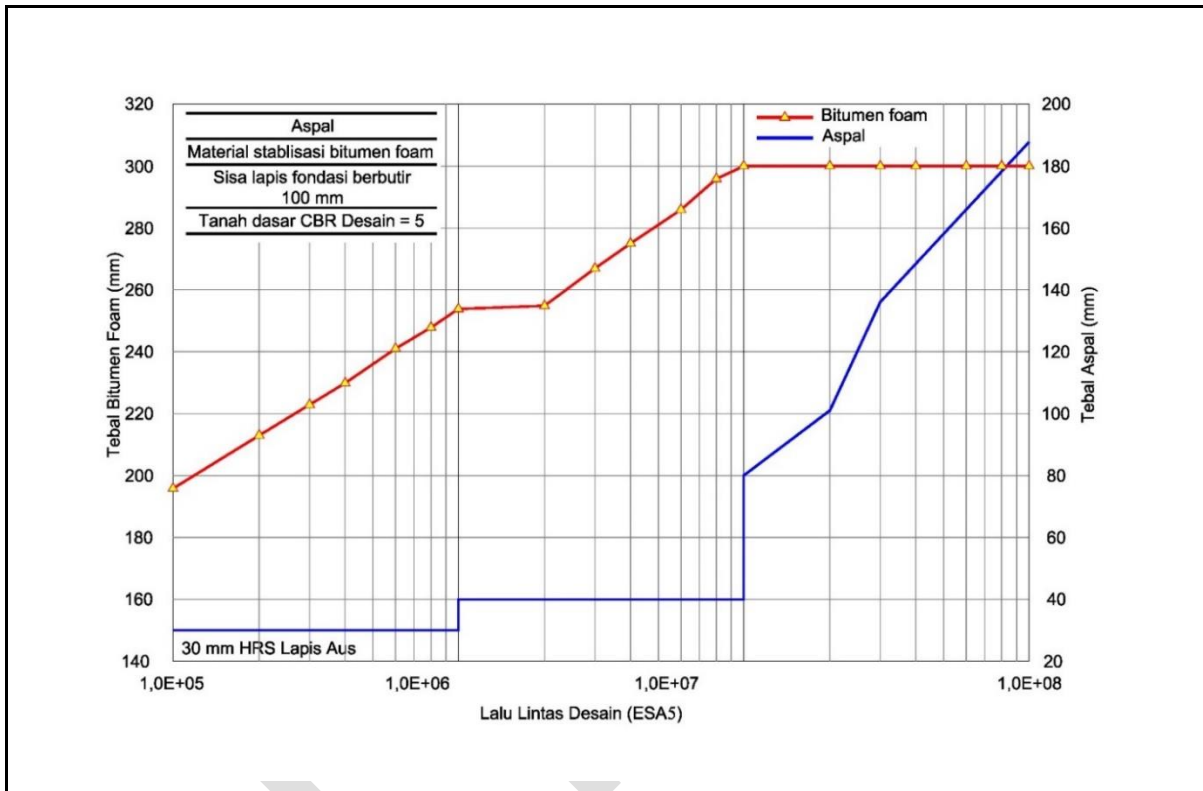
SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

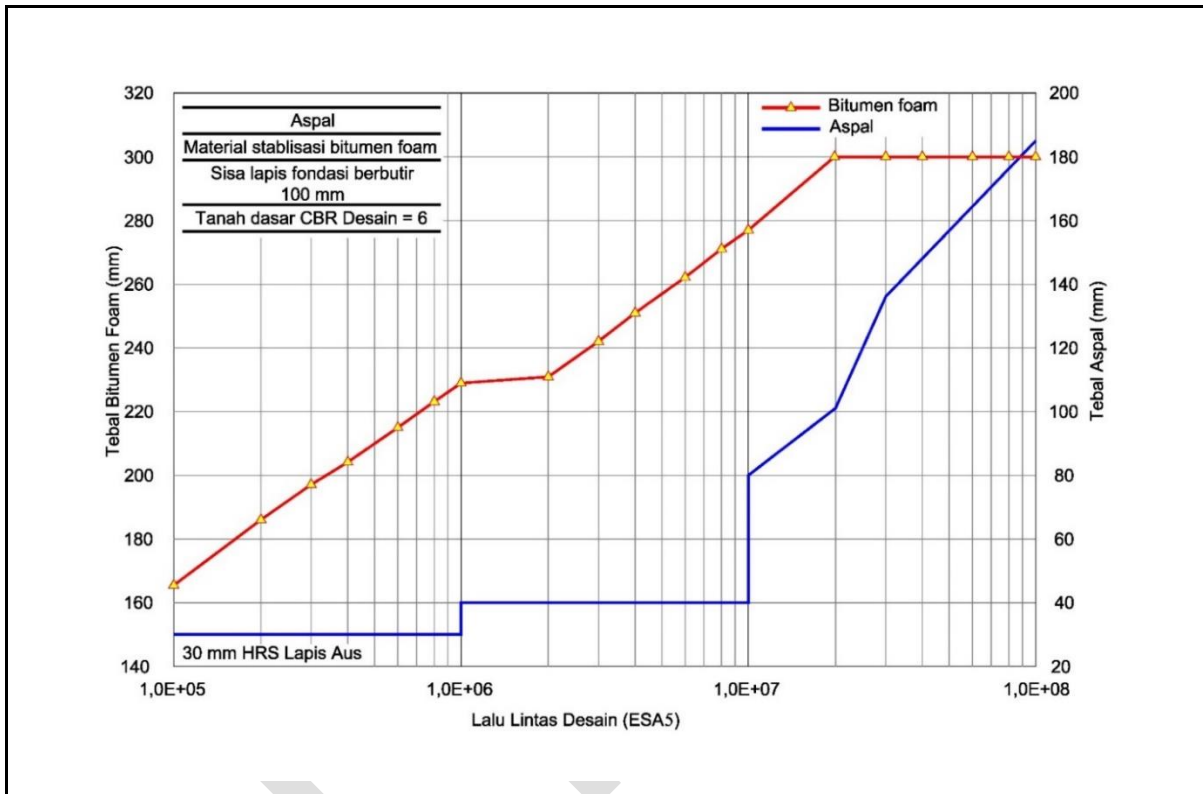
Lampiran J
Informasi
Bagan Desain Stabilisasi *Foam Bitumen* untuk Lalu Lintas
Desain Maksimum 100×10^6 ESA5







Handwritten initials/signature in a box.



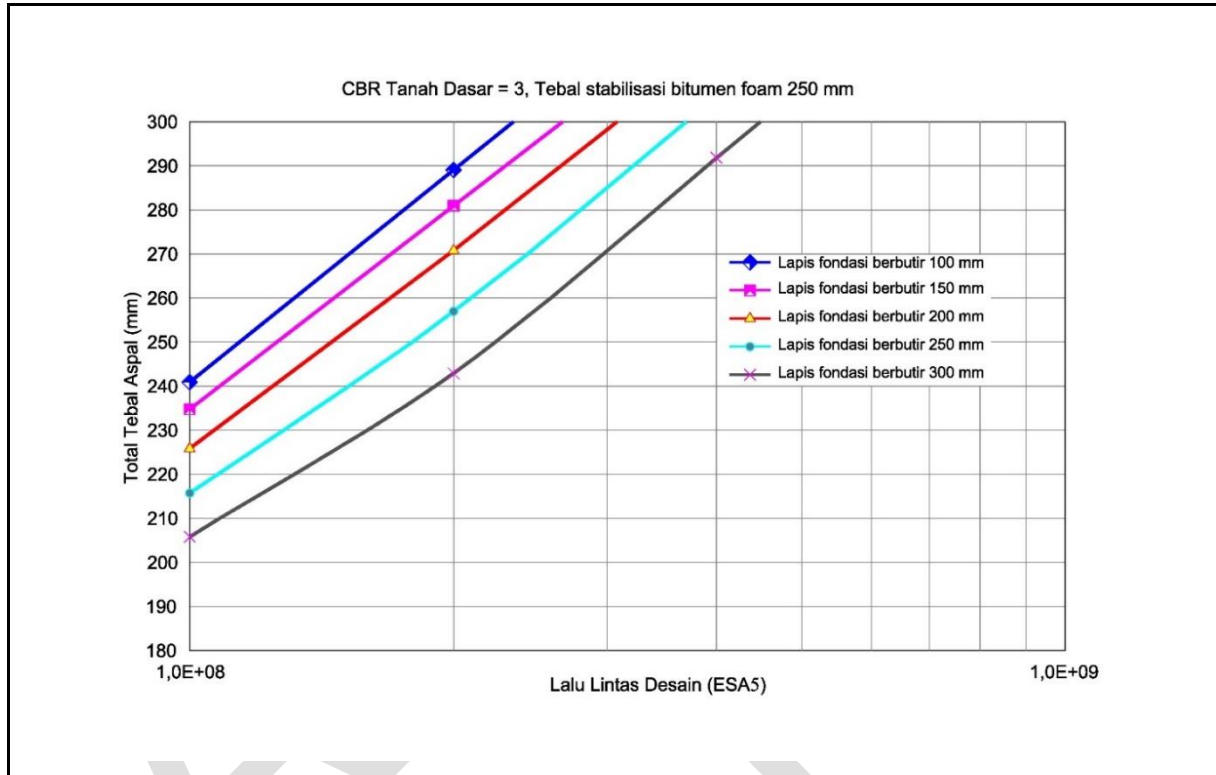
SALINAN

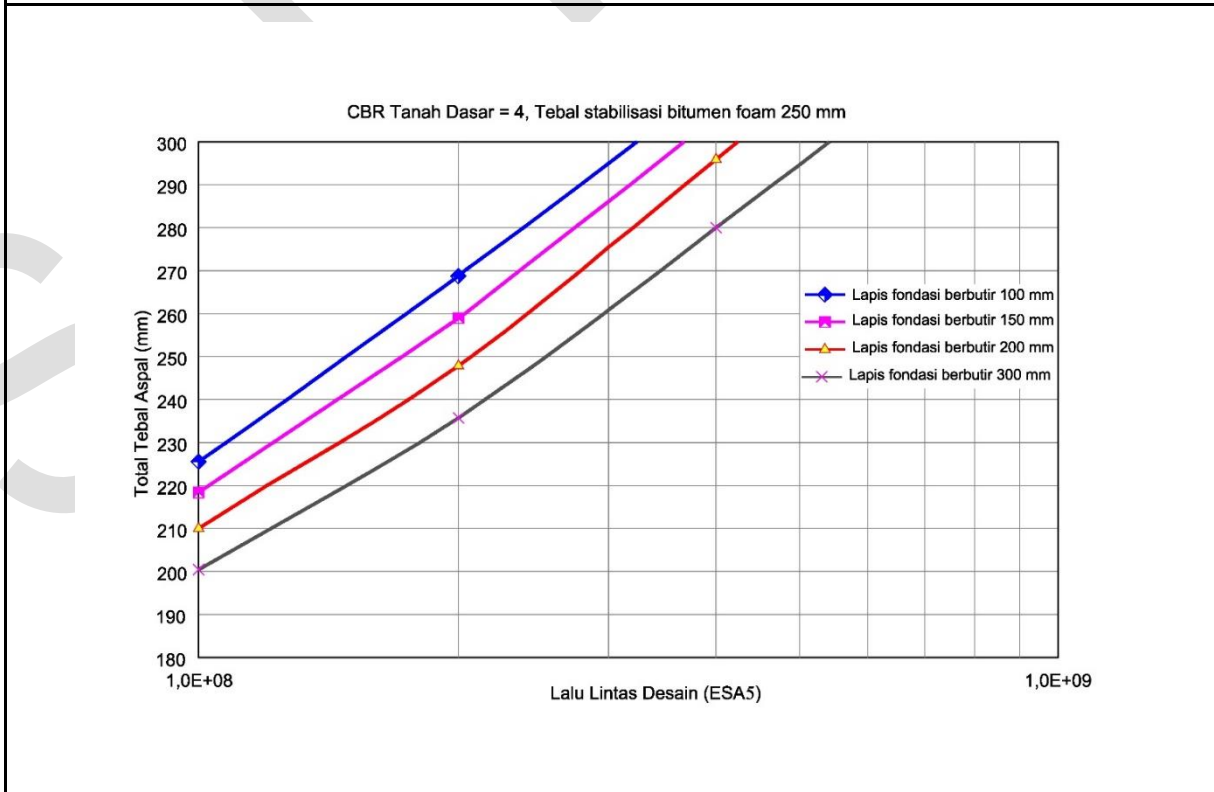
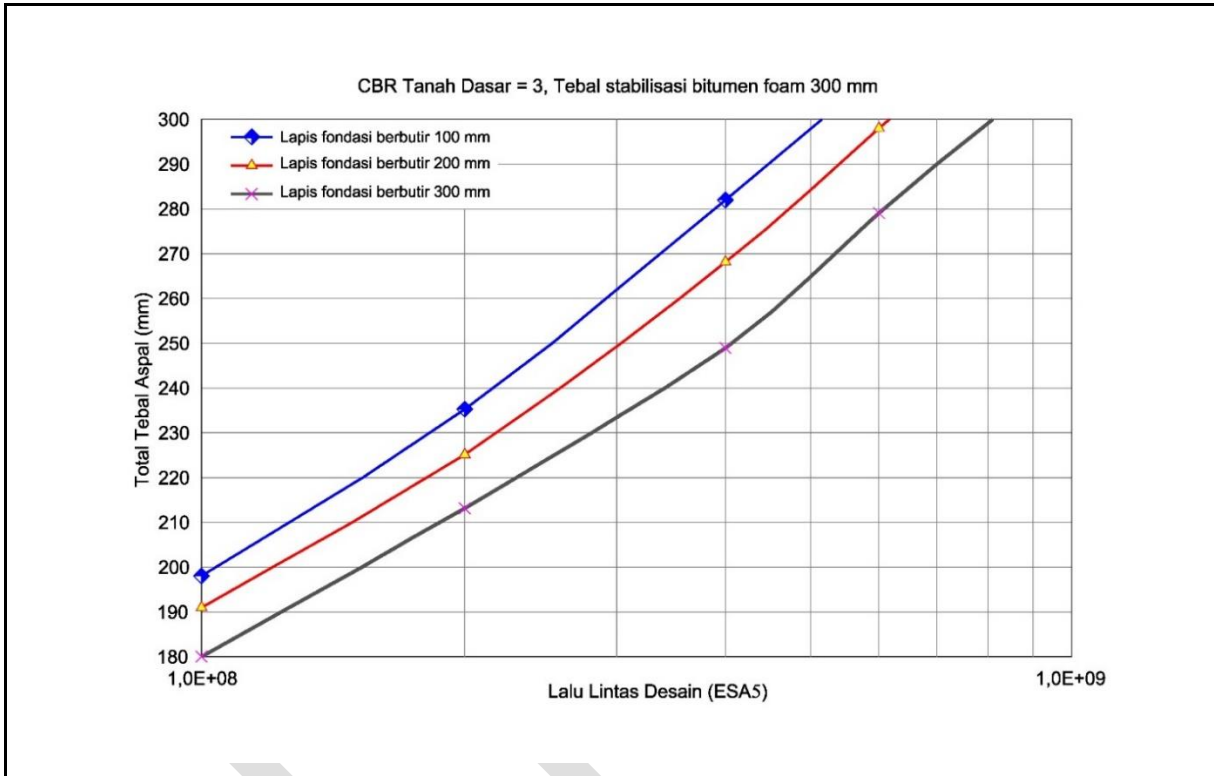
Handwritten initials/signature in a box.

SALINAN

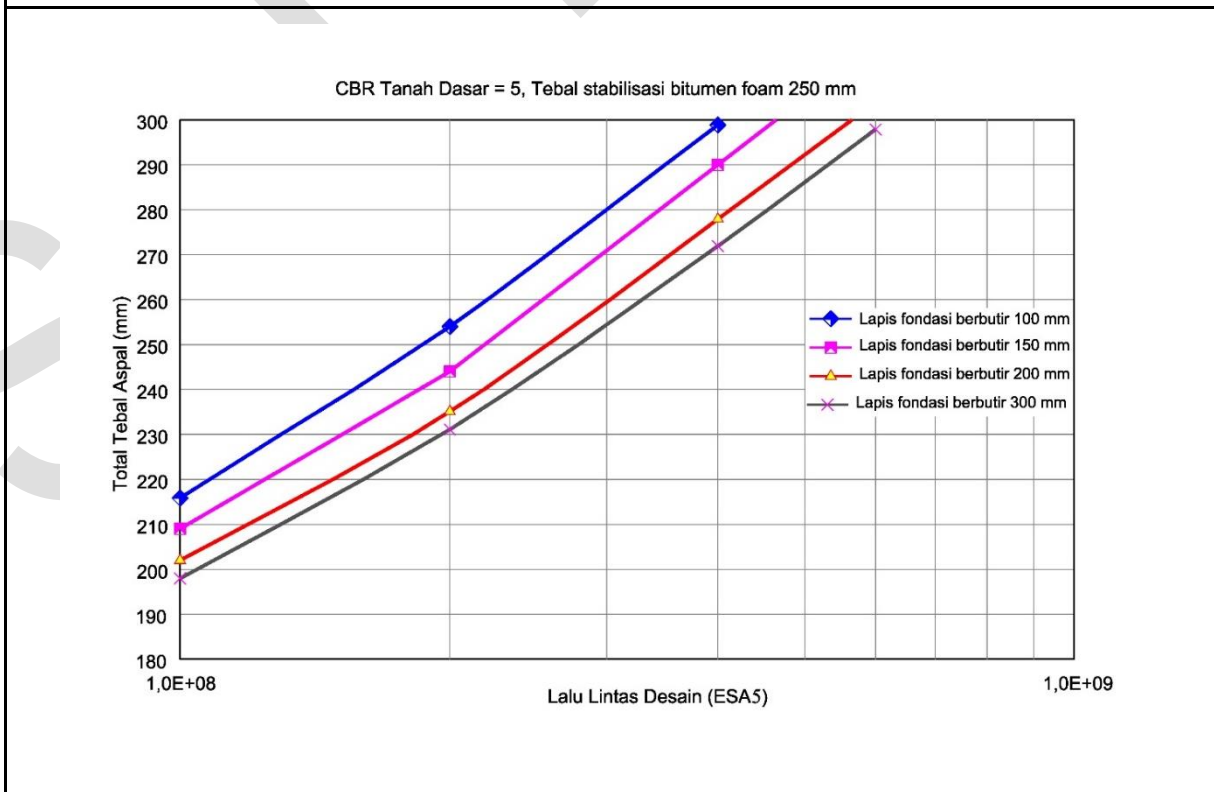
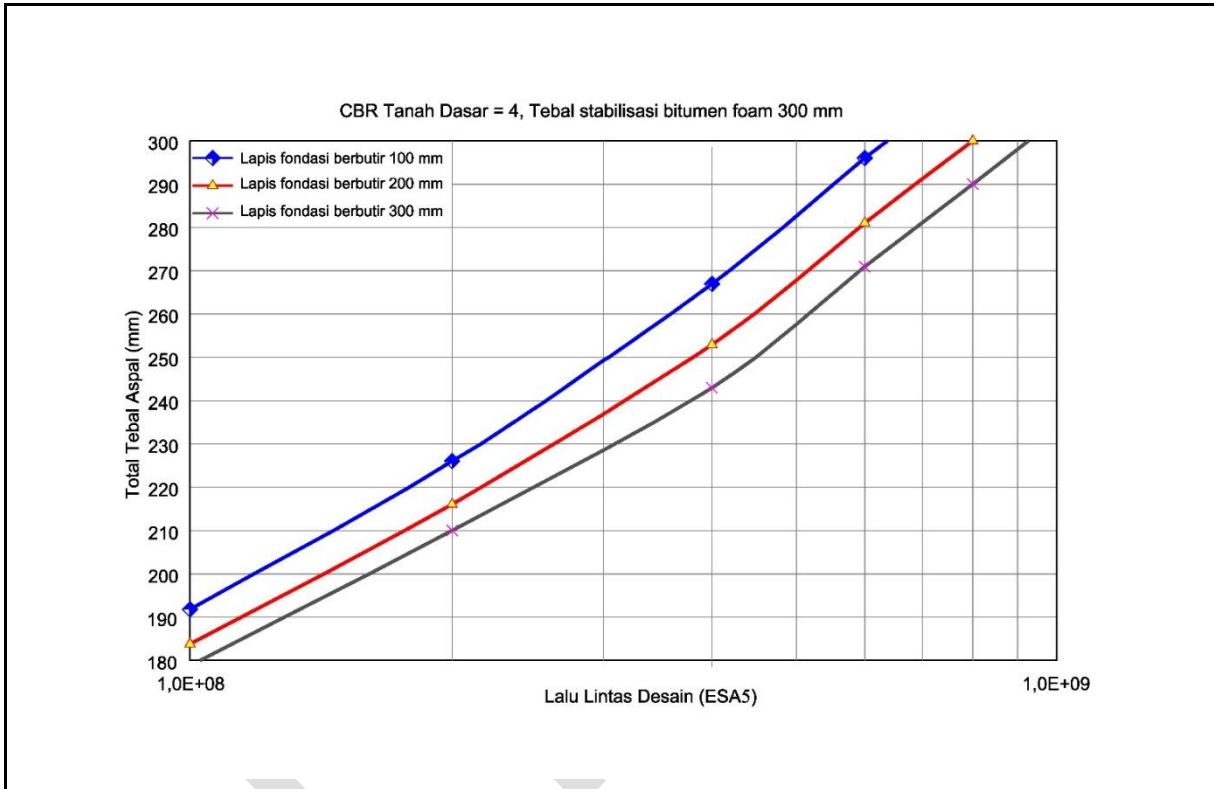
Halaman ini sengaja dikosongkan

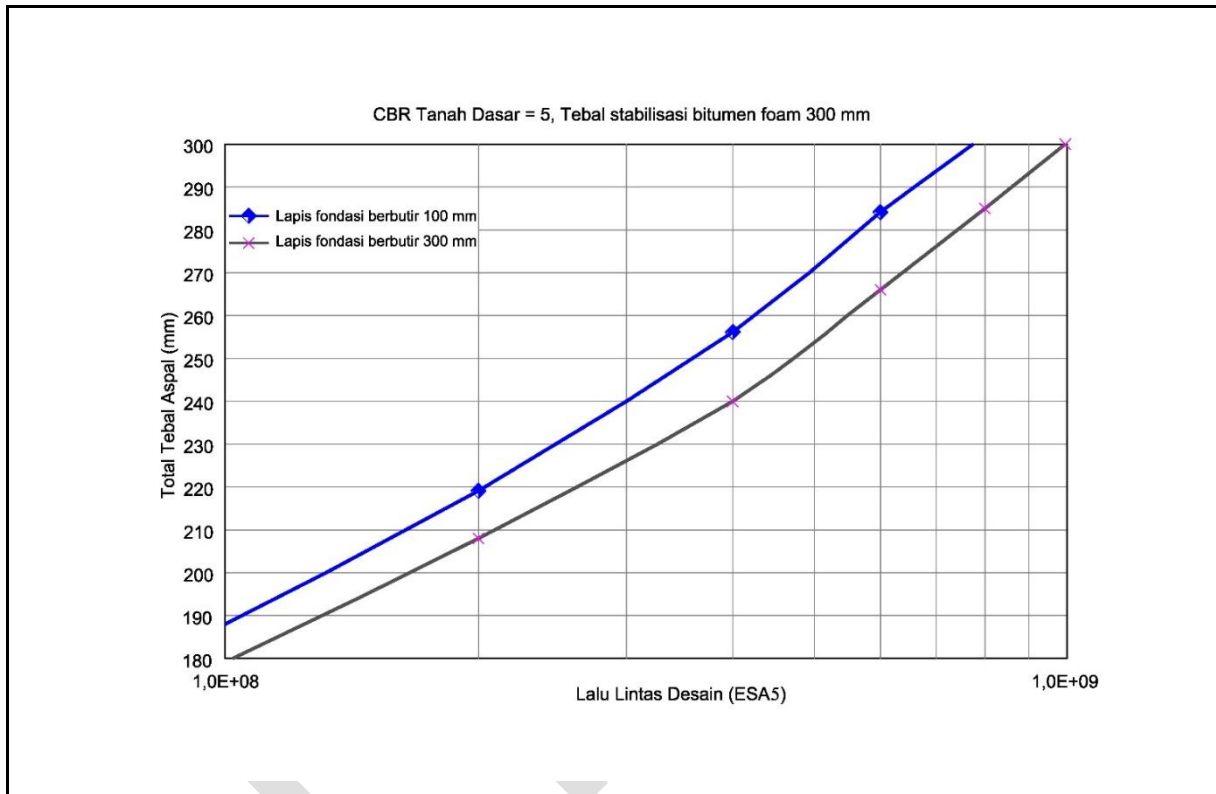
Lampiran K
Informatif
Bagan Desain Stabilisasi *Foam*, Lalu Lintas Desain $\geq 100 \times 10^6$ ESA5





Handwritten initials/signature in a box.





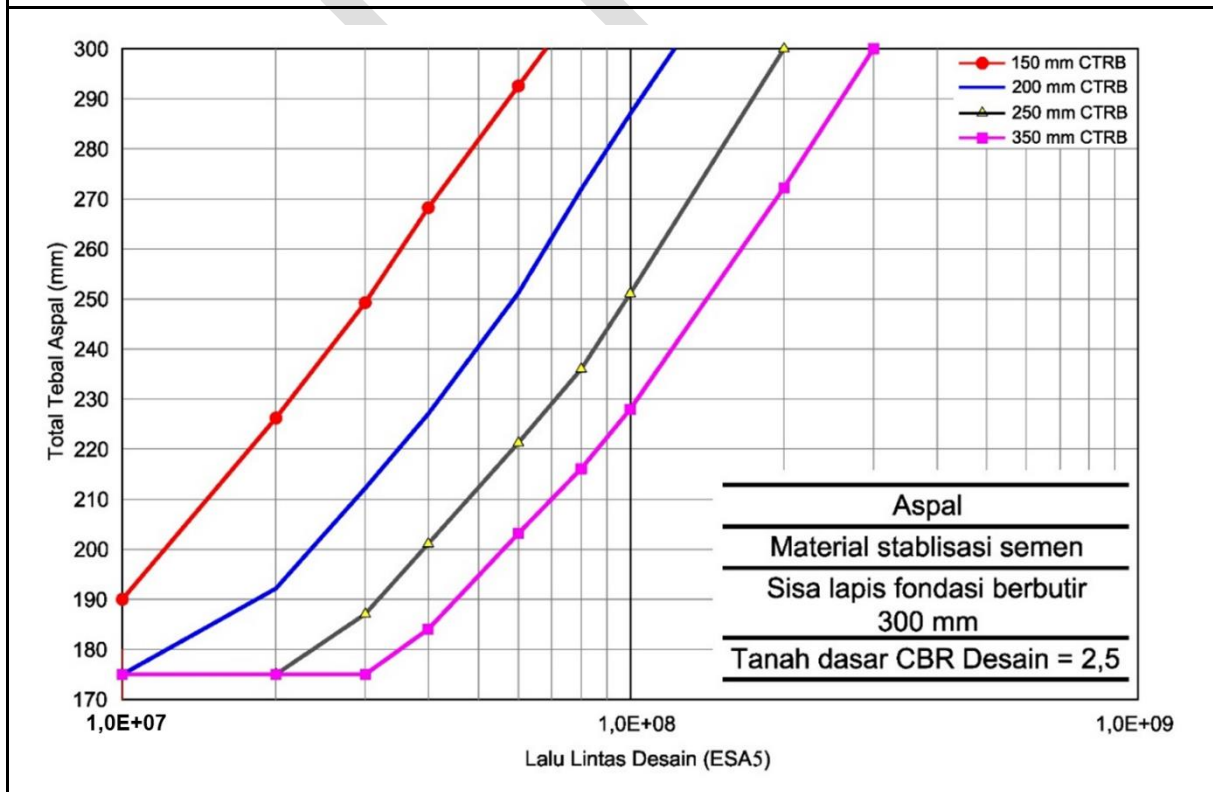
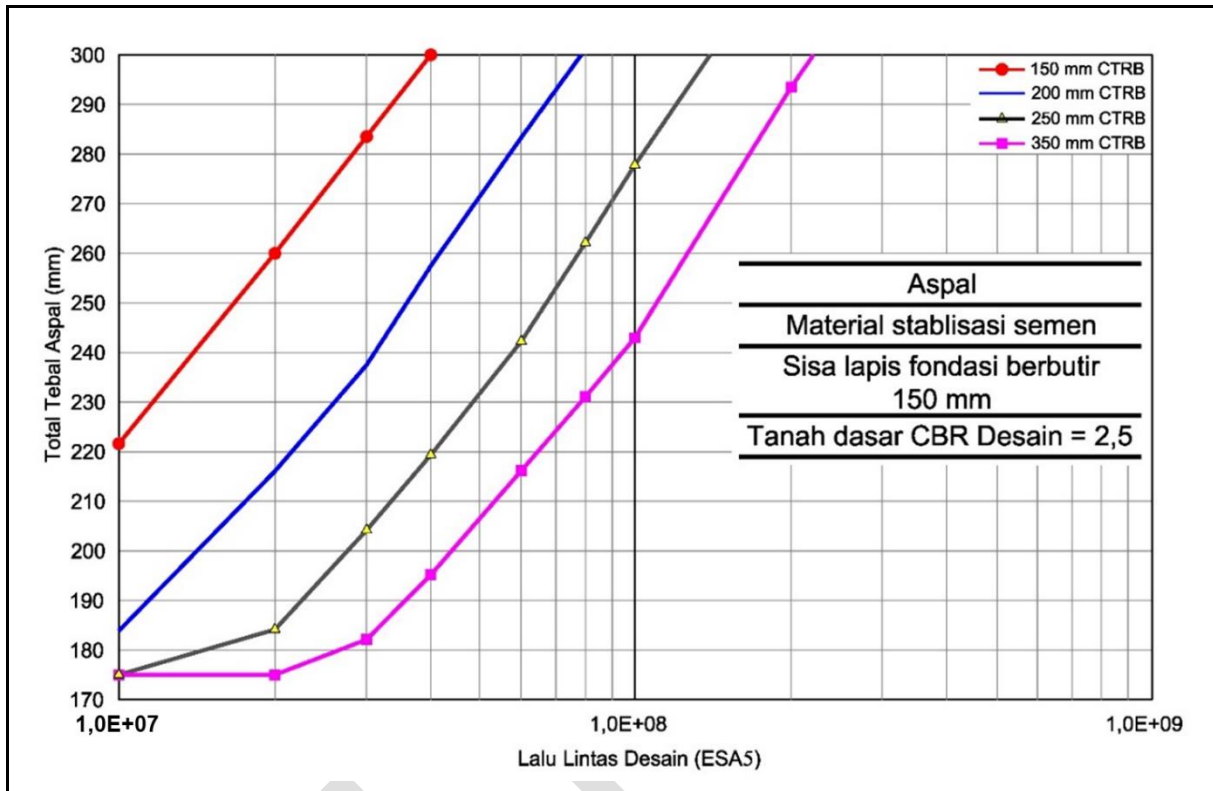
SALAM

Handwritten initials/signature in a box.

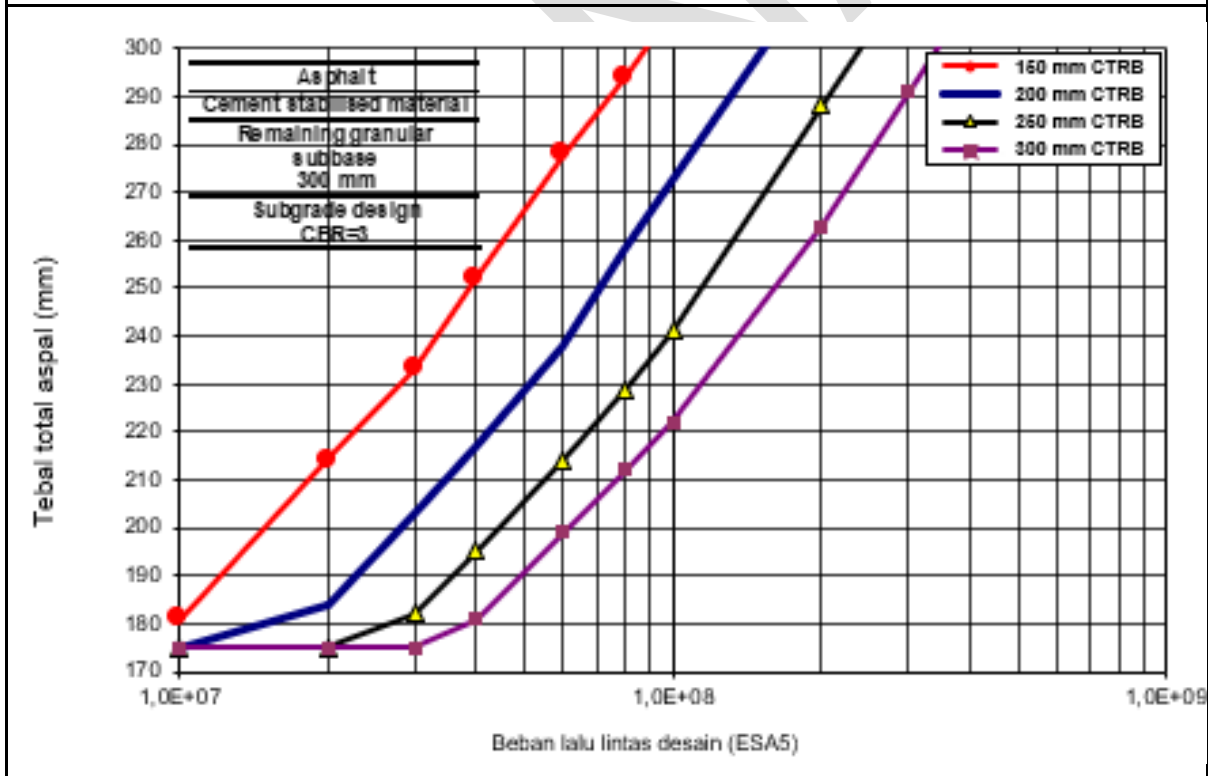
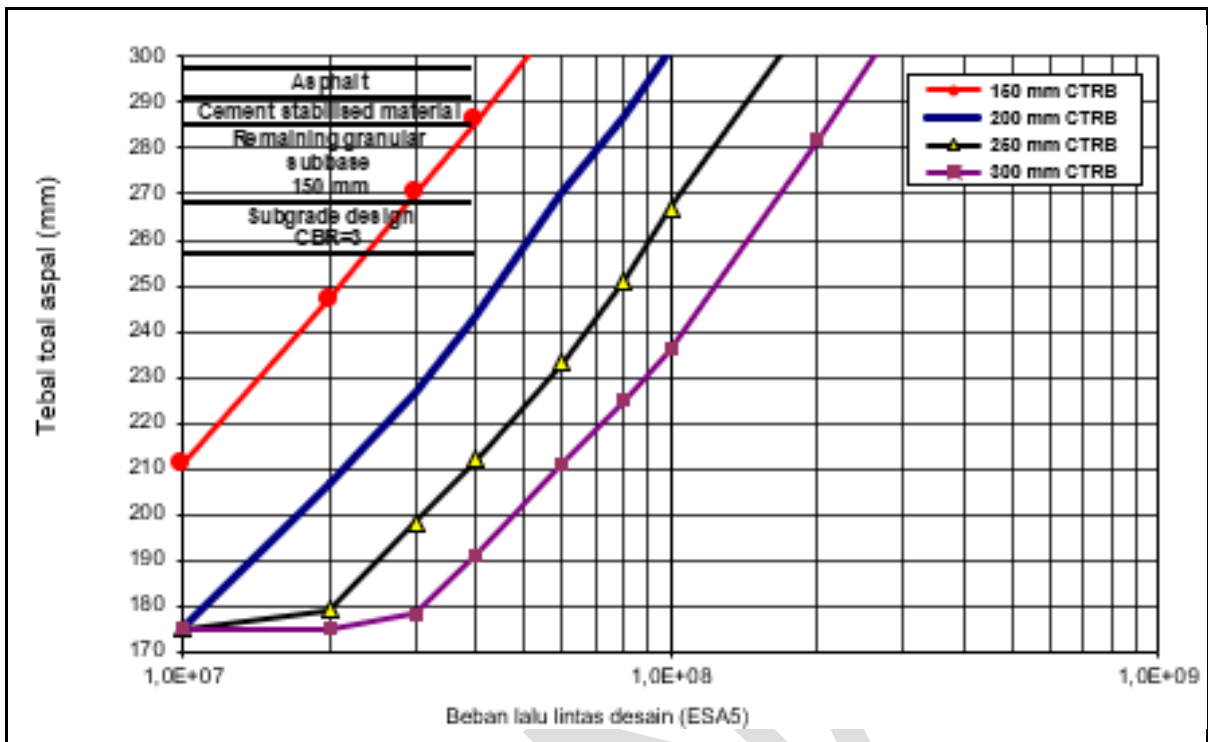
SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

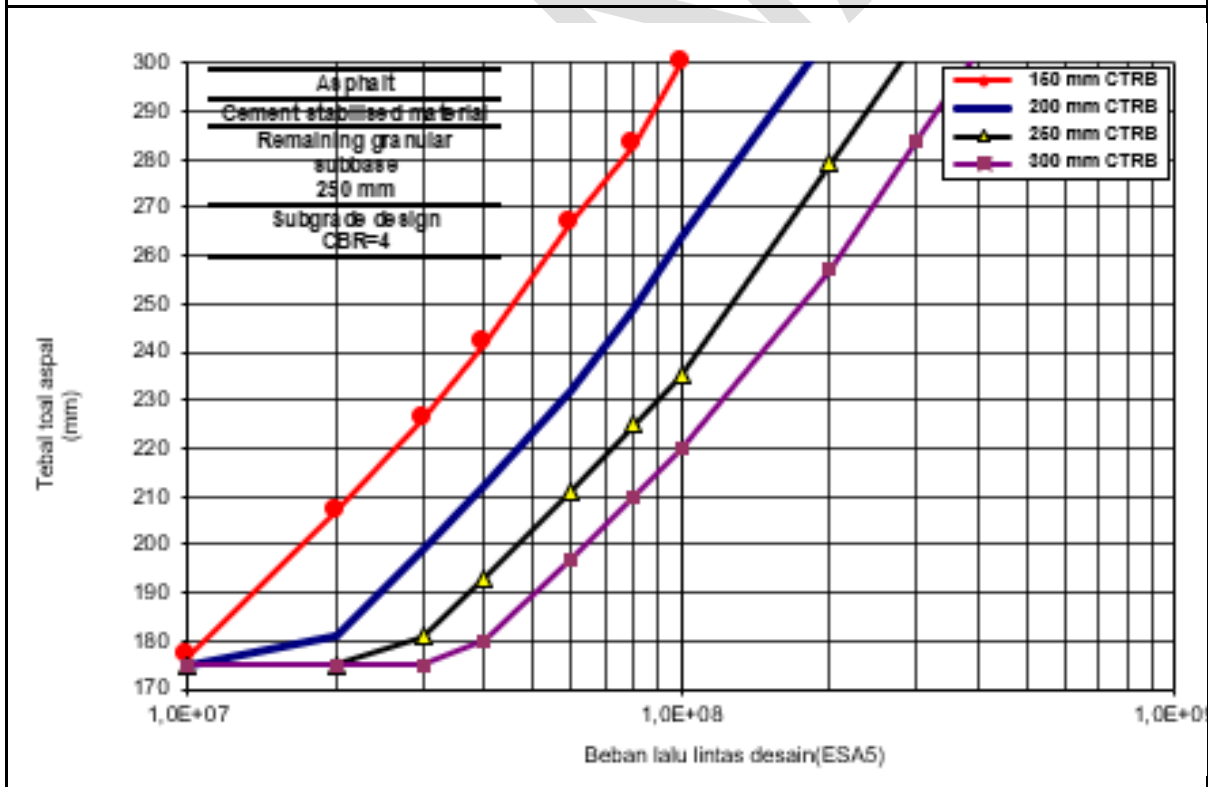
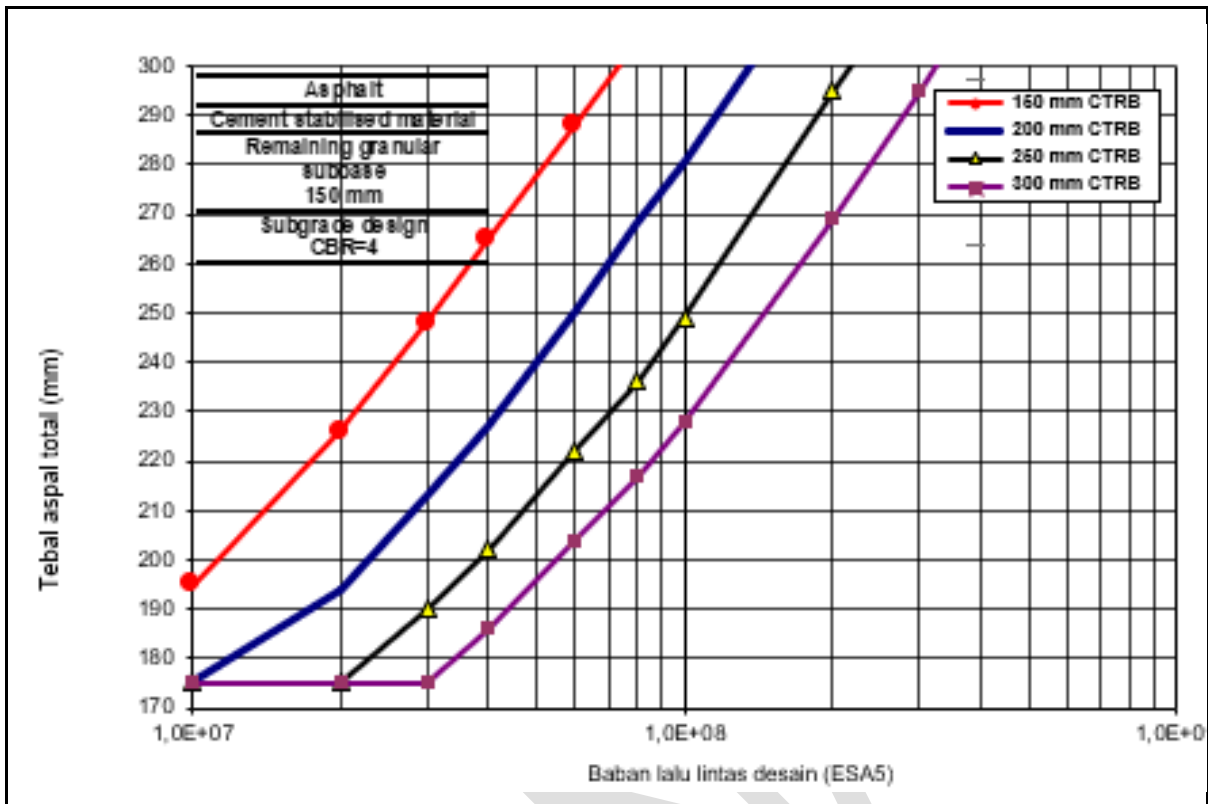
Lampiran L Informatif Bagan Desain Stabilisasi Semen



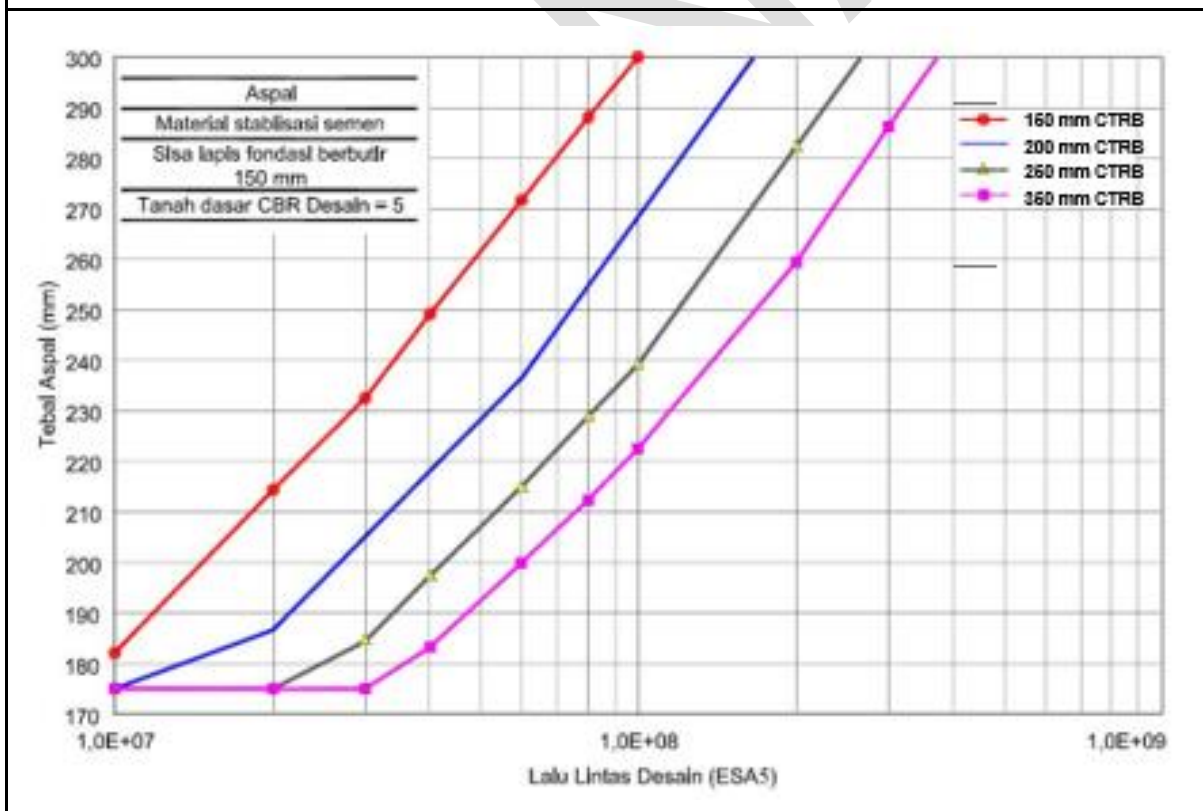
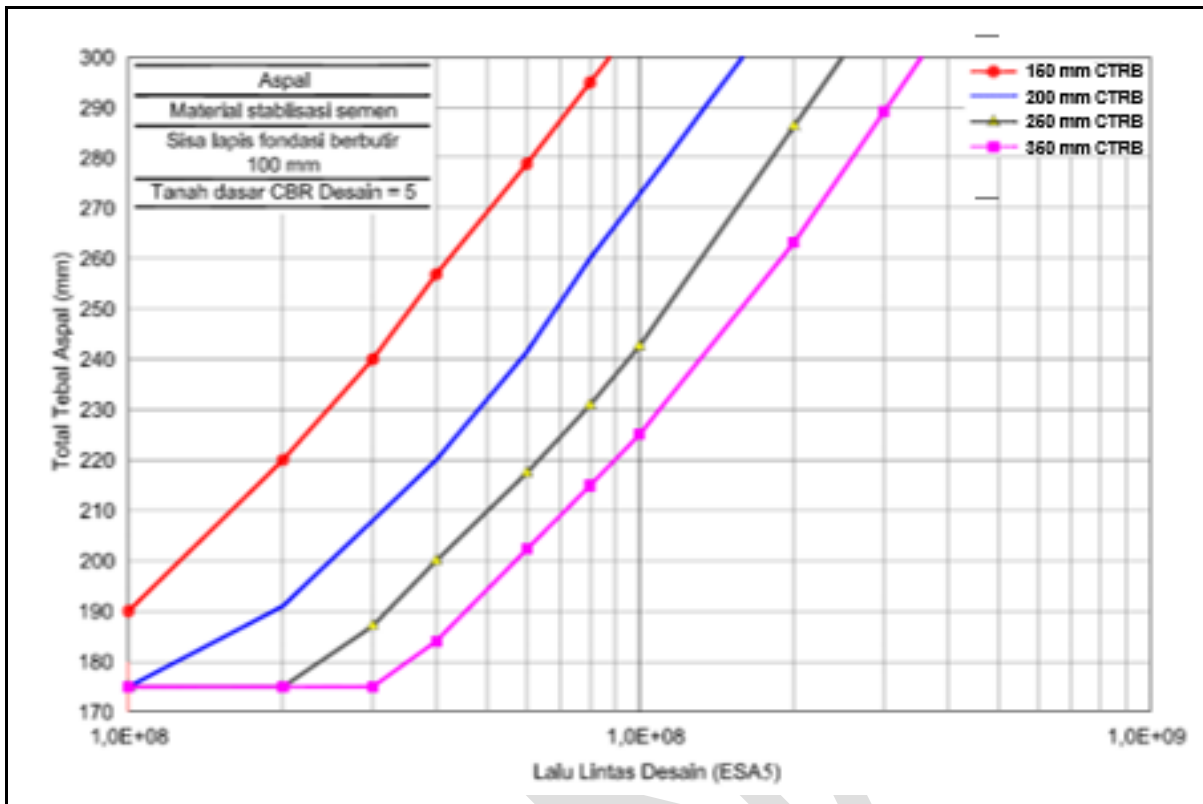
Handwritten initials/signature in a box.

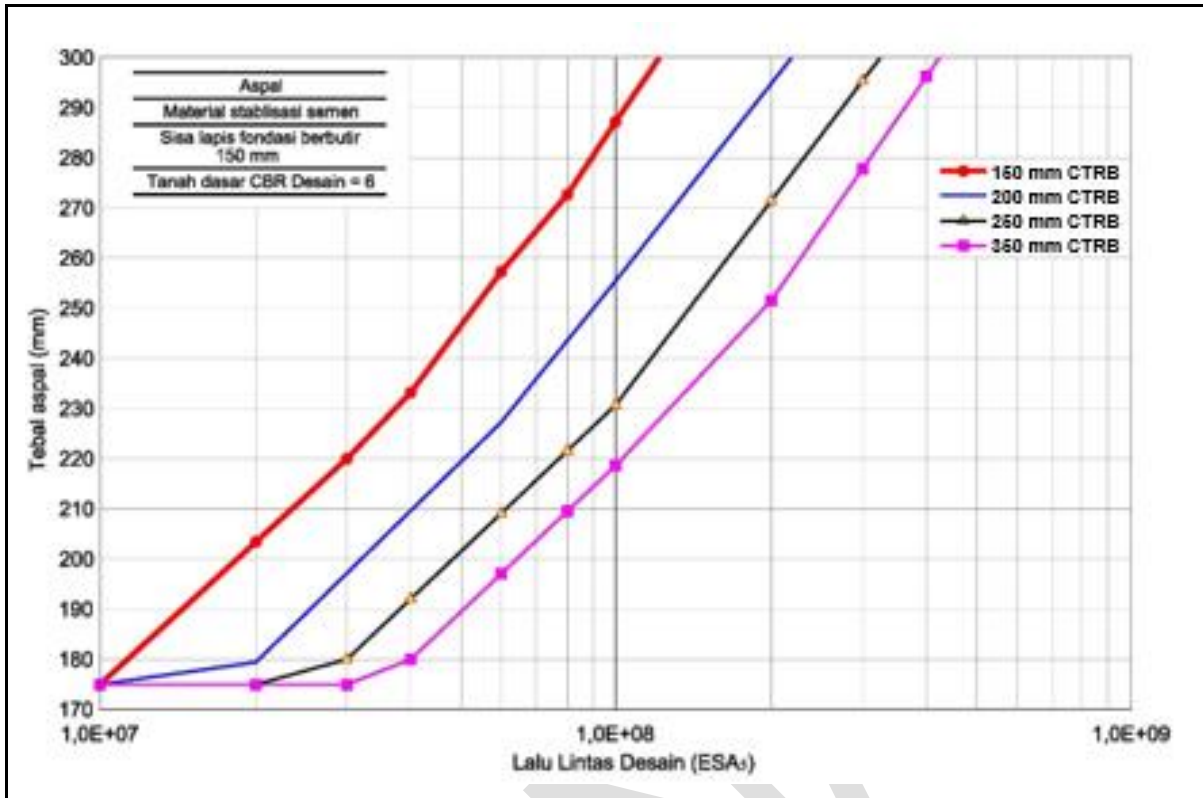


Handwritten initials/signature in a box.



Handwritten initials/signature.

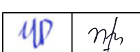




SALEMAN

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



Lampiran M
Informatif
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.

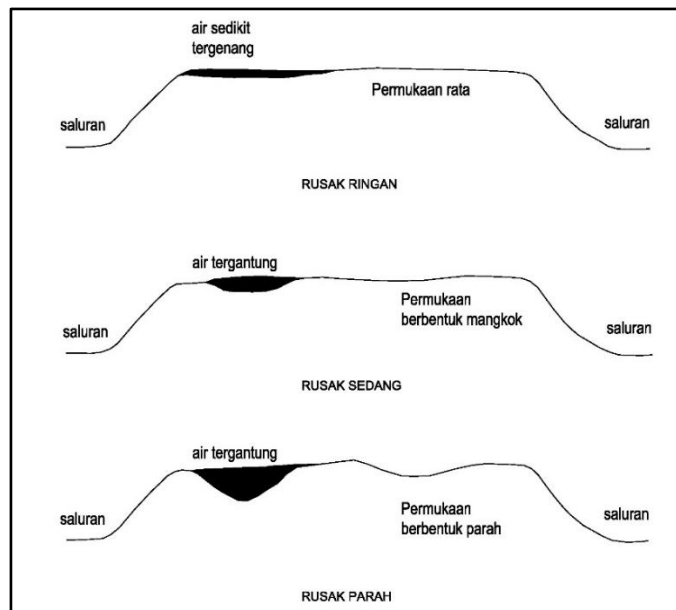
Ketebalan lapisan kerikil tergantung pada volume lalu lintas, kualitas kerikil yang digunakan, dan kekuatan tanah dasar. Secara struktur, jalan kerikil bekerja seperti perkerasan lentur. Kapasitas struktural dicapai dengan penyebaran beban. Prinsip dasar dari desain ketebalan jalan kerikil adalah untuk 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 1.000.000 ESA4.

1. KERUSAKAN UMUM PERKERASAN TANPA PENUTUP ASPAL

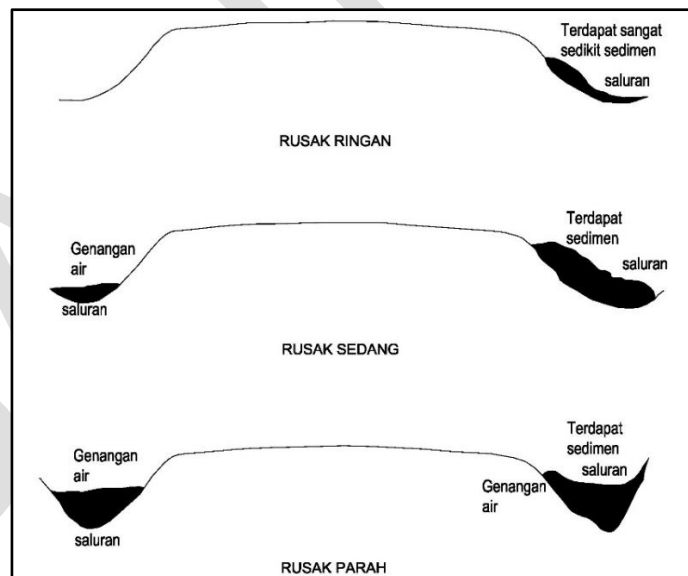
a. Penampang melintang yang tidak benar

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 M.1 Penampang melintang tidak benar

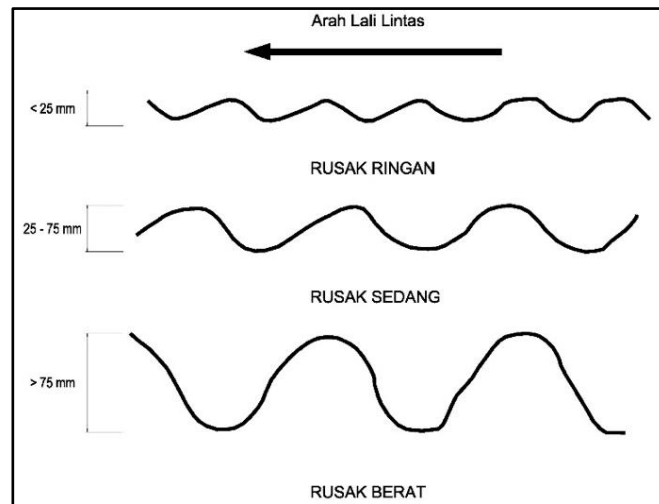
- b. Drainase samping jalan yang tidak memadai
 Drainase yang buruk menyebabkan kerusakan perkerasan dan erosi pada permukaan. Drainase menjadi masalah jika saluran dan gorong-gorong tidak dalam kondisi yang baik untuk mengarahkan dan mengalirkan air permukaan akibat bentuk dan pemeliharaan yang tidak benar.



Gambar M.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*,

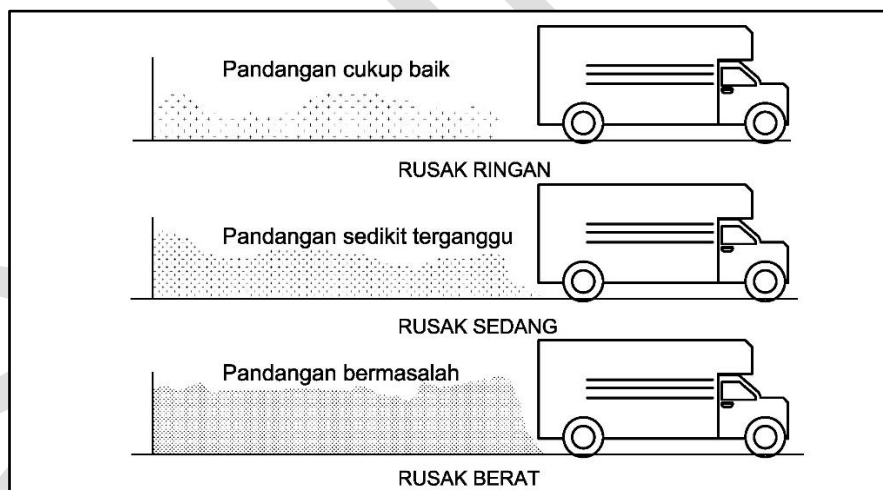
alat pemadat dan tangki air. Penanganannya umumnya dilakukan bersamaan dengan penanganan untuk mengoreksi permukaan dan memperbaiki drainase.



Gambar M.3 Keriting

d. Debu

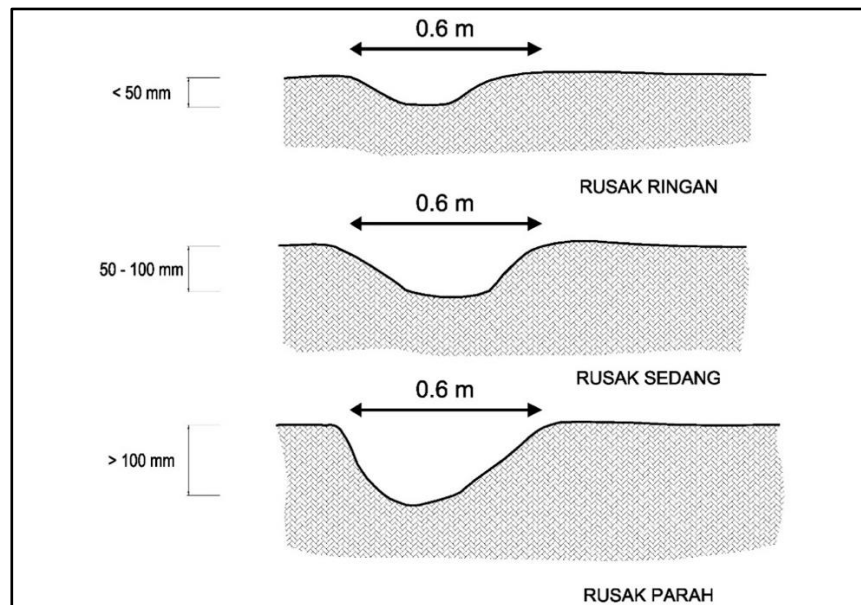
Pengausan jalan kerikil akibat lalu lintas akan melepaskan partikel besar dari tanah pengikat. Akibat lalu lintas, kepulan debu dapat membahayakan kendaraan yang melintas dan menyebabkan masalah lingkungan. Masalah ini dapat diperkecil dengan memilih kerikil untuk lapis permukaan. Jika volume lalu lintas mencukupi, lapis permukaan dengan laburan aspal.



Gambar M.4 Debu

e. Lubang (*Pothole*)

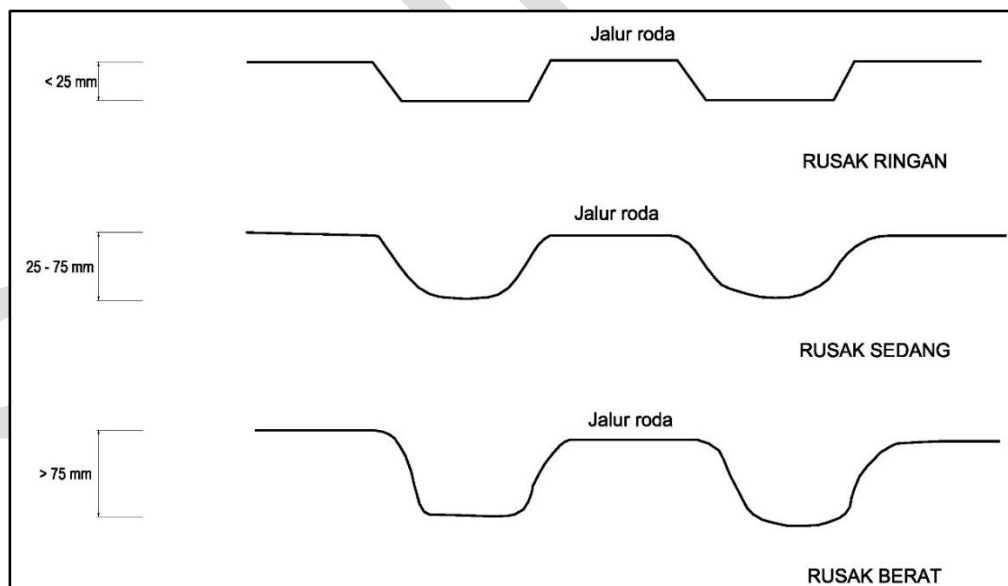
Lubang adalah lekukan berbentuk mangkok di permukaan jalan, dengan diameter kurang dari 1 m. Lubang terbentuk karena lalu lintas mengangkat bagian-bagian kecil permukaan jalan. Lubang membesar dengan cepat jika ada genangan air didalamnya. Kemudian jalan akan berlubang ketika material permukaan mulai lepas atau tanah dasar lemah.



Gambar M.5 Lubang

f. Alur

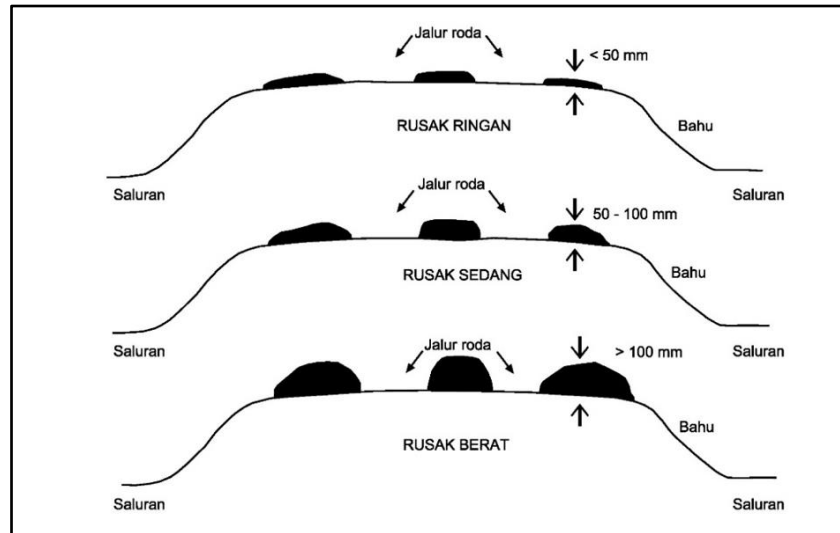
Alur adalah lekukan pada jalur roda sejajar sumbu jalan. Alur disebabkan oleh deformasi permanen pada lapisan jalan atau tanah dasar. Alur dapat terjadi karena repetisi lalu lintas kendaraan, terutama pada jalan di atas tanah lunak. Alur yang signifikan dapat merusak jalan.



Gambar M.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 M.7. Agregat lepas




2. PEMELIHARAAN PERKERASAN TANPA PENUTUP ASPAL (*UNSEALED*)



Pemicu dan teknik penanganan perkerasan tanpa penutup aspal dapat mengikuti ketentuan pada Tabel O.1. Kegiatan utama meliputi pembentukan kembali permukaan jalan, bahu dan saluran tepi, dengan perataan (*grading*) pengeriklan dan pemadatan kembali permukaan jalan.


Tabel M.1. Pemeliharaan perkerasan tanpa penutup aspal

Kondisi Perkerasan	Nilai Kondisi	Kategori Penanganan	Teknik Penanganan Tipikal
Sangat Baik	100 90	Tidak Membutuhkan penanganan	Membutuhkan penanganan kecil. Penggarukan/penggemburan rutin (<i>blading</i>).
Baik	80 70	Pemeliharaan Rutin/Preventif	Penggarukan/penggemburan rutin (<i>blading</i>), 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. 	

Nilai Kondisi	Kerusakan yang tampak dan Kondisi Jalan secara Keseluruhan	Gambar
	<ul style="list-style-type: none"> • Lubang kecil mulai muncul (kedalaman < 50 mm). • Terdapat agregat lepas (kedalaman 50 mm). 	
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. 	

Nilai Kondisi	Kerusakan yang tampak dan Kondisi Jalan secara Keseluruhan	Gambar
	<ul style="list-style-type: none"> • 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). • Banyak area (> 25%) dengan sedikit atau tanpa agregat. 	

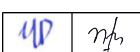
Untuk jalan kerikil, kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan per minggu, setiap beberapa minggu, atau setiap beberapa bulan. Berikut frekuensi pemeliharaan jalan kerikil yang disarankan:

Tabel M.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

SALINAN

Halaman ini sengaja dikosongkan



Lampiran N
Informatif
Penyusunan Manual Desain Perkerasan 2013-2020

Tim Review & Penyusun Suplemen MDP 2017

Tim Reviu:

- Ir. Beni Fatriati H.M.R., M.T.
- Dr. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
- Neni Kusnianti, S.T., M.T.
- Rulia Kusdiwati, S.T., M.T.
- Agnes Intan, S.T., M.T.
- Erna Wijayanti, S.T., M.Sc.
- Ir. Sudarmadji Loeno, M.Eng.Sc.
- Ir. Purnomo
- Dr. Geoff Jameson (ARRB)
- Dr. Tommy Nantung (Indiana DOT)
- Edward Malcom James (*Independent Consultant - Sydney*)
- Ir. Djunaedi Kosasih, M.Sc., Ph.D.
- Prof. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.
- Dr. Ir. Seigfried, M.Sc.
- Ir. Nono, M.Eng.Sc.
- Edwin Nirwan, S.T.,M.T.
- Dzakiyyul Fahmi, S.T
- Ir. Mesra Eza (KIAT)
- M. Fahmi Cahyono, S.T., M.Sc. (KIAT)

Kontributor

- Ir. Agus Wardono : Analisa struktur perkerasan dengan CIRCLY
- Nasher Andi Ariasta, S.T.,M.T. : Penyediaan data WIM dari 19 provinsi
- Dr. Igs. Agung Wibowo : Pengembangan “VDF Generator” *software* penganalis data WIM

Penyusun

KIAT *Improving Project Delivery Activity*:

- Kemas Ahmad Zamhari
- Vince Crosdale

Narasumber Direktorat Jenderal Bina Marga:

- Ir. Agus Wardono

Tim Penyusun MDP (Revisi 2017)

- 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, S.T., M.T.
- Ir. Syahmansyah, M.Eng.Sc.
- Ir. Fransisco Tambajong
- Soendiarto, S.T., M.T.
- Erick Aldin Singarimbun, S.T., M.T.
- Julia Augustine, S.T., M.T
- Erna Wijayanti, S.T., M.T.
- Lambang Puspito Jati Y., S.T., M.Sc.
- Eko Priyatmoko, S.T., M.T.
- Waluyo Fitriansyah, S.T.
- Ir. Purnomo
- Ir. Yayan Suryana, M.Eng.Sc.
- Ir. Rahmat Agus, M.M.
- 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 Reviu MDP 2013

Tim Reviu:

- Dr.Ir.Hedy Rahadian, M.Sc.
- Ir. Effendi Radia, M.T.
- Julia Augustine, S.T., M.T.
- Ir. Djunaedi Kosasih, MSc, Ph.D.
- Prof.Dr.Ir. Bambang Sugeng, DEA.
- Dr. Ir. Seigfried, M.Sc.
- Ir. Soehartono Irawan, M..Sc
- Edward James

Indii 209.01 Authors

- Edward James
- Geoffrey Jameson

SALINAN