

SURAT KETERANGAN
No. 006 - Perpust TDI/UNTAR/VIII/2020

Kepala Perpustakaan Teknik, Desain dan Informatika Universitas Tarumanagara menerangkan bahwa buku dengan Judul:

Panduan Penggunaan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Bina Marga 2017, Agustus 2020

Oleh : Ir. Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini, M.T. dan Ir. Jemy Wijaya, M.T.
Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara

Disimpan sebagai Koleksi Perpustakaan TDI Universitas Tarumanagara Jakarta.
Demikian Surat Keterangan ini dibuat, agar dapat digunakan sesuai dengan keperluannya.

Jakarta, 14 Agustus 2020

Kepala Perpustakaan,



Dr. Harsiti, M.Si.

SURAT - TUGAS

Nomor: 767-D/3318/FT-UNTAR/VIII/2020

Dekan Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, dengan ini menugaskan kepada Saudara:

- 1. Ir. Ni Luh Putu Shinta E.S, M.T.**
- 2. Ir. Jemy Wijaya, M.T.**

Untuk melaksanakan kegiatan **Pengabdian Kepada Masyarakat** dengan data sebagai berikut:

Judul : Panduan Penggunaan Pedoman Perencanaan Tebal
Perkerasan Jalan Lentur Bina Marga 2017
Waktu Pelaksanaan : April 2020 – Juli 2020
Biaya : Rp. 500.000,-

Demikian Surat Tugas ini dibuat, untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan melaporkan hasil penugasan tersebut kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara.

17 Agustus 2020

Dekan



Harto Tanujaya, S.T., M.T., Ph.D.

Tembusan:

1. Kaprodi. Sarjana Teknik Sipil
2. Kasubag. Personalia
3. Arsip

PROGRAM STUDI :

- Sarjana Arsitektur, Magister Arsitektur, Sarjana Perencanaan Wilayah dan Kota, Magister Perencanaan Wilayah dan Kota
- Sarjana Teknik Sipil, Magister Teknik Sipil, Doktor Teknik Sipil
- Sarjana Teknik Mesin, Sarjana Teknik Industri, Sarjana Teknik Elektro

Jl. Letjen. S. Parman No.1 - Jakarta 11440

P : (021) 5663124 - 5672548 - 5638335

MPWK : (021) 56967322, MTS : (021) 5655801 - 5655802, DTS : (021) 56967015 - 5645907

F : (021) 5663277, MTS : (021) 5655805, MPWK : (021) 5645956

E : ft@untar.ac.id

www.untar.ac.id

**PANDUAN PENGGUNAAN PEDOMAN PERENCANAAN TEBAL
PERKERASAN JALAN LENTUR BINA MARGA 2017**



Oleh

Ir. Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini, M.T.

NIDN 03033116302

Ir. Jemy Wijaya, M.T.

NIDN 0320015703

PROGARAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TARUMANAGARA

AGUSTUS, 2020



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. Ruang Lingkup.....	7
II. ACUAN.....	7
III. ISTILAH DAN DEFINISI.....	7
3.1 Angka Ekvivalen Beban Gandar Sumbu Kendaraan (E).....	7
3.2 Indeks Permukaan (IP).....	7
3.3 Struktual Number (SN).....	8
3.4 Koefisien Drainase.....	8
3.5 Lajur Rencana.....	8
3.6 Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG).....	8
3.7 Lapis Beton Aspal (LASTON).....	8
3.8 Lapis Penetrasi Makadam (LAPEN).....	8
3.9 Lapis Permukaan.....	8
3.10 Lapis Pondasi.....	9
3.11 Lapis Pondasi Bawah.....	9
3.12 Reliability.....	9
3.13 Tanah Dasar.....	9
3.14 Umur Rencana (UR).....	9
3.15 Falling Weight Deflectometer (FWD).....	9
IV. UMUR RENCANA.....	10
V. Lalu Lintas.....	11

5.1	<i>Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i)</i>	11
5.2	<i>Lalu Lintas Pada Lajur Rencana</i>	12
5.3	<i>Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)</i>	12
5.4	<i>Beban Sumbu Standar Kumulatif</i>	14
5.5	<i>Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah</i>	14
VI.	<i>Pemilihan Struktur Perkerasan</i>	15
VII.	<i>Fondasi Jalan</i>	16
7.1	<i>Pengukuran daya dukung dengan DCP (Dynamic Cone Penetration Test)</i> 16	
7.2	<i>CBR Desain Tanah Dasar</i>	17
7.3	<i>CBR Rencana Untuk Stabilisasi Tanah Dasar</i>	18
7.4	<i>Penentuan Tebal Lapisan Perkerasan</i>	19
VIII.	<i>Contoh Aplikasi 1</i>	20
8.1	<i>Cek Umur Rencana (UR) Minimum</i>	22
8.2	<i>Tentukan Pertumbuhan Lalu Lintas (i)</i>	22
8.3	<i>Hitung LHR</i>	23
8.4	<i>Hitung R</i>	23
8.5	<i>Tentukan DL dan DD</i>	24
8.6	<i>Tentukan Nilai VDF</i>	24
8.7	<i>Hitung Nilai ESA</i>	24
8.8	<i>Hitung ESA 5</i>	25
8.9	<i>Menentukan Tipe Perkerasan</i>	25
8.10	<i>Hitung Nilai CBR</i>	26
8.11	<i>Tentukan Tebal Lapisan Perkerasan</i>	27
8.12	<i>Kesimpulan Tebal Lapisan Perkerasan</i>	28
IX.	<i>Contoh Aplikasi 2</i>	28

9.1	<i>Cek Umur Rencana (UR) Minimum</i>	29
9.2	<i>Tentukan Pertumbuhan Lalu Lintas (i)</i>	29
9.3	<i>Hitung LHR</i>	30
9.4	<i>Hitung R</i>	30
9.5	<i>Tentukan DL dan DD</i>	30
9.6	<i>Tentukan Nilai VDF</i>	31
9.7	<i>Hitung Nilai ESA</i>	31
9.8	<i>Hitung ESA 5</i>	31
9.9	<i>Menentukan Tipe Perkerasan</i>	32
9.10	<i>Hitung Nilai CBR</i>	33
9.11	<i>Tentukan Tebal Lapisan Perkerasan</i>	33
9.12	<i>Ilustrasi Perkerasan</i>	34
X.	<i>Contoh Aplikasi 3</i>	35
10.1	<i>Cek Umur Rencana (UR) Minimum</i>	35
10.2	<i>Tentukan Pertumbuhan Lalu Lintas (i)</i>	36
10.3	<i>Hitung LHR</i>	36
10.4	<i>Hitung R</i>	36
10.5	<i>Tentukan DL dan DD</i>	37
10.6	<i>Tentukan Nilai VDF</i>	37
10.7	<i>Hitung Nilai ESA</i>	37
10.8	<i>Hitung ESA 5</i>	38
10.9	<i>Menentukan Tipe Perkerasan</i>	39
10.10	<i>Hitung Nilai CBR</i>	40
10.11	<i>Tentukan Tebal Lapisan Perkerasan</i>	40
10.12	<i>Ilustrasi Perkerasan</i>	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Faktor Distribusi Lajur (DL).....	11
Tabel 2. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga.....	12
Tabel 3. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga.....	13
Tabel 4. Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah.....	14
Tabel 5. Faktor Penyesuaian Modulud Tanah Dasar Terhadap Kondisi Musim.....	15
Tabel 6. Indikasi Perkiraan Nilai CBR.....	16
Tabel 7. Desain Pondasi Jalan Minimum.....	17
Tabel 8. Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB.....	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tipikal Susunan Lapis Perkerasan Lentur.....	9
Gambar 2. Tabulasi Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR).....	9
Gambar 3. Rumus Menghitung ESA Berdasarkan Keterangan.....	13
Gambar 4. Tabulasi Pemilihan Jenis Perkerasan.....	14
Gambar 5. Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik.....	18
Gambar 6. Konfigurasi Sumbu Kendaraan.....	20

I. Ruang Lingkup

Pedoman perencanaan perkerasan lentur tahun 2017 meliputi ketentuan umum perencanaan, uraian deskripsi, ketentuan teknis perencanaan, metode perencanaan dan contoh - contoh perhitungan dari pedoman. Untuk merencanakan tebal perkerasan dengan metode ini berlaku untuk perkerasan lentur dengan konstruksi mempergunakan material bergradasi lepas (granular material dan batu pecah) serta bahan berpengikat aspal.

Petunjuk perencanaan ini digunakan untuk: perencanaan perkerasan jalan baru, perencanaan pelapisan tambahan (*overlay*), dan perencanaan konstruksi bertahap (*Stage Construction*). Dalam menggunakan pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur ini, penilaian terhadap kekuatan perkerasan jalan yang ada harus terlebih dahulu meneliti dan mempelajari hasil- hasil pengujian di laboratorial dan lapangan. Penilaian ini sepenuhnya tanggung jawab perencana, sesuai dengan kondisi setempat dan pengalamannya.

Cara-cara perencanaan tebal perkerasan, selain yang diuraikan dalam pedoman ini dapat juga digunakan, dengan syarat dapat dipertanggungjawabkan berdasarkan hasil- hasil pengujian para ahli

II. ACUAN

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

III. ISTILAH DAN DEFINISI

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini sebagai berikut:

3.1 Angka Ekuivalen Beban Gandar Sumbu Kendaraan (E)

Angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh lintasan beban gandar sumbu tunggal kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton

(18.000 lb).

3.2 Indeks Permukaan (IP)

Angka yang dipergunakan untuk menyatakan ketidakrataan dan kekokohan permukaan jalan yang berhubungan dengan tingkat pelayanan bagi lalu-lintas yang lewat.

3.3 Struktual *Number* (SN)

Indeks yang diturunkan dari analisis lalu-lintas, kondisi tanah dasar, dan lingkungan yang dapat dikonversi menjadi tebal lapis perkerasan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang sesuai untuk tiap-tiap jenis material masing-masing lapis struktur perkerasan.

3.4 Koefisien Drainase

Faktor yang digunakan untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif sebagai fungsi yang menyatakan seberapa baiknya struktur perkerasan dapat mengatasi pengaruh negatif masuknya air ke dalam struktur perkerasan.

3.5 Lajur Rencana

Salah Satu lajur lalu lintas dari sistem jalan raya yang menampung lalu- lintas terbesar. Umumnya lajur rencana adalah salah salah lajur dari jalan raya dua lajur atau bagian tepi luar dari jalan raya yang berlajur banyak.

3.6 Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG)

Campuran yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan peremaja, dan *filler* (bila diperlukan) yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan secara dingin.

3.7 Lapis Beton Aspal (LASTON)

Lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal keras yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

3.8 Lapis Penetrasi Makadam (LAPEN)

Lapis perkerasan yang terdiri atas agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal keras dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis dan jika digunakan

sebagai lapis permukaan perlu diberi laburan aspal dengan batu penutup.

3.9 Lapis Permukaan

Bagian perkerasan paling atas yang mengalami kontak langsung dengan roda kendaraan yang membebani jalan tersebut.

3.10 Lapis Pondasi

Bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

3.11 Lapis Pondasi Bawah

Bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

3.12 Reliability

Kemungkinan (*probability*) bahwa jenis kerusakan tertentu atau kombinasi jenis kerusakan pada struktur perkerasan akan tetap lebih rendah atau dalam rentang yang diijinkan selama umur rencana.

3.13 Tanah Dasar

Permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

3.14 Umur Rencana (UR)

Jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru.

3.15 Falling Weight Deflectometer (FWD)

Alat untuk mengukur kekuatan struktur perkerasan jalan yang bersifat non-destruktif. Struktur perkerasan lentur, umumnya terdiri atas: pondasi bawah (*subbase source*), lapis pondasi (*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*). Sedangkan susunan lapis perkerasan adalah seperti diperlihatkan pada gambar 1.

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



2. Perkerasan Lentur pada Timbunan



3. Perkerasan Lentur pada Galian



Gambar 1. Tipikal Susunan Lapis Perkerasan Lentur

IV. UMUR RENCANA

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

Catatan :

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

Gambar 2. Tabulasi Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

V. Lalu Lintas

5.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata – rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4.8	4.83	5.14	4.75
Kolektor Rural	3.5	3.5	3.5	3.5
Jalan Desa	1	1	1	1

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

$$R = \frac{(1+0.01 i1)^{UR}-1}{0.01 i} \dots\dots\dots(1)$$

- Dengan: R = Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumulatif
i = Laju Pertumbuhan Lalu Lintas Tahunan (%)
UR = Umur Rencana (Tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan i1% selama periode awal (UR1 tahun) dan i2% selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut:

$$R = \frac{(1+0.01 i1)^{UR1}-1}{0.01 i1} + (1+0.01i1)^{(UR1-1)}(1 + 0.01i2)\left\{\frac{(1+0.01i2)^{(UR-UR1)}-1}{0.01i2}\right\} \dots\dots(2)$$

- Dengan: R = Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumulatif
i1 = Laju Pertumbuhan Tahunan Lalu Lintas Periode 1 (%)
i2 = Laju Pertumbuhan Tahunan Lalu Lintas Periode 2 (%)
UR = Total Umur Rencana (Tahun)
UR1 = Umur Rencana Periode 1 (Tahun)

Formula di atas digunakan untuk periode rasio volume kapasitas (RVK) yang belum mencapai tingkat kejenuhan ($RVK \leq 0.85$). Apabila kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+0.01i)^Q - 1}{0.01 i} + (UR-Q)(1+0.01 i)^{(Q-1)} \dots\dots\dots(3)$$

5.2 Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

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

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

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

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

Tabel 1. Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga Pada Lajur Desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

5.3 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis

struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana.

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

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

Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada tabel 2. dan tabel 3. dapat digunakan untuk menghitung ESA.

Tabel 2. menunjukkan nilai VDF regional masing-masing jenis kendaraan niaga yang diolah dari data studi WIM yang dilakukan Ditjen Bina Marga pada tahun 2012 – 2013. Data tersebut perlu diperbarui secara berkala sekurang-kurangnya setiap 5 tahun.

Apabila survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga, dapat digunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan menurut tabel 3.

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

Tabel 2. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga

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

Tabel 3. Nilai VDF Masing – masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Klasifikasi Lama	Alternatif	Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan ² yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)		
							Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5	
KENDARAAN NIAGA	1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan ² yang diangkut	2	30,4				
	2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3			
	5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2	
	5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0	
	6a.1	6.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1		muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
	6a.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2		tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
	6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2		muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
	6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2		tanah, pasir, besi, semen	2	-	-	1,6	1,7
	6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2		muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
	6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2		tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
	7a1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22		muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
	7a2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22		tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
	7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		Muatan ² yang diangkut	3	0,1	0,10	28,9	62,2
	7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2			4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22	4	0,3		0,50	13,6	24,0		
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222	5	0,7		1,00	19,0	33,2		
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222	5				30,3	69,7		
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222	6	0,3		0,50	41,6	93,7		

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

5.4 Beban Sumbu Standar Kumulatif

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

Menggunakan VDF masing-masing kendaraan niaga

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

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

Gambar 3. Rumus Menghitung ESA Berdasarkan Keterangan

5.5 Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah

Pada daerah dengan lalu lintas rendah, jika data lalu lintas tidak tersedia atau diperkirakan terlalu rendah maka Tabel 4. dapat digunakan:

Tabel 4. Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Lalu Lintas Rendah

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

VI. Pemilihan Struktur Perkerasan

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

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

Catatan:

Tingkat kesulitan:

1 - kontraktor kecil – medium;

2 - kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;

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

Gambar 4. Tabulasi Pemilihan Jenis Perkerasan

VII. Fondasi Jalan

7.1 Pengukuran daya dukung dengan DCP (*Dynamic Cone Penetration Test*)

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

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

harus diperhitungkan dalam desain. Untuk keamanan, dalam proses desain harus diasumsikan bahwa lapisan tersebut jenuh selama musim penghujan.

Tabel 5. Faktor Penyesuaian Modulud Tanah Dasar Terhadap Kondisi Musim

Musim	Faktor Penyesuaian Minimum Nilai CBR Berdasarkan Pengujian DCP
Musim Hujan dan Tanah Jenuh	0.9
Masa Transisi	0.8
Musim Kemarau	0.7

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

Tabel 6. Indikasi Perkiraan Nilai CBR

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

* LAP: Level Akhir Permukaan
 ** Lihat zona iklim Lampiran B

7.2 CBR Desain Tanah Dasar

a. Metode Distribusi Normal Standar

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

CBR karakteristik = CBR rata-rata – f x deviasi standar

- $f = 1,645$ (probabilitas 95%), untuk jalan tol atau jalan bebas hambatan.
- $f = 1,282$ (probabilitas 90%) untuk jalan kolektor dan arteri.
- $f = 0.842$ (probabilitas 80%), untuk jalan lokal dan jalan kecil.
- Koefisien variasi (CV) maksimum dari data CBR untuk suatu segmen tidak lebih besar dari 25%. Koefisien variasi sampai dengan 30% masih boleh digunakan.
- Apabila jumlah data per segmen kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

b. Metode Persentil

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

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

7.3 CBR Rencana Untuk Stabilisasi Tanah Dasar

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

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

- a. daya dukung rendaman 4 hari dari material yang distabilisasi;
- b. empat kali daya dukung tanah asal sebelum distabilisasi;

c. daya dukung yang diperoleh dari formula berikut:

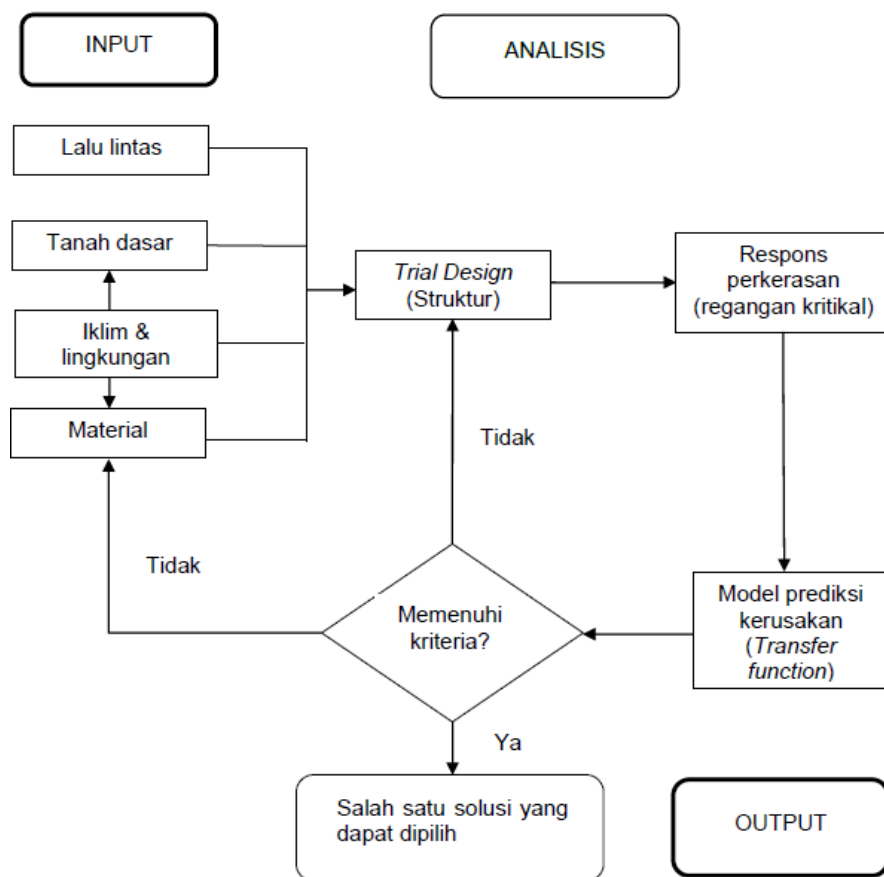
$$CBR_{\text{Stabilisasi}} = CBR_{\text{Tanah Asli}} \times 2^{\left(\frac{\text{Tebal Lapis Stabilisasi Dalam mm}}{150}\right)} \dots\dots\dots(3)$$

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

Tabel 7. Desain Pondasi Jalan Minimum

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

- (1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritikal; syarat tambahan mungkin berlaku.
- (2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.
- (3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.
- (4) Permukaan lapis penopang di atas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2.5%, dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh: untuk lalu lintas rencana > 4 jt ESA, tanah SG1 memerlukan lapis penopang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu ditambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.
- (5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.



Gambar 5. Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik

7.4 Penentuan Tebal Lapisan Perkerasan

Tabel 8. Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3 C				
	Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³				
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA _s)	> 10 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Catatan:



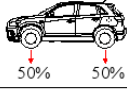
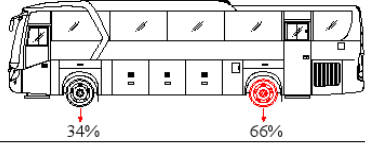
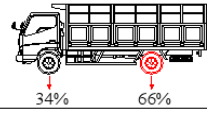
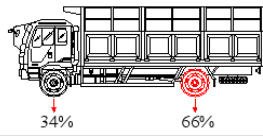
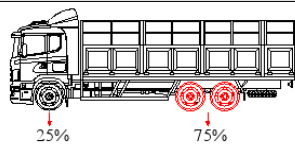
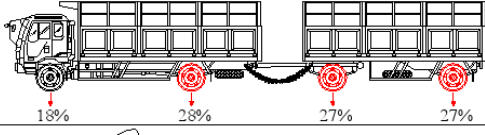
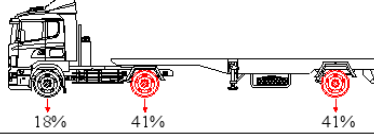
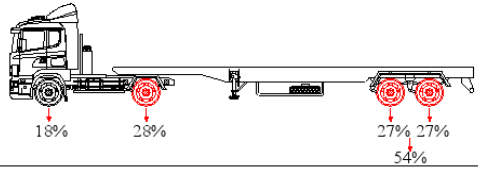
1. Ketentuan-ketentuan struktur Fondasi Bagan Desain - 2 berlaku.
2. CTB mungkin tidak ekonomis untuk jalan dengan beban lalu lintas < 10 juta ESA5. Rujuk Bagan Desain - 3A, 3B dan 3C sebagai alternatif.
3. Pilih Bagan Desain - 4 untuk solusi perkerasan kaku dengan pertimbangan *life cycle cost* yang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

VIII. Contoh Aplikasi 1

Diketahui:

- Lokasi Proyek = Sumatera
- Status / Fungsi Jalan = Jalan Nasional / Kolektor Rural
- Jumlah Lajur / Kelas Jalan = 1 Lajur 2 Arah / Kelas IIIA
- Jenis Perkerasan = Perkerasan Lentur
- Elemen Perkerasan = Lapisan Aspal dan Lapisan Berbutir
- Umur Rencana (UR) = 30 Tahun
- Komposisi Lalu Lintas:

■ Sedan, Jeep	= 7428 Kendaraan
■ Angkor, Combi	= 6007 Kendaraan
■ Pickup	= 4308 Kendaraan
■ Bus Kecil	= 721 Kendaraan
■ Bus Besar	= 109 Kendaraan
■ Truk 2 Sumbu (4 Roda)	= 935 Kendaraan
■ Truk 2 Sumbu (6 Roda)	= 688 Kendaraan
■ Truk 3 Sumbu (10 Roda)	= 556 Kendaraan
■ Truk Gandengan	= 56 Kendaraan
■ Truk Trailer 4 Sumbu	= 67 Kendaraan

KONFIGURASI BEBAN SUMBU						
KONFIGURASI SUMBU DAN TPE	BERAT KOSONG (TON)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (TON)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (TON)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	 Roda Tunggal pada Ujung Sumbu  Roda Ganda pada Ujung Sumbu
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2 + 2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	

Gambar 6. Konfigurasi Sumbu Kendaraan

- CBR Tanah Dasar = 4%
- CBR Segmen 1:

NO.	STA	NILAI CBR (%)
1	0+600	25.6
2	0+800	15.4
3	1+000	25.0
4	1+200	14.6
5	1+400	24.4

(Sumber : Satuan Kerja Pelaksanaan PJJN Provinsi

Sumatera Barat)

8.1 Cek Umur Rencana (UR) Minimum

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

8.2 Tentukan Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

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

8.3 Hitung LHR

$$LHR = LHRJK \times (1 + i)^n$$

- Sedan, Jep = $7428 \times (1+3.5)^{30}$
= 20848.86 Kendaraan / hari
- Angkot, Combi = $6007 \times (1+3.5)^{30}$
= 16860.41 Kendaraan / hari
- Pickup = $4308 \times (1+3.5)^{30}$
= 12091.67 Kendaraan / hari
- Bus Kecil = $721 \times (1+3.5)^{30}$
= 2023.69 Kendaraan / hari
- Bus Besar = $109 \times (1+3.5)^{30}$
= 305.94 Kendaraan / hari
- Truk 2 Sumbu (4 Roda) = $935 \times (1+3.5)^{30}$
= 2624.35 Kendaraan / hari
- Truk 2 Sumbu (6 Roda) = $688 \times (1+3.5)^{30}$
= 1931.07 Kendaraan / hari
- Truk 3 Sumbu (10 Roda) = $556 \times (1+3.5)^{30}$
= 1560.58 Kendaraan / hari
- Truk Gandengan = $56 \times (1+3.5)^{30}$
= 157.18 Kendaraan / hari
- TrukTrailer 4 Sumbu = $67 \times (1+3.5)^{30}$
= 188.06 Kendaraan / hari
- $\Sigma LHR30$ = 5859181 Kendaraan / hari

8.4 Hitung R

$$R = \frac{(1+0.01 i)^{UR}-1}{0.01 i}$$
$$= \frac{(1+0.01 \times 3.5)^{30}-1}{0.01 \times 3.5} = 51.63$$

8.5 Tentukan DL dan DD

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

Tabel 4.2. Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

8.6 Tentukan Nilai VDF

Jenis Kendaraan	Klasifikasi Lama	Alternatif	Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan ² yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
							Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
1	1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
6a.1	6.1	6.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1	muatan umum	2			0,3	0,2
6a.2	6.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2	4,6	6,60	0,8	0,8
6b1.1	7.1	7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2	muatan umum	2			0,7	0,7
6b1.2	7.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	muatan umum	2			0,9	0,8
6b2.2	8.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2	3,8	5,60	7,3	11,2
7a1	9.1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	muatan umum	3			7,6	11,2
7a2	9.2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3	3,9	5,60	28,1	64,4
7a3	9.3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-2.2		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2		5			19,0	33,2
7c2.2	13	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2.2		5	0,7	1,00	30,3	69,7
7c3	14	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.2.2-2.2.2		6	0,3	0,50	41,6	93,7

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

8.7 Hitung Nilai ESA

$$ESA = \sum LHRJK \times VDF \times 365 \times DD \times DL \times R$$

No.	Jenis Kendaraan	LHR Awal	LHR AKHIR	VDF 4	ESA 4
1	Bus Kecil	721	2023.69	0.3	16398.7845
2	Bus Besar	109	305.94	1	1027049.775
3	Truk 2 Sumbu (4 Roda)	935	2624.35	1.6	14096022.6
4	Truk 2 Sumbu (6 Roda)	688	1931.07	0.9	5834396.52

No.	Jenis Kendaraan	LHR Awal	LHR AKHIR	VDF 4	ESA 4
	Roda)				
5	Truk 3 Sumbu (10 Roda)	556	1560.58	0.1	523889.61
6	Truk Trailer 4 Sumbu	67	188.06	13.6	858759.22
Jumlah					34798516.51

8.8 Hitung ESA 5

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

$$\begin{aligned}
 \text{ESA 5} &= TM \times \Sigma \text{ESA 4} \\
 &= 2 \times 34798516.51 = 69597033.02
 \end{aligned}$$

8.9 Menentukan Tipe Perkerasan

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

Catatan:
Tingkat kesulitan:
1 - kontraktor kecil – medium;
2 - kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;
3 - membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus –kontraktor spesialis Burtu / Burda.

- Berdasarkan tabel diatas tentang pemilihan jenis perkerasan, maka didapat jenis struktur perkerasan dengan AC-WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB dengan menggunakan bagan desain 3 pada manual desain perkerasan jalan 2017.
- Hal ini dapat disimpulkan bahwa tipe perkerasan yang akan digunakan yaitu tebal perkerasan lentur (Flexible Pavement).

8.10 Hitung Nilai CBR

Jumlah titik pengamatan	Nilai R
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	2,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
>10	3,18

- CBR Rata-rata = $(25.6+15.4+25+14.6+24.4)/5$
= 21 %

- CBR Segmen = CBR Rata-rata - ()/

Segmen 1 = $21 - (25.6 - 14.6)/2.48$
= 16.56 % ~ 17 %

Segmen 2 = 14.08 % ~ 15 %

Segmen 3 = 26.95 % ~ 27 %

Segmen 4 = 19.65 % ~ 20 %

Segmen 5 = 19.98 % ~ 20 %

- Semua Nilai CBR Segmen > 6

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

(1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritis; syarat tambahan mungkin berlaku.
 (2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.
 (3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.
 (4) Permukaan lapis penopang di atas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2.5%, dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh: untuk lalu lintas rencana > 4 jt ESA, tanah SG1 memerlukan lapis penopang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu ditambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.
 (5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.

(6) Untuk perkerasan kaku, material perbaikan tanah dasar berbutir halus (klasifikasi A4 sampai dengan A6) harus berupa stabilisasi semen.

- Keterangan : Berdasarkan nilai CBR $\geq 6\%$, maka tidak dilakukan perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*Capping Layer*).

8.11 Tentukan Tebal Lapis Perkerasan

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3 C				
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA _s)	> 10 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Catatan:

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

8.12 Kesimpulan Tebal Lapis Perkerasan

Segmen	AC – WC	AC - BC	AC – Base	CTB (mm)	LFA Kelas A (mm)	Peningkatan Tanah Dasar (mm)
1	40	60	125	150	150	-
2	40	60	125	150	150	-
3	40	60	125	150	150	-
4	40	60	125	150	150	-
5	40	60	125	150	150	-

IX. Contoh Aplikasi 2

Diketahui:

- Lokasi Proyek = Sumatera

- Status Fungsi Jalan = Arteri Rural
- Jumlah Lajur = 3 Lajur
- Jenis Perkerasan = Perkerasan Lentur
- Elemen Perkerasan = Lapisan Aspal dan Lapisan Berbutir
- Umur Rencana = 30 Tahun
- CBR Tanah Dasar = 6.5%
- Komposisi Lalu Lintas:
 - Mobil Penumpang (1+1) = 1200 Kendaraan
 - Bus (3+6) = 450 Kendaraan
 - Truk Pick Up (2+4) = 200 Kendaraan
 - Truk 3 Sumbu (4+8.8) = 200 Kendaraan
 - Truk 5 Sumbu (5+7+8.8.8) = 155 Kendaraan

9.1 Cek Umur Rencana (UR) Minimum

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

Berdasarkan Tabel di atas diperoleh UR = 20 Tahun.

Ditentukan oleh soal UR = 30 Tahun

9.2 Tentukan Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

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

Berdasarkan Tabel di atas diperoleh $i = 4.83 \%$

Ditentukan oleh soal $i = 6 \%$

9.3 Hitung LHR

$$\text{LHR} = \text{LHRJK} \times (1 + i)^n$$

Jenis Kendaraan	Beban Sumbu	LHRJK	LHR 2021	LHR Akhir
Mobil Penumpang	1 + 1	1200	1390	7893.4527
Bus	3 + 6	450	521	2992.3589
Truk Pick Up	2 + 4	200	232	1332.4899
Truk 3 Sumbu	4 + 8.8	200	232	1332.4899
Truk 5 Sumbu	5 + 7 + 8.8.8	155	180	1033.8284
Total			2555	14674.61995

9.4 Hitung R

$$R = \frac{(1+0.01 i)^{UR}-1}{0.01 i}$$

$$= \frac{(1+0.01 \times 6)^{30}-1}{0.01 \times 6} = 79.0582$$

9.5 Tentukan DL dan DD

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

Tabel 4.2. Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Berdasarkan Tabel di atas diperoleh DD = 0.5 dan DL = 0.6

9.6 Tentukan Nilai VDF

Jenis Kendaraan	Klasifikasi Lama	Alternatif	Uraian	Konfigurasi sumbu	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
						Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
1	1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan ² yang diangkut	2	30,4		
2, 3, 4	2, 3, 4		Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3	
5a	5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3
5b	5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0
6a.1	6.1	6.1	Truk 2 sumbu - cargo ringan	1.1	muatan umum	2			0,3
6a.2	6.2	6.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2	4,6	6,60	0,8
6b1.1	7.1	7.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	muatan umum	2			0,7
6b1.2	7.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6
6b2.1	8.1	8.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	muatan umum	2			0,9
6b2.2	8.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2	3,8	5,50	7,3
7a1	9.1	9.1	Truk 3 sumbu - ringan	1.22	muatan umum	3			7,6
7a2	9.2	9.2	Truk 3 sumbu - sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3	3,0	6,60	28,1
7a3	9.3	9.3	Truk 3 sumbu - berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9
7b	10	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9
7c1	11	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-2.2		4	0,3	0,50	13,6
7c2.1	12	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2		5			19,0
7c2.2	13	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2.2		5	0,7	1,00	30,3
7c3	14	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.2.2-2.2.2		6	0,3	0,50	41,6

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

9.7 Hitung Nilai ESA

$$ESA = \sum LHRJK \times VDF \times 365 \times DD \times DL \times R$$

No.	Jenis Kendaraan	LHRJK	LHR AKHIR	VDF 4	ESA 4	CESA Akhir
1	Mobil Penumpang	1200	7893.4527	-	-	-
2	Bus	450	2992.3589	0.3	1353069	7771339.848
3	Truk Pick Up	200	1332.4899	-	-	-
4	Truk 3 Sumbu	200	1332.4899	7.6	15263795.6	87667435.5
5	Truk 5 Sumbu	155	1033.8284	30.3	47214576.6	271176503.7
Jumlah					6381441.2	366615319.1

9.8 Hitung ESA 5

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

$$\begin{aligned}
 \text{ESA 5} &= TM \times \Sigma \text{CESA} \\
 &= 2 \times 366615319.1 = 7.34 \times 10^8
 \end{aligned}$$

9.9 Menentukan Tipe Perkerasan

Tabel 3.1. Pemilihan Jenis Perkerasan.

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

Catatan:

Tingkat kesulitan:

1 - kontraktor kecil – medium;

2 - kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;

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

- Berdasarkan tabel diatas tentang pemilihan jenis perkerasan, maka didapat jenis struktur perkerasan dengan AC-WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB dengan menggunakan bagan desain 3 pada manual desain perkerasan jalan 2017.

9.10 Hitung Nilai CBR

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

(1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang krusial; syarat tambahan mungkin berlaku.
 (2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.
 (3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.
 (4) Permukaan lapis penopang di atas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2.5%, dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh: untuk lalu lintas rencana > 4 jt ESA, tanah SG1 memerlukan lapis penopang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu ditambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.
 (5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.
 (6) Untuk perkerasan kaku, material perbaikan tanah dasar berbutir halus (klasifikasi A4 sampai dengan A6) harus berupa stabilisasi semen.

- Keterangan : Berdasarkan nilai CBR ≥6%, maka tidak dilakukan perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*Capping Layer*).

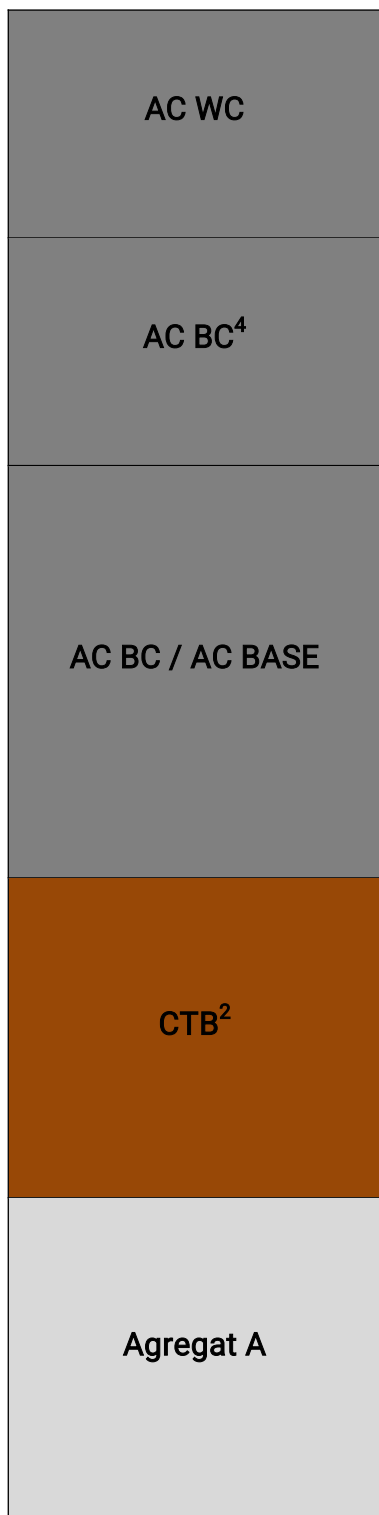
9.11 Tentukan Tebal Lapisan Perkerasan

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3C		Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³		
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ₆)	> 10 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 500
Jenis permukaan pengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Catatan:

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

9.12 Ilustrasi Perkerasan



X. Contoh Aplikasi 3

Diketahui:

220 mm

= Arteri Rural

• Jumlah Lajur = 3 Lajur

• Jenis Perkerasan = Perkerasan Lentur

• Elemen Perkerasan = Lapisan Aspal dan Lapisan Berbutir

• Umur Rencana = 30 Tahun

150 mm Tanah Dasar = 6%

• Komposisi Lalu Lintas:

■ Mobil Penumpang (1+1) =

1200 Kendaraan

■ Bus (3+6) = 450 Kendaraan

■ Truk Pick Up (2+4) = 200 Kendaraan

- Truk 3 Sumbu (4+8.8) = 200 Kendaraan
- Truk 5 Sumbu (5+7+8.8.8) = 155 Kendaraan

10.1 Cek Umur Rencana (UR) Minimum

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

Berdasarkan Tabel di atas diperoleh UR = 20 Tahun.

Ditentukan oleh soal UR = 30 Tahun

10.2 Tentukan Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

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

Berdasarkan Tabel di atas diperoleh $i = 4.83 \%$

Ditentukan oleh soal $i = 6 \%$

10.3 Hitung LHR

$$LHR = LHRJK \times (1 + i)^n$$

Jenis Kendaraan	Beban Sumbu	LHRJK	LHR 2021	LHR Akhir
-----------------	-------------	-------	----------	-----------

Mobil Penumpang	1 + 1	1200	1390	7893.4527
Bus	3 + 6	450	521	2992.3589
Truk Pick Up	2 + 4	200	232	1332.4899
Truk 3 Sumbu	4 + 8.8	200	232	1332.4899
Truk 5 Sumbu	5 + 7 + 8.8.8	155	180	1033.8284
Total			2555	14674.61995

10.4 Hitung R

$$R = \frac{(1+0.01 i)^{UR}-1}{0.01 i}$$

$$= \frac{(1+0.01 \times 0.06)^{30}-1}{0.01 \times 0.06} = 30.2624$$

10.5 Tentukan DL dan DD

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

Tabel 4.2. Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Berdasarkan Tabel di atas diperoleh DD = 0.5 dan DL = 0.6

10.6 Tentukan Nilai VDF

Jenis Kendaraan	Klasifikasi Lama	Alternatif	Uraian	Konfigurasi sumbu	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
						Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
1	1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan ² yang diangkut	2	30,4		
2, 3, 4	2, 3, 4		Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3	
5a	5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3
5b	5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0
6a.1	6.1	6.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1	muatan umum	2			0,3
6a.2	6.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2	4,6	6,60	0,8
6b1.1	7.1	7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2	muatan umum	2			0,7
6b1.2	7.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6
6b2.1	8.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	muatan umum	2			0,9
6b2.2	8.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2	3,8	5,50	7,3
7a1	9.1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	muatan umum	3			7,6
7a2	9.2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3			28,1
7a3	9.3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9
7b	10	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9
7c1	11	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-2.2		4	0,3	0,50	13,6
7c2.1	12	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2		5			19,0
7c2.2	13	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2.2		5	0,7	1,00	30,3
7c3	14	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-2.2.2		6	0,3	0,50	41,6

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

10.7 Hitung Nilai ESA

$$ESA = \sum LHRJK \times VDF \times 365 \times DD \times DL \times R$$

No.	Jenis Kendaraan	LHRJK	LHR AKHIR	VDF 4	ESA 4	CESA Akhir
1	Mobil Penumpang	1200	7893.4527	-	-	-
2	Bus	450	2992.3589	0.3	1353069	7771339.848
3	Truk Pick Up	200	1332.4899	-	-	-
4	Truk 3 Sumbu	200	1332.4899	7.6	15263795.6	87667435.5
5	Truk 5 Sumbu	155	1033.8284	30.3	47214576.6	271176503.7
Jumlah					6381441.2	366615319.1

10.8 Hitung ESA 5

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

$$\begin{aligned}
 ESA 5 &= TM \times \sum CESA \\
 &= 2 \times 366615319.1 = 7.34 \times 10^8
 \end{aligned}$$

10.9 Menentukan Tipe Perkerasan

Tabel 3.1. Pemilihan Jenis Perkerasan.

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

Catatan:

Tingkat kesulitan:

1 - kontraktor kecil – medium;

2 - kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;

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

- Berdasarkan tabel diatas tentang pemilihan jenis perkerasan, maka didapat jenis struktur perkerasan dengan AC-WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB dengan menggunakan bagan desain 3 pada manual desain perkerasan jalan 2017.

10.10 Hitung Nilai CBR

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

(1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang krusial; syarat tambahan mungkin berlaku.
 (2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.
 (3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.
 (4) Permukaan lapis penopang di atas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2,5%, dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh: untuk lalu lintas rencana > 4 jt ESA, tanah SG1 memerlukan lapis penopang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu ditambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.
 (5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.
 (6) Untuk perkerasan kaku, material perbaikan tanah dasar berbutir halus (klasifikasi A4 sampai dengan A6) harus berupa stabilisasi semen.

- Keterangan : Berdasarkan nilai CBR ≥6%, maka tidak dilakukan perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*Capping Layer*).

10.11 Tentukan Tebal Lapisan Perkerasan

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3C		Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³		
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ₆)	> 10 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 500
Jenis permukaan pengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Catatan:

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

10.12 Ilustrasi Perkerasan

