



PERANCANGAN PERKERASAN JALAN

Nur Khaerat Nur • Mahyuddin • Erniati Bachtiar • Miswar Tumpu
Muhammad Ihsan Mukrim • Irianto • Yuliyanti kadir • Triana Sharly P. Arifin
Siti Nurjanah Ahmad • Masdiana • Hasmar Halim • Syukuriah

PERANCANGAN PERKERASAN JALAN



UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Perancangan Perkerasan Jalan

Nur Khaerat Nur, Mahyuddin, Erniati Bachtiar, Miswar Tumpu
Muhammad Ihsan Mukrim, Irianto, Yuliyanti kadir
Triana Sharly P. Arifin, Siti Nurjanah Ahmad
Masdiana, Hasmar Halim, Syukuriah



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Perancangan Perkerasan Jalan

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2021

Penulis:

Nur Khaerat Nur, Mahyuddin, Erniati Bachtiar, Miswar Tumpu
Muhammad Ihsan Mukrim, Irianto, Yuliyanti kadir
Triana Sharly P. Arifin, Siti Nurjanah Ahmad
Masdiana, Hasmar Halim, Syukuriah

Editor: Abdul Karim & Janner Simarmata
Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Nur Khaerat Nur., dkk.

Perancangan Perkerasan Jalan

Yayasan Kita Menulis, 2021

xvi; 222 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-128-7

Cetakan 1, Juli 2021

- I. Perancangan Perkerasan Jalan
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Dengan memanjatkan Puji Syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, akhirnya Buku Perancangan Perkerasan Jalan: dapat diterbitkan. Buku ini disusun untuk mengetahui, memahami dan menghayati tentang bagaimana sejarah perkerasan jalan dan jenis perkerasan jalan sehingga diharapkan dapat lebih merancang suatu perkerasan jalan sesuai dengan aturan dan pedoman perkerasan jalan dengan kualitas dan mutu yang baik dengan melahirkan tingkat pelayanan suatu jalan yang nyaman, aman dan berkeselamatan dalam berlalulintas di jalan bagi pengguna.

Buku ini sangat berguna bagi mahasiswa, pemerhati, dan pekerja dengan berbagai bidang profesi pekerjaan. Struktur penyajian Buku ini terbangun atas dua belas bab, Sejarah dan Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan, Jenis dan Fungsi Lapis Perkerasan, Bahan-Bahan Pembentuk Struktur Perkerasan Jalan, Tahapan pembangunan jalan, Parameter Perencanaan Tebal Lapisan Konstruksi Perkerasan, Perencanaan Metoda Campuran, Perancangan Tebal Perkerasan, Metoda Pelaksanaan di lapangan, Kerusakan dan Pemeliharaan Perkerasan Jalan, Perancangan Tebal Perkerasan Kaku dan Pelaksanaannya dilapangan, Tebal perkerasan lentur metode analisa komponen (BM) konstruksi langsung dan overlay. Jenis kerusakan lapisan tambah (overlay) pada perkerasan kaku. Buku ini dapat terwujud karena dukungan, bimbingan dan kritik dari berbagai pihak, sehingga tulisan ini dapat diterbitkan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dan mendukung dalam penerbitannya. Kritik dan saran pembaca demi perbaikan dan kelengkapan Buku ini sungguh diharapkan. Penulis berharap semoga Buku ini dapat memberikan manfaat dan maslahat bagi para pembaca, sekaligus memberikan sumbangan pada pengembangan khazanah ilmu.

Medan, Agustus 2020

Penulis.

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xv

Bab 1 Sejarah Dan Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan

1.1 Sejarah Perkerasan Jalan	1
1.2 Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan.....	4
1.2.1 Konstruksi Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)	5
1.2.2 Komponen Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) Terdiri Atas: .	6
1.2.3 Jenis-Jenis Lapis Permukaan (Surface Course).....	8
1.3 Konstruksi Perkerasan Kaku (Rigit Pavement).....	10
1.4 Konstruksi Perkerasan Komposit (Composite Pavement)	14

Bab 2 Jenis Dan Fungsi Lapis Perkerasan

2.1 Jenis Lapis Perkerasan	17
2.1.1 Jenis Lapis Perkerasan Lentur	22
2.1.2 Tanah Dasar (Subgrade).....	25
2.1.3 Karakteristik Perkerasan Lentur	25
2.1.4 Stabilitas	25
2.1.5 Durabilitas	26
2.1.6 Kelenturan (Flexibility).....	27
2.1.7 Tahanan Geser (Skid Resistance).....	27
2.1.8 Kedap Air	27
2.1.9 Kemudahan Dalam Pekerjaan (Workability)	28
2.1.10 Ketahanan Leleh (Fatiguae Resistance).....	28
2.1.11 Material Perkerasan	28
2.2 Jenis Lapis Perkerasan Kaku	29
2.2.1 Struktur Perkerasan Kaku	30
2.2.2 Kapasitas Konstruksi Perkerasan Kaku	31
2.2.3 Pengaruh Bahu Konstruksi Perkerasan Kaku.....	32
2.2.4 Jenis Perkerasan Kaku.....	32
2.3 Perkerasan Komposit	41

2.4 Fungsi Lapis Perkerasan	42
2.4.1 Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)	44
2.4.2 Lapisan Pondasi Bawah (Subbase Course)	44
2.4.3 Lapisan Pondasi Atas (Base Course)	45
2.4.4 Lapisan Permukaan (Surface Course).....	45
2.4.5 Lapisan Perkerasan Kaku.....	46

Bab 3 Bahan-Bahan Pembentuk Perkerasan Jalan

3.1 Pendahuluan	47
3.2 Bahan Pembentuk Perkerasan Jalan.....	48
3.3 Bahan Jalan	49
3.3.1 Klasifikasi Tanah	49
3.3.2. Agregat	52
3.3.3 Bitumen	55
3.3.4 Bahan Pengisi (Filler).....	58
3.3.5 Bahan Tambah (Additive)	59
3.4 Bahan Pekerjaan Beton	60
3.4.1 Agregat	60
3.4.2 Semen Portland.....	61
3.4.3 Air	62
3.4.4 Baja Tulangan	62
3.4.5 Baja Struktur	63
3.4.6 Bahan Additive	63

Bab 4 Tahapan Pembangunan Jalan

4.1 Pendahuluan.....	65
4.2 Penggunaan Alat Light Weight Deflectometer (Lwd) Sebagai Alat Untuk Mengevaluasi Struktur Perkerasan	70
4.3 Perkerasan Lentur Jalan	71
4.4 Konstruksi Tanah Dasar.....	73
4.4.1 Modulus Reaksi Tanah.....	74
4.4.2 Tegangan Pada Subgrade.....	75
4.5konstruksi Perkerasan Berbutir.....	79

Bab 5 Parameter Perencanaan Tebal Lapisan Konstruksi Perkerasan

5.1 Pendahuluan.....	81
5.2 Parameter Kinerja Perkerasan	82
5.2.1 Umur Rencana	82
5.2.2 Tingkat Layanan (Serviceability).....	84

5.3 Parameter Pembebanan Lalulintas	86
5.3.1 Ekuivalensi Pembebanan	86
5.3.2 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (Lhr) Dan Lintas Ekuivalen.....	87
5.3.3 Distribusi Kendaraan Pada Jalur Rencana.....	89
5.4. Parameter Sifat Bahan.....	90
5.4.1 Sifat Bahan Tanah Dasar.....	90
5.4.2 Sifat Bahan Pengikat	91
5.5 Parameter Lingkungan	91

Bab 6 Perencanaan Metoda Campuran

6.1 Pendahuluan.....	95
6.2 Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	96
6.3 Pengujian Karakteristik Material Campuran Aspal	98
6.4 Penentuan Proporsi Agregat	99
6.5 Pengujian Karakteristik Campuran Ac-Wc.....	100

Bab 7 Perancangan Tebal Perkerasan

7.1 Pendahuluan.....	103
7.2. Metode Analisis Komponen	103
7.2.1 Perencanaan Jalan Baru.....	103
7.2.2 Pelapisan Tambahan.....	114
7.2.3 Konstruksi Bertahap	115
7.3 Metode Manual Desain Perkerasan 2017	115
7.3.1 Tentukan Umur Rencana	116
7.3.2 Tentukan Nilai Nilai Esa4 Dan Atau Esa5 Sesuai Umur Rencana Yang Dipilih	117
7.3.3. Tentukan Tipe Perkerasan.....	122
7.3.4. Tentukan Segmen Tanah Dasar Dengan Daya Dukung Seragam.	123
7.3.5 Tentukan Struktur Fondasi Perkerasan	124
7.3.6 Tentukan Struktur Perkerasan Yang Memenuhi Syarat	124

Bab 8 Metoda Pelaksanaan Di Lapangan

8.1 Pendahuluan.....	129
8.2 Persiapan Sebelum Penghamparan	130
8.3 Penghamparan Campuran Beraspal	130
7.3.1 Penerimaan Campuran Beraspal	131
7.3.2 Pelaksanaan Penghamparan.....	134
7.4 Pemadatan Campuran Beraspal.....	138
7.4.1 Prinsip Pemadatan	138

7.4.2 Pelaksanaan Pematatan	141
Bab 9 Kerusakan Dan Pemeliharaan Perkerasan Jalan	
9.1 Pendahuluan.....	147
9.2 Kerusakan Jalan.....	148
9.2.1 Jenis Kerusakan Jalan.....	150
9.2.2 Penyebab Kerusakan Jalan.....	155
9.3 Penanganan Dan Pemeliharaan Kerusakan Perkerasan Jalan.....	158
Bab 10 Perancangan Tebal Perkerasan Kaku Dan Pelaksanaannya Di Lapangan	
10.1 Pendahuluan.....	161
10.2 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku.....	162
10.3 Cbr (California Bearing Ratio).....	164
10.3.1 Kuat Beton	165
10.3.2 Volume Lalu Lintas.....	165
10.3.3 Lajur Rencana	167
10.3.4 Faktor Ekuivalen Beban (Vahicle Damage Factor).....	168
10.3.5 Pondasi Perkerasan Kaku.....	170
10.3.6 Lapis Perkerasan.....	172
10.4 Tinggi Drainase Perkerasan.....	174
Bab 11 Tebal Perkerasan Lentur Metode Analisa Komponen Untuk Konstruksi Langsung & Overlay	
11.1 Pendahuluan.....	177
11.2 Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Baru	178
11.3 Konstruksi Langsung	179
11.4 Desain Lapis Tambahan (Overlay).....	186
Bab 12 Jenis Kerusakan Lapisan Tambah (Overlay) Pada Perkerasan Kaku	
12.1 Pendahuluan.....	191
12.2 Evaluasi Perkerasan.....	192
12.3 Jenis-Jenis Kerusakan Perkerasan.....	193
12.3.1 Jenis Kerusakan Pada Struktur Perkerasan.....	193
12.3.2 Jenis Kerusakan Pada Pendukung Struktur Perkerasan.....	196
12.4 Metode Perbaikan Kerusakan Perkerasan	198
12.4.1 Pemeliharaan Rutin	198
12.4.2 Pemeliharaan Berkala.....	198

12.4.3 Rehabilitasi.....	199
Daftar Pustaka.....	201
Biodata Penulis.....	215

Daftar Gambar

Gambar 1.1: Kontruksi perkerasan romawi.....	2
Gambar 1.2: Konstruksi perkerasan lentur (Flexible Pavement)	5
Gambar 1.3: Konstruksi perkerasan kaku (Rigit Pavement)	10
Gambar 1.4: Lapisan Konstruksi perkerasan kaku (Rigit Pavement).....	11
Gambar 1.5: Konstruksi Perkerasan Komposit (Perkerasan Komposit)	15
Gambar 2.1: Distribusi Beban Roda Pada Perkerasan.....	19
Gambar 2.2: Gambar Struktur Lapisan Perkerasan.....	23
Gambar 2.3. Ilustrasi distribusi beban pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur	29
Gambar 2.4: Ilustrasi ekivalensi struktur perkerasan kaku dan perkerasan lentur	32
Gambar 2.5: Tipe dan lokasi sambungan pada perkerasan kaku	32
Gambar 2.6: Ruji pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan.....	34
Gambar 2.7: Batang pengikat pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan	33
Gambar 2.8: Kedudukan batang pengikat pada sambungan memanjang	35
Gambar 2.9: Skema perkerasan kaku menerus dengan tulangan.....	38
Gambar 2.10: Skema perkerasan kaku pracetak pratekan.....	41
Gambar 4.1: Struktur perkerasan lentur	71
Gambar 4.2: Hubungan antara CBR dengan modulus reaksi tanah dasar ...	74
Gambar 4.3: Modulus reaksi tanah dasar Westergaard	74
Gambar 4.4: Defleksi pelat beton yang dibebani	74
Gambar 4.5: Sistem sumbu koordinat untuk persamaan Boussinesq	75
Gambar 4.6. Ilustrasi teori Winklar	77
Gambar 4.7. Ilustrasi teori Pasternak.....	78
Gambar 6.1: Hubungan kadar aspal terhadap parameter Marshall.....	102
Gambar 7.1 Penentuan nilai DDT	108
Gambar 8.1: Rentang waktu pematatan	144
Gambar.9.1: Jenis-Jenis Perkerasan Jalan Raya`=.....	149
Gambar 9.2: Retak Kulit Buaya, Kegemukan dan Retak Kotak-Kotak	150
Gambar 9.3: Cekungan, bergelombang/keriting dan amblas	151

Gambar 9.4: Retak pinggir, retak sambungan dan pinggiran jalan turun vertikal.	152
Gambar 9.5: Retak memanjang/melintang, tambalan, dan pengausan.....	153
Gambar 9.6: Lubang, perpotongan rel, alur dan sungkur	154
Gambar 9.7: Patah slip, megebang jembul dan pelepasan butir	154
Gambar 10.3: Struktur perkerasan kaku	170
Gambar 10.4: Struktur perkerasan kaku tanah asli.....	171
Gambar 10.5: Struktur perkerasan kaku dengan timbunan	171
Gambar 10.6: Struktur perkerasan kaku dengan galian	172
Gambar 11.1. Bagan Alir Prosedur Perencanaan Flexible Pavement Dengan Metode Analisa Komponen	178
Gambar 11.2: Kontruksi Langsung	180
Gambar 11.3: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 5 Tahun.....	182
Gambar 11.4: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 10 Tahun.....	183
Gambar 11.5: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 10 Tahun Pada Lalu Lintas Tinggi	185
Gambar 11.6: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 20 Tahun Pada Lalu Lintas Tinggi	186
Gambar 12.1: Jenis kerusakan blow up (buckling).....	194
Gambar 12.2: Rusak sudut Jalan Permukiman	194
Gambar 12.3: Faulting.....	194
Gambar 12.4: Dowel rusak berat.....	195
Gambar 12.5: Kerusakan tambalan	195
Gambar 12.6: Retak pelat pada lajur yang sering dilalui truk	196
Gambar 12.7: Closed polished surface.....	196
Gambar 12.8: Pumping	197

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Batasan tanah berdasarkan Jenis dan ukuran Butir tanah	49
Tabel 3.2: Klasifikasi Tanah	51
Tabel 3.3: Syarat-syarat baja struktur sangat tergantung jenis dan proses pembuatannya.....	63
Tabel 5.1: Umur Rencana (UR) Beberapa Jenis Perkerasan Jalan Baru.....	84
Tabel 5.2. Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IPt).....	85
Tabel 5.3: Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (IP0)	86
Tabel 5.4: Jumlah Jalur Berdasarkan Lebar Perkerasan	89
Tabel 5.5: Koefisien Distribusi Kendaraan (C).....	89
Tabel 5.6: Nilai R untuk CBR segmen	90
Tabel 5.7: Faktor Regional.....	92
Tabel 5.8 Koefisien drainase (m) sebagai modifier untuk koefisien kekuatan relatif material pondasi jalan pada perkerasan lentur..	93
Tabel 6.1: Metode pengujian karakteristik agregat	97
Tabel 6.2: Standar-standar pengujian karakteristik semen	98
Tabel 6.3. Berat fraksi agregat pada setiap campuran satu briket aspal.....	99
Tabel 7.1: Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan	104
Tabel 7.2: Koefisien distribusi kendaraan (C).....	104
Tabel 7.3: Korelasi antara CBR dan DDT	107
Tabel 7.4: Faktor Regional (FR).....	109
Tabel 7.5: Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo).....	110
Tabel 7.6 Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP).....	110
Tabel 7.7: Koefisien kekuatan relatif (a).....	111
Tabel 7.8: Tebal Minimum Lapis permukaan	113
Tabel 7.9 Tebal Minimum Lapis pondasi.....	113
Tabel 7.10.: Nilai kondisi perkerasan jalan.....	114
Tabel 7.11: Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	116
Tabel 7.12: Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%).....	118
Tabel 7.13 Faktor Distribusi Lajur (DL).....	119
Tabel 7.14: Pengumpulan data beban gandar	120
Tabel 7.15: Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga	120

Tabel 7.16: Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga.....	121
Tabel 7.17: Pemilihan Jenis Perkerasan.....	122
Tabel 7.18: Struktur Pondasi pengerasan.....	124
Tabel 7.19: Bagan Desain 3A. Desain Perkerasan Lentur dengan HRS1	125
Tabel 7.20: Bagan Desain 3 B Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir	125
Tabel 7.21: Bagan Desain 3 C Penyesuaian Lapis Fondasi Agregat A untuk Tanah Dasar CBR 7 % (Hanya untuk Bagan Desain – 3 B)....	126
Tabel 7.22: Bagan Desain - 3. Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB1).....	127
Tabel 8.1: Selang Kecepatan pemadatan	143
Tabel 8.2: Rentang temperatur pemadatan dan viskositas aspal Spesifikasi campuran beraspal panas, 2000.....	144
Tabel 10.1: Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR) Manual Perkerasan 2017	163
Tabel 10.2: Pemilihan Jenis Perkerasan Manual perkerasan 2017	163
Tabel 10.3: laju pertumbuhan lalu lintas (i)	167
Tabel 10.4: Faktor distribusi lajur (DL)	168
Tabel 10.5: Beban gandar berdasarkan spesifikasi jalan	169
Tabel 10.9: Desain perkerasan kaku untuk beban lalu lintas berat	172
Tabel 10.10: Desain perkerasan kaku dengan beban lalu lintas ringan Manual Perkerasan 2017.....	173
Tabel 10.11: Desain tinggi minimum tanah dasar drainase Manual Perkerasan 2017	174
Tabel 11.1: Nilai kondisi perkerasan jalan.....	187

Bab 1

Sejarah dan Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan

1.1 Sejarah Perkerasan Jalan

Perkembangan teknik jalan seiring dengan berkembangnya teknologi yang ditemukan umat manusia. Pada awalnya jalan hanyalah berupa jejak manusia yang mencari kebutuhan hidup ataupun sumber air. Setelah manusia mulai hidup berkelompok jejak-jejak itu berubah menjadi jalan setapak. Dengan mulai dipergunakannya hewan – hewan sebagai alat transportasi, jalan mulai dibuat rata. Jalan yang diperkeras pertama kali ditemukan di Mesopotamia berkaitan dengan ditemukannya roda sekitar 3500 tahun sebelum masehi. Konstruksi perkerasan jalan berkembang pesat pada zaman keemasan Romawi. Pada saat itu telah mulai dibangun jalan – jalan yang terdiri dari beberapa lapis perkerasan. Perkembangan konstruksi jalan seakan terhenti dengan mundurnya kekuasaan romawi sampai awal abad ke 18. Pada saat itu beberapa ahli dari Perancis, Skotlandia menemukan sistem – sistem konstruksi perkerasan jalan yang sebagian sampai saat ini masih umum digunakan di Indonesia maupun dinegara – negara lain di dunia.

Menurut Sukirman (1999), sejarah perkerasan jalan dimulai bersamaan dengan searah umat manusia itu sendiri yang selalu berhasrat untuk mencari

kebutuhan hidup dan berkomunikasi dengan sesame. Dengan demikian perkembangan jalan saling berkaitan dengan perkembangan umat manusia.

1. Sebelum Manusia Mengenal Hewan Sebagai Alat Angkut.

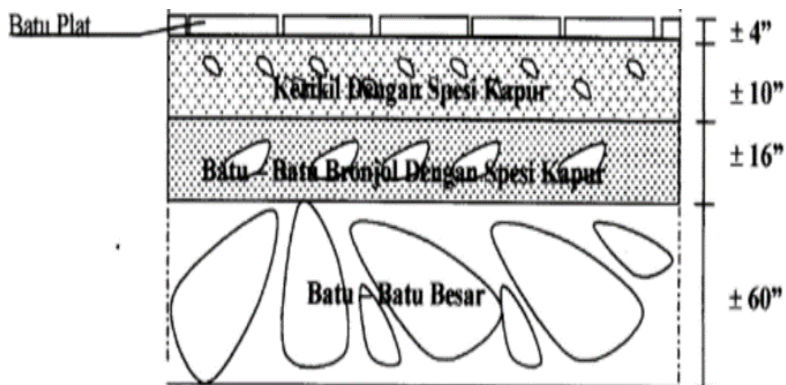
Setelah manusia diam (menetap) berkelompok disuatu tempat mereka mengenal artinya jarak jauh dan dekat. Maka dalam membuat jalan mereka berusaha mencari jarak yang paling dekat dengan mengatasi rintangan – rintangan yang masih dapat mereka atasi. Misalnya: bila melewati tempat-tempat berlumpur mereka menaruh batu disana-sini agar dapat melompat-lompat di atasnya bila melewati tanjakan yang curam mereka membuat tangga-tangga.

2. Setelah Manusia Mengenal Hewan Sebagai Alat Angkut.

Setelah manusia mengenal hewan sebagai alat angkut, maka konstruksi jalan sudah agak maju, ialah: Bentuk jalan yang bertangga-tangga sudah dibuat lebih mendatar. Batu-batu yang ditempatkan jarang-jarang ditempat yang jelek atau berlumpur sudah dibuat lebih rapi dan menutup rapat tempat-tempat yang jelek.

3. Setelah Manusia Mengenal Kendaraan Beroda Sebagai Alat Angkut.

Bangsa Romawi mulai abad ke 4 SM-abad ke 4 , telah membuat jalan dengan perkerasan ukuran tebal 3 feet — 5 feet (1,0 m — 1,7 m) dan lebarnya 35 (± 12 m). Perkerasan tersebut dibuat berlapis-lapis seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1.1: Kontruksi perkerasan romawi, (Hartanti Atmadjaja, 2018)

4. Perkembangan Konstruksi Perkerasan Jalan Pada Akhir Abad Ke-18.
 - a. Seorang bangsa Inggris Thomas Telford ahli jembatan Lengkung dari batu, menciptakan konstruksi perkerasan jalan yang prinsipnya sama seperti jembatan Lengkung seperti berikut ini; "Prinsip desak-desakan dengan menggunakan batu-batu belah yang dipasang berdiri dengan tangan"
 - b. Pada waktu itu pula John Mc Adam (1756 — 1836), memperkenalkan konstruksi perkerasan dengan prinsip "tumpang-tindih" dengan menggunakan batu-batu pecah dengan ukuran terbesar (± 3 "). Perkerasan sistem ini sangat berhasil pula dan merupakan prinsip pembuatan jalan secara masinal (dengan mesin). Selanjutnya sistem ini disebut "Sistem Mc. Adam" Sampai sekarang ini kedua sistem perkerasan tersebut masih sering dipergunakan di daerah—daerah di Indonesia dengan menggabungkannya menjadi sistem Telford-Mc Adam ialah utk bagian bawah sistem Telford dan bagian atasnya sistem Mc Adam.
5. Perkembangan Konstruksi Perkerasan Jalan Pada Abad Ke-19.

Pada abad 19 Kereta Api ditemukan mulai pada Tahun 1930, jaringan rel kereta api dibuat di mana-mana, maka angkutan lewat jalan raya mulai terdesak, dengan sendirinya teknik pembuatan jalan tidak berkembang. Tetapi pada akhir abad ke-19 kendaraan bermotor mulai banyak, sehingga menuntut jalan darat yang baik dan lancar, teknik pembuatan jalan yang baik timbul lagi.
6. Perkembangan Konstruksi Perkerasan Jalan Pada Abad Ke-20.

Sesudah perang dunia ke I kira-kira tahun 1920 banyak negara-negara mulai memperhatikan pembangunan jalan raya, karena makin banyaknya angkutan kendaraan bermotor. Persaingan antara Kereta Api dan kendaraan bermotor mulai ramai, karena masing-masing memiliki keunggulan sendiri. Untuk angkutan secara massal jarak jauh Kereta Api unggul, tetapi sebaliknya untuk angkutan jarak pendek/ dekat kendaraan bermotor lebih unggul dikarenakan kendaraan bermotor dapat melayani dari pintu ke pintu (door to

door), dan bahan bakar yang dibutuhkan lebih rendah. Disamping itu pula orang mulai membuat jalan, sehingga perkembangan pembuatan jalan menjadi menjadi lebih cepat dengan kemudahan pembuatan dan kualitas yang lebih baik. Selama perang dunia ke II untuk keperluan militer yang mendesak telah dibuat beribu-ribu kilometer jalan secara masinal sistem modern di banyak negara. Hal ini mendorong berkembangnya ilmu pengetahuan mengenai jalan raya.

Perkembangan kota yang begitu pesat yang terjadi saat ini berimplikasi timbulnya persoalan transportasi khususnya kota-kota besar di Indonesia seperti Kota Jakarta, Bandung, Surabaya, Medan dan Makassar. Hal ini merupakan suatu persoalan yang cukup kompleks dan memprihatinkan khususnya dalam memecahkan masalah banyaknya jumlah kendaraan yang berada di jalan-jalan kaitannya dengan terjadinya kemacetan lalu lintas. Khaerat Nur, dkk (2016). Pengguna angkutan pribadi lebih mengutamakan waktu tempuh, waktu tunggu dan faktor total rate untuk bersedia berpindah ke moda angkutan umum yang juga diikuti oleh faktor lainnya. pengguna angkutan pribadi dari aspek; keselamatan, keamanan, kenyamanan dan budaya, menilai penyediaan jasa angkutan umum dari segi aksesibilitas, mobilitas dan tingkat pelayanannya masih rendah. Dengan demikian pengguna angkutan pribadi perjalanan komuter saat ini masih enggan bertransformasi menggunakan angkutan umum. (Nur Khaerat Nur, 2018)

1.2 Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

1. Konstruksi perkerasan lentur (Flexible Pavement)
Perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan Lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ketanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (Rigit Pavement)
Perkerasan yang menggunakan semen (Portland Cement) sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan

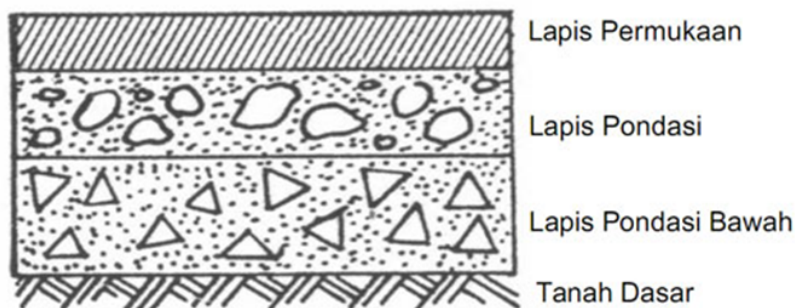
diletakkan di atas tanah dasat dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.

3. Konstruksi perkerasan komposit (Composite Pavement)

Perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

1.2.1 Konstruksi perkerasan lentur (Flexible Pavement)

Konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement), adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Aspal itu sendiri adalah material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika aspal dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu, aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis), menurut Sukirman (1999).



Gambar 1.2: Konstruksi perkerasan lentur (Flexible Pavement) (Dinaas Pekerjaan umum dan penataan Ruang, 2014)

Sifat aspal berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh sehingga daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang. Perubahan ini dapat di atasi/dikurangi jika sifat-sifat aspal dikuasai dan dilakukan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaan. Konstruksi perkerasan lentur terdiri atas lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-Lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu

lintas dan menyebarkan ke lapisan yang ada di bawahnya, sehingga beban yang diterima oleh tanah dasar lebih kecil dari beban yang diterima oleh lapisan permukaan dan lebih kecil dari daya dukung tanah dasar. Contoh lapisan konstruksi perkerasan lentur ditunjukkan dalam Gambar 1.2.

1.2.2 Komponen Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)

1. Tanah Dasar (sub grade)

Tanah Dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan, yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.

2. Lapis Pondasi Bawah (sub base course)

Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain:

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
- b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- c. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.
Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat-alat besar atau karena kondisi

lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

Ber macam-macam tipe tanah setempat ($CBR > 20\%$, $PI < 10\%$) yang relatif lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah. Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur atau semen portland dalam beberapa hal sangat dianjurkan, agar dapat bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan.

3. Lapis Pondasi (base course)

Lapis Pondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

Fungsi lapis pondasi antara lain:

- a. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik. Ber macam-macam bahan alam/bahan setempat ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain: batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

4. Lapis Permukaan (surface course)

Lapis Permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan antara lain:

Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda

- a. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca.
- b. Sebagai lapisan aus (wearing course).

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti

mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

1.2.3 Jenis-jenis Lapis Permukaan (surface course)

Jenis lapis permukaan terdapat bermacam-macam yaitu:

1. Lapis Aspal Beton (LASTON)

Lapis Aspal Beton (LASTON) adalah merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

2. Lapis Penetrasi Makadam (LAPEN)

Lapis Penetrasi Macadam (LAPEN) adalah merupakan suatu lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dengan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal keras dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis dan apabila akan digunakan sebagai lapis permukaan perlu diberi laburan aspal dengan batu penutup.

3. Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG)

Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG) adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan peremaja dan filler (bila diperlukan) yang dicampur, dihampar dan dipadatkan secara dingin.

4. Hot Rolled Asphalt (HRA)

Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

5. Laburan Aspal (BURAS)

Laburan Aspal (BURAS) adalah merupakan lapis penutup terdiri dengan ukuran butir maksimum dari lapisan aspal taburan pasir 9,6 mm atau 3/8 inch.

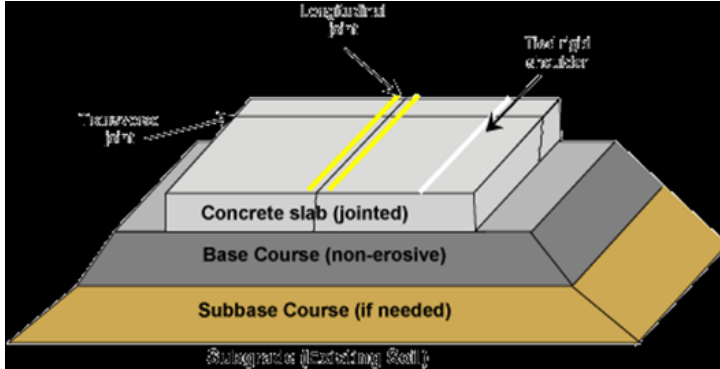
6. Laburan Batu Satu Lapis (BURTU)
Laburan Batu Satu Lapis (BURTU) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam. Tebal maksimum 20 mm.
7. Laburan Batu Dua Lapis
Laburan Batu Dua Lapis (BURDA) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan. Tebal maksimum 35 mm.
8. Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS)
Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS) adalah merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu, dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.
9. Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH)
Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH) adalah pada umumnya merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan pada temperatur tertentu.
10. Lapis Tipis Aspal Beton
Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Tebal padat antara 25 sampai 30 mm.
11. Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR)
Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran pasir dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.
12. Aspal Makadam
Aspal Makadam adalah merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan/atau agregat pengunci bergradasi terbuka atau

seragam yang dicampur dengan aspal cair, diperam dan dipadatkan secara dingin.

Bagian perkerasan jalan umumnya meliputi: lapis pondasi bawah (sub base course), lapis pondasi (base course), dan lapis permukaan (surface course).

1.3 Konstruksi perkerasan kaku (Rigid Pavement)

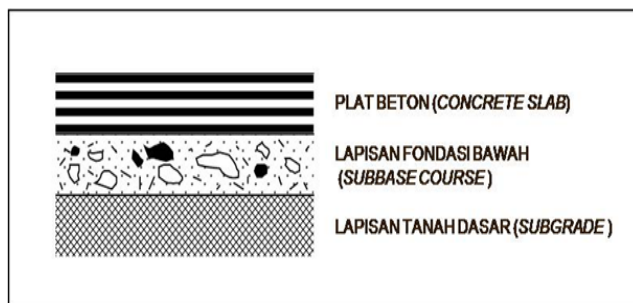
Rigid Pavement atau perkerasan kaku sudah sangat lama dikenal di Indonesia. Ia lebih di kenal pada masyarakat umum dengan nama Jalan Beton. Perkerasan tipe ini sudah sangat lama di kembangkan di negara – negara maju seperti Amerika, Jepang, Jerman dan lain-lain.



Gambar 1.3: Konstruksi perkerasan kaku (Rigid Pavement) (Sugiyanto, 2019)

Rigid Pavement atau Perkerasan Kaku adalah suatu susunan konstruksi perkerasan di mana sebagai lapisan atas digunakan pelat beton yang terletak di atas pondasi atau di atas tanah dasar pondasi atau langsung di atas tanah dasar (subgrade). Pada mulanya plat perkerasan kaku hanya di letakkan di atas tanah tanpa adanya pertimbangan terhadap jenis tanah dasar dan drainasinya. Ukuran saat itu hanya 6 – 7 inch. Seiring dengan perkembangan jaman, beban lalu lintas pun bertambah terutama saat sehabis Perang Dunia ke II, para engineer akhirnya mulai menyadari tentang pentingnya pengaruh jenis tanah dasar terhadap pengerjaan perkerasan terutama sangat pengaruh terhadap

terjadinya pumping pada perkerasan. Pumping merupakan proses pengocokan butiran – butiran subgrade atau subbase pada daerah – daerah sambungan (basah atau kering) akibat gerakan vertikal pelat karena beban lalu lintas yang mengakibatkan turunnya daya dukung lapisan bawah tersebut.



Gamabar 1.4: Lapisan Konstruksi perkerasan kaku (Rigit Pavem)ent
(KemenPUPR, 2017)

Berdasarkan adanya sambungan dan tulangan plat beton perkerasan kaku, perkerasan beton semen dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis sebagai berikut:

1. Perkerasan beton semen biasa dengan sambungan tanpa tulangan untuk kendali retak.
2. Perkerasan beton semen biasa dengan sambungan dengan tulangan plat untuk kendali retak. Untuk kendali retak digunakan wire mesh di antara siar dan penggunaannya independen terhadap adanya tulangan dowel.
3. Perkerasan beton bertulang menerus (tanpa sambungan). Tulangan beton terdiri dari baja tulangan dengan prosentasi besi yang relatif cukup banyak (0,02 % dari luas penampang beton).

Pada saat ini, jenis perkerasan beton semen yang populer dan banyak digunakan di negara-negara maju adalah jenis perkerasan beton bertulang menerus. Dalam konstruksinya, plat beton sering disebut sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton pada bagian atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan. Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, mendistribusikan beban dari atas menuju ke bidang tanah dasar yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari plat beton sendiri. Hal ini berbeda

dengan perkerasan lentur di mana kekuatan perkerasan diperoleh dari tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan.

Karena yang paling penting adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton semen adalah kekuatan beton itu sendiri. Adanya beragam kekuatan dari tanah dasar dan atau pondasi hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya. Lapis pondasi bawah jika digunakan di bawah plat beton karena beberapa pertimbangan, yaitu antara lain untuk menghindari terjadinya pumping, kendali terhadap sistem drainase, kendali terhadap kembang-susut yang terjadi pada tanah dasar dan untuk menyediakan lantai kerja (working platform) untuk pekerjaan konstruksi.

Secara lebih spesifik, fungsi dari lapis pondasi bawah adalah:

1. Menyediakan lapisan yang seragam, stabil dan permanen.
2. Menaikkan harga modulus reaksi tanah dasar (modulus of sub-grade reaction = k), menjadi modulus reaksi gabungan (modulus of composite reaction).
3. Mengurangi kemungkinan terjadinya retak-retak pada plat beton.
4. Menyediakan lantai kerja bagi alat-alat berat selama masa konstruksi.
5. Menghindari terjadinya pumping, yaitu keluarnya butir-butiran halus tanah bersama air pada daerah sambungan, retakan atau pada bagian pinggir perkerasan, akibat lendutan atau gerakan vertikal plat beton karena beban lalu lintas, setelah adanya air bebas terakumulasi di bawah pelat.

Adapun untuk persyaratan umum Konstruksi perkerasan kaku (Rigit Pavement) yakni:

1. Tanah Dasar

Untuk daya dukung tanah ditentukan oleh CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR Laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing – masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Di sini apabila tanah dasar memiliki nilai CBR di bawah 2% maka digunakan pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus setebal 15 cm sehingga tanah dianggap memiliki CBR 5%.

2. Pondasi Bawah

Untuk bahan pondasi bawah biasanya digunakan:

- a. Bahan Berbutir
- b. Stabilisasi atau dengan beton giling padat (Lean Rolled Concrete)
- c. Campuran beton kurus (Lean-Mix Concrete)

3. Beton Semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik uji lentur (flexural, strength) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 Mpa (30-50 kg/cm²). Beton juga bisa diperkuat dengan serat baja (steel fibre) untuk memperkuat kuat tarik lenturnya serta mengendalikan retak pada plat khususnya bentuk tak lazim.

4. Lalu Lintas

Untuk penentuan beban lalu lintas rencana pada perkerasan beton semen dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir. Untuk kendaraan yang ditinjau memiliki berat total minimum 5 ton.

5. Bahu

Bahu dapat terbuat dari bahan lapisan pondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup beraspal atau lapisan beton semen. Pada pedoman yang dimaksud dengan Bahu beton semen adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu-lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0,60 m yang juga mencakup saluran dan keran.

6. Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton berfungsi sebagai:

- a. Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu lintas.
- b. Memudahkan pelaksanaan

c. Mengakomodasi gerakan pelat

Untuk polanya, sambungan beton semen memiliki batas – batas tersendiri diantaranya:

1. Panel diusahakan sepersegi mungkin dengan perbandingan maksimum panjang dan lebarnya 1,25
2. Jarak maksimum sambungan memanjangnya 3-4 m
3. Jarak maksimum sambungan melintang 25 kali tebal plat, maksimum 5 m
4. Antar sambungan harus terhubung dengan satu titik untuk menghindari terjadinya retak refleksi pada lajur bersebelahan
5. Sudut dari sambungan yang lebih kecil dari 60 derajat harus dihindari dengan mengatur 0.5 m panjang terakhir dibuat tegak lurus terhadap tepi perkerasan
6. Semua bangunan lain seperti manhole harus dipisahkan dari perkerasan dengan sambungan muai selebar 12 mm meliputi keseluruhan tebal plat

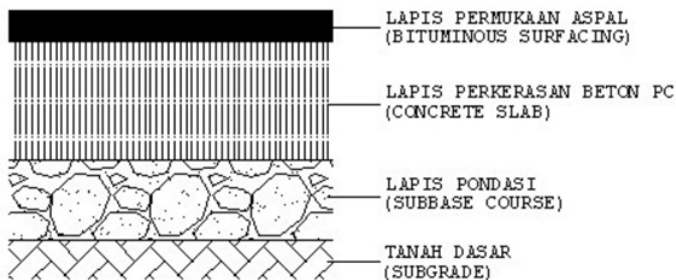
Prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan dua model kerusakan yaitu:

1. Retak fatik tarik lentur pada plat
2. Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan

1.4 Konstruksi perkerasan komposit (Composite Pavement)

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement) dan lapisan perkerasan lentur (flexible pavement) di atasnya, di mana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar

mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya.



Gambar 1.5: Konstruksi Perkerasan Komposit (Perkerasan Komposit)
(KemenPUPR, 2017)

Konstruksi ini umumnya mempunyai tingkat kenyamanan yang lebih baik bagi pengendara dibandingkan dengan konstruksi perkerasan beton semen sebagai lapis permukaan tanpa aspal. Struktur perkerasan komposit adalah perkerasan kaku dengan lapisan beraspal pada permukaan sebagai lapisan aus. Lapisan beraspal/lapisan aus ini diperhitungkan sebagai bagian yang ikut memikul beban. Perbedaan struktur perkerasan komposit dengan struktur perkerasan kaku adalah terletak pada lapisannya. Pada struktur perkerasan komposit, lapisan atas berupa lapisan beraspal sedangkan pada struktur perkerasan kaku berupa beton semen.

Menggunakan metode perkerasan tipe komposit ternyata memberi banyak kelebihan bagi pengguna jalan raya serta pihak pengembang. Tidak seperti metode perkerasan jalan aspal, pada jenis komposit menggabungkan unsur kaku dan lentur yang mana memperlihatkan kesan lebih cepat dalam proses konstruksinya. Dalam proses pembuatan lapisan jalan komposit harus memenuhi persyaratan ketebalan pada sektor aspal karena memang mampu memberi manfaat dalam mencegah terjadinya retak refleksi pada saat proses perkerasan beton di lapisan bawah. Meskipun dari segi prosesnya terbilang rumit karena menggabungkan unsur lapisan kaku dan lunak, tetapi pada hasil akhirnya bisa dibilang sempurna. proses perawatan tidak mengeluarkan biaya besar. Tidak hanya itu, jangka waktu perawatan juga lebih panjang dibandingkan memakai perkerasan aspal. Kombinasi antara lapisan kaku dan lunak menjadi keunggulan pada tipe komposit, sehingga dari segi efisiensi biaya bisa tercapai. Tipe perkerasan jalan komposit dinilai lebih kuat bahkan

mampu menghadirkan banyak keunggulan dibandingkan tipe aspal. Bahan komposit menjadi perpaduan antara lapisan lentur dan kaku, sehingga pada saat diaplikasikan semua beban kendaraan akan tersebar lebih merata sehingga keawetannya lebih lama. Meskipun pada lapisan aspal masih rentan terhadap genangan air tetapi dari sektor keawetannya bisa lebih baik karena ada lapisan kaku berupa semen dan beton. Ketika konstruksi jalan raya terlihat kuat dan kokoh maka pengguna jalan lebih nyaman saat melintas. Tidak hanya itu, kekuatan jalan raya juga memberi keamanan bagi pengguna jalan terutama saat kondisi jalan terasa terlihat licin karena genangan air. Struktur jalan lebih kuat dan tahan lama membuat pengguna jalan merasa lebih nyaman sehingga tipe komposit banyak dimanfaatkan untuk jalan-jalan nasional ataupun jalan kabupaten.

Bab 2

Jenis dan Fungsi Lapis Perkerasan

2.1 Jenis Lapis Perkerasan

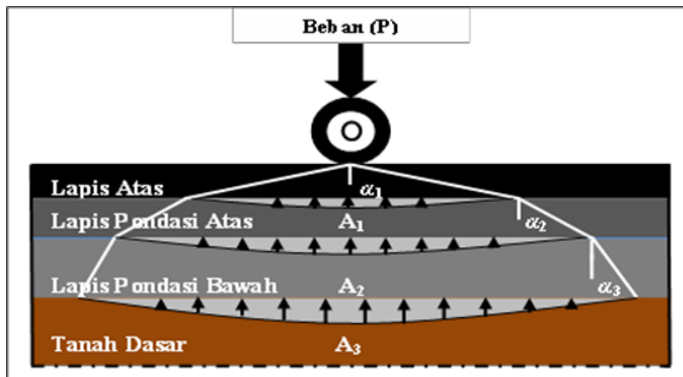
Perkerasan jalan adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan agregat dan aspal atau semen (Portland Cement) sebagai bahan ikatnya sehingga lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Fungsi utama dari perkerasan sendiri adalah untuk menyebarkan atau mendistribusikan beban roda ke area permukaan tanah dasar (sub-grade) yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar. Perkerasan harus memiliki kekuatan dalam menopang beban lalu lintas. Permukaan pada perkerasan haruslah rata tetapi harus mempunyai kekesatan atau tahan gelincir (skid resistance) di permukaan perkerasan. Perkerasan dibuat dari berbagai pertimbangan, seperti: persyaratan struktur, ekonomis, keawetan, kemudahan, dan pengalaman (Crhistiady, 2011).

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

1. Kontruksi perkerasan lentur (Flexible Pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas.
2. Kontruksi perkerasan kaku (Rigid Pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (Portland Cement) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu-lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Kontruksi perkerasan komposit (Composite Pavement), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan di atas perkerasan lentur yang ada di lapangan.

Perkerasan lentur merupakan campuran agregat batu pecah, pasir, material pengisi (filler), dan aspal yang kemudian dihamparkan lalu dipadatkan. Perkerasan lentur dirancang untuk melendut dan kembali lagi ke posisi semula bersama-sama dengan tanah-dasar pada saat menerima beban. Perancangan perkerasan lentur didasarkan pada teori elastis dan pegalaman lapangan. Teori elastis pada perkerasan sendiri untuk menganalisis regangan dalam setiap lapisan agar defleksi permanen tidak terjadi (Christiady, 2011). Perkerasan lentur (Flexible Pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas (Sukirman, 1999).

Sesuai dengan konsep perkerasan lentur, perkerasan ini akan melendut / melentur bila diberikan beban pada perkerasan. Karena sifat penyebaran gaya maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil. Gaya yang di terima masing-masing lapisan berbeda-beda dan akan semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar akan menerima gaya vertikal saja (Sukirman, 1999), seperti yang ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.1: Distribusi Beban Roda Pada Perkerasan (Wiryanto, 2011)

Berdasarkan dari Gambar di atas distribusi beban dari roda keperkerasan, kerusakan yang biasa terjadi di lapangan adalah kerusakan bagian lapis atas, seperti terjadi cracking atau bleeding akibat kualitas aspal yang tidak dapat melayani kebutuhan jalan. biasanya bahan aspal yang digunakan berupa Aspal Starbit E-55 dan Retona Blend E-55 sebagai alternatif peningkatan kualitas aspal yang tidak hanya berupa peningkatan titik leleh, namun juga elastic recovery (sangat penting untuk daerah dengan lalu lintas berat), kelengketan terhadap agregat, ketahanan terhadap oksidasi, ketahanan terhadap fatigue (kerekatan) dan ketahanan terhadap deformasi.

Selain perkerasan jalan lentur, di Indonesia dikenal juga jenis perkerasan Kaku yang konstruksinya berasal dari perkerasan Beton. Perkerasan kaku (beton semen) merupakan konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif cukup tinggi khususnya bila dibandingkan dengan perkerasan aspal (perkerasan lentur), sehingga dikenal dan disebut sebagai perkerasan kaku atau rigid pavement.

Modulus Elastisitas (E) merupakan salah satu parameter yang menunjukkan tingkat kekakuan konstruksi disamping dimensinya; dan dapat dipergunakan sebagai acuan ilustrasi tingkat kekakuan konstruksi perkerasan. Pada perkerasan aspal (perkerasan lentur), modulus elastisitas sekitar (E_a) sekitar 4.000 MPa, sedangkan pada perkerasan kaku (beton semen) modulus elastisitas rata-rata (E_b) berkisar pada besaran 40.000 MPa atau 10 kali lipat dari perkerasan aspal.

Jalan Perkerasan kaku, telah lama diterapkan di Inverness, Inggris, yaitu pada tahun 1868. Tetapi pada saat itu perkembangannya tidak begitu pesat, di mana

sampai dengan tahun 1919 hanya beberapa kilometer jalan saja yang telah dibangun. Sementara itu di Amerika Serikat, perkerasan kaku yang pertama dibangun ialah di Bellefontaine, Ohio, pada tahun 1891 oleh George Bartholomew. Dia telah belajar tentang produksi semen di Jerman dan Texas, serta menemukan sumber material tersebut seperti batu kapur dan lempung di pusat Ohio. Karena perkerasan kaku ini yang pertama kali dibangun di sana, pemerintah daerah meminta dia untuk memberikan jaminan sebesar \$ 5000, bahwa perkerasan kaku ini bisa bertahan selama 5 tahun. Lebih dari 100 tahun kemudian, bagian dari perkerasan kaku ini masih berfungsi.

Selain untuk jalan raya, perkerasan kaku ini di kembangkan juga untuk perkerasan pada lapangan terbang. Perkerasan kaku untuk lapangan terbang yang pertama kali dibangun tahun 1928 di Ford Field Dearborn, Michigan. Setahun kemudian dibangun juga di Cunken Field Cincinati, Ohio. Seperti kebanyakan perkerasan kaku untuk jalan raya, perkerasan di lapangan terbang ini menggunakan penebalan pada bagian tepinya, dengan penebalan 5 cm lebih tebal dari bagian tengahnya. Pada jalan percobaan AASHTO ada dua mode keruntuhan yang berbeda untuk perkerasan kaku. Perkerasan yang sangat tipis runtuh dengan pumping tepi yang memanjang, yang diakibatkan oleh retak tepi yang menyatu menjadi retak tepi yang memanjang. Perkerasan yang lebih tebal runtuh akibat pumping pada sambungan, yang menyebabkan dimulainya retak melintang, khususnya pada sisi sambungan yang ditinggal lalu lintas (traffic leave side of the joints). Dari 84 segmen percobaan yang tebalnya lebih besar dari 20 cm hanya tujuh segmen yang mengalami indeks serviceability lebih kecil dari 4 pada akhir masa pelayanannya. Kenyataanya hanya tiga segmen yang bisa dipandang runtuh/hancur.

Pada awal penggunaan pekerasan kaku, sering mengalami kerusakan akibat siklus “freezing and thawing” atau scalling (pelepasan butir) akibat deicing salt atau pumping dari subgrade. Masalah ini telah di atasi pada tahun 1930 an, dengan air entrainment pada beton untuk mengatasi masalah durabilitas. Kondisi yang mengarah pada pumping telah diidentifikasi, yaitu akibat material halus yang bisa menjadi “bubur” pada tanah dasar, serta beban sumbu kendaraan yang berat dan sering dilewati. Untuk mencegah kondisi tersebut lapisan subbase antara tanah dasar dengan perkerasan kaku, perlu digunakan untuk mencegah pumpin.

Sebelum ditemukan ketiga jenis perkerasan jalan datar, ada beberapa macam jenis perkerasan yang di pakai manusia sebagai wadah melaksanakan aktivitas sehari-hari, antara lain:

1. Jalan Tanah

Jalan yang bahan pengerasannya dari tanah bergradasi di urugan secara bertahap dan diratakan secara mekanis sesuai dengan ukuran dan persyaratan geometrik jalan. Proses meratakan muka tanah dibantu dengan air pada kondisi optimum sehingga memudahkan dalam hal pemadatan. Proses pembuatan profil damaja jalan bisa dilakukan melalui pengalihan atau timbunan. Pada proses pembuatan daerah milik jalan harus memiliki Kelengkapan drainase dan kemiringan permukaan jalan arah melintang dapat dibuat 3 – 5 %, proses penanggulangan pada kondisi saat hujan dan jumlah air berlebihan yang mengakibatkan lembek dan licin yaitu dengan menambahkan/melapisinya dengan pasir kasar. Pada daerah pertambangan minyak, badan jalan (jalan tanah) disiram dengan minyak mentah agar air tidak mengikat terlalu banyak pada gradasi tanah.

2. Jalan Krikil

Ciri-ciri dari jalan yang berbahan batu pecah terdiri dari permukaan jalan bagian atas di pasangkan lapisan bersusun dari batu kerikil, batu pecah 5/7, dilapisi cairan aspal serta bagian atas ditebarkan batu 1/1 dan lapisan pasir kasar, metode pelaksanaan sistem tumpang tindih dengan bantuan pengikat aspal cair untuk mengisi permukaan rongga material lapisan atas. Bagian tepi dipasangkan batu underlag pengunci tepi perkerasan terluar dengan batu 20/15 cm.

3. Jalan Sistem Telford

Lapisan perkerasan yang disusun dari lapisan bagian bawah pasir urug tebal 10 cm, lapisan batu underlag 15 -20 cm, dilapisi batu pengunci 5/7 cm dan dipadatkan secara mekanis dalam 8 kali (bolak balik), mulai dari tepi jalan ke tengah diikat dengan lapisan aspal kliciran pada permukaan dan ditutup pasir kasar diameter 1/1 dengan tebal 0.5 cm s/d 1 mm. Bahan-bahan dasar untuk lapisan cengkam bagian tepi yang

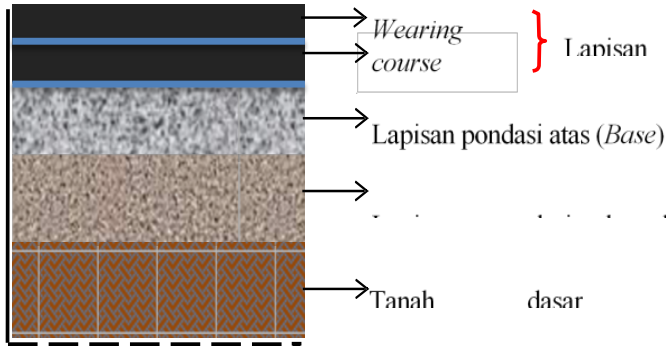
dipakai ialah batu kali (semirip bulat). Ketentuan lain dalam sistem Telford, pada umumnya mempunyai ketentuan Lebar minimal tidak lebih dari 2,5 m-3,0 m, untuk tanah keras dipakai tebal konstruksi 15 cm, ukuran batu tepi sebesar 15-20 cm.

4. Jalan Sistem Mac Adam

Sistem lapisan perkerasan yang di desain oleh John London Mc. Adam pada (1756-1836) memperkenalkan konstruksi perkerasan dengan prinsip “tumpang tindih” dengan mempergunakan batu-batu pecah yang dipasangkan bersusun dengan ukuran batu terbesar 3". Batu besar terletak pada bagian bawah, lapis bagian atasnya digunakan batu dengan susunan lebih kecil. Bagian tepi jalan berbatasan dengan bahu jalan dipasangkan pasangan batu atau konstruksi massif dari pasangan batu untuk mencegah terjadinya pergeseran lapisan kesamping. Pada masa sampai tahun 1980, jalan didaerah sampai sekarang, sistem telford dan Mac Adam tersebut masih lazim dipergunakan di sebagian wilayah Indonesia. Dengan menggabungkannya menjadi system Telford – Mac Adam, susunan perkerasan untuk bagian bawah dengan system Telford kemudian untuk lapisan perkerasan atas perkerasan atas dengan system Mac Adam.

2.1.1 Jenis Lapis Perkerasan Lentur

Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapis material yang diletakkan pada tanah dasar. Komponen material tersebut akan memberikan sokongan penting dari kapasitas struktur perkerasan (Christiady, 2011). Untuk mendapatkan kekuatan struktur perkerasan yang optimal dan ekonomis, maka struktur perkerasan dibuat berlapis-lapis berdasarkan besar beban yang diterima dari roda kendaraan sampai ke tanah dasar. Setiap lapis pada perkerasan mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Setiap lapisan juga harus bisa mendistribusikan beban sampai kebawah, jika salah satu lapisan tidak bisa mendistribusikan beban dengan baik, maka akan merusak lapisan yang lain. Lapisan paling atas terdiri dari 2 lapisan, yaitu: wearing course, kemudian binder course, lalu lapisan pondasi atas (base course), lapisan pondasi bawah (sub-base), kemudian tanah dasar (sub-grade). Berikut ini adalah gambar dari lapis perkerasan lentur.



Gambar 2.2: Gambar Struktur Lapisan Perkerasan

Menurut Sukirman (1999), Lapis permukaan adalah bagian perkerasan terletak paling atas. Mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Lapisan perkerasan penahan beban roda, lapisan ini mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Sebagai lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Sebagai lapisan aus (wearing course), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapis bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih jelek.

Lapis permukaan itu sendiri masih bisa dibagi lagi menjadi beberapa lapisan lagi, yaitu:

1. Lapis Aus (Wearing Course)

Lapis aus (wearing course) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (binder course). Fungsi dari lapis aus adalah:

 - a. Mengamankan perkerasan dari pengaruh air.
 - b. Menyediakan permukaan yang halus.
 - c. Menyediakan permukaan yang kesat.

2. Lapis Antara (Binder Course)

Lapis antara (binder course) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (base course) dengan lapis aus (wearing course). Fungsi dari lapis antara adalah:

- a. Mengurangi tegangan.
- b. Menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.

3. Lapisan pondasi atas (Base Course).

Lapis pondasi atas adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi bawah dan lapisan permukaan. Mempunyai fungsi sebagai:

- a. Sebagai lapis pendukung bagi lapis permukaan.
- b. Bagian perkerasan yang menahan gaya dari beban roda dan menyebarkan ke lapisan bawahnya.
- c. Sebagai lapisan peresapan untuk pondasi bawah.
- d. Memberikan bantalan terhadap lapisan permukaan (pemikul beban horizontal dan vertikal).

4. Lapisan pondasi bawah (Subbase)

Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Mempunyai fungsi sebagai:

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- b. Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
- c. Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah lebih relatif murah dibandingkan yang berada di atas.
- d. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar ke lapis atas.
- e. Sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak mengumpul di pondasi maupun di tanah dasar.
- f. Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lancar.

2.1.2 Tanah dasar (Subgrade)

Tanah dasar (subgrade) adalah permukaan tanah semula atau tanah asli, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Pematapatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan dan sistem drainase yang memenuhi syarat (Sukirman, 1999). Beban kendaraan yang dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan-lapisan di bawahnya dan terakhir diterima oleh tanah dasar. Kekuatan dan keawetan maupun tebal dari lapisan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar ini.

2.1.3 Karakteristik Perkerasan Lentur

Karakteristik perkerasan merupakan sifat khusus perkerasan yang dapat menentukan baik buruknya kualitas dari perkerasan. Karakteristik perkerasan yang baik adalah perkerasan yang dapat memberikan pelayanan terhadap lalu lintas yang direncanakan, baik berupa kekuatannya, keawetan, dan kenyamanannya. Karakteristik tidak terlepas dari kualitas bahan penyusunnya, terutama pada saat proses pembuatan.

Karakteristik yang harus dimiliki oleh perkerasan lentur adalah sebagai berikut (Sukirman, 1999):

- a. Stabilitas
- b. Durabilitas
- c. Fleksibilitas
- d. Tahanan geser (Skid Resistance)
- e. Kedap air
- f. Kemudahan dalam pekerjaan (Workability)
- g. Ketahanan leleh (Fatigue Resistance)

2.1.4 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap atau kerusakan permanen, seperti: bergelombang, alur, bleeding, retak, pecah, dan bolong. Kebutuhan akan

stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut, artinya jalan dengan tingkat pelayanan volume lalu lintas tinggi dan kendaraan berat. Pada kondisi tersebut maka dibutuhkan struktur perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi dibandingkan dengan jalan yang hanya melayani kendaraan biasa. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan:

1. agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*),
2. agregat dengan permukaan yang kasar,
3. agregat berbentuk kubus,
4. aspal dengan penetrasi rendah, dan
5. aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

2.1.5 Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain sebagainya.

Faktor-faktor yang dapat memengaruhi durabilitas adalah:

1. Film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan potensi terjadinya *bleeding* menjadi besar.
2. VIM (*Voids in Mix*) kecil sehingga lapisan menjadi kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran.
3. VMA (*Void in Mineral Agregate*) besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
4. Jika VMA dan VIM dibuat kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar

2.1.6 Kelenturan (Flexibility)

Kelenturan Fleksibilitas adalah kemampuan bahan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan beberapa cara seperti di bawah ini:

1. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
2. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
3. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

2.1.7 Tahanan geser (Skid Resistance)

Tahanan geser adalah kemampuan perkerasan aspal memberikan permukaan yang cukup kasar sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip atau pergeseran ban saat melaju, baik diwaktu jalan basah maupun kering. Tahanan geser dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan.

Tingginya nilai tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti di bawah ini:

1. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar.
2. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding dan adanya rongga udara yang cukup dalam campuran, sehingga bila terjadi panas aspal tidak terdesak keluar ke permukaan jalan.
3. Penggunaan agregat dengan bentuk kubus.
4. Penggunaan komposisi agregat yang cukup.

2.1.8 Kedap Air

Kedap air adalah kemampuan bahan perkerasan untuk tidak dapat dengan mudah dilalui oleh air atau udara. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan (oksidasi) campuran beton aspal dan pengelupasan selimut aspal (film) dari permukaan agregat.

Adapun cara mengusahakan agar bahan perkerasan kedap air sebagai berikut ini:

1. Memperkecil VIM dan memperbesar kadar aspal.
2. Menggunakan gradasi agregat yang rapat (dense graded).

2.1.9 Kemudahan dalam pekerjaan (Workability)

Kemudahan pelaksanaan adalah sifat mudahnya bahan lapis perkerasan untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Workability ini dipengaruhi oleh beberapa hal di bawah ini:

1. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.
2. Temperatur campuran yang dapat memengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastic.
3. Kandungan bahan pengisi (filler) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

2.1.10 Ketahanan leleh (Fatigue Resistance)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (rutting) dan retak. Faktor-faktor yang memengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah sebagai berikut ini:

1. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
2. VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

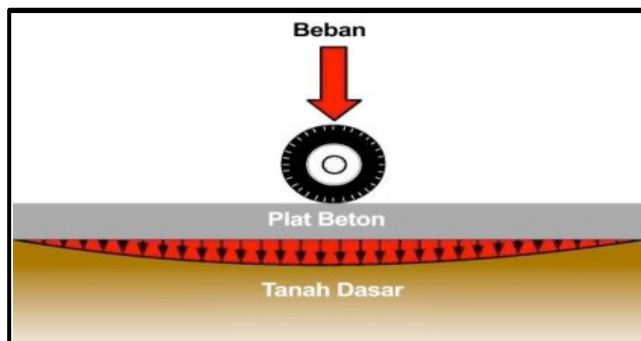
2.1.11 Material Perkerasan

Material yang terdapat dalam perkerasan beton aspal meliputi agregat, bahan pengisi (filler), dan aspal. Material tersebut kemudian dicampur berdasarkan standarisasi yang sudah ada. Bahan ikat pada struktur perkerasan dapat berupa semen portland (PC) atau aspal.

2.2 Jenis Lapis Perkerasan Kaku

perkerasan kaku mempunyai kekakuan (modulus elastisitas) yang jauh lebih tinggi dari perkerasan aspal (sekitar 10 kali nya). Setiap konstruksi yang menerima beban dari atas, akan menyalurkan atau menyebarkan beban tersebut ke bawah. Dalam hal konstruksi perkerasan jalan, salah satu fungsinya adalah untuk menyalurkan dan menyebarkan beban lalu-lintas yang diterima kelapisan di bawahnya sampai ke lapisan tanah dasar (subgrade). Beban yang disalurkan ke lapisan di bawahnya, menghasilkan tekanan yang lebih kecil, disebabkan makin luasnya area yang menampung beban tersebut, sehingga mampu dipikul oleh lapisan tanah dasar.

Dengan kekakuan atau modulus elastisitas beton semen yang lebih besar, konstruksi perkerasan kaku mempunyai kemampuan penyebaran beban yang lebih tinggi dari perkerasan lentur. Sebagai akibatnya, lendutan menjadi lebih kecil serta tegangan yang bekerja pada tanah dasar juga rendah, karena itu perkerasan kaku tidak memerlukan daya dukung pondasi yang kuat. Keseragaman daya dukung tanah dasar sangat penting diperhatikan, di mana tidak boleh ada perubahan yang mencolok dari daya dukung tersebut. Hal ini sangat bertolak belakang dengan prinsip perencanaan perkerasan lentur di mana lapisan pondasi (base) dan lapis pondasi bawah (subbase) memerlukan kekuatan yang tinggi untuk mendistribusikan tegangan dari beban roda yang bekerja pada lapisan aspal. Ilustrasi distribusi beban pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur, ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.3: Ilustrasi distribusi beban pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur

Hasil pengujian tegangan pada tanah dasar pada perkerasan kaku, dari beban roda seberat 12.000 lb, atau tegangan yang bekerja seberat 106 psi, direduksi hingga tegangan pada tanah dasar menjadi 3 sampai 7 psi dengan area daerah distribusi lebih dari 20 ft. Pengujian yang dilakukan oleh Portland Cement Association (PCA) juga menunjukkan bahwa beban roda yang lebih berat didistribusikan pada tanah dasar dengan bidang yang luas serta tidak menimbulkan tegangan yang lebih tinggi.

2.2.1 Struktur Perkerasan Kaku

Pada awal perkembangan perkerasan kaku, perkerasan tersebut dibangun langsung di atas tanah dasar tanpa memperhatikan jenis tanah dasar atau kondisi drainase. Sejalan dengan peningkatan lalu lintas setelah perang dunia ke II, masalah pumping menjadi hal yang penting walaupun hal itu telah dikemukakan diawal tahun 1932.

Penebalan bagian tepi umum dilakukan pada sekitar tahun 1930-an dan 1940-an. Sebagai contoh, perkerasan kaku yang dibangun dengan tebal 15,2 cm (6 in) di bagian tengah, dan tebal lapisan tepinya 20,3 cm (8 in) sepanjang tepi pelat tersebut, yang disebut perencanaan 8-6-8. Perkerasannya sendiri umumnya hanya mempunyai lebar antara 5,5 – 6,1 m. Ketika perancangan mengalami perkembangan, untuk mencegah pumping perkerasan dibangun di atas lapis pondasi bawah dengan material berbutir. Pembangunan pada saat ini, menggunakan perancangan yang lebih tebal dan sering digunakan untuk jalan raya dengan beban lalu lintas berat. Pada konstruksi perkerasan kaku, sebagai konstruksi utama adalah satu lapis beton semen mutu tinggi, dan lapis pondasi bawah hanya berfungsi sebagai konstruksi pendukung. Sedangkan pada konstruksi perkerasan lentur umumnya terdiri dari beberapa lapis (3 atau lebih) yaitu lapis permukaan (surface), lapis pondasi dan lapis pondasi bawah, yang semuanya merupakan konstruksi utama. Dari penjelasan di atas, dapat ditarik pengertian bahwa perkerasan kaku merupakan konstruksi perkerasan satu lapis (single layer), sedangkan perkerasan lentur merupakan konstruksi berlapis banyak (multi layer).

Lapisan Pondasi (Sub Base) Maksud dari penggunaan lapisan pondasi perkerasan kaku ialah untuk meningkatkan daya dukung terhadap pelat beton dan memberikan ketahanan terhadap pencegahan erosi pada lapisan pondasi akibat beban lalu lintas dan lingkungan.

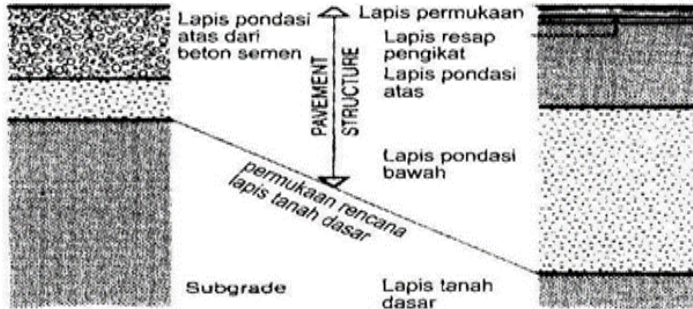
Untuk perkerasan kaku, lapisan pondasi dengan bahan pengikat, bisa bermacam-macam, salah satu dari ketiga jenis ini:

1. Batu pecah yang distabilisasi semen dengan kondisi tidak lebih kecil dari 5% (perbandingan berat) untuk mencegah erosi. Bahan cementitious bisa mengandung semen, kapur, abu terbang dan atau granulated blast furnace slag
2. Campuran beraspal bergradasi rapat
3. Lean concrete yang mempunyai kekuatan tekan pada umur 28 hari, antara 80 dan 110 kg/cm².

Pemecah ikatan antara lapisan subbase dengan lapisan pelat beton, ialah dengan menggunakan lapisan pemecah ikatan di atas lapisan pondasi untuk memberikan permukaan yang halus dan friksi yang seragam. Campuran beton kurus (lean concrete) dibuat seperti beton biasa tanpa sambungan melintang dan karena itu akan timbul retak. Ini dimaksudkan untuk mencapai pola retak yang dekat dan lebar retak yang sempit, sehingga memberikan tingkat penyaluran beban, yang berkaitan dengan lapis pemecah ikatan dan tidak akan menjalar ke pelat beton di atasnya.

2.2.2 Kapasitas Konstruksi Perkerasan Kaku

Konstruksi perkerasan kaku pada umumnya mempunyai ketebalan pelat beton sekitar 25 cm, dengan mutu kuat tekan beton yang setara dengan kuat tarik lentur 45 kg/cm². Perkerasan kaku tersebut mempunyai kapasitas atau daya layan sebesar 8 juta repetisi standard axle load, yang setara dengan konstruksi perkerasan lentur setebal 55 cm. Dengan demikian untuk beban dan tanah dasar yang sama, konstruksi perkerasan kaku memerlukan ketebalan konstruksi yang lebih tipis. Ilustrasi dari ekuivalensi struktur perkerasan kaku dan perkerasan lentur ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 4: Ilustrasi ekivalensi struktur perkerasan kaku dan perkerasan lentur

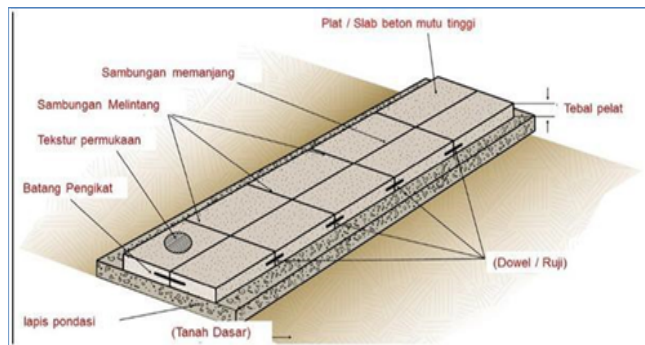
2.2.3 Pengaruh Bahu Konstruksi Perkerasan Kaku

Bahu jalan dari beton yang diikatkan, pertama kali di uji coba di Illionis pada tahun 1964, dan ditemukan memberikan tambahan nilai struktur yang sangat berarti pada perkerasan kaku, sehingga tebal pelat dari perkerasan yang menggunakan bahu beton bisa menjadi lebih tipis.

Bahu beton disini harus merupakan bahu beton yang menyatu dengan pelat secara integral atau bahu beton yang mempunyai sifat struktural, dan harus mempunyai mutu beton dan tebal yang sama dengan tebal pelat itu sendiri dengan lebar minimum 60 cm. Sedangkan lebar bahu yang menyatu dengan pelat beton dan letaknya di jalur median, lebarnya bisa dikurangi dengan minimum 50 cm. Bahu beton yang diikatkan dan bersifat struktural adalah bahu beton yang sambungannya dibentuk ada takikan dengan lebar minimum 150 cm.

2.2 4 Jenis Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku yang berupa pelat beton dilengkapi dengan beberapa sambungan, seperti sambungan susut melintang, sambungan memanjang, sambungan pelaksanaan serta sambungan muai. Masing-masing sambungan dan letaknya ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.5: Tipe dan lokasi sambungan pada perkerasan kaku

Ada beberapa tipe perkerasan kaku yang telah dikenal, akan tetapi ada dua hal yang paling penting. Pertama kekuatan terhadap beban lalu lintas yang dinyatakan dengan kuat tarik lentur dari beton. Jika penulangan digunakan, penulangan itu digunakan untuk mengontrol retak dan bukan untuk memikul beban lalu lintas. Hal yang kedua ialah bahwa perkerasan kaku menyusut akibat dari penyusutan beton itu sendiri sewaktu dalam proses mengeras, serta memuai dan menyusut akibat pengaruh temperatur, dan pergerakan ini harus diperhitungkan.

Jenis perkerasan kaku yang dikenal ada 5, yaitu:

1. Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan atau “jointed unreinforced (plain) concrete pavement” (JPCP)

Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan adalah jenis yang paling umum digunakan karena biaya yang relatif murah dalam pelaksanaannya dibanding jenis lainnya. Survei yang dilakukan oleh American Concrete Pavement Association (ACPA) pada tahun 1999, di Amerika Serikat 70% dari badan pengelola jalan negara (State Highway Agencies) menggunakan perkerasan bersambung tanpa tulangan. Di daerah di mana korosi terhadap tulangan akan menjadi masalah, ketidakberadaan tulangan akan meniadakan masalah korosi tersebut, walaupun besi ruij masih akan kena pengaruh korosi. Sambungan susut umumnya dibuat setiap antara 3,6 m dan 6 m (di Indonesia umumnya antara 4,5 m dan 5 m). Sambungan ini mempunyai jarak yang relatif dekat sehingga retak tidak akan

terbentuk di dalam pelat sampai akhir umur layanan dari perkerasan tersebut. Karena itu pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, pemuaian dan penyusutan perkerasan di atasi melalui sambungan. Pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, tidak ada tulangan pada pelat, kecuali ruji yang diletakkan pada sambungan susut tersebut, dan batang pengikat (tie bar) yang terletak pada sambungan memanjang, seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.6: Ruji pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan



Gambar 2.7: Batang pengikat pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan

Ruji adalah baja polos lurus yang dipasang pada setiap jenis sambungan melintang dengan maksud sebagai sistem penyalur beban, sehingga pelat yang berdampingan dapat bekerja sama tanpa terjadi perbedaan penurunan yang

berarti. Sedangkan batang pengikat (tie bars) adalah batang baja ulir yang dipasang pada sambungan memanjang dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horizontal. Satu kinerja yang penting dari perkerasan bersambung tanpa tulangan ialah penyalur beban yang melintang sepanjang sambungan. Jika sambungan mengalami faulting (perbedaan ketinggian dari kedua sisi pelat pada sambungan), maka pengemudi akan mengalami “bumping” pada sambungan dan menyebabkan ketidaknyamanan sewaktu mengemudi. Dua metode digunakan untuk melengkapi penyaluran beban pada sambungan perkerasan JPCP, yaitu agregat interlocking dan ruji.

Jika ruji tidak digunakan, maka penyaluran beban pada sambungan, bisa didapat melalui kekuatan geser dari agregat interlocking. Sambungan dengan agregat interlocking dibentuk selama pelaksanaan dengan menggergaji seperempat sampai sepertiga tebal pelat perkerasan untuk membuat perlemahan pada pelat di daerah tersebut. Retak akan terus menjalar melalui tebal pelat yang tidak digergaji ketika perkerasan mengalami penyusutan. Permukaan bidang retak ini akan kasar, sebab retak itu menjalar sekitar agregat melalui pasta atau mortar semen, dan selama retak tersebut tetap sempit, maka sambungan bisa menyalurkan beban dari satu pelat ke pelat lainnya melalui bearing stress dari masing masing partikel agregat yang dilalui retakan tersebut. Penyaluran beban akan menyesuaikan jika bukaan sambungan terlalu lebar atau jika agregat mengalami keausan. Kualitas dan ketahanan erosi dari bahan yang mendukung pelat pada sambungan juga memengaruhi penyaluran beban.



Gambar 2.8: Kedudukan batang pengikat pada sambungan memanjang

Ketika perkerasan memikul beban lalu lintas yang berat, khususnya pada kecepatan tinggi, agregat interlocking akan hancur seiring dengan seringnya lalu lintas lewat. Hal ini akan menyebabkan deformasi pada sambungan menjadi

semakin besar, yang akhirnya menimbulkan faulting, dan kerusakan pada sambungan. Kedudukan batang pengikat pada sambungan memanjang ditunjukkan pada gambar berikut.

2. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau “jointed reinforced concrete pavement” (JRCP)

Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau JRCP serupa dengan perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (JPCP) kecuali ukuran pelat lebih panjang dan ada tambahan tulangan pada pelatnya. Jarak sambungan umumnya antara 7,5 m dan 12 m, meskipun ada juga yang jarak sambungannya sebesar 30 m. Hasil survei oleh ACPA pada tahun 1999, sekitar 20% dari pengelola jalan negara (State Highway Agency) di Amerika Serikat menggunakan perkerasan kaku bersambung dengan Tulangan (JRCP)

Pada pelat dan jarak sambungan yang lebih panjang, ruji sangat disarankan karena bukaan sambungan akan menjadi lebih lebar dan agregat interlocking akan menjadi tidak efektif sebagai penyalur beban pada sambungan. Prosentase tulangan yang digunakan dalam arah memanjang umumnya antara 0,1% dan 0,2 % dari luas penampang melintang beton, sedangkan penulangan dalam arah melintang lebih kecil. Penulangan pada perkerasan kaku bersambung dengan tanpa tulangan dimaksudkan untuk memikul beban secara struktural, tetapi untuk "memegang" retak agar tetap rapat, guna menjaga geser sepanjang bidang retakan sebagai penyalur beban tetap berfungsi. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan ini masih tetap menggunakan ruji. Selanjutnya karena panjang pelat lebih besar dari pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, retak tetap terjadi pada interval yang sama, karena itu perkerasan bersambung dengan tulangan masih mempunyai satu atau dua retakan pada pelatnya. Keuntungan dari perkerasan kaku bersambung dengan tulangan adalah jumlah sambungan yang lebih sedikit, tetapi biayanya lebih mahal karena adanya penggunaan tulangan serta kinerja sambungan yang kurang baik dan adanya retak pada pelat. Karena jarak antar sambungan yang lebih besar dari perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, maka bukaan dan penutupan sambungan menjadi lebih lebar,

serta ruji sebagai penyalur beban menjadi lebih rentan ketika sambungan terbuka lebih lebar.

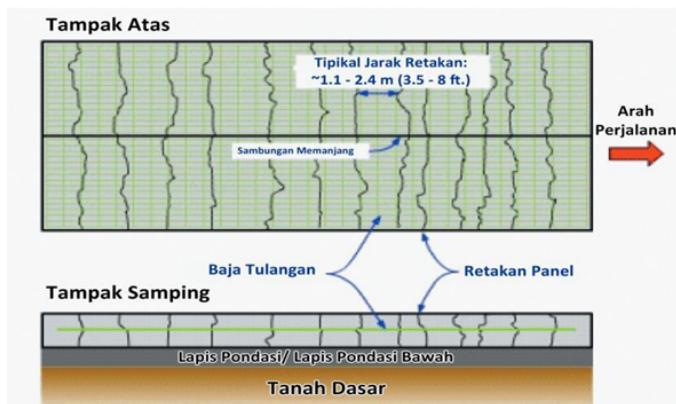
3. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan atau “continuously reinforced concrete pavement” (CRCP)

Perkerasan kaku menerus dengan tulangan adalah pelat dengan jumlah tulangan yang cukup banyak tanpa sambungan susut. Jumlah tulangan yang digunakan pada arah memanjang umumnya antara 0,6 % dan 0,8 % dari luas penampang melintang beton, dan jumlah tulangan dalam arah melintang lebih kecil dari arah memanjang. Pengalaman menunjukkan jika jumlah tulangan yang digunakan pada perkerasan kaku menerus dengan tulangan lebih kecil dari 0,6 %, maka potensi terjadinya kerusakan punch out akan menjadi lebih besar.

Retak rambut terjadi pada perkerasan kaku menerus dengan tulangan, tetapi bukan merupakan masalah bagi kinerjanya. Karakteristik retak terdiri dari beberapa retakkan, umumnya dengan jarak antara 0,6 m-2,4 m. Retak-retak tersebut “dipegang” oleh tulangan yang ada sehingga agregat interlocking-nya serta penyaluran gaya geser masih dapat terjadi. Jika interlocking geser agregat tidak dijaga, maka kerusakan "punch out" pada tepi perkerasan akan terjadi, yang merupakan tipikal kerusakan perkerasan kaku menerus dengan tulangan. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan memerlukan anker pada awal dan akhir dari perkerasan, untuk menahan ujung-ujungnya dari kontraksi akibat dari penyusutan, serta membantu perkembangan retak sesuai dengan yang diinginkan. Gambar berikut, memperlihatkan perkerasan kaku menerus dengan tulangan.

Perkerasan kaku menerus dengan tulangan ini akan memberikan kenyamanan berkendara yang lebih baik, karena permukaannya lebih rata, serta mempunyai umur yang lebih panjang dari tipe perkerasan lainnya. Survey yang dilakukan oleh ACPA, menemukan hanya delapan negara bagian di Amerika Serikat yang membangun perkerasan kaku menerus dengan tulangan ini. Studi yang dilakukan pada tahun 2000an tentang kinerja perkerasan kaku di Amerika Serikat bagian tenggara terhadap jalan CRCP di negara bagian Alabama,

Florida, Mississippi, Carolina utara dan Carolina Selatan, membuktikan kinerja CRCP sangat bagus. Pada saat survey dilakukan umur perkerasan tersebut antara 21 dan 30 tahun dan telah melayani lalu lintas berat, serta mempunyai kondisi sangat bagus sampai luar biasa dengan nilai serviceability 4 atau lebih.



Gambar 2.9: Skema perkerasan kaku menerus dengan tulangan

Biaya untuk perkerasan kaku menerus dengan tulangan lebih mahal dari perkerasan bersambung tanpa tulangan atau perkerasan bersambung dengan tulangan, disebabkan oleh jumlah tulangan yang digunakan cukup banyak. Akan tetapi perkerasan kaku menerus dengan tulangan telah terbukti mempunyai pembiayaan yang efektif pada jalan dengan lalu lintas yang tinggi, disebabkan oleh kinerja jangka panjangnya yang lebih baik dibandingkan dengan jenis perkerasan kaku lainnya.

4. Perkerasan beton semen 'prategang' atau "prestressed concrete pavement"

Perkerasan kaku prategang diperkenalkan di akhir tahun 1940 an dan pertama kali digunakan di lapangan terbang. Sekitar tahun 1959 dua pelat pratekan digunakan di lapangan terbang militer Priggs di Texas. Perkerasan kaku tanpa tulangan setebal 60 cm diganti dengan perkerasan kaku prategang setebal 23 cm. Di lapangan terbang internasional Chicago O'Hax, yaitu perkerasan kaku prategang setebal

antara 20,3 cm dan 22,8 cm diletakan di atas perkerasan kaku menerus dengan tulangan lama dengan tebal 30,5 cm. Beberapa dari proyek tersebut mempunyai strand untuk prategang hanya dalam satu arah saja, sehingga cenderung terjadi retak searah dengan strand, akibat tidak adanya tegangan tekan dalam arah melintang. Perkerasan kaku prategang dengan tebal 15 cm yang diberi tegangan tekan dalam ke dua arah, dengan panjang proyeknya 1600 m di Texas; masih dalam kondisi baik setelah berumur 17 tahun. Puslitbang Jalan dan Jembatan, telah membuat jalur percobaan dengan perkerasan kaku prategang pada tahun 2011 di Buntu, Jawa Tengah, sepanjang 80 m, Lebar 7 meter dan tebal 20 cm.

Potensi dari perkerasan kaku prategang, berkaitan dengan dua hal, yaitu:

1. Penggunaan bahan yang lebih efisien
2. Sambungan yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit dan kemungkinan terjadinya retak akan lebih kecil, sehingga biaya pemeliharaan lebih sedikit dan umur perkerasan akan lebih lama.

Pada perkerasan kaku konvensional, tegangan akibat beban roda dibatasi oleh kuat tarik lentur dari beton, jadi tebal perkerasan ditentukan oleh tegangan tarik yang terjadi akibat beban roda tidak melampaui kuat tarik lentur dari beton. Pada jenis perkerasan kaku konvensional, beton antara serat atas dan serat bawah dari pelat tidak dimaksimalkan untuk menahan tegangan akibat beban roda, yang hasilnya penggunaan bahan konstruksi tersebut tidak efisien. Sedangkan pada perkerasan beton prategang, kuat tarik lentur beton ditingkatkan dengan memberikan tegangan tekan dan tidak dibatasi lagi oleh kuat tarik lentur betonnya. Dengan demikian tebal perkerasan kaku yang dibutuhkan untuk beban tertentu akan lebih tipis dari tebal perkerasan kaku konvensional. Perkerasan kaku jenis prategang, yang umum dilaksanakan, mempunyai ukuran panjang pelat sekitar 130 m. Tetapi di Amerika telah dibangun dengan panjang pelat 230 m, dan di Eropa dengan panjang pelat lebih dari 300 m. Tebal perkerasan kaku prategang sekitar 40% sampai 50% dari tebal perkerasan kaku konvensional. Skema dari perkerasan kaku prategang ditunjukkan pada gambar 2.10.

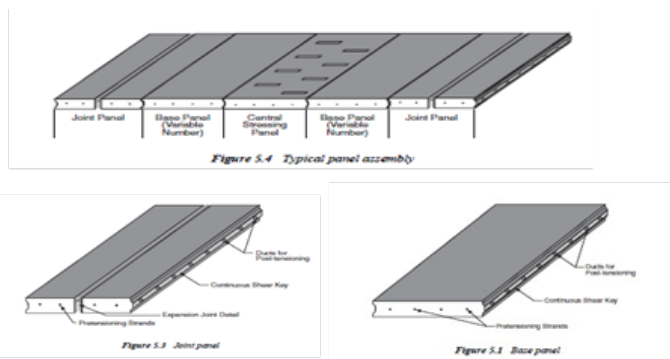
5. Perkerasan beton semen pracetak (dengan dan tanpa prategang)
Perkerasan kaku pracetak dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:
 - a. Perkerasan kaku pracetak tanpa prategang
 - b. Perkerasan kaku pracetak dengan prategang

Perkerasan ini terdiri dari individual panel yang dicetak terlebih dahulu serta diberi pratekan dengan tebal pelat 20 cm dan dicetak selebar perkerasan jalan. Perkerasan kaku pracetak prategang ini kurang lebih mempunyai kapasitas menerima beban lalu lintas, setara dengan perkerasan kaku konvensional setebal 35,5 cm.

Pada perkerasan kaku pracetak prategang ini, ada tiga tipe jenis pelat yang digunakan, yaitu:

1. joint panel, terletak di ujung-ujung dari masing-masing bagian rangkaian pelat pratekan dan mempunyai ruji pada sambungannya untuk mengakomodir pergerakan horizontal pelat
2. central panel, terletak ditengah-tengah dari rangkaian pelat dan terdapat lubang (pocket) untuk penempatan ujung-ujung posttensional strand base panel, pelat-pelat yang dominan membentuk suatu sistem perkerasan, yang diletakkan di antara joint panel dan central panel.

Dalam pelaksanaannya, pada suatu tahapan kegiatan, harus dilaksanakan paling sedikit satu segmen yang mencakup susunan pelat dari joint panel ke joint panel berikutnya. Pelat-pelat tersebut diletakkan di atas lapisan pondasi yang sudah siap dan rata, sedangkan pelat-pelat tersebut pada kedua sisinya dilengkapi dengan lidah-alur (shear key) yang mengontrol alinyemen vertikal selama pelaksanaan dan menjamin kenyamanan pengendara untuk mencegah terjadinya “faulting”. Keuntungan dari perkerasan kaku pracetak ialah terjaganya kualitas beton tetap tinggi sesuai yang direncanakan, pengaruh akibat cuaca sangat kecil, dan selama pelaksanaan tidak terlalu mengganggu lalu lintas. Gambar perkerasan kaku pracetak prategang diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.10: Skema perkerasan kaku pracetak prategang

Pada tahun 2010 jenis perkerasan kaku pracetak prategang telah diaplikasikan di Indonesia di ruas jalan tol Kanci-Pejagan (Provinsi Jawa Barat-Jawa Tengah). Jalur tol ini menghubungkan Kanci yang berada di Kabupaten Cirebon Km 231+000 (Km 0) hingga Pejagan di Kabupaten Brebes (provinsi Jawa Tengah) pada Km 266+000 (Km 0 Jkt). Total panjang jalan tol ini 35 km, dan panel yang dibuat dengan ukuran 8 m x 2,5 m x 0,20 m (panjang x lebar x tebal), serta dipasang secara melintang terhadap sumbu jalan. Pada tahun 2011 jalan pracetak prategang lainnya, yang dibuat di Indonesia ialah di ruas Jalan Pantura di daerah Ciasem-Subang Jawa Barat. Pracetak dan prategang yang dilaksanakan di sini serupa dengan jalan pracetak prategang yang telah dilaksanakan di jalan tol Kanci – Pejagan, yang pemasangan pelatnya juga melintang jalan. Panjang jalan dengan pracetak prategang di Ciasem ini hanya 1,8 Km. Salah satu perbedaan antara jalan tol Kanci-Pejagan dan daerah Ciasem-Pantura (Kabupaten Subang) ialah pada jalan tol Kanci-Pejagan merupakan jalan baru sehingga tidak ada gangguan lalu lintas sedangkan pada lokasi di Ciasem-Subang merupakan jalan yang sudah ada sehingga pengaruh lebar jalan dan lalu lintas menjadi hal yang menjadi pertimbangan dalam perancangan maupun pelaksanaannya.

2.3 Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement) dan lapisan perkerasan lentur (flexible pavement) di atasnya, di mana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas.

Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya. Konstruksi ini umumnya mempunyai tingkat kenyamanan yang lebih baik bagi pengendara dibandingkan dengan konstruksi perkerasan beton semen sebagai lapis permukaan tanpa aspal.

2.4 Fungsi Lapis Perkerasan

Lapisan perkerasan jalan berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya terus ke tanah dasar. Pada perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan perkerasan, pada perkerasan jalan lentur lapisan perkerasannya terdiri dari lapisan tanah dasar (Sub Grade), lapisan pondasi bawah (Sub Base Course), Lapisan Pondasi Atas (Base Course), dan lapisan Permukaan (Surface Course). Adapun untuk lapisan perkerasan Kaku terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan tanah dasar (Sub Grade), Lapisan Pondasi Atas (Base Course), dan Lapisan Perkerasan Kaku. peranan pelayanan jasa distribusi dan sistim jaringan jalan masyarakat dalam kota merupakan sistim jaringan jalan sedang (sekunder), sistim jaringan jalan sedang (sekunder) disusun mengikuti pola ketentuan menghubungkan kawasan-kawasan yang mempunyai fungsi primer dan pengaturan tata ruang kota, fungsi sekunder ke 1,2,3 dan lain-lain. (UU RI No 34 Tahun 2006).

Sejumlah Jalan dapat dibedakan berdasarkan fungsi jalan yaitu:

1. Perjalanan jarak jauh, melayani angkutan antar provinsi, dengan kecepatan tinggi, adalah Jalan arteri
2. perjalanan jarak sedang, melayani angkutan dalam kota, kecepatan sedang adalah jalan kolektor.
3. perjalanan jarak dekat, melayani angkutan setempat, kecepatan rata-rata rendah adalah Jalan lokal.

Pada fungsi lapis perkerasan jalan mempunyai kinerja Perkerasan Jalan yang harus dipahami, adapun fungsinya sebagai berikut:

Fungsi komponen Struktur Perkerasan Jalan sebagai:

1. Beban lalu lintas yang di limpahkan melalui roda kendaraan, mengakibatkan berkurangnya kekokohan jalan seperti lendutan, retak,

berlubang, dan bergelombang sepanjang lintasan kendaraan, itu tidak dikehendaki terjadinya di perkerasan jalan. Maka perlunya stabilitas yang tinggi pada jalan.

2. Pemberi rasa nyaman dan aman kepada pengguna jalan. Oleh karena itu permukaan perkerasan perlu kesat, untuk memberikan gesekan yang baik antara muka jalan dan ban kendaraan. Agar tidak mudah selip pada kecepatan tinggi, sehingga pengemudi bisa nyaman berkendara. (Silvia Sukirman 1999).

Adapun Indeks Perkerasan (IP) jalan pada porses Kinerja perkerasan jalan ada dua sebagai berikut:

1. IP jalan / Serviceability Index
2. IK jalan / Road Condition Index

IP jalan diperkenalkan AASHTO, dari pengamatan diperoleh kondisi jalan, yang rusak seperti retak, lajur roda memiliki lendutan/gelombang, dan kekasaran pada struktur permukaan, dan lain-lain, yang terjadi selama umur rencana. (Silvia Sukirman 1999).

IP dapat bervariasi dari nilai angka 0 s/d 5, masing-masing angka yang menunjukkan fungsi pelayanan. Pada fungsi jalan perlu diketahui sejauh mana tingkat kenyamanan jalan dari pengguna jalan itu sendiri. Tingkat kenyamanan ditentukan berdasarkan anggapan-anggapan sebagai berikut:

1. Keamanan jalan dan kenyamanan jalan telah di sediakan pada pemakai jalan.
2. Faktor subjektif adalah pada kenyamanan, kembali lagi ke penilaian masing-masing pada pengemudi.
3. Pengawasan pelaksanaan pekerjaan sesuai prosedur pengawasan yang ada, dengan memperhatikan pelaksanaan jalan sesuai spesifikasi jalan.
4. Perkerasan juga dapat diperoleh dari sejarah perkerasan tersebut.
5. Pemeliharaan jalan selama masa pelayanan perlu di lakukan secara periodik, sehingga umur rencana dapat tercapai. (Silvia Sukirman, 1999).

2.4.1 Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut Spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR). Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dan lain lain.

Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dibedakan atas:

1. Lapisan tanah dasar, tanah galian.
2. Lapisan tanah dasar, tanah urugan.
3. Lapisan tanah dasar, tanah asli.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusutnya tanah akibat perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik.

2.4.2 Lapisan Pondasi Bawah (Subbase Course)

Lapis pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapis pondasi atas.

Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai:

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
3. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

4. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan.
5. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari pengaruh cuaca terutama hujan.

2.4.3 Lapisan pondasi atas (base course)

Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan pondasi atas ini berfungsi sebagai:

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
2. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas ini harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Dalam penentuan bahan lapis pondasi ini perlu dipertimbangkan beberapa hal antara lain, kecukupan bahan setempat, harga, volume pekerjaan dan jarak angkut bahan ke lapangan.

2.4.4 Lapisan Permukaan (Surface Course)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan. Lapisan permukaan ini berfungsi sebagai:

1. Lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan.
2. Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (lapis aus).
3. Lapisan yang mencegah air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
4. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.

Apabila diperlukan, dapat juga dipasang suatu lapis penutup / lapis aus (wearing course) di atas lapis permukaan tersebut. Fungsi lapis aus ini adalah sebagai lapisan pelindung bagi lapis permukaan untuk mencegah masuknya air dan untuk memberikan kekesatan (skid resistance) permukaan jalan. Lapis aus tidak diperhitungkan ikut memikul beban lalu lintas.

2.4.5 Lapisan Perkerasan Kaku

Perkerasan jalan beton semen atau secara umum disebut perkerasan kaku, terdiri atas plat (slab) beton semen sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah (bisa juga tidak ada) di atas tanah dasar. Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton sering disebut sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton di atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan. Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban ke bidang tanah dasar yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari plat beton sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur di mana kekuatan perkerasan diperoleh dari tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan.

Karena yang paling penting adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton semen adalah kekuatan beton itu sendiri. Adanya beragam kekuatan dari tanah dasar dan atau pondasi hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya. Lapis pondasi bawah jika digunakan di bawah plat beton karena beberapa pertimbangan, yaitu antara lain untuk menghindari terjadinya pumping, kendali terhadap sistem drainase, kendali terhadap kembang-susut yang terjadi pada tanah dasar dan untuk menyediakan lantai kerja (working platform) untuk pekerjaan konstruksi.

Secara lebih spesifik, fungsi dari lapis pondasi bawah adalah:

1. Menyediakan lapisan yang seragam, stabil dan permanen.
2. Menaikkan harga modulus reaksi tanah dasar (modulus of sub-grade reaction = k), menjadi modulus reaksi gabungan (modulus of composite reaction).
3. Mengurangi kemungkinan terjadinya retak-retak pada plat beton.
4. Menyediakan lantai kerja bagi alat-alat berat selama masa konstruksi.

Menghindari terjadinya pumping, yaitu keluarnya butir-butiran halus tanah bersama air pada daerah sambungan, retakan atau pada bagian pinggir perkerasan, akibat lendutan atau gerakan vertikal plat beton karena beban lalu lintas, setelah adanya air bebas terakumulasi di bawah pelat. Pemilihan penggunaan jenis perkerasan kaku dibandingkan dengan perkerasan lentur yang sudah lama dikenal dan lebih sering digunakan.

Bab 3

Bahan-Bahan Pembentuk Perkerasan Jalan

3.1 Pendahuluan

Jalan merupakan sarana yang dapat dilewati oleh makhluk hidup dan kendaraan atau barang. Secara teknis pengertian jalan merupakan sarana yang dimanfaatkan oleh kendaraan untuk menghubungkan dari satu daerah ke daerah yang lainnya. Secara umum, suatu jalan harus mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengubah bentuk pada permukaan, lapis pondasi atas dan bawah. Hal ini sering disebut sebagai stabilitas, kadang-kadang disebut kekuatan mekanik. Stabilitas ini tidak hanya mencakup ketahanan langsung terhadap beban roda seberapa kg/cm² tekanan roda, tetapi juga ketahanan terhadap kerusakan internal dan pergerakan butiran oleh aksi peremasan oleh lalu lintas. Perkerasan jalan merupakan konstruksi jalan yang diperuntukan bagi jalan lalu lintas yang terletak di atas tanah dasar, dan pada umumnya terdiri dari lapis pondasi bawah, pondasi atas, dan lapis permukaan (Puspito, 2008).

Fungsi perkerasan jalan adalah untuk menyediakan permukaan yang rata dan halus bagi pengemudi, untuk melindungi lapisan tanah dari pengaruh buruk perubahan iklim, untuk mendistribusikan beban kendaraan dengan benar pada lapisan tanah, dan untuk melindungi tanah dari tekanan. besar. Elemen – elemen

struktural utama dalam pembangunan jalan meliputi timbunan, pondasi di bawah timbunan, galian, perkerasan jalan (Puspito, 2008).

Ada beberapa kerusakan yang terjadi pada jalan yakni berupa jalan yang bergelombang, berlubang, dan konstruksi beton yang hancur. Kerusakan-kerusakan tersebut disebabkan oleh adanya muatan yang berlebihan dari kendaraan yang melalui jalan tersebut, yang tidak sesuai dengan perencanaan awal (Daksa and Prastyanto, 2019). Perencanaan awal sangat penting untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi pada jalan.

Perancangan perkerasan jalan direncanakan agar stabilitas jalan mampu mendukung beban lalu lintas tanpa ada perubahan bentuk pada permukaan lapis pondasi atas dan bawah. Stabilitas atau dikenal kekuatan mekanik suatu jalan sangat dipengaruhi oleh bahan pembentuk suatu struktur perkerasan jalan. Kekuatan mekanik yang cukup akan mampu mendukung beban lalu lintas. Bahan pembentuk jalan tergantung dari jenis perkerasan jalannya. Jenis perkerasan jalan direncanakan berdasarkan Pemilihan jenis perkerasan didasarkan pada biaya konstruksi dan pemeliharaan terendah/termurah dari masing-masing jenis perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan paving block (Daksa and Prastyanto, 2019). Pada bab ini membahas tentang bahan-bahan pembentuk perkerasan jalan baik bahan pembentuk perkerasan jalan lentur maupun bahan pembentuk perkerasan jalan kaku.

3.2 Bahan Pembentuk Perkerasan Jalan

Salah satu elemen struktural utama dari konstruksi jalan adalah perkerasan. Salah satu faktor yang memengaruhi fungsi pelayanan adalah pengoperasian perkerasan jalan. Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan dibagi menjadi perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*) (S. Silvia, 1999; Puspito, 2008). Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dan lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, baik dengan atau tanpa tulangan, yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah, dan beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton. Sedangkan perkerasan komposit adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan

dengan perkerasan lentur, berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku maupun sebaliknya (S. Sukirman, 1999; Puspito, 2008).

Umumnya bagian-bagian lapisan perkerasan tersebut terdiri dari tanah dasar (Subgrade), lapisan pondasi bawah (Subbase Course), Lapisan pondasi atas (Base Course), lapisan permukaan (Surface Course). Tiap-tiap Lapisan perkerasan pada umumnya menggunakan bahan maupun persyaratan yang berbeda sesuai dengan fungsinya yaitu untuk menyebarkan beban roda kendaraan sedemikian rupa sehingga dapat ditahan oleh tanah dasar dalam batas daya dukungnya. Perkerasan jalan beton semen atau perkerasan kaku, terdiri dari plat beton semen, dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah, di atas tanah dasar. Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton semen sering juga dianggap sebagai lapis pondasi, kalau di atasnya masih ada lapisan aspal.

3.3 Bahan Jalan

3.3.1 Klasifikasi tanah

Dalam mekanika tanah, istilah tanah mencakup semua bahan konstruksi yang berasal dari quarry atau pits seperti: lempung; lanau; psir; kerikil; kerakal; berangkal; dsb. Klasifikasi tanah / Cara menggolongkan jenis tanah atau disebut klasifikasi tanah adalah:

1. Primer:

Tabel 3.1 Batasan tanah berdasarkan Jenis dan ukuran Butir tanah (PUSBIN KPK PU, 2005)

Jenis	Rentang Ukuran Butir
Berangkal (Boulder)	> 8 inch atau > 20 cm
Kerakal (Cobble)	3 – 8 inch (7,5 – 20 cm)
Kerikil (Gravel)	No.8 – 3 inch (2,36 mm – 7,5 cm)
Pasir (Sand)	No.200 – No.8 (0,075 mm – 2,36 mm)
Lanau (Silt)	0,005 – 0,075 mm
Lempung (Clay)	< 0,005 mm

ASTM Committee on Soils for Engineering Purpose memberikan definisi pasir adalah sebagai butiran antara 0,05 mm (No.270) s/d 2,0

mm (No.10) (PUSBIN KPK PU, 2005). Dari berbagai sumber bahwa definisi pasir merupakan butiran yang lolos $\frac{1}{4}$ " atau No.4. Batasan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1 (PUSBIN KPK PU, 2005).

2. Sekunder:

Ada beberapa yang digunakan Standar dalam Klasifikasi Tanah (PUSBIN KPK PU, 2005) yakni:

USCS (Unified Soil Classification System):

a. Butiran > Pasir:

Untuk ukuran Butir dan Gradasinya menggunakan simbol.

Contoh: GW (Gravel – well graded); SP (Sand – poor graded)

b. Butiran < Pasir:

Untuk ukuran Butir dan Tinggi Rendahnya Batas Cair (Liquid Limit, disingkat “LL”) menggunakan simbol menurut yakni LL > 50 disebut “high” dan LL < 50 disebut “low”. Contoh: ML (Silt – low liquid limit); OL (Organic – low liquid limit); CH (Clay – high liquid limit).

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials):

a. Berdasarkan ukuran Butir:

- Material Berbutir (Granular Material): A1, A2 dan A3: butiran lolos No.40 ($600 \mu\text{m}$) < 35%
- Material Lempung-Lanau (Silt-Clay Material): A4, A5, A6 dan A7: butiran lolos No.40 ($600 \mu\text{m}$) > 35%

b. Kelompok menurut ATTERBERG dari material:

c. Plastisitas Index = Liquid Limit – Plastic Limit, CONTOH: A1 (fraksi batu: kerikil & pasir): A1-a & A1-b, A3 (pasir halus), A2 (kerikil-pasir kelanauan/kelempungan): A2-4, A2-5, A2-6 dan A2-7, A4 dan A5 (tanah-tanah lanau), A6 (tanah lempung), A7 (tanah lempung): A7-5 dan A7-6, A7-5 jika PI < (LL - 30) dan A7-6 jika PI > (LL - 30)

3. Klasifikasi sistem lainnya, kecuali SNI (Standard Nasional Indonesia) Adapun SNI dalam mengklasifikasikan jenis tanah yakni:

- a. Berangkal, kerakal, kerikil dan pasir mudah dibedakan menurut ukuran butir dengan visual.
- b. Pasir halus dan lanau sulit dibedakan dengan visual: Lama pengendapan dalam gelas yang diberi air yang sudah dikocok, pasir akan mengendap dalam waktu < 1,5 menit dan lanau akan membutuhkan waktu sekitar 10 menit (sampai air jernih).
- c. Lanau dan lempung dapat dibedakan dengan:
 - Indera peraba, diremas dengan ibu jari dan telunjuk.
 - Lama pengendapan, lanau > 10 menit dan < 1 jam.
 - Menggerakkan bola tanah di telapak tangan, lanau akan mengkilap permukaannya dan lempung tidak.
 - Memecah gumpalan lempung kering sulit, sedangkan lanau lebih mudah.
 - Lempung mudah dilinting (dipilin) sedangkan lanau sulit.

Ada beberapa Cara simple dalam memperkirakan CBR tanah (PUSBIN KPK PU, 2005):

1. Cara visual atau pengalaman

Cara visual sangat membantu proses pengawasan, untuk memastikan mutu material diperlukan cara laboratorium sebagaimana disyaratkan dalam Spesifikasi.

2. Klasifikasi Tanah

Tabel 3.2: Klasifikasi Tanah

AASHTO	CBR (%)
A1	> 20
A2	> 8
A3	> 10
A4	3 – 25
A5	< 7
A6 & A7	< 15

Casagrande atau USCS	CBR (%)
GW	> 50
GC	> 40
GP	25 – 60
GF	20
SW & SC	20 – 60
SP	10 – 30
SF	8 – 30
ML	6 – 25
CL	4 – 15
OL	3 – 8
MH	< 7
CH	< 6
OH	< 4

Catatan:

GC dan SC: gradasi menerus dengan sedikit lempung

GF dan SF: gradasi jelek dengan kadar lanau/lempung tinggi

3.3.2 Agregat

Jenis agregat digolongkan sebagai berikut (PUSBIN KPK PU, 2005):

1. Pasir

Pasir merupakan material berbutir yang dihasilkan oleh pemecahan batuan pasir-batu atau pelapukan alami batuan. Adapun jenis-jenis pasir sebagai berikut:

a. Pasir Angin

Pasir yang dibawa angin dan mengumpul di suatu tempat. Umumnya berbutir halus dengan ukuran antara No.40 sampai No.100.

b. Pasir Sungai

Pasir yang dibawa oleh air dan menggelinding antar butiran sehingga tidak bersudut tajam. Umumnya bebas dari lumpur dan berbutir halus dengan ukuran butiran antara No.4 sampai No.100.

c. Pasir Danau atau Pantai

Pasir berbutir halus dan bulat umumnya dicampur dengan pasir kasar. Umunya berukuran antara No.40 sampai No.200

d. Pasir dari Pasir-Batu (Sirtu)

Pasir yang diperoleh dari pengayakan pasir-batu lolos No.4. Kadang-kadang mengandung tanah dan berukuran antara No.4 sampai No.200

e. Pasir Buatan

Pasir yang diperoleh dari pengayakan batu pecah mesin lolos No.4

f. Pasir Gunung

Pasir yang berasal dari deposit alami dengan sedikit atau tanpa kerikil. Umumnya berukuran antara $\frac{3}{8}$ " sampai No.200

2. Kerikil

Kerikil diperoleh dari pelapukan alami batuan, berukuran lebih besar dari pasir yang dianggap tertahan No.4 atau $\frac{1}{4}$ ".

- a. Kerikil Kacang Polong (Pea Gravel)
Kerikil yang bersih, berasal dari kerikil sungai dengan ukuran antara $\frac{1}{4}$ " sampai $\frac{1}{2}$ "
 - b. Kerikil Gunung
Kerikil yang berasal dari deposit alami, umumnya berbutir, terkadang bercampur dengan pasir halus dan tanah. Tergantung bercampur dengan material apa, maka disebut Tanah Berkerikil, Pasir Berkerikil, Kerikil berlempung, Kerikil berpasir.
 - c. Kerikil Sungai
Kerikil yang dapat dijumpai pada hulu maupun hilir, terdiri dari butiran bulat berukuran di atas $\frac{1}{4}$ " dengan permukaan yang halus bercampur dengan pasir sungai, umumnya bebas dari tanah dan lanau. Material yang lolos $\frac{1}{4}$ " ini termasuk pasir sungai.
3. Batu Pecah
- Batu pecah dihasilkan dari pemecahan mekanik dari berbagai jenis batuan atau berangkal. Contoh: batu kapur, granite, batuan singkapan, quartzite, dsb
- a. Batu Pecah Bergradasi
Batu pecah yang diproduksi pada gradasi yang diinginkan dengan pengayakan. Batu pecah yang lebih disukai adalah berbentuk cubical (persegi), akan tetapi beberapa jenis batuan berlapis mungkin akan memberikan bentuk yang agak pipih.
 - b. Crusher Screenings
Crusher screening adalah bagian dari batu pecah yang lolos $\frac{1}{4}$ " atau No.4. Umumnya berukuran dari $\frac{1}{4}$ " ke bawah termasuk 0 sampai 6% lolos No.200. Umumnya bergradasi baik meskipun terdapat kekurangan pada No.40 sampai No.100.
 - c. Batu Pecah Campuran
Batu pecah tanpa pengayakan, umumnya hanya digunakan ayakan 2" sebagai scalping screen (diayak sebelum masuk secondary crusher)

d. Terak (Slag)

Terak adalah bahan bukan logam yang diperoleh dari tungku pemanasan logam, mengandung silikat dan aluminosilikat serta bahan dasar lainnya. Terak dengan mutu yang baik akan memberikan perkerasan yang baik meskipun seringkali terdapat terak yang porous dan menyerap banyak aspal.

Gradasi agregat yang digunakan dalam campuran aspal (PUSBIN KPK PU, 2005) adalah butiran agregat dalam berbagai ukuran dinyatakan sebagai gradasi agregat. Grafik gradasi dengan absis (sumbu x) untuk ukuran butiran yang berskala logaritma dan ordinat (sumbu y) untuk persen lolos terhadap berat yang berskala biasa, agar ukuran butir agregat mudah dibaca. Amplop gradasi adalah batas-batas gradasi yang boleh diambil dalam menentukan suatu rancangan campuran (mix design). Sedangkan toleransi gradasi adalah batas-batas fluktuasi yang diijinkan terhadap suatu mix design yang disetujui, koridor toleransi ini akan membentuk semacam amplop kecil yang disebut job grading.

1. Gradasi Menerus (Continuous Graded)

Gradasi menerus adalah ukuran butir agregat di mana rongga antar butiran besar diisi oleh butiran yang lebih kecil dan rongga antar butiran yang lebih kecil ini diisi oleh butiran yang lebih kecil lagi demikian seterusnya. Disebut juga gradasi padat (dense graded) karena memadat akibat saling mengisi dan saling mengunci (interlocking). Rentang toleransi gradasi menerus harus sempit sehingga interlockingnya dapat dipertahankan. Pengendalian toleransi dapat dilakukan dengan:

- a. Sumber dari masing-masing agregat dipilih dengan cermat.
- b. Proses masing-masing agregat pada sumbernya diatur cermat.
- c. Pencampuran berbagai agregat yang berbeda dilakukan di tempat pencampuran dengan cara mekanik.
- d. Agregat yang sudah dicampur diayak ulang dan diatur kembali pro-porsinya setelah dikeringkan dan sebelum dicampur dengan aspal.

AMP modern telah dilengkapi perlengkapan untuk memenuhi kebutuhan pengendalian di atas. Ukuran agregat pada campuran akhir umumnya

berada dalam toleransi dengan perbedaan $\pm 5\%$ untuk agregat kasar dan rentang toleransi yang lebih rapat untuk agregat halus. Seringkali 3 atau 4 jenis agregat yang terpisah dicampur bersama untuk mencapai gradasi akhir yang mendekati gradasi yang diinginkan. Umumnya, agregat pecah mesin diayak dalam 3 atau 4 ukuran agar segregasi selama transportasi dan penanganan dapat dihindari, kemudian 3 atau 4 ukuran agregat tersebut dicampur kembali di tempat pencampuran.

2. Gradasi Senjang (Gap Graded)

Gradasi senjang adalah ukuran butir agregat yang sedemikian hingga tidak ada atau hampir tidak ada suatu rentang ukuran “menengah”. Perbedaan material lolos untuk ukuran butir menengah yang berurutan, jika di atas 10% disebut gradasi menerus, jika di bawah 10% baru disebut gradasi senjang. Terdapat Spesifikasi yang menyebutkan bahwa persen lolos terhadap berat untuk No.30 minimum harus 80% dari No.8. Dari No.8 sampai No.30 terdapat No.16 di antaranya, sehingga aplikasi dari ketentuan yang disebutkan di atas masih relevan karena dari No.8 sampai No.16 sebesar 10% dan dari No.16 sampai No.30 sebesar 10%, jika dijumlah maka sebesar 20%.

3. Gradasi Tunggal (Single Graded)

Gradasi tunggal adalah butiran agregat yang mayoritas satu ukuran, biasanya masih terdapat sedikit butiran halus yang ikut terbawa. Gradasi ini tidak rawan terhadap segregasi dan umumnya merupakan produk crusher yang dapat dengan mudah diatur proporsinya untuk mencapai gradasi yang diinginkan. Gradasi ini sering disebut gradasi terbuka (open graded), digunakan untuk Burtu (SST) atau Burda (DBST) dalam rangka memberikan texture baru pada permukaan aspal.

3.3.3 Bitumen

Bitumen sering diartikan sebagai aspal, sebenarnya tidak demikian karena Tar juga mengandung bitumen. Selanjutnya hanya dibahas Aspal sebagai bahan bitumen. Semua aspal diperoleh dari destilasi minyak mentah bumi (crude oil) baik secara mekanik maupun secara alami.

Berdasarkan sumbernya jenis aspal terdiri dari (PUSBIN KPK PU, 2005):

1. Aspal Alam

Aspal alam terbentuk bilamana minyak mentah bumi naik ke permukaan bumi melalui celah-celah kulit bumi. Akibat sinar matahari dan angin maka minyak ringan dan gas menguap dan meninggalkan residu yang plastis dan hitam disebut aspal. Kebanyakan aspal alam bercampur-baur dengan mineral seperti lempung tanah, pasir sampai kerikil yang terbawa saat minyak bumi mengalir ke cekungan permukaan bumi. Aspal alam terdapat di Trinidad, Venezuela dan pulau Buton.

2. Aspal Minyak (Petroleum Asphalt)

Dari hasil destilasi minyak mentah bumi akan diperoleh berbagai jenis minyak seperti: bensin, solar, minyak tanah, dsb. Residu dari hasil destilasi ini adalah aspal, namun aspal ini masih lunak yaitu mempunyai Penetrasi sekitar 300. Setelah melalui proses semi blown baru diperoleh aspal Penetrasi 60/70 dan aspal keras (asphalt cement) jenis lainnya.

Adapun jenis aspal berdasarkan jenisnya (PUSBIN KPK PU, 2005) yakni:

1. Aspal Keras

Aspal keras adalah aspal yang dalam temperatur kamar berbentuk padat dan keras. Aspal jenis ini dirancang dengan memilih penetrasi, kekerasan yang sesuai untuk pelaksanaan, iklim dan jenis lalu lintas, dari suatu perkerasan. Penetrasi adalah masuknya jarum standar dengan beban 100 gram (termasuk berat jarum), dalam temperatur 25 °C selama 5 detik. Contoh: Pen.40/50; Pen.60/70. Semakin rendah nilai penetrasinya semakin keras aspalnya. Aspal minyak diperoleh dari penyulingan minyak mentah bumi dengan penguapan dan destilasi dalam berbagai tahap kondensasi. Aspal keras berbeda dengan aspal cair di mana aspal keras harus dipanaskan untuk mencapai kondisi mencair sedangkan aspal cair sudah dalam kondisi cair pada temperatur kamar sehingga diperlukan bahan pelarut untuk aspal cair.

2. Aspal Cair

Terdapat 3 jenis aspal cair yaitu:

- a. Aspal Cair Penguapan Lambat (Slow Curing Liquid Asphalt)
Aspal cair jenis ini dapat berupa residu yang mengandung sedikit minyak berat atau campuran antara aspal keras dengan minyak residu. Untuk mencapai kelecakan (*workability*) yang lebih baik maka aspal jenis ini harus dipanaskan dan umumnya digunakan untuk campuran dingin. Contoh: SC-800.
- b. Aspal Cair Penguapan Sedang (Medium Curing Liquid Asphalt)
Aspal cair jenis ini diperoleh dengan mencairkan aspal keras dengan minyak tanah. Aspal jenis ini sudah berbentuk cair dalam temperatur kamar dan umumnya digunakan untuk prime coat. Contoh: MC-250
- c. Aspal Cair Penguapan Cepat (Rapid Curing Liquid Asphalt)
Aspal cair jenis ini diperoleh dengan mencairkan aspal keras dengan bensin. Karena penguapan bensin jauh lebih cepat dari minyak tanah maka aspal cair ini dikenal dengan nama aspal cair penguapan cepat. Umumnya digunakan untuk tack coat. Contoh: RC-70.
Angka yang lebih tinggi menunjukkan aspal cair yang lebih kental, misalnya RC-250 lebih kental dari RC-70, angka ini menunjukkan syarat viskositas kenematik minimum dari aspal cair tersebut.

3. Aspal Emulsi

Jika air dicampur dengan minyak maka keduanya akan memisah. Agar ter- campur dalam suspensi maka diperlukan bahan ketiga seperti sabun yang ditambahkan untuk memperlambat pemisahan. Dalam hal yang sama, aspal keras dan air dicampur dengan menggunakan bahan pengemulsi untuk memperlambat pemisahan. Terdapat banyak bahan pengemulsi baik organik maupun anorganik seperti lempung koloidal, silika yang dapat maupun yang tidak dapat dilarutkan, sabun, minyak sayur sulfonat. Jika aspal emulsi breaks up atau sets up, maka air mengalir atau menguap meninggalkan aspal. Penanganan aspal emulsi harus diperhatikan khusus agar reaksi dini akibat tekanan, panas atau

dingin yang berlebihan, tidak terjadi. Kecepatan reaksi sangat ditentukan oleh jumlah dan jenis bahan pengemulsi yang digunakan. Jika aspal emulsi breaks up maka warna aspal yang semula coklat berubah menjadi hitam. Aspal emulsi menurut muatan listrik bahan pengemulsinya terdiri dari:

a. Aspal Emulsi Kationik

Aspal emulsi jenis kationik (ion positif) cocok untuk jenis batuan yang mengandung ion negatif. Meskipun demikian, aspal kationik dapat digunakan untuk semua jenis batu.

b. Aspal Emulsi Anionik

Aspal emulsi jenis anionik (ion negatif) cocok untuk jenis batu yang mengandung ion positif.

Aspal emulsi menurut kecepatan reaksinya terdiri dari:

1. Reaksi Cepat (Rapid Setting), memerlukan beberapa menit untuk breaks up. Contoh: RS
2. Reaksi Sedang (Medium Setting), memerlukan puluhan menit untuk breaks up. Contoh: MS
3. Reaksi Lambat (Slow Setting), memerlukan waktu berjam-jam untuk breaks up. Contoh: SS

Secara umum aspal emulsi lebih menguntungkan dari aspal cair karena aspal emulsi dapat beradaptasi untuk agregat basah dan mengurangi bahaya kebakaran dan bahaya keracunan.

3.3.4 Bahan Pengisi (Filler)

Ada beberapa bahan pengisi yang sering digunakan (PUSBIN KPK PU, 2005) yakni:

1. Loess

Deposit material halus dan porous akibat angin disebut Loess. Butirannya lebih kecil dari pasir tetapi lebih besar dari tanah. Karena butirannya bersudut dan dapat dipadatkan maka loess mempunyai karakteristik tersendiri di mana loess dapat digali vertikal.

2. Abu Terbang (Flyash)

Filler buatan yang diperoleh dari pembakaran batu bara. Umumnya 80% lolos No.200. Semula material dianggap limbah yang sangat mengganggu industri pembangkit tenaga listrik dan jumlahnya memakan tempat yang cukup besar. Belakangan material ini dapat digunakan sebagai filler added untuk campuran aspal.

3. Debu Berbutir

Debu berbutir adalah debu dari batuan (misalnya dari batu marmer), Portland cement, atau debu buatan atau alami lainnya. Umumnya 80 sampai 100% lolos No.200. Debu berbutir ditambahkan ke dalam campuran aspal untuk mengisi rongga dalam campuran dan meningkatkan stabilitas campuran. Kapur tohor termasuk jenis debu berbutir, namun pemakaian filler jenis ini harus dibatasi maksimum 1% karena efek ekspansifnya. Pemakaian debu marmer lebih aman karena tidak ekspansif.

3.3.5 Bahan Tambah (additive)

Ada beberapa fungsi dari bahan tambah (additive) yakni digunakan untuk meningkatkan:

1. Daya Lekat

Umumnya disebut stripping agent, digunakan untuk meningkatkan daya lekat batuan jenis silikat di mana kelekatan agregat terhadap aspal tidak memenuhi syarat ($< 95\%$).

2. Titik Lembek

Banyak jenis additive yang dapat menaikkan titik lembek. Seringkali disebut modifier, karena mengubah sifat-sifat (properties) aspal ke tingkat yang lebih baik.

3. Modulus

Dewasa ini banyak jenis modifier yang dipasarkan untuk meningkatkan sifat-sifat campuran aspal sehingga dapat lebih tahan terhadap beban berat dan lebih awet karena umurnya lebih panjang.

3.4 Bahan Pekerjaan Beton

Adapun bahan-bahan yang dipergunakan dalam pekerjaan beton yakni agregat, semen, air, baja tulangan/struktur dan additive. Adapun bahan-bahan tersebut dijelaskan satu persatu berdasarkan bahan pelatihan dari (PUSBIN KPK PU, 2005).

3.4.1 Agregat

Agregat yang dapat digunakan untuk campuran aspal belum tentu dapat digunakan untuk beton, karena kebersihan agregat untuk beton semen dituntut lebih tinggi dan pasir alam yang digunakan umumnya haruslah pasir kasar (di lapangan disebut pasir cor, bukan pasir plesteran atau pasir urug). Secara umum jenis agregat digolongkan (PUSBIN KPK PU, 2005) sebagai berikut:

1. Pasir

Pasir adalah material berbutir yang dihasilkan oleh pelapukan alami batuan atau pemecahan batuan pasir-batu. Kehalusan pasir untuk beton dinyatakan dalam “Fineness Modulus” (FM), merupakan jumlah persen tertahan ayakan berikut: 1½“; ¾“; ¾“; No.4; No.8; No.16; No.30; No.50 dan No.100, dibagi dengan 100. Pasir kasar akan mempunyai FM yang besar dan sebaliknya. Terdapat beberapa jenis pasir yang dapat digunakan untuk beton semen.

a. Pasir Sungai

Pasir yang dibawa oleh air dan menggelinding antar butiran sehingga tidak bersudut tajam. Umumnya bebas dari lumpur dan berbutir halus dengan ukuran butiran antara No.4 sampai No.100.

b. Pasir Gunung

Pasir yang berasal dari deposit alami dengan sedikit atau tanpa kerikil. Umumnya berukuran antara ¾“ sampai No.200

c. Pasir Buatan

Pasir yang diperoleh dari pengayakan batu pecah mesin lolos No.4

2. Kerikil

Kerikil diperoleh dari pelapukan alami batuan, berukuran lebih besar dari pasir yang dianggap tertahan No.4 atau ¼“.

- a. Kerikil Kacang Polong (Pea Gravel)
Kerikil yang bersih, berasal dari kerikil sungai dengan ukuran antara $\frac{1}{4}$ " sampai $\frac{1}{2}$ "
 - b. Kerikil Sungai
Kerikil yang dapat dijumpai pada hulu maupun hilir, terdiri dari butiran bulat berukuran di atas $\frac{1}{4}$ " dengan permukaan yang halus bercampur dengan pasir sungai, umumnya bebas dari tanah dan lanau. Material yang lolos $\frac{1}{4}$ " ini termasuk pasir sungai.
3. Batu Pecah
- Batu pecah dihasilkan dari pemecahan mekanik dari berbagai jenis batuan atau berangkal. Contoh: batu kapur, granite, batuan singkapan, quartzite, dsb
- a. Batu Pecah Bergradasi
Batu pecah yang diproduksi pada gradasi yang diinginkan dengan pengayakan. Batu pecah yang lebih disukai adalah berbentuk cubical (persegi), akan tetapi beberapa jenis batuan berlapis mungkin akan memberikan bentuk yang agak pipih.
 - b. Terak (Slag)
Terak adalah bahan bukan logam yang diperoleh dari tungku pemanasan logam, mengandung silikat dan alumino silikat serta bahan dasar lainnya. Terak dengan mutu yang baik akan memberikan perkerasan yang baik meskipun seringkali terdapat terak yang porous dan menyerap banyak aspal.

3.4.2 Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen Portland adalah semen hidrolis dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambahkan dengan tambahan lain (Erniati and Tjaronge, 2016).

Terdapat 8 jenis Semen Portland (PUSBIN KPK PU, 2005) yakni:

1. Tipe I: jika sifat-sifat khusus yang disebutkan tipe lainnya tidak diperlukan.

2. Tipe IA: sama dengan tipe I, jika air entraining diperlukan.
3. Tipe II: jika ketahanan sedang terhadap sulfat dan hidrasi panas diperlukan.
4. Tipe IIA: sama seperti tipe II, jika air entraining diperlukan.
5. Tipe III: jika kekuatan yang tinggi diperlukan
6. Tipe IIIA: sama seperti tipe III, jika air entraining diperlukan.
7. Tipe IV: jika hidrasi panas rendah diperlukan
8. Tipe V: jika ketahanan tinggi terhadap sulfat diperlukan

Umumnya tipe I banyak dijumpai di pasaran, sedangkan tipe lainnya dapat diperoleh hanya dengan pemesanan terlebih dahulu. Sedangkan Semen Putih (warna putih) dan Semen Adukan (lebih rendah dari tipe I) tidak dibahas di sini.

3.4.3 Air

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3,5 % larutan garam (sekitar 78 % adalah sodium klorida dan 15 % adalah magnesium klorida). Garam Garaman dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20 %. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra tegang ataupun beton bertulang karena risiko terhadap karat lebih besar (Ermiati and Tjaronge, 2016).

3.44 Baja tulangan

Baja tulangan terdiri dari:

1. Uliir (deform) dengan kode D untuk tegangan tariknya, contoh: D32
2. Polos (plain) dengan kode U untuk tegangan tariknya, contoh: U24

Tegangan tarik yang digunakan untuk kode mutu baja di atas adalah tegangan leleh. Terdapat kode mutu baja lain seperti BJ40, sdb.

3.4.5 Baja Struktur

Tabel 3.3: Syarat-syarat baja struktur sangat tergantung jenis dan proses pembuatannya:

Material	Rujukan ASTM
Pelat yang dilengkung dan dibentuk secara dingin	A 283/A 283M. Grade C*
Paku Keling Baja	A 502 Grade I*
Baut	A307*. Grade A atau F 568. Class 4.6
Baut tegangan tinggi	A 325 atau A 325M
Moer Baja	A 563 atau A563M
Baja Cor	A 27/A 27M. Grade 65-35* [450-240]*
Penempaan (Baja Karbon)	A 668, Class D
Pelat atau strip yang dirol secara panas	A 570/A 570M. Grade 36
Pipa dengan dibentuk dingin	A 500. Grade B
Pipa yang dibentuk panas	A 501

Catatan:

*: mempunyai tegangan leleh lebih rendah dari Baja A 36/A 36M

Tegangan leleh minimum yang disyaratkan umumnya adalah 2.520 kg/cm². Syarat-syarat komposisi kimia tiap jenis bahan baja berlainan, antara lain: karbon; mangan; phosphor; sulfur; silikon dan tembaga.

3.4.6 Bahan Additive

Ada beberapa macam bahan additive untuk beton, antara lain:

1. Retarder: bahan untuk memperlambat setting time.
Retarder dipergunakan jika jarak antara pusat pencampuran beton (batch plant) dan lokasi pengecoran cukup jauh sehingga dikhawatirkan setting timenya terlampaui.
2. Plasticizer: bahan untuk memperbaiki kelecakan (workability).
Bahan ini digunakan untuk menghemat pemakaian Semen Portland. Secara umum, kelecakan dapat ditingkatkan bilamana kadar air ditambahkan, tetapi penambahan air ini akan menurunkan kekuatan beton sehingga kadar Semen Portland harus juga ditambahkan.

3. Accelerator.

Accelerator dipergunakan untuk mempercepat kenaikan kekuatan. Bahan ini juga dipergunakan jika kenaikan kekuatan beton ingin dipercepat sehingga penyangga (scalfoding) dapat segera dilepas. dan sebagainya

Bab 4

Tahapan Pembangunan Jalan

4.1 Pendahuluan

Saat ini salah satu konsentrasi pembangunan fisik di bidang infrastruktur yang paling pesat adalah pembangunan jalan terutama jalan yang berstatus jalan nasional. Pemerintah pusat dalam program utamanya berusaha menghubungkan beberapa tempat ke tempat lain atau juga membuat jalan baru baik itu jalan biasa ataupun jalan tol dengan tujuan memperbaiki kelancaran arus barang dan manusia demi terciptanya percepatan dan pemerataan pembangunan. Demi meningkatkan kualitas dan kuantitas jalan Nasional, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam 2 tahun terakhir telah melakukan suatu program kegiatan dengan judul Survey Kondisi Jalan jembatan dan Lereng dengan maksud memperoleh data real dan digunakan sebagai data base dalam hal pemrograman kegiatan di lingkup Dirjen Bina Marga dan juga sebagai acuan dalam pembuatan program kerja jangka panjang dan jangka pendek.

Salah satu kegiatan survei tersebut adalah menyediakan data mengenai kondisi jalan real yang berada pada status jalan nasional dan jalan strategis nasional. Pengambilan data yang diperlukan adalah, kondisi permukaan (ketidakteraturan dengan menggunakan alat Roughness meter), survei inventarisasi (menggunakan cara manual atau juga dengan kamera mata garuda), survei *pavement condition indeks* atau survei kondisi jalan (bisa menggunakan

peralatan kamera dan manual) dan survey kapasitas Struktur jalan (lendutan) dengan menggunakan alat *Bankleman Beam* atau *Falling Weight Deflectometer* (FWD) atau bisa juga dengan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD). Khusus mengenai pengambilan data lendutan ketiga peralatan tadi bisa digunakan asal sesuai dengan ketentuan dan kondisi area survei.

Prinsip kerja ketiga alat tersebut hampir sama yakni bagaimana memberi beban pada permukaan perkerasan dan diharapkan akan mendapatkan hasil berupa besarnya lendutan dan modulus pada permukaan sampai tanah dasar. Berdasarkan faktor kemudahan dan ekonomis dan kecepatan pengambilan data maka dari ketiga peralatan tersebut yang paling memungkinkan adalah alat LWD. Hal ini disebabkan karena alat tersebut lebih ringan, pengambilan sampel dilapangan juga lebih banyak, sampel dilapangan juga bisa langsung mendapatkan nilai lendutan dan modulus dan harganya relatif lebih murah. Ketiga cara di atas semua dilakukan di lapangan namun untuk skala laboratorium saat ini kita mengenal beberapa cara untuk mendapatkan nilai modulus, bisa dengan cara analitis dan dengan cara uji langsung. Untuk uji langsung saat ini peralatan yang dapat mengeluarkan nilai modulus secara langsung pada perkerasan aspal hanyalah UMATTA, alat Marshall test juga dapat menghasilkan nilai modulus namun tidak secara langsung melainkan melalui proses perhitungan dari data yang ada yakni nilai stabilitas dan nilai flow.

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangkai (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*): Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*Marshall tests*), (*Shell Bitumen Handbook*, 2013). Berbagai penelitian-penelitian terdahulu telah dilakukan dengan menggunakan alat LWD untuk menghitung nilai modulus pada perkerasan jalan. Mazari et al., (2017) memperkenalkan teknologi *Intelligent Compaction* (IC) yang telah muncul selama satu dekade terakhir untuk mengevaluasi kekakuan lapisan

perkerasan yang dipadatkan. Penerapan teknologi IC untuk memadatkan lapisan geomaterial yang tidak terikat telah dikombinasikan dengan perangkat *nondestructive testing* (NDT) untuk lebih memberikan karakteristik parameter kekakuan. Area yang diidentifikasi tidak terkoneksi dengan baik dalam melakukan tes spot NDT. Hubungan antara nilai-nilai kekakuan berbasis accelerometer dari rol dan hasil NDT dapat secara signifikan memengaruhi interpretasi IC data yang dikumpulkan. Bagian dari situs konstruksi dipilih untuk mengevaluasi korelasi antara hasil dua uji spot NDT, uji beban plat (PLT) dan uji *Light Weight Deflectometer* (LWD) dengan data IC. Hasil penelitian ini merupakan suatu sistem penentuan posisi global dan pendekatan reduksi data. Perangkat LWD tampaknya menjadi perangkat yang tepat untuk memverifikasi area yang kurang kaku yang terdeteksi dari data IC.

Rahman et al., (2007) membahas kekakuan tanah dasar yang diperoleh dari perangkat pemadatan baru yang disebut *Roller Intelligent Compaction* (IC) pada proyek tanggul jalan raya di Kansas. Tiga bagian uji pada dua rute dipadatkan menggunakan roller cerdas tunggal drum baja halus *Bomag Variocontrol* (BVC) yang memadatkan dan pada saat yang sama mengukur nilai kekakuan tanah yang dipadatkan. Pengukuran kontrol pemadatan tradisional seperti pengujian kepadatan, kadar air in-situ, pengukuran kekakuan tanah menggunakan Geogage, tes defleksi permukaan menggunakan *Light Falling Weight Deflectometer* (LFW) dan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dan tes penetrasi menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa IC roller mampu mengidentifikasi lokasi kekakuan tanah yang lebih rendah dalam arah spasial. Secara umum, kekakuan roller IC menunjukkan sensitif terhadap kadar kelembaban lapangan. Tidak ada korelasi universal yang diamati antara kekakuan roller IC, kekakuan Geogage, modulus tanah tanah dasar yang dihitung ulang dari data defleksi LFW dan FWD dan *California Bearing Ratio* (CBR) yang diperoleh dari hasil pengujian DCP.

Senseney et al., (2012) menyajikan skema perhitungan kembali LWD untuk mengetahui parameter lapisan, termasuk ketebalan lapisan atas, dari sistem pekerjaan tanah dua lapis. Pendekatan dapat di selesaikan dengan menggunakan model elemen hingga dinamis (FE) untuk perhitungan data defleksi LWD, dan mengimplementasikan algoritma genetika (GA) sebagai solver. Fungsi objektif diformulasikan sebagai ukuran ketidaksesuaian data antara data yang diprediksi dan yang diamati, dinormalisasi oleh defleksi puncak, dan mencakup 180 titik data dari riwayat waktu defleksi dinamis. Fungsi objektif berisi beberapa lokal

minimum yang berpotensi menjebak algoritma pencarian gradien, sehingga memvalidasi aplikasi GA sebagai teknik pencarian global untuk masalah ini. GA diterapkan untuk data sintetik dan eksperimental, dan menunjukkan bahwa ketebalan lapisan atas yang dianalisis, modulus lapisan atas dan modulus yang mendasari untuk data eksperimental dibandingkan dengan nilai yang diharapkan.

Tehrani & Meehan, (2010) mengeksplorasi sensitivitas hasil tes in-situ berbasis modulus yang diukur terhadap efek kadar air pemadatan, sebuah studi lapangan dilakukan di Negara Bagian Delaware pada musim panas 2008. Dua alat LWD digunakan dalam penelitian ini. Untuk mengukur nilai modulus tanah yang dipadatkan, satu dengan diameter pelat kontak 300 mm dan satu dengan diameter pelat 200 mm. Bahan pengisi diuji selama penelitian ini adalah pasir dinilai buruk dengan lanau (SP-SM). Tujuan dari makalah ini adalah untuk menunjukkan sensitivitas nilai modulus tanah yang diukur terhadap fluktuasi kadar air tanah di lapangan, dan untuk mendiskusikan pendekatan yang mungkin untuk menafsirkan jenis data LWD variabel ini.

Tirado et al., (2015) mengevaluasi kinerja LWD dalam berbagai kondisi pemuatan, ukuran pelat yang berbeda, dan beragam sifat geomaterial. Kedalaman pengaruh dianalisis dengan menggunakan kriteria tegangan dan regangan. Parameter model konstitutif nonlinier tampaknya memiliki pengaruh signifikan terhadap kedalaman pengaruh yang diukur dari kedua perangkat yang digunakan. Namun, sifat fungsional yang berbeda dari masing-masing perangkat ditemukan menjadi sumber variasi dalam hasil.

Buechler et al., (2012) menggunakan metode elemen-diskrit (DEM) untuk menyelidiki hubungan antara sifat-sifat tanah dan respons mekanik untuk pelat (simulasi LWD) dan pemuatan drum-roller. Simulasi tanah granular yang murni tanpa kohesi ditunjukkan untuk menunjukkan medan tegangan dan regangan yang jauh berbeda dibandingkan dengan simulasi tanah kohesif. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan DEM untuk secara akurat memodelkan fitur-fitur makro dari variabel mikro dan interaksi. Perbandingan antara model elemen hingga dan prediksi dibuat untuk tanah dengan berbagai kemampuan untuk mengirimkan gaya tarik.

Kessler K., (2009) menguraikan asal-usul DCP untuk pengujian tanah dan aplikasi masing-masing untuk berbagai konfigurasi DCP. Berbagai jenis LWD dan hasil yang didapatkan dijelaskan yaitu upaya yang sedang berjalan dalam penggunaan instrumen ini serta standar untuk QC/QA (kontrol kualitas/jaminan kualitas) untuk tanah dasar dan dasar agregat untuk jalan.

Kongkitkul et al., (2014) melakukan penelitian terhadap tanah lateritic yaitu tes pemadatan Proctor yang dimodifikasi untuk menentukan kadar air (opt w) yang optimal dan kepadatan kering maksimum yang sesuai), Uji *California Bearing Ratio* (CBR) pada spesimen yang disiapkan di opt w, tes kerucut pasir untuk menemukan kepadatan lapangan dan karenanya tingkat pemadatan (c D); dan tes LWD untuk menemukan kekakuan permukaan (LWD k). Sementara secara bertahap meningkatkan upaya pemadatan di lubang uji, kerucut pasir dan tes LWD dilakukan pada tanah yang dipadatkan. Ditemukan bahwa ada korelasi yang relevan antara cD dan% CBR dan LWD k. Ketika korelasi ini diketahui, uji LWD dapat menjadi alternatif untuk mengevaluasi cD dan% CBR secara tidak langsung untuk kontrol pemadatan.

Elhakim et al., (2013) melakukan penelitian yaitu pertama, indeks sifat-sifat tanah dari tanah yang diuji termasuk distribusi ukuran butir; rasio void maksimum dan minimum dan gravitasi spesifik diperoleh. Analisis petrografi dari pasir yang diuji juga dilakukan untuk menentukan komposisi mineraloginya. Ruang dengan luas 1-m² dibangun untuk melakukan pengujian LWD di laboratorium. Penelitian dilakukan untuk kerapatan relatif 20%, 40%, 60% dan 80% untuk mewakili perilaku pasir yang sangat longgar, longgar, padat dan padat. Efek dari keberadaan batas kaku di bawah tanah yang diuji pada hasil pengujian juga diselidiki untuk menentukan zona pengaruh deflectometer ringan.

Hariprasad et al., (2016) menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD) sebagai perangkat kontrol kualitas untuk menilai kualitas lapisan perkerasan yang dipadatkan. Sebagai bagian dari penelitian ini, program pengujian lapangan LWD yang luas dilakukan di jalan bebas hambatan di sepanjang Outer Ring Road (ORR) yang berlokasi di Hyderabad, India, untuk menentukan modulus deformasi (ELWD) lapisan dasar dan permukaan perkerasan. ELWD lapisan dasar dan permukaan yang dipadatkan masing-masing berkisar antara 37,6 hingga 58,6 MPa, dan 89,3 hingga 125,7 MPa. Selain itu, studi kasus pada jalan volume rendah disajikan untuk menunjukkan hubungan antara ELWD dan kepadatan in situ yang diperoleh dari uji kerucut pasir. LWD ternyata mudah dioperasikan dan memberikan hasil tes cepat pada setiap lapisan trotoar. Oleh karena itu, frekuensi uji kontrol kualitas dapat ditingkatkan yang mengarah pada peningkatan kualitas keseluruhan lapisan perkerasan yang dipadatkan.

4.2 Penggunaan Alat Light Weight Deflectometer (LWD) Sebagai Alat Untuk Mengevaluasi Struktur Perkerasan

Ada beberapa sistem jaringan jalan, salah satunya yang sangat berperan penting adalah sistem jaringan jalan arteri primer yang merupakan jalan penghubung antar pusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Jaringan jalan ini juga menjadi jalan yang melayani tulang punggung transportasi nasional, sehingga sangat perlu diperhatikan pemeliharannya agar menjaga kualitas layanan jalan serta tidak menjadi penghambat dalam kelancaran lalu lintas.

Kondisi jalan yang baik akan memudahkan mobilitas penduduk dalam melakukan aktivitas setiap hari. Jalan raya dengan perkerasan lentur maupun perkerasan kaku yang baik, harus mempunyai kualitas demi kenyamanan dan keamanan pengguna jalan. Disamping itu perkerasan jalan raya harus mempunyai ketahanan terhadap pengikisan akibat beban lalu lintas, perubahan cuaca dan pengaruh buruk lainnya serta memiliki umur layanan jalan yang ideal. Sesuai Manual Pemeliharaan Jalan No: 03/MN/B/1983 kerusakan jalan dikelompokkan menjadi; (1) Retak (cracking), (2) Distorsi, (3) Cacat Permukaan, (4) Pengausan, (5) Kegemukan (bleeding), (6) Penurunan pada bekas penanaman utilitas. Pada umumnya kerusakan yang terjadi merupakan gabungan dari berbagai jenis kerusakan sebagai akibat dari berbagai faktor yang saling terkait.

Kepadatan, lendutan dan elastistas dari setiap lapisan tanah dasar, lapis pondasi (base layer) hingga lapisan campuran aspal merupakan parameter yang penting untuk mendesain suatu konstruksi jalan. Pengujian-pengujian konvensional yang biasanya dilakukan untuk evaluasi dan monitoring jalan tanpa penutup adalah antara lain *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), CBR langsung, Plate Bearing Test, dll. Salah satu alat untuk menguji dan menganalisa lendutan dan elastistas pada tanah, lapisan pondasi dan lapisan campuran aspal adalah LWD (Light-Weight Deflectometer). Ali Ebrahimi dan Tuncer B.E. (2011). menggunakan alat LWD (Light-Weight Deflectometer) untuk menganalisa lendutan dan resilient modulus dari tanah dasar yang dilapisi berbagai macam material permukaan yaitu material daur ulang dari aspal dan yang distabilisasi dengan agregat alam konvensional. Ch. Nageshwar Rao dkk (2008),

menggunakan LWD untuk menguji elastisitas tanah laterit yang telah dikupas permukaanya sedalam 30 cm. Elastisitas tanah laterit berdasarkan alat LWD adalah antara 25 MPa hingga 200 MPa. Dalam penelitian ini untuk mengetahui bagaimana tingkat kerusakan yang terjadi pada lokasi penelitian di atas berdasarkan umur rencana, maka perlu dilakukan pengamatan secara visual kemudian dilakukan analisis indeks kondisi perkerasan yaitu tingkatan dari kondisi permukaan perkerasan yang terjadi. Analisis indeks kondisi perkerasan dilakukan dengan menggunakan alat LWD (Light Weight Deflectometer) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada ruas tersebut.

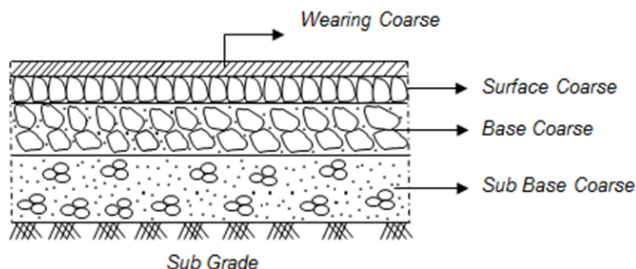
Hal penting dalam pengelolaan sistem perkerasan jalan adalah kemampuan dalam menentukan Gambar 4.an kondisinya saat sekarang dari suatu jaringan jalan, dan memperkirakan kondisinya di masa datang. Untuk memprediksi kondisi perkerasan dengan baik, maka suatu metode penilaian untuk identifikasi harus digunakan. Sistem ini merupakan alat bagi personil penilai dalam melakukan penilaian kerusakan perkerasan. Sistem atau metode penilaian kondisi perkerasan yang terdiri dari Metode Dirgolaksono Mochtar dan metode Bina Marga. Metode ini sering digunakan untuk menilai kondisi perkerasan jalan. Namun pada saat ini, biasa digunakan alat LWD (Light Weight Deflectometer) untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi pada perkerasan jalan.

4.3 Perkerasan Lentur Jalan

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang dibangun di atas tanah dasar (subgrade) di mana tanah dasar tersebut harus mempunyai daya dukung yang memadai untuk menahan gaya-gaya akibat beban kendaraan yang lewat di atasnya. Susunan struktur lapisan perkerasan lentur jalan dari bagian atas ke bawah ditunjukkan pada Gambar 4. 1.

Standar adalah dokumen yang berisi ketentuan teknis dari sebuah produk, metode, proses atau sistem, yang dirumuskan secara konsensus dan ditetapkan oleh instansi yang berwenang (Haryono, 2005). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 102 Tahun 2000 menyebutkan bahwa standar adalah spesifikasi teknis yang dibakukan termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang terkait dengan memperhatikan syarat-syarat keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan

ilmu pengetahuan dan teknologi serta pengalaman, perkembangan masa kini dan masa yang akan datang untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya.



Gambar 4.1: Struktur perkerasan lentur (Ali N. dkk., 2010)

Jahren & Federle (1999) mendefinisikan mutu dalam dua hal: (i) pemenuhan terhadap tuntutan dari pelanggan; dan (ii) suatu produk atau jasa yang bebas dari kekurangan. Berdasarkan definisi tersebut, mutu terkait dalam suatu sistem, program, atau proyek yang memiliki elemen-elemen input, proses, output, outcome dan impact dari suatu program.

Di dalam perkembangannya, Balitbang Departemen Kimpraswil (2002) telah menyusun standar peraturan dalam bentuk NSPM (Norma, Standar, Pedoman, Manual) bidang konstruksi dan bangunan sebagai standar yang diterapkan dalam pekerjaan pembangunan dan pemeliharaan prasarana dan sarana kimpraswil bagi masyarakat, NSPM dikelompokkan menjadi 2 (dua) bagian, yaitu: (i) metode, spesifikasi dan tatacara yang ditetapkan oleh BSN (Badan Standardisasi Nasional); dan (ii) pedoman/petunjuk teknis dan manual yang disahkan oleh Menteri Kimpraswil.

Corhran (2002) menyatakan bahwa pengendalian mutu produk dan evaluasi industri jasa konstruksi diperlukan peranan kinerja sumber daya yang optimal dan komprehensif, yang meliputi manusia, peralatan, bahan.

Bapekin (2004) menyatakan bahwa pemberlakuan standar mutu konstruksi dipengaruhi oleh bagaimana bentuk/tipe standar mutu mudah dipahami dan disiapkan di lapangan, misalnya sistem komunikasinya, dilengkapi manual atau tidak. Langkah awal yang harus ditindaklanjuti dalam sistem manajemen mutu adalah pemahaman substansi standar mutu (Singh & Shoura, 1999; Mc Cambridge & Tucker, 1998). Pemahaman substansi standar memerlukan peningkatan pendidikan pengendali mutu, dukungan laboratorium (peralatan uji), kemudahan mendapatkan material uji dan buku standar.

Aspek-aspek yang memengaruhi persiapan implementasi sistem mutu konstruksi di lapangan, adalah: (i) kualitas sumber daya manusia, instrumen, kelembagaan dan legalisasi standar (Martin, 1993; Inokuma, 2002; Henry, 2002; Harris & Mc Caffer, 2001; Porter, 1998); (ii) peralatan dan obyek penelitian (Hecker, 1997; Porter, 1998); dan (iii) akurasi peralatan dan suplai material (Kini, 1999; Kessides, 1994; Kasi, 1995).

Salah satu faktor yang menjadi kendala lapangan dalam implementasi standar mutu adalah peran aktif kelembagaan yang belum optimal, pendidikan sumber daya manusia yang masih rendah, biaya perawatan peralatan uji yang masih rendah dan ketidakjelasan manual; hal ini terutama terjadi di negara sedang berkembang (Kubal, 1996; Kumar, 2000). Kehandalan alat, manual alat, dan spesifikasi alat juga merupakan faktor-faktor yang memengaruhi pemberlakuan standar mutu (Kini, 1999). Beberapa penyimpangan yang sering terjadi dalam pemberlakuan standar mutu perkerasan jalan (Mulyono & Riyanto, 2005) adalah: (i) penyimpangan terhadap metode pelaksanaan; (ii) penyimpangan terhadap perencanaan; (iii) penyimpangan terhadap spesifikasi teknis material; dan (iv) penyimpangan terhadap metode pengujian mutu.

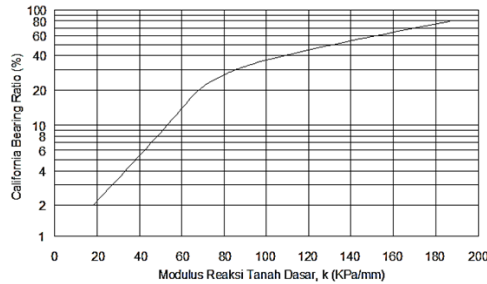
Sjahdanulirwan (2006) menyatakan bahwa jenis kerusakan struktural dini yang sering terjadi pada perkerasan lentur jalan adalah: (i) jalan ambles; (ii) permukaan jalan mengalami retak (cracking); (iii) permukaan jalan berlubang (potholes); (iv) permukaan jalan beralur bekas roda kendaraan (rutting); dan (v) pelepasan butiran agregat pada permukaan jalan (ravelling).

4.4 Konstruksi Tanah Dasar

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan tanah galian atau tanah permukaan timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan yang lainnya. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan tergantung dari sifat-sifat daya dukung tanah. Umumnya permasalahan yang terjadi menyangkut tanah dasar berupa perubahan bentuk tetap, sifat mengembang dan daya dukung tidak merata. Bahan subgrade akan berpengaruh terhadap daya dukung tanah dasar tersebut.

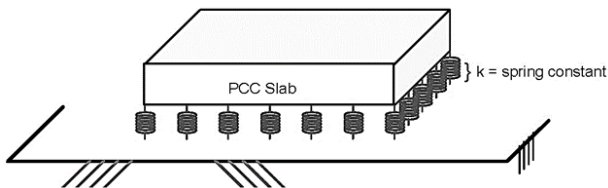
4.4.1 Modulus reaksi tanah

Hubungan antara CBR dan modulus reaksi tanah dapat dilihat pada Gambar 4.2.

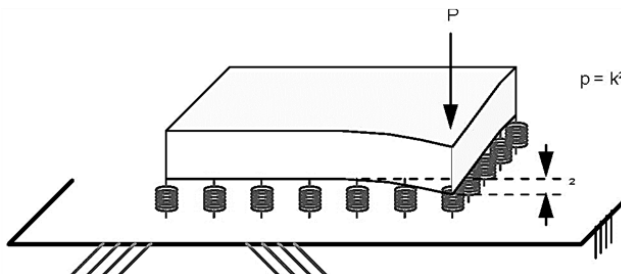


Gambar 4.2: Hubungan antara CBR dengan modulus reaksi tanah dasar (Pd T-14-2003)

Kekuatan tanah dasar pada struktur perkerasan kaku dinyatakan dengan modulus reaksi tanah (k). Daya dukung atau kapasitas dasar pada konstruksi perkerasan kaku yang umum digunakan adalah CBR yang nilainya dikorelasikan menjadi modulus reaksi tanah dasar (k). Modulus reaksi tanah dasar merupakan estimasi kapasitas daya dukung lapisan di bawah pelat beton pada struktur perkerasan kaku atau rigid pavement.



Gambar 4.3: Modulus reaksi tanah dasar Westergaard (Zhou, 2006)

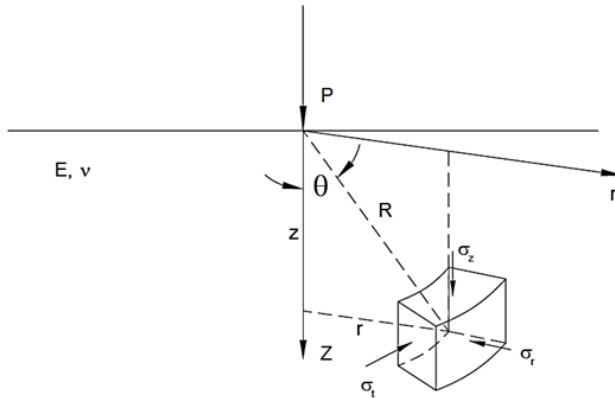


Gambar 4.4: Defleksi pelat beton yang dibebani (Zhou, 2006)

Modulus reaksi tanah dasar awalnya dikembangkan oleh Westergaard pada tahun 1920 yang menyatakan nilai k sebagai konstanta pegas pada model dukungan atau tumpuan di bawah pelat beton seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Tekanan reaktif untuk melawan beban sebanding dengan deformasi pada pegas dan nilai k sebagaimana yang di tunjukan pada Gambar 4. 4.

4.4.2 Tegangan pada subgrade

Boussinesq merupakan orang pertama yang menguji respon perkerasan terhadap beban. Serangkaian persamaan dibuat oleh Boussinesq untuk menentukan tegangan, regangan dan deformasi dalam media yang bersifat homogen, isotropik, elastis linier dengan modulus elastisitas (E), dan poisson ratio (μ) sebagai akibat dari beban terpusat statis pada permukaan perkerasan (Tu, W., 2007).



Gambar 4.5: Sistem sumbu koordinat untuk persamaan Boussinesq (Tu, W, 2007)

Gambar 4.5 memperlihatkan notasi sumbu koordinat untuk persamaan Boussinesq di mana z adalah kedalaman dan r adalah jarak radial dari beban terpusat. Model sistem satu lapis ini merupakan cara yang paling sederhana untuk memodelkan struktur perkerasan seperti yang ditunjukkan Gambar 4. 5. Beberapa persamaan Boussinesq ditunjukkan pada persamaan di bawah ini, di mana:

$$R = \sqrt{z^2 + r^2} \dots\dots\dots(1)$$

Tegangan normal:

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^3 \theta \dots \dots \dots (2)$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} \left[3\cos\theta \sin^2\theta - \frac{1-2\mu}{1+\cos\theta} \right] \dots \dots \dots (3)$$

$$\sigma_t = \frac{(1-2\mu)P}{2\pi R^2} \left[-\cos\theta + \frac{1}{1+\cos\theta} \right] \dots \dots \dots (4)$$

Tegangan geser:

$$\tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^2 \theta \sin \theta \dots \dots \dots (5)$$

$$\tau_{rt} = 0 \dots \dots \dots (6)$$

$$\tau_{tz} =$$

$$0 \dots \dots \dots (7)$$

Regangan normal:

$$\epsilon_z = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} [3\cos^3 \theta - 2\mu \cos \theta] \dots \dots \dots (8)$$

$$\epsilon_r = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} \left[-3\cos^3 \theta + (3 - 2\mu)\cos \theta - \frac{1-2\mu}{1+\cos \theta} \right] \dots \dots \dots (9)$$

$$\epsilon_t = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} \left[-\cos \theta + \frac{1-2\mu}{1+\cos \theta} \right] \dots \dots \dots (10)$$

Displacements:

$$dz = \frac{(1+\mu)P}{2\pi RE} [2(1 - \mu) + \cos^2 \theta] \dots \dots \dots (11)$$

$$dr = \frac{(1+\mu)P}{2\pi RE} \left[\cos \theta \sin \theta - \frac{(1-2\mu)\sin \theta}{1+\cos \theta} \right] \dots \dots \dots (12)$$

$$dt = 0 \dots \dots \dots (13)$$

Sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan di atas, modulus elastisitas tidak memiliki pengaruh pada tegangan dan regangan normal serta tegangan geser. persamaan Boussinesq awalnya dikembangkan untuk beban statik terpusat dan selanjutnya persamaan Boussinesq dikembangkan oleh para peneliti dengan

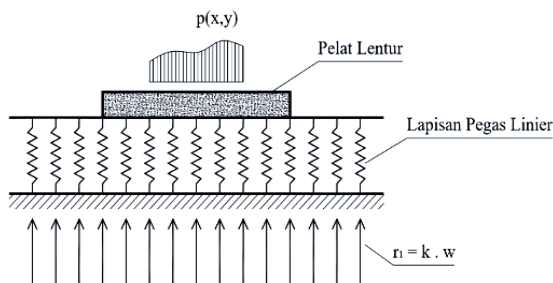
beban terbagi rata. Yoder dan Witczak (1975) menyarankan bahwa teori Boussinesq dapat digunakan untuk memperkirakan tegangan, regangan dan lendutan pada subgrade ketika modulus pada lapis pondasi (*base*) hampir sama dengan nilai modulus subgrade. Modulus permukaan perkerasan dihitung dengan menggunakan pengukuran lendutan permukaan berdasarkan persamaan Boussinesq, persamaannya dapat digunakan sebagai sebuah indikator menyeluruh dari kekakuan perkerasan (Ullidtz, 1998). Ukuran kekakuan dari sebuah material yaitu berupa modulus elastisitas yang dapat digunakan untuk menunjukkan nilai fleksibilitas dari suatu perkerasan. Modulus elastisitas didapatkan dari hubungan tegangan dan regangan dari suatu material.

1. *California Bearing Ratio* (CBR)

Daya dukung tanah dasar untuk struktur perkerasan kaku ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989. Apabila tanah dasar mempunyai CBR lebih kecil dari 2%, maka harus ditambahkan pondasi bawah yang terbuat beton krus (*lean mix-concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai CBR tanah dasar efektif 5%.

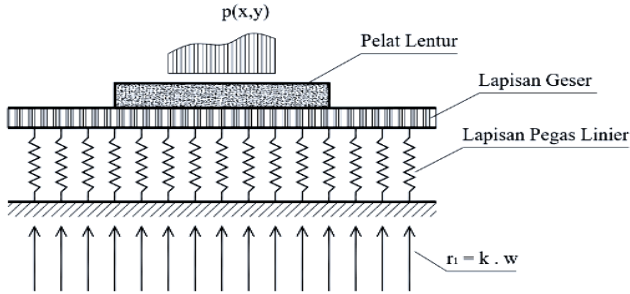
2. Teori Winklar dan Pasternak

Untuk memodelkan tanah di bawah pelat, berbagai macam model dapat digunakan salah satunya adalah model Theory Winkler-Pasternak. Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 masing-masing memperlihatkan ilustrasi dari teori Winkler dan teori Pasternak. Persamaan 14 dan 15 masing-masing memperlihatkan rumus dari teori Winkler dan Pasternak. Persamaan ini dapat diaplikasikan untuk model pelat lentur.



Gambar 4. 6: Ilustrasi teori Winklar

$$D_x \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \right) + 2 \cdot B \cdot \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right) + D_y \left(\frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + r_1 = -P_z(x, y) \dots \dots (14)$$



Gambar 4.7: Ilustrasi teori Pasternak

$$D_x \left(\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial x^4} \right) + 2 \cdot B \cdot \left(\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2} \right) + D_y \left(\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial y^4} \right) + \rho \cdot h \cdot \frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial t^2} + \gamma \cdot h \cdot \frac{\partial w(x,y,t)}{\partial t} + k \cdot w(x, y, t) - G \cdot \left(\frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial y^2} \right) = p_z(x, y, t) \dots \dots \dots (15)$$

Di mana:

D_x = Kekakuan lentur (flexural rigidity) pelat ortotropik arah sumbu x

$$D_x = \frac{h^3}{12} \cdot \left(\frac{E_x}{1 - \nu_x \nu_y} \right)$$

D_y = Kekakuan lentur (flexural rigidity) pelat ortotropik arah sumbu y

$$D_y = \frac{h^3}{12} \cdot \left(\frac{E_y}{1 - \nu_x \nu_y} \right)$$

B = Kekakuan puntir (torsional rigidity) pelat ortotropik

$$B = \sqrt{D_x D_y}$$

E_x = Modulus elastisitas pelat arah x

E_y = Modulus elastisitas pelat arah y

ν_x = Poisson's ratio arah x

ν_y = Poisson's ratio arah y

ρ = Massa jenis

h = Tebal pelat

γ = Koefisien redaman

$w(x,y,t)$ = fungsi lendutan yang tergantung pada fungsi posisi dan fungsi waktu

$p_z(x,y,t)$ = fungsi beban transversal arah z yang tergantung pada fungsi posisi dan fungsi waktu

N_x = Beban in-plane arah x

N_y = Beban in-plane arah y

r_{if} = Rasio beban in-plane

k = Kekakuan pegas Pondasi Pasternak

G_s = Kekakuan geser Pondasi Pasternak

Beban transversal $p(x,y,t)$ didefinisikan sebagai beban kendaraan yang bergerak dengan kecepatan konstan pada arah x dengan posisi arah y yang selalu sama ($b/2$) dapat diekspresikan pada persamaan 16.

$$p(x, y, t) = P_o(1 + \alpha \cos \cos \omega t) \delta[x - x(t)]\delta[y - y(t)] \dots\dots\dots(16)$$

Di mana:

P_o = amplitudo dari beban

$x(t), y(t)$ = fungsi posisi dari beban di arah x dan y

α = koefisien beban

ω = frekuensi dari kendaraan

Model untuk persamaan keseimbangan arah vertikal:

$$C_1 \cdot w - C_2 \cdot \Delta w = f_z \dots\dots\dots(17)$$

Di mana:

C_1, C_2 = parameter dari Winkler – Pasternak

W = defleksi secara vertikal.

f_z = Beban Vertikal yang bekerja pada suatu lapisan

4.5 Konstruksi Perkerasan Berbutir

Bahan dasar dari perkerasan, umumnya berupa material granuler yang terdiri dari kerikil atau batu pecah yang mempunyai gradasi tertentu, sehingga membentuk material yang stabil, mudah dikerjakan dan dipadatkan. Lapis pondasi adalah bagian dari perkerasan yang letaknya tepat di bawah lapis permukaan. Lapis pondasi diletakkan di atas lapis pondasi bawah atau jika tanpa lapis pondasi bawah, maka letaknya langsung di atas tanah dasar. Lapis pondasi

mendukung beban yang berat, sehingga merupakan bagian perkerasan yang penting.

Persyaratan material lapis pondasi lebih ketat dibandingkan dengan persyaratan lapis pondasi bawah atau tanah dasar. Material lapis pondasi (*base course*) untuk perkerasan lentur didasarkan pada pertimbangan ekonomis, antara lain:

1. Kerikil pecah atau tak dipecah
2. Batu pecah bergradasi
3. Makadam
4. Batu kapur
5. Korral
6. Terak (*slag*)

Bahan-bahan lapis pondasi harus cukup kuat dan awet, sehingga dapat menahan beban-beban yang bekerja padanya. Oleh karena itu, sebelum menentukan bahan-bahan untuk lapis pondasi, maka perlu dilakukan pengujian bahan. Untuk beban lalu lintas tinggi, material lapis pondasi juga sering distabilisasi dengan aspal, semen, kapur, kalsium klorida, sodium klorida dan abu terbang (*fly ash*).

Material lapis pondasi harus menyediakan karakteristik drainase dan stabilitas yang baik. Tebal lapis pondasi bergantung pada sifat-sifat lapisan di bawahnya. Material lapis pondasi umumnya dihamparkan sampai di bawah bahu jalan dan kerib. Lapis pondasi, tidak hanya melayani beban lalu lintas, namun juga harus memberikan lapis drainase yang lancar jika lapis permukaan kemasukan air dari permukaan. Bagian lapis pondasi yang berada di bawah bahu jalan, agar bisa memberikan aliran drainase yang kontinyu, sering dibuatkan saluran drainase bawah permukaan yang arahnya sejajar dengan sumbu jalan. Kriteria kekuatan lapis pondasi (*base*) dan lapis pondasi bawah (*subbase*) biasanya didasarkan pada nilai CBR atau nilai-R (*R-value*). Untuk memperoleh karakteristik tegangan-regangan (modulus elastisitas), maka nilainya dapat ditentukan dari uji tiaksial dengan beban berulang.

Menurut SNI 1732-1989-F dan Pt T-01-2002-B, macam-macam bahan alam yang mempunyai $CBR \geq 50\%$ dan indeks plastisitas ($PI \leq 4$) dapat digunakan untuk lapis pondasi, contohnya: batu pecah, kerikil pecah dan tanah yang telah distabilisasi dengan bahan tertentu seperti semen atau kapur. Sedangkan DPU (2005) mensyaratkan lapis pondasi mempunyai CBR antara 65-95% (bergantung pada klasifikasinya) dan $PI \leq 5$.

Bab 5

Parameter Perencanaan Tebal Lapisan Konstruksi Perkerasan

5.1 Pendahuluan

Pembahasan mengenai parameter perencanaan tebal perkerasan membutuhkan pemahaman mengenai jenis lapisan perkerasan yang diinginkan. Ketika mendesain perkerasan, baik campuran maupun strukturnya, terdapat beberapa parameter desain dasar yang harus dipertimbangkan. Dalam perencanaan jalan, hal ini biasanya dilakukan pada tahap studi kelayakan di mana lokasi pekerjaan, dimensi pekerjaan dan jenis pekerjaan ditentukan. Tujuan perancangan jalan adalah untuk memperoleh rancangan yang sesuai dengan umur rencana yang diinginkan, dengan tingkat layanan tertentu, sesuai sumber daya berdasarkan tiga input dasar yakni bahan, beban dan kondisi lingkungan. Parameter perencanaan tebal perkerasan tentu saja mengikut kepada hasil studi kelayakan yang dibuat. Pembahasan bab ini meringkas beberapa parameter yang lazim digunakan terutama pada perencanaan tebal perkerasan lentur. Parameter tersebut meliputi parameter lingkungan, parameter pembebanan, parameter bahan jalan, parameter umur rencana dan tingkat layanan yang diharapkan, serta parameter non-teknis seperti prasyarat ekonomi dan finansial, dan parameter lainnya. Namun demikian, untuk menyederhanakan proses desain, parameter-

parameter tersebut umumnya diringkas dalam parameter layanan perkerasan, parameter lingkungan, parameter pembebanan, dan parameter bahan jalan.

5.2 Parameter Kinerja Perkerasan

Parameter kinerja perkerasan merupakan parameter yang menyatakan kemampuan perkerasan untuk memberi layanan dalam kriteria umur dan tingkat pelayanan. Durasi atau umur rencana perkerasan serta tingkat pelayanan sangat berkaitan dengan aspek ekonomis perencanaan jalan. Demikian pula dengan tingkat pelayanan, namun tingkat pelayanan juga berkaitan dengan suatu hal yang penting yakni kriteria kegagalan perkerasan secara struktural.

Kinerja perkerasan jalan atau pavement performance setidaknya meliputi 3 hal yaitu:

1. Keamanan, yang sangat ditentukan oleh skid resistance atau besarnya gesekan akibat adanya kontak antara ban dan permukaan jalan. Besarnya gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi cuaca dan lain sebagainya.
2. Fisik atau struktur perkerasan yang berkaitan dengan kondisi fisik dari jalan tersebut dan terbebas dari kegagalan fisik (physical failure) seperti adanya keretakan, amblas, alur, gelombang dan sebagainya.
3. Fungsi pelayanan yang berkaitan dengan bagaimana perkerasan tersebut memberikan pelayanan kepada pemakai jalan atau sering diistilahkan dengan kenyamanan mengemudi atau riding quality.

5.2.1 Umur Rencana

Umur rencana (UR) adalah jumlah waktu dalam satu tahun dirancang dari dimulai dibukanya jalan raya yang baru sampai pada saat diberlakukannya perbaikan jalan. Umur rencana yang diinginkan tentu saja yang maksimal artinya perkerasan yang paling awet atau perpetual pavement, namun untuk mencapai hal tersebut tentu hampir mustahil, meski tentu saja tetap terdapat kemungkinan hal tersebut dapat tercapai. Sebut saja, jalan Appia (Via Appia) di Italia, yang dianggap sebagai salah satu ruas jalan tertua dan dahulu kala merupakan salah satu paling strategis bagi kekaisaran romawi. Jalan ini menghubungkan Roma dengan wilayah Brindisi, Apulia di bagian tenggara

Italia. Nama jalan ini sendiri diambil dari nama penguasa Romawi saat itu, Appius Cladius Caesus, yang memulai dan menyelesaikan bagian pertama dari jalan ini sebagai jalan militer ke selatan Italia pada tahun 312 SM. Umur rencana juga tidak sesederhana pada penyediaan sarana misalnya peralatan industri. Prasarana jalan kadang-kadang bersifat redundant, atau berlebih. Jalan lama yang sudah berstatus "digantikan" atau "pensiun" terkadang masih digunakan meski dengan volume yang jauh berkurang. Kondisi di negara maju seperti di Amerika Serikat menunjukkan bahwa ketika jalan intestate lama ditutup digantikan dengan jalan baru yang lebih besar, jalan lama masih sering digunakan bahkan ketika tidak ada sama sekali bangkitan dan tarikan lalu lintas di ruas tersebut. Konsep umur rencana harus diterapkan untuk menjamin bahwa suatu jalan baru akan dilewati sejumlah besar volume lalu lintas yang terkait dengan umur rencana tanpa harus menimbulkan kerusakan sehingga rekonstruksi atau perbaikan besar-besaran harus dilakukan (Croney and Croney, 1998)

Mencapai umur jalan yang sangat panjang kemudian dianggap tidak feasible sehingga umur rencana yang lebih tepat adalah umur optimal, yakni umur rencana yang cukup lama untuk memungkinkan perkerasan bekerja tanpa harus diperbaiki secara besar-besaran yang merupakan gangguan besar terhadap lalu lintas, namun tidak terlalu lama sehingga tidak perlu didesain dengan sangat kuat yang membuat harganya akan sangat mahal. Selama umur rencana, kegiatan pemeliharaan perkerasan jalan tetap harus dilakukan, seperti pelapisan nonstruktural yang berfungsi sebagai lapisan aus.

Umur rencana untuk perkerasan lentur jalan baru umumnya diambil 20 tahun dan untuk peningkatan jalan 10 tahun. Umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun tidak lagi ekonomis karena perkembangan lalu lintas yang terlalu besar dan sukar mendapatkan ketelitian yang memadai (tambahan tebal lapisan perkerasan menyebabkan biaya awal yang cukup tinggi). Di dekade-dekade sebelumnya, akibat keterbatasan anggaran, seringkali umur rencana hanya diambil beberapa tahun, misalnya 5 sampai 10 tahun. Namun dengan meningkatnya anggaran umur rencana di negara maju, umur rencana jalan mulai diambil yang agak panjang (Croney and Croney, 1998). Namun demikian, sering pula terjadi hal yang berkebalikan, di mana jalan yang didesain untuk umur yang singkat justru bertahan, sedangkan jalan yang didesain untuk umur yang lama justru berumur singkat, yang seringkali dikaitkan dengan inkonsistensi dalam pelaksanaan konstruksi atau korupsi dalam pelaksanaannya yang menyebabkan jalan yang didesain untuk umur yang panjang justru lebih

cepat mengalami kerusakan. Fenomena tersebut banyak terjadi di negara berkembang justru di tahun-tahun belakangan.

Dalam Manual Desain Perkerasan Jalan, umur rencana perkerasan baru dapat diriangkum sebagaimana diperlihatkan dalam tabel 5.1. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2013)

Tabel 5.1: Umur Rencana (UR) Beberapa Jenis Perkerasan Jalan Baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	lapisan aspal dan lapisan berbutir dan CTB	20
	pondasi jalan	40
	semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang, misalnya jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	Cement Treated Based	
Perkerasan Kaku	lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen	Minimum 10

Dalam kondisi sulitnya penerapan umur rencana di atas, dapat digunakan umur rencana berbeda, namun sebelumnya dibutuhkan analisis dengan discounted whole of life cost, di mana ditunjukkan bahwa umur rencana tersebut dapat memberikan discounted whole of life cost terendah dengan mempertimbangkan nilai bunga diambil dari nilai bunga rata-rata dari bank sentral. Umur rencana tidak boleh diambil melampaui kapasitas jalan pada saat umur rencana yang dinyatakan dalam tingkat layanan atau indeks permukaan.

5.2.2 Tingkat layanan (serviceability)

Kinerja perkerasan menurut tingkat layanan atau serviceability dapat dinyatakan dengan indeks permukaan (surface index) dan indeks kondisi jalan (Road Condition Index). Indeks layanan (Serviceability Index) diperkenalkan oleh AASHTO yang diperoleh dari pengamatan kondisi jalan, meliputi kerusakan-kerusakan seperti retak-retak, alur-alur, lubang-lubang, lendutan pada lajur

roda, kekasaran permukaan dan lain sebagainya yang terjadi selama umur jalan tersebut.

Index permukaan (IP) adalah suatu angka yang menyatakan kehalusan serta kekokohan permukaan jalan yang berkaitan dengan tingkat pelayanan jalan untuk lalu lintas yang akan melewatinya. Untuk perencanaan jalan lentur, indeks permukaan tertentu melambangkan beberapa jenis kondisi permukaan perkerasan seperti yang tersebut di bawah (Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, 2002).

IP = 2,5 : menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

IP = 2,0 : menyatakan tingkat pelayanan terendah bagi jalan yang masih mantap.

IP = 1,5 : menyatakan tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin dilewati atau jalan masih dalam kondisi yang tidak terputus.

IP = 1,0 : Menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu-lintas kendaraan.

Penentuan menentukan indeks permukaan berkaitan dengan akhir umur rencana atau indeks permukaan terminal (IPt) juga mempertimbangkan klasifikasi fungsional jalan, seperti yang dinyatakan dalam Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2: Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IPt)

Klasifikasi Jalan			
Lokal	Kolektor	Arteri	Bebas hambatan
1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
1,5	1,5 – 2,0	2,0	-
1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	-
-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sedangkan untuk menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IPO) harus diperhatikan jenis lapis permukaan perkerasan dalam hal ketidak rataan yang dapat diambil dari survey NASRA, sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 5.3. berikut.

Tabel 5.3: Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (IP0)

Jenis Lapis Perkerasan	IP0	Ketidakrataaan *) (IRI, m/km)
Lapis Aspal Beton (Laston)	≥ 4	$\leq 1,0$
	3,9 – 3,5	$> 1,0$
Lapis aspal buton agregat (Lasbutag)	3,9 – 3,5	$\leq 2,0$
	3,4 – 3,0	$> 2,0$
Lapis Penetrasi Macadam (Lapen)	3,4 – 3,0	$\leq 3,0$
	2,9 – 2,5	$> 3,0$

5.3 Parameter Pembebanan LaluLintas

Pembebanan lalu lintas merupakan salah satu parameter yang paling penting untuk diketahui. Selama umur rencana, suatu ruas jalan akan mendapatkan beban yang dihitung sebagai repetisi beban atau sebagai beban maksimum tergantung jenis perkerasan yang akan dibangun.

Untuk mendapatkan input yang akurat atas pembebanan lalu lintas untuk umur rencana yang diinginkan, maka dibutuhkan informasi sebagai berikut

1. Lalu lintas harian rata-tara tahunan (LHR) pada setiap ruas jalan
2. identifikasi jenis dan berat secara umum setiap kategori kendaraan
3. distribusi model lalu lintas pada setiap ruas jalan
4. perkiraan kecepatan operasi normal pada setiap ruas jalan

5.3.1 Ekuivalensi Pembebanan

Pembebanan pada jalan berasal dari lalu lintas kendaraan yang beragam. Beban perkerasan jalan disumsikan hanya akibat beban hidup yaitu beban lalulintas. Beban mati rekatif kecil dan dapat diabaikan. Setiap jenis kendaraan memiliki konfigurasi sumbu dan roda yang berbeda-beda. Sebetulnya tegangan dan regangan harus diperhitungkan, namun karena sulit untuk menghitungnya karena adanya kondisi beban yang berkelompok maka untuk memudahkan perancangan, tipe konfigurasi sumbu dan roda yang berbeda-beda, harus disetarakan atau diekuivalenkan.

Untuk perkerasan lentur, angka ekuivalensi yang digunakan adalah yang berasal dari suatu beban sumbu kendaraan dengan sumbu tunggal seberat 8,16 ton (8160 kg) atau (18000 lbs/ 18 kips) atau 80 kN yang dianggap setara dengan beban kelompok roda. Beban tersebut dianggap memiliki daya rusak atau *damage factor* = 1 yang perulangan atau repetisi lintasannya akan menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan. Jumlah seluruh lalu lintas disetarakan dengan beban 8,16 tersebut.

Angka ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu kendaraan, dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang disebut rumus pangkat empat.

Angka ekuivalen sumbu tunggal

$$E = \left(\frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right)^4 \quad (5.1)$$

Angka ekivalen sumbu tandem atau ganda

$$E = 0.086 \left(\frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right)^4 \quad (5.2)$$

Angka ekivalen sumbu tridem atau triple

$$E = 0.053 \left(\frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right)^4 \quad (5.3)$$

Dari rumus di atas tampak bahwa penambahan kelebihan beban akan sangat memengaruhi daya rusak sebuah kendaraan terhadap perkerasan di bawahnya.

5.3.2 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) dan Lintas Ekuivalen

Perhitungan pembebanan lalu lintas berbeda untuk perkerasan lentur dan kaku. Berikut ini adalah beberapa pengertian lalu lintas harian (traffic volume) dengan asumsi jalan lentur berdasarkan Metode analisa komponen Bina Marga (Departemen Pekerjaan Umum, 1989)

1. Lalu lintas harian rata-rata

Lalu lintas harian rata-rata (LHR) adalah jumlah rata-rata lalu lintas kendaraan bermotor beroda empat atau lebih yang dicatat selama 24 jam sehari untuk kedua jurusan. Untuk setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana, yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing-masing arah pada jalan dengan median. Lalu lintas harian rata-rata awal umur rencana adalah LHR

pada saat jalan sudah selesai dikerjakan atau mulai berfungsi, kemungkinan akan lebih besar sesuai dengan tingkat perkembangan lalu lintas (1% per tahun).

$$\text{LHR Awal Umur Rencana} = (1 + i)^n \cdot \text{LHR saat survey} \quad (5.4)$$

Di mana i adalah perkembangan lalu lintas dan n adalah selisih tahun survei dan awal umur rencana. Lalu lintas harian rata-rata akhir umur rencana lalu lintas adalah jumlah waktu dalam tahun dihitung sejak jalan tersebut dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru. LHR Akhir Umur Rencana = $(1 + i)^{ur} \cdot \text{LHR awal umur rencana}$ (5.5)

2. Lintas Ekuivalen

Dalam metode analisa komponen bina marga, lintas ekuivalen dihitung untuk awal, tengah dan akhir umur rencana. Lintas ekuivalen permulaan (LEP) adalah jumlah lintas harian rata-rata dari sumbu tunggal standar 8,16 ton pada jalur rencana yang diperkirakan akan terjadi pada permulaan umur rencana, yang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{LEP} = \text{LHR} \cdot C \cdot E \quad (5.6)$$

Lintas ekuivalen akhir (LEA) akhir adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal sebesar 8,16 ton pada jalur rencana yang diperkirakan akan terjadi pada akhir umur rencana, dan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{LEA} = \text{LHR}_{\text{akhir}} \cdot C \cdot E \quad (5.7)$$

Lintas Ekuivalen Tengah (LET) Lintas ekuivalen tengah adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu ekuivalen pada jalur rencana diperkirakan akan pada pertengahan umur rencana, dan dihitung sebagai nilai tengah dari LEA dan LEP.

Lintas ekuivalen rencana (LER) adalah suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekuivalen pada jalur rencana, dan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{LER} = \text{LET} \cdot U_r / 10 \quad (5.8)$$

Di dalam Pedoman 2002, pembebanan lalu lintas sebagai perkiraan lalu lintas masa datang dinyatakan dalam W_{18} atau kumulatif beban 18 kips dalam umur rencana yang diinginkan.

5.3.3 Distribusi Kendaraan Pada Jalur Rencana

Hal lain yang menjadi pertimbangan dalam perencanaan perkerasan jalan berkaitan dengan pembebanan adalah distribusi kendaraan baik berdasarkan banyaknya jalur maupun berdasarkan persentase jenis kendaraan, dengan pertimbangan utama pada kendaraan berat (pada perkerasan beton) dan kendaraan dengan sumbu standar (perkerasan lentur). Jalur rencana merupakan salah satu jalur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas jalur maka jumlah jalur ditentukan dari lebar perkerasan menurut Tabel 5.4 bawah.

Tabel 5.4: Jumlah Jalur Berdasarkan Lebar Perkerasan

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

Koefisien distribusi (C) untuk kendaraan ringan (< 5 ton, mis: mobil penumpang, pick up) dan berat (≥ 5 ton, mis: bus, truk, traktor, semi trailer, trailer) yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut tabel 5.5 berikut

Tabel 5.5: Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 lajur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 lajur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 lajur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 lajur	-	0,30	-	0,45
5 lajur	-	0,25	-	0,425
6 lajur	-	0,20	-	0,40

5.4 Parameter Sifat Bahan

Harus diperhitungkan pada desain mekanistik empiris, dalam hal ini respon perkerasan termasuk tegangan, regangan dan perpindahan. Jika bahan dianggap elastis maka harus diketahui modulus elastisitasnya serta Poisson ratio demikian pula jika modulus elastisitasnya berubah akibat waktu pembebanan. Jika bahan dianggap elastis non-linier maka modulus resiliensi harus diketahui. Bahan yang dimaksud di sini adalah bahan tanah dasar dan bahan perkerasannya sendiri baik pondasi maupun lapis permukaan.

5.4.1 Sifat bahan tanah dasar

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Dalam analisa komponen bina marga, sifat tanah dasar dinyatakan dengan nilai CBR tanah (Departemen Pekerjaan Umum, 1989). Nilai CBR tanah dapat diperoleh dengan pengujian dilaboratorium atau pengetesan dilapangan menggunakan alat DCP.

Nilai CBR yang mewakili satu ruas jalan dinyatakan sebagai CBR segmen yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$CBR_{\text{segmen}} = CBR_{\text{rata-rata}} - (CBR_{\text{maks}} - CBR_{\text{min}}) / R \quad (5.9)$$

Di mana R adalah nilai yang tergantung banyak data yang diperoleh. Nilai R sebagai berikut:

Tabel 5.6: Nilai R untuk CBR segmen

Jumlah Pengamatan	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

Dalam Analisa komponen 1989, hasil penelitian CBR digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi antara CBR tanah dasar dan DDT atau melalui persamaan hubungan CBR dan DDT. Nilai DDT yang didapatkan, melalui nomogram akan menentukan tebal perkerasan pondasi bawah di atas tanah dasar. Dalam Pedoman 2002, diperkenalkan modulus resilien (MR) sebagai parameter tanah dasar yang digunakan dalam perencanaan. Selain Mr tanah dasar juga dapat diperkirakan dari CBR standar dan hasil atau nilai tes soil index. Suatu korelasi Modulus Resilien dengan nilai CBR dapat digunakan untuk tanah berbutir halus (fine-grained soil) dengan nilai CBR terendam 10 atau lebih kecil. (Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, 2002)

$$MR \text{ (psi)} = 1.500 \times \text{CBR} \quad (5.10)$$

5.4.2 Sifat Bahan Pengikat

Dalam Pedoman 2002, diperkenalkan korelasi antara koefisien kekuatan relatif dengan nilai mekanistik, yaitu modulus resilien. Berdasarkan jenis dan fungsi material lapis perkerasan, dapat diestimasi besaran Koefisien Kekuatan Relatif yang dikelompokkan ke dalam 5 katagori, yaitu beton aspal (asphalt concrete), lapis pondasi granular (granular base), lapis pondasi bawah granular (granular subbase), cement-treated base (CTB), dan asphalt-treated base (ATB). Koefisien Kekuatan Relatif lapis permukaan berbeton aspal bergradasi rapat didesain berdasarkan modulus elastisitas (EAC) pada suhu 68°F (metode AASHTO 4123). Diperlukan pertimbangan yang lebih jika ingin menggunakan nilai modulus di atas 450.000 psi, karena meski modulus beton aspal yang lebih tinggi dan lebih kaku, yang berarti akan lebih tahan terhadap lenturan, namun akan bersifat lebih rentan terhadap retak fatigue. Pembahasan mengenai bahan pengikat dapat dijelaskan lebih lanjut di bab mengenai sifat bahan pengikat.

5.5 Parameter lingkungan

Faktor lingkungan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi konstruksi perkerasan, karenanya dianggap sebagai salah satu parameter dalam desain tebal perkerasan. Faktor-faktor tersebut meliputi suhu berikut perubahannya, curah hujan dan kelembaban, adanya salju, radiasi matahari dan lama penyinaran dan sebagainya. Faktor tersebut memengaruhi ketahanan

perkerasan, reologi bahan pengikat, struktur penyikong dan pada akhirnya memengaruhi umur perkerasan dan mempercepat kegagalan perkerasan. Dalam analisa komponen 1989, faktor lingkungan disederhanakan dalam tabel yang mempertimbangkan curah hujan, kelandaian serta dipengaruhi oleh persentase kendaraan berat, sebagaimana tampak pada tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7: Faktor Regional (Departemen Pekerjaan Umum, 1989)

Curah hujan	Kelandaian < 6 %		Kelandaian 6-10 %		Kelandaian > 10 %	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤ 30 %	> 30 %	≤ 30 %	> 30 %	≤ 30 %	> 30 %
Iklim < 900 mm/th	0,5	1,0-1,5	1,0	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklim ≥ 900 mm/th	1,5	2,0-2,5	2,0	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Sedangkan dalam Pedoman 2002, faktor lingkungan diwakili oleh koefisien drainase untuk mengakomodasi kualitas sistem drainase yang dimiliki perkerasan jalan. Kualitas drainase pada perkerasan lentur menjadi hal yang diperhitungkan dalam perencanaan, yakni dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang dimodifikasi. Faktor untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif ini adalah koefisien drainase (m) yang kemudian disertakan ke dalam persamaan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) bersama-sama dengan koefisien kekuatan relatif (a) dan ketebalan (D). Persamaan 5.11 menunjukkan hubungan antara ITP, a, D dan M. Tabel 5.8 menunjukkan nilai koefisien drainase (m) sebagai fungsi dari kualitas drainase dan persentase durasi pengaruh drainase akibat kadar air yang mendekati jenuh terhadap struktur perkerasan selama waktu selama setahun.

$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (5.11)$$

Tabel 5.8 Koefisien drainase (m) sebagai modifier untuk koefisien kekuatan relatif material pondasi jalan pada perkerasan lentur (Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, 2002)

Kualitas drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Baik sekali	1,40 – 1,30	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Sedang	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Jelek	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Jelek sekali	1,05 – 0,95	0,08 – 0,75	0,60 – 0,40	0,40

Secara keseluruhan, semua parameter perencanaan tebal perkerasan tersebut di atas, dalam Pedoman 2002 dapat disimpulkan dalam suatu persamaan logaritmis, yang dapat diselesaikan dengan metode trial dan error atau diselesaikan dengan metode iterasi dengan bantuan pengolah data. Persamaan tersebut dinyatakan sebagai berikut.

$$(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times (ITP + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(ITP+1)^{5.19}}} + 2.32 \times (M_R) - 8.07 \tag{5.12}$$

Ditambah dengan faktor reliabilitas yang kemudian menentukan standar normal deviate, Z_R , gabungan standard error untuk perkiraan lalu-lintas dan kinerja, S_0 , modulus resiliensi efektif (effective resilient modulus) material tanah dasar (MR), dan design serviceability loss ($\Delta PSI = IP_0 - IP_f$), persamaan 5.12 merupakan penyederhanaan hubungan antara semua parameter perancangan jalan. Dengan metode back calculation, karena nilai W_{18} telah diperoleh maka nilai ITP akan dicari dan selanjutnya besaran nilai D dalam persamaan 5.11 dapat diperoleh

Bab 6

Perencanaan Metoda Campuran

6.1 Pendahuluan

Pembangunan Jalan di Indonesia akhir-akhir ini sangat meningkat, mulai proyek pembangunan jalan baru sampai proyek peningkatan jalan. Perkerasan jalan biasanya di rencanakan untuk masa pelayanan yang sesuai dengan kondisi lalu lintas yang ada, tetapi sering di temukan perkerasan jalan yang mengalami kerusakan sebelum umur rencana tercapai. Faktor penyebab terjadinya kerusakan diantaranya pemeliharaan jalan yang belum optimal dan adanya muatan kendaraan yang berlebih (overloading). Dengan mengasumsi sebagai beban monotonik pada konstruksi perkerasan jalan, maka daerah daerah perkerasan yang menjadi sasaran akibat kerusakan jalan yaitu kendaraan yang bermuatan lebih berhenti pada saat lampu merah, kendaraan bermuatan lebih akibat berhenti sesaat (parkir sementara) dan pada saat kendaraan bermuatan lebih mengalami kemacetan.

Untuk mengetahui respon model perkerasan terhadap beban lalu lintas pada perkerasan komposit telah dikembangkan beberapa metode diantaranya teori satu lapis oleh boussinesq dan teori dua lapis dan berlapis banyak oleh burmister. Dari hasil penelitian sebelumnya diungkapkan oleh Hary christady hardiyatmo dengan judul sistem pelat terpaku untuk perkuatan pelat beton pada perkerasan kaku (rigid pavement) bahwa konstruksi perkerasan jalan dengan benda uji pelat beton berukuran 50 x 50 cm dan 70 x 70 cm dengan tebal 10 cm

dengan ada dan tanpa tiang penyangga yang di letakan diatas tanah, dari hasil evaluasi menghasilkan deformasi rata-rata pada benda uji tanpa tiang penyangga dengan dimensi 50 x 50 cm ialah 3,39 mm sedangkan untuk dimensi 70 x 70 ialah 2,54 mm, kemudian selanjutnya oleh Luca G.Sorelli, dkk meneliti dengan judul *Steel Fiber Concrete Slabs on Ground: A Structural Matter* bahwa benda uji pelat beton 300 x 300 cm dengan tebal 15 cm yang diletakan diatas perletakan yang terbuat dari baja sebanyak 64 buah dan dari evaluasi menghasilkan deformasi rata-rata pada benda uji tanpa menggunakan steel fiber adalah 2 mm.

Suatu lapis perkerasan jalan diharapkan mampu memenuhi sifat stabilitas, yaitu kemampuan perkerasan aspal menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang tetap. Namun kenyataannya, pada masa pelayanannya, perkerasan jalan sering mengalami kerusakan atau tidak mencapai umur layanan jalan. Di Jalan Lintas Timur Sumatera terjadi penurunan dalam pelayanan usia jalan sebesar 25,94% (Sentosa, 2012), jalan nasional di Aceh terjadi penurunan umur layan sebesar 4,3 tahun dari umur rencana 10 tahun (Syafriana, 2015), di Jalan Pantura Jawa hanya memiliki umur jalan selama 1,5 hingga 2 tahun dari seharusnya 10 tahun (Antara News, 2008). Selain itu, menurut data Informasi Statistik PU dan Perumahan Rakyat (2015) jalan di Indonesia dalam kondisi baik hanya sebesar 62 %, sedangkan kondisi jalan yang lain dalam keadaan rusak ringan ataupun rusak berat.

Salah satu penyebab kerusakan atau tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas. Menurut Suparyanto dalam Latifa (2011), pengulangan beban lalu lintas sebagai akibat dari kepadatan lalu lintas menyebabkan terjadinya akumulasi deformasi permanen pada campuran beton aspal sehingga mengalami penurunan kinerja jalan. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan bahan tambah (additive) ke dalam campuran.

6.2 Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Agregat yang akan diuji berupa agregat kasar berupa batu pecah 0,5 cm - 1 cm dan batu pecah 1 cm – 2 cm dan agregat halus berupa abu batu yang pengambilan materialnya berasal dari salah satu quarry yang dekat dengan proyek proyek Jalan Nasional batas kota ruas Fakfak-Hurimber dan filler berasal dari salah satu produsen semen Portland komposit yang ada di Indonesia.

Adapun pengujian dan metode pengujian agregat kasar dan agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 6.1 yaitu analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, kadar lumpur, keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles, indeks kepipihan dan Sand Equivalent.

Tabel 6.1: Metode pengujian karakteristik agregat

Pengujian	Metode Pengujian	
	Agregat kasar	Agregat halus
Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	
Berat jenis dan penyerapan agregat	SNI 03-1969-2000	SNI 03-1970-2008
Kadar lumpur	SNI 03-4142-1996	
Keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	
Indeks kepipihan	SNI 03-4137-1996	
Sand equivalent	SNI 03-4428-1997	

Metode pengujian dan persyaratan pengujian karakteristik semen menggunakan standar SNI 15-7064-2004, dimana untuk metode karakteristik semen yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 6.2. Berdasarkan SNI 15-7064-2004 standar-standar pengujian karakteristik fisik dan karakteristik mekanik semen terdiri dari beberapa pengujian-pengujian yaitu kadar air, kehalusan, pengembangan, kuat tekan dengan umur 3, 7 dan 28 hari, waktu pengerasan menggunakan vicat tes (pengerasan awal dan pengerasan akhir) dan waktu ikat palsu.

Tabel 6.2: Standar-standar pengujian karakteristik semen

Karakteristik material	SNI 15-7064-2004
	Standar
Kadar air (%)	12 maks
Kehalusan	280 min
Pengembangan, % (maks)	0,8 maks
Kuat tekan	
a. 3 hari (kg/cm ²)	125 min
b. 7 hari (kg/cm ²)	200 min
c. 28 hari (kg/cm ²)	250 min
Waktu pengerasan (Vicat tes)	
a. Pengerasan awal, menit	45 min
b. Pengerasan akhir, menit	375 min
Waktu ikat palsu	50 min

6.3 Pengujian Karakteristik Material Campuran Aspal

Sebelum membuat campuran beton aspal AC-WC, maka dilakukan pengujian terlebih dahulu terhadap karakteristik material campuran meliputi:

1. Pemeriksaan bahan pengikat (aspal), yaitu pemeriksaan penetrasi aspal, pemeriksaan titik lembek aspal, pemeriksaan daktilitas, pemeriksaan berat jenis aspal, pemeriksaan kehilangan berat (TFOT), pemeriksaan viskositas, kelarutan, titik nyala dan titik bakar, penetrasi setelah TFOT, dan daktilitas setelah TFOT.
2. Pemeriksaan agregat kasar, yaitu pemeriksaan gradasi agregat kasar, pemeriksaan keausan agregat, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, pemeriksaan kepipihan dan kelonjongan, pelapukan, gumpalan lempung, pemeriksaan angularitas, serta pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal.
3. Pemeriksaan agregat halus, yaitu pemeriksaan gradasi agregat halus, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, pelapukan, gumpalan lempung, pemeriksaan kandungan organik, pemeriksaan bahan yang lolos saringan no.200, pemeriksaan angularitas, serta pemeriksaan *sand equivalent*.

4. Pemeriksaan filler Portland Cement meliputi persentase lolos saringan nomor 200.

6.4 Penentuan Proporsi Agregat

Setelah dilakukan pemeriksaan karakteristik material campuran dan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, maka dibuat proporsi agregat gabungan dengan menggunakan metode coba-coba (trial and error) yang prinsip kerjanya sebagai berikut:

1. Memahami batasan gradasi yang disyaratkan untuk campuran aspal AC-WC sesuai dengan Tabel 6.3.
2. Memasukkan data spesifikasi yang disyaratkan dari batasan gradasi di point (a) ke dalam Tabel 6. penentuan proporsi agregat.
3. Membuat variasi persentase dari masing-masing fraksi agregat yang menghasilkan jumlah 100 %, yang nilainya terdapat dalam batas gradasi Tabel 6.3 dan diusahakan nilai gabungannya mendekati nilai ideal.

Untuk menjamin keseragaman gradasi agregat pada setiap sampel briket yang dibuat maka campuran agregat dan filler untuk setiap briket adalah 1200 gram dengan berat masing-masing fraksi dihitung seperti pada Tabel 6.3 sebagai berikut

Tabel 6.3: Berat fraksi agregat pada setiap campuran satu briket aspal

Nomor Saringan	Spesifikasi Bm 2010 Rev.2 Untuk Ac-Wc Halus	Grdasi Agregat Gabungan (%)	Persentase Agregat Pada Fraksi (%)	Berat Agregat Pada Fraksi (Gram)
19 (3/4")	100	100,00		
			5,00	60,00
12,7 (1/2")	90 - 100	95,00	14,00	168,00
			19,50	234,00
9,5 (3/8")	72 - 90	81,00		

No.4	54 - 69	61,50	15,45	185,40
No.8	39,1 - 53	46,05		
No.16	31,6 - 40	38,05	8,00	96,00
			11,50	138,00
No.30	23,1 - 30	26,55	7,80	93,60
			6,75	81,00
No.50	15,5 - 22	18,75	5,00	60,00
			7,00	84,00
No.100	9 - 15	12,00	7,00	84,00
			5,00	60,00
No.200	4 - 10	7,00	7,00	84,00
			7,00	84,00
J U M L A H				1200
Persentase Agregat Kasar (%)				53,95
Persentase Agregat Halus (%)				39,05
Persentase Filler (%)				7,00

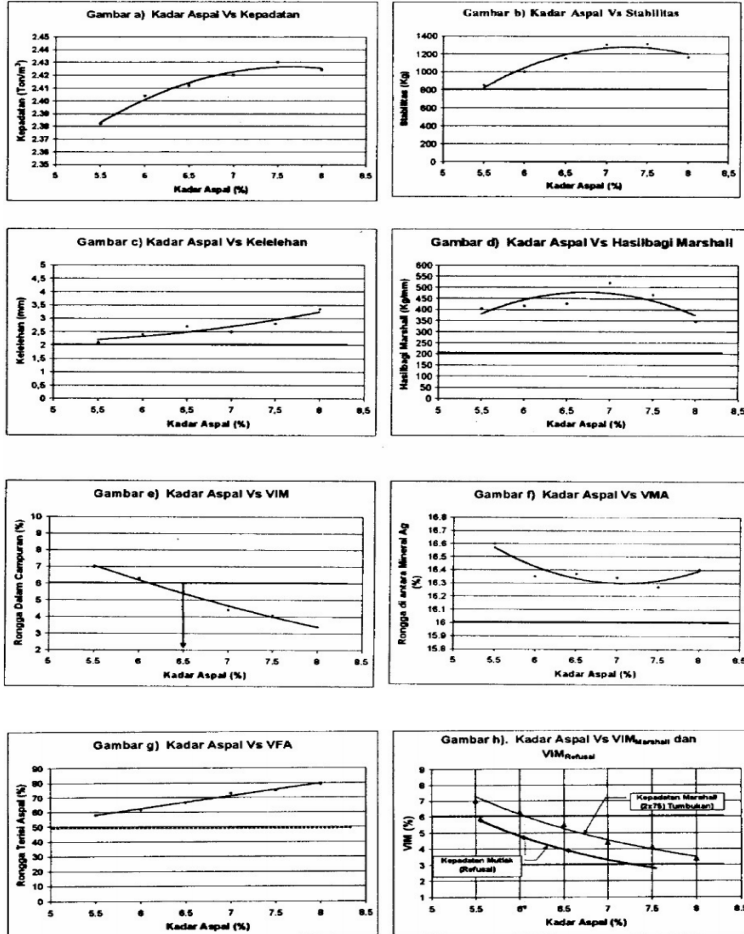
6.5 Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC

Pengujian karakteristik campuran beton aspal dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menimbang dan mengukur tinggi benda uji kering dengan ketelitian 0,004'' (0,1 mm).
2. Kemudian benda uji direndam dalam air \pm 24 jam pada suhu ruang.
3. Setelah itu, menimbang benda uji dalam air dan beratnya ditetapkan untuk mendapatkan isi.
4. Selanjutnya, mengangkat benda uji dan mengeringkan permukaannya dengan majun (kain lap) sampai mencapai keadaan kering permukaan jenuh, kemudian menimbang benda uji tersebut.

5. Setelah itu, benda uji direndam dalam bak perendaman yang dapat diatur suhunya dengan suhu 60°C selama 30-40 menit untuk mendapatkan benda uji sesuai dengan temperatur terpanas di lapangan.
6. Kemudian mengangkat benda uji dari bak perendaman dan melakukan uji *Marshall* untuk mendapatkan stabilitas dan *flow*. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat *Marshall* dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inchi/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari *proving ring*, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai *flow* yang dapat dibaca pada *flow* meternya. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring*, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji.
7. Setelah mengetahui karakteristik *Marshall* campuran dari variasi kadar aspal dan parutan plastik maka akan diperoleh kadar aspal optimumnya. Dari pengujian *Marshall* diperoleh nilai stabilitas dan *flow* dari campuran beton aspal dengan bahan tambah parutan plastik, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan sesuai dengan rumus (1), (2), (3), (4), (5), (6) untuk memperoleh:
 1. Kepadatan
 2. Volume pori dalam benda uji (VIM)
 3. Volume antara agregat dalam benda uji (VMA)
 4. Volume antara agregat yang terisi oleh aspal (VFB)
 5. *Marshall Quotient* (MQ)

Kemudian dibuatkan grafik serta pembahasan hubungan kadar aspal dan kadar parutan plastik dengan berbagai karakteristik *Marshall* campuran yang telah diperoleh dari hasil penelitian seperti pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1: Hubungan kadar aspal terhadap parameter Marshall

Bab 7

Perancangan Tebal Perkerasan

7.1 Pendahuluan

Saondang (2005) menyatakan Historis desain perkerasan jalan di Indonesia adalah sebelum Tahun 1974, belum ada metode standar perancangan perkerasan yang baku. Setelah periode 1974 – 1983, Bina Marga mengeluarkan aturan Perancangan Perkerasan No 04/PD/BM/1974 yang mengadopsi AASHO 1972 dan Asphalt Institute 1970. Kemudian pada periode 1983 -1987 diperbaharui menjadi perancangan berdasarkan buku standar 01/PD/B/1983. Setelah itu menggunakan SNI-1732-1989-F yang dikenal dengan Metode Analisa Komponen yang merupakan standar perancangan perkerasan skala nasional. Pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa metode perancangan Tebal perkerasan lentur jalan raya Metode Analisis Komponen 1987 dan Metode Manual Desain Perkerasan 2017.

7.2 Metode Analisis Komponen

7.2.1 Perencanaan Jalan Baru

Tahapan dalam menghitung tebal perkerasan jalan baru menggunakan Metode Analisis Komponen adalah sebagai berikut:

1. Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan pada suatu jalur jalan selama satu satuan waktu. Untuk mendapatkan volume lalu lintas dilakukan survey volume lalu lintas. Dari hasil survey volume lalu lintas dapat diketahui Lalu Lintas Harian Rata Rata (LHR) setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana. Beban lalu lintas berdasarkan metode Analisa Komponen dinyatakan dalam Lintas Ekuivalen Rencana (LER). Untuk mendapatkan LER tahapannya adalah sebagai berikut:

a. Jumlah lajur dan koefisien Distribusi kendaraan (C)

Faktor distribusi kendaraan pada lajur rencana ditentukan berdasarkan jumlah lajur perkerasan jalan. Jika ruas jalan tidak memiliki batas lajur, atau hanya diketahui lebar perkerasan saja, maka Tabel 7.1 dapat dipergunakan sebagai acuan

Tabel 7.1: Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

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

Sumber: Petunjuk perencanaan Tebal Perkerasan Jalan dengan Metode Analisa Komponen 1987

Koefisien distribusi Kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan berikut:

Tabel 7.2: Koofisien distribusi kendaraan (C)

Jumlah lajur	Kendaraan ringan*		Kendaraan Berat**	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 lajur	1,00	1,00	1,00	1,000
2 lajur	0,60	0,50	0,70	0,500

3 lajur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 lajur	-	0,30	-	0,450
5 lajur	-	0,25	-	0,425
6 lajur	-	0,20	-	0,400
* berat total < 5 ton, misalnya mobil penumpang, pick up				
** berat total > 5 ton, misalnya bus, truk, traktor, semi trailer, trailer				

Sumber: Petunjuk perencanaan Tebal Perkerasan Jalan dengan Metode Analisa Komponen 1987

b. Angka Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan

Angka ekuivalen beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal/ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 Lb)

$$E_{sumbu\ tunggal} = \left(\frac{\text{beban sumbu tunggal.ton}}{8,160} \right)^4 \quad (7.2)$$

$$E_{sumbu\ tandem} = 0,086 \left(\frac{\text{beban sumbu tandem.ton}}{8,160} \right)^4 \quad (7.3)$$

E setiap jenis kendaraan merupakan jumlah dari nilai E untuk setiap sumbu yang dimilikinya. E kendaraan dihitung dengan memperhatikan fluktuasi beban kendaraan.

c. Lalu Lintas Harian Rata-Rata dan Lintas Ekuivalen .

- Lalu Lintas Harian Rata Rata (LHR)
LHR setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana, yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing masing arah pada jalan dengan median
- Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)
Lintas ekuivalen adalah suatu nilai ekuivalen tingkat kerusakan jalan akibat repetisi dari lintasan kendaraan selama satu satuan waktu. LEP adalah besarnya lintas ekuivalen pada saat jalan dibuka (awal umur rencana) adalah sebagai berikut:

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j \quad (7.4)$$

Dengan:

LHR_j = LHR jenis kendaraan i di awal umur rencana

E_j = angka ekivalen untuk jenis kendaraan

C_j = koefisien distribusi jenis kendaraan

- Lintas Ekivalen Akhir (LEA)

LEA adalah besarnya lalu lintas ekivalen pada saat akhir umur rencana. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j (1 + i)^{UR} \times C_j \times E_j \quad (7.5)$$

Dengan:

i = Faktor pertumbuhan laku lintas % / tahun

UR = Umur Rencana, tahun

j = jenis kendaraan

- Lintas Ekivalen Tengah (LET)

LET yaitu besarnya lintas ekivalen rata-rata selama umur perencanaan

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2} \quad (7.6)$$

- Lintas Ekivalen Rencana (LER)

LER adalah besarnya lintas ekivalen rencana yang digunakan dalam perencanaan

$$LER = LET \times FP \quad (7.7)$$

Dengan:

FP = Faktor Penyesuaian untuk umur rencana

$$= UR/10$$

2. California Bearing Ratio (CBR)

Nilai CBR yang dipergunakan untuk menentukan Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) adalah CBR yang merupakan nilai wakil untuk satu segmen jalan.

a. Daya Dukung Tanah Dasar

Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) merupakan korelasi dari nilai CBR (Gambar 7.1) Nilai CBR yang dipergunakan adalah nilai CBR Lapangan atau CBR Laboratorium. Pada satu segmen jalan, pengambilan CBR untuk perencanaan dilakukan setiap jarak 200 meter ditambah pada setiap lokasi terjadinya perubahan jenis tanah atau kondisi lingkungan. Persyaratan untuk perencanaan daya dukung tanah dasar yang baik minimum nilai CBR adalah 6%.

Rumus korelasi antara nilai CBR dengan DDT adalah:

$$DDT = 4,3 \log CBR + 1,7 \quad (7.8)$$

Di mana

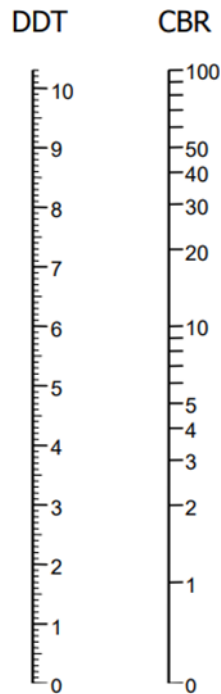
DDT = Daya Dukung Tanah Dasar

CBR = CBR segmen

Skala DDT adalah skala linier, sedangkan skala CBR menggunakan skala logaritma

Tabel 7.3: Korelasi antara CBR dan DDT

CBR	DDT
3	3,75
4	4,29
5	4,71
6	5,05
7	5,33
8	5,58
9	5,80
10	6,00
20	7,29
30	8,05
40	8,59
50	9,01
60	9,35
70	9,63
80	9,88
90	10,10
100	10,30



Gambar 7.1: Penentuan nilai DDT

b. Faktor Regional (FR)

Kondisi lingkungan yang memengaruhi kinerja perkerasan jalan seperti curah hujan dan iklim tropis, elevasi muka air tanah, kelandaian muka jalan, fasilitas dan kondisi drainase dan banyaknya kendaraan berat. Faktor regional hanya dipengaruhi oleh bentuk alinemen (kelandaian dan tikungan), presentase kendaraan berat beserta iklim (curah hujan) ditunjukkan pada Tabel 7.4

Tabel 7.4: Faktor Regional(FR)

Curah hujan	Kelayakan I (< 6%)		Kelayakan II (6 – 10 %)		Kelayakan III (>10%)	
	Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat	
	≤ 30%	> 30 %	≤ 30%	> 30 %	≤ 30%	> 30 %
Iklim I < 900 mm/thn	0,5	1,0 – 1,5	1,0	1,5 – 2,0	1,5	2,0 – 2,5
Iklim II ≥ 900 mm/thn	1,5	2,0 – 2,5	2,0	2,5 – 3,0	2,5	3,0 – 3,5
Catatan: Pada bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian atau tikungan tajam (jari-jari 30 m), FR ditambah dengan 0,5 Pada daerah rawa-rawa, FR ditambah dengan 1,0						

Sumber: Petunjuk perencanaan Tebal Perkerasan Jalan dengan Metode Analisa Komponen 1987

c. Indeks permukaan

Indeks Permukaan (IP) ini menyatakan nilai dari pada kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.

Adapun beberapa nilai IP adalah sebagai berikut:

IP = 1,0 : Menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan

IP = 1,5 : Tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus)

IP = 2,0 : Tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap

IP = 2,5 : Menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik

Dalam menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IPO) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana.

Tabel 7.5: Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo)

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness*) (mm/km)
Laston	≥ 4	≤ 1000
	3,9- 3,5	> 1000
Lasbutag	3,9- 3,5	≤ 2000
	3,4-3,0	> 2000
HRA	3,9- 3,5	≤ 2000
	3,4- 3,0	> 2000
Burda	3,9- 3,5	< 2000
Burtu	3,4- 3,0	< 2000
Lapen	3,4- 3,0	≤ 3000
	2,9- 2,5	> 3000
Latasbum	2,9- 2,5	
Buras	2,9- 2,5	
Latasir	2,9- 2,5	
Jalan Tanah	$\leq 2,4$	
Jalan kerikil	$\leq 2,4$	

*Alat roughometer yang digunakan adalah roughometer NAASRA, yang dipasang pada kendaraan standar Datsun 1500 Station Wagen, dengan kecepatan kendaraan ± 32 km/jam

Sumber: Petunjuk perencanaan Tebal Perkerasan Jalan dengan Metode Analisa Komponen 1987

Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP) ditentukan berdasarkan fungsi jalan dan LER seperti yang ditunjukkan Tabel 7.6

Tabel 7.6: Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
10 – 100	1,5	1,5 – 2,0	2,0	-
100 – 1000	1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	-
> 1000	-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber: Petunjuk perencanaan Tebal Perkerasan Jalan dengan Metode Analisa Komponen 1987

d. Indeks Tebal Perkerasan (*ITP*)

Indeks Tebal Perkerasan (*ITP*) adalah suatu indeks yang menentukan tebal perkerasan dan ditulis dengan rumus umum sebagai berikut:

$$\frac{ITP}{(7.9)} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot D_i = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 + a_4 \cdot D_4$$

Di mana:

- a_1 = Koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan
- a_2 = Koefisien kekuatan relatif lapisan pondasi atas perkerasan beraspal
- a_3 = Koefisien kekuatan relatif lapisan pondasi atas perkerasan berbutir
- a_4 = Koefisien kekuatan relatif lapisan pondasi bawah
- D_1 = Tebal Lapisan permukaan
- D_2 = Tebal Lapisan permukaan atas perkerasan beraspal
- D_3 = Tebal Lapisan permukaan atas perkerasan berbutir
- D_4 = Tebal Lapisan pondasi bawah

Nilai ITP dapat ditentukan dengan menempatkan nilai-nilai daya dukung tanah (DDT),

e. Koefisien kekuatan relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif (a) masing – masing bahan dan kegunaannya sebagai lapis permukaan, pondasi, pondasi bawah ditentukan secara korelasi sesuai nilai Marshall Test (untuk bahan dengan aspal), kuat tekan (untuk bahan yang stabilisasi dengan semen atau kapur) atau CBR (untuk bahan lapis pondasi bawah)

Tabel 7.7: Koefisien kekuatan relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a_1	a_2	a_3	MS (kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	

0,40	-	-	744	-	-	
0,35	-	-	590	-	-	Laston
0,32	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	
0,31	-	-	590	-	-	Lasbutag
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal Macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	
-	0,26	-	454	-	-	Laston Atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (kelas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (kelas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (kelas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,10	-	-	20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber: Petunjuk perencanaan Tebal Perkerasan Jalan dengan Metode Analisa Komponen 1987

Batas minimum tebal lapisan perkerasan dalam analisa Komponen adalah sebagai berikut:

1. Lapis permukaan

Tabel 7.8: Tebal Minimum Lapis permukaan

ITP	Tebal min (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung: (Buras/Burtu/Burda)
3,00 – 6,70	5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
6,71 – 7,49	7,5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
7,50 – 9,99	7,5	Lasbutag, Laston
≥10,00	10	Laston

2. Lapis Pondasi

Tabel 7.9: Tebal Minimum Lapis pondasi

ITP	Tebal min (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20*)	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
	10	Laston atas
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilitasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laston atas
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam, Lapen, Laston atas
≥12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, Macadam, Lapen, Laston atas

*) Batas 20 cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm bila untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar

3. Lapis pondasi bawah

Untuk setiap nilai ITP, bila digunakan pondasi bawah, tebal minimum adalah 10 cm

7.2.2 Pelapisan Tambahan

Untuk perhitungan pelapisan tambahan (overlay), kondisi perkerasan jalan lama (existing pavement) dinilai seperti Tabel berikut

Tabel 7.10.: Nilai kondisi perkerasan jalan

1. Lapis Permukaan:	
Umumnya tidak retak, hanya sedikit deformasi pada jalur roda	90 – 100%
Terlihat retak halus, sedikit deformasi pada jalur roda namun masih tetap stabil	70 – 90%
Retak sedang, beberapa deformasi pada jalur roda, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70%
Retak banyak, demikian juga deformasi pada jalur roda, menunjukkan gejala ketidakstabilan	30 – 50%
2. Lapis Pondasi:	
a. Pondasi Aspal Beton atau Penetrasi Macadam	
Umumnya tidak retak	90 – 100%
Terlihat retak halus, namun masih tetap stabil	70 – 90%
Retak sedang, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70%
Retak banyak, menunjukkan gejala ketidak stabilan	30 – 50%
b. Stabilisasi tanah dengan semen atau kapur:	
Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index = PI</i>) ≤ 10	70 – 100%
c. Pondasi Macadam atau Batu Pecah:	
Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index = PI</i>) ≤ 6	80 – 100%

d. Lapis Pondasi Bawah:	
Indeks Plastisitas (Plasticity Index = PI) ≤ 6	90 – 100%
Indeks Plastisitas (Plasticity Index = PI) > 6	70 – 90%

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Raya dengan metode Analisa Komponen, 1987.

7.2.3 Konstruksi Bertahap

Konstruksi bertahap adalah konstruksi perkerasan lentur yang memiliki satu lapis pondasi bawah, satu lapis pondasi atas dan dua lapis permukaan, di mana kedua lapis permukaan tersebut dari bahan aspal beton atau sejenis yang dikerjakan secara berurutan dengan selang waktu tertentu menurut ketentuan yang ditentukan dalam proses desain.

Konstruksi bertahap digunakan pada keadaan tertentu antara lain:

1. Keterbatasan biaya untuk pembuatan tebal perkerasan sesuai rencana (misalnya: 20 tahun). Perkerasan dapat direncanakan dalam dua tahap, misalnya tahap pertama untuk 5 tahun dan tahap berikutnya 15 tahun
2. Kesulitan dalam memperkirakan perkembangan lalu lintas untuk (misalnya 20 tahun sampai 25 tahun). Dengan adanya pentahapan, perkiraan lalu lintas diharapkan tidak jauh meleset
3. Kerusakan setempat (*weak spots*) selama tahap pertama dapat diperbaiki dan direncanakan kembali sesuai data lalu lintas yang ada.

7.3 Metode Manual Desain Perkerasan 2017

Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 (MDP 2017) merupakan salah satu metode yang digunakan oleh dilingkungan Direktorat Bina Marga dalam perancangan perkerasan jalan. Metode ini merupakan penyempurnaan dari Manual Desain Perkerasan (MDP) 2013, di mana isinya terbagi menjadi 2 bagian yakni (1) struktur perkerasan jalan baru dan (2) rehabilitasi perkerasan. Sejumlah materi yang ditambahkan diantaranya karakteristik VDF jenis jenis

kendaraan niaga berdasarkan wilayah untuk kondisi nyata dilapangan termasuk kondisi beban normalnya beban yang terkendali.

Langkah perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Metode Manual Desain Perkerasan 2017 adalah sebagai berikut:

7.3.1 Tentukan Umur Rencana

Umur rencana pada Manual Desain Perkerasan 2017 ditunjukkan pada Tabel 7.11

Tabel 7.11: Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR) (MDP 2017)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ^o	20
	Fondasi jalan	40
	Semua lapisan 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	Minimum 10

Catatan:

- 1) Jika dianggap sulit untuk menggunakan umur rencana di atas, maka dapat digunakan umur rencana berbeda, namun sebelumnya harus dilakukan analisis dengan *discounted whole of lifecost*, di mana ditunjukkan bahwa umur rencana tersebut dapat memberikan *discounted whole of life cost* terendah.
- 2) Umur rencana harus memperhitungkan kapasitas jalan

7.3.2 Tentukan nilai nilai ESA4 dan atau ESA5 sesuai umur rencana yang dipilih

1. Analisa Volume Lalu lintas

Elemen yang penting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang akan dipikul oleh perkerasan selama umur rencana

Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah:

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

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari survei lalu lintas dengan durasi 7 x 24 jam. Penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Penentuan nilai LHRT di dasarkan pada data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan faktor k

2. Data Lalulintas

Akurasi data lalu lintas penting untuk menghasilkan desain perkerasan yang efektif. Data harus meliputi semua jenis kendaraan komersial

3. Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam Panduan Survei Pencacahan Lalu Lintas (PdT-19-2004-B). Hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis

4. Faktor pertumbuhan lalu lintas

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

Tabel. 7.12: Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%) (MDP 2017)

	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	1,0	1	1	1

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

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 .i} \quad (7.10)$$

Di mana

LR = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan $i_1\%$ selama periode awal (UR1 tahun) dan $i_2\%$ selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut:

$$R = \frac{(1+0,01)^{UR_1}-1}{0,01.i_1} + (1 + 0,01 i_1)^{(UR_1-1)} \left(1 + 0,01 i_2 \right) \left\{ \frac{(1+0,01 i_2)^{(UR-UR_1)}-1}{0,01.i_2} \right\} \quad (7.11)$$

Di mana:

R : faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

i_1 : laju pertumbuhan lalu lintas tahunan periode 1 (%),

i_2 : laju pertumbuhan lalu lintas tahunan periode 2 (%),

UR : 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:

$$R = \frac{(1+0,01 i)^Q-1}{0,01 i} + (UR - Q)(1 + 0,01 i_1)^{(Q-1)} \quad (7.12)$$

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

5. Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Jalan dua arah faktor distribusi arahnya (DD) umumnya di ambil 0,50 kecuali pada lokasi – lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu pada Permen PU No 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Tekniks Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknik jalan berkaitan rasioa antar volume dan kapasitas jalan dipenuhi

Tabel 7. 13 Faktor Distribusi Lajur (DL) (MDP 2017)

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

6. Faktor ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam mendesain perkerasan jalan untuk beban lalu lintas yang di konversi 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. Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilaksanakan dengan baik merupakan dasar perhitungan ESA yang andal. Ketentuan pengumpulan data beban gandar ditunjukkan pada Tabel 7.14.

Tabel 7.14: Pengumpulan data beban gandar (MDP 2017)

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

Catatan:

Data beban gandar dapat diperoleh dari:

- Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM (survei langsung).
- Survei beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernah dilakukan dan di anggap cukup representatif
- Data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga. Timbangan survei beban gandar yang menggunakan sistem statis harus mempunyai kapasitas beban roda (tunggal atau ganda) minimum 18 ton atau kapasitas beban sumbu tunggal minimum 35 ton.

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.

Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada Tabel 7.15 dan Tabel 7.16. dapat digunakan untuk menghitung ESA.

Tabel 7.15: Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga (MDP 2017_

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	
	V	V	VDF	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
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
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
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
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
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
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 7.16: Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga (MDP 2017)

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan ² yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Sumbu (VDF) (ESA kendaraan ⁿ)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	V D 14 Pangkat 4	V D 15 Pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30.4			
2, 3, 4	2, 3, 4	sekar / ringan / Pkku / 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			0.3	0.2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2	4.6	6 6 0	0.8	0.8
6b.1	7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2	muatan umum	2			0.7	0.7
6b.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1.6	1.7
6b.3	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	muatan umum	2	9.8		0.9	0.8
6b.4	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2		5 5 0	7.3	11.2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	muatan umum	3			7.6	11.2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3	3.9	5.6 0	28.1	64.4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		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	1.2-2.2		4	0.3	0.50	13.6	24.0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2		5			19.0	33.2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-2.2		5	0.7	1.0 0	30.3	69.7
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-2.22		6	0.3	0.50	41.6	93.7

7. Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

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

8. Beban sumbu standar kumulatif

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

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (7.13)$$

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 Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga Tabel 7.15 dan 7.16.

DD : faktor distribusi arah.

DL : faktor distribusi Jalur Tabel 7.13

CESAL : kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana.

R : faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

7.3.3 Tentukan tipe perkerasan

Pemilihan struktur perkerasan bervariasi tergantung pada lalu lintas dan umur rencana, serta jenis penanganan seperti ditunjukkan pada Tabel 7.17.

Tabel 7.17: Pemilihan Jenis Perkerasan (MDP 2017)

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 CBT (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CBT (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2

AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B			1, 2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir	3A	-	1, 2	-	-	-
Burda atau burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Pondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa pemutup (japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

7.3.4 Tentukan Segmen Tanah Dasar dengan daya dukung seragam

Secara umum disarankan menghindari pemilihan segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai CB yang diperoleh sangat bervariasi, maka harus membandingkan manfaat dan biaya antar pilihan membuat segmen seragam yang pendek berdasarkan variasi nilai CBR atau membuat segmen yang lebih Panjang berdasarkan nilai CBR yang lebih konservatif.

Ada 2 metode perhitungan CBR yakni

a. Metode distribusi standar

Apabila data cukup valid (minimum 10 titik) maka digunakan persamaan berikut:

CBR karakteristik = CBR rata rata - f x deviasi standar (7.13)

$F = 1,645$ (probabilitas 95%), untuk jalan tol

$F = 1,282$ (probabilitas 90%), untuk jalan kolektor dan arteri

$F = 0,842$ (probabilitas 80%), untuk jalan lokal dan jalan kecil

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 menjadi dua

bagian, yaitu bagian yang mengandung ‘x’ persen data dan bagian yang mengandung $(100 - x)$ persen data

7.3.5 Tentukan Struktur Fondasi perkerasan

Tanah dasar normal adalah tanah dasar yang secara umum mempunyai nilai CBR in-situ lebih besar dari 2,5% termasuk pada daerah timbunan, galian dan permukaan tanah asli. Pemilihan tebal perbaikan tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 7.18

Tabel 7.18: Struktur Pondasi pengerasan

CBR Tanah dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Urutan 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			Stabilisasi Semen ⁽¹⁾
			Tidak diperlukan perbaikan			
≥ 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Deviasi 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	Berlaku ketentuan yang sama
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)	SG1 ⁽³⁾	Lapis penopang ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1100	1200	
Perkerasan di atas tanah lunak ⁽²⁾		-atau- lapis penopang dan geogrid ⁽⁴⁾	650	750	850	dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum – ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1250	1500	

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

7.3.6 Tentukan Struktur Perkerasan yang Memenuhi Syarat

Prosedur desain perkerasan lentur dengan lapis campuran beraspal yang digunakan pada manual ini adalah karakteristik mekanik material dan analisis struktur perkerasan secara mekanistik. Metode ini menghubungkan masukan berupa beban roda, stuktur perkerasan dan sifat mekanik material dengan keluaran berupa respons perkerasan terhadap beban roda seperti tegangan, regangan atau lendutan. Penentuan struktur perkerasan lentur yang memenuhi syarat dari bagan desain. Untuk kelengkapan bagan desain dapat dilihat pada Manual Desain Perkerasan 2017.

Dalam buku ini hanya diberikan 2 bagan desain yakni Bagan Desain 3 A untuk Desain Perkerasan Lentur dengan HRS. dan Bagan Desain 3 B untuk Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir

Tabel 7.19: Bagan Desain 3A. Desain Perkerasan Lentur dengan HRS¹

Kumulatif Beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA ₅)	FF1<0,5	$0,5 \leq \text{FF}2 \leq 4,0$
Jenis permukaan	HRS, atau Penetrasi makadam	HRS
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10%	150	125

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

²HRS tidak sesuai untuk jalan dengan tanjakan curam dan kawasan perkotaan dengan beban lebih besar dari 2 juta CESA₅

Tabel 7.20: Bagan Desain 3 B Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir (MDP 2017)

STRUKTUR KEKERASAN									
	FFF 1	FFF 2	FFF 3	FFF 4	FFF 5	FFF 6	FFF 7	FFF 8	FFF 9
Solusi yang dipilih					Lihat Catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana	<2	$\geq 2-4$	>4-7	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200

Subgrade CBR \geq 7 – 10	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade CBR \geq 10	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade CBR \geq 15	200	150	150	150	150	150	150	150	150

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan 20

Tabel 7.22: Bagan Desain - 3. Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB¹⁾

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3 C	Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA ₅)	> 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 Pondasi 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.

Bab 8

Metoda Pelaksanaan di Lapangan

8.1 Pendahuluan

Dalam pekerjaan campuran beraspal panas, penghampanan dan pemadatan merupakan salah satu langkah pekerjaan yang memegang peranan penting dan menentukan. Penghampanan yang tidak baik dapat menyebabkan tekstur permukaan buruk, kerataan tidak baik, dan ketebalan lapisan kurang. Sementara pemadatan yang tidak memenuhi persyaratan dapat menyebabkan kepadatan campuran beraspal tidak merata, campuran beraspal mudah retak karena kurang padat, dan sambungan melintang atau memanjang tidak rata. Kesemuanya itu akhirnya akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal yang dihasilkan, baik dari segi umur pelayanan maupun dari segi kenyamanan dan keamanan. Untuk mencapai hasil pekerjaan penghampanan dan pemadatan yang memenuhi persyaratan perlu dipahami teknologi mengenai penghampanan dan pemadatan campuran beraspal. Pada bab ini dibahas mengenai pengetahuan umum pekerjaan penghampanan dan pemadatan campuran beraspal yang dapat dipakai sebagai acuan dalam pelaksanaan.

8.2 Persiapan Sebelum Penghamparan

Kinerja campuran beraspal panas yang akan dipasang dipengaruhi oleh kondisi perkerasan di bawahnya. Kerusakan pada lapis perkerasan di bawahnya dapat menyebabkan kerusakan campuran beraspal yang baru, meskipun campuran tersebut dalam berbagai segi telah memenuhi persyaratan. Misalnya penghamparan campuran beraspal di atas perkerasan yang telah mengalami retak buaya, akan berakibat timbul retak refleksi kepermukaan. Penghamparan di atas perkerasan yang belum padat dapat menyebabkan campuran beraspal yang dihampar di atasnya juga tidak dapat padat. Tidak dipasangnya lapis perekat dapat menyebabkan perkerasan menjadi tidak menyatu dengan perkerasan di bawahnya dan perkerasan baru menjadi mudah mengalami slip dan sungkur. Untuk itu kesiapan permukaan perkerasan yang akan dilapis dengan campuran beraspal yang baru akan menentukan kinerja perkerasan.

Penghamparan di atas lapis pondasi agregat harus memperhatikan kesiapan permukaan seperti kepadatan, kerataan, tekstur, kadar air permukaan dan lainnya. Sementara untuk penghamparan di atas lapisan beraspal, maka kerusakan-kerusakan yang terjadi seperti retak, alur, dan lainnya harus diperbaiki terlebih dahulu. Sebelum penghamparan harus dilakukan pemasangan lapis resap pengikat (prime coats) atau lapis perekat (tack coats) pada permukaan perkerasan yang telah siap dengan kualitas dan kuantitas seperti yang disyaratkan.

8.3 Penghamparan Campuran Beraspal

Setelah permukaan perkerasan siap, maka langkah selanjutnya adalah penghamparan campuran beraspal. Tujuan utama dari penghamparan adalah untuk meletakkan campuran beraspal pada perkerasan lama dengan lebar, elevasi, kemiringan melintang, dan ketebalan yang sesuai dengan rencana dan menghasilkan tekstur yang seragam, tidak bergeser atau beralur. Untuk tujuan tersebut harus digunakan alat penghampar mekanis bermesin atau yang umum dikenal sebagai finisher. Meskipun menggunakan penghampar mekanis bermesin, pengaturan dan penyesuaian perlu dilakukan pada alat tersebut untuk memperoleh hasil yang maksimal. Hasil penghamparan juga dipengaruhi oleh metoda pelaksanaan penghamparan itu sendiri, seperti pengaturan ketebalan, elevasi, kecepatan, metoda penyambungan, perapihan, dan sebagainya.

7.3.1 Penerimaan Campuran Beraspal

Penerimaan campuran beraspal di lapangan harus memperhatikan beberapa hal, agar tercapai pemasangan campuran beraspal yang sesuai dengan persyaratan. Hal-hal tersebut antara lain pemeriksaan dan evaluasi berdasarkan tiket pengiriman, dan yang kedua pemeriksaan dan evaluasi campuran beraspal berdasarkan pengamatan secara visual (Sutoyo, 2020).

1. Tiket pengiriman

Surat pengiriman atau lebih dikenal dengan istilah tiket, merupakan arsip yang penting untuk pengendalian kuantitas dan kualitas. Pada umumnya pada tiket tercantum informasi-informasi seperti; nama proyek, nomor urut pengiriman, waktu keberangkatan dari unit pencampur aspal (AMP), temperatur di unit pencampur, dan berat campuran beraspal. Nomor urut pengiriman mengindikasikan apakah kedatangan truk tersebut sesuai dengan urutannya, atau tidak. Jika tidak berarti mengindikasikan terjadinya keterlambatan yang mungkin disebabkan oleh kerusakan, kemacetan lalu-lintas atau sebab-sebab lainnya. Dari tiket tersebut juga dapat diperkirakan waktu perjalanan dari unit pencampur aspal ke lokasi penghamparan. Jika waktunya terlalu lama maka pengecekan temperatur harus dilakukan dengan teliti, terlebih lagi jika bak truk tidak ditutup dengan terpal. Jika temperatur campuran beraspal yang diterima di lapangan lebih rendah dari toleransi dalam persyaratan, maka isi truk tersebut harus ditolak dan isinya dibuang di luar proyek. Demikian juga jika temperatur terlalu tinggi (*overheating*). Tiket tersebut harus dikumpulkan untuk menjamin bahwa tidak ada campuran beraspal yang di bawa ketempat lain dan kuantitas yang diterima tercatat dengan baik dan benar.

2. Pengamatan secara visual

Pengamatan secara visual perlu dilakukan pada waktu menerima campuran beraspal di lokasi penghamparan, karena mungkin saja saat pengiriman di unit pencampur terjadi penyimpangan yang tidak teramati, atau terjadi penyimpangan dalam perjalanan. Beberapa indikasi dari penyimpangan campuran beraspal yang dapat dilihat secara visual adalah seperti berikut ini:

a. Berasap biru

Asap biru yang keluar dari campuran beraspal di atas truk atau terlihat pada saat penurunan (dumping) ke finisher, mengindikasikan terjadinya pemanasan yang berlebih (overheating). Pengukuran temperatur dengan alat pengukur temperatur harus segera dilakukan. Jika memang terjadi pemanasan berlebih (overheating) maka campuran beraspal tersebut harus ditolak dan dibuang.

b. Tampak kaku

Tampak visual campuran beraspal yang kaku mengindikasikan campuran tersebut telah dingin. Temperatur campuran beraspal segera dicek dengan alat pengukur temperatur, jika di bawah temperatur penghamparan optimum, tetapi masih dalam batas toleransi maka segera dilakukan penghamparan dan pemadatan untuk mengurangi risiko terbuangnya campuran beraspal karena temperaturnya telah dingin.

c. Permukaan tampak rata

Pada umumnya permukaan campuran beraspal di atas truk membentuk bukit. Jika permukaan tersebut terlihat agak rata, maka kemungkinan campuran beraspal kelebihan aspal atau kadar air. Campuran beraspal yang kelebihan aspal juga terlihat lebih bersinar dibandingkan dengan yang biasanya. Penggunaan kadar aspal yang tetap sementara gradasi berubah ke arah kasar dapat menyebabkan kelebihan aspal. Kebocoran atau penimbangan aspal yang tidak akurat juga dapat menyebabkan campuran beraspal kelebihan aspal. Pemeriksaan secara lebih detil harus dilakukan di unit pencampur aspal (AMP) dengan segera.

d. Campuran beraspal tampak kering / berwarna coklat

Campuran yang mengandung terlalu sedikit aspal biasanya tampak kering dan berwarna kecoklatan. Kelebihan kandungan agregat halus dapat menyebabkan campuran beraspal tampak kekurangan aspal, terlihat redup dan berwarna kecoklatan. Pemeriksaan secara lebih detil harus dilakukan di unit pencampur aspal (AMP).

- e. Campuran beraspal beruap
Campuran beraspal yang mengandung kadar air yang berlebihan akan tampak beruap (bukan berasap) pada saat truk menurunkannya (dumping) ke finisher. Kelebihan kadar air juga akan menyebabkan campuran beraspal terlihat seperti kelebihan aspal. Pada saat diturunkan ke finisher (dumping) terlihat ada gelembung-gelembung seperti halnya air mendidih.
- f. Segregasi
Segregasi umumnya terjadi akibat kesalahan penanganan selama penghampanan, tetapi bisa juga terjadi sebelumnya. Perbaikan yang diperlukan harus segera dilakukan untuk mencegah berlanjutnya segregasi tersebut.
- g. Terkontaminasi
Campuran beraspal dapat terkontaminasi bahan-bahan asing seperti minyak tanah, oli, plastik, kertas, kain atau lainnya. Bahan yang mengkontaminasi tersebut dapat diambil dan dibuang, akan tetapi jika telah menyatu maka campuran beraspal yang terkontaminasi tersebut harus dibuang.
- h. Agregat tidak terselimuti aspal dengan baik
Campuran beraspal yang memperlihatkan adanya agregat yang tidak terselimuti aspal dengan baik, menunjukkan terjadinya penyimpangan pada unit produksi. Umumnya disebabkan karena alat pengaduk (pedal tip) telah aus atau patah, kemungkinan lain adalah kurangnya kadar aspal pada campuran. Ada agregat yang tidak terselimuti aspal samasekali
Agregat yang tidak terselimuti aspal sama sekali kemungkinan jatuh ke atas truk pada saat pengadukan kering, karena penutup pugmil yang kurang baik (bocor).
- i. Spot-spot aspal
Terlihat gumpalan atau spot-spot aspal pada campuran beraspal yang kemungkinan disebabkan oleh bocornya pipa penyemprot aspal, atau pengadukan tidak merata (pedal tip telah aus atau patah).

j. Pelelehan (bleeding)

Agar campuran beraspal tidak melekat di bak truk, disarankan untuk menggunakan minyak yang tidak berasal dari turunan minyak bumi sebagai pelapis bak truk. Meskipun demikian masih sering dijumpai pemakaian solar sebagai pelapis pada bak truk. Solar dapat menyerap kedalam campuran beraspal dan melarutkan aspal sehingga berakibat aspal meleleh ke permukaan pada beberapa titik. Campuran beraspal yang telah terkontaminasi oleh solar harus dibuang.

3. Perkiraan panjang penghamparan

Panjang penghamparan perlu diperkirakan untuk mengantisipasi kesiapan permukaan perkerasan dan sebagai pembanding ketepatan tebal hamparan. Panjang penghamparan dapat diperkirakan dengan perhitungan sederhana, sebagai contoh: isi truk 15 ton, lebar penghamparan 3 m dan tebal penghamparan 0,04 m. Berat isi campuran beraspal 2,3 t/m³. Maka perkiraan panjang hamparan adalah:

$$\text{Berat (ton)} = 3 \times 0,04 \times L(\text{m}) \times 2,3 \text{ atau } L(\text{m}) = 15 / (3 \times 0,04 \times 2,3) = 54\text{m}$$

7.3.2 Pelaksanaan Penghamparan

Dalam pelaksanaan penghamparan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu koordinasi antara lapangan dengan unit pencampur aspal (AMP), pengaturan sepatu (screed) serta pekerjaan perapihan secara manual. Pengawasan yang dilakukan meliputi pengawasan temperatur, pengawasan tampak permukaan, pengawasan geometri dan sambungan.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat melaksanakan proses penghamparan, yaitu:

1. Koordinasi antara unit pencampur aspal (AMP) dengan lapangan
Keseragaman dan kontinuitas penghamparan akan memberikan kualitas perkerasan yang baik. Untuk menjaga kontinuitas penghamparan maka diperlukan koordinasi antara lapangan dengan unit pencampur aspal (AMP). Misalnya selang waktu pengiriman yang

terlalu lama akan menyebabkan sambungan dan tekstur kurang baik karena campuran beraspal yang dihampar sudah dingin. Sebaliknya jika truk yang dikirim terlalu cepat akan menyebabkan terjadi antrian truk di lapangan. Selama menunggu tersebut kemungkinan terjadi penurunan temperatur. Tidak ada keuntungan juga jika menjalankan alat penghampar (finisher) dengan kecepatan penuh melebihi kecepatan produksi dari unit pencampur aspal (AMP). Informasi-informasi yang diperlukan antara lain meliputi rencana produksi dan waktu penghentian sementara. Koordinasi yang baik selama pelaksanaan penghamparan dapat dilakukan jika di lapangan tersedia alat komunikasi. Dengan alat komunikasi tersebut, hal-hal penting lainnya juga dapat diinformasikan dengan segera seperti penyetopan produksi karena akan turun hujan, ada kemacetan lalu-lintas dan lain sebagainya.

2. Pengaturan ketebalan dan kemiringan melintang

Jika hasil penghamparan sudah menunjukkan hasil tekstur yang seragam, ketebalan dan kemiringan melintang yang sesuai maka tidak diperlukan pengaturan sepatu (screed), khususnya untuk alat penghampar dengan pengontrolan manual. Akan tetapi bila diperlukan pengaturan screed, maka harus dilakukan secara bertahap. Karena kondisi keseimbangan (equilibrium) baru dapat tercapai kurang lebih setelah alat penghampar (finisher) bergerak sejauh 5 kali panjang lengan screed. Pengaturan screed diusahakan sejarang mungkin, karena selama proses menuju keseimbangan (equilibrium) tersebut hasil yang diperoleh kurang sesuai baik ketebalan maupun teksturnya karena sudut gesek antara pelat screed dengan campuran beraspal berubah. Penyesuaian ketebalan secara manual yang terlalu sering akan menyulitkan penyambungan arah memanjang.

3. Pengaturan lebar penghamparan

Lebar penghamparan harus disesuaikan sehingga untuk penghamparan lapis per lapis, maka sambungan tidak terletak pada satu garis vertikal untuk tiap lapisnya. Misalnya untuk penghamparan dua lajur. Pada lapis pertama penghamparan pada lajur ke-1 dilebihkan lebarnya

sekitar 10 cm (lebar penghamparan 3,60 m) ke arah sambungan. Selanjutnya pada penghamparan lapis kedua maka penghamparan pada lajur ke-1 dikurangkan lebarnya sekitar 10 cm (lebar penghamparan 3,40 m) ke arah sambungan. Perbedaan posisi sambungan tersebut paling sedikit sejauh 15 cm. Jika diperlukan pengurangan lebar penghamparan maka pemotong sepatu (cutoff shoe) dapat dipasang pada satu sisi screed. Pada penambahan lebar penghamparan, maka pada bagian pelebaran tersebut harus terjangkau auger (ulir pembagi) untuk menghindari terjadinya segregasi

4. Sambungan

Sambungan pada pekerjaan campuran beraspal dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu sambungan melintang dan sambungan memanjang. Sambungan melintang adalah sambungan yang dibuat melintang perkerasan jalan dan sambungan memanjang adalah sambungan searah perkerasan jalan (searah lalu-lintas).

5. Pekerjaan perapihan

Pekerjaan perapihan dengan penebaran campuran beraspal secara manual, hanya boleh dilakukan jika penghamparan dengan alat finisher tidak bisa dilakukan dengan baik. Penebaran dengan tangan harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari terjadinya segregasi/pemisahan antara butiran kasar dan halus. Bagaimanapun akan ada perbedaan tekstur permukaan antara penebaran secara manual dibanding dengan menggunakan alat penghampar. Kadang-kadang dilakukan penebaran agregat setelah campuran keluar dari alat penghampar (finisher) karena hasilnya terlihat bertekstur kurang baik. Hal tersebut harus dicegah dan segera lakukan pemeriksaan terhadap alat penghampar (finisher) untuk mencari penyebab dari hamparan yang kurang baik tersebut. Pekerjaan perapihan kadang-kadang diperlukan khususnya pada pekerjaan sambungan.

6. Pemeriksaan penghamparan

a. Temperatur

Temperatur campuran beraspal harus diperiksa pertama kali di atas truk. Berikutnya diadakan pemeriksaan temperatur setelah campuran beraspal dihampar dengan selang jarak tertentu.

b. Tekstur permukaan

Tekstur yang terbuka dapat disebabkan oleh campuran beraspal terlalu dingin, jika terjadi pada awal penghamparan kemungkinan pelat screed tidak dipanaskan. Jika tekstur terbuka tersebut terjadi pada perpanjangan screed, maka alinyemen perpanjangan pada auger dan pemadat tumbuk atau getar harus diperiksa. Tekstur yang terbuka dan ada jejak-jejak (scuff) menunjukkan kemungkinan campuran beraspal telah dingin atau kekeliruan dalam pengaturan posisi penumbuk (tamping bar).

c. Kerataan permukaan

Penghamparan yang tidak kontinyu dapat menyebabkan permukaan tidak rata terutama pada sambungan melintang. Gradasi yang tidak sesuai, perubahan kecepatan penghamparan, dan dorongan dari truk juga dapat menyebabkan permukaan tidak rata. Kerataan permukaan dapat diukur dengan alat mistar datar (straight edge) 3 m atau secara visual, dan segera lakukan perbaikan.

d. Ketebalan

Ketebalan hamparan campuran beraspal dalam kondisi gembur dapat diukur dengan batang penyolok yang telah diberi tanda ketebalan. Seperti halnya perubahan tekstur, maka perubahan ketebalan juga dapat disebabkan oleh terganggunya keseimbangan (equilibrium) pelat screed. Gangguan tersebut dapat berupa perubahan kecepatan, perubahan kuantitas campuran yang masuk ke pelat screed, perubahan temperatur campuran, dan penghentian alat penghampar.

e. Kemiringan melintang dan memanjang

Kemiringan melintang dan memanjang harus diperhatikan terlebih pada daerah tikungan. Penyebaran campuran beraspal pada tepi dan tengah harus merata, sehingga saat pemadatan akan diperoleh penurunan yang seragam.

- f. Sambungan melintang dan memanjang
Pada prinsipnya sambungan harus dibuat tegak dan tidak ada perbedaan tinggi.

7.4 Pemadatan Campuran Beraspal

Pemadatan campuran beraspal adalah proses pemampatan dan pengurangan volume campuran beraspal. Pemadatan mengurangi rongga udara dan meningkatkan berat isi campuran. Hasil dari pemadatan adalah campuran beraspal yang mempunyai ikatan dan tahanan geser antar butir yang baik. Pemadatan yang baik umumnya menghasilkan rongga udara di lapangan sekitar 8 % atau kurang. Apabila rongga udara terlalu tinggi maka campuran beraspal akan rentan terhadap disintegrasi, pelepasan butir (ravelling) dan retak. Sementara jika rongga udara terlalu rendah campuran beraspal akan rentan terhadap plastik deformasi dan pelelehan (bleeding).

Pemadatan mempunyai dua tujuan penting, yaitu untuk memperoleh kekuatan dan stabilitas campuran, dan yang kedua dengan rongga udara yang sesuai maka campuran beraspal menjadi relatif kedap terhadap air dan udara. Sifat kedap tersebut dapat mencegah penuaan aspal akibat oksidasi dan mencegah masuknya air kelapis pondasi agregat.

7.4.1 Prinsip Pemadatan

Pada saat pemadatan terjadi 3 gaya utama, yaitu gaya tekan alat pemadat, gaya tahanan pada campuran beraspal yang baru dihampar, dan gaya tahanan pada lapisan di bawahnya yang telah stabil (lapis pondasi agregat atau existing lapis beraspal). Untuk memperoleh pemadatan yang baik, maka gaya tahanan lapisan yang telah stabil harus seimbang dengan gaya tekan alat pemadat. Atau dengan kata lain campuran beraspal seolah-olah mendapat gaya tekan dari atas dan bawah. Jika lapisan yang stabil (lapis pondasi agregat atau lapis beraspal di bawahnya) belum cukup padat maka kepadatan campuran beraspal kemungkinan tidak akan tercapai sesuai persyaratan.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan pemadatan campuran beraspal, yaitu; karakteristik campuran, pengaruh lingkungan, ketebalan hamparan dan jenis alat pemadat yang digunakan.

1. Karakteristik campuran

Kemudahan pemadatan campuran beraspal dipengaruhi oleh agregat yang digunakan dan gradasi campuran. Bentuk agregat yang angular (bersudut) akan lebih susah dipadatkan dibandingkan dengan bentuk agregat yang bulat. Tekstur permukaan juga menentukan, tekstur permukaan yang kasar akan lebih susah dipadatkan dibandingkan dengan tekstur permukaan yang halus. Gradasi campuran beraspal yang menerus akan lebih mudah dipadatkan dibandingkan dengan gradasi yang seragam atau terbuka. Campuran yang mengandung partikel abu batu/filler yang banyak akan memerlukan usaha pemadatan yang lebih banyak. Kandungan agregat halus seperti pasir alam yang lebih banyak mempermudah usaha pemadatan yang harus dilakukan, karena pasir alam butirannya berbentuk bulat. Akan tetapi jika terlalu banyak pasir alam, maka pemadatan akan lebih sulit karena gradasi pasir alam umumnya seragam. Secara umum sifat-sifat agregat yang meningkatkan ketahanan terhadap retak lelah dan deformasi permanen memerlukan usaha pemadatan yang lebih besar untuk mencapai berat isi (kepadatan) yang disyaratkan.

Kelas dan jumlah aspal yang digunakan pada campuran beraspal mempengaruhi kemudahan pemadatan. Aspal yang mempunyai viskositas tinggi atau penetrasi rendah akan menyebabkan campuran menjadi lebih kaku dan berakibat lebih sulit dipadatkan. Untuk pemadatannya diperlukan temperatur yang relatif lebih tinggi. Kandungan aspal dalam campuran mempengaruhi kemudahan pemadatan. Secara umum campuran yang sedikit aspal akan lebih kaku dan membutuhkan usaha pemadatan yang lebih, dilain pihak lebih banyak aspal akan menyebabkan campuran lebih mudah dipadatkan, akan tetapi jika terlalu banyak akan sulit dipadatkan dan campuran menjadi tidak stabil. Kemudahan pemadatan juga dipengaruhi oleh sensitifitas aspal terhadap temperatur (temperatur susceptibility). Pada aspal dengan temperatur susceptibility yang tinggi, hanya sedikit waktu yang tersedia untuk melakukan pemadatan karena campuran beraspal akan menjadi kaku lebih cepat dibandingkan dengan

campuran yang mengandung aspal dengan temperatur susceptibility yang lebih rendah.

Campuran yang dihampar dengan temperatur yang lebih tinggi misalnya 1400C akan lebih mudah dipadatkan dibanding campuran dengan temperatur lebih rendah, misalnya 1250C. Akan tetapi campuran beraspal yang dipadatkan pada temperatur yang terlalu tinggi akan susah dipadatkan, campuran akan bergerak mengikuti jejak roda dan memunculkan retak-retak rambut arah melintang. Demikian juga pemadatan campuran beraspal pada temperatur yang terlalu rendah akan menyebabkan usaha pemadatan yang diperlukan lebih besar dan kemungkinan kepadatannya tidak tercapai. Pemadatan akan mulai efektif pada temperatur campuran yang menghasilkan viskositas (kekentalan) aspal yang sesuai, yaitu pada temperatur campuran sekitar 85 sampai 150 0C. Kandungan larutan dalam campuran, yaitu kadar aspal ditambah kadar air juga mempengaruhi kemudahan pemadatan. Jika kandungan air pada campuran tinggi (lebih dari 0,2 % berat campuran), maka kelebihan kadar air ini akan berlaku seperti kelebihan aspal dan akan menyebabkan campuran tidak stabil dan sulit dipadatkan.

2. Pengaruh lingkungan

Seperti telah diuraikan sebelumnya penurunan temperatur campuran akan menyebabkan diperlukannya usaha pemadatan yang lebih cepat dan kemungkinan kepadatannya tidak tercapai karena temperatur campuran sudah dingin. Kecepatan penurunan temperatur campuran dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban dan temperatur perkerasan di bawahnya. Temperatur udara yang dingin, kelembaban rendah, kecepatan angin tinggi dan temperatur perkerasan yang rendah akan menyebabkan usaha pemadatan akan menjadi lebih sulit dan hanya tersedia waktu yang relatif singkat untuk pemadatan. Pengaruh lingkungan tersebut akan sangat terasa pada penghamparan campuran beraspal yang tipis. Usaha-usaha yang dapat dilakukan adalah dengan menaikkan temperatur pencampuran (tetapi masih dalam batas toleransi) dan mempercepat proses pemadatan. Mempercepat proses pemadatan

bukan berarti menambah kecepatan alat pemadat. Tetapi dengan cara lain misalnya dengan menggunakan alat pemadat lebih dari satu yang bekerja secara bersamaan.

3. Ketebalan hamparan

Ketebalan hamparan merupakan faktor yang penting dan menentukan kemudahan pemadatan. Umumnya kepadatan campuran beraspal lebih mudah dicapai pada campuran dengan ketebalan yang lebih tipis. Hal ini terjadi karena penurunan temperatur untuk mencapai temperatur pemadatan pada campuran yang lebih tebal memerlukan waktu yang lebih lama. Hal tersebut dapat dimanfaatkan sebagai suatu keuntungan terutama pada lokasi-lokasi dengan lingkungan yang bersifat mempercepat penurunan temperatur.

4. Alat pemadat yang digunakan

Jenis alat pemadat mempunyai pengaruh yang besar dalam mencapai kepadatan yang diinginkan.

7.4.2 Pelaksanaan Pemadatan

Derajat kepadatan yang dicapai campuran beraspal sangat bergantung pada usaha pemadatan yang dilakukan. Tahapan pemadatan umumnya dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Pemadatan awal (breakdown rolling)

Pemadatan awal adalah pemadatan yang dilakukan setelah penghamparan pada selang temperatur yang disyaratkan. Pemadatan ini lebih banyak berfungsi memberi pemadatan awal agar campuran beraspal menjadi relatif stabil (diam) untuk dilewati pemadat berikutnya. Pemadatan awal dapat dilakukan dengan mesin gilas roda baja statis atau bergetar.

2. Pemadatan antara (intermediate rolling)

Pemadatan antara merupakan pemadatan utama yang berfungsi untuk mencapai kepadatan yang diinginkan, dengan jumlah lintasan dan selang temperatur campuran beraspal yang tertentu. Pemadatan antara harus segera dilaksanakan setelah pemadatan awal selesai. Pemadatan antara umumnya dilakukan dengan alat pemadat ban karet pneumatik.

3. Pemadatan akhir (finish rolling)

Pemadatan terakhir atau pemadatan penyelesaian yang dilakukan untuk meningkatkan penampakan permukaan dan dilakukan pada selang temperatur tertentu. Pemadatan akhir umumnya dilakukan dengan alat pemadat mesin gilas roda baja statis.

Selama pelaksanaan pemadatan hal-hal yang perlu diperhatikan adalah kecepatan pemadatan, jumlah lintasan, rentang waktu pemadatan, dan pola pemadatan. Untuk pemadat dengan mesin gilas bergetar harus diperhatikan pergerakan dan model pengoperasian. Setiap faktor tersebut mempengaruhi hasil pemadatan yang akan diperoleh.

Secara lebih detail faktor-faktor tersebut dibahas berikut ini.

1. Kecepatan pemadatan

Semakin cepat gerakan alat pemadat melewati suatu segmen campuran beraspal, maka semakin sedikit waktu pemadatan dan usaha pemadatan yang dilakukan pada segmen tersebut. Kecepatan alat pemadat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kecepatan penghamparan, ketebalan hamparan, dan tahapan pemadatan. Kecepatan penghamparan yang tinggi harus diimbangi dengan kecepatan pemadatan yang tinggi, dan akan lebih baik jika dilakukan penambahan alat pemadat sehingga pemadatan dapat dilakukan secara paralel.

Kecepatan alat pemadat harus konstan, dan sesuai dengan kecepatan yang dilaksanakan pada saat pembuatan JMF (Job Mix Formula), khususnya pada uji coba pemadatan. Perubahan kecepatan akan menyebabkan bervariasinya usaha pemadatan yang dilakukan dan berakibat kepadatan yang dicapai menjadi bervariasi juga. Pada lokasi-lokasi di mana alat penghampar berhenti, dan jika pada lokasi tersebut temperatur campuran beraspal telah turun di bawah persyaratan, maka pada segmen tersebut kepadatannya tidak akan tercapai.

Tabel 8.1: Selang Kecepatan pemadatan (US Army, 2000)

Jenis alat pemadat	Tahapan pemadatan		
	awal	antara	akhir
	(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)
Mesin gilas statis	3,2 - 5,6	3,2 - 5,6	3,2 - 4,8
Pemadat ban pneumatik	4,8	4 - 6,4	4,8 - 8
Mesin gilas bergetar (vibratory)		4 - 6,4	6,4 - 11,2
		4 - 5,6	-

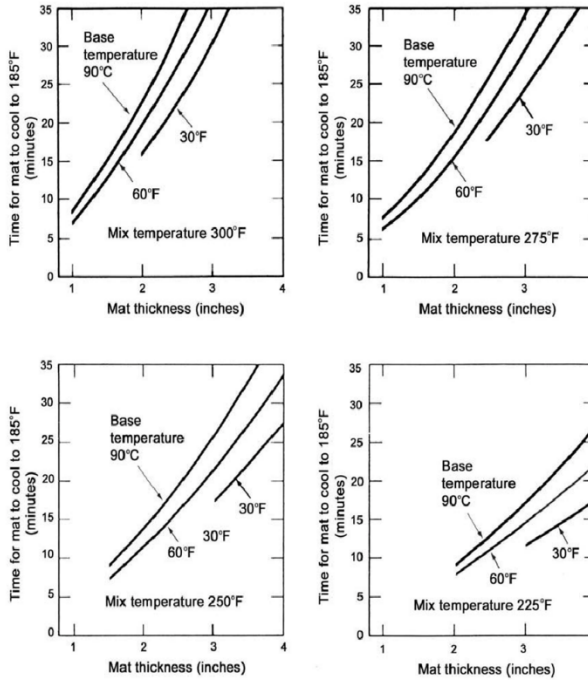
2. Jumlah lintasan

Untuk mencapai target kandungan rongga udara (air void) dan seragamnya kepadatan campuran beraspal yang dihasilkan dari proses pemadatan, maka setiap titik dalam perkerasan harus dilewati alat pemadat dengan jumlah tertentu pada selang temperatur campuran yang disyaratkan. Satu lintasan (1 passing) didefinisikan sebagai pergerakan alat pemadat dari titik tertentu ke suatu arah dan kemudian kembali ke titik tersebut. Pada umumnya untuk pemadatan awal dilakukan sebanyak 1 lintasan sampai 3 lintasan, untuk pemadatan antara dilakukan 10 lintasan – 16 lintasan, dan untuk pemadatan akhir 1 lintasan sampai 2 lintasan. Jumlah lintasan sangat tergantung pada karakteristik campuran, ketebalan, dan kondisi lingkungan. Untuk memperoleh jumlah lintasan yang sesuai maka harus dilakukan uji coba pemadatan terlebih dahulu. Uji coba pemadatan dilakukan diluar lokasi pekerjaan untuk mengantisipasi kemungkinan kegagalan pemadatan. Kegagalan memenuhi jumlah lintasan pada segmen tertentu dapat berakibat kegagalan pencapaian kepadatan pada segmen tersebut.

3. Rentang waktu pemadatan

Pemadatan harus dilakukan pada saat campuran beraspal masih mempunyai viskositas aspal dan kekakuan yang cukup rendah untuk dapat dipadatkan. Secara umum kepadatan harus dicapai sebelum temperatur campuran beraspal berada di bawah temperatur 85 0C. Rentang waktu pemadatan sampai tercapai temperatur 85 0C

diperlihatkan pada Gambar 7.1, yang dipengaruhi oleh tebal hamparan, temperatur perkerasan di bawahnya dan temperatur penghamparan. Konversi: 1 inch = 25 mm, $oC = 5/9 (oF - 32)$



Gambar 8.1: Rentang waktu pematatan (The Asphalt Institute, 1993)

Pada umumnya rentang waktu untuk pematatan awal adalah 0 – 10 menit, untuk pematatan antara sekitar 5 menit sampai 15 menit dan untuk pematatan akhir tidak lebih dari 45 menit setelah penghamparan. Rentang temperatur pematatan untuk setiap tahapan pematatan diperlihatkan pada Tabel 8.2. Rentang temperatur tersebut dipengaruhi oleh viskositas aspal.

Tabel 7.2: Rentang temperatur pemadatan dan viskositas aspal Spesifikasi campuran beraspal panas, 2000

Tahapan pemadatan	Viskositas P.A.S	Suhu campuran beraspal		
		Pen 40	Pen 60	Pen 80
Pemadatan awal (breakdown)	1 - 2	130 - 150	125 -	115 -
Pemadatan antara (intermediate)	2 - 20	105 - 130	145 100	135 90
Pemadatan akhir (finishing)	<20	>100	- 125	- 115
			>95	>85

Jika campuran beraspal stabil, maka pemadatan dapat dilakukan segera setelah penghamparan. Sementara jika campuran beraspal kurang stabil, maka pemadatan menunggu sampai temperatur campuran turun. Pada campuran yang kurang stabil atau tidak bisa stabil harus dilakukan pengkajian terhadap bahan dan karakteristik campuran.

4. Pola (pattern) pemadatan

Pada pemadatan campuran beraspal yang kurang atau sama dengan 5 cm tebal padat, dapat digunakan pola pemadatan seperti berikut ini.

- a. Dimulai dari sambungan melintang
- b. Sambungan memanjang
- c. Selanjutnya tepi luar
- d. Pemadatan dimulai dari sisi yang rendah bergerak ke sisi yang lebih tinggi

Sementara untuk pemadatan campuran beraspal dengan tebal padat lebih dari 5 cm tebal padat, dapat digunakan pola seperti di bawah ini.

- a. Dimulai dari sambungan melintang
- b. Selanjutnya sambungan memanjang
- c. Pada tepi yang tidak mempunyai penahan, pemadatan dimulai dari jarak 300mm380 mm dari tepi tanpa penahan, kemudian bergerak ketepi yang lain.
- d. Pemadatan dimulai dari sisi yang rendah bergerak kesisi yang lebih tinggi.

Pemadatan campuran beraspal pada arah memanjang untuk setiap lintasan, overlap sekurang-kurangnya 150 mm dari lintasan sebelumnya. Pada

pemadatan sambungan melintang, alat pemadat (pemadatan awal) terlebih dahulu dilewatkan secara melintang searah sambungan tersebut (arahnya melintang dengan arus lalu-lintas). Pemadatan campuran beraspal yang baru, dimulai dari lebar 150-200 mm (sebagian besar dari lebar roda pemadat masih diperkerasan lama), kemudian alat pemadat bergerak sampai seluruh roda pemadat di atas campuran beraspal yang baru. Permukaannya kemudian diratakan atau dirapikan jika perlu untuk memperoleh sambungan yang rata.

Untuk menjaga kerataan tepi permukaan, maka pada tepi perkerasan dipasang balok penahan dengan ketebalan yang sesuai. Balok tersebut berguna untuk menahan ketinggian alat pemadat saat melewati tepi perkerasan. Jika tidak tersedia balok penahan maka pemadatan dihentikan sekitar 150 mm - 200 mm dari tepi. Selanjutnya daerah yang tidak terpadatkan tersebut, dipadatkan pada saat pemadatan arah memanjang.

Pada saat pemadatan sambungan memanjang dengan alat pemadat mesin gilasp statis dan ban pneumatik, maka pada awal lintasan, hanya sekitar 100 mm - 150 mm dari lebar roda pemadat dilewatkan pada perkerasan baru yang belum padat. Selanjutnya bergerak ketengah sampai seluruh roda pemadat berada di atas perkerasan baru yang belum padat. Untuk mesin gilasp dengan penggetar, prosedur yang digunakan agak berbeda. Yaitu pada awal lintasan, hanya sekitar 100 mm - 150 mm dari lebar roda pemadat dilewatkan pada perkerasan lama (bukan perkerasan baru yang belum padat seperti dengan alat pemadat lainnya).

Jika penghamparan dilakukan dalam dua lajur secara bersamaan, maka sambungan pada arah melintang biasa disebut sambungan panas (*hot joint*). Kondisi ini merupakan kondisi ideal untuk penyambungan karena temperatur perkerasan relatif masih sama antara kedua lajur tersebut. Perkerasan menjadi satu kesatuan dan perbedaan kepadatan yang diperoleh menjadi sangat kecil atau tidak ada. Pemadatan awal dilakukan secara bersamaan antara kedua lajur tersebut, di mana pemadat ke-1 (memadatkan pada lajur ke-1) lewat di atas perkerasan di lajur ke-2 sekitar 75 sampai 150 mm, dan pemadatan berikutnya pada lajur ke-2 dilakukan oleh pemadat ke -2.

Pada pemadatan dijalan dengan kelandaian tinggi, maka penggunaan alat pemadat harus diperhatikan, karena ada kecenderungan campuran beraspal akan terdorong ke arah turunan jalan. Pada pemadatan awal, pergerakan mesin gilasp roda baja statis tidak seperti biasanya, dibalik, yaitu roda penggerak ada dibagian belakang. Penggunaan alat pemadat roda karet pneumatik tidak disarankan untuk digunakan sebagai alat untuk pemadatan awal. Jika menggunakan mesin gilasp penggetar, getarannya dimatikan sehingga menjadi statis dan baru dihidupkan penggetarnya setelah campuran beraspal cukup stabil.

Bab 9

Kerusakan dan Pemeliharaan Perkerasan Jalan

9.1 Pendahuluan

Jenis Prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting bagi tumbuh kembangnya suatu daerah adalah jalan raya. Jalan merupakan infrastruktur yang vital dalam sistem pelayanan masyarakat, yang menghubungkan suatu daerah dengan daerah lain. Hal tersebut berarti jika kondisi jalan yang baik akan sangat berperan penting untuk memudahkan mobilitas orang dalam melaksanakan aktivitas kesehariannya, untuk mendukung distribusi barang dan jasa untuk kegiatan ekonomi, aktivitas sosial maupun kegiatan lainnya. Peraturan Pemerintah Nomor 34 tahun 2006 menjelaskan bahwa jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas tanah, di bawah lapisan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

Beberapa tahun terakhir, infrastruktur jalan di sekitar kita sering rusak, seperti jalan perumahan, jalan desa, jalan dekat perkantoran dan hotel/apartemen, jalan yang dilewati oleh truk berat atau ringan. Ini sering menjadi tambah buruk

selama musim hujan, dan berbagai tingkat kerusakan jalan yang terjadi dapat menyebabkan genangan air dan tanah longsor. Keadaan ini tentu mengganggu kenyamanan dan membahayakan para pengguna jalan dan pejalan kaki. Kecelakaan seringkali disebabkan oleh ketidakmampuan pengemudi mengendalikan dan memprediksi bagian jalan yang rusak, dan seringkali berakibat fatal bagi pengemudi. Kerusakan jalan juga dapat mempengaruhi persebaran ekonomi suatu daerah. Ketika jalan rusak akan menghambat pergerakan barang, orang dan jasa, serta meningkatkan biaya operasional kendaraan karena kelebihan beban, dan merusak komponen kendaraan akibat jalan yang tidak rata dan kerusakan lubang yang cukup dalam.

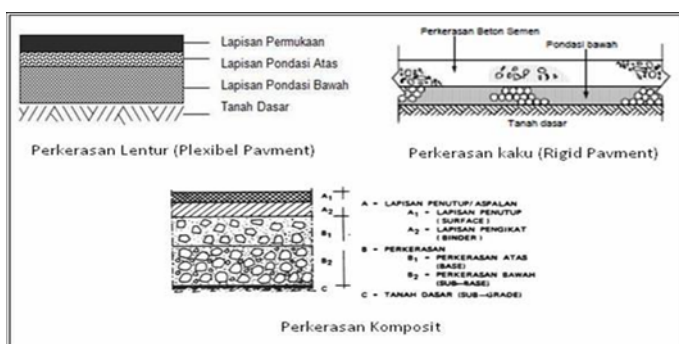
9.2 Kerusakan Jalan

Perkerasan jalan berdasarkan bahan pengikatnya terdiri dari tiga jenis yaitu :

1. Perkerasan lentur/fleksibel di mana perkerasan ini menggunakan bahan pengikat aspal yang terdiri dari agregat kasar dan halus serta bahan pengisi yang dicampur dan dipadatkan pada suhu tinggi.
2. Perkerasan Kaku menggunakan semen sebagai bahan pengikat (rigid pavement), bahan baku utamanya disebut jalan beton, dan
3. Struktur perkerasan komposit adalah perkerasan keras/kaku yang menggunakan lapisan aspal sebagai lapisan abrasi di atas permukaannya kemudian lapisan aspal/lapisan aus ini berfungsi sebagai bagian yang menahan beban yang kemudian perkerasan lentur diletakkan pada bagian atas perkerasan kaku /rigid

Permukaan jalan merupakan bagian infrastruktur yang mendukung kegiatan transportasi lokal, transportasi antar kota, antar provinsi dan ketika perkerasan jalan rusak maka akan mempengaruhi kegiatan sosial dan terganggu tingkat perekonomian masyarakat. Dampak terhadap konstruksi jalan terdiri dari bedding, torehan, retak, kegemukan, dan perubahan bentuk permukaan jalan berupa alur dan sungkur yang menurunkan kinerja jalan. Permukaan jalan adalah lapisan permukaan jalan antara lapisan distribusi dan roda kendaraan dan bertanggung jawab atas pemeliharaan alat angkut yang digunakan pada saat menggunakan jalan.

Pembangunan jalan yang aman, nyaman secara ekonomi dan aman akan membawa manfaat yang besar bagi kelangsungan hidup seluruh masyarakat dan akan menjadi faktor yang akan membantu meningkatkan taraf hidup masyarakat dalam berbagai aspek kehidupannya. Oleh karena itu, pelaksanaan pembangunan jalan memerlukan banyak perhatian, dengan mempertimbangkan perencanaan, proses pelaksanaan dan waktu pemeliharaan. Jika perkerasan rusak saat digunakan, harus ditangani dan diperbaiki dengan benar.



Gambar 9.1: Jenis-Jenis Perkerasan Jalan Raya. kitasipil.com, 2017

Secara teknis, kerusakan jalan menunjukkan suatu kondisi dimana jalan secara struktural dan fungsional tidak lagi mampu memberikan pelayanan yang optimal bagi aktivitas lalu lintas. Kondisi lalu lintas dan jenis kendaraan di jalan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perencanaan konstruksi dan desain perkerasan. Pada saat akan merencana dan melaksanakan pekerjaan jalan dengan beban-beban yang berfungsi haruslah sesuai dengan peruntukan bangunan jalannya. Konstruksi jalan harus dirancang agar tidak mengganggu aktivitas lalu lintas. Pada banyak kejadian, perkerasan Jalan yang rusak seringkali disebabkan oleh perilaku pengguna jalan, kesalahan dalam perencanaan dan pelaksanaan, serta pemeliharaan jalan yang buruk. Misalnya, pada jalan kelas III akan rusak ringan secara permanen jika truk dan trailer atau tronton melintas di atasnya karena ketidakmampuannya menahan beban yang melebihi batas tonase jalan. Disinilah pentingnya jembatan timbang yang berfungsi sebagai pengontrol beban kendaraan untuk memastikan tidak melebihi standar beban/batas tonase jalan pada saat kendaraan melintas di atasnya.

9.2.1 Jenis kerusakan jalan

Terdapat beberapa kategori kerusakan jalan yaitu kerusakan struktural (structural failure) yang merupakan kerusakan yang terjadi pada struktur jalan yang disebabkan oleh ketidakmampuan perkerasan dalam menahan beban yang bekerja di atasnya dan kerusakan fungsional (functional failure) yaitu kerusakan yang terjadi pada permukaan jalan yang menyebabkan terganggunya fungsi jalan dalam melayani lalu lintas pengguna jalan.

Menurut Manual Pengelolaan Jalan Biro Pengelola Jalan 03/MN/B/1983, kerusakan jalan dapat diklasifikasikan menjadi 19 jenis sebagai berikut :

1. Retak Kulit Buaya (Alligator Cracking)

Retak yang berbentuk sebuah jaringan dari bidang persegi banyak (polygon) kecil menyerupai kulit buaya, dengan lebar celah lebih besar atau sama dengan 3 mm dan akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang.

2. Kegemukan (Bleeding)

Bentuk fisik dari kerusakan ini dapat dikenali dengan terlihatnya lapisan tipis aspal (tanpa agregat) pada permukaan perkerasan dan jika pada kondisi temperatur permukaan perkerasan yang tinggi (terik matahari) atau pada lalu lintas yang berat.

3. Retak Kotak-kotak (Block Cracking)

Kerusakan jenis retak kotak-kotak dan berbentuk blok atau kotak pada perkerasan jalan. Retak ini terjadi pada lapisan tambahan (overlay), yang menggambarkan pola retakan perkerasan di bawahnya. Ukuran blok umumnya lebih dari 200 mm×200 mm.



Gambar 9.2: Retak Kulit Buaya, Kegemukan dan Retak Kotak-Kotak

4. Cekungan (Bumps and Sags)

Bendul kecil yang menonjol keatas karena adanya pemindahan pada lapisan perkerasan itu disebabkan perkerasan tidak stabil. Tonjolan yang dibawah akan bergerak dan berpindah ke atas dari permukaan aspal yang bersifat lokal dan kecil.

5. Bergelombang/keriting (corrugation)

Kerusakan ini dikenal dengan istilah Ripples.dan bentuk kerusakan berupa gelombang pada lapis permukaan, atau dapat dikatakan alur yang arahnya melintang jalan, dan sering disebut juga dengan Plastic Movement. Kerusakan ini umumnya terjadi pada tempat berhentinya kendaraan dan akibat pengereman kendaraan.

6. Amblas (Depression)

Kerusakan yang terjadi karena turunnya permukaan lapisan permukaan perkerasan pada lokasi-lokasi tertentu (setempat) dengan atau tanpa retak atau dapat pula terjadi karena penurunan perkerasan pada area terbatas, dengan kedalaman kerusakan ini umumnya lebih dari 2 cm dan akan menampung atau meresapkan air.



Gambar 9.3: Cekungan, bergelombang/keriting dan amblas Bina Marga no.03/MN/B/1983

7. Retak Pinggir (Edge Cracking)

Kerusakan yang berasal dari retak yang sejajar dengan jalur lalu lintas dan juga biasanya berukuran 1 sampai 2 kaki (0,3– 0,6 m) dari pinggir perkerasan, umumnya disebabkan oleh beban lalu lintas atau cuaca yang memperlemah pondasi atas maupun pondasi bawah yang dekat

dengan pinggir perkerasan. Dapat pula terjadi karena tingkat kualitas tanah yang lunak dan kadang kadang pondasi yang bergeser.

8. Retak Sambung (Joint Reflection Cracking)

Kerusakan ini umumnya terjadi pada perkerasan aspal yang telah dihamparkan di atas perkerasan beton semen portland. Retak terjadi pada lapis tambahan (overlay) aspal yang mencerminkan pola retak dalam perkerasan beton lama yang berbeda di bawahnya. Pola retak dapat ke arah memanjang, melintang, diagonal atau membentuk blok.

9. Pinggiran Jalan Turun Vertikal (Lane/Shoulder Drop Off)

Bentuk kerusakan ini terjadi akibat adanya beda ketinggian antara permukaan perkerasan dengan permukaan bahu atau tanah sekitarnya, dimana permukaan bahu lebih rendah terhadap permukaan perkerasan.



Gambar 9.4: Retak pinggir, retak sambungan dan pinggiran jalan turun vertikal. Bina Marga no.03/MN/B/1983

10. Retak Memanjang/Melintang (Longitudinal/Transverse Cracking)

Jenis kerusakan ini terdiri dari macam kerusakan sesuai dengan namanya yaitu, retak memanjang dan melintang pada perkerasan. Retak ini terjadi berjarak yang terdiri dari beberapa celah.

11. Tambalan (Patching and Utility Cut Patching)

Tambalan adalah suatu bidang pada perkerasan dengan tujuan untuk mengembalikan perkerasan yang rusak dengan material yang baru untuk memperbaiki perkerasan yang ada. Tambalan adalah pertimbangan kerusakan diganti dengan bahan yang baru dan lebih bagus untuk perbaikan dari perkerasan sebelumnya.

12. Pengurusan Agregat (Polished Aggregate)

Kerusakan ini disebabkan oleh penerapan lalu lintas yang berulang ulang dimana agregat pada perkerasan menjadi licin dan perekatan dengan permukaan roda pada tekstur perkerasan yang mendistribusikannya tidak sempurna.

13. Lubang (Potholes)

Kerusakan ini berbentuk seperti mangkok yang dapat menampung dan meresapkan air pada badan jalan. Kerusakan ini terkadang terjadi di dekat retakan, atau di daerah yang drainasenya kurang baik (sehingga perkerasan tergenang oleh air).



Gambar 9.5: Retak memanjang/melintang, tambalan, dan pengausan.

Bina Marga no.03/MN/B/1983

14. Kerusakan Perlintasan Kereta Api adalah kerusakan pada perlintasan rel atau perlintasan rel dan jalan raya adalah penurunan atau benjolan di sekitar atau antar rel yang disebabkan oleh perbedaan karakteristik material. Jalur rel tidak dapat digabungkan dengan lapisan perkerasan & dapat juga disebabkan oleh lalu lintas yang lewat antara rel dan perkerasan.



Gambar 9.6: Lubang, perpotongan rel, alur dan sungkur. Bina Marga no.03/MN/B/1983

15. Alur (Rutting) ialah jenis kerusakan ini adalah bekas roda memanjang, atau saluran/rutting. Bentuk kerusakan ini terjadi pada lintasan roda paralel menggunakan as & alur.
16. Sungkur (Shoving)

Sungkur adalah perpindahan lapisan perkerasan pada bagian tertentu yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang akan mendorong perkerasan tersebut dan akan membentuk gelombang pada lapisan perkerasan tersebut. Kerusakan ini disebabkan oleh aspal yang tidak stabil dan terangkat ketika mendapat beban dari kendaraan.
17. Patah Slip (Slippage Cracking)

Patah slip adalah retak rule seperti bulan sabit atau setengah bulan rule disebabkan lapisan perkerasan terdorong atau meluncur merusak bentuk lapisan perkerasan.



Gambar 9.7: Patah slip, megembang jembul dan pelepasan butir Bina Marga no.03/MN/B/1983

18. Mengembang Jembul (Swell)

Mengembang jembul mempunyai ciri menonjol keluar sepanjang lapisan perkerasan rule berangsur-angsur mengombak kira-kira panjangnya ten kaki (10m). Mengembangnya jembul dapat disertai dengan retak lapisan perkerasan dan biasanya disebabkan oleh perubahan cuaca atau tanah rule menjembul keatas.

19. Pelepasan Butir (Weathering/Raveling)

Kerusakan ini terjadi karena salah satu pada aspal pengikat tidak kuat untuk menahan gaya dorong roda kendaraan atau presentasi kualitas campuran jelek dan enzyme lapisan perkerasan rule kehilangan aspal atau tar pengikat dan tercabutnya partikel-partikel agregat.

9.2.2 Penyebab Kerusakan Jalan

Penyebab terjadinya kerusakan perkerasan jalan secara umum dan terjadi dilapangan adalah :

1. Peningkatan beban Lalu Lintas

Volume lalu lintas yang terus meningkat sangat mempengaruhi faktor terjadinya kerusakan perkerasan jalan, karena pada saat perancangan perkerasan jalan seharusnya sudah didesain sesuai dengan standar dan ketentuan yang berlaku misalnya standar SNI. hal ini paling umum ditemukan pada perkerasan lentur atau aspal, namun kerusakan pada jalan yang diakibatkan oleh meningkatnya volume lalu lintas pada perkerasan jalan beton juga bisa terjadi, terlebih jika jalan tersebut selalu dilalui oleh kendaraan berat seperti truk yang bermuatan berlebih.

2. Sistem Drainase yang tidak Baik

Kebanyakan jalan rusak karena tidak di dukung oleh infrastrutur drainase yang baik, karena pada saat hujan, air yang tergenang harus secepat mungkin dialirkan supaya tidak menimbulkan genangan di badan jalan.

Terlebih saat banjir, bila air yang menggenang dalam waktu lama di jalan dapat mengakibatkan jalan menjadi rusak dan juga retak dan lubang akibat perkerasan selalu tergerus oleh air, serta diiringi oleh

kemacetan lalu lintas, dan dilewati berbagai kendaraan berat. Hal ini akan meningkatkan keadaan rusaknya perkerasan jalan jika perkerasan mengalami kerusakan seperti munculnya retakan harus sesegera mungkin sistem drainase yang baik jika dibuat harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan karena sangat penting untuk meneruskan air yang ada di badan jalan agar tidak merendam lapis permukaan jalan raya.

3. Kondisi Tanah Dasar yang Tidak Mantap

Pelaksanaan pekerjaan konstruksi perkerasan jalan di sebuah lahan, tentunya akan dilakukan pengecekan tanah terlebih dahulu, sehingga didapatkan data tanahnya. Namun, kenyataannya hal tersebut terkadang tidak menggambarkan karakteristik tanah yang semestinya, itulah yang dapat menyebabkan kondisi tanah tidak mantap.

Kondisi tanah yang tidak mantap (seperti tanah lempung) atau mengalami dinamika ini terutama akibat jalan yang terus menerus dilalui oleh kendaraan yang melebihi kapasitas dan dapat menyebabkan kerusakan jalan.

4. Perencanaan Perkerasan yang Tidak Sesuai

Hal ini berhubungan dengan kualitas dari perkerasan jalan itu sendiri, pada saat merencanakan struktur perkerasan jalan, harus mempunyai standarisasi yang sesuai dengan peraturan yang berlaku di negara kita, dengan mempertimbangkan berbagai elemen misalnya macam-macam klasifikasi jalan yang akan dibuat, desain geometrik jalan, lapisan perkerasan jalan dan data tanah dasar pada lokasi jalan yang akan dibangun, gambar dan desain tulangnya (jika perkerasan kaku), dan sebagainya. Namun kadang kala perencanaan tidak sesuai dengan proses pelaksanaannya atau kenyataan yang terjadi, sehingga desain perencanaan struktur perkerasan jalan yang dibuat tidak sesuai dengan kondisi real dilapangan.

5. Kurangnya Penjagaan, preservasi dan pengawasan

Kurangnya perawatan atau pengawasan pada pekerjaan perkerasan jalan sejak awal misalnya saat adanya kerusakan kecil yang dibiarkan terus menerus dapat mengakibatkan timbulnya retak-retak dan lubang,

hal ini dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan lalu lintas bagi pengendara maupun pengguna jalan yang melintasinya.

Setiap jenis lapis perkerasan memiliki masa rancangan atau rencana masing-masing, dan perkerasan aspal biasanya memiliki umur yang relatif lebih singkat dibandingkan perkerasan beton, meskipun begitu, selama umur rencana ini tetap diperlukan perawatan secara berkala, sesuai dengan ketentuan Departemen Pekerjaan Umum dalam Pedoman Perkerasan Lentur No. Pt T-01-2002-B, di mana umur rencana perkerasan jalan adalah banyaknya waktu yang dihitung sejak jalan raya tersebut mulai dibuka sampai jalan tersebut memerlukan perawatan berat atau dianggap perlu diberi lapis permukaan yang baru. Selama umur rencana, perlu dilakukan pengawasan dan pemeliharaan agar lapis perkerasan jalan dapat berfungsi dengan baik untuk memberikan kenyamanan maupun keamanan bagi pengendara dan pengguna jalan lainnya.

1. Perencanaan Perkerasan yang Tidak Sesuai

Hal ini berhubungan dengan kualitas dari perkerasan jalan itu sendiri, pada saat merencanakan struktur perkerasan jalan, harus mempunyai standarisasi yang sesuai dengan peraturan yang berlaku di negara kita, dengan mempertimbangkan berbagai elemen misalnya macam-macam klasifikasi jalan yang akan dibuat, desain geometrik jalan, lapisan perkerasan jalan dan data tanah dasar pada lokasi jalan yang akan dibangun, gambar dan desain tulangnya (jika perkerasan kaku), dan sebagainya. Namun kadang kala perencanaan tidak sesuai dengan proses pelaksanaannya atau kenyataan yang terjadi, sehingga desain perencanaan struktur perkerasan jalan yang dibuat tidak sesuai dengan kondisi real di lapangan.

2. Kurangnya Penjagaan, preservasi dan pengawasan

Kurangnya perawatan atau pengawasan pada pekerjaan perkerasan jalan sejak awal misalnya saat adanya kerusakan kecil yang dibiarkan terus menerus dapat mengakibatkan timbulnya retak-retak dan lubang, hal ini dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan lalu lintas bagi pengendara maupun pengguna jalan yang melintasinya.

Setiap jenis lapis perkerasan memiliki masa rancangan atau rencana masing-masing, dan perkerasan aspal biasanya memiliki umur yang relatif lebih singkat

dibandingkan perkerasan beton, meskipun begitu, selama umur rencana ini tetap diperlukan perawatan secara berkala, sesuai dengan ketentuan Departemen Pekerjaan Umum dalam Pedoman Perkerasan Lentur No. Pt T-01-2002-B, di mana umur rencana perkerasan jalan adalah banyaknya waktu yang dihitung sejak jalan raya tersebut mulai dibuka sampai jalan tersebut memerlukan perawatan berat atau dianggap perlu diberi lapis permukaan yang baru. Selama umur rencana, perlu dilakukan pengawasan dan pemeliharaan agar lapis perkerasan jalan dapat berfungsi dengan baik untuk memberikan kenyamanan maupun keamanan bagi pengendara dan pengguna jalan lainnya.

9.3 Penanganan dan Pemeliharaan Kerusakan Perkerasan Jalan

Pekerjaan pemeliharaan konstruksi jalan merupakan pekerjaan yang penting untuk dilaksanakan karena konstruksi jalan merupakan investasi modal yang besar sehingga apabila pelaksanaannya diabaikan akan membutuhkan biaya rekonstruksi yang sangat mahal untuk bisa mempertahankan performance standard (perbaikan ke standar kondisi yang layak). Pengguna jalan menuntut agar semua jalan yang dilewatinya akan memberi kenyamanan dan keselamatan. Namun bila perkerasan jalan akan mengalami penurunan kondisi seiring dengan berkurangnya umur pelayanan karena perkerasan secara terus menerus mengalami tegangan akibat beban lalu lintas yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan minor pada perkerasan. Selain beban lalu lintas dan pengaruh air, iklim, cuaca, kelembaban, dan lingkungan yang dapat menurunkan kondisi pelayanan jalan.

Karakteristik perkerasan jalan yg selalu mengalami penurunan syarat, maka buat memperlambat laju kecepatan penurunan kondisi & buat mempertahankan syarat jalan dalam taraf yg layak (performance standard), maka jalan perlu dipelihara secara terus menerus. Untuk mewujudkan pemeliharaan jalan yang hasilnya bisa memenuhi tuntutan para pengguna jalan bukanlah pekerjaan yang mudah karena diharapkan deteksi dan pemugaran sedini mungkin terhadap perkerasan guna mencegah kerusakan minor berkembang sebagai kegagalan konstruksi perkerasan.

Secara umum aplikasi pemeliharaan jalan ditujukan untuk :

1. Mempertahankan kondisi jalan agar tetap berfungsi pada melayani kemudian lintas sehingga keselamatan lalu lintas terjamin dan tingkat pelayanan jalan meningkat. Artinya kecelakaan yg diakibatkan oleh kondisi jalan yang buruk bisa diminimalisir & karena kondisi jalan yg baik memberi ketenangan bagi para pengguna jalan melakukan aktivitas perjalanannya..
2. Memperkecil biaya operasi kendaraan.
Besarnya biaya operasi kendaraan tergantung pada jenis kendaraan , geometrik dan kondisi jalan. Apabila jalan dalam kondisi baik maka Biaya Operasi Kendaraan (BOK) tidak meningkat, sedangkan yang sangat berkepentingan dengan BOK adalah para pengguna jalan.
3. Memperlambat atau mengurangi laju kerusakan (rate of deterioration) sehingga diharapkan dapat memperpanjang umur jalan.

Secara teknis kegiatan pemeliharaan jalan merupakan upaya yang dilakukan untuk mencegah masuknya air ke lapisan perkerasan yang mengalami retak karena terjadinya pelapukan dan cara untuk menangani akibat dari gerakan roda dan beban lalu lintas yang menyebabkan pengikisan dan tekanan terhadap permukaan perkerasan yang akhirnya terjadi kelelahan (fatig) pada struktur jalan.

Berdasarkan frekuensi kejadian kerusakan jalannya maka kegiatan pemeliharaan jalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Pemeliharaan Rutin (Routine Maintenance)
Merupakan Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terus menerus sepanjang tahun. Kegiatan ini terdiri dari : perawatan permukaan jalan dengan cara mengadakan perbaikan kerusakan kecil, penambalan lubang, pemburasan, perbaikan kerusakan tepi perkerasan, perawatan trotoar, saluran samping dan drainase bangunan pelengkap jalan dan perlengkapan jalan dan perawatan bahu jalan.
2. Pemeliharaan Berkala (Periodic Maintenance)
Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan hanya pada interval waktu tertentu karena kondisi jalan sudah mulai menurun. Kegiatan pemeliharaan jalan ini meliputi perbaikan, levelling, resealing maupun

overlay (pelapisan ulang) pada jalan beraspal atau regrooving (pengaluran/pengkasaran permukaan) maupun overlay pada jalan beton semen.

3. Pekerjaan Rehabilitasi (Urgent Maintenance)

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk hal-hal yang sifatnya mendadak /mendesak/ darurat akibat terjadi kerusakan setempat yang cukup berat misalnya jalan putus akibat banjir, longsor, gempa, dll

Kegiatan rehabilitasi ini meliputi semua kegiatan pengembalian kondisi jalan ke kondisi semula yang harus dilakukan sesegera mungkin agar lalu lintas tetap berjalan dengan lancar, aman, nyaman dan selamat.

Penanganan dan Pemeliharaan Jalan merupakan kegiatan yang berkaitan dengan perawatan dan perbaikan jalan yang diperlukan dan direncanakan untuk mempertahankan kondisi jalan agar tetap berfungsi secara optimal dalam melayani lalu lintas selama umur rencana jalan yang ditetapkan.

Bab 10

Perancangan Tebal Perkerasan Kaku dan Pelaksanaannya di Lapangan

10.1 Pendahuluan

Perkerasan kaku (rigid pavement) atau perkerasan jenis biasa disebut jalan beton adalah metode perkerasan jalan yang menggunakan beton model pelat terletak di bagian atas lapisan drainase dan lapisan tanah dasar. Pada awalnya perencanaan perkerasan kaku tidak memperhitungkan jenis tanah dasar dan drainase. Setelah perkembangan teknologi transportasi dan bertambahnya jumlah kendaraan sehingga mengakibatkan struktur jalan diharapkan memiliki tingkat layan yang besar saat menahan beban dari kendaraan terutama kendaraan berat. Jika perencanaan perkerasan kaku tidak sesuai standar, maka akan meningkatkan risiko turunnya daya dukung jalan karena butiran-butiran penyusun lapis perkerasan keluar dari dalam tanah (pumping risks).

Berdasarkan perkerasan kaku (rigid pavement) menjadi dikelompokkan 5 (lima) jenis antara lain:

1. Perkerasan kaku menggunakan sambungan tanpa tulangan
2. Perkerasan kaku menggunakan sambungan dengan tulangan. Perkerasan yang umumnya menggunakan wire mesh antarsiar yang tidak berkaitan dengan tulangan dowel berfungsi untuk mengendalikan retak
3. Perkerasan kaku menerus tanpa tulangan
4. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan, perkerasan ini menggunakan baja tulangan 0,02% dari luas penampang beton;
5. Perkerasan kaku menggunakan beton prategang.

Dari kelima jenis perkerasan kaku, maka yang banyak diterapkan adalah perkerasan kaku dengan tulangan tanpa sambungan (perkerasan beton bertulang menerus) utamanya di USA, Jepang, dan Eropa. Faktor yang harus diperhatikan dalam merencanakan perkerasan kaku adalah kekuatan beton. Kekuatan perkerasan kaku adalah pada lapisan beton merupakan lapisan pertama yang memikul beban. Perkerasan kaku memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi dan memiliki mampu mendistribusikan beban dari permukaan atas ke lapisan tanah dasar. Lapisan beton memiliki andil untuk meningkatkan kapasitas kinerja perkerasan.

10.2 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku

Tahapan perencanaan perkerasan kaku menurut Manual Perkerasan 2017 yang ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga adalah sebagai berikut:

1. Umur Rencana

Umur rencana adalah perencanaan jangka waktu penggunaan jalan dimulai dari saat penggunaan jalan hingga dilakukan perbaikan. Umur rencana perkerasan lentur yang menggunakan aspal dan lapisan berbutir adalah 20 tahun, perkerasan kaku adalah 40 tahun dan jalan tanpa penutup adalah 10 tahun.

Tabel 10.1: Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR) Manual Perkerasan 2017

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ^{a)}
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ^{a)}	20
	Pondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang dimungkinkan pelapisan ulang (overlay) seperti jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	Cement Treted Based (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen dan pondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk pondasi jalan)	Minimum 10

2. Pemilihan jenis perkerasan

Tabel 10.2: Pemilihan Jenis Perkerasan Manual perkerasan 2017

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:

- a. Kontraktor kecil-medium;
- b. Kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;
- c. Membutuhkan keahlian dan tenaga khusus kontraktor spesialis Burtu dan Burda.

Hal penting pemilihan jenis perkerasan harus adalah jumlah lintas kendaraan, umur rencana jalan dan kondisi tanah dasar. Pemilihan wajib mempertimbangkan biaya yang paling rendah selama umur rencana, keterbatasan, *discounted lifecycle cost* terendah dan mudah pelaksanaan. *Discounted lifecycle cost* pada perkerasan kaku lebih kecil hanya mampu bekerja pada beban lalu lintas kendaraan > 30 juta ESA.

10.3 CBR (California Bearing Ratio)

Untuk mengetahui daya dukung tanah dilakukan pengujian CBR (California Bearing Ratio) berdasarkan SNI 03-1731-1989, SNI 03-1744-1989 dan SNI 1738-2011. Ada dua nilai pengujian CBR yang digunakan antara lain dengan nilai CBR unsoaked-tidak terendam dan nilai CBR terendam soaked. Dengan nilai CBR tersebut dapat digunakan sebagai data awal untuk merencanakan tebal perkerasan jalan lama dan perkerasan jalan baru. Jika nilai CBR suatu tanah dasar melebihi standar maka dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah dasar baik, padat dan tidak mudah mengalami kerusakan. Sebaliknya jika nilai CBR di bawah standar, maka hal yang dilakukan adalah mengganti tanah dasar dengan tanah yang memiliki nilai CBR yang standar atau melakukan metode pencampuran tanah dasar dari lokasi lainnya. Nilai CBR dapat ditingkatkan dengan metode pemadatan berdasarkan pada nilai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum.

Besar nilai CBR tergantung perencanaan kelas jalan. Pada perencanaan perkerasan kaku, jika nilai CBR tanah dasar < 2% maka harus menambah pondasi bawah berupa beton setebal 15 cm agar nilai CBR dapat meningkat > 5%. Material dasar pondasi bawah beton ini antara lain material berbutir, stabilisasi dengan beton padat dan beton kurus.

Jika stabilisasi tanah menggunakan kapur atau semen, maka perhitungan besaran nilai CBR adalah:

1. Pengujian CBR_{tanah stabilisasi} menggunakan tanah yang telah stabilisasi dengan melakukan perendaman selama 4 hari;
2. Nilai CBR_{tanah stabil} = 4 x nilai CBR_{stabilisasi}
3. Nilai CBR_{stabilisasi} menggunakan persamaan:

$$\text{CBR}_{\text{stabilisasi}} = \text{CBR}_{\text{tanah asal}} \times 2^{\frac{\text{tebal lapis stabilisasi dikurangi mm}}{75}} \quad 10.1$$

Contoh:

Diketahui dari hasil pengujian tanah yang direndam selama 4 hari diperoleh nilai CBR 4%, lalu mengalami kenaikan nilai CBR setelah dilakukan distabilisasi dengan semen sebesar 15%. Jika tebal stabilisasi sebesar 200 mm,

Maka hasil perhitungan nilai CBR sebagai berikut:

- a. Nilai CBR_{tanah stabil} = 15%
- b. Nilai CBR_{tanah asal} (tanpa distabilisasi) sebesar $4 \times 4\% = 16\%$
- c. Nilai CBR_{stabilisasi} = $4 + 2^{(200/75)} = 10\%$

Dari ketiga hasil analisa, maka nilai CBR yang digunakan adalah 15%

10.3.1 Kuat Beton

Kekuatan beton pada perkuatan jalan berupa nilai kuat tarik dari pengujian lentur saat usia beton mencapai 28 hari setelah pengecoran. Model pengujian balok uji lentur dengan pemberian beban pada 3(tiga) titik atau berdasarkan ASTM C-78, besaran berkisar 3-5 Mpa atau 30-50 kg/cm². Kekuatan tarik lentur dari perkerasan kaku dapat ditingkatkan yaitu dengan menambah serat baja. Serat baja juga dapat mengurangi retak pada beton.

10.3.2 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah data penting untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul lapisan perkerasan selama umur rencana. Dari data volume lalu lintas kendaraan dapat dihitung dan diproyeksikan besaran total beban kendaraan beberapa tahun ke depan. Sedangkan volume tahun pertama adalah jumlah kendaraan yang melintas mulai saat jalan telah selesai dikerjakan atau rehabilitasi pada tahun pertama. Data utama beban lalu lintas yaitu beban gandar kendaraan komersial dan volume lalu lintas.

Data yang digunakan untuk menghitung nilai volume lalu lintas antara lain:

1. Survei lalu lintas dilakukan jangka waktu minimal selama 7 x 24 jam atau mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B);
2. Data survei lalu lintas yang telah dilakukan;
3. Untuk jalan yang memiliki lalu lintas rendah digunakan perkiraan nilai.
4. Waktu survei data volume lalu lintas antara lain:
5. Pada saat tingkat lalu lintas padat yaitu pada saat jam sibuk antara lain saat pagi jam 6.30 – 8.30 dan sore 16.00 – 07.00;
6. Nilai rata-rata lalu lintas harian per tahun dengan mempertimbangkan nilai faktor k.

Jenis kendaraan penumpang dan kendaraan ringan dianggap memiliki beban cukup kecil sehingga tidak menimbulkan kerusakan structural pada perkerasan kecuali kendaraan roda 6 (enam) atau lebih. Klasifikasi kendaraan diatur dalam Pedoman Survei Pencacah Lalu Lintas (PdT-19-2004-B).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung factor pengali pertumbuhan lalu lintas komulatif (cumulative growth factor):

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (10.2)$$

Diketahui:

- R = faktor pertumbuhan komulatif
 i = laju pertumbuhan pertahun (%)
 UR = umur rencana (tahun)

Jika diketahui terjadi perubahan data pertumbuhan lalu lintas di masa umur rencana, maka persamaan yang digunakan sebagai berikut:

Persamaan digunakan untuk periode rasio volume kapasitas ($RVK \leq 0,85$).

$$R = \frac{(1+0,01i_1)^{UR_1}-1}{0,01 i_1} + (1 + 0,01i_1)^{UR_1} (1 + 0,01i_2) \left\{ \frac{(1+0,01i_2)^{UR-UR_1}-1}{0,01 i_2} \right\} \quad (10.3)$$

Diketahui:

- R = faktor pertumbuhan komulatif
 i_1 = laju pertumbuhan per tahun di periode pertama (%)
 i_2 = laju pertumbuhan per tahun di periode kedua (%)
 UR_1 = umur rencana periode pertama(tahun)

Jika kapasitas direncanakan hingga akhir tahun (Q) dari umur rencana (UR).

$$R = \frac{(1+0,01i)^{Q-1}}{0,01i} + (UR - Q)(1 + 0,01i)^{Q-1} \tag{10.4}$$

Diketahui:

- R = faktor pertumbuhan komulatif
- Q = perkiraan tahun

Setiap daerah memiliki data faktor pertumbuhan lalu lintas yang berdasarkan *historical growth data* tapi jika daerah tersebut tidak memiliki, maka dapat digunakan tabel berikut:

Tabel 10.3: laju pertumbuhan lalu lintas (i)

Pulau Jenis Jalan	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

Sumbu kendaraan sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana yang ditetapkan Bina Marga. Sedangkan analisis terhadap lalu lintas dilakukan menurut hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu berdasarkan data terbaru minimal 2 tahun terakhir. Data kendaraan yang digunakan adalah kendaraan yang memiliki bobot minimal sebesar 5 ton.

10.3.3 Lajur rencana

Lajur rencana adalah lajur yang direncanakan akan dilalui oleh kendaraan truk dan bus (kendaraan niaga). Beban lalu lintas adalah nilai komulatif beban gandar standar (ESA) yang melintas di lajur rencana.

Tabel 10.4:Faktor distribusi lajur (DL)

Jumlah lajur setiap arah	Prosentase kendaraan niaga pada lajur perencanaan
1	100
2	80
3	60
4	50

Faktor yang memengaruhi besaran nilai ESA adalah faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk lajur dua arah maka nilai faktor yang digunakan sebesar 0,5 (kecuali jumlah kendaraan niaga yang melintas cenderung tinggi hanya di satu arah). Nilai faktor distribusi lajur digunakan untuk beban ESA pada jalan yang memiliki dua lajur atau lebih dalam satu arah. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan UMU No.19/PRT/M/2011 untuk beban rencana kendaraan setiap lajur < kapasitas. Faktor distribusi lajur (DL) adalah rasio lalu lintas kendaraan niaga terhadap populasi kendaraan niaga di tiap lajur.

10.3.4 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Faktor yang memengaruhi besarnya nilai ekuivalen beban (*Vehicle Damage Factor*) adalah jumlah kumulatif beban sumbu kendaraan. Konfigurasi letak sumbu kendaraan dan luas bidang kontak memengaruhi mekanisme penyebaran beban kendaraan pada lapisan perkerasan. Beban lalu lintas pada dikonversi ke suatu nilai rata-rata kumulatif beban standar ESA (*Equivalent Standard Axle*) untuk tiap lintasan saat umur rencana.

Berdasarkan Pd T-14-2003 diketahui untuk merencanakan perkerasan kaku menggunakan beban lalu lintas desain dengan sumbu kendaraan (*heavy vehicle axle group*) sedang untuk perkerasan lentur menggunakan sumbu kendaraan ESA (*equivalent standard axle*) . Data untuk kelompok sumbu dapat diketahui dengan menggunakan hasil survey jembatan timbang atau menggunakan data dari Manual perkerasan Bina Marga yang terbaru.

Nilai kumulatif beban sumbu atau cumulative equivalent single axle load (CESA) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$ESA_{TH-1} = \left(\sum_{JK} LHR_{JK} \times VDF_{JK} \right) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (10.5)$$

Diketahui:

ESA_{TH-1} = Nilai kumulatif beban sumbu (ESA) tahun pertama

LHR_{JK} = Lalu lintas rata-rata pertahun untuk tiap kendaraan

VDF_{JK} = Faktor VDF (Tabel 10.5 dan Tabel 10.6)

DD = Faktor distribusi arah

DL = Faktor distribusi lajur (Tabel

R = Faktor pertumbuhan kumulatif (persamaan

$CESA$ = Nilai kumulatif beban sumbu selama umur rencana

Beban lalu lintas dapat dihitung dengan melakukan survey beban gandar kendaraan agar diperoleh nilai ESA yang akurat. Survey jumlah kendaraan untuk menghitung beban gandar berdasarkan spesifikasi jalan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 10.5 sebagai berikut:

Tabel 10.5: Beban gandar berdasarkan spesifikasi jalan

Spesifikasi Prasarana jalan	Beban gandar*
Jalan bebas hambatan*	1 atau 2
Jalan Rata	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber Manual Perkerasan 2017

*Data beban gandar antara lain:

- Data jembatan timbang atau pembacaan timbangan statis WIM (*Weight In Motion*) dengan kapasitas bebanroda (tunggal atau ganda) minimal 35 ton;
- Survey beban gandar pada jembatan timbang;
- Data WIM Regional Direktorat Bina Marga.

Jika data VDF sebelumnya tidak ada dan survey beban gandar tidak dilakukan, maka perencanaan perkerasan dapat menggunakan nilai pada Tabel 10.5 n Tabel 10.6 merupakan data WIM Ditjen Bina Marga yang diperbaharui tiap 5 tahun dan bila saat survey lalu lintas dapat diidentifikasi jenis kendaraan dan muatan kendaraan niaga.

10.3.5 Pondasi perkerasan kaku

Perencanaan pondasi perkerasan kaku terdiri atas dua jenis tanah, yaitu:

1. Tanah dasar kondisi normal

Nilai CBR ekuivalen yang digunakan dalam perencanaan kaku pada tanah kondisi normal telah diatur dalam Pd T-14-2003. Jika pondasi tanah terdiri atas beberapa lapis, maka nilai CBR ekuivalen dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$CBR_{\text{ekuivalen}} = \left(\frac{\sum_i h_i CBR_i^{0,33}}{\sum_i h_i} \right)^3 \quad 10.6$$

Diketahui:

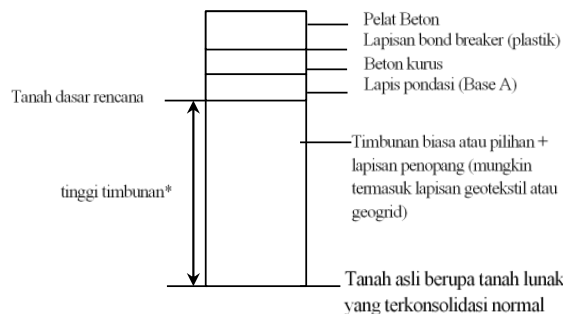
h_i = tebal lapisan-i

$\sum h_i$ = 1 meter

Sebaiknya CBR efektif tanah dasar $\leq 6,5\%$ (nilai stabilitas digunakan persamaan 10.1).

2. Tanah dasar kondisi lunak

Dalam merencanakan perkerasan kaku sebaiknya tidak dilakukan permukaan tanah lunak kecuali tanah tersebut diberi perkuatan seperti *micro pile*.



Gambar 10.3: Struktur perkerasan kaku (Bina Marga, 2017)

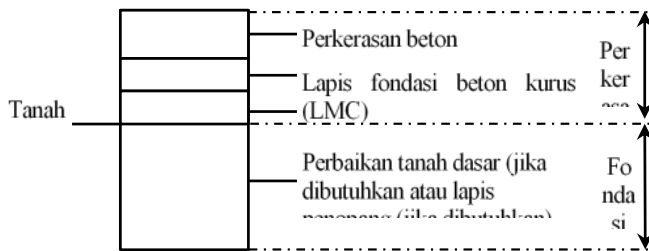
Beberapa hal yang harus dilakukan jika perkerasan kaku diterapkan di atas permukaan tanah lunak antara lain:

- Menggali atau mengganti seluruh tanah lunak
- Jika CBR lapisan tanah dasar tidak melebihi Gambar 10.1 dan timbunan tidak melebihi Gambar 10.2. Maka dilakukan lapisan tanah dasar

Dari Gambar 10.3 Dapat diketahui bahwa tinggi minimum permukaan tanah asli sebesar 1,8 m dengan ESA rencana sebesar 1×10^6 . Dari grafik dapat diketahui nilai ESA yang diperoleh sesuai tinggi minimum rencana.

Berdasarkan panduan perencanaan Manual Perkerasan 2017 maka tipikal struktur lapisan perkerasan dibagi atas 3 jenis, antara lain:

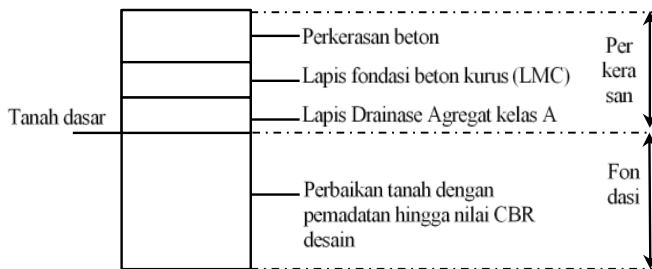
a. Perkerasan kaku pada permukaan tanah asli (at grade)



Gambar 10.4: Struktur perkerasan kaku tanah asli (Bina Marga, 2017)

Perkerasan kaku dilakukan di atas permukaan tanah asli. Tanah dasar memiliki nilai CBR yang memenuhi standar ketetapan Bina Marga yang terbaru. Perbaikan tanah dasar atau lapisan penopang dapat dilakukan jika dibutuhkan.

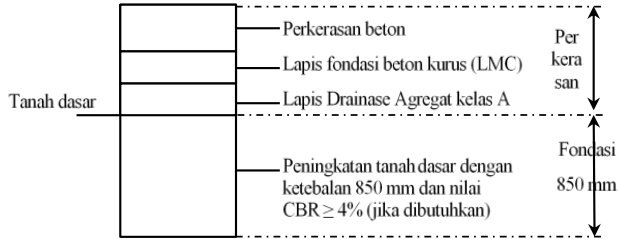
b. Perkerasan kaku pada timbunan



Gambar 10.5: Struktur perkerasan kaku dengan timbunan (Bina Marga, 2017)

Perkerasan kaku dilakukan di atas permukaan tanah timbunan. Nilai CBR timbunan harus memenuhi standar ketetapan Bina Marga yang terbaru. Jika nilai CBR tidak memenuhi standar, maka dapat dilakukan perbaikan tanah dengan metode pemadatan.

c. Perkerasan kaku pada galian



Gambar 10.6: Struktur perkerasan kaku dengan galian (Bina Marga, 2017)

Perkerasan kaku dilakukan di atas permukaan tanah galian. Syarat nilai $CBR \geq 4\%$ dengan ketebalan galian 850 mm atau memenuhi standar ketetapan Bina Marga yang terbaru. Jika tidak memenuhi standar maka sama dengan perkerasan kaku di atas tanah timbunan yaitu dilakukan perbaikan tanah dengan metode pemadatan.

10.3.6 Lapis Perkerasan

Tabel 10.9: Desain perkerasan kaku untuk beban lalu lintas berat

Struktur perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded)(10E6)	< 4,3	< 8,6	< 25,8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis pondasi LMC	100				
Lapis drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Sumber Manual Perkerasan 2017

Catatan:

1. Syarat untuk struktur pondasi jalan perkerasan lentur sesuai Bagan desain 2 dan Bagan desain-5;
2. Ketebalan minimum lapisan pondasi agregat Kelas A adalah 125 mm dan maksimal 200 mm;

3. Pengendalian mutu untuk semua lapisan perkerasan adalah hal yang wajib diterapkan;
4. Kerikil atau material dengan stabilisasi CBR $> 10\%$ dapat digunakan dengan syarat sumberdaya penyedia telah berpengalaman. Jika dari segi harga LFA kelas A dan kelas B tidak jauh berbeda, maka pelaksanaan menggunakan LFA kelas A.

Tabel 10.10 Adalah tabel untuk mendesain tebal pelat lapisan perkerasan kaku . Untuk beban lalu lintas berat seperti truk dan bus. Lapisan pelat beton menggunakan tulangan, dowel dengan ketebalan pelat 265 – 302 mm tergantung desain nilai R. Contoh kelompok sumbu kendaraan berat dengan nilai $R1 < 4,3$ maka tebal pelat beton adalah 265 mm lapisan LMC (beton kurus) sebesar 100 mm dan lapisan drainase sebesar 150 mm.

Tabel 10.10: Desain perkerasan kaku dengan beban lalu lintas ringan Manual Perkerasan 2017

	Tanah dasar			
	Tanah lunak dengan lapis penopang		Dipadatkan normal	
Bahu pelat beton(tied shoulder)	Ya	Tidak	Ya	Tidak
	Tebal pelat beton(mm)			
hanya mobil penumpang dan motor	160	175	135	150
Dapat diakses oleh truk	180	200	160	175
Tulangan distribusi retak	Ya		Ya jika daya dukung pondasi tidak seragam	
Dowel	Tidak dibutuhkan			
LMC	Tidak dibutuhkan			
Lapis pondasi kelas A (maks 30 mm)	125 mm			
Jarak sambungan melintang	4 m			

Desain perkerasan kaku untuk beban lalu lintas ringan seperti mobil penumpang. Jenis perkerasan ini tidak menggunakan dowel dan LMC(beton kurus), jarak sambungan melintang adalah 4 m dan tebal pelat 135 – 200 mm tergantung perencanaan jenis beban lalu lintas kendaraan. Lapisan pondasi kelas A dengan diameter maksimum 30 mm.

10.4 Tinggi Drainase Perkerasan

Tabel 10.11: Desain tinggi minimum tanah dasar drainase Manual Perkerasan 2017

Kelas Jalan (sesuai spesifikasi penyediaan prasarana jalan)	Tinggi tanah dasar di atas muka air tanah (mm)	Tinggi tanah dasar di atas muka air banjir (mm)
Jalan bebas hambatan	1.200 (jika ada drainase bawah permukaan di median)	500 (banjir 50 tahun)
	1.700 (tanpa drainase bawah permukaan di median)	
Jalan raya	1.200 (tanah lunak jenuh atau gambut dengan lapis drainase)	
	800 (tanah lunak jenuh atau gambut dengan lapis drainase)	
	600 (tanah dasar normal)	
Jalan sedang	600	
Jalan kecil	400	NA

Lapis drainase adalah lapisan yang terletak di bawah permukaan lapis perkerasan kaku.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi drainase bawah permukaan antara lain:

1. Lapis fondasi bawah (subbase) harus mampu mengalirkan air;
2. Lintasan drainase mampu mengalirkan air;
3. *Frens drains* (arah melintang) pada titik terendah arah memanjang per 10 m dianggap dapat meneruskan air ke lapis fondasi bawah;
4. Hindari kondisi lapis pondasi bawah < tanah di sekitarnya, tetapi jika tidak bisa maka dilakukan pemasangan *Subdrain*;
5. Jika tidak tersedia *subdrain* maka untuk perencanaan tebal lapisan berbutir menggunakan nilai faktor “m” berdasarkan AASHTO Pavement Design Guide 1993 klausul 2.4.1 dan Tabel 5.2;
6. Letak *subdrain* terletak dekat saluran U atau bangunan yang berpotensi menghalangi air ke lapisan pondasi bawah;
7. Kemiringan *subdrain* harus sama yaitu < 0,5%. Hal ini bertujuan agar air dapat mengalir ke saluran pembuangan;
8. Jarak akses pembersihan *subdrain* ≥ 60 m di mana ketinggian outlet dan inlet lebih tinggi dari muka air banjir.

Bab 11

Tebal Perkerasan Lentur Metode Analisa Komponen Untuk Konstruksi Langsung & Overlay

11.1 Pendahuluan

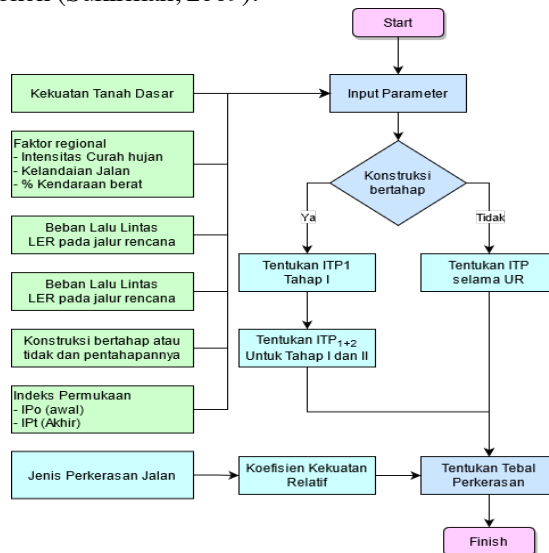
Jalan mempunyai peranan penting terutama yang menyangkut perwujudan perkembangan antar wilayah yang seimbang, pemerataan hasil pembangunan serta pemantapan pertahanan dan keamanan nasional dalam rangka mewujudkan pembangunan nasional. Dengan demikian suatu jalan dapat dikatakan baik jika suatu jalan dapat berfungsi sebagaimana mesti untuk mengalirkan pergerakan transportasi di atasnya. Untuk menunjang hal tersebut maka diperlukan suatu perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan jalan terarah dan berkesinambungan agar tujuan dari pembangunan jalan dapat tercapai.

Salah satu bagian perancangan jalan adalah perancangan tebal perkerasan. Perancangan tebal perkerasan ini merupakan salah satu tahapan dalam pekerjaan

jalan dengan sasaran utama adalah memberikan pelayanan yang optimal kepada para masyarakat pengguna jalan. Perancangan ini bertujuan untuk mendapatkan tebal perkerasan yang dapat menerima beban lalu lintas di atasnya. Perancangan tebal perkerasan di Indonesia umumnya menggunakan Metode Bina Marga. Metode perancangan ini untuk menentukan tebal perkerasan dengan mengacu kepada buku Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen No. SNI 1732-1989-F.

11.2 Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Baru

Prosedur perancangan tebal perkerasan lentur menurut Bina Marga '87, merupakan hasil modifikasi dari metoda AASHTO 1972. Modifikasi ini dilakukan untuk penyesuaian terhadap kondisi alam, lingkungan, sifat tanah dasar dan jenis lapisan yang sering dipakai. Gambar 11.1. menunjukkan diagram alir tahapan perencanaan tebal perkerasan jalan baru dengan metode analisa komponen (Sukirman, 2009).



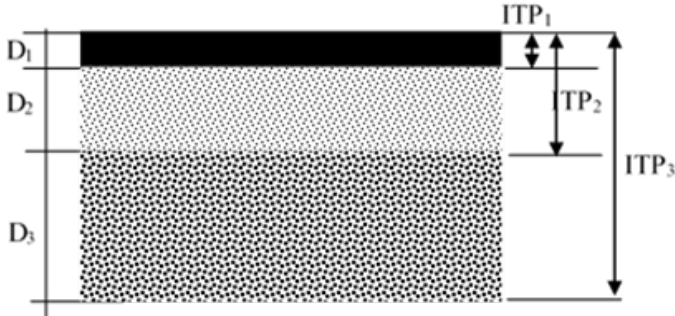
Gambar 11.1. Bagan Alir Prosedur Perencanaan Flexible Pavement Dengan Metode Analisa Komponen

11.3 Konstruksi Langsung

Pada konstruksi langsung umumnya dilakukan pada perencanaan tebal perkerasan baru juga berlaku untuk perencanaan rekonstruksi jalan (full depth pavement) dan pelebaran jalan. Struktur perkerasan dibuat agar mampu melayani beban lalu lintas selama masa layan tanpa memerlukan pelapisan tambahan diantaranya. Sehingga lapis tambahan hanya diberikan setelah masa layan dengan program peningkatan jalan.

Secara terperinci perencanaan tebal perkerasan secara langsung sesuai dengan SNI-1732-1989-F dapat mengikuti tahapan berikut (I. Alizar, n.d.):

1. Menentukan nilai Daya Dukung Tanah (DDT)
2. Nilai DDT dapat diperoleh dengan menggunakan grafik korelasi hubungan antara Daya Dukung Tanah (DDT) dengan CBR diberikan dalam atau dengan persamaan sebagai berikut:
3. $DDT = 4,3 \log (CBR) + 1,7$
4. Tentukan umur rencana, dan jenis material yang digunakan
5. Tentukan faktor pertumbuhan lalu lintas selama masa pelaksanaan dan selama umur rencana.
6. Menentukan Faktor Regional berdasarkan keadaan iklim, Prosentase kendaraan berat dan kemiringan memanjang jalan
7. Tentukan LHR awal dan LHR akhir
8. Tentukan faktor distribusi kendaraan (C), dan angka ekivalen beban sumbu (E)
9. Tentukan LEP, LEA, LET dan LER
10. Tentukan Indeks permukaan awal (IPo) dan indeks permukaan akhir (IPt)
11. Tentukan Indeks tebal perkerasan (ITP) dengan mempergunakan salah satu nomogram 1-9, yang sesuai dengan nilai IPo dan IPt.
12. Tentukan koefisien kekuatan relatif (a) dari setiap jenis lapisan yang dipilih
13. Tentukan tebal masing-masing lapisan dengan rumus Untuk tebal lapis permukaan (DI) sampai dengan ketelitian 0,5 cm, sedangkan untuk lapis di bawahnya merupakan angka bulat.



Gambar 11.2: Kontruksi Langsung

1. Kontrol apakah tebal masing-masing lapisan memenuhi batas minimum persyaratan dan ITP. Untuk contoh perencanaan konstruksi langsung, sebagaimana SNI-1732-1989-F, adalah sebagaimana dijelaskan di bawah ini.

Contoh Perencanaan Jalan Baru untuk Lalu Lintas Rendah

- a. Rencanakan:

Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalu lintas tahun 2020 seperti di bawah ini, umur rencana: a). 5 tahun; b). 10 tahun.

Jalan dibuka tahun 2024 (i selama pelaksanaan = 5 % per tahun)

FR = 1,0 dan CBR tandasar = 3,4%.

- b. Data-data:

Kendaraan ringan 2 ton : 90 kendaraan

Bus 8 ton : 3 kendaraan

Truk 2 as 10 ton : 2 kendaraan

LHR 2020 : 95 kendaraan/hari/2 jalur

Perkembangan lalu lintas (i): untuk 5 tahun = 8% untuk 10 tahun = 6%

Bahan-bahan perkerasan:

- pelaburan (lapis pelindung), Lapen Mekanis
- batu pecah (CBR 50)
- tanah kepasiran (CBR 20)

Penyelesaian:

LHR pada tahun 2024 (awal umur rencana), dengan rumus: $(1 + i)$

Kendaraan ringan 2 ton : 109,4 kendaraan

Bus 8 ton : 3,6 kendaraan

Truk 2 as 10 ton : 2,4 kendaraan

LHR pada tahun ke-5 atau ke-10 (akhir umur rencana):

Rumus $(1 + i)^n$ 5 tahun : 10 tahun

Kendaraan ringan 2 ton	160,7 kendaraan	195,9 kendaraan
Bus 8 ton	5,3 kendaraan	6,4 kendaraan
Truk 2 as 10 ton	3,5 kendaraan	4,3 kendaraan

Menghitung angka Ekuivalen (E) masing-masing kendaraan sebagai berikut:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,0002 + 0,0002 = 0,0004$
Bus 8 ton	$0,0183 + 0,1410 = 0,1593$
Truk 2 as 10 ton	$0,0577 + 0,2923 = 0,3500$

Menghitung LEP

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times E_j \times C_j$$

Kendaraan ringan 2 ton	$0,50 \times 1,09 \times 0,0004$	= 0,022
Bus 8 ton	$0,50 \times 3,6 \times 0,1593$	= 0,287
Truk 2 as 10 ton	$0,50 \times 2,4 \times 0,3500$	= 0,420

Menghitung LEA

a. 5 tahun:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,50 \times 160,7 \times 0,0004$	= 0,032
Bus 8 ton	$0,50 \times 5,3 \times 0,1593$	= 0,422
Truk 2 as 10 ton	$0,50 \times 3,5 \times 0,3500$	= 0,612

LEA₅ = 1,066

b. 10 tahun:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,50 \times 195,9 \times 0,0004$	= 0,039
Bus 8 ton	$0,50 \times 6,4 \times 0,1593$	= 0,510
Truk 2 as 10 ton	$0,50 \times 4,3 \times 0,3500$	= 0,752

LEA = 1,301

Menghitung LET:

$LET_5 = \frac{1}{2} (LEP + LEA_5) = \frac{1}{2}(0,729 + 1,066) = 0,90$

$LET_{10} = \frac{1}{2} (LEP + LEA_{10}) = \frac{1}{2}(0,729 + 1,301) = 1,01$

Menghitung LER:

$LER_5 = LET_5 \times UR/10 = 0,90 \times 5/10 = 0,45$

$LER_{10} = LET_{10} \times UR/10 = 1,01 \times 10/10 = 1,01$

Mencari ITP:

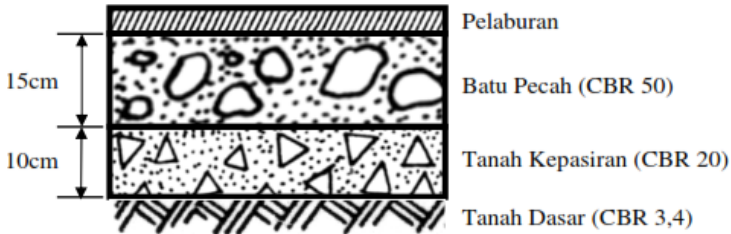
CBR tanah dasar = 3,4%; DDT = 4; IP = 1,5; FR = 1,0

LER₅ = 0,45 ITP₅ = 2,8(IP₀ = 2,9 - 2,5)

LER₁₀ = 1,01 ITP₁₀ = 3,2(IP₀ = 3,4 - 3,0)

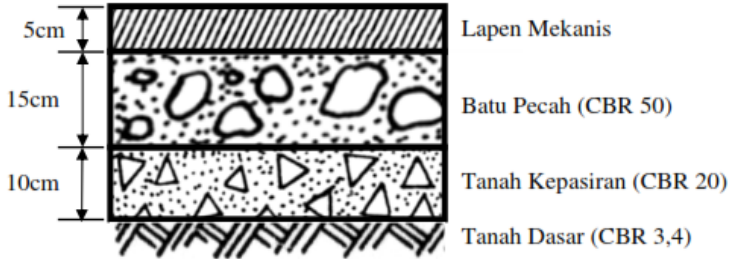
Menetapkan tabel perkerasan:

1. Koefisien kekuatan relatif:
 Pelaburan = 0,00 = a_1 , Lapen Mekanis = 0,25 = a_2 ,
 Batu pecah (CBR 50) = 0,12 = a_3 ,
 Tanah kepasiran (CBR 20) = 0,10 = a_4 ,
 $ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$
2. UR = 5 tahun
 $2,8 = 0,12 D_2 + 0,10 D_3$
 Batas minimum tebal lapisan untuk ITP = 2,8
 $2,8 = 0,12 D_2 + 0,10 \times 10 = 0,12 D_2 + 1$
 $D_2 = 15 \text{ cm (minimum)}$
3. Susunan Perkerasan:
 Pelaburan
 Batu pecah (CBR 50) = 15 cm
 Tanah kepasiran (CBR 20) = 10 cm



Gambar 11.3: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 5 Tahun

- 1) UR = 10 tahun
 - $3,2 = 0,25 D_1 + 0,12 D_2 + 0,10 D_3$
 - Batas minimum tebal lapisan untuk ITP = 3,2
 - Lapen Mekanis = 5 cm
 - Batu pecah (CBR 50) = 15 cm
 - Tanah kepasiran (CBR 20) = 10 cm
 - $3,2 = 0,25 \cdot 5 + 0,12 \cdot 15 + 0,10 \cdot D_3 = 3,05 + 0,10 D_3$
 - $D_3 = 1,5 \text{ cm} \rightarrow$ diambil 10 cm (minimum)
- 2) Susunan Perkerasan:
 - Lapen Mekanis 5 cm
 - Batu pecah (CBR 50) = 15 cm
 - Tanah kepasiran (CBR 20) = 10 cm



Gambar 11.4: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 10 Tahun
 Contoh Perencanaan Jalan Baru untuk Lalu Lintas Tinggi

- Rencanakan:
 Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalu lintas tahun 2020 seperti di bawah ini, dan umur rencana: a). 10 tahun; b). 20 tahun.
 Jalan dibuka tahun 2024 (i selama pelaksanaan = 5 % per tahun)

2. Data-data:

Kendaraan ringan 2 ton	1000	kendaraan
Bus 8 ton	300	kendaraan
Truk 2 as 13 ton	50	kendaraan
Truk 3 as 20 ton	30	kendaraan
Truk 5 as 30 ton	10	kendaraan
LHR 2020	1390	kendaraan/hari/2 jalur

Perkembangan lalu lintas (i): untuk 10 tahun = 8%, untuk 20 tahun = 6%

Bahan-bahan perkerasan:

- Asbuton (MS 744) $a_1 = 0,35$
- Batu pecah (CBR 100) $a_2 = 0,14$
- Sirtu (CBR 50) $a_3 = 0,12$

3. Penyelesaian:

LHR pada tahun 2024 (awal umur rencana), dengan rumus: $(1 + i)$

Kendaraan ringan 2 ton	1215,5 kendaraan
Bus 8 ton	364,7 kendaraan
Truk 2 as 13 ton	60,8 kendaraan
Truk 3 as 20 ton	36,5 kendaraan
Truk 5 as 30 ton	12,2 kendaraan

LHR pada tahun ke-10 atau ke-20 (akhir umur rencana), Rumus $(1 + i)^n$

10 tahun	20 tahun	
Kendaraan ringan 2 ton	2624,2 kendaraan	3898,3 kendaraan
Bus 8 ton	787,4 kendaraan	1169,6 kendaraan
Truk 2 as 13 ton	131,3 kendaraan	195,0 kendaraan

Truk 3 as 20 ton	78,8 kendaraan	117,1 kendaraan
Truk 5 as 30 ton	26,3 kendaraan	39,1 kendaraan

Setelah dihitung angka Ekuivalen (E) masing-masing kendaraan sebagai berikut:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,0002 + 0,0002$	$= 0,0004$
Bus 8 ton	$0,0183 + 0,1410$	$= 0,1593$
Truk 2 as 13 ton	$0,1410 + 0,9238$	$= 1,0648$
Truk 3 as 20 ton	$0,2923 + 0,7452$	$= 1,0375$
Truk 5 as 30 ton	$1,0375 + 2(0,1410)$	$= 1,3195$

Menghitung LEP:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,50 \times 1215,5 \times 0,0004$	$= 0,243$
Bus 8 ton	$0,50 \times 364,7 \times 0,1593$	$= 29,046$
Truk 2 as 13 ton	$0,50 \times 60,8 \times 1,0648$	$= 32,370$
Truk 3 as 20 ton	$0,50 \times 36,5 \times 1,0375$	$= 18,934$
Truk 5 as 30 ton	$0,50 \times 12,2 \times 1,3195$	$= 8,048$
	LEP	= 88,643

Menghitung LEA

a) 10 tahun:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,50 \times 2524,2 \times 0,0004$	$= 0,525$
Bus 8 ton	$0,50 \times 787,4 \times 0,1593$	$= 62,717$
Truk 2 as 13 ton	$0,50 \times 131,3 \times 1,0648$	$= 69,904$
Truk 3 as 20 ton	$0,50 \times 78,8 \times 1,0375$	$= 40,878$
Truk 5 as 30 ton	$0,50 \times 26,3 \times 1,3195$	$= 17,350$

LEA₁₀ = 191,373

b) 20 tahun:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,50 \times 3898,3 \times 0,0004$	$= 0,780$
Bus 8 ton	$0,50 \times 1169,6 \times 0,1593$	$= 93,159$
Truk 2 as 13 ton	$0,50 \times 131,3 \times 1,0648$	$= 103,818$
Truk 3 as 20 ton	$0,50 \times 117,1 \times 1,0375$	$= 60,746$
Truk 5 as 30 ton	$0,50 \times 39,1 \times 1,3195$	$= 25,794$

LEA₂₀ = 248,297

Menghitung LET:

$LET_{10} = \frac{1}{2} (LEP + LEA_{10}) = \frac{1}{2} (88,643 + 191,373) = 140$

$LET_{20} = \frac{1}{2} (LEP + LEA_{20}) = \frac{1}{2} (88,643 + 248,297) = 186$

Menghitung LER:

$LER_{10} = LET_{10} \times UR/10 = 140 \times 10/10 = 140$

$LER_{20} = LET_{20} \times UR/101 = 86 \times 10/10 = 372$

Mencari ITP:

CBR tanah dasar = 3,4%; DDT = 4; IP = 2,0; FR = 1,0

$$LER_{10} = 140 \qquad ITP_{10} = 7,7 \quad (Ipo = 3,9 - 3,5)$$

$$LER_{20} = 372 \qquad ITP_{20} = 8,8 \quad (IPo = 3,9 - 3,5)$$

Menetapkan tabel perkerasan:

1) UR = 10 tahun

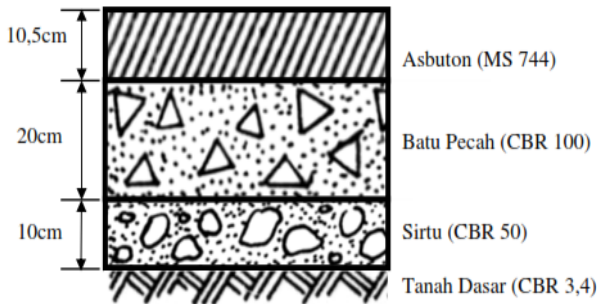
$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$7,7 = 0,35 D_1 + 0,14 \cdot 20 + 0,12 \cdot 10 \qquad = 0,35 D_1 + 4$$

$$D_1 = 10,5 \text{ cm}$$

2) Susunan Perkerasan:

- Asbuton (MS 744) = 10,5 cm
- Batu pecah (CBR 100) = 20 cm
- Sirtu (CBR 50) = 10 cm



Gambar 11.5: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 10 Tahun Pada Lalu Lintas Tinggi

3) UR = 20 tahun

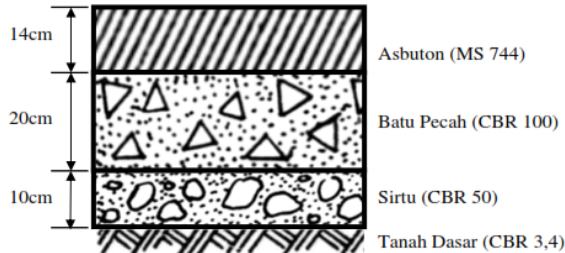
$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$8,8 = 0,35 D_1 + 0,14 \cdot 20 + 0,12 \cdot 10 = 0,35 D_1 + 4$$

$$D = 13,7 \approx 14 \text{ cm}$$

4) Susunan Perkerasan:

- Asbuton (MS 744) = 14 cm
- Batu pecah (CBR 100) = 20 cm
- Sirtu (CBR 50) = 10 cm



Gambar 11.6: Susunan Perkerasan Untuk Umur Rencana 20 Tahun Pada Lalu Lintas Tinggi

11.4 Desain Lapis Tambahan (Overlay)

Prinsip dasar dari desain lapis tambahan pada struktur perkerasan lentur menurut metoda Analisa Komponen adalah bahwa di akhir masa layannya Struktur perkerasan perlu diperkuat dengan memperbesar nilai ITP sehingga mampu memikul perkiraan beban lalu-lintas tambahan yang diinginkan.

Nilai ITP yang dimaksud diperoleh dari sisa nilai ITP struktur perkerasan lama ditambah dengan nilai ITP tambahan dari lapis tambahan yang diberikan. Dengan demikian, ada 2 langkah yang perlu dilakukan dalam proses perencanaan lapis tambahan, yaitu:

- 1) Menentukan nilai kondisi struktur perkerasan lama untuk mendapatkan nilai ITP sisa.
- 2) Menghitung tebal lapis tambahan berdasarkan nilai ITP tambahan yang diperlukan, yang dihitung sesuai dengan perkiraan beban lalu-lintas yang akan datang setelah dikurangi dengan nilai ITP sisa. Penentuan ITP sisa dilakukan secara subyektif. Nilai ITP sisa struktur perkerasan lama dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{ITP sisa} = \sum (a_i \times D_i \times K_i)$$

Di mana;

a_i = koefisien kekuatan relatif tiap lapis

D_i = tebal lapis perkerasan

K_i = nilai kondisi perkerasan jalan

Tabel 11.1: Nilai kondisi perkerasan jalan.

1. Lapis Permukaan:	90 – 100 %
a) Umumnya tidak retak, hanya sedikit deformasi pada jalur roda	
b) Terlihat retak halus, sedikit deformasi pada jalur roda namun masih tetap stabil	70 – 90 %
c) Retak sedang, beberapa deformasi pd jalur roda, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70 %
d) Retak banyak, demikian juga deformasi pada jalur roda, menunjukkan gejala ketidakstabilan	30 – 50 %
2. Lapis Pondasi:	90 – 100 %
a) Pondasi Aspal Beton atau Penetrasi Macadam.	
▪ Umumnya tidak retak	
▪ Terlihat retak halus, namun masih tetap stabil	70 – 90 %
▪ Retak sedang, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70 %
▪ Retak banyak, menunjukkan gejala ketidakstabilan	30 – 50 %
b) Stabilisasi tanah dengan semen atau kapur	70 – 100 %
▪ Indeks Plastisitas ($\text{Plasticity Index} = \text{PI}$) < 10	
c) Pondasi Macadam atau Batu Pecah:	80 – 100 %
▪ Indeks Plastisitas ($\text{Plasticity Index} = \text{PI}$) < 6	
d) Lapis Pondasi Bawah:	90 – 100 %
▪ Indeks Plastisitas ($\text{Plasticity Index} = \text{PI}$) < 6	
▪ Indeks Plastisitas ($\text{Plasticity Index} = \text{PI}$) > 6	70 – 90 %

Contoh Perencanaan Tebal Lapis Tambahan (*Overlay*)

1. Rencanakan:

Tebal lapis tambahan jalan lama 2 jalur, data lalu lintas tahun 1990 seperti di bawah indan umur rencana: a). 5 tahun; b). 15 tahun.

Susunan perkerasan jalan lama: Asbuton (MS.744) = 10,5 cm; Batu pecah (CBR 100) = 20 cm, Sirtu (CBR 50) = 10 cm.

Hasil penilaian kondisi jalan menunjukkan bahwa pada lapis permukaan asbuton terlihat crack sedang, beberapa deformasi pada jalur roda (kondisi 60%) akibat jumlah lalu lintas melebihi perkiraan semula. $\text{FR} = 1,0$. Bahan lapis tambahan asbuton (MS.744).

2. Data-data:

Kendaraan ringan	2000 kendaraan
Bus 8 ton	600 kendaraan
Truk 2 as 13 ton	100 kendaraan
Truk 3 as 20 ton	60 kendaraan
Truk 5 as 30 ton	20 kendaraan

$$\text{LHR 2010} = 2690 \text{ kend./hari/2 jalur}$$

Perkembangan lalu lintas (i) = untuk 5 tahun = 8% untuk 15 tahun = 6%

3. Penyelesaian:

LHR pada tahun ke-5 atau ke-15 (akhir umur rencana) rumus: $(1 + i)$

	5 tahun	15 tahun
Kendaraan ringan 2 ton	2938,6 kendaran	47931 kendaraan
Bus 8 ton	881,6 kendaraan	1437,9 kendaraan
Truk 2 as 13 ton	146,9 kendaraan	239,7 kendaraan
Truk 3 as 20 ton	88,2 kendaraan	143,8 kendaraan
Truk 5 as 30 ton	29,4 kendaraan	47,9 kendaraan

Setelah dihitung angka ekivalen (E) masing-masing kendaraan sebagai berikut:

Kendaraan ringan	$0,0002 + 0,0002$	$= 0,0004$
Bus 8 ton	$0,0183 + 0,1410$	$= 0,1593$
Truk 2 as 13 ton	$0,1410 + 0,9238$	$= 1,0648$
Truk 3 as 20 ton	$0,2923 + 0,7452$	$= 1,0375$
Truk 5 as 30 ton1,	$0372 + 2(0,1410)$	$= 1,3195$

Menghitung LEP:

Kendaraan ringan	$0,50 \times 2000 \times 0,0004$	$= 0,400$
Bus 8 ton	$0,50 \times 600 \times 0,1593$	$= 47,790$
Truk 2 as 13 ton	$0,50 \times 100 \times 1,0648$	$= 53,240$
Truk 3 as 20 ton	$0,50 \times 60 \times 1,0375$	$= 31,125$
Truk 5 as 30 ton	$0,50 \times 20 \times 1,3195$	$= 13,194$

$$\text{LEP} = 145,74$$

Menghitung LEA:

a) 5 tahun:

Kendaraan ringan	$0,50 \times 2938,6 \times 0,0004$	$= 0,588$
Bus 8 ton	$0,50 \times 881,6 \times 0,1593$	$= 70,219$
Truk 2 as 13 ton	$0,50 \times 146,9 \times 1,0648$	$= 78,210$
Truk 3 as 20 ton	$0,50 \times 88,2 \times 1,0375$	$= 45,754$
Truk 5 as 30 ton	$0,50 \times 29,4 \times 1,3195$	$= 19,395$

$$\text{LEA}_5 = 214,166$$

b) 15 tahun:

Kendaraan ringan	$0,50 \times 4793,1 \times 0,0004$	$= 0,959$
Bus 8 ton	$0,50 \times 1437,9 \times 0,1593$	$= 114,529$
Truk 2 as 13 ton	$0,50 \times 239,7 \times 1,0648$	$= 127,616$
Truk 3 as 20 ton	$0,50 \times 143,8 \times 1,0375$	$= 74,596$
Truk 5 as 30 ton	$0,50 \times 47,9 \times 1,3195$	$= 31,600$
	LEA_{is}	= 349,30

Menghitung LET:

$$LET_s = \frac{1}{2} (LEP + LEA_s) = \frac{1}{2} (145,749 + 214,166) = 180$$

$$LET_{is} = \frac{1}{2} (LEP + LEA_{is}) = \frac{1}{2} (145,749 + 349,300) = 248$$

Menghitung LER:

$$LER5 = LET5 \times UR/10 = 180 \times 5/10 = 90$$

$$LER15 = LET15 \times UR/10 = 248 \times 15/10 = 372$$

Mencari ITP:

CBR tanah dasar 3,4%; DDT = 4; IP = 2,0; FR = 1,0

$$LER5 = 90 \quad ITP_s = 7,1 \quad (IP_o = 3,9 - 3,5)$$

$$LER15 = 372 \quad ITP_{is} = 8,8 \quad (IP_o = 3,9 - 3,5)$$

Menetapkan tebal lapis tambahan:

a) Kekuatan jalan lama:

$$\text{Asbuton (MS.744) } 10,5 \text{ cm} = 60\% \cdot 10,5 \cdot 0,35 = 2,2$$

$$\text{Batu pecah (CBR 100) } 20 \text{ cm} = 100\% \cdot 20 \cdot 0,14 = 2,8$$

$$\text{Sirtu (CBR 50) } 10 \text{ cm} = 100\% \cdot 10 \cdot 0,12 = 1,2$$

$$\text{ITP ada} = 6,2$$

b) UR 5 tahun:

$$\Delta ITP = ITP - ITP_{at} = 7,1 - 6,2 = 0,9$$

$$0,9 = 0,35 \cdot D_1 \quad D_1 = 2,6 \approx 3 \text{ cm Asbuton (MS.744)}$$

c) UR 15 tahun:

$$\Delta ITP = ITP1 - ITP_{at} = 8,8 - 6,2 = 2,6$$

$$2,6 = 0,35 \cdot D_1 \quad D_1 = 7,4 \approx 7,5 \text{ cm Asbuton (MS.744)}$$

Bab 12

Jenis Kerusakan Lapisan Tambah (overlay) pada Perkerasan Kaku

12.1 Pendahuluan

Perkerasan kaku (beton semen) merupakan konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya , sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif cukup tinggi khususnya bila dibandingkan dengan perkerasan aspal (perkerasan lentur) , sehingga dikenal sebagai perkerasan kaku atau rigid pavement. (Diklat PUPR 2017)

Perkerasan, secara terus-menerus mengalami tegangan-tegangan akibat beban lalu lintas yang dapat mengakibatkan kerusakan pada perkerasan. Selain itu temperatur, kelembaban, dan gerakan tanah-dasar dapat pula menyebabkan kerusakan perkerasan. Untuk hal ini, deteksi dan perbaikan kerusakan secara dini pada perkerasan akan mencegah kerusakan minor yang mungkin dapat berkembang menjadi kegagalan perkerasan.

Dalam Beberapa kasus, perkerasan dapat mempunyai masalah seperti: biaya pemeliharaan sangat tinggi dan kapasitas struktural perkerasan pada umur

pelayanan yang diharapkan tidak mencukupi. Untuk kedua kasus tersebut, penanganan perkerasan dengan cara melapisi perkerasan dengan lapisan tambahan dapat dijadikan pilihan. Pekerjaan lapisan tambahan (overlay) dilakukan sebagai suatu usaha untuk memperbaiki kondisi fungsional dan struktural perkerasan. Kerusakan fungsional akan berpengaruh pada kualitas pelayanan. Termasuk jenis kerusakan ini adalah gangguan kerataan dan tekstur permukaan yang berlebihan, seperti: lubang, bergelombang, amblas dan lain-lain. Kerusakan struktural adalah kerusakan yang menyangkut penurunan kemampuan struktur perkerasan dalam mendukung beban lalu lintas, termasuk perkerasan yang kurang tebal dan beberapa tipe kerusakan seperti retak, distorsi dan disintegrasi. Pekerjaan lapisan tambahan untuk pemeliharaan dan permukaan juga ditujukan untuk memperbaiki umur perkerasan dengan jalan memperlambat laju berkembangnya kerusakan.

Material lapisan tambahan dapat berupa semen aspal atau beton sement Portland di atas perkerasan lama. Sebelum pekerjaan lapisan tambahan dilakukan, maka harus diketahui lebih dulu jenis-jenis kerusakan perkerasannya, yaitu kerusakan yang sifatnya fungsional atau struktural. Hal ini karena tipe kerusakan akan menentukan jenis lapisan tambahan yang akan dilakukan (Hardiyatmo 2015).

12.2 Evaluasi Perkerasan

Perkerasan evaluasi struktur perkerasan diperlukan sebelum dilakukan rehabilitasi. Karena rehabilitasi dikerjakan pada perkerasan yang telah ada, maka sebelum menangani pekerjaan tersebut, perlu dipelajari lebih dulu segala sesuatu yang terkait dengan kerusakan perkerasan dan cara penanganannya secara umum, cara evaluasi perkerasan dibagi menjadi tiga aktivitas (Asphalt Institute MS-17):

1. Melakukan penilaian karakteristik fungsional (kualitas berkendara dan kekasaran permukaan).
2. Melakukan survei kondisi dan kerusakan.
3. Melakukan uji struktur perkerasan (tak merusak dan merusak).

Evaluasi struktur perkerasan memberikan informasi yang dibutuhkan untuk:

1. Analisis sisa umur perkerasan dan perancangan lapisan tambahan.
2. Monitoring (pemantauan) tingkat jaringan dari kinerja perkerasan.

3. Pengambilan keputusan terkait dengan program-program pemeliharaan dan rencana rehabilitasi.

Selama pengumpulan data dan proses evaluasinya, harus diperoleh informasi yang cukup untuk mendefinisikan masalah yang dihadapi. Faktor-faktor penting yang juga harus diperhatikan dalam penilaian kinerja perkerasan untuk evaluasi adalah:

1. Pola hujan dan evaporasi.
2. Permeabilitas lapis aus (wearing course)
3. Kedalaman muka air tanah
4. Permeabilitas relatif dari komponen lapisan perkerasan.
5. Bahu jalan, apakah tertutup atau tidak.
6. Tipe perkerasan.

12.3 Jenis-Jenis Kerusakan Perkerasan

Jenis Kerusakan pada perkerasan kaku dapat terjadi pada struktur perkerasannya (pelat beton) maupun pendukung struktur perkerasan (sambungan antara pelat beton, tanah dasar, dan lain-lain).

12.3.1 Jenis Kerusakan Pada Struktur Perkerasan

Blow Up (Buckling)

a. Ciri

Pergerakan pelat beton keatas/kebawah pada seluruh lebarnya karena hilangnya dukungan tanah dasar atau kurangnya ruang cadangan untuk muai susut pada sambungan antar pelat beton semen.

b. Akibat lebih lanjut

- Berbahaya bagi lalulintas
- Air semakin menjalar kemana – mana.



Gambar 12.1: Jenis kerusakan blow up (buckling) (Pemeliharaan Jalan, 2017)
Rusak Sudut (Corner Break)

1. Ciri- ciri Bagian sudut dari pelat beton yang paling lemah adalah sudut dan tepi pelat, retak ini akan menyebar ke arah lebih parah.
2. Akibat lebih lanjut Air masuk pumping, retak menyebar, permukaan tidak layak untuk kecepatan tinggi



Gambar 12.2: Rusak sudut Jalan Permukiman (Pemeliharaan Jalan, 2017)
Faulting (Pelat berseblahan tidak sama tinggi)

1. Ciri- ciri
Pelat beton tidak sama fungsi dengan kedudukan pelat beton sebelahnya biasanya terjadi pada sambungan tanpa dowel. Biasanya pelat berikutnya lebih tinggi dari pelat depannya.
2. Akibat lebih lanjut
Ketidak rataan yang mengganggu kelancaran lalu lintas.



Gambar 12.3: Faulting (Pemeliharaan Jalan, 2017)

Retak Sambungan (Joint transfert cracks)

1. Ciri- ciri

Retak yang terjadi akibat dowel (joint transfer system) tidak berfungsi baik (bengkok, tidak lancar bergerak) atau karatan.

2. Akibat lebih lanjut

Kerusakan terbuka yang mengakibatkan retak pada sambungan pelat yang selanjutnya akan membahayakan lalu lintas.



Gambar 12.4: Dowel rusak berat (Pemeliharaan Jalan, 2017)

Tambalan

1. Ciri- ciri Beton semen yang terlepas (spalling) biasanya ditambal dengan beton aspal, bukan saja tampak kurang baik tapi juga sering gampang rusak.

2. Akibat lebih lanjut Permukaan tidak rata mengganggu kelancaran lalu lintas.



Gambar 12.5: Kerusakan tambalan (Pemeliharaan Jalan, 2017)

Retak Membelah Pelat (Limer cracking)

1. Ciri- ciri

Retak yang melintang atau membujur pelat, berawal dari satu, bertambah secara bertahap.

2. Akibat lebih lanjut

Imfiltrasi air mengancam kerusakan lebih parah



Gambar 12.6: Retak pelat pada lajur yang sering dilalui truk (Pemeliharaan Jalan, 2017)

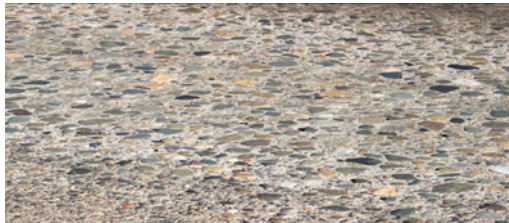
Permukaan Licin (Polished surface)

1. Ciri- ciri

Permukaan beton semen setelah sekian lama dioperasikan menjadi licin karena terasah oleh roda/ban lalu lintas disamping mutu agregat dan campuran semennya juga mungkin menjadi penyebabnya.

2. Akibat lebih lanjut

Bahaya selip akibat aquaplaning karena permukaan licin.



Gambar 12.7: Closed polished surface (Pemeliharaan Jalan, 2017)

12.3.2 Jenis Kerusakan Pada Pendukung Struktur Perkerasan.

Pumping (air terperas keluar)

1. Ciri- ciri:

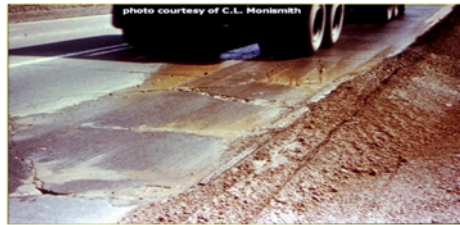
Biasanya terjadi awalnya pada sambungan pelat, akibat terobosan air di sambungan (material penutup celah kurang berfungsi) mencapai subgrade, tanah dasar menjadi lumpur dan terperas keluar akibat gaya hirostatik dari beban lalu lintas.

2. Akibat lebih lanjut:

Secara struktur dukungan tanah dasar semakin lemas, dapat menimbulkan keretakan lebih luas.

3. Perbaiki;

- Segera diisi dengan material penambal celah yang sesuai dan terbukti handal.
- Apabila masih terjadi juga, perbaikan diulang dengan diawali grouting (ansemen) pada celah.
Apabila tidak berhasil juga, perlu dibongkar dan diulang kembali pengecoran pelat beton setelah memperkuat tanah dasar.



Gambar 12.8: Pumping (Pemeliharaan Jalan, 2017)

Sambungan pelaksanaan

Sambungan jenis pertama bertujuan melekatkan beton baru pada beton keras dengan suatu cara sehingga beton yang keras tampak monolit dan homogen di sekitar sambungan. Ini disebut Sambungan Pelaksanaan. Dalam praktek, sangat sulit untuk memperoleh lengkap pelekatan dengan akibat bahwa akan terdapat suatu bidang yang lemah pada sambungan pelaksanaan. Bilamana mungkin, sambungan pelaksanaan harus ditempatkan pada lokasi di mana sambungan penyusutan atau sambungan lain diperlukan.

Sambungan yang memungkinkan gerakan (relatif) beton pada kedua sisi sambungan dinamakan menurut jenis gerakan yang dimungkinkannya:

1. Sambungan Susut memungkinkan beton menyusut dan bidang sambungan sementara menahan gerakan relatif pada arah lain.
2. Sambungan Muai memisahkan kedua muka beton yang berpasangan secukupnya sehingga memungkinkan pemuaian ke arah bidang sambungan. Jenis sambungan ini memungkinkan kontraksi tetapi mencegah gerakan pada arah lain.
3. Sambungan Isolasi sepenuhnya memisahkan kedua muka yang berpasangan dan memungkinkan kebebasan gerakan relatif.

12.4 Metode Perbaikan Kerusakan Perkerasan

12.4.1 Pemeliharaan Rutin

Pemeliharaan rutin jalan merupakan kegiatan merawat serta memperbaiki kerusakan-kerusakan yang terjadi pada ruas-ruas jalan dengan kondisi pelayanan mantap. Pemeliharaan rutin meliputi pekerjaan perbaikan ringan dan secara umum pekerjaan ini dilaksanakan beberapa kali dalam satu tahun, atas dasar yang diperlukan, misalnya pelaburan aspal atau buras pada permukaan perkerasan yang retak rambut, dan termasuk pekerjaan perbaikan untuk menjaga agar jalan tetap berfungsi dan senantiasa dalam kondisi baik sampai umur rencana dan tingkat pelayanan yang telah ditentukan. Perbaikan "joint sealant" pada sambungan antara pelat beton yang hilang akibat dari adanya muai-susut pada bahan beton dan beban lalu lintas yang melewatinya. Pemeliharaan rutin umumnya dilaksanakan untuk semua ruas jalan yang berada dalam kondisi baik atau cukup baik (kondisi mantap).

12.4.2 Pemeliharaan Berkala

Pemeliharaan berkala jalan merupakan kegiatan penanganan terhadap setiap kerusakan yang diperhitungkan dalam desain agar penurunan kondisi jalan dapat dikembalikan pada kemantapan sesuai dengan rencana. Pemeliharaan berkala adalah pekerjaan yang mempunyai rencana lebih dari satu dalam satu tahun pada setiap lokasi. Untuk jalan dengan kondisi permukaannya telah mulai terlihat aus (material perkerasan mulai tampak dipermukaan) atau berkurangnya kerataan maupun kekasaran permukaannya, perlu segera dilakukan "grooving" atau pelapisan ulang (overlay) atau peremajaan kembali lapisan permukaan perkerasannya agar tahanan gelincir terhadap roda kendaraan tetap berfungsi secara baik. Pemeliharaan berkala mencakup pula semua kegiatan yang tidak dapat ditangani secara pemeliharaan rutin, seperti perbaikan atau pengisian kembali bahan beton karena terjadinya penurunan slab pada sambungan sebagai akibat hilangnya sebagian lapisan subbase ataupun melemahnya dan tergerusnya tanah dasar.

12.4.3 Rehabilitasi

Rehabilitasi jalan merupakan kegiatan penanganan terhadap setiap kerusakan yang tidak diperhitungkan dalam desain, yang berakibat menurunnya kondisi kemantapan pada bagian/tempat tertentu dari suatu ruas jalan dengan kondisi rusak ringan, agar penurunan kondisi kemantapan tersebut dapat dikembalikan pada kondisi kemantapan sesuai dengan rencana. Kerusakan pelat beton yang cukup parah seperti terpecahnya pelat beton dan timbulnya keretakan yang cukup besar perlu segera diperbaiki. Dengan terbukanya retak pada pelat akan berakibat hilangnya kedekatan terhadap air dan merembes serta melemahkan lapisan di bawah pelat beton.

Daftar Pustaka

- AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.
- Abdul Chair, (2018), Penanganan Kerusakan Perkerasan Jalan Pada Rehabilitasi Mayor Jalan Ahmad Yani Pada KM 16+800 Dan KM 18.800 Berdasarkan Penyebabnya, Buletin Profesi Insinyur Vol.1(2) Tahun 2018.
- Alamsyah, Alek Ansyori, (2003). Rekayasa Jalan Raya. Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- Ali Ebrahimi dan Tuncer B.E. (2011). Light-weight Deflectometer for Mechanistic Quality Control of Base Course Materials, ice proceedings, pp : 1-10.
- Ali N. (2010). Studi Penggunaan Serat Ijuk Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal Porous Liquid Asbuton. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7).
- Alizar, Perencanaan Perkerasan Jalan (Modul 7) [WWW Document]. Scribd. URL <https://id.scribd.com/doc/290149704/Perencanaan-Perkerasan-Jalan> (accessed 5.6.21).
- Amr F. Elhakim, Khaled Elbaz, dan Mohamed I. Amer. (2013). The Use of Light Weight Deflectometer for In Situ Evaluation of Sand Degree of Compaction, Volume 10 Issue 3, pp : 298-307.
- Andi Tenrisuki, T., (1987). Seri Diktat Kuliah : Rekayasa Jalan Raya 2. Gunadarma, Jakarta.
- Asphalt Institute, (1996) Superpave Series No. 2, , “Supervape Mix Design”, Asphalt Institute, USA.

- Asphalt Institute, MS-2, (1993), "Mix Design Methods", Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.
- Asphalt Institute, MS-22, (1993), "Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements", Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.
- Asphalt Institute, MS-4, (1985), "The Asphalt Handbook", Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.
- ASSHTO. (1993), Guide For Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials
- ASTM D 1559-89. Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall Apparatus.
- ASTM D6931 - 12, 2012. Standard test method for indirect tensile (IDT) strength of bituminous mixtures.
- Atkins, Harold N, (2003). Highway Materials, Soil, and Concrete – 4th ed, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Ayu Andila (2017), "Perencanaan Dinding Penahan Tanah Dan Perencanaan Perkerasan Jalan Pada Ruas Jalan Km 7 Batas Kota Tanah Grogot-Lolo Kuaro Sta.0+420-Sta.0+500, Kab.Paser, Kalimantan, Tugas akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang
"Timur"<http://eprints.umm.ac.id/36942/3/jiptummpg-gdl-ayuandila2-51006-3-bab2.pdf> <http://eprints.umm.ac.id/36942/1/jiptummpg-gdl-ayuandila2-51006-1-pendahul-n.pdf>
- Bapekin, (2004), Penilaian Manfaat Kontruksi Bidang Jalan dan Jembatan, Depkimpraswil, Jakarta.
- Birgisson, B., A. Montepara, E. Romeo, R., Roncella, J. A. L., Napier, G., Tebaldi., (2007). Determination and prediction of crack patterns in hot mix asphalt (HMA) mixtures. Science Direct, Construction and Building Materials, hal. 664 -673
- Brown S. F., Brunton J. M. (1984): An Introduction to The Analytical Design of Bituminous Pavements. University of Nottingham. UK.
- Buechler, Scott. R., et. al. (2012). Understanding the Soil Contact Problem for the LWD and Static Drum Roller by Using the DEM. ASCE : 2012.
- Century, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Volume 128 Number 4 : 160-166, ASCE.

- Ch. Nageshwar Rao, Varghese George, and R. Shivashankar, PFWD, CBR and DCP Evaluation of Lateritic Subgrades of Dakshina Kannada, India, 2008, The 12 th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) 1-6 October, Goa, India, pp. 441-4423. Civil Engineers (ASCE).
- Chintya.KD. (2020) Kenapa jalan raya bisa rusak dan berlubang?, artikel, Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta
- Collins, I., & Fox R. A. (1985). Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes. Engineering Geology, (1) Special Publication. England: Geological Society.
- Corhran, J., (2002), Erasing Ethical Border, Journal of Professional Issues In Engineering Education and Practice Volume 128 Number 3 : 112., American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Cristady, H. (2011) “Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah,” Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Croney, D. (1977). “The Design and Performance of Road Pavements. Transport and Road Research Laboratory”, London.
- Croney, D., Croney, P., (1998). Design and Performance of Road Pavements, 3rd ed. McGraw-Hill.
- Cullity B. D. (1956). Elements of X-Ray Difrraction. Second Edition : Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- Daksa, S. T. and Prastyanto, C. A. (2019) ‘Analisis Pemilihan Jenis Perkerasan Jalan untuk Perbaikan Kerusakan Perkerasan Jalan di Jalan Harun Thohir, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur’, Jurnal Transportasi, 2(11–15). doi: 10.12962/j26226847.v2i1.5705.
- Darlan (2014),” Konstruksi Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)”, Dinas Pekerjaan Umum dan penataan ruang, Kabupaten Grobongan. , <https://www.dpupr.grobogan.go.id/info/artikel/29-konstruksi-perkerasan-lentur-flexible-pavement>
- Dirjen Bina Marga (2017)“Manual Desain Perkersan jalan 2017” Kementerian Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat.
- Departemen Pekerjaan Umum (2006), “Campuran Beraspal Dingin dengan Bahan Peremaja Aspal Emulsi ”, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.

- Departemen Pekerjaan Umum, (1987). Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen. Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1989). Petunjuk Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Jalan Raya Dengan Metode Binamarga Analisa Komponen SKBI. Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2016), Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur, Pt T-01-2002-B, Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, (1987). Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, SKBI 2.3.26.1987, UDC : 625.73 (02), Yayasan Badan Penerbit PU
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, (2000). Buku 1. Pemanfaatan Asbuton. Umum No:001-01/BM/2006. Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006. Buku 3. Pemanfaatan Asbuton Campuran Beraspal Panas dengan Asbuton Olahan. No:001-03/BM/2006.
- Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, (2002). Pedoman Perencanaan tebal perkerasan lentur Pt T-01-2002-B. Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002. Pedoman Perencanaan Tebal perkerasan Lentur, Pt T-01-2002-B Jakarta: .
- Direktorat Jenderal Bina Marga, (2013). Manual Desain Perkerasan Jalan. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2013) Manual Desain Perkerasan Jalan
- Direktorat Jendral Bina Marga,(2013). Manual Desain Perkerasan Jalan, Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Direktorat Jendral Bina Marga, (2017). Manual Desain Perkerasan Jalan, Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Dirjen Bina Bina Marga. (2017) Manual Perkerasan
- Dirjen Bina Konstruksi BPTK KemenPUPR, (2018), Materi Suplemen Pengetahuan Pembekalan Ke Profesian Ahli Teknik Jalan, Jakarta

- Dirjen Bina Marga KemenPU, (1983), Aturan Bina Marga No. 03/MN/B/1983 tentang Manual Pemeliharaan Jalan, Jakarta.
- Dirjen Bina Marga KemenPUPR, (2017), Panduan Pemilihan Teknologi Pemeliharaan Preventif Perkerasan Jalan, Jakarta
- Erniati and Tjaronge, M. W. (2016) Mikrostruktur Self Compacting Concrete. 1st edn. Yogyakarta: Leutikaprio.
- Fultz B. (2013). Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials. Springer. ISBN 978-3-642-29761-8.
- Gul. W. A., Guler M., (2014). Rutting susceptibility of asphalt concrete with recycled concrete aggregate using revised Marshall procedure Construction and building materials, 55 hal. 341 – 349
- Hadihardaja, J., (1987). Rekayasa Jalan Raya. Gunadarma, Jakarta.
- Halcrow & Association, (2001), “Highway Construction Check List ”, Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Hanafiah, H.Z., Sulaiman, A.R., (2018). Rekayasa Jalan Raya. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., (2019). Perancangan Perkerasan Jalan Dan Penyelidikan Tanah. 3 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hariprasad, C., et. al. (2016). Light Weight Deflectometer for Compaction Quality Control. Indian Geotechnical Conference IGC 2016. Chennai.
- Harris, F., and McCaffer, R., (2001), Modern Construction Management, 5th Edition, Blackwell Science.
- Hartanti Atmadjaja, (2018), “Sejarah Perkerasan Jalan,” <https://docplayer.info/73325663-Bab-i-sejarah-perkerasan-jalan.html>
- Hary Christady, H., (2019). Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah, 3rd ed. UGM Press, Yogyakarta.
- Haryono, T., (2005), SNI on Line dan Dampaknya terhadap Permintaan Standar, Jurnal Standardisasi, Volume 7 No.2: 45-49, ISSN 1441-0822, Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- Hecker, P., A., (1997), Successful Consulting Engineering: A Lifetime of Learning, Journal of Management in Engineering, Volume 13 Number 6: 62-65, American Society of Civil Engineers (ASCE).

- Hendarsin, S. (2000) "Penentuan Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya," Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Hendarsin, S.L., (2000). Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya. Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Bandung.
- Henry, P. William, (2002), Professional Issues in Civil Engineering in the 21st
- Huang Y.H. (1993), Pavement Analysis And Design, University Of Kentucky, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Imam, H. P. (2008) "Perencanaan Perkerasan Jalan," Departemen Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta.
- Indriani, Made Novia, (2018). Metode-Metode Perhitungan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan. CV. Social Politic Genius, Makassar.
- Inokuma, A., (2002), Basic Study of Performance-Based Design In Civil Engineering, Journal of Professional Issues In Engineering Education and Practice Volume 128 Number 1 : 30-35., American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Israil, M.W. Tjaronge, Nur Ali, Rudy Djamaluddin (2016). Extraction of
- Jahren, C., T., and Federle, M., O., (1999), Implementation of Quality Improvement for Transportation Administration, Journal of Management in Engineering, Volume 15 Number 6 : 56-65, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Jastrzebski, Zbigniew D, (2004). The Nature and Properties of Engineering Materials, John Willey & Sons Inc. New York Jaya.
- Kasi, Muthiah, (1995), TQM on a Transportation Project, Journal of Management in Engineering, Volume 11 Number 3 : 21-23, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2013). Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017) "Konsep Dasar dan Konstruksi Perkerasan Kaku," Pusdiklat Jalan, Perumahan, Permukiman dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah, Jakarta.

- Kementerian Pekerjaan Umum, (2013). Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Kerbs, R.D., dan Walker, R.D. (1971), Highway Materials McGrawhill Book Company, New York.
- Kessides, C., and Ingram, K.G., (1994), Infrastructure's Impact on Development : Lesson from WDR 1994, Volume 1 Number 1 : 16-32, ASCE.
- Kessler, K. (2009). Use of DCP (Dynamic Cone Penetrometer) and LWD (Light Weight Deflectometer) for QC/QA on Subgrade and Aggregate Base. GeoHunan International Conference 2009.
- Khaerat, N., Samang, L., Ramli, I., Hamid, S., (2015), Study of Modes Transformation Preferences of Private Transport Based on Travel Characteristics and user Behavior, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 22 (2016) pp. 10766-10771 © Research India Publications. <http://www.ripublication.com>
- Kini, D., U., (1999), Materials Management: The Key to Successful Project Management, Journal of Management in Engineering, Volume 15 Number 1 : 30-34, American Society of
- Kisty, C. Jotin & Lall, B. Kent. (2006), "Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid 2. 1" Penerbit Erlangga Bandung.
- Kongkitkul, W., et. al. (2014). Correlations between the Surface Stiffness Evaluated by Light-Weight Deflectometer and Degree of Compaction. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.
- Kubal, Michael, T., (1996), The Future of Engineered Quality, Journal of Management in Engineering, Volume 12 Number 5 : 45-52, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Kumar, Ajay, (2000), Assessment of Selected Road Funds in Africa: Case Study of Benin, Ethiopia, Ghana, Kenya and Zambia, SSATP Working Paper

- No. 51, Sub-Saharan Africa Transport Policy Program (SSATP) The World Bank and Economic Commission.
- Li G., Yongqi Y., Metcalf J. B., Su-Seng P. (1999). Elastic modulus prediction of asphalt concrete. *Journal of material in civil engineering*, hal. 236 - 241.
- M. Sjahdanulirwan, Nono. (2009). Nilai Mekanistik Beton Aspal lapis Permukaan Terhadap Pengaruh Temperatur dan Pembebanan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Madi Hermadi, and M. Sjahdanulirwan (2008). Usulan Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Asbuton Lawele Untuk Perkerasan Jalan. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
- Martin, J. Campbell, (1993), *The Successful Engineer: Personal and Professional Skills – a Sourcebook*, McGraw-Hill, Inc, New York.
- Mazari, Mehran, et. al. (2017). Evaluating Stiffness Parameters of Unbound Geomaterial Layers Using Intelligent Compaction, Plate Load Test, and Light Weight Deflectometer. Dept. of Civil Engineering, California State Univ. Los Angeles, Los Angeles, CA.
- McCambridge, J., A., and Tucker, M., L., (1998), TQM Implementation in State Departments of Transportation: View From the Firing Line, *Journal of Management in Engineering* Volume 14 Number 1 : 49-57, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Millard, (1993), "Road Building in the Tropics", TRL, London, UK.
- Mulyono, A.T., dan Riyanto, B., (2005), Telaah Teknis terhadap Kinerja Mutu Perkerasan Jalan Nasional dan Propinsi, *Forum Teknik* ISSN:0216-7565, Volume: 29 Nomor:2, Hal: 79-90, FTUGM, Yogyakarta.
- Nils Ryden dan Michael A. Mooney, Analysis of surface waves from the light weight deflectometer, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29 (2009), pp. 1134–1142.
- Nur Khaerat Nur (2018), "Transformasi Moda Angkutan Pribadi", Penerbit Penerbit Nas Media Pustaka Makassar.
- Nyoman Suaryana, Anwar Yamin, Kurniadji, (2002), "Kesalahan kesalahan Umum dalam Penerapan Spesifikasi Baru Campuran Beraspal Panas", KRTJ Ke-7, Bali.

- Pd 03-2016-B. Pedoman Metoda Uji Lendutan Menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Pd T-05-2004-B Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Pd T-14-2003. Perencanaan perkerasan jalan beton semen. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Peraturan Pemerintah RI No.34. Tahun 2006 Tentang Jalan.
- Porter, J., C., (1998), Human Resources Strategies for Successful Consulting Engineering Firms, *Journal of Management in Engineering* Volume 14 Number 4 : 65-68, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Pusat Pembinaan Kompetensi Dan Pelatihan Konstruksi (Pusbin-Kpk), (2005), "Modul Rde - 11: Perencanaan Perkerasan Jalan", Departemen Pekerjaan Umum Badan Pembinaan Konstruksi Dan Sumber Daya Manusia.
- PUSBIN KPK PU (2005) 'Modul Rde - 12: Bahan Perkerasan Jalan', in. PUSBIN-KPK Departemen Pekerjaan Umum. Available at: http://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/32405/mod_resource/content/1/2005-12-Bahan Perkerasan Jalan.pdf.
- Pusdiklat Kemnetrian PUPR.(2016). Modul 2 Analisa Lalu Lintas Jalan
- Puspito, I. H. (2008) Perencanaan Perkerasan Jalan, Departemen Teknik Sipil Universitas Pancasila. Available at: <http://dosen.univpancasila.ac.id/dosenfile/4292211007148780092923February2017.pdf>.
- Rahman, Farhana, et. al. (2007). Intelligent Compaction Control of Highway Embankment Soil. Kansas State University Department of Civil Engineering, Manhattan.
- Reza Syahputra (2012), "Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)" <http://rezaslash.blogspot.com/2012/12/perkerasan-kaku-rigid-pavement.html>
- RN 31, (1993), "A Guide to the Structural Design of Bituminous-Surfaced Roads in Tropical and Sub-tropical Countries", TRL, London, UK.

- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R, Lee, D.Y., dan Kennedy, T.W. (1991). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. NAPA Education Foundation Lanham, Maryland.
- RSNI T-01-2005 Pengujian Indeks Kepipihan dan Kelonjongan.
- S. Silvia (1999) *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- S. Sukirman (1999) *Dasar - Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova.
- Saodang, H., (2005). *Konstruksi Jalan Raya; Perancangan Perkerasan Jalan Raya*. NOVA, Bandung.
- Saondang Hamirhan (2005). "Perancangan Perkerasan Jalan Raya". Penerbit Nova. Bandung
- Saripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*
- Senseny, C. T., et. al.(2012). *Genetic Algorithm to Optimize Layer Parameters in Light Weight Deflectometer Backcalculation*. *International Journal of Geomechanics*.
- Shell Bitumen. (2003): *The Shell Bitumen Handbook*, london. UK.
- Shell, (1995), "The Shell Bitumen Industrial Handbook", Shell Bitumen, UK.
- Singh, A., and Shoura, M., M., (1999), *Assessment of Organizational Change for Public Construction Organizations*, *Journal of Management in Engineering*, Volume 15 Number 4 : 59-70, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Sjahdanulirwan, (2006), *Hasil Audit Departemen PU: Konstruksi Jalan Nasional Buruk, Investor Daily Indonesia*, <http://www.investorindonesia.com>.
- SN Ahmad, B Mursidi, M Masdiana, (2020), *Assessment Karakteristik Kerusakan Lapis Permukaan Jalan Berbasis Metode Pavement Condition Indeks (PCI) (Studi Kasus: Jalan Kancil dan Jalan Belimbing Kota Kendari)* *Jurnal STABILITA* *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 7 (2), 191-196
- SN Ahmad, MT Azikin, AS Sukri, R Balaka, (2020) *Aplikasi Metode PCI (Pavement Condition Index) Dalam Mengukur Tingkat Kerusakan Jalan dan Pengaruhnya Terhadap Kecepatan Kendaraan*, *Jurnal*

REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, Halaman 17-22

SN Ahmad, T Harianto, L Samang, M Hustim, (2018), Level vulnerability damage of pavement using Pavement Condition Index method, MATEC Web of Conferences 181, 11003

SNI 03-1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus.

SNI 03-1971-1991 Pengujian Kadar Air Agregat Halus.

SNI 03-2417-1991 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.

SNI 03-2439-1991 Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal.

SNI 03-2816-1992 Pengujian Kadar Organik Pasir.

SNI 03-4137-1996. Metode pengujian tebal dan panjang rata-rata agregat

SNI 03-4142-1996. Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm).

SNI 03-4428-1997 Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir.

SNI 03-4804-1998 Pengujian Rongga Udara dalam Agregat.

SNI 03-6441-2000 Pengujian Viskositas Aspal Minyak dengan Alat Brookfield Termosel.

SNI 06-2432-1991 Pengujian Daktilitas Aspal.

SNI 06-2433-1991 Pengujian Titik Nyala Aspal.

SNI 06-2433-2011. Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal

SNI 06-2434-1991 Pengujian Titik Lembek Aspal.

SNI 06-2438-1991 Pengujian Kelarutan Aspal dalam C₂HCl₃.

SNI 06-2440-1991 Pengujian Kehilangan Berat Aspal.

SNI 06-2441-1991 Pengujian Berat Jenis Aspal.

SNI 06-2456-1991 Pengujian Penetrasi Aspal.

- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- SNI 15-7064-2004. Semen Portland komposit
- SNI 1969-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.
- SNI 1970-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.
- SNI 2417-2008. Cara Uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.
- SNI 2432:2011. Cara uji daktalitas Aspal.
- SNI 2432:2011. Cara uji penetrasi aspal
- SNI 2434:2011. Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring dan ball).
- SNI 2439:2011. Cara uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal.
- SNI 2441:2011. Cara uji berat jenis aspal keras.
- SNI 4798:2011, Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). Perkerasan Aspal. Direktorat Jendral Bina marga.
- Standar Nasional Indonesia 06-2489-1991. (1991). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Indonesia : Standar Nasional Indonesia.
- Starodubsky S., Blechman I., Livneh M., (1994). Stress-strain relationship for asphalt concrete in compression. *Material and structures*, 27, hal. 474 - 482.
- Stephen B., (2015) the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, March.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 2015
- Sugiyanto (2019), "Modul Ii.Perkerasan Kaku Jalan (Rigid Pavement) Uraian Materi I : Pengertian dan jenis susunan lapisan Perkerasan Kaku".

- Suhawono, (1994) “ Program Apresiasi Pengendalian Mutu Terpadu, Gugus Kendali Mutu dan ISO -9000 ”, Yayasan Manajemen Mutu Indonesia, Jakarta.
- Sukirman, S. (1999) “Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik ,” Nova, Bandung.
- Sukirman, S. (1999) “Perkerasan Jalan Lentur,” Nova, Bandung.
- Sukirman, S., (1999). Perkerasan Lentur Jalan Raya. NOVA, Bandung.
- Sukirman, S., (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. Bandung: Nova.
- Sukirman, S., (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. NOVA, Bandung.
- Sukirman, Silvia. (1999). Perkerasan Lentur Jalan Raya, Bandung : Nova.
- Sukirman, Silvia. (2012). Beton Aspal Campuran Panas. Bandung: penerbit Itenas.
- Suryadharma, Hendra. (2008). Rekayasa Jalan Raya. Yogyakarta: Univ. Atma Sutoyo, (2020) “Perancangan Campuran Beraspal”, Pendidikan Deepublish, Jakarta.
- Tehrani, Faraz S., Christopher L. Meehan.(2010). The Effect of Water Content on Light Weight Deflectometer Measurements. Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE.
- Tirado, C., et. al. (2015). Evaluating Influence Depth of Light Weight Deflectometer through Finite Element Modeling. Airfield and Highway Pavements. Center for Transportation Infrastructure Systems (CTIS), University of Texas at El Paso, Texas.
- US Army, Handbook (2000) “ Hot-Mix Asphalt Paving ”, US Army Corps of Engineers, USA.
- Van der Poel C (1954): Proceedings of 1st international congress of rheology, vol 2. Butterworth’s Scientific Publications, London.
- Waller, Fred. (1993). Use of Waste Materials in Hot Mix Asphalt. ASTM STP 1193. Conshocken: ASTM.
- Walubita, Lubinda F., Ven, Martin F C van de, (2000). Stresses and Strains in Asphalt-Surfacing Pavements.

- Widodo, Sri & Setyaningsih, Ika. (2013). Modulus Elastisitas dan Umur Perkerasan Jalan Beton Aspal sebagai Fungsi Kepadatan. Eco Rekayasa.
- Yoder.El dan Witzak. MW, (1975), Principles of Pavement Design, 2nd Edition JohnWiley & Sons Inc. Canada.

Biodata Penulis



Dr. Ir. Nur Khaerat Nur, S.T., M.T., IPM., ASEAN, Eng., lahir di Pangkajene dan Kepulauan pada tanggal 01 Oktober 1973, Putra ke 7 dari H. Mulia Nur dan Hj. Nurlina. Ia menyelesaikan kuliah dan mendapat gelar Sarjana Teknik Sipil pada 22 Maret 2000. Ia merupakan alumnus Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar. Pada tahun 2002 mengikuti Program Magister Perancangan Teknik Prasarana dan lulus pada tahun 2005 dari Universitas Hasanuddin, Makassar. Pada tahun 2012 Mengikuti Program Doktor Teknik Sipil Bidang Transportasi dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017 menyelesaikan Program Pendidikan Profesi Insinyur di Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia Makassar. Pada tahun 2008 diangkat menjadi Dosen Universitas Fajar Makassar dan ditempatkan di Fakultas Teknik pada Program Studi Teknik Sipil. Ia juga aktif hingga kini di dalam berbagai Organisasi Profesi antara lain Masyarakat Transportasi Indonesia (MTI) Sul-Sel, Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Sul-Sel, Masyarakat Perkereta Apian (MASKA) Sul-Sel. Kemudian aktif pula diberbagai organisasi antara Asosiasi anantara lain Ikatan Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO) Sul-Sel, Ikatan Dosen Indonesia (ADI) Sul-Sel.



Ir. Mahyuddin, S.T., M.T., IPM., Asean.Eng, lahir di Pinrang Sulawesi Selatan pada tanggal 01 Desember 1980. Penulis menyelesaikan kuliah Strata 1 (S1) dan mendapat gelar Sarjana Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar pada 31 Maret 2004. Pada Tahun 2009 melanjutkan Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2011 dari Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Serta pada tahun 2017 mengikuti Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Industri Universitas

Muslim Indonesia Makassar dan lulus pada tahun 2017. Sementara penulis melanjutkan pendidikan program Doktornya di Universitas Hasanuddin Makassar. Dan saat ini penulis menjadi Dosen tetap di kampus Universitas Fajar Makassar pada program studi Teknik Sipil.



Dr. Ir. Erniati Bachtiar, ST., MT. adalah anak ke dua dari pasangan Alm. Drs. H. Bachtiar Rasyid dan Hj. Hatijah Nur. Penulis lahir di Watampone, 06 Oktober 1977. Penulis menikah dengan Nur Zaman, SP., M.Si tahun 2006 dan Penulis telah memiliki 1 putra 2 putri yaitu Fitrah Alif Firmasnya, Fadhilah Dwi Fatimah dan Faiqah Fauziah. Penulis menyelesaikan studinya S1–Sarjana Teknik (S.T) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia (UMI) tahun 2000, S2 –Magister Teknik (M.T) Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Univeristas Gadjah Mada (UGM) tahun 2003, S3–Program Doktor (Dr) Program studi ilmu Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (UNHAS) tahun 2015. Mengikuti Program Profesi Insinyur (PPI) di UNHAS tahun 2019 dan telah peroleh gelar Insinyur (Ir) Tahun 2020. Bergabung jadi Dosen Tetap pada Universitas Fajar sejak tahun 2008 - sekarang. Penulis mengampuh mata kuliah Teknologi Bahan, Statika, Topik Khusus Struktur, Teknologi Bahan lanjut. Penulis sangat tertarik tentang penelitian tentang Self Compacting Concrete (SCC), Beton Geopolimer dengan Bahan Dasar Limbah Fly Ash, Beton Ringan dengan Agregat Buatan dari Limbah Plastik. Penulis telah menulis beberapa jurnal nasional dan internasional dan buku. Penulis sebagai Ketua Lembaga Pengembangan dan Penjaminan Mutu Internal LP2MI (2015-2018), Dekan FT (2019-sekarang), asesor BKD

dan Verifikator Sinta serta Ketua Tim PAK pada Universitas Fajar. SINTA ID: 5975589; Scopus ID :56568222900, email: emi@unifa.ac.id. HP/wa: 081354937610.



Ir. Miswar Tumpu, ST., MT., CST lahir di Ujung Pandang pada tanggal 23 Februari 1995. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Sipil, di Universitas Hasanuddin Makassar, selesai tahun 2016. Gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2018 di Universitas Hasanuddin, pada bidang konsentrasi Struktur Material. Pada tahun 2019, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2020 mengikuti pelatihan sebagai Construction Safety Trainer (CST) melalui Balai Jasa Konstruksi Wilayah VI Provinsi Sulawesi Selatan. Tahun 2019 – sekarang, sementara melanjutkan studi

S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin. Pada tahun 2019 bergabung menjadi Dosen Universitas Fajar. Aktivitas publikasi ilmiah baik nasional maupun internasional terindeks scopus dimulai sejak tahun 2018. Buku yang pernah diterbitkan yaitu berjudul :

1. Struktur Beton Prategang : Teori dan Prinsip Desain.
2. Lalu Lintas Penerbangan di Masa Pandemi Covid-19.
3. Pengembangan Teknologi dan Inovasi di Era Revolusi 4.0 (Konsep dan Penerapan).
4. Mitigasi Gempa Bumi & Tsunami (Fakta dan Strategi).
5. Strategi Pemulihan Perekonomian Pasca Covid-19.
6. Modernisasi Transportasi Massal di Indonesia (Sarana dan Prasarana).
7. Mitigasi Bencana Banjir (Analisis, Pencegahan dan Penanganan).
8. Implementasi dan Implikasi Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia (Target dan Strategi).
9. Pengelolaan Potensi Desa (Partisipasi dan Pemberdayaan Masyarakat).
10. Komunikasi di Era Digital.
11. Manajemen Transportasi Udara.

12. Manajemen K3 Konstruksi.
13. Investasi Pariwisata di Indonesia.
14. Etika Profesi (Multi Perpektif).
15. Sampah Sebagai Sumber Energi Alternatif.



Ir. Muhammad Ihsan Mukrim, ST., M.Eng., M.Sc. Lahir di Watampone, 20 Pebruari 1977. Menyelesaikan pendidikan dasar dan menengah di Watampone dan memperoleh gelar sarjana teknik sipil (2001) dan profesi insinyur (2019) dari Universitas Hasanuddin serta magister (S2) bidang teknik transportasi dari Universitas Gadjah Mada dan Asian Institute of Technology, Thailand (2010). Mulai bekerja tahun 1998, sebagai asisten

Laboratorium Hidraulika dan Ilmu Ukur Tanah pada Departemen Teknik Sipil Unhas, hingga 2002. Sejak 2001, bekerja pada beberapa perusahaan konsultan dan kontraktor, pada instansi pemerintah (sebagai staf Dinas Bina Marga Kota Makassar (2004-2005), staf Seksi Pembangunan Jalan Dinas Pekerjaan Umum Kota Makassar, 2005-2013), dan sebagai Kepala Seksi Pembangunan Bangunan Air dan Kepala Seksi Penelitian dan Pengawasan Bangunan Air, Dinas PU Makassar, tahun 2013-2014) serta pada beberapa lembaga pendidikan tinggi (Universitas Fajar, Institut Sains dan Teknologi Pembangunan Indonesia). Sejak 2015, bekerja sebagai Dosen DPK pada Prodi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik Baramuli.



Dr. Ir. Irianto, ST., MT lahir di Cabbenge Sopeng pada tanggal 20 Juni 1979. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Pertambangan, di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, selesai tahun 2002. Gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2012 di Universitas Hasanuddin, pada bidang konsentrasi Perencanaan Infrastruktur. Pada tahun 2020, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2021, mmenyelesaikan studi S-3 ilmu teknik sipil di

Universitas Hasanuddin. Merupakan salah satu Dosen di program studi Teknik Sipil di Universitas Yapis Papua.



Yuliyanti Kadir di Gorontalo, pada 30 April 1972. Pada Tahun 1990 diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Tahun 1998 terangkat sebagai PNS di STKIP Gorontalo yang kemudian tahun 2004 berubah menjadi Universitas Negeri Gorontalo. Tahun 2000 diberi kesempatan belajar oleh pimpinan STIKIP untuk melanjutkan pendidikan di Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang Jurusan Teknik Sipil dan diselesaikan pada Tahun 2003. Selama mengabdikan di Universitas negeri Gorontalo penulis mengajar beberapa mata kuliah Teknik Lalu Lintas, Dasar Dasar Transportasi, Perancangan Perkerasan Jalan, Manajemen Transportasi, Perancangan Transportasi dll.



Ir. Triana Sharly P. Arifin, S.T., MSc, lahir di Samarinda, 21 Juli 1987. Menempuh Pendidikan S1 Teknik Sipil Universitas Mulawarman Samarinda selesai Tahun 2009; Kemudian melanjutkan Studi S2 Magister Sistem dan Teknik Transportasi UGM Yogyakarta angkatan tahun 2012. Saat ini penulis menjadi Dosen di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Mulawarman Program Studi Teknik Sipil. Selain disibukkan sebagai tenaga pendidik, penulis juga banyak melakukan kegiatan penelitian. Diantara penelitian yg pernah dilakukan antara lain; Masterplan Road Network in The Border Region Nunukan And Malinau Regency of The North Kalimantan Province serta aktif Menulis di beberapa Jurnal lainnya. Pengabdian yang pernah dilakukan: Menjadi Narasumber dalam Kegiatan Evaluasi Kualitas Udara Perkotaan Tahun 2015 Dan 2016; Narasumber pada Pelatihan pada Supir Angkutan Kota dengan Judul “Problematika Transportasi di Kota Samarinda”.



Dr. Ir. Siti Nurjanah Ahmad, ST., MT Lahir di Bau-Bau pada tanggal 06 Juni tahun 1969. Menyelesaikan kuliah strata satu dan mendapat gelar Sarjana Teknik pada tahun 1996. Ia merupakan alumnus Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia Makassar. Pada tahun 1998 mengikuti Program Magister Sistem dan Teknik Transportasi dan lulus pada tahun 2000 dari Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pada Tahun 2013 menyelesaikan Program Pendidikan Profesi Insinyur di PPI Pusat Jakarta. Pada tahun 2014 mengikuti Program Doktor Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2019 dari Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar. Sejak April Tahun 2006 diangkat menjadi Dosen PNS Universitas Halu Oleo Kendari dan ditempatkan di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil sampai sekarang.

Beberapa Buku referensi dan buku ajar yang telah dihasilkan antara lain : Pengantar Sistem Transportasi, Pengantar Manajemen Resiko dalam Proyek Konstruksi, Transportasi Perkotaan, Aspek Hukum Kontrak Konstruksi, dan beberapa Book Chapter antara lain : Mitigasi Bencana Banjir (Analisis Pencegahan dan Penanganannya), Modernisasi Transportasi Massal di Indonesia, Sampah sebagai Sumber Energi Alternatif dan Manajemen Sumber Daya manusia.

Email: nurjanaharifuddin@gmail.com



DR. Masdiana, ST., MT. lahir di Kota Ujung Pandang Propinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 15 Januari 1974 Alamat Jl Cakalang No.17 Kendari. Email masdiana@uho.ac.id. Ia tercatat sebagai lulusan Sarjana Teknik (S1) Jurusan Teknik Sipil di Universitas Muslim Indonesia Makassar tahun 1999, lulusan Magister Teknik (S2) Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Struktur di Universitas Hasanuddin tahun 2014 dan lulusan Program Doktor Ilmu Teknik (S3) Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Struktur di Universitas Hasanuddin tahun 2018. Wanita yang kerap disapa "Dhiana" ini adalah anak dari pasangan Ir. H. Syamsu Yusuf, MT. (ayah) dan almh Hj. Mas'ati (ibu). Ia merupakan salah satu dosen tetap PNS di Program Pendidikan Vokasi D3 Teknik Sipil Universitas

Halu Oleo Sulawesi Tenggara yang mengampu mata kuliah struktur, telah menulis buku antara lain "Lalu Lintas Penerbangan di Masa Pandemi COVID-19", "Mitigasi Gempa Bumi dan Tsunami", "Mitigasi Banjir", "Modernisasi Transportasi Massal di Indonesia (Sarana dan Prasarana)" dan "Media Pembelajaran"



Dr. Ir. Hasmar Halim, ST., MT. Lahir di Kota Makassar pada tanggal 29 Mei 1967. Pada Tahun 1985 diterima sebagai staf instruktur di Politeknik UNHAS dan mengikuti ikatan dinas pada tahun yang sama untuk melanjutkan studi di Politeknik ITB Jurusan Teknik Sipil. Proses penyelesaian studi ditempuh selama 3 tahun. Pada tahun 1990 terangkat menjadi Pegawai Negeri Sipil (PNS) di Politeknik UNHAS yang kemudian hari berubah menjadi Politeknik Negeri Ujung Pandang. Kemudian pada Tahun 1992 diberi kesempatan untuk melanjutkan pendidikan untuk tingkat Strata 1 di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (UNHAS) dan diselesaikan pada Tahun 1997. Setelah pendidikan strata 1 diselesaikan pada Tahun 1997 terangkat menjadi Dosen Tetap di Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP). Pada Tahun 1999 menerima amanah dari Pimpinan Politeknik untuk melanjutkan pendidikan di Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang Jurusan Teknik Sipil. Pendidikan Strata 2 diselesaikan pada Tahun 2001. Selanjutnya pada periode Tahun 2013 – 2018 diberi kesempatan untuk melanjutkan pendidikan tingkat doctoral di Pascasarjana Universitas Hasanuddin Jurusan Teknik Sipil. Selama mengabdikan di Politeknik Negeri Ujung Pandang penulis mengampu beberapa mata kuliah Rekayasa Lalu lintas, Pelabuhan, Ilmu Ukur Tanah, Perencanaan Perkerasan Jalan, Perencanaan Geometrik Jalan, Aplikasi Komputer, GIS dll. Disamping buku, ada beberapa artikel ilmiah telah penulis publikasikan baik nasional maupun pada jurnal internasional berreputasi. email: hasmar29@poliupg.ac.id dan HP/wa: 0812 4180 242.



Syukriah Katjo lahir di Majene, pada 27 Desember 1976. Ia anak kesembilan dari duabelas bersaudara, buah dari pasangan H. Katjo dan Hj. Aras . Syukriah adalah panggilan akrabnya , ia terlahir di keluarga sederhana, Ayahnya seorang Pengusaha, ibunya bekerja sebagai Wiraswsata. Sejak kecil dia selalu di nasehati oleh ayahnya untuk selalu rajin beribadah, jujur, dan baik terhadap sesama. Wanita berkerudung ini memiliki motto "Man Jadda Wajada" dalam hidupnya, yang artinya siapa yang bersungguh-sungguh pasti akan berhasil. Maka dari sekarang pun ia sangat bersungguh-sungguh dan berusaha untuk mengejar cita-citanya menjadi seorang Ibu Professor. Dia memegang posisi mengajar di Universitas Sulawesi Barat . Dia adalah sorang ahli bidang teknik sipil transportasi.

PERANCANGAN PERKERASAN JALAN

Buku ini sangat berguna bagi mahasiswa, pemerhati, dan pekerja dengan berbagai bidang profesi pekerjaan. Struktur penyajian Buku ini terbangun atas dua belas bab, Sejarah dan Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan, Jenis dan Fungsi Lapis Perkerasan, Bahan-Bahan Pembentuk Struktur Perkerasan Jalan, Tahapan pembangunan jalan, Parameter Perencanaan Tebal Lapisan Konstruksi Perkerasan, Perencanaan Metoda Campuran, Perancangan Tebal Perkerasan, Metoda Pelaksanaan di lapangan, Kerusakan dan Pemeliharaan Perkerasan Jalan, Perancangan Tebal Perkerasan Kaku dan Pelaksanaannya dilapangan, Tebal perkerasan lentur metode analisa komponen (BM) konstruksi langsung dan overlay. Jenis kerusakan lapisan tambah (overlay) pada perkerasan kaku.



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

ISBN 978-623-342-128-7

