

Lampiran Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga
Nomor : 22.2 /KPTS/Db/2012
Tanggal : 30 Maret 2012

MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

Bagian I : Struktur Perkerasan Baru

Draft 6 Juni 2012

DAFTAR ISI

| | | |
|------------|--|----|
| 1. | PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 | Ruang Lingkup | 1 |
| 1.2 | Kebijakan Desain..... | 1 |
| 1.3 | Jenis Struktur Perkerasan | 2 |
| 1.3 | Acuan | 4 |
| 1.4 | Istilah dan Definisi | 5 |
| 2. | UMUR RENCANA | 6 |
| 3. | LALU LINTAS | 7 |
| 3.1 | Analisis Volume Lalu Lintas | 7 |
| 3.2 | Jenis Kendaraan..... | 7 |
| 3.3 | Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas | 7 |
| 3.4 | Faktor Distribusi Lajur dan Kapasitas Lajur..... | 8 |
| 3.5 | Perkiraan Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor) | 8 |
| 3.6 | Pengendalian Beban Sumbu | 9 |
| 3.7 | Beban Sumbu Standar | 9 |
| 3.8 | Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan niaga | 9 |
| 3.9 | Beban Sumbu Standar Kumulatif..... | 9 |
| 4. | TRAFFIC MULTIPLIER – LAPISAN ASPAL | 11 |
| 5. | ZONA IKLIM | 12 |
| 6. | MODULUS BAHAN | 13 |
| 7. | DRAINASE BAWAH PERMUKAAN | 14 |
| 8. | DESAIN PONDASI JALAN | 15 |
| 8.1 | Pendekatan Umum..... | 17 |
| 8.2 | Umur Rencana Pondasi jalan | 17 |
| 8.3 | Outline Prosedur Desain Pondasi jalan | 18 |
| 8.4 | Prosedur Desain Pondasi jalan..... | 18 |
| 8.5 | Bahan untuk Perbaikan Tanah Dasar..... | 20 |
| 8.6 | Survei Lapangan dan Pengujian..... | 20 |
| 8.7 | Karakteristik Daya Dukung | 20 |
| 8.8 | Penentuan Segmen Seragam..... | 21 |
| 8.10 | Desain Lapis penopang (Capping Layer)..... | 25 |
| 8.11 | Penanganan Daerah Gambut..... | 25 |
| 8.12 | Waktu Preload pada Tanah Lunak..... | 25 |
| 8.13 | Waktu Preload untuk Tanah Gambut..... | 26 |
| 8.14 | Formasi Tanah Dasar di Atas Muka Air Tinggi..... | 26 |
| 9. | PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN | 26 |
| 9.1 | Pelebaran Perkerasan..... | 26 |
| 9.2 | Sumber Daya Lokal dan Ukuran Pekerjaan | 27 |
| 9.3 | Cement Treated Base (CTB) | 27 |
| 9.4 | Chart Struktur Perkerasan | 28 |
| 9.5 | Perkerasan Kaku | 28 |
| 10. | MASALAH PELAKSANAAN DAN KINERJA PERKERASAN | 32 |
| 10.1 | Ketebalan Lapis Perkerasan..... | 32 |
| 10.2 | Daya Dukung Tepi Perkerasan..... | 32 |
| 10.3 | Konstruksi Kotak..... | 33 |
| 10.4 | Pengaruh Musim Hujan | 34 |
| 10.5 | Pelaksanaan dengan Lalu Lintas Tetap Melintas | 34 |
| 10.6 | Lokasi Sambungan..... | 35 |
| 10.7 | Kemampuan Kontraktor | 35 |
| 11. | PROSEDUR DESAIN PERKERASAN LENTUR | 35 |
| 12. | PROSEDUR DESAIN PERKERASAN KAKU | 35 |

| | |
|---|----|
| 13. MUTU KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU DAN DETAIL DESAIN UNTUK MENCEGAH KERUSAKAN | 36 |
| 13.1 Pemilihan Perkerasan Kaku..... | 36 |
| 13.2 Kegagalan Perkerasan Kaku | 36 |
| 13.3 Standar Mutu Konstruksi..... | 37 |
| 13.4 Desain Perkerasan Kaku Untuk Mencegah Kegagalan..... | 38 |
| 13.5 Pertimbangan Desain Lapis Pondasi Bawah LMC..... | 42 |
| 14. PERENCANAAN BAHU JALAN | 42 |
| | |
| CHART DESAIN 1 PERKIRAAN NILAI CBR TANAH DASAR..... | 23 |
| CHART DESAIN 2 SOLUSI DESAIN PONDASI JALAN MINIMUM ⁷ | 24 |
| CHART DESAIN 3 DESAIN PERKERASAN LENTUR..... | 29 |
| CHART DESAIN 4 PERKERASAN KAKU DENGAN DOWEL,SAMBUNGAN KASUS OVERLOAD INDONESIA | 30 |
| CHART DESAIN 5 PELABURAN | 30 |
| CHART DESAIN 6 PERKERASAN TANAH SEMEN (SOIL CEMENT)..... | 31 |
| CHART DESAIN 7 PERKERASAN TANPA PENUTUP..... | 31 |
| | |
| LAMPIRAN 1 | 44 |
| LAMPIRAN 2 | 46 |
| LAMPIRAN 3 | 47 |

Draft 6 Juni 2012

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1 Komponen Struktur Perkerasan Lentur | 3 |
| Gambar 2 Komponen Struktur Perkerasan Kaku | 4 |
| Gambar 3 Zona Iklim di Indonesia..... | 12 |
| Gambar 4 Desain Pondasi jalan untuk Tanah Alluvial Kering..... | 19 |
| Gambar 5 Bagan Alir Desain Pondasi jalan | 22 |
| Gambar 6 Dukungan terhadap Tepi Perkerasan | 33 |
| Gambar 7 Konstruksi Kotak | 34 |
| Gambar 8 Detail Pondasi jalan untuk Perkerasan Kaku diatas Tanah Lunak..... | 39 |
| Gambar 9 Detail Tipikal Sambungan Transversal Perkerasan kaku/Perkerasan Lentur..... | 40 |

Draft 6 Juni 2012

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)..... | 6 |
| Tabel 2 Perkiraan Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) | 7 |
| Tabel 3 Faktor Distribusi Lajur (D_L) | 8 |
| Tabel 4 Ketentuan Cara Pengumpulan Data Beban Lalu Lintas..... | 8 |
| Tabel 5 Klasifikasi Kendaraan dan Nilai VDF Standar..... | 10 |
| Tabel 6 Zonaklim untuk Indonesia..... | 12 |
| Tabel 7 Karakteristik modulus bahan berpengikat yang digunakan untuk pengembangan chart desain dan untuk analisis mekanistik | 13 |
| Tabel 8 Karakteristik modulus bahan berbutir lepas yang digunakan untuk pengembangan chart desain | 13 |
| Tabel 9 Parameter Kelelahan (Fatigue) K yang digunakan untuk pengembangan chart desain dan untuk analisis mekanistik | 14 |
| Tabel 10 Koefisien Drainase 'm' untuk tanah dasar dengan drainase buruk | 16 |
| Tabel 11 Faktor Penyesuaian Modulus Tanah Dasar akibat Variasi Musiman | 17 |
| Tabel 12 Perkiraan waktu penurunan lapis penopang untuk tanah lunak jenuh | 26 |
| Tabel 13 Tinggi Tanah Dasar diatas Muka Air | 26 |
| Tabel 14 Pemilihan Struktur Perkerasan | 27 |
| Tabel 15 Ketebalan Lapisan yang Diijinkan..... | 32 |
| Tabel 16 Pemilihan Bahu | 42 |

STRUKTUR PERKERASAN BARU

1. PENDAHULUAN

1.1 Ruang Lingkup

Lingkup manual ini meliputi perencanaan perkerasan untuk jalan baru, pelebaran jalan, dan rekonstruksi untuk perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Manual ini juga menjelaskan faktor – faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan struktur perkerasan dan ulasan mengenai masalah pelaksanaan.

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

- a) Penentuan umur rencana;
- b) Penerapan minimalisasi lifecycle cost;
- c) Pertimbangan kepraktisan pelaksanaan konstruksi;
- d) Penggunaan material yang efisien.

Penajaman pendekatan desain yang digunakan dalam melengkapi pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002-B dan Pd T-14-2003, adalah pada hal – hal berikut:

- a) umur rencana optimum yang ditentukan dari analisis life cycle cost;
- b) koreksi terhadap faktor iklim yang mempengaruhi masa pelayanan perkerasan;
- c) analisis beban sumbu secara menyeluruh;
- d) pengaruh temperatur;
- e) pengenalan struktur perkerasan cement treated base;
- f) pengenalan prosedur rinci untuk desain pondasi jalan;
- g) desain drainase;
- h) ketentuan analisis lapisan untuk Pd T-01-2002-B;
- i) penerapan pendekatan mekanistik;
- j) katalog desain.

Manual perencanaan perkerasan ini digunakan untuk menghasilkan desain awal yang kemudian hasil tersebut diperiksa terhadap pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002-B, dan Software Desain Perencanaan Jalan Perkerasan Lentur (SDPJL) untuk desain perkerasan lentur, dan dengan Pd T-14-2003 untuk desain perkerasan kaku. Perubahan yang dilakukan terhadap desain awal menggunakan manual ini harus dilakukan dengan penuh pertimbangan dan kehati-hatian.

1.2 Kebijakan Desain

Desain yang baik harus memenuhi kriteria - kriteria sebagai berikut:

1. menjamin tercapainya tingkat layanan jalan sepanjang umur pelayanan jalan;
2. merupakan life cycle cost yang minimum;
3. mempertimbangkan kemudahan saat pelaksanaan dan pemeliharaan;

4. menggunakan material yang efisien dan memanfaatkan material lokal semaksimal mungkin;
5. mempertimbangkan faktor keselamatan pengguna jalan;
6. mempertimbangkan kelestarian lingkungan.

Kebijakan desain terkait dengan penggunaan manual ini adalah :

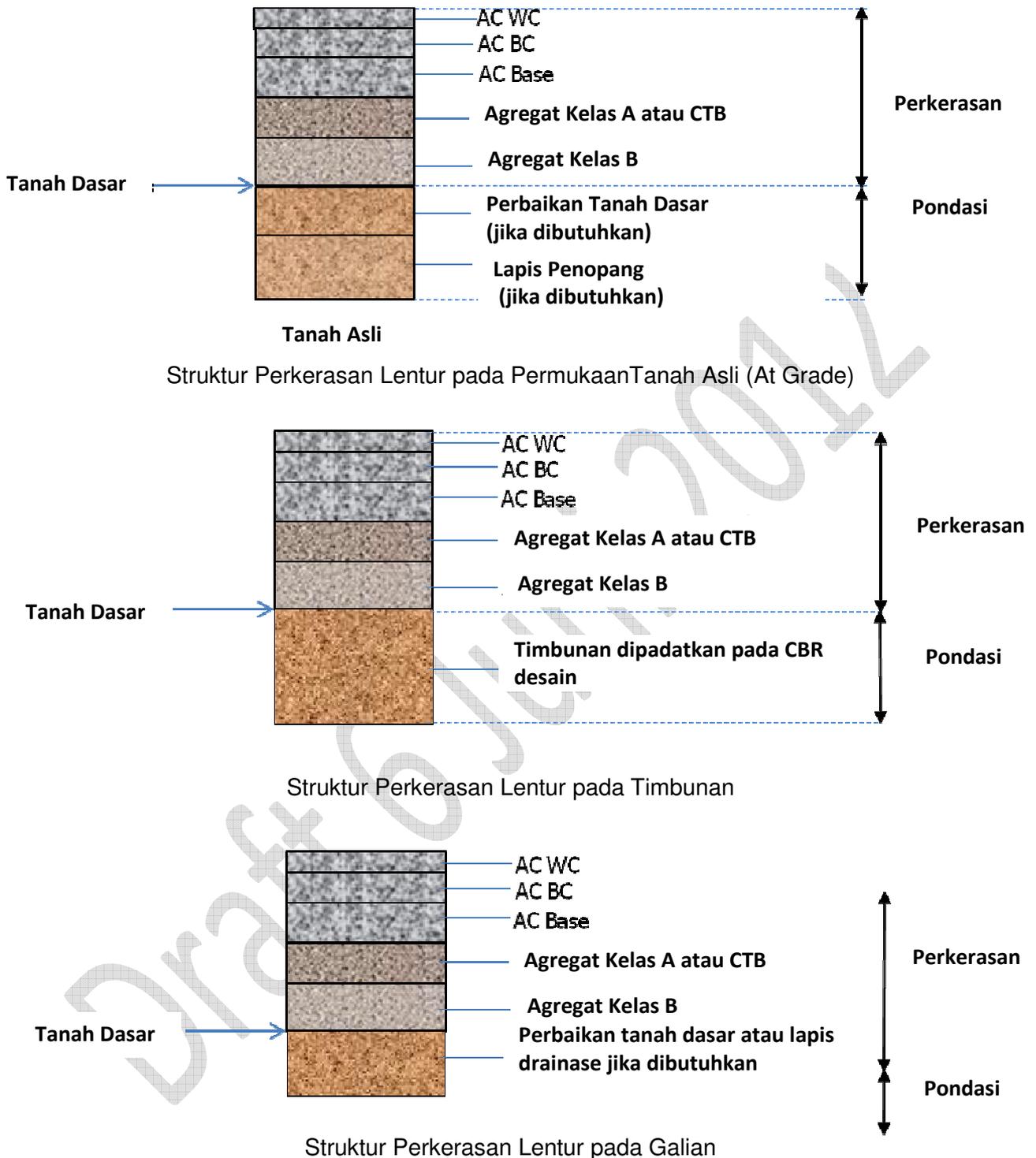
1. Perencana, Tim Supervisi dan Manajer Proyek harus mengadopsi kebijakan “tanpa toleransi” untuk pekerjaan konstruksi jalan yang tidak sesuai. Desain perkerasan harus mengasumsikan kesesuaian dengan kualitas konstruksi yang ditentukan.
2. Desain dan rehabilitasi perkerasan mengakomodasi beban kendaraan aktual. Pengendalian beban sumbu hanya dapat dipertimbangkan bila:
 - terdapat prosedur yang jelas untuk mengendalikan beban aktual dan jangka waktu implementasi yang telah disetujui oleh semua pemangku kepentingan;
 - telah ada tindakan awal implementasi kebijakan tersebut;
 - adanya keyakinan bahwa kebijakan ini dapat dicapai.
3. Pemilihan solusi desain perkerasan didasarkan pada analisis biaya umur pelayanan yang terdiskon paling sedikit dan pertimbangan sumber daya konstruksi.
4. Semua konstruksi baru, peningkatan dan rehabilitasi harus menyediakan drainase permukaan dan bawah permukaan yang dibutuhkan.
5. Lapisan pondasi berbutir untuk jalan nasional dan jalan propinsi harus dapat terdrainase baik dengan bahu full depth dengan drainase dari badan jalan atau dengan drainase bawah permukaan yang berlokasi pada bagian tepi badan jalan.
6. Bahu berpenutup harus disiapkan jika :
 - Gradien jalan lebih dari 4% (potensi terhadap gerusan)
 - Pada area perkotaan
 - Bersampingan dengan garis kerb
 - Jalan dengan lalu lintas berat dengan proporsi kendaraan roda dua cukup tinggi.
 Bahu berpenutup harus didesain untuk menyediakan paling tidak umur pelayanan 10% atau sama dengan badan jalan tergantung pada penggunaan yang diharapkan.
7. Drainase permukaan komprehensif harus disediakan. Drainase bawah permukaan dapat dipertimbangkan jika:
 - Terdapat kerusakan pada perkerasan eksisting terkait kadar air;
 - Terdapat sumber air mengalir ke perkerasan, seperti aliran air tanah dari galian atau saluran irigasi;
 - Konstruksi kotak tanpa jalur drainase yang memadai dari lapis perkerasan berbutir keluar dari badan jalan.
8. Separator geotekstil harus disediakan dibawah lapis penopang atau lapis drainase langsung diatas tanah lunak (tanah rawa) dengan CBR lapangan kurang dari 2% atau diatas tanah gambut.

1.3 Jenis Struktur Perkerasan

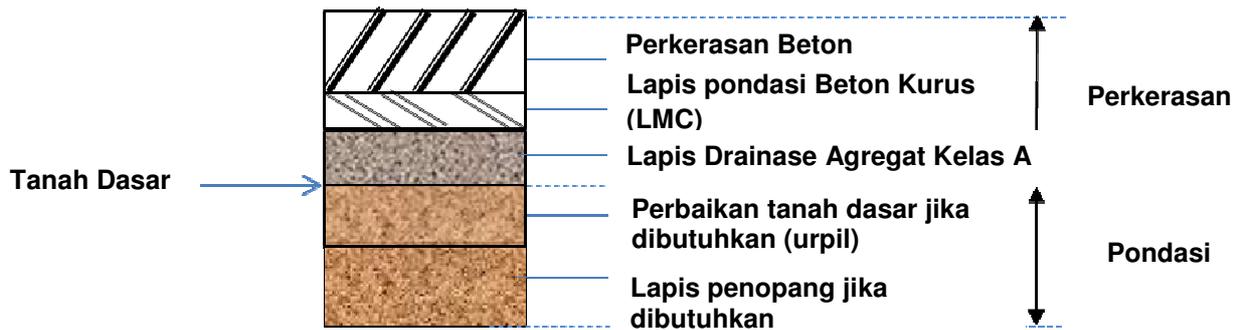
Jenis struktur perkerasan yang diterapkan dalam desain struktur perkerasan baru terdiri atas:

1. Struktur perkerasan pada permukaan tanah asli;
2. Struktur perkerasan pada timbunan;
3. Struktur perkerasan pada galian.

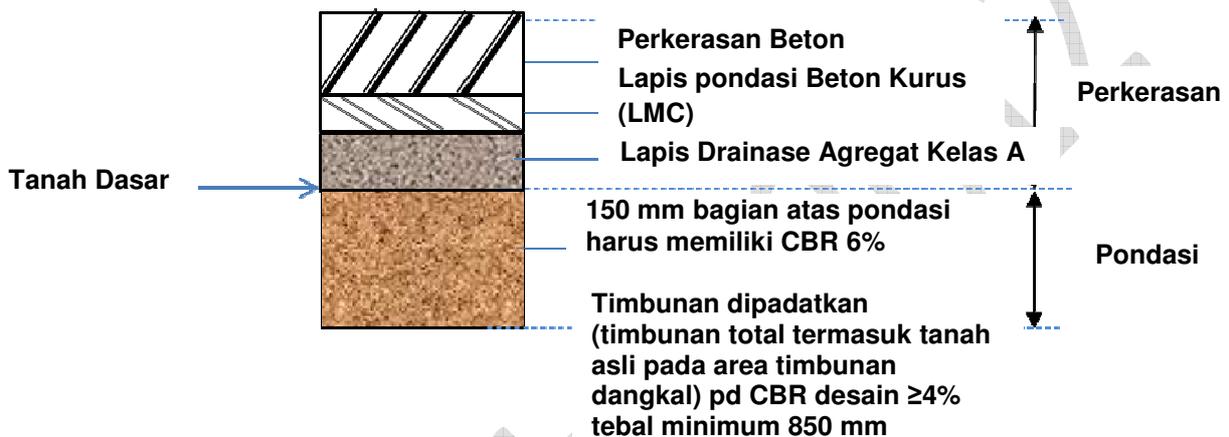
Tipikal struktur perkerasan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1 Komponen Struktur Perkerasan Lentur



Struktur Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli (At Grade)



Struktur Perkerasan Kaku Pada Timbunan



Struktur Perkerasan Kaku Pada Galian

Gambar 2 Komponen Struktur Perkerasan Kaku

Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa untuk struktur perkerasan kaku pada timbunan atau galian, pondasi jalan yang diminta adalah berupa timbunan biasa (CBR 6%), tapi hanya untuk kedalaman 150 mm (bagian atas), sisa kedalaman minimal 700 mm dapat menggunakan material dengan CBR minimum 4%.

1.3 Acuan

Pd T-01-2002-B Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur

Pd T-14-2003 Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen

Pd T-05- 2005 Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan

Austroroads, Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Pavements, 2008

AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, 1993

1.4 Istilah dan Definisi

Cement Treated Base

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

Capping Layer

Lapisan material berbutir (timbunan pilihan) yang digunakan sebagai lantai kerja konstruksi lapis pondasi bawah, dan juga meminimalkan efek dari tanah dasar lemah ke struktur perkerasan.

Drainase Bawah Permukaan (Sub Surface Pavement Drainage)

Sistem drainase yang dipasang di bawah perkerasan dengan tujuan untuk menurunkan muka air tanah.

Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)

Suatu faktor yang menunjukkan besar suatu sumbu kendaraan dapat merusak suatu perkerasan. Digunakan untuk mengkonversi jumlah lalu lintas dalam satuan kendaraan ke satuan beban sumbu dalam ESAL.

Tanah Dasar (Sub Grade)

Permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan atau merupakan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Yang dianggap sebagai kedalaman tanah dasar umumnya dapat mencapai kedalaman 1900 mm dari pondasi.

Life Cycle Cost

Biaya yang dibutuhkan untuk penanganan perkerasan selama umur rencana perkerasan, dimulai dari kegiatan pembangunan, pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, dan kegiatan rehabilitasi.

Lean Mix Concrete

Campuran material berbutir dan semen dengan kadar yang rendah. Digunakan sebagai lapis pondasi untuk perkerasan beton.

Traffic Multiplier

Faktor yang digunakan untuk mengkoreksi jumlah pengulangan beban sumbu (ESAL) untuk mengakomodasi kriteria kelelahan lapisan aspal (fatigue) akibat overloading.

1.5 Simbol dan Singkatan

| | |
|--------|--|
| AASHTO | Association of American State Highway and Transportation Officials |
| AC | Asphaltic Concrete |
| ACESA | Adjusted Cumulative Equivalent Standard Axles (pangkat 5) |
| AC BC | Asphaltic Concrete Binder Course |
| AC WC | Asphaltic Concrete Wearing Course |

| | |
|------------------------|--|
| Austrroads | Association of Australian and New Zealand road Transport and Traffic Authorities |
| BB | Benkelman Beam |
| CBR | Californian Bearing Ratio |
| CESA | Cumulative Equivalent Standard Axles |
| CIRCLY | Australian mechanistic design software programme used by Austrroads 2004 |
| CTB | Cement Treated Base |
| DBST | Double Bituminous Surface Treatment |
| DCP | Dynamic Cone Penetrometer |
| ESA ₄ | Equivalent Standard Axle – 4 th power |
| ESA _{asphalt} | Equivalent Standard Axle for asphalt (5 th power) |
| FWD | Falling Weight Deflectometer |
| IRI | International Roughness Index |
| IRMS | Indonesian Road Management System |
| L _{ij} | load carried by an axle group |
| LMC | Lean Mix Concrete |
| MAPT | Mean Annual Pavement Temperature |
| MDD | Maximum Dry Density |
| OMC | Optimum Moisture Content |
| ORN | Overseas Road Note |
| PI | Plasticity Index |
| S _{mix} | Stiffness of a bituminous mixture (Shell definition) |
| SBST | Single Bituminous Surface Treatment |
| SG2 | Subgrade with CBR 2% |
| SL | Standard Load for an axle group |
| TM _{asphalt} | Traffic Multiplier for design of asphalt layers |
| V _b | Specific Volume of bitumen within a bituminous mixture |
| VDF | Vehicle damage factor |
| με | microstrain |

2. UMUR RENCANA

Umur rencana perkerasan baru seperti yang ditulis di dalam Tabel 1.

Tabel 1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

| Jenis Perkerasan | Elemen Perkerasan | Umur Rencana (tahun) |
|-------------------|------------------------------------|----------------------|
| Perkerasan lentur | lapisan aspal dan lapisan berbutir | 20 |

| Jenis Perkerasan | Elemen Perkerasan | Umur Rencana (tahun) |
|------------------|---|----------------------|
| | pondasi jalan | 40 |
| | semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang, misal : jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan. | |
| Perkerasan Kaku | lapis pondasi , lapis pondasi bawah, lapis beton semen | |

3. LALU LINTAS

3.1 Analisis Volume Lalu Lintas

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survey faktual. Untuk keperluan desain, volume lalu lintas dapat diperoleh dari :

1. Survey lalu lintas aktual, dengan durasi minimal 7 x 24 jam. Pelaksanaan survey agar mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual Pd T-19-2004-B.
2. Hasil – hasil survey lalu lintas sebelumnya.

Dalam analisis lalu lintas, terutama untuk penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan lintas harian rata – rata tahunan (LHRT) agar mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). LHRT yang dihitung adalah untuk semua jenis kendaraan kecuali sepeda motor ditambah 30% jumlah sepeda motor.

3.2 Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan di dalam Tabel 5. Dalam melakukan survey lalu lintas harus menggunakan pembagian jenis kendaraan dan muatannya seperti yang tertulis di dalam tabel tersebut.

3.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data – data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid, bila tidak ada maka dapat menggunakan Tabel 2.

Tabel 2 Perkiraan Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

| | 2011 – 2020 | > 2021 – 2030 |
|--------------------------|-------------|---------------|
| arteri dan perkotaan (%) | 5 | 4 |
| rural (%) | 3.5 | 2.5 |

Untuk menghitung pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung sebagai berikut:

$$R = \frac{(1 + i)^{UR} - 1}{i}$$

3.4 Pengaruh Alihan Lalu Lintas (Traffic Diversion)

Untuk analisis lalu lintas pada ruas jalan yang didesain harus diperhatikan faktor alihan lalu lintas yang didasarkan pada analisis secara jaringan dengan memperhitungkan proyeksi peningkatan kapasitas ruas jalan yang ada atau pembangunan ruas jalan baru dalam jaringan tersebut, dan pengaruhnya terhadap volume lalu lintas dan beban terhadap ruas jalan yang didesain.

3.4 Faktor Distribusi Lajur dan Kapasitas Lajur

Faktor distribusi lajur untuk kendaraan niaga (truk dan bus) ditetapkan dalam Tabel 3. Beban rencana pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur pada setiap tahun selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu kepada Permen PU No.19/PRT/M/2011 mengenai Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan Rasio Volume Kapasitas (RVK) yang harus dipenuhi. Kapasitas lajur maksimum agar mengacu pada MKJI.

Tabel 3 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

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

3.5 Perkiraan Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)

Perhitungan beban lalu lintas yang akurat sangatlah penting. Beban lalu lintas tersebut diperoleh dari :

1. Studi jembatan timbang/timbang statis lainnya khusus untuk ruas jalan yang didesain;
2. Studi jembatan yang telah pernah dilakukan sebelumnya dan dianggap cukup representatif untuk ruas jalan yang didesain;
3. Tabel 5 .

Ketentuan untuk cara pengumpulan data beban lalu lintas dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4 Ketentuan Cara Pengumpulan Data Beban Lalu Lintas

| Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan | Sumber Data Beban Lalu Lintas |
|--|-------------------------------|
| Jalan Bebas Hambatan | 1 |
| Jalan Raya | 1 atau 2 |
| Jalan Sedang | 1 atau 2 atau 3 |
| Jalan Kecil | 1 atau 2 atau 3 |

Jika survey beban lalu lintas menggunakan sistem timbangan portable, sistem harus mempunyai kapasitas beban satu pasangan roda minimum 18 ton atau kapasitas beban satu sumbu minimum 35 ton. Data yang diperoleh dari sistem *Weigh in Motion* hanya bisa

digunakan bila alat timbang tersebut telah dikalibrasi secara menyeluruh terhadap data jembatan timbang.

LAMPIRAN 2 memberikan prosedur sederhana untuk menentukan karakteristik nilai rata – rata faktor ekivalen beban (VDF) untuk setiap kendaraan niaga. Penentuan Nilai VDF tersebut harus dengan menggunakan beban standar untuk setiap kelompok sumbu yang diberikan dalam pedoman Pd T-05-2005.

3.6 Pengendalian Beban Sumbu

Untuk keperluan desain, tingkat pembebanan saat ini (aktual) diasumsikan berlangsung sampai tahun 2020. Setelah tahun 2020, diasumsikan beban berlebih terkendali sehingga tingkat pembebanan dapat diperhitungkan sedemikian rupa sehingga proyeksi volume yang terangkut akan sama tetapi menggunakan beban sumbu dalam koridor batas izin beban sumbu sesuai kelas jalannya.

3.7 Beban Sumbu Standar

Beban sumbu 100 kN diijinkan di beberapa ruas yaitu untuk ruas jalan Kelas I. Namun demikian nilai CESA selalu ditentukan berdasarkan beban sumbu standar 80 kN.

3.8 Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan niaga

Desain perkerasan kaku, dalam Pd T-14-2003, didasarkan pada distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga bukan pada nilai CESA. Karakteristik proporsi sumbu dan proporsi beban untuk setiap kelompok sumbu dapat menggunakan data hasil survey atau mengacu pada LAMPIRAN 1. Sebaran kelompok sumbu digunakan untuk memeriksa hasil desain dengan pedoman desain Pd T-14-2003.

3.9 Beban Sumbu Standar Kumulatif

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

$$ESA = (\sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF) \times D_L$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R$$

Tabel 5 Klasifikasi Kendaraan dan Nilai VDF Standar

| Jenis Kendaraan | | Uraian | Konfigurasi sumbu | Muatan ¹ yang diangkut | Kelompok sumbu | Distribusi tipikal (%) | | Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan) | | Nilai gabungan (distribusi x VDF – tanpa sepeda motor) | | |
|------------------|------------|---|---|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|---|--|---------------------------------------|--|------------------|-------|
| | | | | | | Semua kendaraan bermotor | Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor | VDF ₄ Pangkat ⁴ | VDF ₅ Pangkat ⁵ | VDF ₄ | VDF ₅ | |
| Klasifikasi Lama | Alternatif | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | Sepeda Motor | 1.1 | | 2 | 30.4 | | | | | | |
| 2, 3, 4 | 2, 3, 4 | Sedan / Angkot / pickup / station wagon | 1.1 | | 2 | 51.7 | 74.3 | | | | | |
| KENDARAAN NIAGA | 5a | 5a | Bus kecil | | 2 | 3.5 | 5.00 | 0.3 | 0.2 | 0.015 | 0.010 | |
| | 5b | 5b | Bus besar | | 2 | 0.1 | 0.20 | 1.0 | 1.0 | 0.002 | 0.002 | |
| | 6a.1 | 6.1 | Truk 2 sumbu–cargoringan | 1.1 | muatan umum | 2 | 4.6 | 6.60 | 0.3 | 0.2 | 0.010 | 0.007 |
| | 6a.2 | 6.2 | Truk 2 sumbu- ringan | 1.2 | tanah, pasir, besi, semen | 2 | | | 0.8 | 0.8 | 0.026 | 0.028 |
| | 6b1.1 | 7.1 | Truk 2 sumbu–cargo sedang | 1.2 | muatan umum | 2 | | | 0.7 | 0.7 | - | - |
| | 6b1.2 | 7.2 | Truk 2 sumbu- sedang | 1.2 | tanah, pasir, besi, semen | 2 | | | 1.6 | 1.7 | - | - |
| | 6b2.1 | 8.1 | Truk 2 sumbu- berat | 1.2 | muatan umum | 2 | 3.8 | 5.50 | 0.9 | 0.8 | 0.025 | 0.023 |
| | 6b2.2 | 8.2 | Truk 2 sumbu- berat | 1.2 | tanah, pasir, besi, semen | 2 | | | 7.3 | 11.2 | 0.202 | 0.308 |
| | 7a1 | 9.1 | Truk 3 sumbu - ringan | 1.22 | muatan umum | 3 | 3.9 | 5.60 | 7.6 | 11.2 | 0.212 | 0.314 |
| | 7a2 | 9.2 | Truk 3 sumbu - sedang | 1.22 | tanah, pasir, besi, semen | 3 | | | 28.1 | 64.4 | 0.787 | 1.803 |
| | 7a3 | 9.3 | Truk 3 sumbu - berat | 1.1.2 | | 3 | 0.1 | 0.10 | 28.9 | 62.2 | 0.029 | 0.062 |
| | 7b | 10 | Truk 2 sumbudan trailer penarik 2 sumbu | 1.2-2.2 | | 4 | 0.5 | 0.70 | 36.9 | 90.4 | 0.259 | 0.633 |
| | 7c1 | 11 | Truk 4 sumbu - trailer | 1.2 - 22 | | 4 | 0.3 | 0.50 | 13.6 | 24.0 | 0.068 | 0.120 |
| | 7c2.1 | 12 | Truk 5 sumbu- trailer | 1.22 - 22 | | 5 | 0.7 | 1.00 | 19.0 | 33.2 | 0.095 | 0.166 |
| 7c2.2 | 13 | Truk 5 sumbu- trailer | 1.2 - 222 | | 5 | | | 30.3 | 69.7 | 0.152 | 0.349 | |
| 7c3 | 14 | Truk 6 sumbu- trailer | 1.22 - 222 | | 6 | 0.3 | 0.50 | 41.6 | 93.7 | 0.208 | 0.469 | |

Catatan : Data didasarkan pada survey beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa – 2011

¹ Perhitungan lalu lintas untuk desain perkerasan harus meliputi semua kelas kendaraan dalam daftar dengan sub kelompok muatan seperti yang dicantumkan.

4. TRAFFIC MULTIPLIER – LAPISAN ASPAL

Untuk perkerasan lentur, kerusakan yang disebabkan lalu lintas rencana dinyatakan dalam ekivalen Sumbu Standar 80 kN yang lewat. Berdasarkan jalan percobaan AASHTO, faktor ekivalen beban dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kerusakan perkerasan secara umum } ESA_4 = \left(\frac{L_{ij}}{SL} \right)^4$$

Dimana L_{ij} = beban pada sumbu atau kelompok sumbu
 SL = beban standar untuk sumbu atau kelompok sumbu (nilai SL mengikuti ketentuan dalam pedoman desain Pd T-05-2005).

Kinerja perkerasan lentur dipengaruhi oleh sejumlah faktor, namun tidak semua faktor tersebut tercakup di dalam persamaan diatas. Misalnya faktor kelelahan. Hubungan kelelahan lapisan aspal (asphalt fatigue) berkaitan dengan regangan (strain) sebagaimana terlihat dalam persamaan berikut:

$$\text{Kerusakan lapisan aspal } ESA_5 = ESA_{\text{aspal}} = \left[\text{RF} \frac{6918(0.856 V_b + 1.08)}{S_{\text{mix}}^{0.36} \mu \epsilon} \right]^5 \quad (\text{Austroads, 2008})$$

Dimana RF = reliability factor
 V_b = volume bitumen
 S_{mix} = kekakuan aspal
 $\mu \epsilon$ = regangan

Kerusakan yang diakibatkan oleh lalu lintas yang dinyatakan dalam ESA_4 memberikan hasil yang lebih rendah dibandingkan kerusakan akibat kelelahan lapisan aspal (asphalt fatigue) akibat overloading yang signifikan. Traffic multiplier (TM) digunakan untuk mengoreksi ESA_4 akibat kelelahan lapisan aspal:

$$\text{Kerusakan lapisan aspal } ESA_{\text{aspal}} = ESA_5 = TM_{\text{lapisan aspal}} \cdot ESA_4$$

di mana ESA_{aspal} = jumlah pengulangan sumbu standar untuk desain lapisan aspal total lebih besar dari 50 mm (tidak berlaku untuk lapisan yang tipis).

ESA_4 = jumlah pengulangan sumbu standar dihitung dengan menggunakan rumus pangkat 4 yang digunakan untuk desain Pondasi jalan.

Nilai $TM_{\text{lapisan aspal}}$ kelelahan lapisan aspal ($TM_{\text{lapisan aspal}}$) untuk kondisi pembebanan yang berlebih di Indonesia adalah berkisar 1,8 - 2. Nilai yang akurat berbeda-beda tergantung dari beban berlebih pada kendaraan niaga di dalam kelompok truk. LAMPIRAN 2 memberikan perhitungan $TM_{\text{lapisan aspal}}$ untuk setiap distribusi kelompok kendaraan niaga dan pembebanan standar di Indonesia.

Untuk desain perkerasan lentur, Nilai CESA yang ditentukan menurut Sub Bab 3 harus dikalikan dengan nilai TM yang ditentukan dari LAMPIRAN 2 untuk mendapatkan suatu nilai $CESA_5 = (TM \times CESA_4)$.

5. ZONA IKLIM

Pembagian zona iklim untuk Indonesia dinyatakan di dalam Gambar 3 dan Tabel 6.

Dalam desain perkerasan, iklim mempengaruhi:

- temperatur lapisan aspal dan nilai modulusnya;
- kadar air di lapisan tanah dasar dan lapisan perkerasan berbutir.

Sub bab 6 membahas pengaruh temperatur pada modulus lapisan aspal, dan Sub bab 8 membahas pengaruh kelembaban perkerasan terhadap proses pemilihan modulus tanah dasar. Zona iklim diperlukan untuk dapat menggunakan Chart Desain 1.



Gambar 3 Zona Iklim di Indonesia

Tabel 6 Zonaklim untuk 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 gambar | <1400 |
| II | tropis, kelembaban sedang dengan musim hujan sedang | Nusa Tenggara, Merauke, Kepulauan Maluku | 1400 - 1800 |
| III | tropis, lembab dengan musim hujan sedang | Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua, Bali, seperti yang ditunjukkan gambar | 1900 - 2500 |
| IV | tropis, lembab dengan hujan hampir sepanjang tahun dan kelembaban tinggi dan/atau banyak air | Daerah pegunungan yang basah, misalnya Baturaden | >3000 |

6. MODULUS BAHAN

Karakteristik modulus bahan untuk iklim dan kondisi pembebanan Indonesia diberikan dalam Tabel 7 untuk bahan berpengikat dan Tabel 8 untuk bahan berbutir lepas. Karakteristik bahan lapisan aspal yang lain yang diperlukan untuk keperluan analisis mekanistik diberikan di dalam Tabel 9.

Modulus lapisan aspal telah ditetapkan berdasarkan kisaran temperatur udara 25^o sampai 34^o C dan Temperatur Perkerasan Tahunan Rata-rata (MAPT) 41^oC.

Tabel 7 Karakteristik modulus bahan berpengikat yang digunakan untuk pengembangan chart desain dan untuk analisis mekanistik

| Jenis Bahan | Modulus Tipikal | Koefisien Kekuatan (a) | Poisson's Ratio |
|--|-----------------|------------------------|-----------------------------|
| HRS WC | 800 MPa | 0.28 | 0.40 |
| HRS BC | 900 MPa | 0.28 | |
| AC WC | 1100 MPa | 0.31 | |
| AC BC | 1200 MPa | 0.31 | |
| Bahan bersemen | 500 MPa cracked | | 0.2 (uncracked) |
| Tanah dasar (d disesuaikan musiman) | 10xCBR (MPa) | | 0.45 (tanah kohesif) |
| | | | 0.35 (tanah non kohesif) |

Besarnya modulus bahan berbutir lepas tergantung dari tegangan yang bekerja. Dengan alasan tersebut modulus yang tercantum di dalam Tabel 8 menurun apabila ketebalan dan kekakuan lapisan aspal di atasnya membesar.

Tabel 8 Karakteristik modulus bahan berbutir lepas yang digunakan untuk pengembangan chart desain

| Ketebalan lapisan atas bahan berpengikat | Modulus bahan lapis atas berpengikat (MPa) | | |
|--|--|--------------|--------------|
| | 900 (HRS WC/ HRS BC) | 1100 (AC WC) | 1200 (AC BC) |
| 40 mm | 350 | 350 | 350 |
| 75 mm | 350 | 350 | 350 |
| 100 mm | 350 | 345 | 345 |
| 125 mm | 320 | 310 | 310 |
| 150 mm | 280 | 280 | 275 |
| 175 mm | 250 | 245 | 240 |
| 200 mm | 220 | 210 | 205 |
| 225 mm | 180 | 175 | 170 |
| ≥ 250 mm | 150 | 150 | 150 |

Tabel 9 Parameter Kelelahan (Fatigue) K yang digunakan untuk pengembangan chart desain dan untuk analisis mekanistik

| Bahan lapisan aspal | Volume aspal (Vb) (%) | Parameter K ¹ untuk kondisi iklim Indonesia |
|---|-----------------------|--|
| HRS WC | 16.4 | 0.009427 |
| HRS BC | 14.8 | 0.008217 |
| AC WC | 12.2 | 0.006370 |
| AC BC | 11.5 | 0.005880 |
| ¹ K = (6981(0.856Vb + 1.08))/E ^{0.36} | | |

Dalam setiap kasus, perencana harus konsisten dengan prinsip-prinsip yang diuraikan di dalam manual ini dan dapat menggunakan chart desain yang telah dikembangkan dalam manual ini yaitu:

| | | |
|---|---|----------------|
| Perkerasan Lentur | : | Chart Desain 3 |
| Perkerasan Kaku | : | Chart Desain 4 |
| Pelaburan | : | Chart Desain 5 |
| Perkerasan Tanah Semen (Soil Cement) | : | Chart Desain 6 |
| Perkerasan Tanpa Penutup | : | Chart Desain 7 |
| Perkerasan berbutir dengan lapis permukaan aspal yang tipis | : | Lampiran 3 |

Untuk perkerasan lentur yang menggunakan aspal modifikasi, dapat menggunakan chart desain 3, dengan asumsi masuk ke jenis struktur perkerasan A4 sampai A8 (klasifikasi dapat dilihat dalam chart desain 3). Desain perkerasan lentur dengan aspal modifikasi akan memberikan tebal yang sama dengan yang konvensional namun dengan umur rencana yang lebih panjang. Alternatif lain perkerasan lentur dengan aspal modifikasi didesain dengan analisis mekanistik.

7. DRAINASE BAWAH PERMUKAAN

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

- semua lapis pondasi bawah (sub base) harus terdrainase sempurna.
- desain pelebaran perkerasan harus menjamin tersedianya drainase sempurna dari lapisan berbutir terbawah pada perkerasan eksisting.
- drainase lateral harus diberikan sepanjang tepi timbunan apabila lintasan aliran dari lapisan sub base ke tepi timbunan lebih dari 300 mm.
- apabila ketinggian sub base lebih rendah dari pada ketinggian permukaan tanah sekitarnya, baik di daerah galian ataupun di permukaan tanah asli, maka harus dipasang drainase bawah permukaan (bila memungkinkan keadaan ini dapat dihindari dengan desain geometris yang baik), bila drainase bawah permukaan tidak tersedia maka harus digunakan penyesuaian dengan faktor "m" (Tabel 10).

- drainase bawah permukaan harus disediakan didekat saluran U dan struktur lain yang menutup aliran air dari setiap lapisan sub base. Lubang kecil (weep holes) harus ditempatkan secara benar selama konstruksi.
- Drainase bawah permukaan harus ditempatkan pada kemiringan yang seragam tidak kurang dari 0,5% sehingga air akan mengalir dengan bebas sepanjang drainase sampai ke titik keluar (outlet point). Selain itu harus juga tersedia titik akses untuk membersihkan drainase atau titik pembuangan (discharge point) pada jarak tidak lebih dari 60 m.
- level titik masuk dan pembuangan drainase bawah permukaan harus lebih tinggi dari muka banjir rencana sesuai standar desain drainase.
- untuk jalan 2 jalur terpisah (divided road) dengan superelevasi apabila drainase di arahkan ke median, maka harus diberi sistem drainase bawah permukaan di median tersebut.

Perencana perkerasan harus mengkomunikasikan kriteria drainase kepada perencana drainase yang dipersyaratkan.

Apabila drainase bawah permukaan tidak dapat diberikan, harus digunakan koefisien drainase "m" pada desain ketebalan lapisan berbutir sesuai dengan aturan AASHTO 93 pasal 2.4.1 dan Tabel 10.

Perencana dalam melakukan desain sedemikian rupa sehingga didapat nilai $m \geq 1.0$, dan menghindari desain dengan $m < 1.0$ (kecuali kondisi lapangan tidak memungkinkan). Nilai m sendiri dalam manual ini digunakan untuk memeriksa desain dengan metode AASHTO 1993.

8. DESAIN PONDASI JALAN

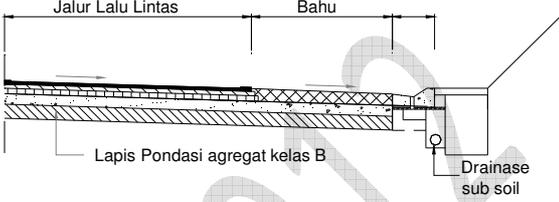
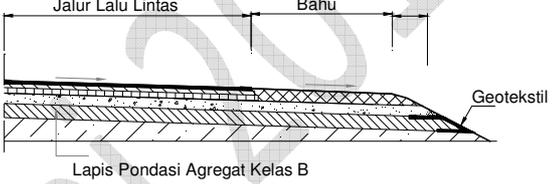
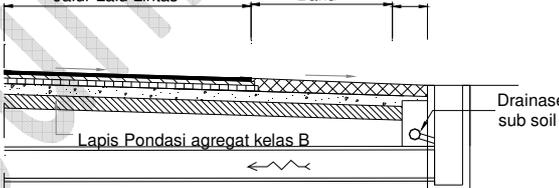
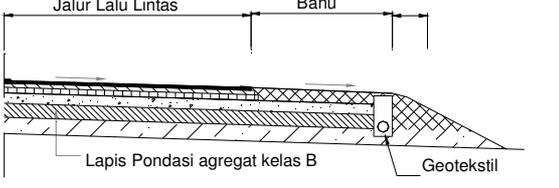
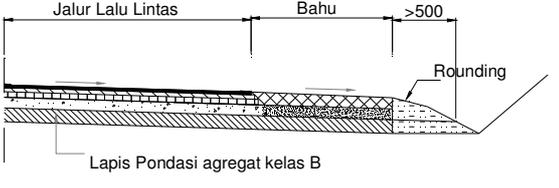
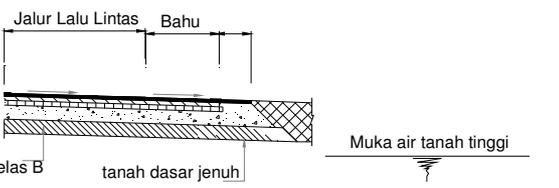
Desain pondasi jalan adalah desain perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (capping) yang dibutuhkan untuk memberikan landasan pendukung struktur perkerasan lentur dan perkerasan kaku agar dapat dilalui lalu lintas konstruksi pada kondisi musim hujan.

Dua faktor yang paling berpengaruh pada desain perkerasan adalah analisis lalu lintas dan evaluasi tanah dasar. Analisis lalu lintas dibahas di dalam Sub Bab 3. Pada perkerasan berbutir dengan lapisan permukaan aspal tipis, kesalahan dalam evaluasi tanah dasar dapat menyebabkan perbedaan kapasitas daya dukung lalu lintas sampai 10 kali lipat (contoh : perkiraan CBR 6% namun kenyataan 4%). Masalah tersebut akan memberikan perbedaan yang tidak begitu besar pada perkerasan dengan lapisan aspal yang tebal, tetapi perbedaan tersebut masih tetap signifikan. Artinya penetapan nilai kekuatan tanah dasar yang akurat dan solusi desain pondasi jalan yang tepat merupakan persyaratan utama untuk mendapatkan kinerja perkerasan yang baik. Hal ini sangat penting terutama pada daerah dangantahan dasar yang lemah.

Kerusakan perkerasan banyak terjadi selama musim penghujan. Pada daerah yang mempunyai musim hujan yang lama, daya dukung tanah dasar rencana hendaknya didapat dengan cara direndam selama 4 hari, dengan nilai CBR pada 100% kepadatan kering maksimum.

Berdasarkan kriteria tersebut, nilai CBR tanah dasar yang umum di Indonesia adalah 4%. Para perencana dan kontraktor sering berasumsi bahwa dengan material setempat dapat dicapai CBR untuk lapisan tanah dasar sebesar 6%, namun seringkali hal ini tidak tepat.

Tabel 10 Koefisien Drainase 'm' untuk tanah dasar dengan drainase buruk

| Kondisi Lapangan (digunakan untuk pemilihan nilai m yang sesuai) | nilai 'm' utk desain | Detail Tipikal |
|---|----------------------|--|
| 1. Galian dengan drainase bawah permukaan terdrainase sempurna (keluaran drainase sub soil selalu diatas muka banjir) | 1.2 |  |
| 2. Timbunan dg lapis pondasi bawah menerus sampai bahu (day-lighting) (tidak terkena banjir) | 1.2 |  |
| 3. Diatas permukaan tanah dengan drainase sub soil, medan datar Terkadang drainase sub soil dibawah muka banjir | 1.0 |  |
| 4. Timbunan dengan tepi permeabilitas rendah dan lapis pondasi bawah boxed | 0.9 |  |
| 5. Galian, pada permukaan tanah, atau timbunan tanpa drainase subsoil dan tepi dg permeabilitas rendah > 500mm | 0.7 |  |
| 6. Tanah dasar jenuh secara permanen selama musim hujan dan tidak teralirkan. Tanpa titik keluar utk sistem sub soil. Aturan lapis penopang juga berlaku. | 0.4 |  |

Saat modulus tanah dasar diestimasi dengan DCP atau data defleksi, maka sangat penting untuk menyesuaikan modulus yang didapat dengan variasi musiman. Perbedaan antara modulus musim kering dan musim hujan dapat bervariasi sebesar tiga kali lipat atau lebih. Faktor penyesuaian harus diestimasi dengan data defleksi musim kering dan musim hujan, atau mengacu pada ketentuan dalam Tabel 11.

Tabel 11 Faktor Penyesuaian Modulus Tanah Dasar akibat Variasi Musiman

| Musim | Faktor Penyesuaian |
|--------------|--------------------|
| Musim Hujan | 0.90 |
| Peralihan | 0.80 |
| Musim Kering | 0.70 |

8.1 Pendekatan Umum

Struktur perkerasan memerlukan pondasi jalan yang mantap, tidak mengalami deformasi berlebihan akibat peralatan selama konstruksi dan lalu lintas selama umur perkerasan. Struktur perkerasan memerlukan lantai kerja untuk pelaksanaan konstruksi agar dapat dilakukan pemadatan secara baik terhadap semua lapisan perkerasan dan tidak peka terhadap hujan. Demikian juga diperlukan pengendalian kadar air tanah dasar, melalui sistem drainase, penutupan (sealing) bahu jalan, dan geometrik perkerasan. (Sub Bab 7 dan 10).

Musim hujan yang cukup panjang serta curah hujan yang tinggi membuat pekerjaan pemadatan tanah dasar relatif lebih sulit. Oleh sebab itu, Chart Desain 1 dan Chart Desain 2 memberikan solusi konservatif yang sesuai, namun tingkat kepadatan yang ditentukan masih harus dicapai.

Pada perkerasan kaku di atas lapisan tanah dasar aluvial lunak, ada ketentuan tambahan yaitu lengkungan yang berkembang pada struktur tanah dasar akibat deformasi permanen harus dibuat cukup besar untuk mencegah terjadinya retak yang berlebihan pada perkerasan kaku. Dalam hal tertentu bisa terjadi struktur pondasi jalan perkerasan kaku melebihi pondasi jalan perkerasan lentur (merujuk Chart Desain 1).

Perkerasan kaku mudah terpengaruh oleh erosi, yaitu terjadinya migrasi butiran halus tanah dasar melalui sambungan akibat air dan tegangan dinamik. Maka dari itu pondasi jalan dan lapis pondasi bawah (sub base) harus didesain untuk meminimalkan masalah ini.

8.2 Umur Rencana Pondasi jalan

Umur rencana pondasi jalan untuk semua perkerasan baru maupun pelebaran digunakan minimum 40 tahun karena :

- a) Pondasi jalan tidak dapat ditingkatkan selama umur pelayanannya kecuali dengan rekonstruksi;
- b) Keretakan dini akan terjadi pada perkerasan kaku pada tanah lunak yang pondasi nya didesain lemah (*under design*);
- c) Perkerasan lentur dengan desain pondasi lemah (*under design*), umumnya selama umur rencananya membutuhkan perkuatan dengan lapisan aspal struktural, yang berarti

biayanya menjadi kurang efektif bila dibandingkan dengan pondasi jalan yang didesain dengan umur rencana lebih panjang.

8.3 Outline Prosedur Desain Pondasi jalan

Empat kondisi lapangan yang mungkin terjadi dan harus dipertimbangkan dalam prosedur desain pondasi jalan adalah :

- A. Kondisi tanah dasar normal, dengan ciri – ciri nilai CBR lebih dari 3% dan dapat dipadatkan secara mekanis. Desain ini meliputi perkerasan diatas timbunan, galian atau tanah asli.
- B. Kondisi tanah dasar langsung diatas tanah lunak aluvial jenuh. Prosedur laboratorium untuk penentuan CBR tidak dapat digunakan, karena sulit dipadatkan secara mekanis.
- C. Kondisi tanah dasar langsung diatas tanah lunak aluvial kering. Prosedur laboratorium untuk penentuan CBR memiliki validitas yang terbatas.
- D. Tanah dasar langsung diatas tanah gambut.

Prosedur desain untuk setiap kondisi kecuali tanah gambut akan dibahas pada bagian selanjutnya. Dibutuhkan pula sejumlah pengendalian tambahan untuk membatasi retak pada perkerasan kaku dan untuk membatasi pengaruh tanah ekspansif. Gambar 4 menggambarkan proses desain untuk desain pondasi jalan untuk tanah selain gambut, dan Chart Desain 2 menyajikan solusi pondasi jalan minimum.

8.4 Prosedur Desain Pondasi jalan

Metode A untuk tanah normal

Kondisi A1 : Apabila tanah dasar bersifat plastis atau berupa lanau, tentukan nilai batas-batas Atterberg (PI), gradasi atau Potensi Pengembangan (Potential Swell), letak muka air tanah dan area aplikasinya (zona iklim, galian atau timbunan). Tetapkan nilai CBR dari Chart Desain 1.

Kondisi A2 : Apabila tanah dasar bersifat berbutir atau tanah residual tropis (tanah merah, laterit), nilai desain daya dukung tanah dasar harus dalam kondisi 4 hari rendaman, pada nilai 95% kepadatan kering modifikasi.

Untuk kedua kondisi, pilih tebal perbaikan tanah dasar dari Chart Desain 2.

Metode B untuk tanah aluvial jenuh

Lakukan survey DCP untuk mengidentifikasi daerah yang perlu tambahan perbaikan (sebagai contoh yang membutuhkan konstruksi perkerasan khusus atau pondasi pancang mikro). Tetapkan tebal lapisan penopang (*capping layer*) dan perbaikan tanah dasar dari Chart Desain 2. Tetapkan waktu perkiraan awal preload dari Tabel 10. Periksa waktu perkiraan awal tersebut (settlement time) melalui analisis geoteknik.

Jika tidak ada contoh atau pengalaman yang mendukung kecukupan desain lapis penopang dibawah kondisi sejenis, maka perlu dilakukan uji timbunan percobaan untuk verifikasi.

Metode C untuk tanah alluvial kering

Daerah alluvial kering, pada umumnya memiliki lapisan tanah dengan kekuatan sangat rendah (misal CBR < 2%) di bawah lapis permukaan kering yang relatif keras (misal CBR = 5%). Kedalaman lapisan lunak adalah 400 – 600 mm di bawah permukaan. Nilai CBR

lapisan lunak ini dapat ditentukan dengan uji DCP dengan cukup akurat pada kondisi basah. Untuk lapis permukaan kering, akan lebih akurat bila dilakukan uji kepadatan kering kondisi insitu di lapangan dan diikuti uji CBR rendaman pada kepadatan insitu tersebut.

Untuk penentuan solusi pondasi jalan, apabila tebal lapis permukaan kering diatas 600 mm maka desain pondasi jalan didasarkan kepada nilai CBR rendaman lapis permukaan kering saja. Apabila tebal lapis permukaan kering kurang dari 600 mm, periksa kebutuhan pondasi jalan minimum untuk kedua jenis lapisan, pondasi jalan di atas lapisan yang lunak dan pondasi jalan di atas lapis permukaan kering. Analisis pada keduanya dilakukan pada kondisi basah (rendaman). Pilih kebutuhan tebal timbunan pilihan dan lapis penopang yang terbesar (lihat Gambar 4). Alternatif lain adalah menggunakan Chart Desain 2 (C1 dan C2) yang memberikan solusi pondasi jalan yang lebih konservatif.



Gambar 4 Desain Pondasi jalan untuk Tanah Alluvial Kering

Ketentuan Tambahan Untuk Desain Pondasi jalan Tanah Ekspansif (Prosedur AE dalam Chart Desain 2) :

- Penutup pada lapisan ekspansif yang mempunyai nilai aktivitas (*activity*) lebih dari 1,25 atau Potensi Pengembangan (*Potential Swell*) melebihi 5% harus diberi lapisan penopang minimum seperti dalam Chart Desain 2. Potensi Pengembangan (*Potential Swell*) didefinisikan sebagai pengembangan yang diukur dalam metode uji CBR (SNI No 03-1774-1989 pada kadar air optimum dan 100% Kepadatan Kering Maksimum).
- Bagian atas lapis penopang atau lapis timbunan pilihan harus mempunyai lapisan permeabilitas rendah atau bila mungkin lapisan terstabilisasi.
- Variasi kadar air tanah dasar harus diminimalkan dengan pemberian penutup (*seal*) bahu jalan, drainase permukaan diperkeras, pemasangan drainase pemutus (*cut off drains*) atau penghalang aliran yang memadai, dan drainase yang baik pada lapis pondasi bawah.
- Drainase bawah permukaan hanya diberikan bila air selalu terdrainase (*free draining*) atau bila penggunaannya menghasilkan pengurangan variasi kadar air.

8.5 Bahan untuk Perbaikan Tanah Dasar

Perbaikan tanah dasar umumnya menggunakan material timbunan pilihan, stabilisasi kapur, atau stabilisasi tanah semen. Spesifikasi Umum mensyaratkan timbunan pilihan dengan CBR minimum 10% (rendaman 4 hari pada 100% kepadatan kering maksimum). Dalam pekerjaan pelebaran jalan seringkali ditemukan tanah dasar yang sempit atau bentuk yang tidak beraturan yang sulit untuk distabilisasi. Dalam hal ini sebaiknya digunakan timbunan pilihan.

Pekerjaan stabilisasi hendaknya tidak dilaksanakan di daerah yang bentuknya tidak beraturan atau pada pelebaran dengan area sempit kecuali tersedia peralatan yang dapat melaksanakan pencampuran serta pemadatan di daerah yang sempit (*skid steer mounted stabilizer drum, intermediate size pad-foot roller*).

8.6 Survei Lapangan dan Pengujian

Tujuannya adalah:

- a) Mengidentifikasi segmen tanah dasar yang mempunyai daya dukung seragam, perubahan segmen seringkali terjadi pada perubahan topografi;
- b) Menentukan kekuatan daya dukung tanah dasar pada setiap segmen yang seragam tersebut;
- c) Mengidentifikasi kondisi-kondisi yang memerlukan perhatian khusus seperti: lokasi dengan muka air tanah tinggi; lokasi atau daerah banjir; daerah yang sulit mengalirkan air/drainase; daerah yang terdapat aliran air tanah/rembesan/seepage; daerah dengan tanah problematik seperti tanah aluvial lunak/tanah ekspansif/tanah gambut.

Ketentuan detail mengenai perencanaan pengujian lapangan disampaikan dalam Bagian V Rekonaisan.

8.7 Karakteristik Daya Dukung

Hasil-hasil pengujian DCP hanya dapat digunakan secara langsung untuk memperkirakan nilai CBR bila saat pengujian kadar air tanah mendekati kadar air maksimum. Karena tidak selalu memungkinkan untuk merencanakan program pengujian selama musim hujan, maka untuk menentukan nilai CBR sebaiknya digunakan hasil uji CBR laboratorium rendaman dari contoh lapangan. Kecuali untuk tanah dengan kondisi berikut:

- a) Tanah rawa jenuh yang mempunyai sifat sulit untuk dipadatkan di lapangan. Untuk kasus ini CBR hasil laboratorium tidak relevan untuk digunakan. Pengukuran dengan DCP harus digunakan untuk mendapatkan nilai CBR.
- b) Lapisan lunak yang terletak lebih dari 200 mm di bawah muka tanah dasar desain. Kondisi ini sering terjadi pada daerah aluvial kering musiman. Kondisi ini harus diidentifikasi dengan pengujian DCP dan harus diperhitungkan dalam penentuan desain.

Data defleksi dapat juga digunakan untuk menentukan modulus tanah dasar, misalnya dengan menggunakan data LWD (light weight deflectometer), yang dianalisis baik dengan metode AASHTO atau metode desain mekanistik back calculation.

Apabila digunakan data defleksi maupun DCP untuk kondisi tanah yang tidak jenuh, maka diperlukan perhitungan koreksi untuk variasi kelembaban musiman. Apabila tidak tersedia data, dan kelas jalan relatif rendah maka dapat digunakan faktor koreksi sebagai berikut : 1,3 (untuk defleksi), dan 0,7 (untuk CBR dari uji DCP).

Pendekatan yang membutuhkan pengukuran lapangan paling tidak selama musim hujan dan kering untuk menurunkan faktor koreksi dari hasil pengukuran berbagai musim tersebut. Pendekatan umum untuk desain pondasi dilakukan secara konservatif yaitu pada umumnya mengasumsikan kondisi basah dalam kepadatan sesuai spesifikasi.

8.8 Penentuan Segmen Seragam

Panjang rencana jalan harus dibagi dalam segmen – segmen yang seragam:

- a) Apabila data yang cukup valid tersedia (minimal 8 data pengujian per segmen yang dianggap seragam), kumpulan data CBR segmen tersebut harus mempunyai koefisien variasi maksimum 25% (standar deviasi/nilai rata-rata) dan nilai tanah dasar karakteristik ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{CBR karakteristik} = \text{CBR rata}^2 - 1.3 \times \text{standar deviasi}$$

- b) Bila data tidak cukup tersedia, penentuan segmen seragam dilakukan melalui gabungan data DCP dan penilaian visual.

Nilai CBR karakteristik adalah nilai minimum dari:

- data CBR laboratorium rendaman 4 hari, atau
- data DCP, atau
- Nilai CBR asumsi yang ditentukan dari Chart Desain 1.

Jika tanah dasar langsung diatas tanah asli jenuh atau menjadi jenuh selama pelaksanaan dan tidak dapat dikeringkan sampai cukup untuk dapat dilakukan pemadatan secara mekanis, maka:

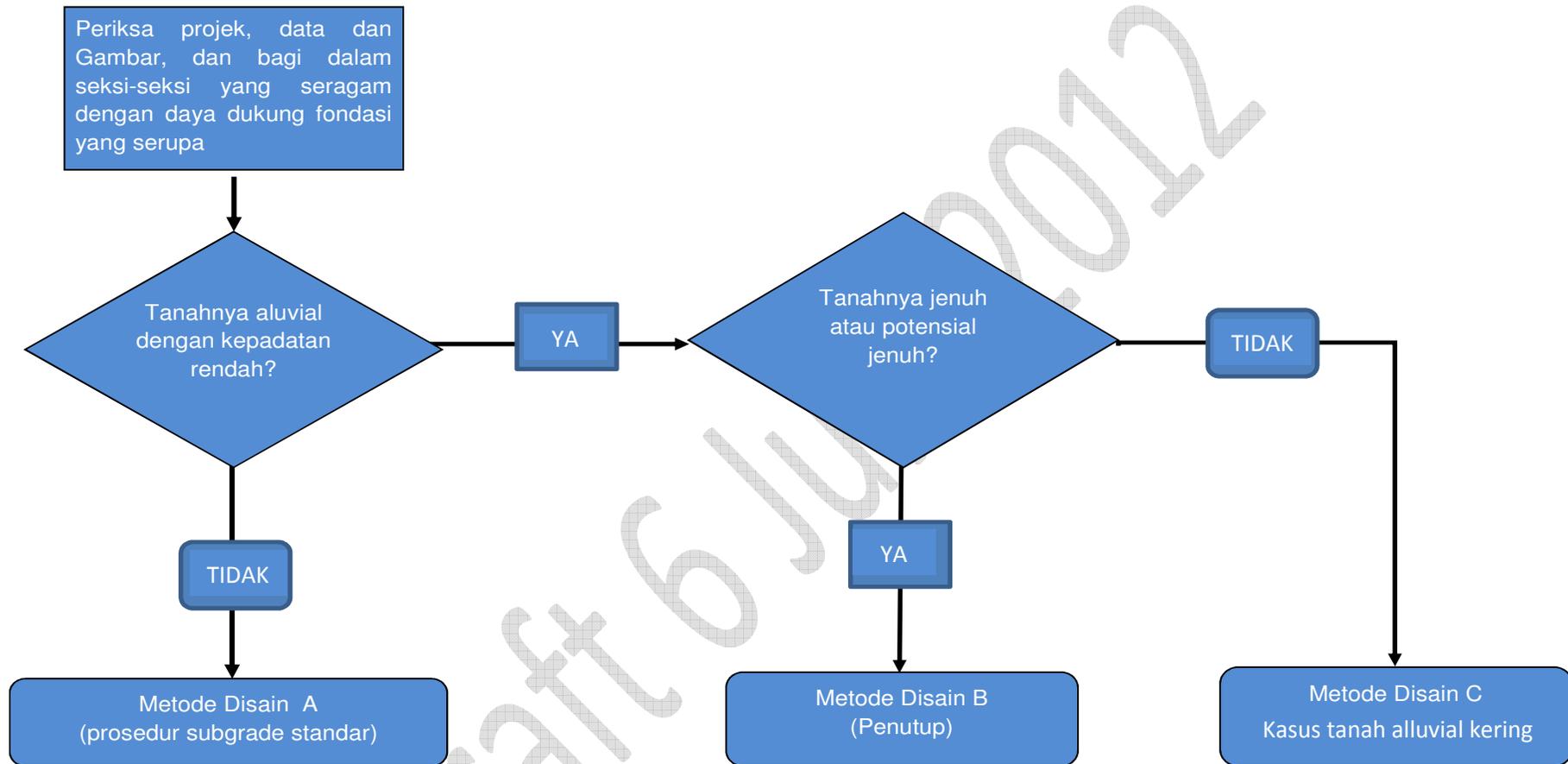
- nilai CBR laboratorium tidak boleh digunakan untuk desain;
- pondasi jalan harus termasuk lapisan penopang;
- harus disiapkan separator geotekstil diantara tanah asli dan lapis penopang;
- bila dilakukan desain secara mekanistik, lapis penopang (capping layer) dianggap mempunyai Modulus Resilien 30 MPa (CBR 3%) dan tanah asli di bawah lapis penopang tersebut harus diperhitungkan mempunyai nilai modulus resilien 20 MPa.

Geotekstil harus dipasang di bawah lapis penopang (capping layer) langsung pada tanah yang jenuh. Penggunaan geotekstil/geogrid dapat digunakan bila terbukti mengakibatkan penghematan biaya atau keuntungan lain.

Untuk memeriksa desain dengan pedoman desain Pd T-01-2002-B dan Pd T-14-2003, maka dibutuhkan data CBR. Jika solusi desain pondasi membutuhkan beberapa lapisan (perbaikan tanah dasar, lapis penopang, dan tanah dasar), maka untuk CBR tanah dasar ditentukan sebagai CBR ekuivalen sebagai :

$$\text{CBR ekuivalen} = \{\sum h \text{CBR}^{0,333}\} / \{\sum h\}^3$$

Dimana h = tinggi lapisan.



Gambar 5 Bagan Alir Desain Pondasi jalan
(untuk tanah selain gambut)

CHART DESAIN 1 PERKIRAAN NILAI CBR TANAH DASAR

(tidak dapat digunakan untuk tanah aluvial berkepadatan rendah atau jenuh dan tanah gambut)

| | | LHRT <2000 | | | LHRT ≥2000 | | |
|--|---------|---|------------------------|---|---|------------------------|---|
| | | Zone iklim II, III, and IV galian, dan timbunan kotak atau timbunan dengan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli | | Galian di Zona Iklim 1 Semua timbunan dengan FSL > 1000mm di atas tanah asli kecuali konstruksi kotak | Zone iklim II, III, and IV Galian dan timbunan kotak dan timbunan dengan FSL < 1000 mm di atas tanah asli | | Galian di Zone Iklim 1 dan semua timbunan dgn FSL > 1000mm diatas muka tanah kecuali konstruksi kotak |
| Zona Iklim dan Posisi | | Dibawah standar desain minimum | standar desain minimum | ≥1200 mm di bawah formasi | Dibawah standar desain minimum | standar desain minimum | ≥1200 mm di bawah formasi |
| Posisi muka air tanah rencana (Tabel 13) | | | | | | | |
| Jenis Tanah | PI | CBR Perkiraan (%) | | | | | |
| Lempung gemuk | 50 - 70 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Lempung lanauan | 40 | 2.5 | 2.7 | 3 | 2.5 | 2.6 | 3 |
| | 30 | 3 | 3.3 | 4 | 3.5 | 3.6 | 4 |
| Lempung pasiran | 20 | 4 | 4.3 | 5 | 4.5 | 4.8 | 5.5 |
| | 10 | 3 | 3.5 | 4.5 | 4.5 | 5 | 6 |
| Lanau | | 1 | 1.3 | 2 | 1 | 1.3 | 2 |
| Tanah berbutir | | Gunakan CBR Laboratorium (%) | | | | | |

Timbunan / konstruksi kotak : mengacu pada sub bab 10.3.

FSL : finished surface level (sampai dengan bagian teratas perkerasan)

Formasi : bagian terbawah tanah dasar

CHART DESAIN 2 SOLUSI DESAIN PONDASI JALAN MINIMUM⁷

| CBR Tanah Dasar <i>Chart 1 atau tanah dasar 100% MDD, dipadatkan rendaman 4 hari</i> | Kelas Kekuatan Tanah Dasar | Prosedur desain pondasi | Deskripsi struktur pondasi (4) | lalu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA ₅) | | |
|---|---|-------------------------|---|--|-------|------|
| | | | | < 2 | 2 - 4 | > 4 |
| | | | | Tebal peningkatan tanah dasar minimum (mm) | | |
| ≥ 6 | SG6 | A | Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas) | Tidak perlu peningkatan | | |
| 5 | SG5 | | | | | 100 |
| 4 | SG4 | | | 100 | 150 | 200 |
| 3 | SG3 | | | 150 | 200 | 300 |
| 2.5 | SG2.5 | | | 175 | 250 | 350 |
| Tanah ekspansif (potential swell > 5%) | | | | AE | 400 | 500 |
| < 2.5 ⁽¹⁾ (DCP insitu) | SG1 aluvial jenuh Tipikal CBR awal ≤ 1,5% di bawah lapis permukaan keras ⁽²⁾ | B | Lapis penopang/ capping ⁽³⁾ | 1000 | 1100 | 1200 |
| | | | Atau lapis penopang dan geogrid ⁽³⁾ | 650 | 750 | 850 |
| Perkerasan lentur pada tanah aluvial kering ⁽⁶⁾ | | C1 | Perbaikan tanah dasar atau timbunan dengan rendaman CBR ≥ 5 dalam 3 lapis ⁽⁵⁾ | 400 | 500 | 600 |
| Perkerasan kaku pada tanah aluvial kepadatan rendah kering ⁽⁶⁾ | | C2 | Perbaikan tanah dasar atau timbunan dengan CBR rendaman CBR ≥ 5 dengan tebal per lapis < 300 mm ⁽⁵⁾ | 1000 | 1100 | 1200 |
| tanah gambut dengan HRS atau perkerasan DBST | | D | Lapis penopang berbutir ⁽³⁾ | 1000 | 1250 | 1500 |

(1) Nilai Insitu. CBR rendaman tidak dapat dilaksanakan.

(2) Lihat tulisan untuk kasus alluvial kering (Metode C).

(3) Diatas lapis penopang agar ditambahkan lapis timbunan pilihan dengan mengacu pada kelas kekuatan tanah dasar SG 2,5.

(4) Ketentuan tambahan mungkin berlaku, perencanaan harus mempertimbangkan semua isu kritis.

(5) Stabilisasi kapur/material timbunan biasa bisa digunakan

(6) Ditandai oleh kepadatan rendah dan CBR insitu rendaman rendah di bawah daerah yang dipadatkan

(7) Jika didalam gambar rencana tidak terdapat desain, solusi desain pondasi agar mengikuti ketentuan dalam Spesifikasi Umum.

8.10 Desain Lapis penopang (Capping Layer)

Lapis penopang harus memenuhi persyaratan berikut:

- a) Untuk semua jenis perkerasan
 1. Bahan yang digunakan sebagai lapis penopang adalah timbunan pilihan, kecuali jika lapisan dibawah permukaan air maka digunakan timbunan pilihan berbutir.
 2. Bisa memberikan lantai kerja yang kuat selama masa pelaksanaan (Chart Desain 2);
 3. Paling sedikit setebal 600 mm menutup tanah dasar di atas tanah ekspansif (aktivitas > 1,25);
 4. Paling sedikit di atas tinggi banjir dan/atau muka air tanah ke tanah dasar sebesar standar desain minimum;
 5. Terjadi alur sebelum rencana overlay pertama atau sebelum 40 tahun (mana saja yang lebih dahulu terjadi), dan memenuhi ketentuan desain mekanistik (berdasarkan Bagian VI Desain Mekanistik).
- b) Ketentuan tambahan untuk perkerasan kaku
 1. Cukup kuat membatasi terjadinya lengkungan di dalam lapis pondasi bawah sampai 800 meter selama perkerasan (aturan kekakuan);
 2. Mampu memenuhi rumus berikut (biasanya memerlukan lapis penopang setebal 1000 mm pada tanah asli bila nilai CBR tanah asli tersebut kurang dari 2% (di daerah aluvial jenuh)).

$$\text{Minimum untuk CBR desain} = \left\{ \frac{\sum h \text{CBR}^{0.333}}{\sum h} \right\}^3$$

$$\text{dimana } \sum h = 1000\text{mm}$$

8.11 Penanganan Daerah Gambut

Penyelidikan geoteknik dibutuhkan untuk semua area dengan tanah gambut. Penyelidikan harus sudah termasuk penentuan pembebanan awal (preload) dan waktu penurunan. Pondasi harus memenuhi ketentuan minimum Chart Desain 2. Konstruksi harus dilaksanakan bertahap untuk mengakomodasi terjadinya konsolidasi sebelum penghamparan lapis perkerasan. Konsolidasi harus dimonitor menggunakan pelat penurunan (settlement plate) Tinggi timbunan harus diminimasi tapi harus memenuhi ketentuan Sub Bab 8.12 termasuk akomodasi konsolidasi setelah konstruksi. Jika dibutuhkan timbunan tinggi, contohnya untuk pendekat jembatan, struktur jembatan harus diperpanjang atau timbunan harus dipancang. Kemiringan timbunan tidak boleh lebih curam dari 1 banding 3. Pondasi harus diperpanjang untuk memasukkan area tanggul jika dibutuhkan untuk stabilitas timbunan. Jika kinerja area tanah gambut dilewati lalu lintas terbatas, timbuna uji coba harus dikonstruksi. Timbuna percobaan harus di monitor untuk memverifikasi stabilitas timbunan, waktu pembebanan, dan data lainnya. Tidak boleh ada pekerjaan konstruksi sebelum percobaan selesai.

8.12 Waktu Preload pada Tanah Lunak

Lapis penopang pada tanah jenuh hendaknya dipasang selama tidak kurang dari waktu yang dinyatakan dalam Tabel 10 sebelum lapis perkerasan dilaksanakan di lokasi tersebut. Waktu yang sesungguhnya harus ditetapkan oleh ahli geoteknik (*geotechnical engineer*) dengan menggunakan Buku Panduan Geoteknik Pt T-08-2002-B, berdasarkan pada tanah asli mencapai paling sedikit 95% penurunan konsolidasi primer atau sampai konsolidasi sisa

kurang dari 100 mm, mana yang memerlukan waktu lebih singkat, sebelum pelaksanaan pekerjaan perkerasan. Waktu tersebut bervariasi berdasarkan persetujuan Engineer.

Tabel 12 Perkiraan waktu penurunan lapis penopang untuk tanah lunak jenuh

| Kedalaman sampai CBR 2 insitu (mm) | Ketinggian timbunan final (m) | | |
|------------------------------------|-------------------------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| | Waktu penurunan (bulan) | | |
| 1000 | 1 | 3 | 6 |
| 1500 | 2 | 6 | 15 |
| 2000 | 3 | 12 | 27 |
| 2500 | 5 | 18 | 42 |

Catatan : hanya untuk timbunan dangkal, untuk timbunan tinggi harus dengan perhitungan tersendiri.

8.13 Waktu Preload untuk Tanah Gambut

Setiap tempat waktu preloadnya berbeda. Untuk menetapkan preload dan waktu penurunan diperlukan investigasi geoteknis.

8.14 Formasi Tanah Dasar di Atas Muka Air Tinggi

Tanah dasar minimum di atas tinggi muka air rencana pada periode banjir 10 tahunan adalah seperti pada Tabel 13.

Tabel 13 Tinggi Tanah Dasar diatas Muka Air

| Kelas Jalan | Tinggi Tanah Dasar diatas Muka Air Rencana (mm) |
|----------------------|---|
| Jalan Bebas Hambatan | 1200 (Apabila ada drainase di median) |
| | 1700 (tanpa drainase di median) |
| Jalan Raya | 600 (Apabila ada drainase di median) |
| | 1200 (tanpa drainase di median) |
| Jalan Sedang | 600 |
| Jalan Kecil | 400 |

9. PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN

Pemilihan perkerasan akan bervariasi terhadap lalu lintas dan umur rencana yang diharapkan, serta kasus dari jalan yang akan ditangani sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 14.

9.1 Pelebaran Perkerasan

Untuk pekerjaan pelebaran, biasanya digunakan struktur yang sama dengan struktur perkerasan yang dilebarkan. Adapun alasannya adalah sebagai berikut:

- a) pemeliharaan atau perbaikan drainase lapis pondasi dan lapis pondasi bawah perkerasan eksisting lebih sederhana;

b) menghindari kesulitan pada detail sambungan perkerasan lentur dan kaku.

Tabel 14 Pemilihan Struktur Perkerasan

| KASUS 1 | KASUS KHUSUS - JALAN TANPA KENDARAAN DENGAN BEBAN BERLEBIH (misal jalan perkotaan non arteri dengan proporsi kendaraan niaga rendah (tipikal 5%), daerah terisolasi tanpa akses untuk kendaraan niaga dengan beban berat) | | | | | |
|---------|--|---|---------|----------------------------------|---------|--------|
| | Umur Rencana | Struktur Perkerasan | Catatan | ESA ₄ 20 tahun (juta) | | |
| | | | | 0 - 0.1 | 0.1 - 4 | 4 - 10 |
| 40 | Perkerasan beton bertulangan tebal 200 mm perkerasan beton polos tebal 240 mm | digunakan khususnya pada daerah perkotaan dengan batasan pekerjaan konstruksi | | | | |
| | | | | | | |
| 20 | AC + CTB | pilih atas dasar biaya umur pelayanan terendah | | | | |
| | | | | | | |
| 20 | AC atau HRS 50 - 65 mm + lapis pondasi agregat kelas A | penanganan daerah rural | | | | |
| | | | | | | |
| 20 | Lapis pondasi agregat kelas A dengan surface dressing atau stabilisasi ringan CTB | penanganan daerah rural | | | | |
| | | | | | | |
| 20 | kerikil tanpa penutup | | | | | |

| KASUS 2 | KASUS NORMAL - JALAN NASIONAL DENGAN KENDARAAN DENGAN BEBAN BERLEBIH | | | | | |
|---------|---|--|---------|----------------------------------|---------|--------|
| | Umur Rencana | Struktur Perkerasan | Catatan | ESA ₄ 20 tahun (juta) | | |
| | | | | 0 - 0.1 | 0.1 - 4 | 4 - 10 |
| 40 | perkerasan beton polos tebal 265 - 300 mm | | | | | |
| 20 | AC modifikasi + elastomer sintetik (SBS dll) | area dengan defleksi tinggi (misal timbunan rendah diatas tanah lunak) | | | | |
| 20 | AC modifikasi + cement treated base | | | | | |
| 20 | AC tebal dengan lapis pondasi CTB atau agregat kelas A | | | | | |
| | | | | | | |
| 20 | AC atau HRS 50 - 65 mm | | | | | |
| | | | | | | |
| 20 | Lapis pondasi agregat kelas A dengan surface dressing atau stabilisasi ringan CTB | | | | | |
| 20 | kerikil tanpa penutup | | | | | |

Catatan
 Bukan batas absolut - perencana harus mempertimbangkan batasan dan kepraktisan konstruksi
 Solusi alternatif harus didasari oleh biaya umur pelayanan terkecil atau paling kompetitif
 Solusi yang diutamakan 
 Alternatif - lihat Catatan 

ESA pangkat 4 dan periode perhitungan 20 tahun untuk umur kumulatif digunakan untuk kasus 1, dan 2 untuk memberikan perhitungan ekuivalen untuk perbandingan semua jenis perkerasan - bukan umur rencana.

9.2 Sumber Daya Lokal dan Ukuran Pekerjaan

Sumber daya setempat atau besarnya pekerjaan menentukan pilihan jenis perkerasan. Misalnya kemampuan kontraktor setempat dan kendala sumber daya bisa jadi membuat suatu pekerjaan yang tidak terlalu besar tidak menarik bagi kontraktor besar melakukan penawaran.

9.3 Cement Treated Base (CTB)

CTB menawarkan penghematan yang signifikan dibanding perkerasan lapis pondasi berbutir untuk jalan yang dilewati lalu lintas sedang dan berat. Biaya CTB tersebut lebih murah secara tipikal untuk kisaran beban sumbu 2,5 sampai 30 juta ACESA tergantung pada harga setempat dan kemampuan kontraktor (lihat Chart Desain2). CTB juga menghemat penggunaan aspal dan material berbutir, kurang sensitif terhadap air dibandingkan dengan lapis pondasi berbutir, dan juga dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan lapisan aspal yang berlapis-lapis. LMC (Lean Mix Concrete) dapat digunakan sebagai pengganti CTB, dan memberi kemudahan pelaksanaan di daerah yang sempit misalnya pada pelebaran perkerasan berdampingan dengan lajur yang sedang dilalui lalu lintas.

Muatan berlebih yang merupakan kondisi tipikal di Indonesia, menyebabkan keretakan sangat dini pada lapisan-lapisan CTB. Maka dari itu desain CTB hanya didasarkan pada tahap desain post fatigue cracking tanpa mempertimbangkan umur fatigue CTB. Struktur perkerasan dalam Chart Desain 2 telah ditentukan menggunakan regangan dengan beban sumbu standar dihitung menggunakan model elastic linier CIRCLY, dan metode desain perkerasan Austroad Guide dengan nilai reliabilitas 95% (mengacu Austroads Guide Section 2.2.1.2).

9.4 Chart Struktur Perkerasan

Solusi pekerasan yang banyak dipilih yang didasarkan pada pembebanan dan pertimbangan biaya terkecil diberikan dalam Chart Desain 3 Perkerasan Lentur, Chart Desain 4 Perkerasan Kaku, Chart Desain 5 Pelaburan, Chart Desain 6 Perkerasan Tanah Semen, dan Chart Desain 7 Perkerasan Tanpa Penutup. Solusi lain dapat diadopsi untuk menyesuaikan dengan kondisi setempat tetapi disarankan untuk tetap menggunakan chart sebagai langkah awal untuk semua desain.

Faktor ekivalen beban digunakan untuk menentukan harga CESA untuk dimasukkan ke dalam Chart 4 Perkerasan Kaku, tetapi harus dilihat bahwa hubungannya hanya berlaku untuk kisaran pembebanan kelompok sumbu yang disajikan dengan Lampiran 1. Desain yang teliti memerlukan pengetahuan tentang pembebanan kelompok sumbu aktual dan perhitungan desain menurut Pd T-14-2003 atau metode² Austroad.

9.5 Perkerasan Kaku

Solusi perkerasan kaku biasanya menjadi efektif biaya untuk tingkat lalu lintas lebih dari 30 juta ESA. Penjelasan lebih lengkap dapat dilihat dalam Sub Bab 13.

²Chart Pd T-14-2003 sebaiknya tidak digunakan karena belum dikoreksi terhadap kondisi pembebanan di Indonesia.

CHART DESAIN 3 DESAIN PERKERASAN LENTUR

| | | STRUKTUR PERKERASAN | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------------------|-----------|---------|---|-----------------|--------------|---------------|---------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 |
| Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun terkoreksi (pangkat 5) (10^6 CESA ₅) | | < 0.5 | 0.5 – 2.0 | 0.5 - 4 | 4 - 30 | 30 – 50 (3) | 50 – 100 (3) | 100 – 200 (3) | 200 – 500 (3) |
| Jenis permukaan yang umum | | HRS, SS, atau Penmac | HRS | | AC _c atau AC _f | AC _c | | | |
| Jenis lapis Pondasi dan lapis Pondasi bawah | | Berbutir A (2) | | | Cement Treated base (CTB) (= cement treated base A (2)) | | | | |
| | | KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm) | | | | | | | |
| HRS WC | | 30 | 30 | 30 | | | | | |
| HRS Base | | 35 | 35 | 35 | | | | | |
| AC WC | | | | | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 |
| Lapisan beraspal | AC binder lapis 1 | | | | 60 | 75 | 60 | 60 | 60 |
| | AC binder lapis 2/base | | | | 75 | 80 | 60 | 80 | 60 |
| | AC binder lapis 3/base | | | | | | 65 | 80 | 80 |
| | AC binder lapis 4/base | | | | | | | | 80 |
| CTB atau Agregat Kelas A | CTB | | | | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| | Base A Lapis 1 | 150 | 100 | 125 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| | Base A lapis 2 / Base B | | 125/150 | 125/150 | | | | | |
| Base A, Base B atau kerikil alam atau distabilisasi dengan CBR >10% | | 150 | 125 | 125 | | | | | |

Catatan Chart 3:

1. Ketentuan-ketentuan struktur Pondasi *Chart Desain1* juga berlaku
2. Ukuran Gradasi agregat Kelas A nominal maksimum harus 20 mm (tebal lapisan 100 – 150 mm) atau 25 mm (tebal lapisan 125 – 150 mm)
3. Pilih Chart 4 untuk solusi Perkerasan kaku untuk life cycle cost yang rendah
4. Hanya kontraktor yang cukup berkualitas dan memiliki peralatan yang diijinkan melaksanakan pekerjaan CTB. Karena diperlukan mesin pencampur atau peralatan stabilisasi setempat.
5. Chart desain perkerasan lentur
6. diturunkan menggunakan prosedur desain mekanistik di dalam Austroads Guide, termasuk penggunaan model elastic linier CIRCLY.
7. Nilai TM dapat langsung masuk ke dalam program CIRCLY dengan judul : "DAMAGE CALCULATION DETAILS". Perhitungan nilai ACESA tidak diperlukan di dalam CIRCLY.

CHART DESAIN 4 PERKERASAN KAKU DENGAN DOWEL,SAMBUNGAN KASUS OVERLOAD INDONESIA

| Struktur Perkerasan | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|--|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Repetisi beban sumbu 40 tahun (10 ⁶ CESA ₄ , kelompok kendaraan inter urban Indonesia) | <50 | 50-100 | 100 – 300 | 300 – 500 | > 500 ³ |
| Perkiraan ekivalen kelompok sumbu kendaraan berat | <4.3x10 ⁶ | 8.6 x 10 ⁶ | 25.8 x 10 ⁶ | 43 x 10 ⁶ | 86 x 10 ⁶ |
| Dowel dan bahu beton | ya | | | | |
| STRUKTUR PERKERASAN (mm) | | | | | |
| Tebal pelat beton | 265 | 275 | 285 | 295 | 305 |
| Lapis Pondasi LMC ⁴ | 150 | | | | |
| Lapis Pondasi agregat kelas A ⁵ untuk tanah dasar CBR 6 atau CTB | 150 | | | | |

Catatan: Harga CESA adalah untuk tipikal kelompok kendaraan jalan inter urban Indonesia (Lampiran 1).

Perlu dicatat bahwa chart di dalam Pd T-14-2003 tidak boleh digunakan untuk desain perkerasan kaku. Chart tersebut didasarkan pada ketentuan berat kelompok kendaraan resmi yang tidak diterapkan di Indonesia. Para perencana harus menggunakan pembebanan kelompok beban yang aktual. LAMPIRAN 1 memberikan pembebanan kelompok sumbu yang mewakili untuk Indonesia.

CHART DESAIN 5 PELABURAN

| | STRUKTUR PERKERASAN | | | | |
|---|--|---------|---------|--------|---------|
| | SD1 | SD2 | SD3 | SD4 | SD5 |
| | Beban sumbu 20 tahun (CESA ₄ x10 ⁶) | | | | |
| | <0.1 | 0.1-0.5 | 0.5 – 4 | 4 - 10 | 10 - 30 |
| | Ketebalan lapis perkerasan (mm) | | | | |
| Pelaburan (Burda = DBST) | 20 nominal | | | | |
| Agregat kelas A Lapis 1 | 100 | 125 | 150 | 160 | 170 |
| Agregat kelas A lapis 2 | 100 | 125 | 150 | 160 | 170 |
| Agregat kelas A, atau kerikilalam atau distabilisasi, CBR ≥10%, pada subgrade ≥CBR 5% | 100 | 110 | 140 | 160 | 180 |

Catatan :

Ketentuan-ketentuan struktur pondasi jalan *Chart Desain1* juga berlaku untuk *Chart Desain5*.

³ Sampai dengan 10⁹ CESA meskipun tidak mungkin beban seperti itu akan dicapai.

⁴LMC dapat diabaikan jika digunakan CTB asalkan kursi dowel dilas dan dibuat atau diproses dan dipasang sesuai spesifikasi.

⁵Lapis pondasi agregat kelas A harus dipadatkan sampai 95% kepadatan kering maksimum.

CHART DESAIN 6 PERKERASAN TANAH SEMEN (SOIL CEMENT)

(untuk area dengan sumber agregat atau kerikil terbatas)

| | STRUKTUR PERKERASAN | | |
|---|---|----------|---------|
| | SC1 | SC2 | SC3 |
| | Beban Sumbu 20 tahun (CESA ₄ x10 ⁶) | | |
| | <0.1 | 0.1- 0.5 | 0.5 – 4 |
| | Ketebalan lapis perkerasan (mm) | | |
| HRS WC | 50 | | |
| Agregat kelas A lapis 1 | 160 | 110 | 150 |
| Agregat kelas A lapis 2 | - | 110 | 150 |
| Agregat Kelas B | 110 | 150 | 200 |
| distabilisasi, CBR 6% pada tanah dasar ≥ CBR 3% | 160 | 200 | 260 |

Catatan :

1. *Chart Desain 6* digunakan untuk semua tanah dasar dengan CBR ≥ 3 (maka dari itu *Chart Desain 2* tidak diperlukan). Ketentuan *Chart Desain 1* yang lain tetap berlaku.
2. Stabilisasi satu lapis lebih 200 mm sampai 300 mm diperbolehkan jika disediakan peralatan stabilisasi yang memadai dan untuk pemadatan digunakan 18 ton pad-foot roller.
3. Bila catatan 2 diterapkan, lapisan distabilisasi *Chart Desain 5* atau *Chart Desain 6* boleh dipasang dalam satu lintasan dengan lapisan distabilisasi *Chart Desain 1* sampai maksimum 300 mm.
4. Gradasi lapis pondasi agregat kelas harus dengan ukuran nominal maksimum A 20 mm.
5. Hanya kontraktor berkualitas dan mempunyai peralatan diperbolehkan melaksanakan pekerjaan Pelaburan atau pekerjaan Stabilisasi.
6. Solusi yang tidak menyelesaikan kendala menurut *Chart Desain 6* dapat ditentukan menggunakan grafik yang diberikan Lampiran 3.

CHART DESAIN 7 PERKERASAN TANPA PENUTUP

| Estimasi Lintas Harian Truk Berat | Kondisi Kekuatan Tanah Dasar | Tebal Minimum Jalan Kerikil (mm) |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 0 - 5 | Rendah (CBR $\leq 3\%$) | 165 |
| | Sedang (3% < CBR $\leq 10\%$) | 140 |
| | Tinggi (CBR > 10%) | 115 |
| 5 - 10 | Rendah (CBR $\leq 3\%$) | 215 |
| | Sedang (3% < CBR $\leq 10\%$) | 180 |
| | Tinggi (CBR > 10%) | 140 |
| 10 - 25 | Rendah (CBR $\leq 3\%$) | 290 |
| | Sedang (3% < CBR $\leq 10\%$) | 230 |
| | Tinggi (CBR > 10%) | 180 |
| 25 - 50 | Rendah (CBR $\leq 3\%$) | 370 |
| | Sedang (3% < CBR $\leq 10\%$) | 290 |
| | Tinggi (CBR > 10%) | 215 |

Catatan :

Desain perkerasan tanpa penutup dapat dilakukan dengan menggunakan pedoman desain No. 001/BM/2010 Perencanaan Tebal Jalan Kerikil.

10. MASALAH PELAKSANAAN DAN KINERJA PERKERASAN

Diperlukan banyak perbaikan terhadap standar kualitas pelaksanaan pekerjaan. Sangat tidak mungkin mengganti pelaksanaan yang buruk dengan koreksi desain perkerasan (*pavement design adjustments*).

10.1 Ketebalan Lapis Perkerasan

Keterbatasan pemadatan dan segregasi menentukan tebal struktur perkerasan pelaksanaan. Desain harus melihat batasan - batasan tersebut termasuk ketebalan lapisan di dalam Tabel 15.

Tabel 15 Ketebalan Lapisan yang Diijinkan

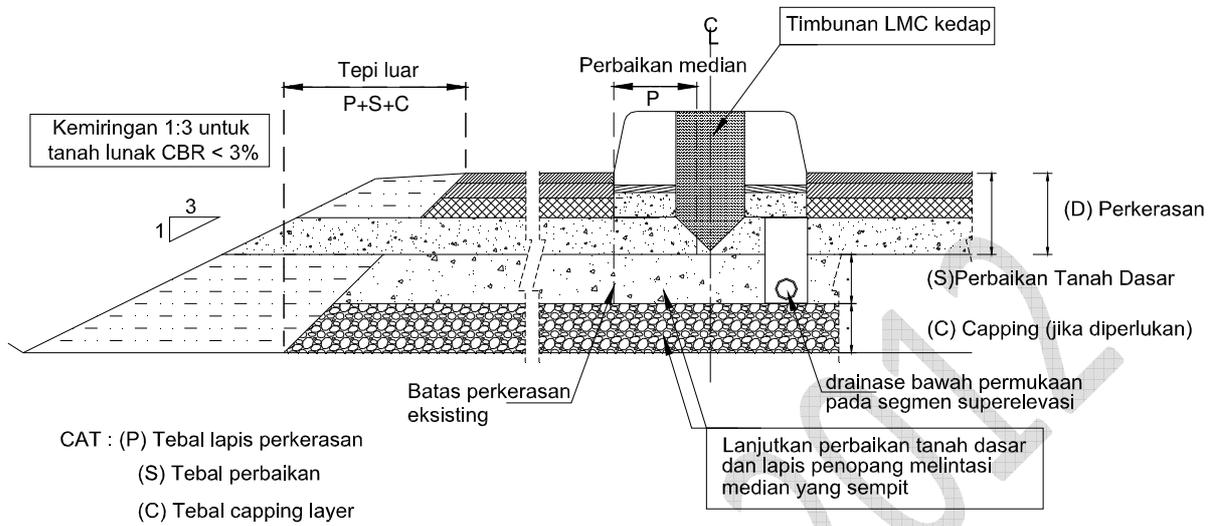
| B a h a n | Persyaratan Tebal (mm) | Lapisan banyak diijinkan |
|---|------------------------|--------------------------|
| HRS WC | Min 30 | tidak |
| HRS BC | Min 35 | ya |
| AC WC | Min 40 | tidak |
| AC Binder | 60 - 80 | ya |
| AC - Base | 75 - 120 | ya |
| Agregat Kelas A 40 (40 mm grading) | 150 - 200 | ya |
| Agregat Kelas A 30 (30 mm grading) (disarankan) | 120 - 150 | ya |
| Agregat Kelas A 25 (25 mm grading) (disarankan) | 100 - 125 | ya |
| Agregat Kelas B (50mm grading) | Min 200 | ya |
| Agregat Kelas B (40mm grading) (disarankan) | 150 - 200 | ya |
| CTB (30 mm grading) atau LMC | 150 - 200 | tidak |

10.2 Daya Dukung Tepi Perkerasan

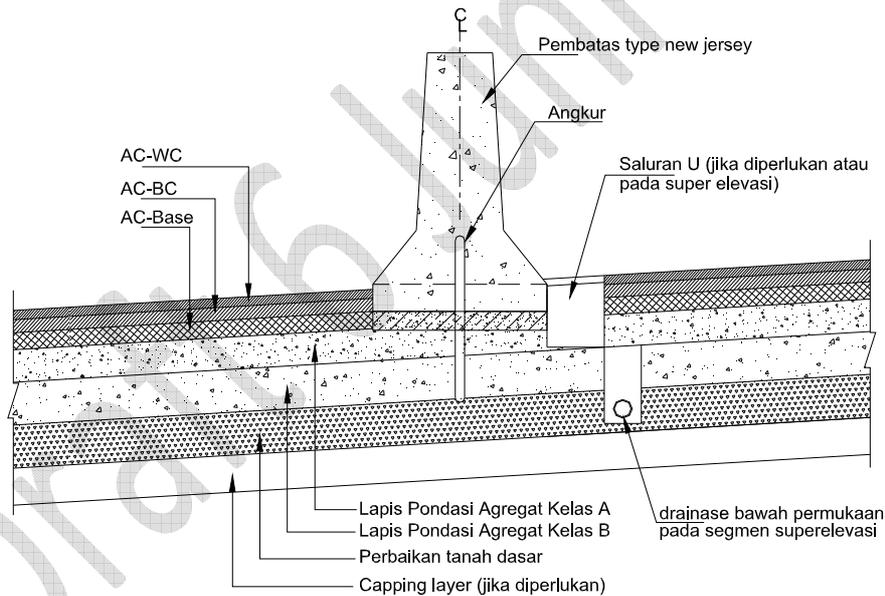
Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama bila terletak pada tanah lunak atau tanah gambut (*peat*). Ketentuan daya dukung tepi harus dinyatakan secara rinci di dalam gambar-gambar kontrak (*drawings*). Ketentuan minimum adalah:

- Setiap lapis perkerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum yang dinyatakan dalam Gambar 6.
- Timbunan pada tanah lunak ($CBR < 2\%$) dan tanah gambut (*peat*) harus dipasang pada kemiringan tidak lebih curam dari 1V : 3H.

**Daya dukung tepi perkerasan
(Rekontruksi menyeluruh pada median)**



Daya dukung tepi perkerasan pada median



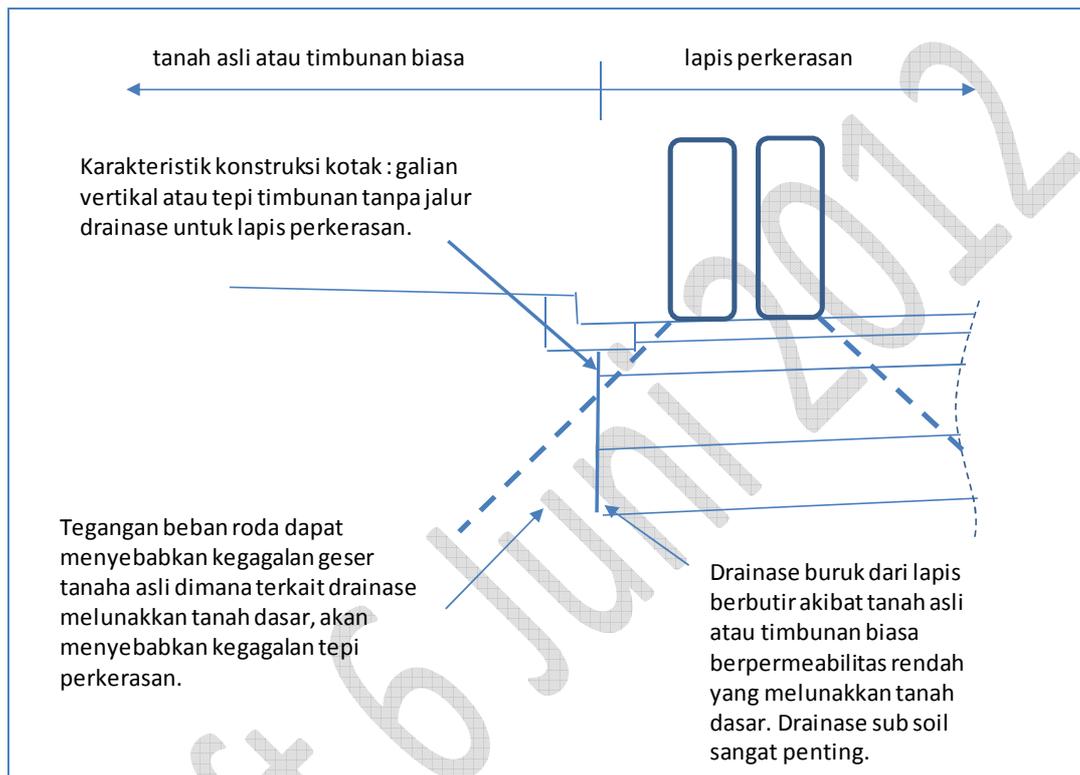
Gambar 6 Dukungan terhadap Tepi Perkerasan

10.3 Konstruksi Kotak

Konstruksi kotak mengacu pada struktur perkerasan dengan lapisan perkerasan berbutir yang tidak dapat terdrainase sempurna kecuali melalui sistem drainase bawah permukaan (Gambar 7). Konstruksi kotak hendaknya hanya digunakan apabila tidak pilihan lain. Perkerasan di daerah galian selalu dibuat kotak dan harus mengikuti ketentuan-ketentuan yang diberikan di dalam seksi ini. Pada daerah urban dan rural, konstruksi kotak umumnya

cukup penting. Saat menggunakan konstruksi kotak harus disediakan sistem drainase bawah permukaan (termasuk drainase bawah permukaan lateral untuk tepi yang lebar) (mengacu Sub Bab 8).

Setiap lapis perkerasan harus diperlebar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7 untuk memberi dukungan kepada lapisan berikutnya. Lapis penopang serta perbaikan tanah dasar hendaknya diteruskan sampai median yang sempit. Daerah median hendaknya didrainase atau diisi campuran beton krus (*lean mix concrete*) atau pengisi yang kedap (*impermeable*) untuk mencegah air berakumulasi dan merusak tepi perkerasan.



Gambar 7 Konstruksi Kotak

10.4 Pengaruh Musim Hujan

Para perencana harus mempertimbangkan implikasi musim hujan terhadap pelaksanaan, terutama di daerah aluvial yang cenderung menjadi jenuh selama musim hujan. Bila konstruksi tidak dapat dijamin dapat dilaksanakan pada musim kering (umumnya tidak bisa dijamin), pertimbangan desain konstruksi bertahap hendaknya didasarkan pada kondisi tanah dasar saat musim hujan (*Chart Desain 2* memberikan pedoman pada masalah ini).

10.5 Pelaksanaan dengan Lalu Lintas Tetap Melintas

Desain untuk pekerjaan yang harus dilaksanakan dengan lalu lintas tetap melintas (misalnya pekerjaan pelebaran) harus mempertimbangkan kedalaman penggalian praktis dan keselamatan. Pertimbangan-pertimbangan praktis mungkin membatasi jenis perkerasan yang bisa digunakan.

10.6 Lokasi Sambungan

Sambungan longitudinal terutama pada perkerasan kaku tidak boleh diletakkan di lintasan roda kendaraan. Jika perlu lebar penggalian untuk pelebaran harus diatur agar dapat memenuhi syarat tersebut.

10.7 Kemampuan Kontraktor

Peralatan dan ketrampilan khusus diperlukan untuk pekerjaan pelaburan, stabilisasi, cement treated base dan perkerasan beton semen. Undangan Penawaran untuk pekerjaan-pekerjaan tersebut hendaknya dibatasi kepada kontraktor-kontraktor yang mempunyai pengalaman dan akses dengan sumber-sumber yang diperlukan.

11. PROSEDUR DESAIN PERKERASAN LENTUR

Prosedur-prosedur ini harus diikuti sebagaimana diuraikan di setiap seksi referensi

- 1 Tentukan umur rencana dari Tabel 1: Umur Rencana Perkerasan Sub Bab 2
 - 2 Tentukan nilai-nilai CESA untuk umur desain yang telah dipilih Sub Bab 3
 - 3 Tentukan nilai Traffic Multiplier (TM) Sub Bab 5
 - 4 Hitung $CESA_5 = TM \times CESA_4$ dan gunakan untuk semua bagian lainnya dalam prosedur ini Sub Bab 5
 - 5 Tentukan seksi-seksi subgrade yang seragam dan daya dukung subgrade Sub Bab 8
 - 6 Tentukan struktur pondasi jalan Sub Bab 8
 - 7 Tentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat dari *Chart Desain 3* Sub Bab 9
 - 8 Periksa apakah setiap hasil perhitungan secara struktur sudah cukup kuat Pd T-01-2002-B⁶
 - 9 Tentukan standar drainase bawah permukaan yang harus dibuat Sub Bab 7
 - 10 Tetapkan ketentuan-ketentuan pendetailan daya dukung tepi Sub Bab 10
 - 11 Tetapkan ketentuan-ketentuan pengedapan (sealing) bahu jalan Sub Bab 10
- Ulangi langkah 7 sampai 12 untuk setiap seksi yang seragam

12. PROSEDUR DESAIN PERKERASAN KAKU

- 1 Umur rencana harus 40 tahun kecuali diperintahkan atau disetujui Sub Bab 2
- 2 Tentukan kelompok sumbu desain yang lewat (40 tahun) (pangkat⁴ tetapi lihat batasan yang diuraikan di dalam Sub Bab 9) LAMPIRAN 1
- 3 Tentukan daya dukung tanah dasar efektif Sub Bab 7
- 4 Tentukan struktur pondasi jalan dari *Chart Desain 2* Sub Bab 7

⁶ atau Desain Mekanistik (misalnya Austroads 2008)

- | | | |
|----|---|--------------|
| 5 | Tentukan lapisan drainase dan lapisan subbase dari <i>Chart Desain 4</i> | Sub Bab 8 |
| 6 | Tentukan jenis sambungan (biasanya dowel) | Sub Bab 10 |
| 7 | Tentukan jenis bahu jalan (biasanya bahu beton) | Sub Bab 10 |
| 8 | Hitung tebal lapisan base dari solusi yang diberikan dalam <i>Chart Desain 4</i> | Sub Bab 8 |
| 9 | Nyatakan rincian desain meliputi dimensi slab, penulangan slab, posisi anker, ketentuan sambungan dsb | Pd T-14-2003 |
| 10 | Tentukan ketentuan-ketentuan detail daya dukung tepi | Sub Bab 10 |

13. MUTU KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU DAN DETAIL DESAIN UNTUK MENCEGAH KERUSAKAN

13.1 Pemilihan Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku umumnya lebih murah daripada perkerasan lentur pada tingkat lalu lintas lebih dari 30 juta ESA. Beberapa keuntungan dari perkerasan kaku adalah :

- Struktur perkerasan lebih tipis kecuali untuk area tanah lunak yang membutuhkan struktur pondasi jalan lebih besar daripada perkerasan kaku
- Konstruksi dan pengendalian mutu yang lebih mudah untuk area perkotaan tertutup termasuk jalan dengan beban lebih kecil
- Biaya pemeliharaan lebih rendah jika dikonstruksi dengan baik : keuntungan signifikan untuk area perkotaan dengan LHRT tinggi
- Pembuatan campuran yang lebih mudah (contoh, tidak perlu pencucian pasir).

Kerugiannya antara lain :

- Biaya lebih tinggi untuk jalan dengan lalu lintas rendah
- Rentan terhadap retak jika dikonstruksi diatas tanah dasar lunak
- Umumnya memiliki kenyamanan berkendara yang lebih rendah.

Oleh karena itu, perkerasan kaku seharusnya digunakan untuk jalan dengan lalu lintas tinggi.

13.2 Kegagalan Perkerasan Kaku

Kegagalan dini yang menyebabkan biaya pemeliharaan yang signifikan menjadi suatu masalah serius. Detail desain yang lebih ditingkatkan dan khususnya standar konstruksi yang lebih ditingkatkan diperlukan untuk mengatasi masalah – masalah berikut:

Terkait desain:

- Dalam kondisi overloading
- Desain pondasi jalan yang buruk khususnya pada area tanah lunak
- Sambungan longitudinal ditempatkan pada jalur roda
- Erosi butiran halus melalui sambungan.

Terkait konstruksi:

- Pemadatan timbunan yang baru menyebabkan penurunan terkait retak
- Pelat beton memiliki kepadatan rendah akibat kegagalan menyediakan vibrasi yang cukup
- Alinemen dowel yang buruk yang menyebabkan ikatan sambungan dan retak transversal tengah pelat
- Durabilitas alur (groove) yang rendah akibat pemotongan alur manual dan permukaan yang kelebihan mortar (pelapisan permukaan (slurry) untuk memudahkan pemotongan alur)
- Kekuatan beton yang bervariasi akibat prosedur mutu yang buruk selama manufaktur
- Kualitas berkendara rendah.

Kehati-hatian sangat dibutuhkan dalam pendetailan desain khususnya untuk perkerasan kaku diatas tanah dasar lunak.

13.3 Standar Mutu Konstruksi

Semua permasalahan terkait konstruksi dapat dicegah dengan meningkatkan manajemen mutu konstruksi.

Permasalahan alinemen dowel yang buruk dapat diatasi dengan desain tanpa dowel. Namun, pilihan desain tanpa dowel menjadi tidak efektif biaya untuk kasus overloading tinggi yang membutuhkan peningkatan tebal pelat beton yang cukup signifikan. Pentingnya alinemen dowel yang benar tidak dapat terlalu ditekankan. Mis-alinemen yang relatif minor dapat menyebabkan sambungan terikat (joint binding) sehingga menyebabkan sambungan bekerja tidak sebagaimana yang diharapkan. Alinemen dowel yang benar membutuhkan kursi dowel yang dipabrikasi dengan benar untuk menspesifikasi toleransi alinemen. Kursi dowel harus dirakit mengikuti standar pabrik, bukan mengikuti standar yang umumnya disiapkan oleh perakitan lapangan. Kursi dowel harus cukup kuat agar tidak mengalami kerusakan selama pelaksanaan lapangan. Kursi dowel harus dipasang pada alinemen yang benar dan harus diikat ke lapis LMC untuk mencegah pergerakan selama penempatan beton. Karenanya lapis LMC dibutuhkan jika digunakan kursi dowel. Jika dowel dipasang dengan mesin, lapis LMC menjadi tidak diperlukan.

Pemadatan timbunan yang benar secara sederhana hanya membutuhkan kesesuaian dengan standar yang ditentukan.

Untuk mencapai kualitas berkendara yang baik dibutuhkan perataan (levelling) kawat pengendali acuan gelincir (slip form) atau acuan tepi (side form).

Dasar pelat harus divibrasi dengan cermat sepanjang lebarnya. Jembatan operator vibrator (platform bergerak) menjadi penting jika vibrator tangan digunakan untuk mencegah operator berdiri diatas beton basah.

Pelapisan slurry ke permukaan tidak diijinkan. Pemberian alur dengan mesin harus digunakan dibandingkan alur dengan tangan untuk membuat alur pada lapis permukaan yang lebih kaku, sehingga diperoleh durabilitas yang lebih tinggi.

Hal yang perlu dicatat adalah bahwa peningkatan dalam manajemen mutu konstruksi sudah sangat dibutuhkan.

13.4 Desain Perkerasan Kaku Untuk Mencegah Kegagalan

13.4.1 Overload

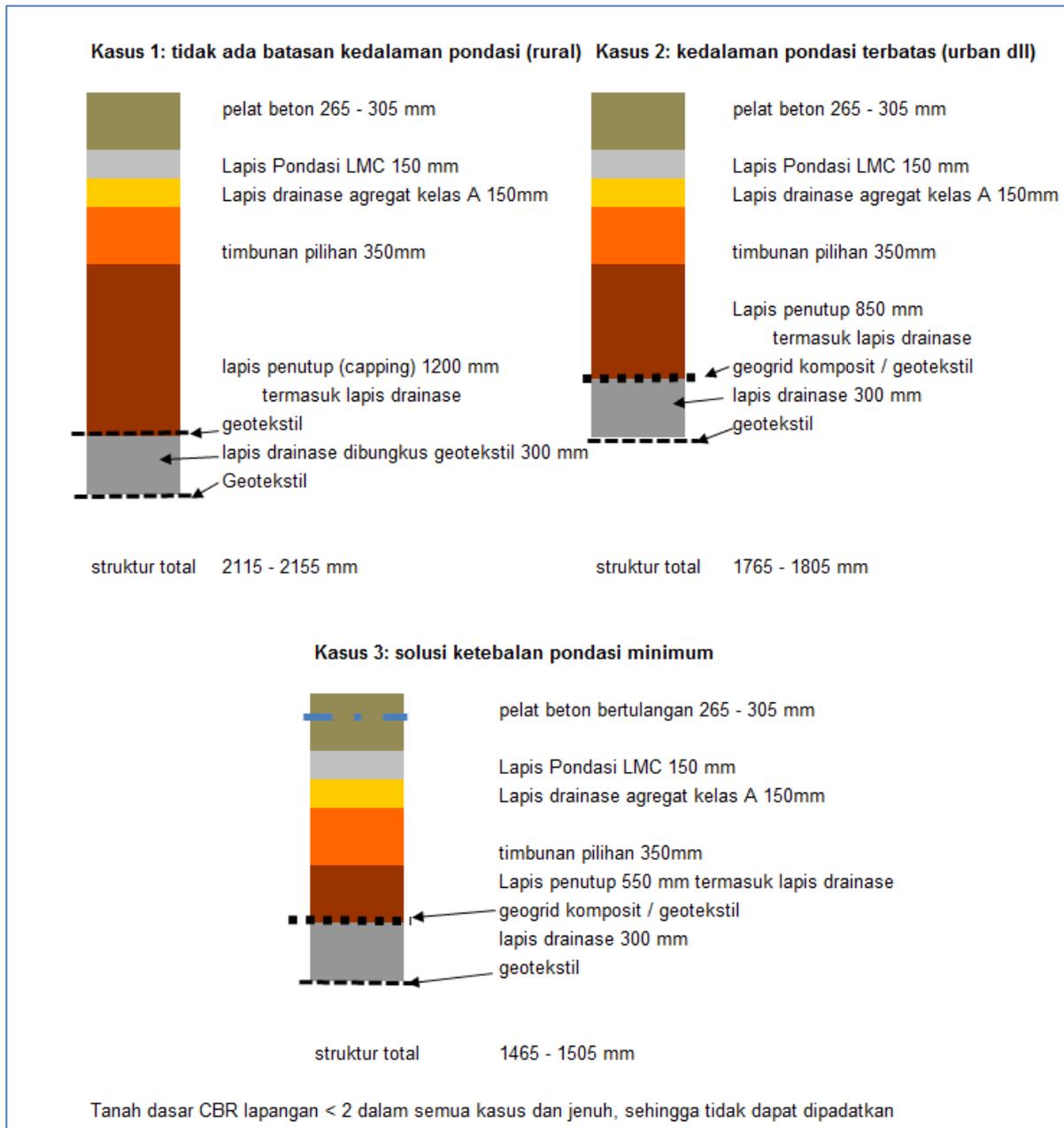
Desain tidak dapat dilakukan kecuali jika tersedia spektrum beban sumbu yang akurat. Lampiran I memberikan spektrum tipikal untuk arteri antar kota Jawa. Studi jembatan timbang harus dilakukan jika data yang handal tidak tersedia. Data WIM tidak dapat diandalkan untuk menentukan distribusi beban sumbu untuk desain perkerasan kaku untuk jalan Indonesia. Data WIM tidak memberikan akurasi yang cukup untuk kelompok sumbu yang sangat berlebih (*high overloaded*) yang memiliki pengaruh besar pada desain perkerasan kaku. Desain tebal pelat full base harus dilakukan untuk semua proyek besar. Perhitungan dengan spread sheet sesuai dengan Pd T-14-2003 dan dengan metode Austroads telah disiapkan (*disk teralmpir*). Solusi desain tidak boleh lebih tipis dari yang terdapat dalam Tabel 10 kecuali overloading tidak separah yang ditunjukkan dalam Lampiran 1 sehingga diperlukan penyesuaian.

13.4.2 Desain Pondasi jalan untuk Mengurangi Retak

Retak pada perkerasan kaku pada area tanah lunak disebabkan oleh penurunan tidak seragam (*differential settlement*) pondasi tanah lunak dan dari beban hidup yang menyebabkan lengkungan pada perkerasan. Investigasi dari enam perkerasan kaku di Jakarta yang mengalami kegagalan menemukan bahwa ke-enam perkerasan tersebut memiliki pondasi lebih lemah dengan CBR kurang dari 2,5% pada sekitar 1,5 meter dibawah permukaan perkerasan selama musim hujan. Karena itu struktur pondasi jalan setidaknya sama dengan yang ditunjukkan dalam Chart 1 atau dibutuhkan perkuatan pelat.

Pondasi jalan harus didesain sesuai dengan ketentuan dalam Chart 1. Jika tidak mungkin menyiapkan struktur pondasi jalan sesuai Lampiran 1 karena batasan level permukaan akhir atau alasan lainnya, tulangan pelat harus disediakan. Dalam beberapa kasus, geogrid dapat ditempatkan dibawah lapisan agregat kelas A yang dapat membuat pengurangan pada kebutuhan tebal pondasi jalan (Chart 2 dan Gambar 7).

Pada kasus ekstrim (contoh : tanah asli sebelum konstruksi lebih lunak dari CBR 2% sampai kedalaman lebih dari 2 – 2,5 meter dibawah permukaan tanah asli), harus disiapkan pelat diperkaku (*stiffened slab*) misal cakar ayam atau tulangan pancang mikro untuk pondasi timbunan (merujuk pada sub bab 8).



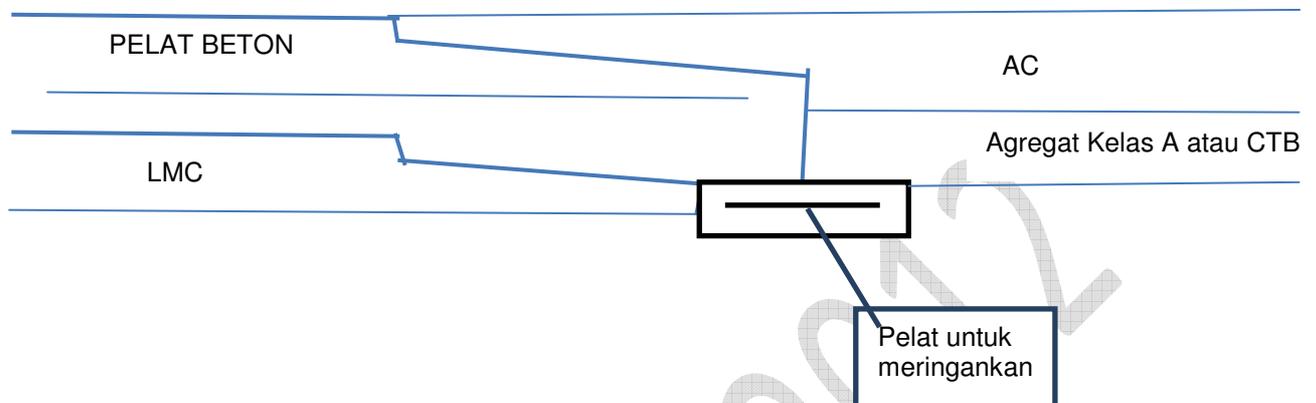
Gambar 8 Detail Pondasi jalan untuk Perkerasan Kaku diatas Tanah Lunak

13.4.3 Sambungan Longitudinal dengan Perkerasan Lentur

Sambungan longitudinal tidak boleh ditempatkan pada jalur roda. Pada perkerasan kaku tertentu pada area tanah lunak, pelebaran tidak dapat dibangun bersebelahan dengan perkerasan lentur karena kegagalan sambungan tidak dapat dihindari sebagai akibat dari geser yang muncul sebagai hasil perbedaan lendutan perkerasan yang besar sepanjang antarmuka sambungan.

13.4.4 Sambungan Transversal dengan Perkerasan Lentur

Pelat untuk meringankan harus disediakan dibawah tiap sambungan transversal antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Tujuan dari hal ini adalah untuk mengurangi geser yang dapat berkembang di antarmuka perkerasan kaku dan perkerasan lentur.



Gambar 9 Detail Tipikal Sambungan Transversal Perkerasan kaku/Perkerasan Lentur

13.4.5 Konstruksi Timbunan

Hal – hal yang dibutuhkan untuk menjamin timbunan yang stabil diantaranya pemadatan sesuai spesifikasi, pondasi terlindungi penuh, ketentuan drainase yang memadai termasuk kanalisasi aliran air kebawah slope, pertimbangan isu geoteknik dan material timbunan bermutu baik. Timbunan ini diharapkan tidak mengalami penurunan sampai ke batasan yang dapat menyebabkan keretakan pada perkerasan kaku. Setiap lapisan timbunan harus diperiksa oleh tim supervisi sebelum mengijinkan lapis berikutnya dihamparkan. Pemadat berat padfoot harus digunakan untuk pemadatan maksimum untuk keseluruhan tebal lapisan.

13.4.6 Konstruksi Bertahap

Perkerasan kaku tidak boleh dilanjutkan sampai tiap konstruksi timbunan terutama jika diatas tanah lunak mencapai kondisi konsolidasi sisa kurang dari 100 m. Alasan untuk hal ini adalah karena penurunan terkadang tidak seragam. Penurunan tak seragam (*differential settlement*), walaupun cukup kecil juga akan memicu retak. Jika waktu yang dibutuhkan tidak dapat dicapai, maka perkerasan lentur harus digunakan.

13.4.7 Penanganan Pendekat Jembatan

Kehati-hatian harus dilakukan pada pemadatan timbunan pendekat jembatan. Sangat bermanfaat untuk menyediakan seksi 50 m perkerasan lentur pada pendekat jembatan untuk mendapatkan perbaikan penurunan yang leih mudah. Seksi perkerasan lentur harus yang didesain untuk masa layan 40 tahun. Jika perkerasan kaku yang digunakan, seksi 50 meter awal harus bertulangan dan idealnya didesain dengan overlay. Jika penurunan muncul, overlay dapat digaruk sesuai kebutuhan dan di overlay ulang untuk menjaga bentuk tanpa mempengaruhi tampilan jalan.

13.4.8 Erosi Sambungan

Masalah ini akan menyebabkan rongga dibawah pelat yang dapat menyebabkan retaknya pelat jika tidak diperbaiki. Perbaikan akan membutuhkan pelapisan bawah pelat (mud jacking). Solusi desain bertahap meliputi :

- a) Ketentuan lapis pondasi (agregat kelas A) terdrainase sempurna yang dikonstruksi menerus ke bahu (day lighted) atau terhubung dengan sistem drainase bawah permukaan (saluran tepi). Tujuan hal ini adalah untuk meringankan tekanan pori dibawah pelat yang merupakan penyebab utama erosi sambungan. Fitur desain ini harus selalu disiapkan untuk daerah beriklim tropis.
- b) Geotekstil pada tanah asli / antarmuka timbunan jika tanah asli lempung jenuh atau lempung berlumpur. Hal ini untuk mencegah pemindahan butiran halus dari tanah asli ke timbunan. Jika pergerakan air tanah cukup signifikan atau pengembangan tekanan pori diharapkan terjadi akibat konsolidasi atau alasan lainnya (berlaku untuk timbunan diatas area alluvial jenuh atau sering jenuh), maka harus disiapkan lapis drainase dibungkus geotekstil 300 mm dibawah timbunan (lihat Gambar 8). Erosi dari butiran halus tanah asli ke permukaan telah diobservasi melewati perkerasan/tinggi timbunan 1,5 m.

13.4.9 Tahanan Tepi Pelat – Bahu Terikat

Bahu terikat mengurangi tegangan tepi perkerasan dan memberikan keuntungan tebal pelat jika metode desain perkerasan Pd T-14-2003, Portland Cement Institute atau Austraroads diaplikasikan dengan benar (lihat spread sheet excel prosedur desain struktur perkerasan kaku terlampir). Contoh pecah sudut dan retak memanjang akan meningkat jika bahu terikat tidak digunakan. Bahu terikat hanya dibutuhkan selebar 500 atau 600 mm untuk memenuhi aturan ini. Pilihan bahu terikat harus selalu berbiaya dan dalam banyak kasus ditemukan lebih ekonomis daripada solusi alternatif. Merujuk pada Gambar 8.

13.4.10 Tulangan Distribusi Retak Pelat

Pelat ujung dan pelat berbentuk tidak wajar harus diberi tulangan. Pelat berbentuk tidak wajar didefinisikan sebagai pelat yang tidak mendekati bentuk persegi dan pelat sempit. Semua perkerasan kaku yang tidak dapat memiliki struktur pondasi jalan sesuai Chart Desain 2 dan semua pelat diatas pelat diperkaku (stiffened slab) misal cakar ayam atau pancang peningkatan tanah dasar lainnya, harus diberi tulangan merujuk Gambar 8.

13.4.11 Jarak Sambungan Melintang

Jarak sambungan yang dikurangi jelas dapat mengurangi tegangan yang berkontribusi pada retak melintang tengah pelat dan mungkin solusi yang cukup dalam beberapa kasus dibandingkan memberi tulangan. Tegangan lengkung beban hidup dapat dikurangi pada area tanah lunak dengan mengurangi jarak sambungan dari 4,2 m menjadi 3 m. Untuk alasan ini, solusi ini mungkin bukan pilihan untuk jalan berkecepatan tinggi kecuali dikombinasi dengan overlay aspal. Program desain mekanistik dapat memberikan estimasi lengkung pelat dan juga tingkat tegangan.

13.5 Pertimbangan Desain Lapis Pondasi Bawah LMC

Peran lapis pondasi bawah LMC termasuk memberikan lantai kerja untuk lapis pondasi dan lantai kerja untuk mendukung dan mengikat kursi dowel yang ditempatkan manual. Karenanya LMC hanya dapat diabaikan dari desain perkerasan kaku jika :

- a) Agregat kelas A ditempatkan dengan mesin dikendalikan oleh kabel atau standard kendali level yang serupa
- b) Dowel ditempatkan dengan mesin ke toleransi yang tepat.

Alasan untuk kebutuhan ini adalah :

- a) Toleransi tepat penting untuk kendali tebal pelat
- b) Kursi dowel yang ditempatkan manual harus diikat ke lapis LMC. Kursi dowel tidak dapat diikat dengan baik ke lapis agregat kelas A.

14. PERENCANAAN BAHU JALAN

14.1 Tipe Bahu

Posisi bahu bersampingan dengan perkerasan lentur atau kaku, dan dikonstruksi dari beberapa jenis material tergantung pada lalu lintas dan penggunaan bahu. Bahu tanah disiapkan untuk area dengan pemanfaatan bahu minimal. Bahu stabilisasi agregat dan bahu diperkeras (aspal atau beton) umum digunakan untuk area lainnya.

- a. Bahu Tanah
Jika bahu tanah direkomendasikan, maka perlu diperhatikan pemilihan tanah yang akan digunakan dengan karakteristik kembang susut cukup rendah dan yang relatif tidak kedap. Tanah plastis dan dengan perubahan volume tinggi harus dihindari karena akan menyebabkan retak susut yang lebar sepanjang tepi perkerasan. Secara umum, tanah dengan indeks plastisitas kurang dari 25, dan karakteristik perubahan volume kurang dari 45% akan memberikan hasil yang memuaskan.
- b. Bahu Stabilisasi
Bahu stabilisasi agregat dan bahu diperkeras memberikan perkerasan yang lebih aman untuk mengakomodasi kendaraan untuk alasan darurat atau lainnya. Bahu diperkeras merupakan bagian tak terpisahkan dari struktur perkerasan dan dipertimbangkan sebagai konfigurasi desain perkerasan.

14.2 Pemilihan Bahu

Pemilihan tipe bahu merupakan fungsi dari lalu lintas, sebagaimana dalam Tabel 16.

Tabel 16 Pemilihan Bahu

| LL EKIVALEN (10^6 ESA_4) | LHR | BAHU DISARANKAN |
|-----------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| > 100 | | Bahu diperkeras |
| 25 - 100 | | Bahu diperkeras |
| < 25 | 400 | Bahu tanah |
| | 400 – 750 | Bahu stabilisasi agregat tebal 75 mm |
| | 750 – 1700 | Bahu stabilisasi agregat tebal 150 mm |
| | 1700 – 3500 | Bahu stabilisasi agregat |

| LL EKIVALEN (10^6 ESA ₄) | LHR | BAHU DISARANKAN |
|--|----------|---|
| | | Tebal 200 mm |
| | >3500 | Bahu diperkeras Material dan tebal sama dengan perkerasan |
| URBAN | < 20.000 | Bahu tanah atau stabilisasi agregat |
| | > 20.000 | Bahu diperkeras |

Draft 6 Juni 2012

LAMPIRAN 1

Distribusi Proporsi Beban Untuk Kelompok Sumbu Karakteristik

TERMASUK BUS – Halaman 1 dari 2

| Beban kelompok Sumbu (kN) | Jenis Kelompok Sumbu | | | | |
|---------------------------|---|------|-------|-------|-------|
| | STRT | STRG | STdRT | STdRG | STrRG |
| | Kelompok sumbu sebagai persen dari kendaraan niaga | | | | |
| 10 - 20 | 7.6 | | | | |
| 20 - 30 | 16.5 | 0.2 | | | |
| 30 - 40 | 18.4 | 0.5 | | | |
| 40 - 50 | 11.8 | 1.1 | | | |
| 50 - 60 | 19.0 | 2.2 | | | |
| 60 - 70 | 7.6 | 4.9 | | | |
| 70 - 80 | 10.2 | 7.4 | | | |
| 80 - 90 | 0.7 | 6.9 | | | |
| 90 - 100 | 1.1 | 2.6 | | | |
| 100 - 110 | | 1.8 | 1.8 | | |
| 110 - 120 | | 1.6 | | 0.3 | |
| 120 - 130 | | 3.0 | | 0.1 | |
| 130 - 140 | | 3.3 | 1.8 | 0.4 | |
| 140 - 150 | | 1.5 | 1.8 | 0.7 | |
| 150 - 160 | | 0.3 | 1.8 | 1.0 | |
| 160 - 170 | | 3.6 | | 1.1 | |
| 170 - 180 | | 0.1 | | 1.1 | |
| 180 - 190 | | | | 0.5 | |
| 190 - 200 | | | | 1.6 | |
| 200 - 210 | | 0.4 | | 2.7 | 0.13 |
| 210 - 220 | | 2.4 | | 0.8 | |
| 220 - 230 | | 0.1 | | 1.0 | |
| 230 - 240 | | 0.1 | | 0.9 | |
| 240 - 250 | | | | 0.7 | |
| 250 - 260 | | | | 0.3 | |
| 260 - 270 | | | | 1.9 | |
| 270 - 280 | | | | 1.0 | |
| 280 - 290 | | | | 1.2 | |
| 290 - 300 | | | | 0.1 | |
| 300 - 310 | | | | | |
| 310 - 320 | | | | 0.7 | 0.13 |
| 320 - 330 | | | | 0.4 | 0.13 |
| 330 - 340 | | | | | |

| Beban kelompok Sumbu | Jenis Kelompok Sumbu | | | | |
|-----------------------|--|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | STRT | STRG | STdRT | STdRG | STrRG |
| (kN) | Kelompok sumbu sebagai persen dari kendaraan niaga | | | | |
| 340 - 350 | | | | | |
| 350 - 360 | | | | 0.4 | |
| 360 - 370 | | | | | |
| 370 - 380 | | | | 0.9 | 0.13 |
| 380 - 390 | | | | 0.4 | |
| 390 - 400 | | | | | 0.26 |
| 400 - 410 | | | | | 0.26 |
| 410 - 420 | | | | | 0.13 |
| 420 - 430 | | | | | |
| 430 - 440 | | | | | |
| 440 - 450 | | | | | 0.40 |
| 450 - 460 | | | | | 0.13 |
| 460 - 470 | | | | | |
| 470 - 480 | | | | | 0.13 |
| 480 - 490 | | | | | |
| 490 - 500 | | | | | |
| 500 - 510 | | | | | |
| 510 - 520 | | | | | 0.13 |
| 520 - 530 | | | | | |
| 530 - 540 | | | | | |
| 540 - 550 | | | | | |
| 550 - 560 | | | | | 0.13 |
| Proporsi Sumbu | 55.8% | 26.4% | 4.3% | 12.2% | 1.3% |

Catatan:

Berlaku untuk perhitungan desain ketebalan pelat perkerasan kaku.

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

Catatan :

STRT : Sumbu tunggal roda tunggal

STRG :Sumbu tunggal roda ganda

STdRT : Sumbu tandem roda tunggal

STdRT : Sumbu tandem roda ganda

STrRG : Sumbu tridem roda ganda

LAMPIRAN 2

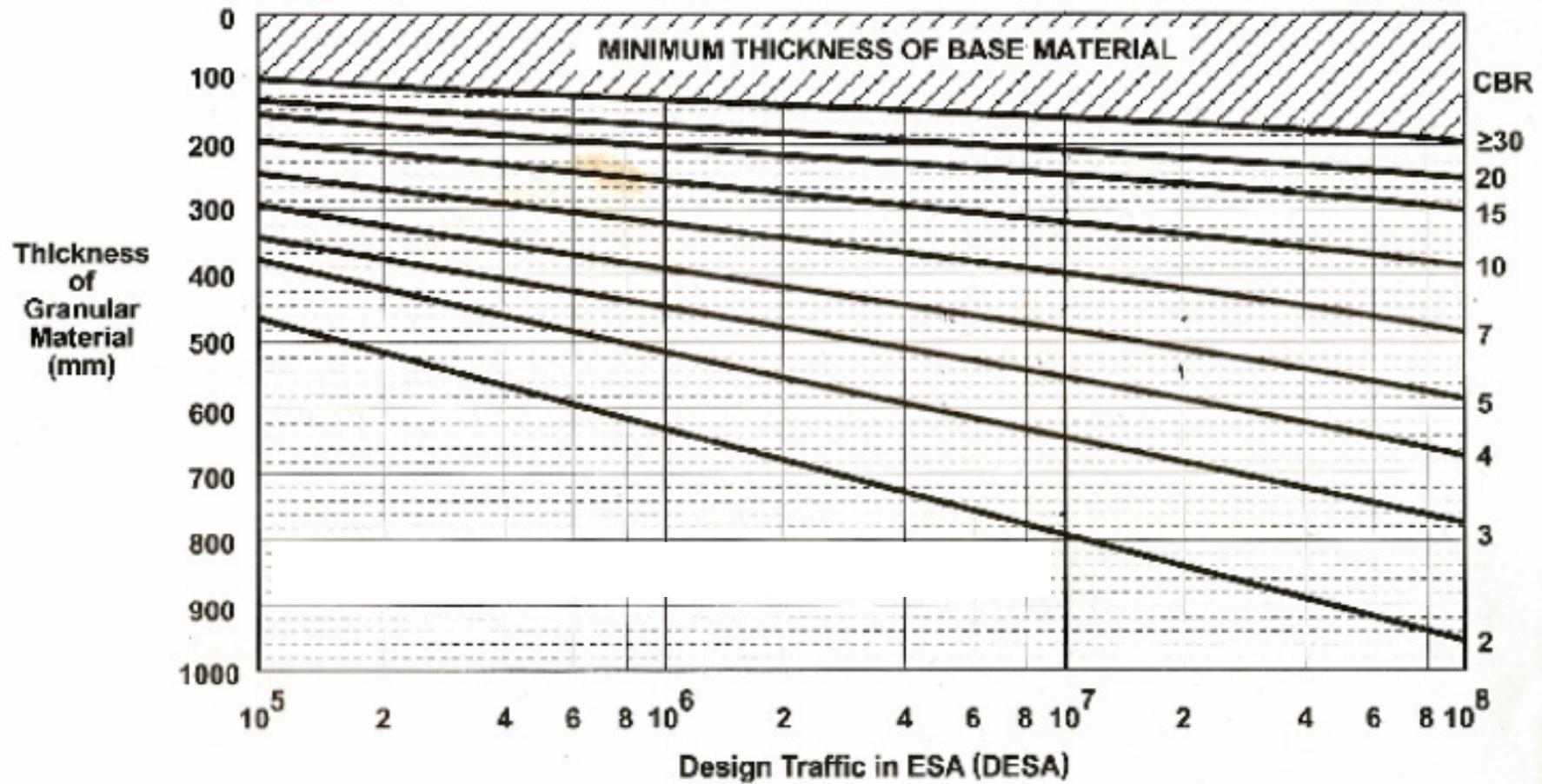
Penghitung Faktor Ekvivalen Beban (VDF) Kelompok Kendaraan Niaga

FAKTOR EKIVALENSI BEBAN – (disk terlampir)

| Jenis Kendaraan | | | Uraian kendaraan | Barang yang diangkut | Faktor ekivalensi beban (VDF = ESA / kendaraan) | | DATA PEKERJAAN | | |
|---|------------------|------------|--|----------------------|--|----------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Klasifikasi Lama | Alternatif | | | Pangkat ₄ | Pangkat ₅ | LHRT per jenis kendaraan | Hitungan VDF ₅ * LHRT | Hitungan VDF ₅ * AADT |
| KENDARAAN NIAGA | 5a | 5a | Bus Kecil | | 0.3 | 0.2 | | 0 | 0 |
| | 5b | 5b | Bus Besar | | 1 | 1 | | 0 | 0 |
| | 6a.1 | 6.1 | Truk 2 sumbu - ringan | umum | 0.3 | 0.2 | | 0 | 0 |
| | 6a.2 | 6.2 | Truk 2 sumbu- ringan kargo | tanah, pasir, baja | 0.8 | 0.8 | | 0 | 0 |
| | 6b1.1 | 7.1 | Truk 2 sumbu - medium | umum | 0.7 | 0.7 | | 0 | 0 |
| | 6b1.2 | 7.2 | Truk 2 sumbu - medium kargo | tanah, pasir, baja | 1.6 | 1.7 | | 0 | 0 |
| | 6b2.1 | 8.1 | Truk 2 sumbu - berat | umum | 0.9 | 0.8 | | 0 | 0 |
| | 6b2.2 | 8.2 | Truk 2 sumbu- berat kargo | tanah, pasir, baja | 7.3 | 11.2 | | 0 | 0 |
| | 7a1 | 9.1 | Truk 3 sumbu | umum | 7.6 | 11.2 | | 0 | 0 |
| | 7a2 | 9.2 | Truk 3 sumbu kargo | tanah, pasir, baja | 28.1 | 64.4 | | 0 | 0 |
| | 7a3 | 9.3 | Truk 3 sumbusumbu kendali ganda | umum | 28.9 | 62.2 | | 0 | 0 |
| | 7b | 10 | Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu | umum | 36.9 | 90.4 | | 0 | 0 |
| | 7c1 | 11 | Truk 4 sumbu - trailer | umum | 13.6 | 24 | | 0 | 0 |
| | 7c2.1 | 12 | Truk 5 sumbu - trailer | umum | 19 | 33.2 | | 0 | 0 |
| | 7c2.2 | 13 | Truk 5 sumbu - trailer | umum | 30.3 | 69.7 | | 0 | 0 |
| | 7c3 | 14 | Truk 6 sumbu- trailer | umum | 41.6 | 93.7 | | 0 | 0 |
| TRAFFIC MULTIPLIER UNTUK JALAN 2 LAJUR YANG DIGUNAKAN DALAM DESAIN PERKERASAN | | | | | ESA / hari pada hari survey lain | | | | |
| | | | | | TM _{asphalt} | | | | |

LAMPIRAN 3

CHART DESAIN UNTUK SOLUSI ALTERNATIF UNTUK PERKERASAN BERBUTIR DENGAN LAPIS PERMUKAAN ASPAL TIPIS (SBST, DBST, HRS dan Soil Cement)



(after Austroads 2008)

Draft 6 Juni 2012