



PERKERASAN BETON

— — **UNTUK JALAN** — —
DENGAN VOLUME LALU LINTAS RENDAH

Nyoman Suaryana G. • Panji Krisna Wardana • Rully Ranastra Irawan



© KIRI, M. T. RABHAT, IPERSURU, C. L. K. A. T.

PERKERASAN BETON

— — **UNTUK JALAN** — —
DENGAN VOLUME LALU LINTAS RENDAH



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PERKERASAN BETON

— — **UNTUK JALAN** — —
DENGAN VOLUME LALU LINTAS RENDAH

Nyoman Suaryana G. • Panji Krisna Wardana • Rully Ranastra Irawan



LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2017 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR)
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (Pusjatan)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Perkerasan Beton untuk Jalan dengan Volume Lalu Lintas Rendah/Nyoman Suaryana G.,
Panji Krisna Wardana, dan Rully Ranastra Irawan–Jakarta: LIPI Press, 2017.

xviii hlm. + 131 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN: 978-979-799-924-7 (cetak)
978-979-799-925-4 (e-book)

- | | |
|---------------------|----------|
| 1. Perkerasan beton | 2. Jalan |
| 3. Lalu lintas | |

624.183 4

Copyeditor : M. Kadapi
Proofreader : Risma Wahyu Hartiningsih, Noviaстuti Putri I.
Penata isi : Astuti Krisnawati dan Rahma Hilma Taslima
Desainer sampul : D.E.I.R. Mahelingga

Cetakan pertama : Desember 2017



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Jln. R.P. Soeroso No. 39, Menteng, Jakarta 10350
Telp: (021) 314 0228, 314 6942. Faks.: (021) 314 4591
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id
 LIPI Press
 @lipi_press



Bekerja sama dengan:
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jln. A.H. Nasution No.264 Kotak Pos 2 Ujung Berung, Bandung 40294

Buku ini merupakan karya buku yang terpilih dalam Program Akuisisi
Pengetahuan Lokal Tahun 2021 Balai Media dan Reproduksi (LIPI Press),
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.



Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi
Internasional Creative Commons
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
PENGANTAR PENERBIT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
PRAKATA	xvii
BAB I JALAN BETON VOLUME LALU LINTAS RENDAH UNTUK MENDUKUNG PRASARANA TRANSPORTASI NASIONAL: SUATU PENGANTAR.....	1
BAB II JALAN BETON DI KABUPATEN/KOTA.....	5
A. Mutu Beton.....	5
B. Tipikal Struktur Jalan Beton.....	7
BAB III PERANCANGAN TEBAL JALAN BETON	21
A. Umum	21
B. Metode Perancangan	23
C. Tegangan Kritis.....	30
D. Contoh Perhitungan	36
BAB IV SIMULASI DESAIN	41
A. Tahapan Simulasi Desain.....	41
B. Pengaruh Temperatur.....	44
C. Pengaruh Mutu Beton.....	48
D. Pengaruh Lalu Lintas	50
E. Pengaruh Modulus Reaksi Tanah (CBR).....	52
F. Pengaruh Sumbu Terberat.....	53

BAB V PENGEMBANGAN DESAIN KATALOG.....	55
A. Umum	55
B. Beban MST dan Volume Lalu Lintas	55
C. Mutu Beton	61
D. Perbedaan Temperatur	62
E. Tanah Dasar dan Lapis Fondasi Bawah.....	62
F. Sambungan Ruji (<i>Dowel</i>).....	63
G. Desain Katalog.....	64
BAB VI PELAKSANAAN JALAN BETON.....	67
A. Umum	67
B. Penyiapan Tanah Dasar dan Lapis Fondasi.....	68
C. Pengecoran Beton Kuras	69
D. Penyiapan Pembetonan.....	70
E. Pembetonan.....	74
F. Penyelesaian Akhir.....	81
G. Pembukaan untuk Lalu lintas	86
H. Harga Satuan.....	86
BAB VII KESALAHAN UMUM	91
A. Umum	91
B. Kesalahan pada Tahap Persiapan	92
C. Kesalahan pada Tahap pembetonan	97
D. Kesalahan pada Tahap Penyelesaian	111
BAB VIII STRATEGI OPTIMALISASI JALAN BETON UNTUK VOLUME LALU LINTAS RENDAH.....	117
DAFTAR PUSTAKA.....	121
GLOSARIUM	125
INDEKS	127
BIOGRAFI PENULIS.....	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Inti Beton Perkerasan Kaku terhadap 300 Sampel Uji.....	6
Gambar 2.	Distribusi Hasil Pengujian Kuat Tekan Inti Beton Perkerasan Beton.....	6
Gambar 3.	Tampak Jalan Raya Cibinong, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,6 m di Kabupaten Bogor.....	8
Gambar 4.	Tampak Jalan Perdesaan, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,6 m di Kabupaten Bogor.....	8
Gambar 5.	Tampak Jalan Ragajaya, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,6 m di Kabupaten Bogor.....	9
Gambar 6.	Tampak Jalan Kali Putih, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Kabupaten Bogor.....	9
Gambar 7.	Tampak Jalan Desa Babakan Madang, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Kabupaten Bogor.....	9
Gambar 8.	Tampak Jalan Desa Batu Layang–Puncak Bogor, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Kabupaten Bogor.....	10
Gambar 9.	Tampak Jalan Undaan–Ngemplek, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 3,5 m di Undaan, Kab. Kudus.....	12
Gambar 10.	Gambar Penulangan Jalan Undaan–Ngemplek, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300) dan Lebar 3,5 m di Undaan, Kab. Kudus.....	12
Gambar 11.	Tampak Jalan Permukiman/Perdesaan, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Undaan, Kab. Kudus.....	13

Gambar 12.	Tampak Jalan Gulang–Payaman, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,0 m di Undaan, Kab. Kudus	13
Gambar 13.	Tampak Jalan Payaman–Karang Rowo, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,0 m di Kab. Kudus	14
Gambar 14.	Tampak Jalan Payaman–Karang Rowo, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,0 m di Kab. Kudus (Lanjutan)	14
Gambar 15.	Tampak Jalan Gondang Manis, Tebal Perkerasan Kaku 25 cm (K350), Lebar 4,5 m di Kab. Kudus	15
Gambar 16.	Tampak Jalan Atmodirono, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), lebar 9 m di Kota Semarang.....	17
Gambar 17.	Perancangan Jalan Perkerasan Kaku Jalan Kota Lalu Lintas Sedang dengan Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,5 m di Kota Semarang.	18
Gambar 18.	Periode Desain vs PSI	22
Gambar 19.	Tegangan Tarik Maksimum Akibat Beban pada Siang Hari.....	31
Gambar 20.	Tegangan Tarik Maksimum Akibat Beban pada Malam Hari.....	32
Gambar 22.	Radius Bidang Kontak untuk Beban Roda Ganda.....	34
Gambar 21.	Penempatan Beban Roda Ganda pada Tepi Perkerasan Kaku	34
Gambar 23.	Fluktuasi Temperatur Perkerasan dan Udara di Lokasi Uji Coba Skala Penuh, Buntu-Kebumen.....	43
Gambar 24.	Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250) dengan <i>Subbase</i>	45
Gambar 25.	Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K300) dengan <i>Subbase</i>	45
Gambar 26.	Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250 & K350) dengan <i>Subbase</i>	46
Gambar 27.	Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250) tanpa <i>Subbase</i>	46
Gambar 28.	Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K300) tanpa <i>Subbase</i>	47

Gambar 29.	Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250 & K350) tanpa <i>Subbase</i>	47
Gambar 30.	Grafik Hubungan Mutu Beton-Tebal Perkerasan Kaku dengan <i>Subbase</i>	49
Gambar 31.	Grafik Hubungan Mutu Beton-Tebal Perkerasan Kaku tanpa <i>Subbase</i>	49
Gambar 32.	Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K250) dengan <i>Subbase</i>	50
Gambar 33.	Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K300) dengan <i>Subbase</i>	51
Gambar 34.	Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K250) tanpa <i>Subbase</i>	51
Gambar 35.	Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K300) tanpa <i>Subbase</i>	52
Gambar 36.	Grafik Hubungan CBR-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K250 & K300)–dengan & tanpa <i>Sub Base</i>	53
Gambar 37.	Grafik Pengaruh MST pada Tebal Perkerasan.....	54
Gambar 38.	Sambungan Susut Melintang Tanpa Ruji.....	64
Gambar 39.	Sambungan Susut Melintang dengan Ruji.....	64
Gambar 40.	Tipikal Konstruksi Jalan Beton.....	67
Gambar 41.	Tipikal Pengecoran Beton Kurus (Tanpa <i>Subbase</i>).....	70
Gambar 42.	Tipikal Ruji dan Batang Pengikat.....	72
Gambar 43.	Tipikal Pemasangan Acuan, Lembar Plastik, Ruji, Batang Pengikat dan Sambungan Konstruksi.....	72
Gambar 44.	Beda Lendutan pada Sambungan Jalan Beton Tebal 15 cm.....	74
Gambar 45.	Penghamparan dan Pemasangan.....	78
Gambar 46.	Penghalusan Beton dengan Pelepa dan Pembuatan Alur Awal dengan Penarikan Kain/Karung Goni.....	80
Gambar 47.	Pembuatan Alur dengan Sisir Kawat sampai Kedalaman 3–6 mm.....	80
Gambar 48.	Perawatan dengan Cara Penyemprotan Pigmen Putih	81
Gambar 49.	Karakteristik Beton dan Waktu untuk Penggergajian (<i>Sawing</i>).....	83

Gambar 50.	Pembuatan Sambungan/Penggergajian	84
Gambar 51.	Penutup Sambungan dengan Termoplastik Tuang Panas dan <i>Sealant</i>	85
Gambar 52.	Tipikal Kerusakan Jalan Beton	92
Gambar 53.	Tipikal Pemasangan Ruji yang Salah.....	96
Gambar 54.	Tipikal Pemasangan Batang Pengikat yang Salah	96
Gambar 55.	Retak Memanjang Akibat Tidak Adanya Sambungan Memanjang.....	97
Gambar 56.	Tipikal Kondisi Kelembapan Agregat.....	98
Gambar 57.	Hubungan Antara Faktor Air-Semen dan Kekuatan Beton	101
Gambar 58.	Kesalahan Menyebarkan Tumpukan Adukan Beton dengan Vibrator.....	102
Gambar 59.	Laju Penguapan Air dalam Adukan Beton.....	104
Gambar 60.	Bentuk-bentuk <i>Slump</i>	106
Gambar 61.	Posisi Vibrator Ketika Digunakan.....	107
Gambar 62.	Pengaturan Jarak Pindah Vibrator	108
Gambar 63.	Pemadatan yang Kurang Baik Menyebabkan Beton Keropos.....	109
Gambar 64.	Metode Perawatan Beton Menggunakan Goni/ <i>Burlap</i>	111
Gambar 65.	Pengaruh Perawatan terhadap Mutu Beton dengan Rasio Air/Semen 0,5.....	112
Gambar 66.	Retak Terjadi Akibat Terlambat/Kurang Dalam Penggergajian	113
Gambar 67.	Perbedaan Nilai Konversi Kuat Tekan Silinder Akibat Perbedaan Tipe Semen.....	114
Gambar 68.	Perbedaan Nilai Konversi Kuat Lentur Akibat Perbedaan Tipe Semen.....	115

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Informasi Data Teknis Jalan, Lokasi Kab. Bogor	8
Tabel 2.	Informasi Data Teknis Jalan, Lokasi Kudus	11
Tabel 3.	Informasi Data Teknis Jalan, Lokasi Semarang	16
Tabel 4.	Nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (k).....	26
Tabel 5.	Nilai Modulus reaksi efektif (k').....	27
Tabel 6.	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas Minimum	28
Tabel 7.	Penentuan Nilai Koefisien 'C'	36
Tabel 8.	Parameter Desain	41
Tabel 9.	Perbandingan Jarak Sambungan (<i>Joint Spacing</i>).....	42
Tabel 10.	Kontrol Tegangan.....	43
Tabel 11.	Penentuan Deskripsi Jalan, Kelas Jalan Volume Lalu Lintas dan Beban Maksimum	60
Tabel 12.	Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi (C) Kendaraan Niaga.....	60
Tabel 13.	Desain Katalog Jalan Beton untuk Jalan dengan Volume Lalu Lintas Rendah.....	65
Tabel 14.	Jenis dan Kegunaan Bahan Tambah.....	76
Tabel 15.	Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (<i>Core Drill</i>)	82
Tabel 16.	Kuat Tekan Minimum untuk Pembukaan Lalu lintas Proyek	86
Tabel 17.	Kuat Tekan Minimum untuk Pembukaan Lalu lintas Umum	86

Tabel 18.	Tipikal Analisis Harga Satuan Lapis Fondasi.....	87
Tabel 19.	Tipikal Analisis Harga Satuan Beton Kurus $f_c' = 7$ sampai 8,5 MPa (K80 sampai K100).....	88
Tabel 20.	Tipikal Analisis Harga Satuan Beton mutu $f_c' = 20$ MPa (K250)	89
Tabel 21.	Deviasi Standar.....	93

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Penyediaan terbitan ilmiah yang berkualitas adalah salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk turut serta mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Buku ilmiah *Perkerasan Beton untuk Jalan dengan Volume Lalu Lintas Rendah* ini berusaha memberikan solusi dan pencerahan bagi pemecahan masalah terkait standarisasi dan metode perancangan dan pembangunan perkerasan beton untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah. Buku ini hadir sebagai kontribusi dari Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) bagi pembangunan infrastruktur jalan yang banyak digunakan di kabupaten/kota serta jalan pedesaan/pemukiman.

Buku ini berusaha menghadirkan standar, klasifikasi serta metode perancangan dan pelaksanaan yang sama. Selain itu, buku ini berusaha menawarkan penggunaan mutu beton, ketebalan beton, dan penggunaan tulangan beton yang berbeda dengan yang biasa digunakan untuk pekerjaan perkerasan beton lainnya.

Semoga buku ini dapat memberi kontribusi ilmiah baru bagi dunia pengetahuan dan pembangunan. Buku ini diharapkan dapat memudahkan para pembaca dan menjadi acuan semua pihak untuk menunjang program pemerintah dalam pembangunan infrastruktur

Buku ini tidak diperjualbelikan.

jalan, khususnya perancangan perkerasan beton untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

Sejalan dengan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJN) 2005–2025, Iptek merupakan salah satu unsur penting untuk menyelesaikan berbagai persoalan dalam pembangunan. Salah satu cara diseminasi yang digunakan oleh Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat untuk memasyarakatkan produk Iptek yang telah dihasilkan adalah melalui buku. Kehadiran buku-buku Iptek tentunya sangat bermanfaat bagi pembangunan infrastruktur di masa yang akan datang.

Apresiasi yang tinggi disampaikan atas terbitnya buku ilmiah yang berjudul *Perkerasan Beton untuk Jalan dengan Volume Lalu Lintas Rendah*.

Tidak bisa dipungkiri buku ini masih terdapat kekurangan, namun kami berharap agar buku ini mampu memberikan pencerahan dan menjadi salah satu solusi pemecahan masalah yang sering dihadapi oleh para pemangku kepentingan. Utamanya dalam perancangan, pelaksanaan, dan evaluasi pembangunan infrastruktur pekerjaan umum dan perumahan rakyat.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Semoga buku ini semakin meningkatkan pengetahuan akan teknologi perkerasan jalan dan bermanfaat untuk para pemangku kepentingan.

Bandung, Maret 2017

Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

Dr. Eng. Herry Vaza, M.Eng.Sc.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA

Perkerasan beton merupakan perkerasan jalan yang berumur panjang dan tahan terhadap air, namun relatif lebih mahal dibandingkan perkerasan jalan beraspal. Perkerasan beton dapat digunakan, baik untuk jalan dengan volume lalu lintas berat maupun untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah. Pada saat ini buku yang mengulas metode perancangan dan pelaksanaan perkerasan beton untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah, yaitu jalan dengan volume lalu lintas di bawah 500 kendaraan niaga per hari, belum banyak tersedia di Indonesia.

Buku tentang perkerasan beton untuk jalan dengan volume kendaraan yang rendah (volume lalu lintas rendah) mempunyai perbedaan dibanding dengan buku perkerasan beton lainnya, yaitu pada penggunaan mutu beton yang lebih rendah, yakni K250 dan mempunyai ketebalan yang tipis, yaitu sampai dengan 15 cm. Dengan adanya perbedaan tersebut maka metode perhitungan yang digunakan akan berbeda karena tidak dapat menggunakan tabelaris yang tersedia, namun harus dihitung terlebih dahulu dengan metode empiris-mekanistik. Demikian juga metode pelaksanaan konstruksi akan menjadi lebih sederhana.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Perumahan Rakyat (PUPR) serta LIPI Press sebagai penerbit Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah memfasilitasi penerbitan buku ini. Atas segala bantuan dan kerja sama dari berbagai pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan buku ini, diucapkan banyak terima kasih.

Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menjadi acuan untuk menunjang program pemerintah dalam pembangunan infrastruktur jalan, khususnya untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah.

Bandung, Maret 2017

Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB I

JALAN BETON VOLUME LALU LINTAS RENDAH UNTUK MENDUKUNG PRASARANA TRANSPORTASI NASIONAL: SUATU PENGANTAR

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi yang mempunyai peran yang sangat strategis dalam bidang ekonomi, sosial, budaya, dan hankam. Indonesia memiliki kurang lebih 488.181 km ruas jalan yang secara administratif terdiri atas jalan nasional, jalan provinsi, dan jalan kabupaten/kota. Dari total panjang ruas jalan tersebut, sepanjang 47.017 km merupakan jalan nasional, 978 km jalan tol, 47.666 km jalan provinsi, dan 392.521 km jalan kabupaten/kota (Bina Marga 2015). Berdasarkan data tersebut, panjang jalan kabupaten/kota mencapai kurang lebih 80% dari panjang jalan di Indonesia. Jalan kabupaten/kota didominasi oleh jalan dengan volume lalu lintas yang rendah (*low volume roads*), bahkan pada beberapa ruas jalan nasional, masih terdapat beberapa ruas yang dapat dikategorikan sebagai jalan dengan volume lalu lintas rendah.

Menurut American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993), jalan dengan volume lalu lintas yang rendah adalah jalan yang akan dilewati beban lalu lintas kurang dari 1 juta *Equivalent Single Axle Load* (ESAL 18-kip/8,2 ton) selama umur rencana. Sementara itu, menurut Perrie (2008) jalan dengan volume lalu lintas yang rendah didefinisikan sebagai jalan dengan Lintas Harian Rata-Rata (LHR) kurang dari 1.000 kendaraan dengan kendaraan berat kurang dari 15%, dan sangat sedikit kendaraan berat melebihi 8,2 ton sumbu tunggal. Batasan lain yang digunakan antara lain oleh Indian Roads Congress (IRC 2014) adalah volume lalu lintas

LHR lebih kecil dari 450 *Commercial Vehicle Per Day* (CVPD). CVPD adalah kendaraan komersial dengan beban gandar lebih dari 60 kN (3 ton) dan kurang dari 100 kN (10 ton).

Struktur perkerasan untuk jalan dengan lalu lintas rendah dapat dibagi menjadi 3 kategori (AASHTO 1993), yaitu jalan kerikil (tanpa penutup), perkerasan lentur, dan perkerasan kaku. Teknologi perkerasan kaku (jalan beton) mempunyai keunggulan dibandingkan teknologi perkerasan lentur (jalan aspal), antara lain:

1. Lebih tahan terhadap perubahan cuaca karena pada musim panas tidak melunak dan pada musim hujan lebih tahan terhadap air.
2. Permukaan jalan beton tidak mudah terkikis air hujan, termasuk saat air menggenang atau banjir.
3. Jalan beton juga dapat dipakai di atas permukaan tanah yang relatif lemah, yaitu di atas tanah dengan kekuatan California Bearing Ratio (CBR) sampai dengan 2,5%.
4. Semen sebagai bahan baku jalan beton lebih mudah didapatkan sampai ke pelosok daerah.
5. Pemeliharaan jalan beton lebih hemat.

Sementara itu, kekurangan dari jalan beton antara lain:

1. Biaya pembangunan jalan beton lebih mahal.
2. Kerataan jalan beton umumnya lebih buruk daripada jalan aspal dan akan sangat terasa jika dilalui dengan kecepatan tinggi.
3. Warna beton tergolong monoton sehingga memberi kesan membosankan bagi pengendara. Selain itu, warna beton juga memberikan kesan gersang dan panas.
4. Tingkat kebisingan yang ditimbulkan oleh jalan beton relatif tinggi.

Teknologi jalan lalu lintas rendah, khususnya untuk jalan dengan perkerasan kaku (jalan beton), belum banyak dikembangkan di Indonesia. Teknologi untuk perkerasan kaku di Indonesia yang telah dibuat umumnya dibatasi untuk lalu lintas sedang dan berat, yaitu pada jalan yang dilewati kendaraan lebih dari 1 juta ESAL (18-kip/8,2 ton) selama umur rencana atau lintas harian rata-rata (LHR) kendaraan niaga lebih dari 500 kendaraan per hari.

Pedoman jalan beton untuk lalu lintas sedang dan berat diatur dalam Pd T-14-2003 tentang Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton dan Pd T-05-2004-B tentang Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen serta Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, Kementerian PUPR. Buku-buku ilmiah mengenai jalan yang ada saat ini di pasaran banyak mengacu pada pedoman tersebut dan lebih dikhususkan untuk jalan dengan volume lalu lintas tinggi.

Pada saat ini jalan beton sudah mulai banyak digunakan di jalan kabupaten/kota. Jalan tersebut dapat diklasifikasikan sebagai jalan dengan volume lalu lintas rendah. Berdasarkan hasil survei tahun 2015 Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan), metode perancangan tebal jalan beton yang digunakan berbeda antarkabupaten/kota. Perbedaan tersebut terlihat mulai dari perbedaan dalam penggunaan mutu beton, ketebalan atau perbedaan dalam penggunaan tulangan. Metode pelaksanaan konstruksi yang digunakan juga terlihat berbeda antarkabupaten/kota, seperti metode penggunaan pematat, metode pembuatan sambungan, dan metode perawatan (*curing*) beton.

Pusat Litbang jalan dan Jembatan (Pusjatan) telah melakukan kajian mengenai teknologi jalan beton untuk lalu lintas rendah yang dianggap sesuai dengan kondisi Indonesia. Hasil kajian tersebut disajikan dalam buku ilmiah ini. Kajian perancangan tebal jalan beton dilakukan dengan metode empiris-mekanistik dan selanjutnya disederhanakan menjadi sebuah desain katalog berbentuk tabelaris. Simulasi hasil perancangan juga ditampilkan untuk memudahkan

pemahaman mengenai parameter-parameter yang berpengaruh pada perancangan tebal perkerasan jalan beton. Selanjutnya, kajian pelaksanaan konstruksi dilakukan dengan mengkaji teknologi konstruksi yang ada dan melakukan beberapa uji coba. Kemudian membuat beberapa penyederhanaan untuk menyesuaikan dengan sumber daya yang ada, khususnya untuk pembangunan jalan di kabupaten/kota dan permukiman. Dalam buku ini metode pelaksanaan konstruksi yang telah disederhanakan akan disajikan mulai tahap persiapan, pembetonan sampai penyelesaian akhir, dan sebagai pelengkap disajikan juga analisis harga satuan pekerjaan. Tipikal kesalahan umum yang banyak dijumpai dalam pelaksanaan konstruksi jalan beton juga dibahas secara rinci.

Jalan beton yang dirancang dan dibangun dengan baik akan bermanfaat bagi pengguna berupa jalan yang kuat dan tahan lama sampai dengan umur 20 tahun atau lebih (Yoder dan Witczak 1975). Namun, sering kali dijumpai jalan beton yang cepat rusak sebagai akibat perancangan dan pelaksanaan yang kurang baik. Pengerjaan jalan beton harus benar-benar sesuai dengan prosedur yang baku, jika tidak maka konstruksi akan mengalami kegagalan. Proses pengerjaan harus diawasi secara ketat agar tidak terjadi kesalahan dalam pelaksanaan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB II

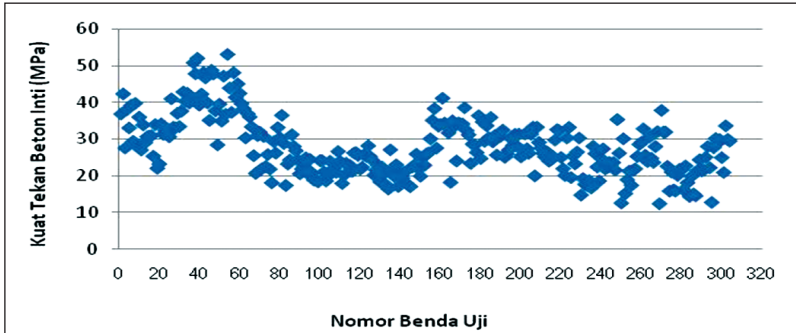
JALAN BETON DI KABUPATEN/KOTA

A. MUTU BETON

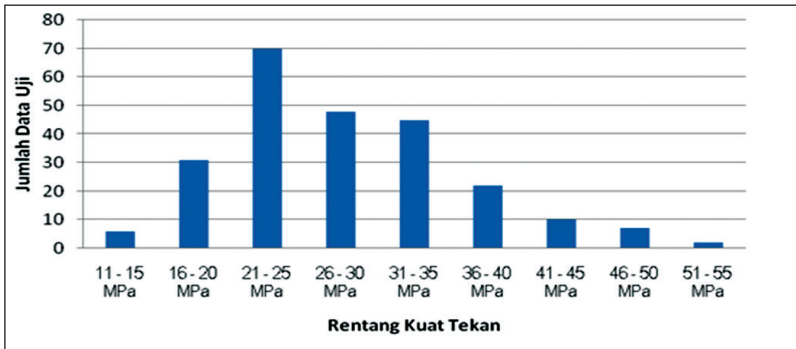
Perkembangan terkini dari jalan-jalan di Indonesia, khususnya jalan kabupaten/kota telah banyak menggunakan perkerasan jalan beton. Alasan penggunaannya adalah karena harga konstruski jalan beton bersaing dengan jalan aspal dan jalan beton dianggap lebih tahan terhadap air. Perkerasan jalan beton menawarkan alternatif untuk pengganti perkerasan jalan aspal ketika suatu daerah memiliki daya dukung tanah yang rendah, harga agregat mahal, dan kondisi drainase yang buruk.

Mutu beton yang umum digunakan untuk pekerjaan pembuatan jalan dengan perkerasan jalan beton dapat diketahui dari pengumpulan data hasil-hasil pengujian yang telah dilaksanakan di Balai Struktur, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. Sampel pengujian berjumlah 300 buah contoh uji inti (*core drill*) yang diambil pada jalan kabupaten/kota di Jawa Barat dan Banten. Hasil pengumpulan data tersebut dianalisis dan diperoleh sebaran data hasil pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Hasil pengumpulan data hasil pengujian menunjukkan mutu beton yang paling banyak digunakan adalah kuat tekan silinder antara 21–25 MPa, atau setara dengan kuat tekan kubus 250–300 kg/cm² (K250–K300). Penggunaan mutu beton dengan kuat tekan tersebut berkaitan erat dengan ketersediaan sumber daya di daerah.



Gambar 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Inti Beton Perkerasan Kaku terhadap 300 Sampel Uji



Gambar 2. Distribusi Hasil Pengujian Kuat Tekan Inti Beton Perkerasan Beton

Mutu beton yang tinggi dan seragam, umumnya hanya dapat dicapai dengan menggunakan alat pencampur *batching plant*. Sementara itu, di kabupaten/kota dan terlebih di permukiman alat pencampur beton yang digunakan umumnya adalah beton molen (pencampur beton) dengan kapasitas sekali mencampur sekitar $0,5 \text{ m}^3$. Dengan alat yang relatif sederhana tersebut maka keseragaman mutu beton realistik yang dapat dicapai adalah sekitar K250–K300. Namun demikian, perlu dipahami bahwa peningkatan mutu beton akan mengurangi tebal

pelat beton yang dibutuhkan. Oleh karena itu, akan lebih ekonomis menaikkan mutu beton, apabila tersedia alat pencampur dan sumber daya lain yang memadai.

B. TIPIKAL STRUKTUR JALAN BETON

Hasil pendataan di Dinas Bina Marga dan Pengairan di Kabupaten Bogor, Jawa Barat, diperoleh informasi data teknis jalan (Tabel 1) sebagai berikut:

1. Kebutuhan teknologi perkerasan kaku untuk lalu lintas rendah sangat banyak diperkirakan 80% merupakan jalan dengan volume lalu lintas rendah, dan sisanya adalah jalan dengan lalu lintas berat.
2. Mutu beton yang digunakan pada pekerjaan pengerasan jalan adalah K250 dengan ketebalan 150 mm untuk jalan perdesaan. Lebar jalan untuk lalu lintas rendah adalah 3m dan jarak antar-sambungan 5m serta tanpa ruji (*dowel*) (Gambar 6, 7, dan 8).
3. Mutu jalan K300 dengan ketebalan 200 mm digunakan untuk jalan kabupaten dengan lalu lintas rendah, lebar jalan 4,6 m dan jarak antar-sambungan sepanjang 5 m (Gambar 3, 4, dan 5).
4. Ketebalan beton kurus yang digunakan pada lalu lintas rendah adalah setebal 50 mm.
5. Untuk lapis fondasi bawah (*subbase*) digunakan agregat kelas B.
6. Untuk jalan kabupaten dengan lalu lintas berat ketebalan beton yang digunakan adalah 270 mm, mutu beton yang digunakan K350.
7. Pada pekerjaan jalan dengan perkerasan beton pada lalu lintas berat menggunakan beton kurus dengan ketebalan 100 mm dan menggunakan ruji (*dowel*).

Tabel 1. Informasi Data Teknis Jalan, Lokasi Kab. Bogor

No.	Lokasi	Pan- jang	Lebar	Te- bal	Mutu	LHR	Ket
		(km)	(m)	(cm)	Beton		
1	Jalan Raya Cibinong	-	4,6	20	K300	Sedang	
2	Jalan Perdesaan	-	4,6	20	K300	Sedang	
3	Jalan Ragajaya	-	4,6	20	K300	Sedang	
4	Jalan Kali Putih	3	3	15	K250	rendah	Lc=5 cm
5	Jalan Desa Babakan Madang	3	4,5	15	K250	rendah	Lc=5 cm
6	Jalan Desa Batu Layang	1	3	15	K250	rendah	Lc=5 cm

Ket.: Lc (*lean concrete*) atau beton kurus; LHR: Lintas Harian Rata-rata



Gambar 3. Tampak Jalan Raya Cibinong, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,6 m di Kabupaten Bogor



Gambar 4. Tampak Jalan Perdesaan, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,6 m di Kabupaten Bogor

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 5. Tampak Jalan Ragajaya, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,6 m di Kabupaten Bogor



Gambar 6. Tampak Jalan Kali Putih, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Kabupaten Bogor



Gambar 7. Tampak Jalan Desa Babakan Madang, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Kabupaten Bogor

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 8. Tampak Jalan Desa Batu Layang–Puncak Bogor, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Kabupaten Bogor

Untuk mengetahui penggunaan teknologi perkerasan kaku lalu lintas rendah (*low volume road*) di daerah Jawa Tengah maka dilakukan survei instansional dan survei lapangan di Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. Hasil survei instansional di Dinas Bina Marga, Pengairan, Energi, dan Sumber Daya Mineral Pemerintah Kabupaten Kudus, Jawa Tengah (Tabel 2), diperoleh informasi sebagai berikut:

1. Kebutuhan teknologi perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah sangat banyak yaitu diperkirakan lebih dari 70% merupakan jalan dengan lalu lintas rendah, sisanya adalah jalan dengan lalu lintas berat.

2. Mutu beton yang digunakan pada pekerjaan adalah K250 dengan ketebalan 150 mm untuk jalan perdesaan/permukiman dan K300 dengan ketebalan 200 mm untuk lalu lintas sedang (Gambar 9, 10, 11, 12, 13, dan Gambar 14).
3. Ketebalan beton kurus yang digunakan pada lalu lintas rendah adalah setebal 50 mm.
4. Jalan kabupaten dengan lalu lintas berat menggunakan ketebalan beton 250 mm dan mutu beton yang digunakan K350 berdasarkan Spesifikasi Teknis 2006 (Gambar 15).
5. Pekerjaan jalan berupa perkerasan beton pada lalu lintas berat menggunakan beton kurus dengan ketebalan 100 mm dan menggunakan ruji (*dowel*).
6. Pelat beton menggunakan penulangan rangkap atas-bawah, yaitu tulangan berdiameter 13 mm dengan jarak antar-tulangan adalah 250 mm

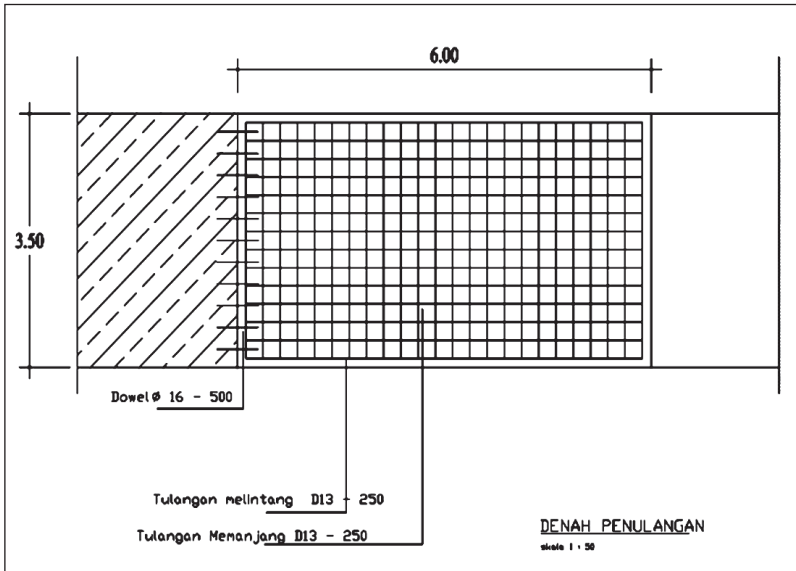
Tabel 2. Informasi Data Teknis Jalan, Lokasi Kudus

No.	Lokasi	Panjang	Lebar	Tebal	Mutu	LHR	Ket
		(km)	(m)	(cm)	Be- ton		
1	Jalan Undaan– Ngemplek	4	3,5	20	K300	Se- dang	Lc=5 cm
2	Jalan Payaman– Karang Rowo	5	4	20	K300	Se- dang	Lc=5 cm
3	Jalan Lingkungan Undaan	2	3	15	K250	Ren- dah	
4	Jalan Gulang– Payaman	3,5	4	20	K300	sedang	
5	Jalan Lingkar Utara	1	4,5	25	K350	Berat	
6	Jalan Gondang Manis	1	4,5	25	K350	Berat	

Ket.: Lc (*lean concrete*) atau beton kurus; LHR: Lintas Harian Rata-rata



Gambar 9. Tampak Jalan Undaan–Ngemplek, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 3,5 m di Undaan, Kab. Kudus



Gambar 10. Gambar Penulangan Jalan Undaan–Ngemplek, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300) dan Lebar 3,5 m di Undaan, Kab. Kudus

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 11. Tampak Jalan Permukiman/Perdesaan, Tebal Perkerasan Kaku 15 cm (K250), Lebar 3 m di Undaan, Kab. Kudus

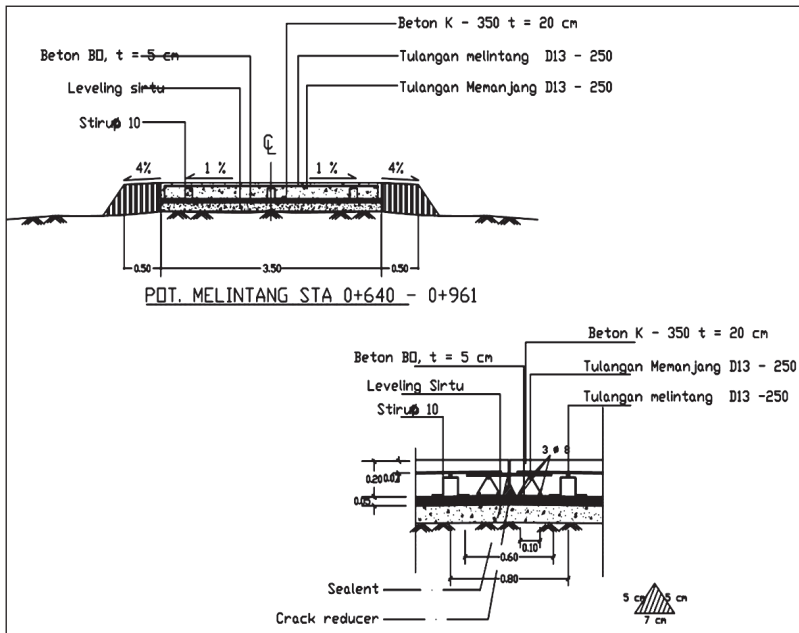


Gambar 12. Tampak Jalan Gulang–Payaman, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,0 m di Undaan, Kab. Kudus

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 13. Tampak Jalan Payaman–Karang Rowo, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,0 m di Kab. Kudus



Gambar 14. Tampak Jalan Payaman–Karang Rowo, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,0 m di Kab. Kudus (Lanjutan)

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 15. Tampak Jalan Gondang Manis, Tebal Perkerasan Kaku 25 cm (K350), Lebar 4,5 m di Kab. Kudus

Hasil pendataan di Dinas Bina Marga di Kota Semarang, Jawa Tengah, diperoleh informasi sebagai berikut:

1. Kebutuhan teknologi perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah sangat banyak yaitu untuk daerah tanah lunak, daerah yang rawan banjir seperti di dekat laut, daerah beban berat, dan persimpangan.
2. Penggunaan perkerasan kaku dibagi menjadi 3 jenis kriteria, yaitu untuk beban sedang dengan tanah dasar baik, untuk beban sedang dengan tanah lunak, dan untuk beban berat/industri dengan tanah dasar baik.
3. Mutu beton yang digunakan pada pekerjaan dengan beban sedang dan tanah baik pada jalan dengan lalu lintas rendah adalah K300. Ketebalan beton 200 mm memerlukan lebar jalan 4,5 m dan jarak antar-sambungan sepanjang 5 m. Penggunaan batang pengikat (*tie bar*) D16–60 cm dan ruji (*dowel*) U24 D25–30 cm.
4. Mutu beton yang digunakan untuk beban sedang dengan tanah lunak pada jalan berlalu lintas rendah adalah K300, ketebalan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- 200 mm, lebar jalan 4,5 m, dan jarak antar-sambungan sepanjang 5 m. Penggunaan tulangan memanjang dan melintang dengan asumsi untuk menambah kekuatan perkerasan kaku untuk daerah tanah lunak (D8–20 cm), penggunaan batang pengikat (*tie bar*) D16–60 cm dan ruji (*dowel*) U24 D25–30 cm.
5. Ketebalan beton kurus (K100) yang digunakan sebagai lantai kerja dan perataan pada perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah baik tanah lunak maupun tanah yang baik adalah 50 mm.
 6. Mutu beton yang digunakan pada pekerjaan dengan beban berat/industri dan lalu lintas rendah adalah K350, ketebalan 250 mm, lebar jalan 6 m, dan jarak antar-sambungan sepanjang 5 m. Pekerjaan ini menggunakan batang pengikat D16–60 cm dan ruji (*dowel*) U24 D25–30 cm.
 7. Ketebalan beton kurus (K100) di atas lapis fondasi bawah pada perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah untuk beban berat adalah 100 mm.

Secara lengkapnya hasil pendataan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 16.

Tabel 3. Informasi Data Teknis Jalan, Lokasi Semarang

No.	Lokasi	Panjang	Lebar	Tebal	Mutu	LHR	Ket
		(km)	(m)	(cm)	Beton		
1	Jalan Simpangan-Gn Pati	3	7	20	K300	Sedang	Lc=5 cm
2	Jalan Tlogosari-Bangetayu	4	4,5	20	K300	Sedang	Lc=5 cm
3	Jalan Atmodirono	0,65	9	20	K300	sedang	Lc=5 cm

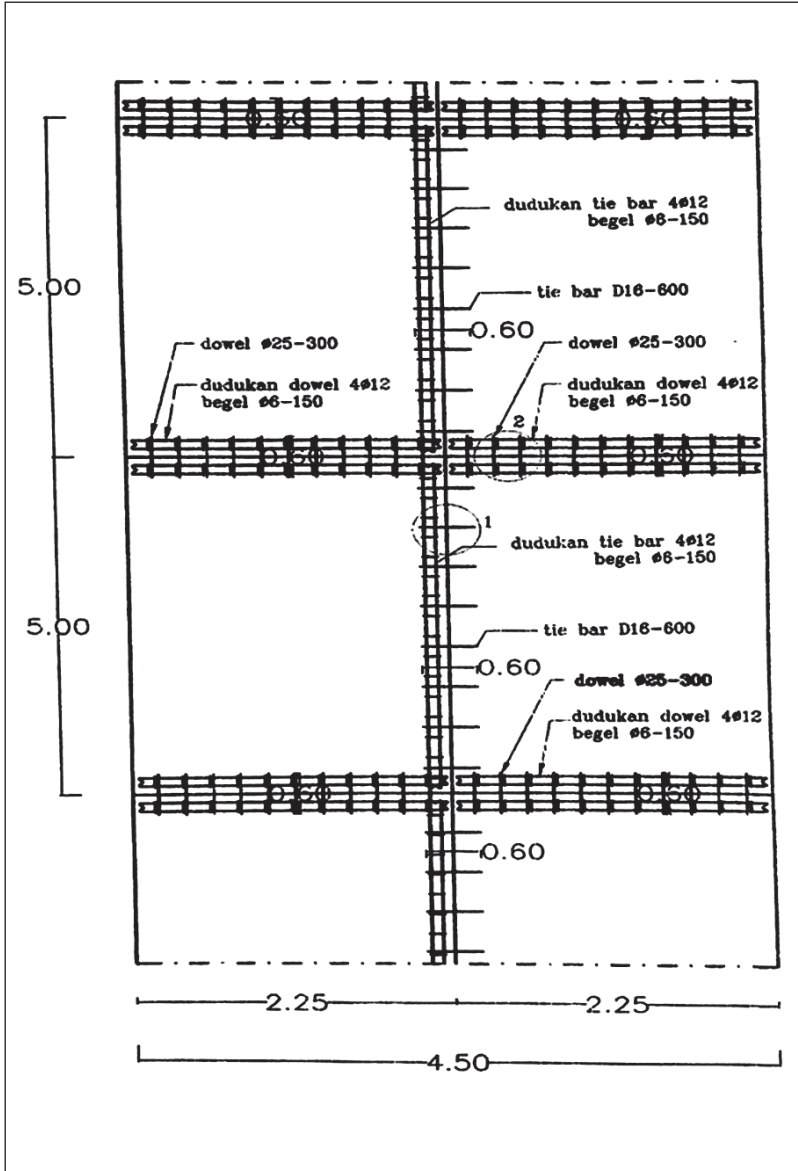
Ket.: Lc (*lean concrete*) atau beton kurus; LHR: Lintas Harian Rata-rata



Gambar 16. Tampak Jalan Atmodirono, Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), lebar 9 m di Kota Semarang

Hasil survei instansional diperoleh dari data *Detailed Engineering Design* (DED) berupa gambar rencana pekerjaan pembuatan jalan lalu lintas dengan perkerasan kaku (Gambar 17).

Berdasarkan hasil pengamatan pada pembangunan jalan beton seperti diuraikan di atas, terlihat secara umum ketebalan jalan beton yang digunakan di kabupaten/kota adalah 15 cm untuk lalu lintas rendah, 20 cm untuk lalu lintas sedang, dan 25 cm sampai dengan 27 cm untuk lalu lintas berat. Sementara itu, mutu beton yang digunakan dari mulai lalu lintas rendah ke lalu lintas berat adalah K250 sampai dengan K350. Jarak sambungan melintang dibuat antara 4–5 m, dengan menggunakan ruji (*dowel*) sebagai transfer beban. Ketebalan beton kurus yang digunakan bervariasi dari 5 cm sampai dengan 10 cm, dengan pola yang berbeda antarkabupaten/kota. Untuk jalan beton di Kabupaten Kudus, digunakan tulangan melintang dan memanjang dengan baja D13–250 (diameter 13 mm dengan jarak pemasangan 250 mm).



Gambar 17. Perancangan Jalan Perkerasan Kaku Jalan Kota Lalu Lintas Sedang dengan Tebal Perkerasan Kaku 20 cm (K300), Lebar 4,5 m di Kota Semarang.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Data yang ada menunjukkan adanya perbedaan perancangan konstruksi jalan beton di masing-masing kabupaten/kota. Perbedaan yang sangat jelas adalah pada penggunaan tebal beton kurus (*lean concrete*) yang bervariasi dan penggunaan tulangan memanjang dan melintang seperti yang terlihat di Kabupaten Kudus. Perbedaan-perbedaan tersebut, meskipun lokasinya berdekatan menunjukkan bahwa belum ada standar yang baku untuk perancangan jalan beton di kabupten/kota. Tentunya setiap instansi mempunyai alasan masing-masing menggunakan atau memilih tipikal konstruksi tersebut.

Namun, perlu dipahami bahwa konsep jalan beton bertulang dimaksudkan untuk memperpanjang jarak sambungan melintang dan posisi tulangan berada pada lapisan atas pelat beton. Posisi tulangan tersebut dimaksudkan untuk menahan retak susut sehingga jarak sambungan memanjang dapat diperpanjang atau tanpa sambungan memanjang (*continuous reinforced concrete*).

Penggunaan mutu beton berdasarkan kuat tekan kubus (K) dirasa kurang tepat digunakan sebagai kriteria mutu beton mengingat gaya yang berperan adalah lentur dan bukan tekan. Namun, lebih tepat digunakan kriteria mutu beton berupa kuat lentur (*fs, flexural strength*).

BAB III

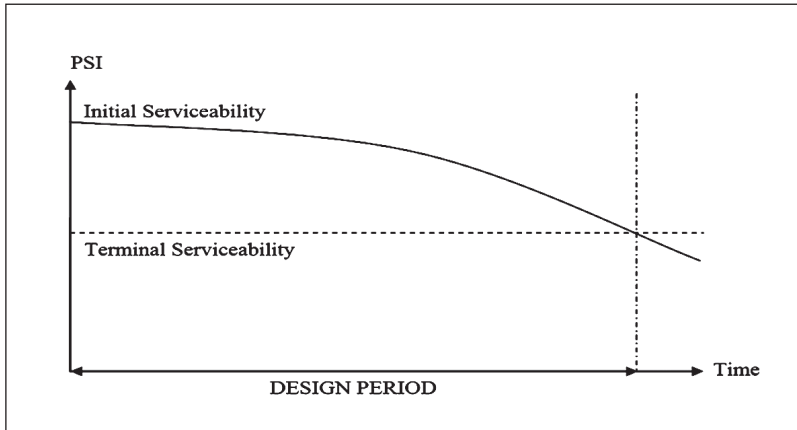
PERANCANGAN TEBAL JALAN BETON

A. UMUM

Desain perkerasan secara bertahap mengalami perkembangan seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan. Sebelum tahun 1920-an, perancangan ketebalan perkerasan kaku didasarkan pada pengalaman (empiris). Ketebalan yang sama digunakan untuk setiap ruas jalan walaupun kondisi tanahnya berbeda. Desain empiris didasarkan pada kemampuan perkerasan kaku untuk memikul beban lalu lintas selama waktu tertentu yang dikenal sebagai periode desain (Huang 1993).

Kemampuan untuk memikul beban lalu lintas diukur dengan faktor kualitas pelayanan yang disebut *Present Serviceability Index* (PSI), sebuah konsep yang diperkenalkan American Association of State Highway Officials (AASHO). PSI adalah penilaian terhadap kinerja perkerasan berdasarkan kenyamanan/kelancaran perjalanan selama periode desain. PSI berkisar dari 5 (kinerja optimal) ke 0 (kinerja terburuk) (Yoder dan Witczak 1975). Penurunan nilai PSI dari awal sampai dengan akhir pelayanan pada periode tertentu diperlihatkan pada Gambar 18.

Oleh karena itu, terdapat beberapa kelemahan utama dalam perancangan perkerasan secara empiris yang didasarkan pada hasil pengujian AASHO, yaitu jenis tanah dasar sudah tertentu dan mutu (kuat lentur) jalan beton juga tertentu. Setiap kondisi desain yang berbeda dari aslinya harus dipertimbangkan akurasinya. Pada umumnya



Sumber: Yoder dan Witzczak (1975)

Gambar 18. Periode Desain vs PSI

parameter yang digunakan untuk masukan dalam perancangan tebal perkerasan akan bervariasi secara geografis dan jarang sama sehingga prosedur empiris yang ada tidak memadai.

Sebagai contoh dalam perancangan yang menggunakan American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 1993), ketentuan kuat lentur (f_s) mutu beton antara 600–700 psi (4,13–4,68 MPa). Oleh karena itu, untuk mutu beton yang lebih rendah, pedoman tersebut tidak dapat digunakan.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut dan kebutuhan penggunaan mutu beton yang lebih rendah (mempertimbangkan sumber daya yang ada di Indonesia) maka dalam perancangan ketebalan perkerasan kaku digunakan metode Portland Cement Association (PCA). Metode tersebut memungkinkan penggunaan mutu beton yang bervariasi.

Metode PCA merupakan konsep perancangan tebal perkerasan kaku dengan pendekatan desain mekanistik-empiris dan didasarkan pada dua kriteria desain, yaitu ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) dan ketahanan terhadap erosi. Dalam analisisnya telah mempertim-

bangkan transfer beban yang diberikan oleh ruji dan tahanan yang diberikan oleh tepi bahu beton. Seperti metode AASHTO, PCA juga menggunakan konsep k' (modulus reaksi efektif/gabungan) yang merupakan fungsi dari kekuatan tanah dasar (*subgrade*), ketebalan, dan kekuatan lapis fondasi bawah (*subbase*). Analisis kelelahan menggabungkan asumsi bahwa sekitar 6% dari semua beban truk akan melewati cukup dekat dengan sisi tepi yang menghasilkan tegangan tarik yang signifikan besar. Analisis erosi menguantifikasi kekuatan sudut pelat beton yang merupakan fungsi dari ketebalan pelat beton, nilai k' , dan estimasi tekanan roda ban pada permukaan pelat beton (PCA 1995).

B. METODE PERANCANGAN

Konsep desain yang paling banyak digunakan dalam perancangan ketebalan perkerasan kaku untuk jalan dengan lalu lintas rendah adalah mengikuti metode PCA, yaitu berdasarkan buku *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. Salah satu peraturan yang mengadopsi metode PCA adalah *Guidelines for Design and Construction of Cement Concrete Pavements for Low Volume Roads, Indian Roads Congress – IRC: SP:62-2014*. Peraturan ini berlaku untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah yang rata-rata lalu lintas hariannya kurang dari 450 kendaraan komersial per hari. Menurut PCA (1995), desain ketebalan perkerasan kaku ditentukan oleh 4 faktor, yaitu:

1. Kuat lentur beton, f_s , MPa.
2. Kekuatan tanah dasar berupa modulus reaksi tanah dasar (k) atau kekuatan kombinasi tanah dasar dan lapis fondasi bawah (k').
3. Lalu lintas kendaraan berupa berat kendaraan, frekuensi lalu lintas, dan jenis sumbu/gandar truk.
4. Desain periode. Desain prosedur perkerasan biasanya diam-bil selama periode 20 tahun, tetapi dimungkinkan lebih atau kurang.

Berikut ini adalah 9 faktor yang memengaruhi desain perkerasan beton.

1. Kuat lentur (*flexural strength*), MPa

Perkerasan kaku akan mengalami kerusakan akibat tegangan lentur (*bending stress*) yang terjadi akibat beban lalu lintas dan perbedaan temperatur pelat beton. Oleh karena itu, kekuatan struktur perkerasan kaku ditentukan oleh kekuatan lentur (*flexural strength*). Apabila tidak ada fasilitas laboratorium untuk menentukan kekuatan lentur, desain campuran dapat dilakukan dengan menggunakan nilai kuat tekan dengan korelasi sebagai berikut (BSN 2002):

$$f_s = 0,7\sqrt{f_{ck}} \quad \text{..... (1)}$$

di mana:

f_s = Kuat lentur beton, MPa

f_{ck} = Kuat tekan karakteristik benda uji berbentuk kubus, MPa

Kekuatan beton pada umur 90 hari digunakan untuk desain ketebalan perkerasan kaku pada jalan dengan volume lalu lintas rendah. Hal ini karena kekuatan beton masih terus bertambah sejalan dengan bertambahnya waktu. Kekuatan lentur untuk umur beton 90 hari diambil adalah 1,10 kali kekuatan lentur pada umur 28 hari atau seperti yang ditetapkan dari pengujian laboratorium (IRC 2014).

Campuran beton harus didesain sehingga persyaratan kekuatan lentur minimum di lapangan diperoleh dengan tingkat keyakinan tertentu. Tingkat toleransi yang diizinkan untuk jalan luar kota adalah hanya satu sampel dengan nilai di bawah rata-rata untuk jumlah sampel 20 buah. Tingkat toleransinya memiliki tingkat keyakinan 95% sehingga kekuatan lentur rata-rata yang ditargetkan adalah (IRC 2014):

$$S = S' + Z_a \sigma \quad \text{..... (2)}$$

di mana:

S = Kekuatan lentur rencana rata-rata, pada 28 hari, MPa

S' = Kekuatan lentur karakteristik, pada 28 hari, MPa

σ = Deviasi standar sampel uji lapangan

Z_a = Distribusi normal, yang memiliki nilai 1,65

2. *Modulus of Elasticity* (E_c) dan *Poisson's Ratio* (μ)

Nilai *modulus of elasticity* (E_c) beton menggunakan persamaan (IRC 2014):

$$E_c = 4733\sqrt{f_{ck}} \quad \text{..... (3)}$$

di mana:

E_c = *Modulus of Elasticity*, MPa.

f_{ck} = Kuat tekan karakteristik benda uji berbentuk kubus, MPa

Pada umumnya nilai *modulus of elasticity* (E_c) dapat diambil sekitar 30.000 MPa dan nilai *poisson's ratio* digunakan nilai sebesar 0,15 (IRC 2014).

3. *Coefficient of Thermal Expansion* (α)

Nilai *coefficient of thermal expansion* pada beton yang digunakan sebesar $\alpha = 10 \times 10^{-5}$ per °C (IRC 2014).

4. Karakteristik Tanah dasar

Kekuatan tanah dasar dinyatakan dalam modulus reaksi tanah dasar (k), yang dipengaruhi oleh kadar air. Perkiraan nilai k sesuai dengan besarnya nilai hasil pengujian *california bearing ratio* (CBR) rendaman (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (k).

Subgrade CBR, %	2	3	4	5	6	10	15	20	50
Nilai k (MPa/m)	21	28	35	42	45	50	62	69	140

Sumber: IRC (2014)

Nilai CBR dari tanah dasar minimum adalah 4%. Jika kurang dari nilai tersebut, disarankan untuk meningkatkan kekuatan tanah dasar terlebih dahulu.

5. Karakteristik Lapis Fondasi Bawah

Lapisan fondasi agregat yang dipasang di bawah pelat beton pada perkerasan kaku adalah lapis fondasi bawah (*subbase*). Keuntungan dari penggunaan lapis fondasi bawah pada perkerasan kaku adalah sebagai berikut:

- memberikan lapisan pendukung yang rata, kuat, dan seragam;
- mendukung beban lalu lintas;
- mencegah naiknya lumpur dari tanah dasar (*mud-pumping*);
- sebagai lapisan drainase.

Menurut IRC (2014), penggunaan lapis fondasi bawah akan meningkatkan nilai yaitu modulus reaksi dan nilai modulus reaksi efektif (k') atau gabungan, 20% lebih tinggi dibandingkan modulus reaksi tanah dasar pada Tabel 4. Apabila digunakan lapisan stabilisasi semen sebagai lapis fondasi, nilai modulus reaksi efektif menjadi dua kali lebih tinggi dibandingkan modulus reaksi tanah dasar pada Tabel 4. Nilai perkiraan modulus reaksi efektif diperlihatkan pada Tabel 5.

Lapis fondasi bawah yang mempunyai gradasi butiran lolos saringan No. 200 (75 micron) kurang dari 2% akan berfungsi sebagai lapisan drainase yang baik. Selain itu, penambahan semen sebanyak

2% terhadap berat agregat akan membuat lapisan fondasi bawah tidak terpengaruh oleh erosi (*non-erodible*) (IRC 2014).

Tabel 5. Nilai Modulus reaksi efektif (k').

Subgrade CBR, %	2	3	4	5	6	10	15	20	50
Nilai k' di atas lapis fondasi agregat(MPa/m) (Tebal sub base 150–250 mm)	25	34	42	50	54	60	74	83	170
Nilai k' di atas lapis stabilisasi (MPa/m) (Tebal sub base 150–250 mm)	42	56	70	84	96	100	124	138	280

Sumber: IRC (2014)

6. Perencanaan Lalu Lintas

Beberapa parameter lalu lintas yang memengaruhi perancangan ketebalan perkerasan kaku meliputi berat kendaraan, frekuensi lalu lintas, dan jenis truk gandar. Parameter lalu lintas tersebut dapat diperoleh dari hasil survei lalu lintas yang meliputi:

- LHR_N (Lintas Harian Rata-Rata Kendaraan Niaga)
- LHR_T (Lintas Harian Rata-Rrata Kendaraan Truk)
- Berat sumbu truk

Pedoman perencanaan lalu lintas untuk jalan beton dengan volume lalu lintas rendah adalah (IRC 2014):

- Lalu lintas di bawah 50 *comercial vehicle per day* (CVPD) atau Lintas Harian Rata-rata Kendaraan Niaga (LHR_N), dengan parameter yang berpengaruh adalah beban kendaraan 50 kN.
- Lalu lintas 50 hingga 150 LHR_N, beberapa parameter yang berpengaruh adalah beban kendaraan 50 kN, perbedaan suhu antara sisi atas dan bawah slab serta faktor kelelahan (*fatigue*) yang lebih dominan.

- c. Lalu lintas di atas 150 LHR_N, parameter yang berpengaruh adalah beban kendaraan 50 kN. Selain itu, perbedaan suhu antara sisi atas dan bawah slab, faktor kelelahan yang lebih dominan

7. Pertumbuhan Kendaraan

Di India faktor pertumbuhan untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah ditentukan sebesar 5% (IRC 2014). Sementara itu, di Indonesia berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013, faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data-data pertumbuhan historis atau korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang sesuai. Apabila tidak ada maka faktor pertumbuhan pada Tabel 6 dapat digunakan sebagai nilai minimum.

Tabel 6. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas Minimum

Fungsi Jalan	Tahun 2011–2020	Tahun 2021–2030
Arteri dan perkotaan (%)	5	4
Kolektor rural (%)	3,5	2,5
Jalan desa (%)	1	1

Sumber: Bina Marga (2013)

8. Load Safety Factors (LSF)

Dalam prosedur desain, beban sumbu ditentukan berdasarkan ketentuan/peraturan dan dikalikan dengan *load safety factor* (LSF) yang direkomendasikan sebagai berikut (Kementerian PU 2003):

- a. Untuk jalan Nasional dan jalan bebas hambatan dengan volume lalu lintas truk tinggi, LSF = 1,2
- b. Untuk jalan raya dan jalan arteri dengan volume lalu lintas truk sedang/moderate, LSF = 1,1
- c. Untuk jalan perdesaan, jalan-jalan perumahan dan jalan-jalan lain dengan volume lalu lintas truk sedikit, LSF = 1,0

9. Perilaku Kelelahan (*Fatigue*) pada Perkerasan Kaku

Untuk analisis kelelahan dari perkerasan beton, jumlah kumulatif lalu lintas komersial pada akhir periode desain dapat diperkirakan dari persamaan berikut (IRC 2014):

$$N = A \times \left(\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right) \times 365 \quad \dots\dots (4)$$

di mana:

A = CVPD awal setelah selesainya jalan

r = tingkat kenaikan lalu lintas, misal 5% per tahun ($r = 0,05$)

n = periode desain (direkomendasikan 20 tahun)

N = jumlah total kendaraan komersial (CVPD) sampai akhir periode desain

Perilaku kelelahan untuk jalan perdesaan/permukiman tidak diperhitungkan karena rendahnya volume kendaraan niaga (IRC 2014). Dalam kasus jalan perdesaan/permukiman yang merupakan jalan penghubung antara dua jalan penting atau jalan penghubung antara beberapa desa, bisa dilalui sejumlah besar lalu lintas. Kendaraan yang melewati jalan tersebut adalah bus dan truk untuk pertanian, konstruksi, dan kegiatan sosial sehingga perilaku kelelahan perkerasan kaku dapat terjadi. Oleh karena itu, faktor kelelahan (*fatigue*) perlu diperhitungkan dalam kasus tersebut. Persamaan kelelahan untuk 90% keandalan/tingkat kepercayaan (*reliability*) mengacu pada IRC (2011) adalah sebagai berikut:

$$N_f = \text{tidak terhingga} \quad \text{untuk nilai } SR < 0,45 \quad \dots\dots (5)$$

$$N_f = \left(\frac{4,2577}{SR - 0,4325} \right)^{3,268} \quad \text{untuk } 0,45 \leq SR \leq 0,55 \quad \dots\dots (6)$$

$$\text{Log}_{10} N_f = \frac{0,9718 - SR}{0,0828} \quad \text{untuk } SR > 0,55 \quad \dots\dots (7)$$

Perkerasan kaku untuk jalan bervolume lalu lintas rendah sebaiknya menggunakan tingkat kepercayaan lebih rendah menjadi 60% sesuai dengan IRC (2014). Oleh karena itu, persamaannya menjadi:

$$\log_{10} N_f = \frac{SR^{-2.222}}{0.523} \quad \dots\dots (8)$$

di mana:

N_f = *fatigue life* = Pengulangan beban yang diizinkan akibat beban roda dan gradien temperatur

SR = Rasio tegangan; rasio antara tegangan tarik (yang terjadi akibat beban roda dan temperatur), dan kuat lentur beton

Rasio pengulangan beban rencana (N_e) dan pengulangan beban yang diijinkan (N_f) disebut sebagai kerusakan kelelahan kumulatif (*cumulative fatigue damage*) dan nilainya harus kurang dari 1 (IRC 2014).

$$Cumulative\ fatigue\ damage = \frac{N_e}{N_f} < 1 \quad \dots\dots (9)$$

di mana:

N_e = Jumlah pengulangan beban yang direncanakan

N_f = jumlah pengulangan beban yang diijinkan akibat beban roda dan gradien temperatur

C. TEGANGAN KRITIS

Tegangan kritis merupakan tegangan rata-rata terhadap luas penampang pelat beton pada beban kritis. Beban yang sanggup ditahan oleh penampang pelat beton tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan disebut beban kritis. Dalam subbab ini akan dibahas mengenai kondisi tegangan kritis dan perhitungan tegangan kritis.

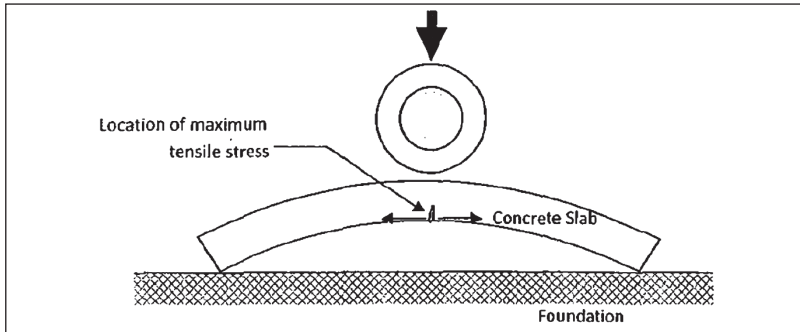
1. Kondisi Tegangan Kritis

Perkerasan kaku beton mengalami tegangan yang diakibatkan oleh berbagai faktor yang mengakibatkan terjadinya tegangan kritis sehingga harus diperhitungkan dalam analisis. Faktor yang umum

dipertimbangkan untuk desain tebal perkerasan, yaitu beban lalu lintas dan gradien temperatur. Dalam analisis ketebalan perkerasan kaku juga terdapat dua daerah yang harus dianalisis, yaitu di tepi dan di sudut pelat beton. Pengaruh gradien temperatur sangat kurang di sudut, tetapi sangat berpengaruh terhadap bagian tepi.

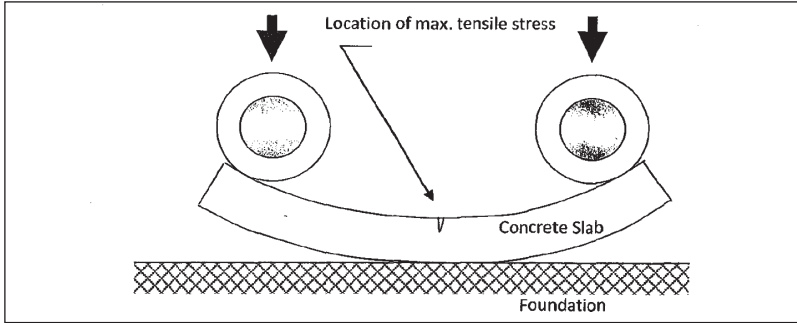
Perkerasan kaku mengalami perubahan siklik harian dari perbedaan temperatur, bagian permukaan atas perkerasan kaku menjadi lebih panas dari bagian bawah pada siang hari dan sebaliknya pada malam hari. Oleh karena itu, temperatur memberikan dampak pada perkerasan kaku, yaitu cembung ke atas pada siang hari dan cekung ke bawah pada malam hari.

Beban yang bekerja di atasnya dapat menyebabkan tegangan tarik di bagian bawah pada siang hari (Gambar 19) dan di bagian atas pada malam hari (Gambar 20).



Sumber: IRC (2014)

Gambar 19. Tegangan Tarik Maksimum Akibat Beban pada Siang Hari



Sumber: IRC (2014)

Gambar 20. Tegangan Tarik Maksimum Akibat Beban pada Malam Hari

2. Perhitungan Tegangan Kritis

Tegangan kritis dapat muncul, baik pada bagian tepi maupun pada sudut/sisi. Tegangan tersebut terjadi akibat beban lalu lintas dan perbedaan temperatur atas dan bawah pelat beton (gradien temperatur). Pada bagian berikut ini akan dibahas tegangan tepi/sisi (*edge stress*) yang terjadi akibat beban lalu lintas dan gradien temperatur.

a. Tegangan Tepi (*Edge stress*)

Gambar 21 menunjukkan pola pembebanan kendaraan komersial terhadap perkerasan kaku yang menyebabkan timbulnya tegangan kritis pada bagian tepi. Perhitungan tegangan tarik pada bagian tepi menggunakan persamaan *Westergaard* karena beban tunggal atau ganda roda di bagian tepi. Persamaan tersebut sebagai berikut:

$$\sigma_e = \frac{3(1 + \mu)P}{\pi(3 + \mu)h^2} \left[\ln \left(\frac{Eh^3}{100ka^4} \right) + 1.84 - \frac{4\mu}{3} + \frac{1 - \mu}{2} + \frac{1.18(1 + 2\mu)a}{1} \right] \quad \text{..... (10)}$$

Untuk $\mu = 0,15$, persamaan disederhanakan menjadi:

$$\sigma_e = \frac{0.803P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{1}{a} \right) + 0.666 \left(\frac{a}{l} \right) - 0.034 \right] \quad \text{..... (11)}$$

$$\delta_e = \frac{\sqrt{2+1.2\mu P}}{\sqrt{Eh^3k}} \left[1 - (0.76 + 0.4\mu) \frac{a}{l} \right] \quad \dots\dots (12)$$

di mana:

σ_e = Tegangan tepi (*edge stress*), MPa

h = Tebal perkerasan kaku

E = *Modulus of Elasticity* untuk beton, MPa

l = radius kekakuan relatif, mm = $\sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}}$

μ = *Poisson's ratio* beton

k = Modulus reaksi kekakuan tanah dasar, MPa/m

a = *Radius equivalent circular area*, mm

= $\sqrt{\frac{P}{\pi p}}$, untuk roda tunggal pada sisi perkerasan beton

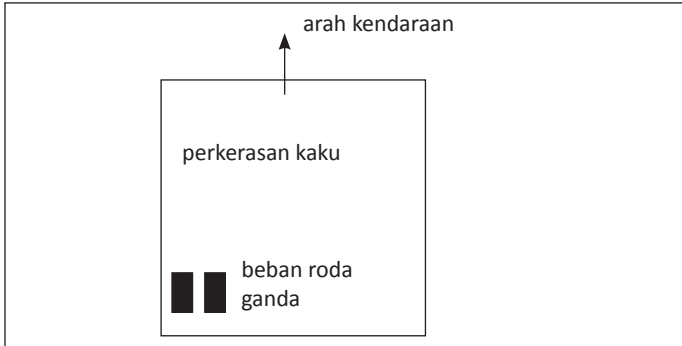
= $\sqrt{\frac{0,821P_d}{\pi p} + \frac{S_d}{\pi} + \left(\frac{P_d}{0,52227p}\right)^2}$, untuk roda ganda pada sisi perkerasan beton

P = Beban roda tunggal, N

P_d = Beban roda dari dua roda, N

p = Tekanan ban, MPa

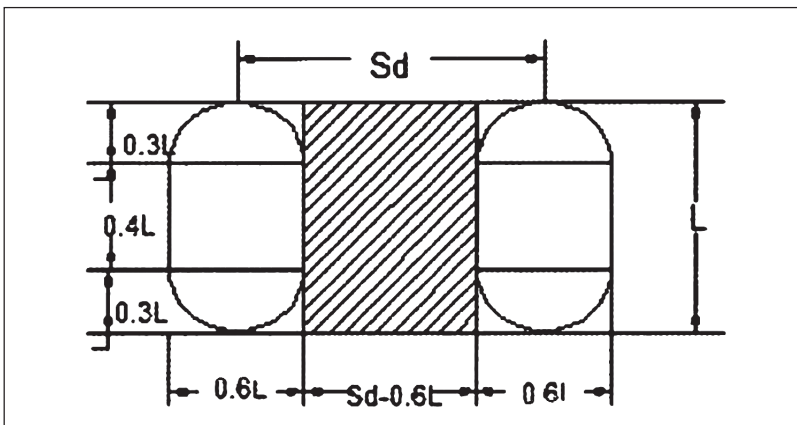
Persamaan 10 dan 11 hanya berlaku untuk beban berbentuk lingkaran, sedangkan Persamaan 12 dapat digunakan untuk perhitungan balik (*back calculation*) nilai modulus tanah dasar berdasarkan hasil pengujian alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) (Huang 1993). Beban roda dapat diasumsikan sebagai beban lingkaran dengan pendekatan Persamaan 10, 11, dan 12.



Sumber: IRC (2014)

Gambar 21. Penempatan Beban Roda Ganda pada Tepi Perkerasan Kaku

Area bidang kontak dari dua roda (*dual wheels*) dan area di antaranya diperlihatkan pada Gambar 22. Selanjutnya, jari-jari lingkaran ekuivalen (*radius equivalent circular*) dapat dihitung seperti persamaan yang diuraikan di bawah ini.



Sumber: IRC (2014)

Gambar 22. Radius Bidang Kontak untuk Beban Roda Ganda

Buku ini tidak diperjualbelikan.

di mana:

L = Panjang bidang kontak

S_d = Jarak as ke as antara dua roda (*dual wheel*)

P_d = Beban pada satu roda

$$L = \sqrt{\frac{P_d}{0,5227 p}} \text{ dengan } p \text{ adalah tekanan ban}$$

Beban desain yang direkomendasikan di atas roda ganda adalah 40 KN memiliki jarak roda sebesar 310 mm pusat ke pusat ban. Dengan demikian, truk yang membawa beban roda ganda dari 40 KN, tekanan ban dapat diambil sebagai 0,80 MPa (IRC 2014).

Luas ekuivalen lingkaran adalah (IRC 2014):

$$\pi a^2 = 2 \times 0,5227 L^2 + (S_d - 0,6L)L = 0,4454 L^2 + S_d L \quad \dots\dots (13)$$

Substitusi L pada persamaan di atas sehingga menjadi:

$$\pi a^2 = \frac{0,8521 P_d}{p} + S_d \sqrt{\frac{P_d}{0,5227 p}} \quad \dots\dots (14)$$

Radius ekuivalen bidang kontak lingkaran adalah

$$a = \sqrt{\frac{0,821 P_d}{\pi p} + \frac{S_d}{\pi} \left(\frac{P_d}{0,5227 p} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots\dots (15)$$

b. Tegangan sisi (*edge stress*) akibat temperatur

Bradbury's equation memberikan persamaan untuk menghitung tegangan pada sisi perkerasan kaku akibat temperatur gradien linier sebagai berikut (IRC 2014):

$$\sigma_{te} = \frac{E \alpha t}{2} C \quad \dots\dots (16)$$

di mana:

α = koefisien *thermal expansion*, $\alpha = 10 \times 10^{-5}$ per $^{\circ}\text{C}$

t = *Temperature difference* ($^{\circ}\text{C}$) antara permukaan perkerasan kaku bagian atas dan bawah, $^{\circ}\text{C}$

σ_{te} = Tegangan akibat temperatur pada daerah sisi, MPa

C = koefisien yang diperoleh dari rasio panjang (L) atau lebar (b) dan radius kekakuan relatif (l). (Tabel 7).

Tabel 7. Penentuan Nilai Koefisien 'C'

L/l	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C	0,00	0,04	0,175	0,44	0,72	0,92	1,03	1,077	1,08	1,075	1,05	1,00

Sumber: IRC (2014)

D. CONTOH PERHITUNGAN

Berikut disampaikan contoh penerapan penghitungan perkerasan beton.

1. Parameter desain

CBR tanah dasar = 20%

Beban pada satu roda, $P_d = 33,2 \text{ kN} = 33,2 \times 10^3 \text{ N}$

Tekanan ban, $p = 0,80 \text{ MPa}$

Jarak as ke as antara dua roda (*dual wheel*), $S_d = 330 \text{ mm}$

Poisson's ratio beton, $\mu = 0,15$

Kuat tekan karakteristik benda uji berbentuk kubus, $f_{ck} = 338 \text{ kg/cm}^2 = 33,8 \text{ MPa}$

Modulus of Elasticity untuk beton, $E = 4700\sqrt{f_{ck}} = 4700\sqrt{33,8} = 27.325 \text{ MPa}$

Kuat lentur beton umur 28 hari, $f_{s28} = 3,64 \text{ MPa}$

Jarak antarsambungan pelat beton (L) = 4 meter = 4000 mm

koefisien *thermal expansion*, $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$

Untuk percobaan pertama, ditentukan tebal pelat (h) = 150 mm

2. Modulus reaksi efektif

Dengan CBR tanah dasar 20% dan pemasangan lapisan fondasi bawah 150 mm, diperoleh modulus reaksi efektif (k') = 83 MPa/m = 83×10^{-3} MPa/mm (Tabel 5)

3. Lalu lintas

Volume lalu lintas pada lajur rencana setelah konstruksi = 177 LHR_N (CPVD)

Pertumbuhan lalu lintas = 5% per tahun

Umur rencana = 20 tahun

Jumlah kumulatif lalu lintas sampai dengan umur rencana:

$$N = 169 \times \left(\frac{(1 + 0,05)^{20} - 1}{0,05} \right) \times 365 = 2.136.226 \text{ kendaraan komersial}$$

4. Perhitungan tegangan kritis

Radius kekakuan relatif, mm

$$l = \sqrt[4]{\frac{27324,751(150)^3 10^3}{12(1 - 0,15^2) 83}} = 554,771 \text{ mm, untuk granular subbase}$$

Radius ekuivalen bidang kontak lingkaran

$$a = \sqrt{\frac{0,8521 \times 33,2 \times 10^3}{0,8\pi} + \frac{330}{\pi} \times \left(\frac{33,2 \times 10^3}{0,5227 \times 0,8} \right)^{\frac{1}{2}}}$$
$$= 202,1239 \approx 202,124 \text{ mm}$$

Tegangan kritis pada bagian tepi akibat beban roda 33,2 kN

$$\sigma_e = \frac{0,803 \times 33,2 \times 10^3}{150^2} \left[4 \log \left(\frac{554,771}{202,124} \right) + 0,666 \left(\frac{202,124}{554,771} \right) - 0,034 \right]$$
$$= 2,33 \text{ MPa}$$

Tegangan sisi akibat temperatur

$$\sigma_{te} = \left(\frac{27324,751 \times 10 \times 10^{-6} \times 5}{2} \right) \times 1,044 = 0,713 \text{ MPa}$$

$$C = 1,044, \text{ untuk } \frac{L}{l} = \frac{4000}{554,771} = 7,21$$

$$\text{Total tegangan} = \sigma_e + \sigma_{te} = 2,33 + 0,713 = 3,043 \text{ MPa}$$

5. Kontrol tegangan dan kelelahan

a. Kontrol tegangan

Tegangan kritis yang terjadi akibat beban dan suhu gradien temperatur adalah 3,043. Nilai ini masih lebih kecil dari kuat lentur beton $f_{s28} = 3,64 \text{ MPa}$.

b. Kontrol kelelahan

Tegangan kritis yang terjadi akibat beban dan suhu gradien temperatur adalah 3,043 dan *stress ratio* = $3,043/3,64 = 0,84$. Dengan demikian pengulangan beban roda sebesar 33,2 kN yang diizinkan sampai dengan umur rencana adalah

$$\text{Log}_{10} N_f = \frac{0,84^{-2,222}}{0,523} = 2,817$$

Oleh karena itu, pengulangan beban roda truk 33,2 kN yang dapat diterima lapisan beton tersebut adalah $N_f = 655$ kali. Jika diasumsikan volume truk dengan beban roda 33,1 kN (beban gandar 66,2 kN) yang lewat adalah 10%, pengulangan beban rencana $N_e = 10\% \times 2.136.226 = 2136$ kali

$$\text{Cumulative fatigue damage} = \frac{2136}{655} < 1 \quad (\text{tidak terpenuhi})$$

Hasil simulasi (*trial*) pertama menunjukkan pemilihan tebal tidak memenuhi syarat sehingga tebal pelat harus ditambah dan kembali ke langkah pertama). Alternatif lain yang dapat dilakukan adalah dengan memperkecil jarak antarsambungan pelat beton (L).

BAB IV

SIMULASI DESAIN

A. TAHAPAN SIMULASI DESAIN

Ketebalan perkerasan kaku untuk jalan dengan lalu lintas rendah, dapat dihitung dengan metode perancangan PCA seperti telah dibahas pada bagian sebelumnya. Faktor-faktor yang menentukan dalam perancangan ketebalan perkerasan kaku tersebut ditentukan terlebih dahulu. Tahapan perancangan tebal perkerasan kaku yang digunakan dalam simulasi ada tujuh sebagai berikut:

1. Penentuan Parameter Desain

Parameter desain dalam perancangan ketebalan perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Parameter Desain

Mutu Beton (variasi)	: K250, K300 dan K350
Kuat lentur beton, f_s (variasi)	: $f_{s-K250} = 3.4$ Mpa, $f_{s-K300} = 3.8$ MPa
<i>Coefficient of Thermal Expansion</i> , α	: $\alpha = 10 \times 10^{-5}$ per °C
CBR Tanah dasar, % (variasi)	: 2,3,4,5,6,10,15,20 dan 50 %
Modulus reaksi tanah dasar, k (variasi)	: 21,28,35,42,45,50,62,69,140 MPa/m
Modulus reaksi efektif, k (variasi) (subbase tebal 150 mm)	: 25,34,42,50,54,60,74,83,170 MPa/m
Periode desain	: 20 tahun
Persentase pertumbukan kendaraan	: 5 %
Beban roda (<i>single wheel load</i>)	: 40kN
Beban roda ganda (<i>dual wheel load</i>)	: 80 kN setara dengan MST= 8Ton
<i>Load Safety Factor (LSF)</i> , untuk jalan kabupaten/kota untuk <i>low volume road</i> .	: 1.0

2. Menentukan jarak sambungan

Jarak sambungan melintang (*joint spacing*) ditentukan setiap 4 m. Nilai tersebut adalah nilai yang umum digunakan dalam beberapa peraturan, yang bisa dilihat di Tabel 9.

3. Menentukan derajat perbedaan temperatur pada permukaan atas dan bawah

Berdasarkan hasil penelitian di Pusat Litbang Jalan dan Jembatan diperoleh bahwa (Gambar 23):

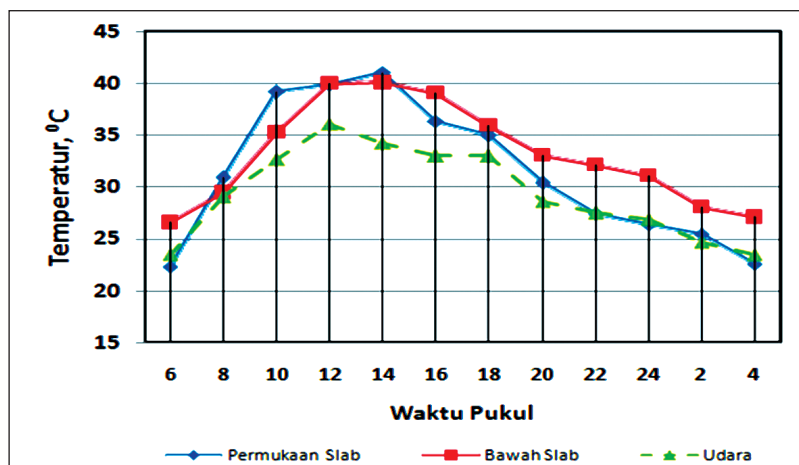
- a. Temperatur tertinggi dan terendah ada di Buntu (Jawa Tengah), temperatur permukaan terjadi antara 22°C dan 42°C dan di bawah slab antara 26°C dan 40°C.
- b. Temperatur gradien permukaan dan di bawah slab bervariasi antara siang dan malam. Pada siang hari antara 0°C dan 5°C, sedangkan malam hari antara 1°C dan 5°C. Pada malam hari, temperatur bawah relatif lebih tinggi daripada di permukaan.

Tabel 9. Perbandingan Jarak Sambungan (*Joint Spacing*)

No.	Peraturan/Code	Jarak <i>Joint Spacing</i> (m)
1.	Pd T-14-2003, Pedoman Perencanaan perkerasan jalan beton	4,0-5,0
2.	Manual Desain Perkerasan Jalan, No. 02/M/BM/2013	4,0
3.	<i>Cement & Concrete Institute, Low-volume concrete road</i>	Maks. 4,0
4.	Indian Roads Congress. 2014. Guidelines For Design and Construction of Cement Concrete Pavement for Low Volume Roads	2,5; 3,25; 4,0
5.	NCHRP. 2004. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures Part 4. Low Volume Roads	Maks. 4,0
6.	ACI 325.12R-02, Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads	1,0-5,0

Dengan memperhatikan hasil penelitian sebelumnya nilai maksimum perbedaan temperatur tertinggi adalah 5°C. Selanjutnya, nilai tersebut digunakan untuk analisis perhitungan ketebalan perkerasan kaku.

4. Menentukan ketebalan awal/ sementara saat melakukan trial.
5. Kontrol tegangan kritis sesuai dengan kelompok lalu lintas
 Penentuan kontrol tegangan berdasarkan kelompok lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 10.



Gambar 23. Fluktuasi Temperatur Perkerasan dan Udara di Lokasi Uji Coba Skala Penuh, Buntu-Kebumen

Tabel 10. Kontrol Tegangan

No.	CVPD	Kontrol tegangan akibat beban
1	< 50	- Kontrol tegangan akibat pengaruh tekanan beban 50 KN (roda ganda)
2	50–150	- Kontrol tegangan akibat beban roda 50 KN & perbedaan temperatur pada perkerasan kaku di atas dan bawah permukaan - Kontrol terhadap pengaruh kelelahan/ <i>fatigue</i>
3	> 150 maks. 450	- Kontrol tegangan akibat beban roda 50 KN & perbedaan temperatur pada perkerasan kaku di atas dan bawah permukaan - Kontrol terhadap pengaruh kelelahan/ <i>fatigue</i> .

Sumber: IRC (2014)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Berdasarkan IRC (2014), kontrol tegangan yang harus dilakukan adalah total tegangan yang terjadi akibat beban roda dan pengaruh perbedaan temperatur harus lebih kecil daripada kuat lentur beton. Selain itu, kontrol kelelahan/*fatigue* yang dilakukan adalah rasio pengulangan beban rencana (N_e) dan pengulangan beban yang diizinkan (N_f) harus kurang dari 1.

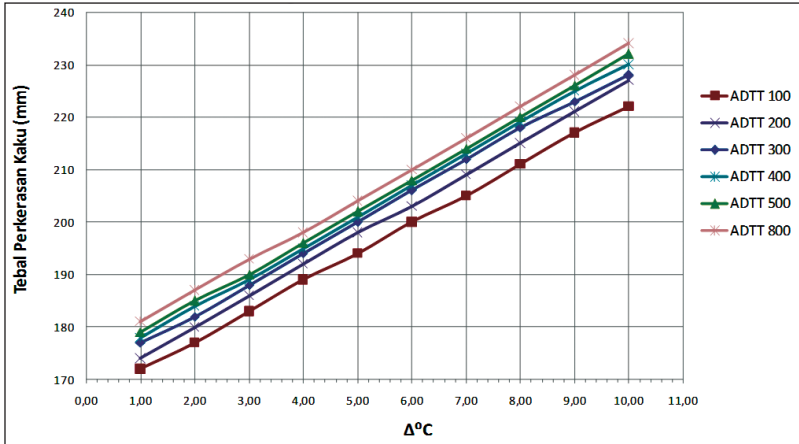
6. Apabila langkah di atas tidak terpenuhi, dilakukan trial kembali, dengan menambah ketebalan perkerasan kaku sampai hasil desain aman dan dapat diterima.
7. Membuat grafik hubungan antara ketebalan perkerasan dan mutu beton, temperatur, CBR Tanah dasar/*Subbase* serta LHR untuk mengetahui pola yang terjadi.

B. PENGARUH TEMPERATUR

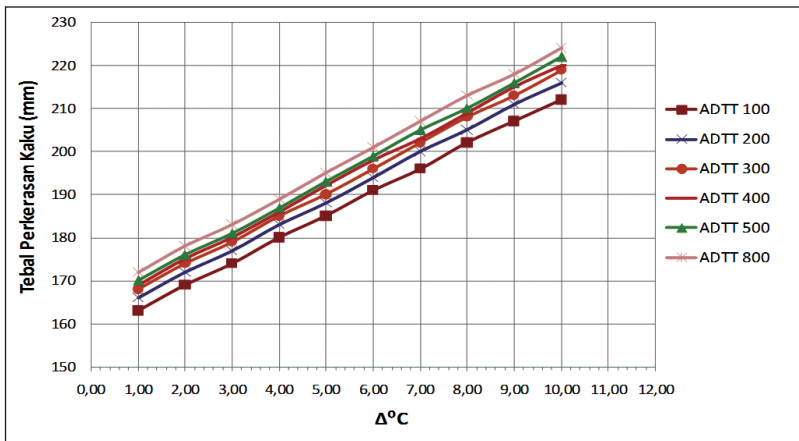
Seperti telah diuraikan sebelumnya, perbedaan temperatur antara permukaan atas dan bawah pelat beton akan memengaruhi kebutuhan tebal pelat beton. Perilaku/sensitivitas temperatur pada perkerasan kaku dapat diketahui dengan menggunakan lapis fondasi bawah berbutir (dengan *granular subbase*) bernilai k , lapis fondasi bawah = 54 MPa/m (Gambar 24–Gambar 26). Sementara itu, untuk dapat diketahui perilaku/sensitivitas temperatur pada perkerasan kaku tanpa menggunakan lapis fondasi bawah (tanpa *granular subbase*) dengan nilai k , tanah dasar = 45 MPa/m (Gambar 27–Gambar 29).

Perbedaan temperatur antara sisi atas dan bawah pelat beton (*slab*) terlihat cukup berpengaruh. Berdasarkan hasil analisis (Gambar 24–Gambar 29) menunjukkan besarnya penambahan ketebalan perkerasan kaku untuk setiap penambahan 1°C adalah sebesar 5–9 mm. Kondisi Indonesia dengan iklim tropis mempunyai perbedaan temperatur antara siang dan malam yang tidak terlalu ekstrem. Berdasarkan hasil pengujian temperatur pelat beton selama 24 jam

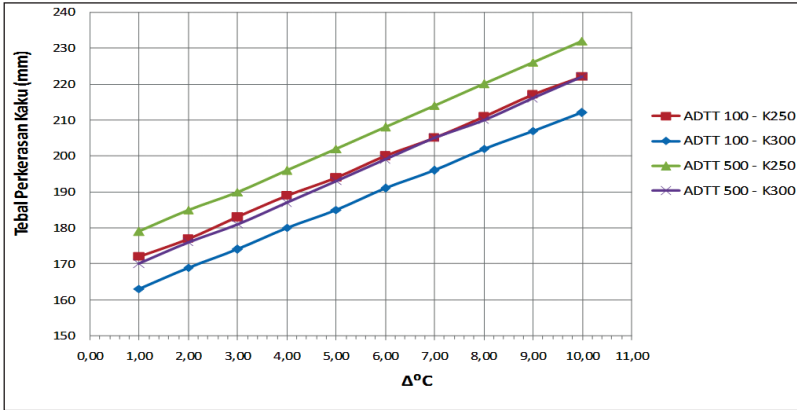
di Buntu, Jawa Tengah diperoleh hasil bahwa perbedaan temperatur yang terjadi adalah maksimal 5°C. Dengan demikian, sambungan tebal pelat akibat temperature gradien adalah sekitar 25–45 mm.



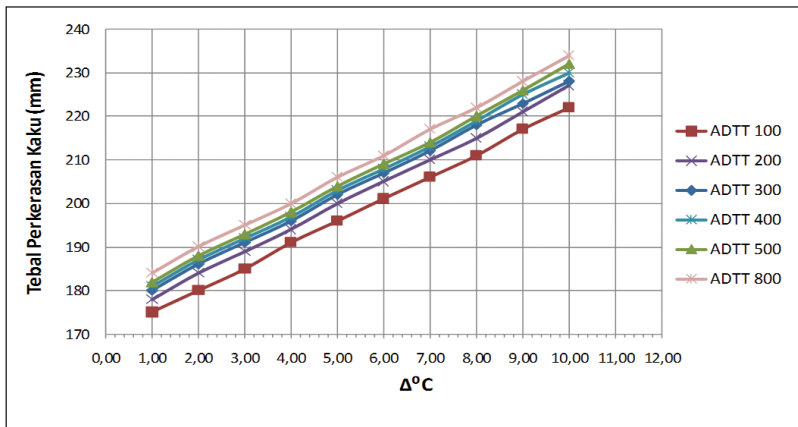
Gambar 24. Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250) dengan Subbase



Gambar 25. Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K300) dengan Subbase

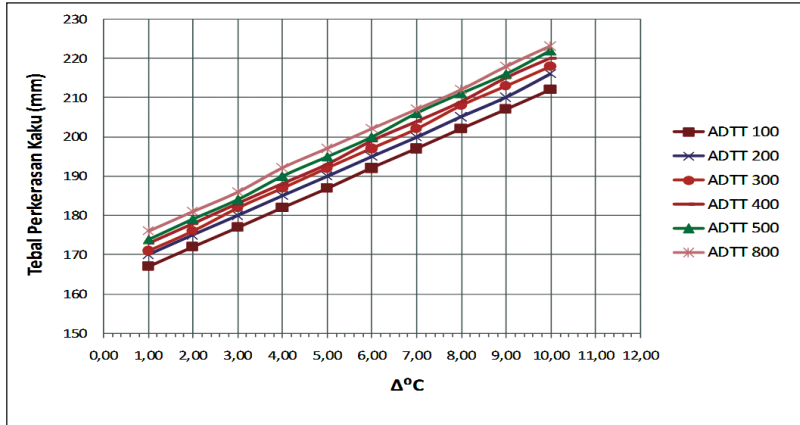


Gambar 26. Grafik Hubungan $\Delta^\circ\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250 & K350) dengan Subbase

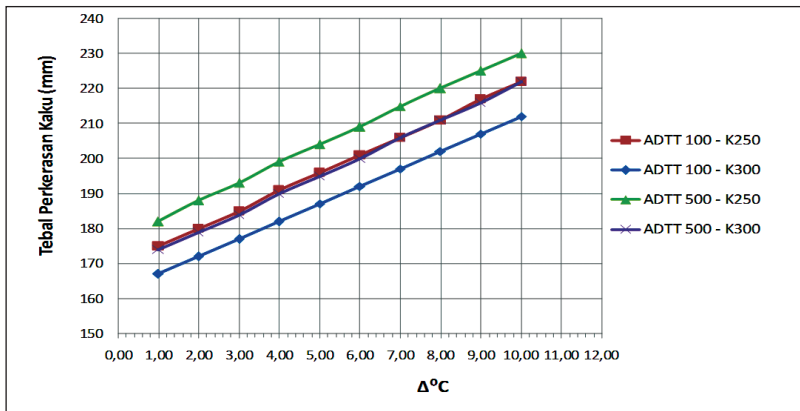


Gambar 27. Grafik Hubungan $\Delta^\circ\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250) tanpa Subbase

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 28. Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K300) tanpa Subbase



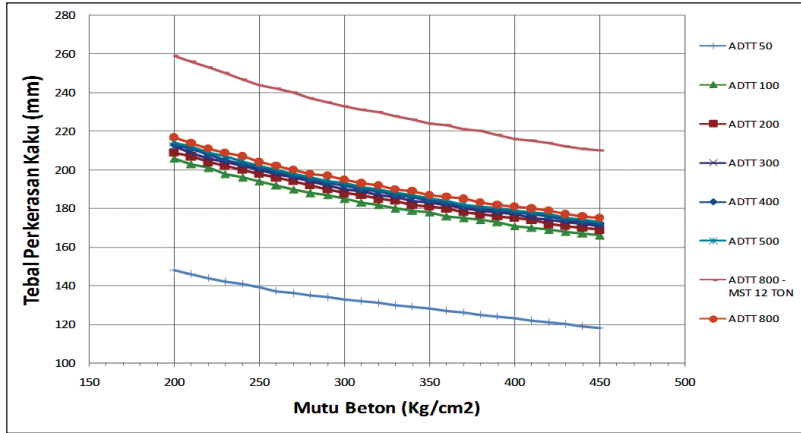
Gambar 29. Grafik Hubungan $\Delta^{\circ}\text{C}$ - Tebal Perkerasan Kaku (K250 & K350) tanpa Subbase

C. PENGARUH MUTU BETON

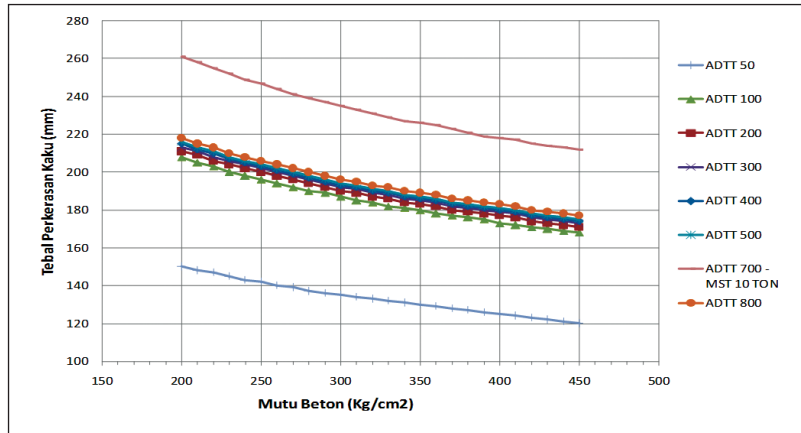
Mutu beton akan sangat berpengaruh pada hasil rancangan tebal pelat beton. Perilaku/sensitivitas mutu beton pada perkerasan kaku dapat diketahui dengan menggunakan lapis fondasi bawah berbutir (*granular subbase*) dengan nilai k , lapis fondasi bawah = 54 MPa/m, dapat dilihat pada Gambar 30. Sementara itu, perilaku/sensitivitas mutu beton pada perkerasan kaku dapat diketahui tanpa menggunakan lapis fondasi bawah (tanpa *subbase*) dengan nilai k , tanah dasar = 45 MPa (Gambar 31).

Mutu beton sangat berpengaruh terhadap penambahan tebal perkerasan bahwa besarnya penambahan ketebalan perkerasan kaku untuk setiap penambahan 10 MPa adalah sekitar 20 mm (Gambar 30 dan Gambar 31).

Gambar 30 dan Gambar 31 juga terlihat adanya 2 garis yang secara jelas terpisah, yaitu untuk grafik *Average Daily Traffic Truck* (ADTT) 50 dan grafik ADTT 700 Muatan Sumbu Terberat (MST) 10 ton. ADTT 50 terjadi karena kriteria yang digunakan hanya tegangan kritis dan tidak menggunakan kriteria kelelahan seperti yang ditentukan dalam IRC (2014). Sementara itu, untuk ADTT 700 MST 10 ton terjadi karena perbedaan beban sumbu terberat yang digunakan, yaitu 10 ton, sedangkan grafik yang lain menggunakan MST 8 ton.



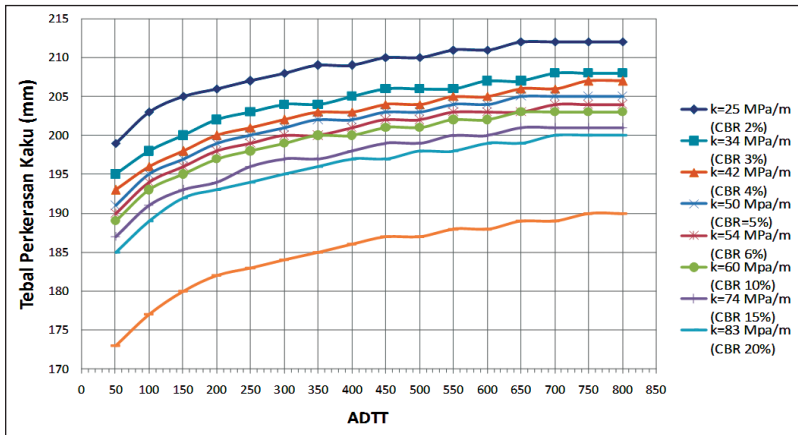
Gambar 30. Grafik Hubungan Mutu Beton-Tebal Perkerasan Kaku dengan Subbase



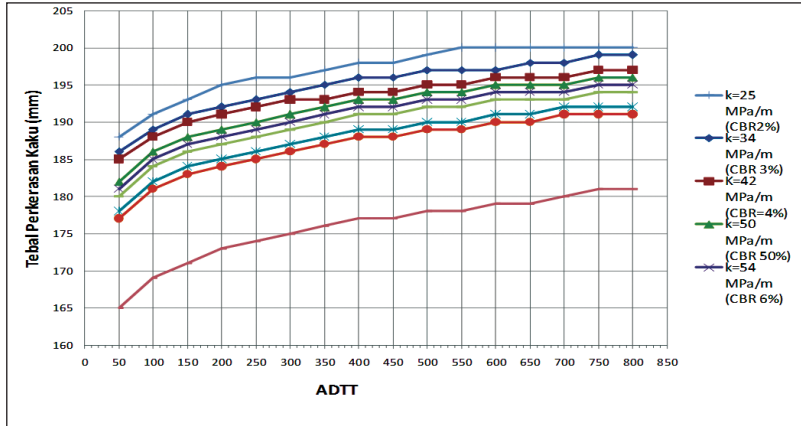
Gambar 31. Grafik Hubungan Mutu Beton-Tebal Perkerasan Kaku tanpa Subbase

D. PENGARUH LALU LINTAS

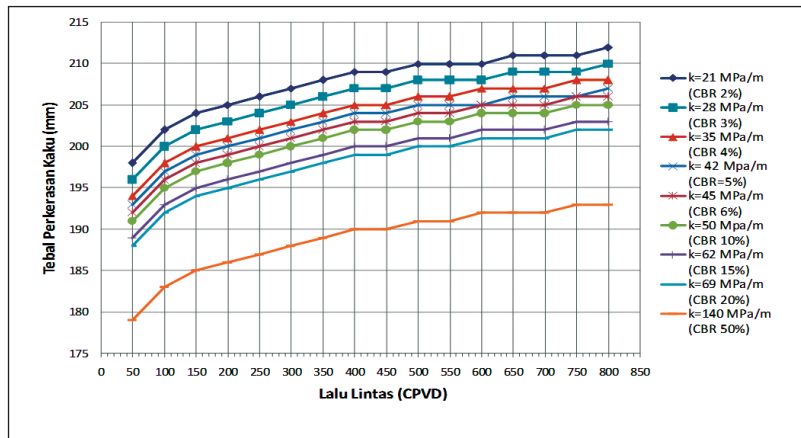
Sensitivitas rancangan tebal perkerasan kaku terhadap perubahan volume lalu lintas diperlihatkan pada Gambar 32–Gambar 33. Gambar tersebut menunjukkan struktur perkerasan yang menggunakan lapis fondasi bawah berbutir (*granular subbase*), dengan nilai k , lapis fondasi bawah = 54 MPa/m. Sementara itu, untuk mengetahui perilaku/sensitivitas lalu lintas pada perkerasan kaku yang tidak menggunakan lapis fondasi bawah (*tanpa subbase*) dengan nilai k , tanah dasar = 45 MPa/m, dapat dilihat pada Gambar 34–Gambar 35.



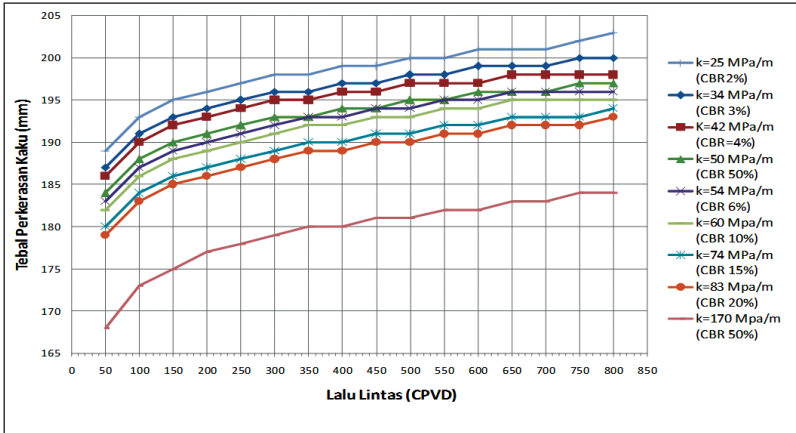
Gambar 32. Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K250) dengan *Subbase*



Gambar 33. Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K300) dengan *Subbase*



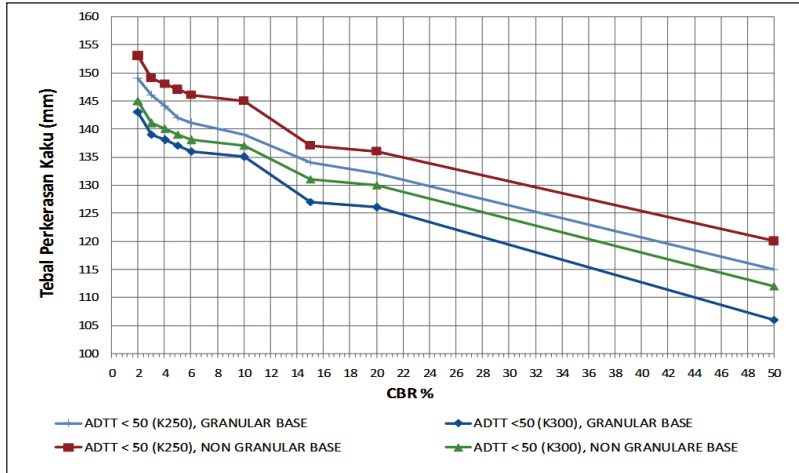
Gambar 34. Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K250) tanpa *Subbase*



Gambar 35. Grafik Hubungan Lalu Lintas (CVPD)-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K300) tanpa *Subbase*

E. PENGARUH MODULUS REAKSI TANAH (CBR)

Simulasi terhadap pengaruh CBR tanah dasar dibuat dengan menggunakan volume lalu lintas, CVPD < 50. Variasi parameter lain yang dibuat adalah mutu beton K250 dan K300 serta variasi penggunaan *subbase* dan tanpa *subbase*. Hasilnya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 36. Berdasarkan gambar tersebut terlihat peningkatan nilai CBR sekitar 2% akan menyebabkan pengurangan tebal rencana pelat beton sekitar 2,5–5 mm.



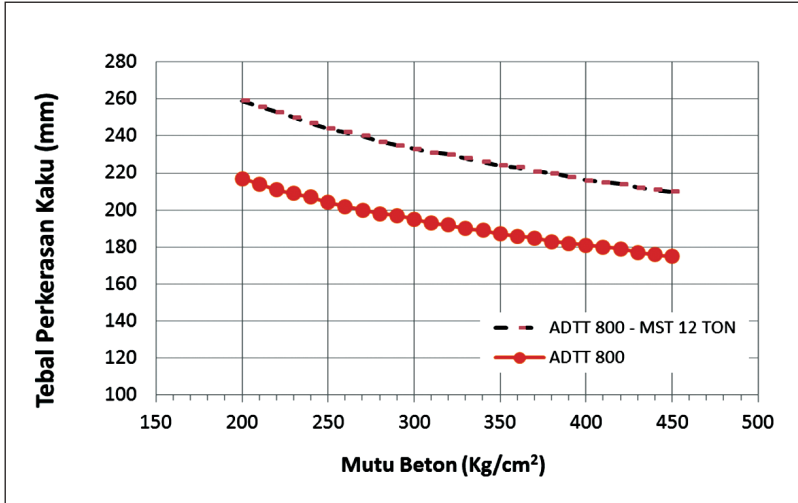
Gambar 36. Grafik Hubungan CBR-Tebal Perkerasan Kaku Mutu Beton (K250 & K300)–dengan & tanpa *Sub Base*

F. PENGARUH SUMBU TERBERAT

Berdasarkan Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perancangan, telah ditetapkan Muatan Sumbu Terberat (MST) adalah 8 ton untuk jalan kelas II dan kelas III, sedangkan untuk jalan kelas I MST 10 ton (Kementerian PU 2011).

Jalan kelas khusus seperti pada daerah industri, dilihat dari volume lalu lintasnya dapat dikategorikan sebagai jalan dengan lalu lintas rendah (*low volume roads*), namun mempunyai MST 10 atau 12 ton. Pengaruh dari nilai MST tersebut diperlihatkan pada Gambar 37.

Gambar 37 menunjukkan bahwa adanya peningkatan nilai MST akan menyebabkan penambahan tebal perkerasan beton sekitar 4 cm untuk kenaikan MST sebesar 4 ton.



Gambar 37. Grafik Pengaruh MST pada Tebal Perkerasan

BAB V

PENGEMBANGAN DESAIN

KATALOG

A. UMUM

Perkerasan jalan beton merupakan alternatif untuk pengganti perkerasan aspal karena pada daerah tertentu terdapat daya dukung tanah yang rendah, harga agregat mahal, dan kondisi drainase yang buruk. Pedoman desain perkerasan kaku yang ada di Indonesia saat ini adalah sebagai berikut:

1. Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton, Pd T-14-2003.
2. Manual Desain Perkerasan Jalan, Nomor 02/M/BM/2013.
3. Perancangan Perkerasan Kaku Beton Bersambung tanpa Tulangan, Pd T-14-2015.

Akan tetapi, pedoman desain yang ada belum cukup untuk memenuhi kebutuhan perancangan, pelaksanaan, dan pemeliharaan jalan perkerasan kaku untuk volume lalu lintas rendah. Hal tersebut terbukti dari hasil survei instansional dan survei lapangan dalam perancangannya belum mengacu Standar, Pedoman dan Manual (SPM) yang ada sehingga setiap daerah menggunakan pendekatan desain yang berbeda-beda.

B. BEBAN MST DAN VOLUME LALU LINTAS

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan, jalan kabupaten/kota yang dapat dikate-

gorikan memiliki volume lalu lintas yang rendah (*low volume roads*) adalah

1. Jalan kolektor primer, yaitu jalan yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten/kota (tidak termasuk jalan nasional).
2. Jalan lokal primer, yaitu jalan yang menghubungkan ibu kota kabupaten ke ibu kota kecamatan, ibu kota kabupaten dengan pusat desa dan antar-ibu kota kecamatan, ibu kota kecamatan dengan desa dan antardesa.
3. Jalan sekunder yang tidak termasuk jalan provinsi dan jalan sekunder dalam kota.
4. Jalan strategis kabupaten/kota.
5. Jalan kota adalah jalan umum pada jaringan jalan sekunder di dalam kota.
6. Jalan desa adalah jalan lingkungan primer dan jalan lokal primer yang tidak termasuk jalan kabupaten di dalam kawasan perdesaan, juga merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antarpermukiman di dalam desa.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perancangan Teknis Jalan, kelas jalan dapat di bagi menjadi:

1. Jalan kelas I, yaitu jalan arteri dan kolektor, dapat dilalui kendaraan bermotor dengan lebar maksimal 2,5 meter, panjang maksimal 18 meter, tinggi maksimal 4,2 meter, dan muatan sumbu terberat 10 ton.
2. Jalan kelas II, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan lebar maksimal 2,5 meter, panjang maksimal 12 meter, tinggi maksimal 4,2 meter, dan muatan sumbu terberat 8 ton.

3. Jalan kelas III, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan lebar maksimal 2,1 meter, panjang maksimal 9 meter, tinggi maksimal 3,5 meter, dan muatan sumbu terberat 8 ton.
4. Jalan kelas khusus, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan lebar maksimal 2,5 meter, panjang maksimal 18 meter, tinggi maksimal 4,2 meter, dan muatan sumbu terberat lebih dari 10 ton.

Beberapa peraturan di luar negeri mendefinisikan jalan lalu lintas rendah (*low volume roads*) adalah seperti berikut:

1. Menurut AASHTO (1993), jalan lalu lintas rendah adalah jalan yang akan dilewati beban lalu lintas kurang dari 1 juta *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) 18-kip/8,2 ton selama umur rencana. Pada beban lalu lintas 700.000–1.000.000 ESAL, disarankan menggunakan struktur perkerasan lentur atau kaku.
2. Sementara itu, menurut Perrie (2008), jalan lalu lintas rendah didefinisikan sebagai jalan dengan LHR kurang dari 1000 kendaraan terdiri atas kendaraan komersial kurang dari 30% dan kendaraan berat (lebih dari 4 roda) kurang dari 15%, dan sedikit kendaraan berat melebihi 8,2 ton sumbu/gandar tunggal.
3. Batasan lain yang digunakan antara lain volume lalu lintas LHR lebih kecil dari 450 CVPD (IRC 2014). *Comercial vehicle per day* (CVPD) adalah kendaraan komersial dengan beban gandar lebih dari 60 kN (3 ton) dan kurang dari 100 kN (10 ton).
4. NCHRP (2004) dalam perancangan perkerasan beton lalu lintas rendah berdasar pada kebutuhan struktural untuk analisis desain selama masa layan 20 dengan lalu lintas yang diasumsikan:
 - a. Lalu lintas tinggi dengan volume lalu-lintas selama umur layan adalah 250.000 sampai dengan 750.000 truk/bus (tipi-

- kal jalan kolektor dengan truk/bus sekitar 70 kendaraan per hari pada tahun pertama masa layan)
- b. Lalu lintas sedang dengan volume lalu-lintas selama umur layan adalah 50.000 sampai dengan 250.000 truk/bus (tipikal jalan kolektor dengan truk/bus sekitar 23 kendaraan per hari pada tahun pertama masa layan)
 - c. Lalu lintas rendah dengan volume lalu-lintas selama umur layan sampai dengan 50.000 truk/bus (tipikal jalan lokal atau jalan perdesaan dengan truk/bus sekitar 5 kendaraan per hari pada tahun pertama masa layan)
4. Menurut ACI (2002), definisi jalan lalu lintas rendah adalah sebagai berikut:
- a. Jalan permukiman rendah (*light residential*), melayani lalu lintas ke dan dari beberapa rumah (20 sampai 30). Lalu lintas volume rendah, kurang dari 200 kendaraan per hari (*Vehicles Per Day*, VPD) dengan 2–4 *Average Daily Traffic Truck* (ADTT) untuk truk dua sumbu, enam ban dan lebih. Truk yang menggunakan jalan-jalan ini umumnya memiliki beban sumbu ganda/tandem maksimum 150 kN (34 kips) dan 80 kN (18 kips) untuk sumbu tunggal. Truk sampah dan bus sering menjadi beban yang melebihi batasan (*overloads*).
 - b. Jalan permukiman (*residential*), lalu lintas umumnya terdiri atas kendaraan yang melayani perumahan ditambah sesekali truk. Volume lalu lintas berkisar 200–1.000 VPD dengan ADTT dari 10–50. Beban maksimum untuk jalan-jalan ini adalah 98 kN (22 kip) sumbu roda tunggal dan 150 kN (34 kip) sumbu ganda/tandem.
 - c. Jalan kolektor, volume lalu lintas bervariasi 1.000–8.000 VPD dengan sekitar 50 hingga 500 ADTT. Truk yang menggunakan jalan ini umumnya memiliki beban sumbu

tunggal maksimum 115 kN (26 kips) dan beban sumbu ganda/tandem maksimum 200 kN (44 kip).

- d. Jalan bisnis, jalan yang menghubungkan jalan arteri/tol dengan kawasan komersial. Volume lalu-lintas seperti jalan arteri/tol, namun dengan jumlah kendaraan truk yang lebih sedikit. Kecepatan kendaraan pada jalan bisnis cenderung lambat dan sering terjadi kemacetan. Volume lalu lintas rata-rata bervariasi dari 11.000 sampai 17.000 VPD dengan 400–700 ADTT. Beban roda/gandar maksimum sama dengan jalan kolektor.
- e. Jalan arteri, lalu lintas dari dan ke jalan tol serta melayani pergerakan utama lalu lintas dalam dan melalui daerah metropolitan.
- f. Jalan industri, menyediakan akses ke daerah industri. Total volume lalu lintas masih termasuk jalan lalu lintas rendah, tetapi persentase beban berat yang tinggi.

Berdasarkan literatur tersebut maka dapat diusulkan pembebanan dan volume lalu lintas yang dikategorikan jalan dengan lalu lintas rendah (*low volume roads*). Pembebanan yang digunakan adalah Muatan Sumbu Terberat (MST) 8 ton untuk seluruh fungsi jalan untuk kabupaten kota, kecuali untuk jalan khusus berkaitan dengan jalan industri menggunakan MST 12 ton. Sementara itu, untuk volume lalu lintas mengacu pada peraturan di luar negeri, yaitu peraturan IRC: SP:62-2014 dan ACI 325.12R-02 sehingga ditentukan pada Tabel 11.

Dalam perancangan jalan beton untuk lalu lintas rendah ini, penentuan tebal jalan beton didasarkan pada kategori lalu lintas yang dinyatakan dalam Lalu lintas Harian Rata-rata Kendaraan Niaga (LHR_N). Jenis kendaraan niaga yang termasuk dalam perancangan ini adalah kendaraan angkutan hasil pertanian, bus, truk sedang, dan truk berat dengan sumbu tunggal roda tunggal.

Tabel 11. Penentuan Deskripsi Jalan, Kelas Jalan Volume Lalu Lintas dan Beban Maksimum

No.	Deskripsi Jalan	Kelas Jalan	Lalu Lintas Kend. Komersil	Baban Desain Maks.
1.	Jalan Lokal	Kelas III	$LHR_N < 50$	MST 8 Ton
2.	Jalan Kolektor	Kelas II	$150 \leq LHR_N < 500$	MST 8 Ton
3.	Jalan Khusus	Khusus	$LHR_N < 800$	MST 12 Ton

Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan LHR_N menggunakan data terakhir dengan pencatatan kendaraan minimal selama 3 hari. LHR_N yang digunakan untuk perancangan tebal jalan beton adalah LHR_N yang telah dikalikan dengan faktor koefisien distribusi C (Tabel 12).

Jumlah kendaraan dengan beban MST yang melewati ruas jalan ditentukan maksimal 10% LHR_N . Apabila melebihi 10% LHR_N dipertimbangkan untuk menaikkan kategori LHR_N ke kriteria kategori jalan yang lebih tinggi. Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam perancangan jalan beton untuk lalu lintas rendah ini dibatasi maksimal sebesar 5%.

Tabel 12. Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi (C) Kendaraan Niaga

Lebar perkerasan (L)	Jumlah lajur	Koefesien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L < 5,5$ m	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25$ m	2 lajur	0,7	0,5
$8,25 \text{ m} \leq L < 11,25$ m	3 lajur	0,5	0,475
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00$ m	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75$ m	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00$ m	6 lajur	-	0,4

Sumber: Kementerian PU (2003)

C. MUTU BETON

Sensitivitas penambahan mutu beton terhadap ketebalan perkerasan beton dapat dilihat pada Gambar 30 dan Gambar 31. Berdasarkan pembahasan pada gambar tersebut besarnya penambahan ketebalan perkerasan kaku untuk setiap penambahan 10 MPa adalah sekitar 20 mm. Dengan demikian, penambahan mutu beton berpengaruh terhadap peningkatan ketebalan perkerasan kaku untuk jalan dengan lalu lintas rendah.

Mutu beton yang akan digunakan dalam penyusunan perancangan perkerasan kaku, ditentukan dengan mempertimbangkan mutu beton yang umum digunakan di daerah. Selain itu, juga mempertimbangkan peraturan-peraturan yang ada, baik di dalam negeri maupun luar negeri. Berdasarkan pengambilan data hasil pengujian di Laboratorium Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan untuk jalan kabupaten, menunjukkan bahwa mutu beton yang umum digunakan adalah mutu beton K250, atau dengan nilai $f_{s_{28}} = 3,5$ MPa; mutu beton K300, atau dengan nilai $f_{s_{28}} = 3,8$ MPa; dan mutu beton K350, atau dengan nilai $f_{s_{28}} = 4,1$ MPa. Dalam kajian pustaka terdapat beberapa mutu beton yang umum digunakan dalam perancangan jalan lokal, sebagai contoh dalam ACI 325.12R-02 menunjukkan nilai f_s yang digunakan adalah 3,4 MPa; 3,8 MPa; 4,1 MPa; 4,5 MPa; dan 4,8 MPa.

Dengan mempertimbangkan data hasil pengujian di Laboratorium Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan dan ACI 325.12R-02 maka ditentukan mutu beton yang digunakan untuk jalan beton untuk lalu lintas rendah adalah K250, K300, dan K350. Dalam analisis terhadap pengaruh kelelahan (*fatigue*) pada bahan akibat beban, kuat lentur yang digunakan dalam analisis adalah pada umur 90 hari dengan persamaan, $f_{s_{90}} = 1,1 \times f_{s_{28}}$.

Beton kurus dipasang di bawah pelat beton yang berfungsi sebagai lantai kerja dan perata. Beton kurus tidak digunakan dalam perhi-

tungan tebal jalan beton sehingga beton kurus dapat diganti dengan lapisan lain yang dapat berfungsi sebagai lantai kerja dan mempunyai kerataan yang sesuai. Beton kurus harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik ($f'c$) pada umur 28 hari sebesar 8 MPa sampai dengan 11 MPa dengan pengujian menurut SNI 03-1974-1990.

D. PERBEDAAN TEMPERATUR

Sensitivitas perbedaan temperatur permukaan atas dan bawah perkerasan kaku terhadap ketebalan perkerasan beton dapat dilihat pada Gambar 24, 25, 26, 27, 28, dan Gambar 29. Besarnya penambahan ketebalan perkerasan kaku untuk setiap penambahan perbedaan temperatur 1°C adalah sebesar antara 5–6 mm. Dengan demikian, penambahan perbedaan temperatur berpengaruh terhadap peningkatan ketebalan perkerasan kaku.

Dengan memperhatikan hasil penelitian temperatur pada perkerasan kaku di Indonesia berdasarkan penelitian Pusat Litbang Jalan dan Jembatan maka digunakan nilai maksimum perbedaan temperatur tertinggi adalah 5°C.

E. TANAH DASAR DAN LAPIS FONDASI BAWAH

Sensitivitas penambahan nilai CBR tanah dasar (*subgrade*) terhadap ketebalan perkerasan beton maka dapat dilihat pada Gambar 36. Penambahan ketebalan perkerasan kaku untuk setiap penambahan CBR % setiap sebesar 5% (dari rentang CBR 5%–20%) adalah rata-rata=1,85 mm. Dengan demikian, penambahan nilai CBR tanah dasar berpengaruh terhadap peningkatan ketebalan perkerasan kaku, tetapi pengaruhnya relatif kecil. Oleh karena itu, untuk menyederhanakan analisis maka nilai CBR tanah dasar ditentukan sebesar 6%. Hal tersebut mengacu kepada Spesifikasi Umum (Bina Marga 2010), yaitu nilai CBR tanah dasar minimal adalah 6%. Apabila tanah dasar mempunyai nilai

CBR 4% dan kurang dari 6% maka harus dilakukan penambahan tebal lapis fondasi bawah. Sebaliknya, apabila kurang dari 4%, harus dilakukan perbaikan tanah dasar terlebih dahulu.

Daya dukung lapis fondasi bawah ditentukan mempunyai nilai CBR lebih besar dari 60% dengan pengujian menurut SNI 1744–2012. Berdasarkan simulasi tersebut, ketebalan lapis fondasi bawah ditentukan sebesar 150 mm untuk CBR tanah dasar min. 6% dan 250 mm untuk CBR tanah dasar minimum 4% dan kurang dari 6%.

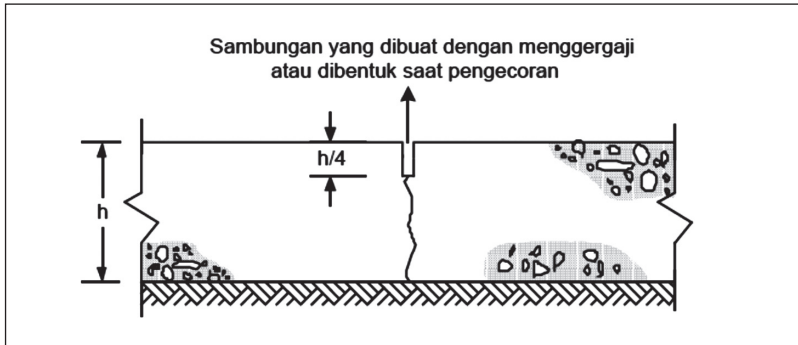
F. SAMBUNGAN RUJI (*DOWEL*)

Jenis sambungan yang diperlukan pada perkerasan kaku lalu lintas rendah adalah sebagai berikut:

1. Tebal Perkerasan Kaku 150 mm
Berdasarkan ACI 325.12R-15, jenis sambungan yang digunakan untuk perkerasan kaku dengan ketebalan 150 mm, tidak memerlukan ruji sebagai transfer beban untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah. Dengan demikian, untuk tebal perkerasan kaku 150 mm tidak memerlukan ruji.
2. Tebal Perkerasan Kaku 200 mm
Berdasarkan ACI 325.12R-15, jenis sambungan yang digunakan untuk perkerasan kaku dengan ketebalan 200 mm memerlukan ruji sebagai transfer beban untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah. Dengan demikian, untuk tebal perkerasan kaku 200 mm memerlukan perhitungan kebutuhan ruji. Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan ruji adalah berdiameter 32 mm, jarak spasi 300 mm, dan panjang 500 mm.

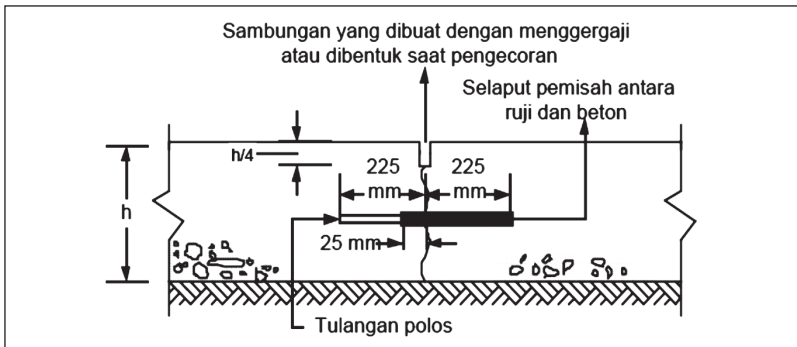
G. DESAIN KATALOG

Dalam perancangan tebal perkerasan kaku pada jalan lalu lintas rendah perlu dibuat Desain Katalog berupa tabel yang memuat ketebalan yang disyaratkan. Usulan yang dibuat diperlihatkan pada Tabel 13.



Sumber: Kementerian PU (2003)

Gambar 38. Sambungan Susut Melintang Tanpa Rujil



Sumber: Kementerian PU (2003)

Gambar 39. Sambungan Susut Melintang dengan Rujil

Tabel 13. Desain Katalog Jalan Beton untuk Jalan dengan Volume Lalu Lintas Rendah

Uraian	Kriteria Jalan		
	Jalan lokal	Jalan kolektor	Jalan khusus ³⁾
LHR_N	< 50	50–500	≤ 800
Beban MST ¹⁾	Maks. 8 Ton	Maks. 8 Ton	Maks. 12 Ton
Tebal beton	150 mm	200 mm	230 mm
Kuat lentur, S_c	3,5 (MPa)	3,8 (MPa)	4,1 (MPa)
Tebal beton kurus ²⁾	50 mm	100 mm	100 mm
Tebal Lapis	4% ≤ CBR < 6%	250 mm	250 mm
Fondasi bawah	CBR ≥ 6%	150 mm	150 mm
Jarak Sambungan melintang	4,0 m	4,0 m	4,0 m
Batang Pengikat (Tie Bars)	Mutu Baja Min.	BjTS 30	BjTS 30
	Diameter, Ø	13 mm	16 mm
	Panjang, L	600 mm	700 mm
	Spasi, S	750 mm	750 mm
Ruji (Dowel)	Mutu Baja Min.	Tanpa Ruji	BjTP 30
	Diameter, Ø		25 mm
	Panjang, L		450 mm
	Spasi, S		300 mm

Catatan:

1. Jumlah kendaraan dengan beban muatan sumbu terberat (MST) yang melewati ruas jalan ditentukan maksimal 10% LHR_N
2. Beton kurus berfungsi sebagai lantai kerja dan tidak diperhitungkan dalam perhitungan kekuatan struktur.
3. Akses ke kawasan Industri

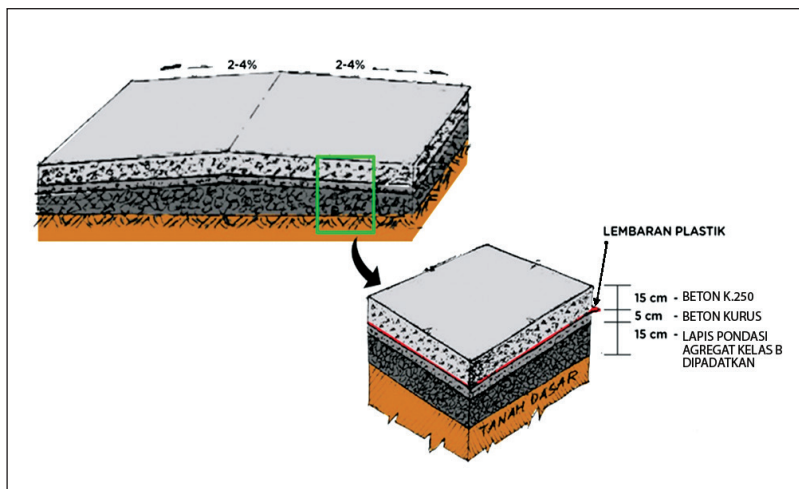
BAB VI

PELAKSANAAN JALAN

BETON

A. UMUM

Pelaksanaan jalan beton untuk jalan baru dimulai dengan penyiapan tanah dasar, pemasangan lapis fondasi agregat, dan dilanjutkan dengan pemasangan beton kurus (*lean concrete*) sebagai lantai kerja. Di atas lantai kerja dipasang perkerasan beton dengan tebal tertentu sesuai dengan rencana volume lalu lintas yang akan dilayani. Tipikal konstruksi jalan beton untuk volume lalu lintas rendah diperlihatkan pada Gambar 40.



Sumber: Kementerian PUPR (2016)

Gambar 40. Tipikal Konstruksi Jalan Beton

Pelaksanaan jalan beton pada jalan yang telah mempunyai perkerasan, seperti jalan perkerasan jenis penetrasi MacAdam maka pengerjaan jalan beton dapat dimulai dari pemasangan beton kurus dan dilanjut dengan beton semen dengan tebal tertentu. Pemasangan beton kurus tidak merupakan kewajiban mengingat fungsinya yang hanya sebagai lantai kerja dan tidak berfungsi struktural menahan beban kendaraan. Apabila ada jaminan bahwa lapis fondasi atau bekas perkerasan lama sudah mempunyai permukaan yang rata dan daya dukung yang cukup serta merata maka pemasangan beton kurus dapat ditiadakan.

B. PENYIAPAN TANAH DASAR DAN LAPIS FONDASI

Penyiapan tanah dasar dan lapis fondasi ini dilakukan agar diperoleh elevasi dan kekuatan tanah dasar sesuai dengan yang direncanakan. Pekerjaan meliputi pembersihan, pembentukan badan jalan, dan pemadatan tanah dasar. Kemiringan melintang tanah dasar dibuat sekitar 3% di daerah lurus. Daya dukung tanah dasar diusulkan bernilai CBR minimum 6%. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR 4% dan kurang dari 6% maka harus menambah tebal lapis fondasi bawah. Sebaliknya, apabila kurang dari 4% maka harus dilakukan perbaikan tanah dasar terlebih dahulu. Sebelum penghamparan lapis fondasi agregat, kemiringan tanah dasar harus dibentuk sesuai dengan kemiringan pada potongan melintang yang ditentukan pada gambar rencana. Selain itu, toleransi tinggi permukaan maksimum 2 cm dan penyimpangan kerataan permukaan tidak boleh lebih besar dari 1 cm apabila diukur dengan mistar perata (*straight edge*) sepanjang 3 m (Bina Marga 2010).

Lapis fondasi bawah berupa campuran batu pecah dan pasir dengan gradasi dan proporsi tertentu ditempatkan di atas tanah dasar dengan kekuatan CBR lebih besar dari 60% (Bina Marga 2010). Lapis

fondasi agregat dapat juga diganti dengan lapis fondasi sirtu (pasir batu) dengan nilai CBR lebih besar dari 35%, dengan tebal hamparan yang ditambah sesuai hasil perhitungan. Kemiringan lapis fondasi harus dibentuk sesuai dengan kemiringan pada potongan melintang yang ditentukan pada gambar rencana dan toleransi tinggi permukaan maksimum 2 cm. Penyimpangan kerataan permukaan tidak boleh lebih besar 1 cm apabila diukur dengan mistar perata (*straight edge*) sepanjang 3 m (Bina Marga 2010).

C. PENGECORAN BETON KURUS

Pengecoran beton kurus dilakukan setelah semua persiapan yang diperlukan telah disetujui. Apabila tidak menggunakan beton kurus (*lean concrete*), lapis fondasi harus dibuat rata, bersih dengan kepa-datan, dan kemiringan yang seragam. Pekerjaan pengecoran beton kurus, meliputi pembuatan acuan dengan tinggi 5 cm atau 10 cm, pengecoran, penghamparan, perataan, dan perawatan (*curing*) beton kurus. Kuat tekan rata rata beton kurus pada umur 28 hari antara K80 sampai K100. Kuat tekan tersebut umumnya dapat dicapai dengan perbandingan campuran: 1 Semen: 3 Pasir: 5 Krikil (Kementerian PUPR 2016).

Mutu beton kurus dibatasi agar cukup kuat sebagai lantai kerja, namun tidak terlalu kuat. Beton yang terlalu kuat (di atas K100) cenderung akan mengalami retak susut yang relatif besar, sedangkan beton kurus tidak direncanakan untuk mempunyai takikan pengarah retak susut (Kementerian PUPR 2016).

Beton kurus dipisahkan dengan perkerasan beton semen menggunakan plastik untuk memberikan pergerakan beton semen yang bebas sebagai akibat dari muai dan susut. Apabila tidak dipisahkan dengan plastik, ada kemungkinan beton kurus dan beton semen menyatu dan akibat muai/susut beton kurus akan mengalami retak.



Gambar 41. Tipikal Pengecoran Beton Kurus (Tanpa *Subbase*)

D. PENYIAPAN PEMBETONAN

Pada tahaan penyiapan pembetonan ada tiga hal yang dilakukan, yaitu pemasangan acuan tetap, pemasangan lembar plastik serta pemasangan ruji dan batang pengikat.

1. Pemasangan Acuan Tetap

Acuan yang digunakan dapat dibuat dengan bahan kayu atau baja, namun harus cukup kuat untuk menahan beban selama konstruksi. Lebih disarankan menggunakan acuan berbahan baja untuk mengurangi risiko terjadinya lendutan selama proses pelaksanaan pembetonan. Tebal baja yang digunakan tidak kurang dari 5 mm. Acuan harus diperkuat sedemikian rupa sehingga setelah terpasang cukup kokoh, tidak melentur atau turun akibat tumbukan dan getaran. Selain itu, acuan diikat pada tempatnya, paling sedikit dengan tiga pasak pada setiap 3,00 m panjang (Kementerian PUPR 2016).

2. Pemasangan Lembar Plastik

Pemasangan plastik berfungsi untuk menjaga kestabilan kadar air pada adukan beton semen dan memisahkan beton kurus dengan beton semen agar tidak terjadi gesekan dalam (*internal friction*). Pemisahan tersebut diperlukan agar beton semen dapat bergerak bebas pada saat mengalami susut dan muai. Pemasangan lembaran plastik/*membrane* selebar badan jalan yang akan dikerjakan (*dicor*). Apabila diperlukan sambungan, harus dibuat tumpang tindih sekurang-kurangnya 300 mm (Kementerian PUPR 2016).

3. Pemasangan Ruji dan Batang Pengikat

Ruji atau *dowel* berfungsi sebagai alat untuk mentransfer beban kendaraan yang lewat dari pelat yang satu ke pelat berikutnya. Ruji dipasang apabila tebal beton yang akan dihampar lebih dari 15 cm. Ruji berupa batang baja polos yang ditempatkan di tengah ketebalan pelat beton. Bagian batang ruji yang bisa bergerak bebas dilapisi dengan cat atau diolesi dengan bahan anti lengket. Dudukan ruji ditempatkan pada lapis fondasi bawah yang sudah dipersiapkan. Tipikal ruji diperlihatkan pada Gambar 42.

Batang pengikat (*tie bar*) berfungsi untuk mengikat pelat beton dengan pelat beton di sebelahnya (apabila ada). Batang pengikat yang digunakan adalah baja tulangan ulir dengan diameter 13 mm atau 16 mm, panjang 60 cm atau 70 cm, dan jarak antara 75 cm, tergantung dari tebal pelat beton yang akan digunakan. Batang pengikat harus bebas dari kotoran, minyak, cat, lemak, dan karat yang akan mengganggu kelekatan baja dengan beton (Kementerian PUPR 2016). Batang pengikat diletakkan pada lokasi sambungan memanjang yang disusun di atas dudukan seperti diperlihatkan pada Gambar 42.

Gambar 43 memperlihatkan kondisi lapangan yang sudah siap untuk dilakukan pembetonan. Acuan, lembaran plastik sebagai pe-



Ket.: a. Ruji (*Dowel*): baja tulangan polos, satu sisi dapat bergerak bebas/tidak diikat
 b. Batang Pengikat (*Tie bar*); Baja Tulangan Ulir

Gambar 42. Tipikal Ruji dan Batang Pengikat

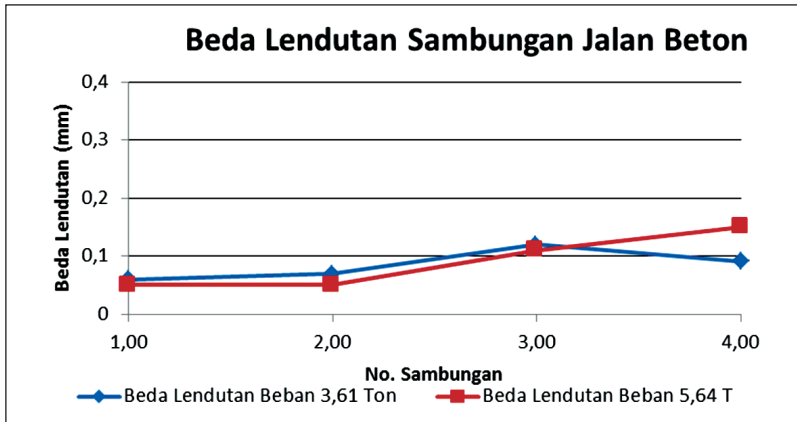


Gambar 43. Tipikal Pemasangan Acuan, Lembar Plastik, Ruji, Batang Pengikat dan Sambungan Konstruksi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

misah gesekan (*internal friction*), ruji, batang pengikat, dan sambungan konstruksi telah terpasang semuanya.

Menurut IRC (2014), jalan perdesaan/permukiman dengan tebal pelat beton 15 cm tidak dipasang ruji pada sambungan melintang. Pada ruas jalan tersebut diasumsikan bahwa kendaraan berat sangat jarang lewat. Pusjatan telah melakukan pengujian pembebanan di lapangan untuk mengetahui perilaku lendutan pada daerah sambungan pelat beton dengan tebal 15 cm. Pengujian tersebut menunjukkan perilaku lendutan yang berbeda antara pelat yang dibebani dan yang tidak dibebani. Pelat yang diuji berupa pelat beton dengan tebal 15 cm dan tanpa menggunakan ruji pada sambungan melintang. Pelat beton dibuat di atas beton kurus 5 cm dan lapis tanah dasar dengan CBR 20%. Panjang total pelat 20 meter dengan jumlah sambungan 4 buah, masing-masing berjarak 4 meter. Alat uji beban berupa 1 truk dengan 2 sumbu, yaitu sumbu tunggal roda tunggal dan sumbu tunggal roda ganda. Sensor yang dipasang pada benda uji adalah sensor pengukuran regangan jenis *polyester*, sensor pengukur lendutan dan sensor *vibrating wire*. Sensor dipasang di setiap titik sambungan dan di tengah segmen. Perilaku lendutan pada sambungan melintang menunjukkan ada perbedaan lendutan yang sangat kecil, yaitu antara 0,06–0,15 mm (Gambar 44). Perbedaan lendutan yang sangat kecil menunjukkan terjadinya transfer beban antar pelat yang baik. Transfer beban terjadi melalui *interlock* agregat pada daerah sambungan.



Gambar 44. Beda Lendutan pada Sambungan Jalan Beton Tebal 15 cm

E. PEMBETONAN

Perancangan campuran beton merupakan hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Untuk memperoleh campuran beton semen yang memenuhi persyaratan, rancangan yang dibuat harus memperhatikan hal sebagai berikut (Kementerian PU 2004).

a. Faktor air-semen (*fas*)

Nilai perbandingan air terhadap semen atau yang disebut faktor air-semen mempunyai pengaruh yang kuat secara langsung terhadap kekuatan beton. Harus dipahami secara umum bahwa semakin tinggi nilai faktor air semen, semakin rendah mutu kekuatan beton. Faktor air semen yang rendah sangat membantu dalam mempertahankan kekesatan permukaan perkerasan beton.

b. Tipe semen

Penggunaan tipe semen yang berbeda, yaitu semen Portland tipe I, II, IV dengan semen Portland yang memiliki kekuatan awal yang tinggi (tipe III) akan memerlukan nilai faktor air-semen yang berbeda.

c. Keawetan

Beton harus memiliki kemampuan mempertahankan mutu kekuatan selama kurun waktu umur layanan. Ketentuan nilai faktor air-semen maksimum dan kadar semen minimum harus diperhatikan sesuai dengan kondisi lingkungan. Faktor air semen maksimum yang disarankan untuk beton di luar ruang bangunan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung adalah 0,6 dan kadar semen minimum adalah 325 kg/m³.

d. Kemudahan kerja

Adukan beton segar harus mudah dikerjakan tanpa terjadi *bleeding* dan atau segregasi. Adukan harus seragam dan homogen dengan konsistensi tertentu. Kadar air dijaga serendah mungkin (dalam batas kemudahan kerja) untuk mendapatkan beton yang padat dan awet. Adukan beton yang terlalu kental atau terlalu encer dapat dicegah dengan penggunaan slump 25 mm–75 mm.

e. Kadar semen

Kadar semen yang diperoleh dari hasil perhitungan rancangan dibandingkan ketentuan kadar semen minimum berdasarkan pertimbangan durabilitas. Selain itu juga dibandingkan antara kadar semen hasil perhitungan dan batas kadar semen maksimum untuk mencegah terjadinya retak akibat panas hidrasi yang tinggi.

f. Bahan tambah

Penggunaan bahan tambah dapat dilakukan untuk maksud kemudahan pekerjaan yang lebih tinggi, pengikatan beton yang lebih cepat, atau pengikatan yang lebih lambat. Beberapa jenis bahan tambah dan kegunaannya diperlihatkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Jenis dan Kegunaan Bahan Tambah

No	Jenis	Kegunaan	Maksud
1.	<i>Air Entrainment</i>	Kemudahan pengerjaan kepad air dan keawetan.	Memasukkan gelembung udara (0,03–0,08 mm) secara merata ke dalam beton.
2.	<i>Water Reducer</i>	Mempertahankan <i>slump</i> dan kemudahan pengerjaan.	Mengurangi penggunaan air dan semen.
3.	<i>Retarder</i>	Menyesuaikan waktu pelaksanaan pembetonan.	Memperlambat waktu pengikatan.
4.	<i>Accelerator</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kuat awal tinggi dalam waktu relatif singkat. - Tidak boleh digunakan bersamaan dengan “<i>Air Entrainment</i>”. - Sering mengandung kalsium klorida yang menimbulkan korosi dan reaksi alkali-agregat. <p>Catatan: Lebih aman bila digunakan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semen kuat awal tinggi. - Beton mutu tinggi. - Pemanasan uap. 	Mempercepat waktu pengikatan.
5.	<i>Plasticizer</i>	Meningkatkan kemudahan dan mutu pengerjaan (<i>workability</i>).	<ul style="list-style-type: none"> - Bila proporsi campuran dan bentuk agregat kurang baik, adukan kurang <i>workable</i>. - Bila jarak tulangan rapat.
6.	Lain-lain Pozolan	Mengendalikan suhu dalam beton dan mencegah reaksi alkali-agregat.	Beton masif (mutu dan cara uji semen pozolan sesuai dengan SII 0132-75).

Sumber: Kementerian PU (2004)

Tahapan dalam pelaksanaan pembetonan perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas perkerasan beton yang akan dihasilkan. Beberapa ketentuan dalam pelaksanaan pembetonan adalah seperti diuraikan di bawah ini.

1. Pengadukan Beton Semen

Pengadukan beton semen harus menghasilkan beton semen yang homogen, seragam, dan ekonomis. Bahan tambah yang berupa cairan dicampur ke dalam air sebelum dituangkan ke dalam mesin pengaduk. Seluruh air campuran harus sudah dimasukkan ke dalam mesin pengaduk sebelum seperempat masa pengadukan selesai. Lamanya waktu pencampuran (*mixing time*) ditetapkan dari hasil percobaan campuran. Waktu pencampuran tidak boleh kurang dari 75 detik, kecuali ada data untuk mencampur minimum 60 detik.

2. Pengangkutan Adukan Beton

Pengangkutan adukan beton ke lokasi pengecoran dapat menggunakan antara lain: *tipping trucks*, *truck mixers* atau *agitators*, sesuai dengan pertimbangan ekonomis dan jumlahnya beton yang diangkut. Apabila beton diangkut dengan peralatan yang tidak bergerak (*non-agitating*), rentang waktu terhitung mulai semen dimasukkan ke dalam mesin pengaduk hingga selesai pengangkutan ke lokasi tidak boleh melebihi 45 menit untuk beton normal dan tidak boleh melebihi 30 menit untuk beton yang memiliki sifat mengeras lebih cepat atau temperatur beton $\geq 30^{\circ}\text{C}$. Apabila menggunakan *truck mixers* atau *truck agitators*, rentang waktu pengangkutan diizinkan hingga 60 menit untuk beton normal, tetapi harus lebih pendek lagi jika untuk beton yang mengeras lebih cepat atau temperatur beton $\geq 30^{\circ}\text{C}$ (Kementerian PU 2004).

3. Pengecoran, Penghamparan, dan Pematatan

Pengecoran beton harus dilakukan secara hati-hati agar tidak terjadi segregasi. Tinggi jatuh adukan beton harus diperhatikan antara 0,90 m–1,50 m tergantung dari konsistensi adukan. Pengecoran beton harus dihentikan apabila temperatur beton pada saat dituangkan lebih dari 32°C (Kementerian PU 2004).

Beton harus dihampar dengan ketebalan yang sesuai dengan tipe dan kapasitas alat pematat. Adukan beton harus dipadatkan dengan sebaik-baiknya. Salah satu metode pematatan adalah menggunakan getaran yang dioperasikan dengan tangan (*hand-operated vibrating beam*). Alat ini berupa balok yang bertumpu di atas acuan-acuan samping. Kepadatan beton dicapai dengan menggetarkan satu unit balok penggetar yang dioperasikan secara manual.

Pematatan juga dapat dilakukan dengan alat yang dibenamkan ke dalam beton (*immersion vibrator*). Pematatan beton harus dihentikan



Gambar 45. Penghamparan dan Pematatan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sebelum terjadi bliding (*bleeding*) pada permukaan beton, dan harus sudah selesai sebelum pengikatan awal terjadi. Pemadatan beton segar dimaksudkan untuk menghilangkan rongga-rongga udara yang terdapat di dalamnya. Tinggi atau rendahnya kekuatan, keawetan, dan kekedapan beton setelah mengeras sebanding dengan tinggi atau rendahnya derajat kepadatan beton. Tipikal penghamparan dan pemadatan jalan beton di jalan kabupaten diperlihatkan pada Gambar 45.

4. Pembentukan Tekstur Permukaan

Beton yang sudah dihamparkan dan dipadatkan, harus dibentuk dan diratakan dengan alat perata manual atau mesin perata. Alat perata harus melintas setiap bagian permukaan jalan maksimum 3 kali untuk memperoleh kepadatan dan menghasilkan tekstur permukaan yang rata (Kementerian PUPR 2016).

Setelah dibentuk dan dipadatkan, selanjutnya beton diperhalus, diperbaiki, dan dipadatkan lagi menggunakan bantuan alat-alat pelepa atau penyetrika. Permukaan beton kemudian diperiksa lagi kerataannya, paling sedikit 2 kali lintasan dengan mistar lurus (Kementerian PUPR 2016).

Pembuatan alur harus didahului oleh penarikan karung goni, yang terakhir diikuti pembuatan alur dengan sisir kawat. Ukuran penampang kawat 0,6 mm × 3 mm dengan panjang 12,5 cm dan jarak antarkawat 2 cm dalam arah memanjang serta 2,5 cm untuk arah melintang yang dipasang secara acak. Lakukan penggoresan sampai kedalaman alur mencapai 3 mm–6 mm (Kementerian PUPR 2016). Penggoresan harus dilakukan dengan bantuan mistar perata (*straight edge*) agar mendapatkan alur yang lurus dan dilaksanakan secara manual. Tipikal pelaksanaan pembuatan alur awal dengan karung goni, dan pembuatan alur dengan sisir kawat diperlihatkan pada Gambar 46 dan Gambar 47.



Gambar 46. Penghalusan Beton dengan Pelepa dan Pembuatan Alur Awal dengan Penarikan Kain/Karung Goni



Gambar 47. Pembuatan Alur dengan Sisir Kawat sampai Kedalaman 3–6 mm

Buku ini tidak diperjualbelikan.

F. PENYELESAIAN AKHIR

Tahap penyelesaian dalam pembetonan jalan dibagi menjadi tiga, yaitu perawatan, pembuatan sambungan dengan penggergajian, dan penutupan sambungan.

1. Perawatan (*Curing*)

Selama proses hidrasi, beton perlu dirawat untuk memastikan bahwa air dalam beton muda yang diperlukan untuk proses hidrasi tidak menguap. Perawatan dilakukan minimal selama 7 hari. Salah satu perawatan yang baik adalah dengan cara penyemprotan bahan larutan yang sesuai, seperti pigmen putih (*white-pigmented*), bahan dasar resin (*resin-based*), atau bahan dasar karet klorinat (*chlorinated-rubber-base*), selaput kompon yang sesuai dengan ASTM C309. Kompon harus disemprotkan dengan jumlah $0,3 \text{ ltr/m}^2$ ($3,75 \text{ m}^2/\text{ltr}$) untuk tebal pelat $\geq 12,5 \text{ cm}$ dan $0,2 \text{ ltr/m}^2$ ($2,5 \text{ m}^2/\text{ltr}$) untuk tebal pelat $< 12,5 \text{ cm}$ (Kementerian PU 2004). Pelaksanaan penyemprotan dengan kompon atau pigmen putih diperlihatkan pada Gambar 48.



Gambar 48. Perawatan dengan Cara Penyemprotan Pigmen Putih

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Geotextile atau karung goni yang lembap dapat dipergunakan untuk menutup permukaan beton, lembar penutup harus diletakkan sedemikian rupa sehingga menempel pada permukaan beton, tetapi tidak boleh diletakkan sebelum beton cukup mengeras agar mencegah pelekatan. Lembar *geotextile* atau karung goni harus dijaga tetap lembap/basah dengan penyiraman secara berkala.

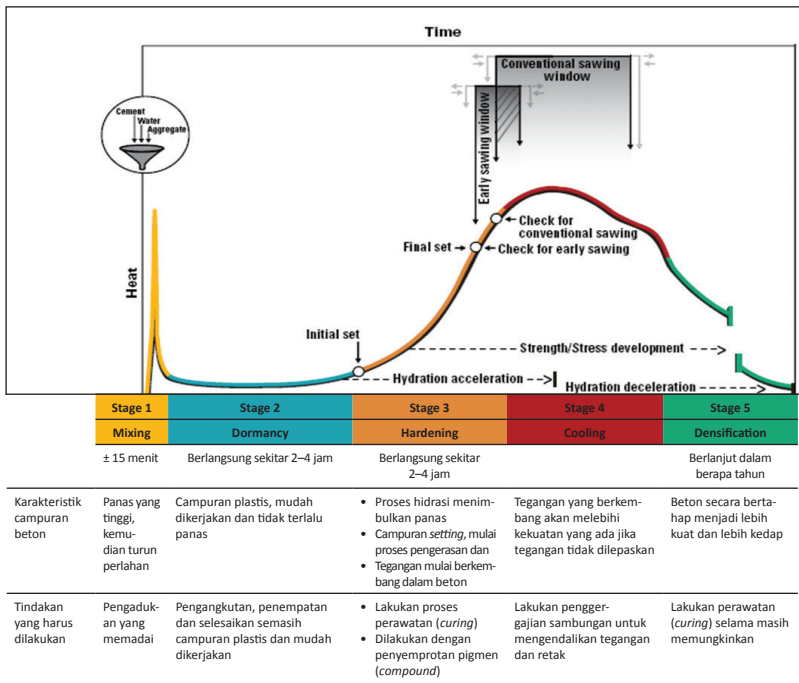
Pusjatan telah melakukan kajian tentang efektivitas perawatan pelat beton dengan menggunakan beberapa cara. Perawatan dilakukan pada pelat beton dengan mutu K250 dan tebal 15 cm. Perawatan dilakukan antara lain dengan penggenangan air, penyiraman pada pagi hari, penyemprotan *geotextile* dan pigmen putih. Beberapa cara tersebut diaplikasikan pada benda uji agar mengetahui cara perawatan yang paling efektif, untuk itu benda uji dibagi tiga segmen. Segmen 1 merupakan bagian dari jalan beton yang tidak dilakukan perawatan. Segmen 2 merupakan bagian dari jalan beton yang dirawat (*curing*) dengan digenangi air. Segmen 3 merupakan bagian dari jalan beton yang dirawat dengan *geotextile* dan pigmen putih. Setelah benda uji berumur 28 tahun dilakukan pengambilan sample uji *core drill* dengan masing-masing 2–3 buah dari setiap segmennya. Hasil dari uji *core drill* setiap segmen dibandingkan nilai kuat tekan jalan betonnya. Segmen 1, 2, dan 3 berturut-turut menghasilkan nilai perbandingan sebesar 82,9%, 98,9%, dan 98,7%. Segmen 2 menunjukkan nilai yang paling besar, yaitu 98,9%, cara perawatan yang diaplikasikan pada segmen 2, yaitu dengan digenangi air (Tabel 15).

Tabel 15. Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (*Core Drill*)

No.	Nama Segmen	Nilai Kuat Tekan Karakteristik Segmen (Kg/cm ²)	Nilai Kuat Tekan Karakteristik Benda Uji (Kg/cm ²)	Nilai Perbandingan (%)
1	Segmen 1	280,748	338,677	82,9%
2	Segmen 2	334,911	338,677	98,9%
3	Segmen 3	334,202	338,677	98,7%

2. Pembuatan Sambungan dengan Penggergajian (*Sawing*)

Pembuatan sambungan dapat dibuat dengan cara penggergajian, menggunakan sekat multiplek, atau baja yang dipasang pada saat pengecoran dan dibuka setelah beton cukup mengeras. Teknik penggergajian merupakan cara terbaik saat ini dan harus dipertimbangkan untuk ruas-ruas jalan utama. Penggergajian sambungan susut melintang dan memanjang harus dimulai secepat mungkin setelah beton mengeras dan dijamin tidak terjadi pelepasan butir, umumnya 4 jam–8 jam, tergantung dari hasil uji coba lapangan. Keterlambatan penggergajian akan menyebabkan terjadinya retak susut melintang yang umumnya terjadi di dekat sambungan melintang.



Sumber: Taylor dkk. (2007)

Gambar 49. Karakteristik Beton dan Waktu untuk Penggergajian (*Sawing*)

Pelaksanaan waktu penggergajian dan tipikal pelaksanaannya diperlihatkan pada Gambar 49 dan Gambar 50. Pada Gambar 49 diperlihatkan variasi temperatur beton dimulai pada saat pencampuran, pengerasan awal (*inisial setting*), pengerasan akhir (*final setting*), dan rentang waktu penggergajian. Waktu penggergajian dilaksanakan pada saat beton telah mencapai *final setting* dan temperatur beton mulai menurun.

Teknik yang lain, yaitu dengan sambungan susut melintang basah. Sambungan susut melintang basah dilakukan dengan memasukkan lembaran plastik dengan cara menekan sekat multiplek atau baja berbentuk “T” ke dalam beton yang masih plastis dan dibuka setelah beton cukup mengeras. Metode ini hanya disarankan untuk jalan beton pada daerah perdesaan, yang tidak tersedia gergaji beton (*concrete cutter*).



Gambar 50. Pembuatan Sambungan/Penggergajian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

3. Penutupan Sambungan

Celah harus dikeringkan dan dibersihkan dengan menggunakan kompresor sebelum pemasangan lapis penutup. Jika ada kerusakan harus diperbaiki terlebih dahulu. Pengisian sambungan beton dilakukan dengan menggunakan bahan pengisi yang bersifat elastis seperti aspal/ termoplastik tuang panas atau dengan *sealant*, seperti ditunjukkan pada Gambar 51.



Gambar 51. Penutup Sambungan dengan Termoplastik Tuang Panas dan *Sealant*

G. PEMBUKAAN UNTUK LALU LINTAS

Perkerasan harus dilindungi dari kerusakan yang diakibatkan oleh lalu lintas proyek dengan hanya mengizinkan lalu lintas tersebut lewat pada perkerasan sampai beton mencapai kekuatan seperti yang tercantum pada Tabel 16. Lalu lintas umum tidak diperbolehkan melewati perkerasan sampai kekuatan beton mencapai kekuatan yang memadai seperti pada Tabel 17.

Tabel 16. Kuat Tekan Minimum untuk Pembukaan Lalu lintas Proyek

Tebal pelat (cm)	Kuat tekan minimum yang diijinkan (f_c') MPa (kg/cm ²)
12,5	27,6 (276)
> 12,5	17,9 (179)

Sumber: Kementerian PU (2004)

Tabel 17. Kuat Tekan Minimum untuk Pembukaan Lalu lintas Umum

Tebal pelat (cm)	Kuat tekan untuk pembukaan lalu lintas umum (f_c') MPa (kg/cm ²)	
	Hanya kendaraan penumpang	Lalu lintas campuran*
12,5	17,9 (179)	27,6 (276)
> 12,5		17,9 (179)

Catatan: *Menganggap ada 500 lintasan beban sumbu ekuivalen (ESAL) dalam satu arah antara waktu pembukaan dan waktu beton mencapai kuat tekan rencana (kuat tekan pada 28 hari).

Sumber: Kementerian PU (2004)

H. HARGA SATUAN

Harga satuan untuk masing masing jenis pekerjaan diperlihatkan pada Tabel 18, Tabel 19, dan Tabel 20 dengan mempertimbangkan harga satuan bahan yang berlaku di lokasi pekerjaan. Harga satuan akan berubah sesuai dengan lokasi dan tahun pelaksanaan konstruksi. Namun, perkiraan kuantitas yang disampaikan umumnya tidak akan

banyak mengalami perubahan. Analisis harga satuan yang dibuat tersebut telah mengacu pada ketentuan yang berlaku, yaitu Permen PUPR Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

Tabel 18. Tipikal Analisis Harga Satuan Lapis Fondasi

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH SATUAN (Rp)
A TENAGA					
1	Pekerja	Jam	0,2490	10.839,29	2.698,94
2	Mandor	Jam	0,0241	17.267,86	416,09
Jumlah harga tenaga					3.115,03
B BAHAN					
1	Agregat B	m ³	1,2586	175.740,63	221.188,79
Jumlah harga bahan					221.188,79
C PERALATAN					
1	<i>Tandem Roller</i>	Jam	0,2054	349.595,19	71.789,86
2	<i>Water Tanker</i>	Jam	0,0040	517.132,50	2.076,84
3	Alat bantu	Ls	0,0141	285.600,68	4.014,47
Jumlah harga peralatan					77.881,17
Jumlah total biaya (A+B+C) m³					302.184,99

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 19. Tipikal Analisis Harga Satuan Beton Korus $f_c' = 7$ sampai 8,5 MPa (K80 sampai K100)

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH SATUAN (Rp)
A TENAGA					
1	Pekerja	Jam	3,0120	10.839,30	32.648,45
2	Tukang	Jam	0,6020	14.410,70	8.681,15
3	Mandor	Jam	0,3010	17.267,90	5.201,16
Jumlah harga tenaga					46.530,77
B BAHAN					
1	Semen	kg	179,38	1.366,15	245.053,16
2	Pasir beton	m ³	0,7220	166.700,00	120.395,87
3	Agregat kasar	m ³	0,880	157.979,76	139.027,83
4	Kayu perancah	m ³	0,023	1.800.000,00	41.512,50
5	Air	liter	87,50	79,00	6.912,50
6	Paku	kg	0,1250	18.000,00	2.241,00
Jumlah harga bahan					555.143,54
C PERALATAN					
1	<i>Dump Truck</i>	Jam	0,2801	349.595,19	97.928,77
2	<i>Concrete Mixer</i>	Jam	0,3012	75.878,75	22.855,05
3	Vibrator	Jam	0,3012	37.538,69	11.306,84
4	Penghampar	Jam	0,5556	14.410,71	8.005,95
Jumlah harga peralatan					140.096,61
Jumlah total biaya (A+B+C) m³					741.770,91

Tabel 20. Tipikal Analisis Harga Satuan Beton mutu $f_c' = 20$ MPa (K250)

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN Kuantitas	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH SATUAN (Rp)
A TENAGA					
1	Pekerja	Jam	4,217	10.839,3	45.707,83
2	Tukang	Jam	0,602	14.410,7	8.681,15
3	Mandor	Jam	0,602	17.267,9	10.402,32
Jumlah harga tenaga					64.791,31
B BAHAN					
1	Semen	kg	256,25	1.366,15	350.075,94
2	Pasir beton	m ³	0,683	166.700,00	113.824,04
3	Agregat kasar	m ³	0,843	157.979,76	133.244,65
4	<i>Joint Sealant</i>	kg	1,435	34.100,00	48.933,50
5	Lembaran plastik	kg	0,897	19.250,00	17.264,84
6	Kayu perancah	m ³	0,062	1.800.000,00	110.700,00
7	Air	liter	125,0	79,00	9.875,00
8	Paku	kg	0,332	18.000,00	5.977,80
Jumlah harga bahan					789.895,77
C PERALATAN					
1	<i>Dump Truck</i>	Jam	0,2801	349.595,19	97.928,77
2	<i>Concrete Mixer</i>	Jam	0,3012	75.878,75	22.855,05
3	Vibrator	Jam	0,3012	37.538,69	11.306,84
4	Penghampar	Jam	0,6250	14.410,71	9.006,70
Jumlah harga peralatan					141.097.35
Jumlah total biaya (A+B+C) m³					995.784.43

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB VII

KESALAHAN UMUM

A. UMUM

Jalan beton direncanakan mempunyai umur yang panjang yaitu lebih dari 20 tahun dan memerlukan pemeliharaan yang relatif kecil. Namun, dalam kenyataan masih banyak dijumpai jalan beton yang sudah mengalami penurunan sebelum umur rencana tercapai. Salah satu faktor penyebabnya adalah kegagalan dalam pelaksanaan pekerjaan. Pekerjaan pembetonan dimulai dari tahap pemilihan material bahan campuran, perancangan campuran, pelaksanaan pengecoran, dan penyelesaian akhir serta perawatan. Kegagalan pekerjaan beton bisa terjadi karena adanya kesalahan pada salah satu dari tahapan tersebut atau bahkan kesalahan pada lebih dari satu tahap. Para perancang, pelaksana, dan juga para pengawas pekerjaan beton harus memahami sifat-sifat beton agar mampu menghindari terjadinya kesalahan dalam pelaksanaan pekerjaan. Perbaikan terhadap struktur bangunan beton yang gagal tidaklah mudah dan memerlukan biaya yang mahal. Gambar 52 menunjukkan jalan beton yang telah mengalami kerusakan retak melintang dan memanjang pelat.

Kesalahan dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan beton dibagi menjadi tiga tahap, yaitu kesalahan pada tahap persiapan, tahap pembetonan, dan pada tahap penyelesaian.



Gambar 52. Tipikal Kerusakan Jalan Beton

B. KESALAHAN PADA TAHAP PERSIAPAN

Kesalahan pada tahap persiapan dapat dilihat dari tiga bagian, yaitu kesalahan pada perancangan campuran, pada penanganan material, dan pelaksanaan pada sambungan.

1. Kesalahan rancangan campuran (*mix design*) beton

Jika dalam perancangan ditentukan kuat tekan beton yang nilainya tertentu, haruslah dipahami bahwa nilai tersebut adalah nilai minimum karakteristik rencana yang diharapkan tercapai dalam pelaksanaan di lapangan. Oleh karena itu, target kekuatan di laboratorium harus lebih besar daripada nilai yang ditentukan. Kondisi tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

Jika f_{cr} adalah kekuatan yang ditargetkan di laboratorium maka (BSN 2000):

$$f_{cr} \geq f_c' + M$$

di mana:

f_c' = mutu beton rencana

M = adalah margin = $k \cdot S_r$

Kegagalan/cacat yang diizinkan maksimum 5% atau tingkat kepercayaan 95%, nilai k (angka statistik)=1,64. Nilai S_r diambil berdasarkan pengalaman dari pekerjaan sebelumnya yang serupa, paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji berurutan dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari (BSN 2000). Sebagai informasi, di dalam SNI 2834:2000 terdapat angka yang dapat digunakan sebagai standar deviasi rencana (Tabel 21).

Tabel 21. Deviasi Standar

Isi Pekerjaan		Deviasi standar (MPa)		
Sebutan	Volume Beton (m ³)	Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	< 1000	4,5 < S < 5,5	5,5 < S < 6,5	6,6 < S < 8,5
Sedang	1000 – 3000	3,5 < S < 4,5	4,5 < S < 5,5	6,5 < S < 7,5
Besar	> 3000	2,5 < S < 3,5	3,5 < S < 4,5	4,5 < S < 6,5

Sumber: BSN (2000)

Contoh:

Mutu rencana $f_c' = 25$ MPa, volume beton sedang, pelaksanaan pekerjaan baik. Deviasi standar rencana, nilai S bisa diambil antara 4,5–5,5 MPa. Ambil $S = 5$ MPa.

Jadi, kekuatan yang ditargetkan di laboratorium, $f_{cr}' = 25 + (1,64 \times 5) = 33,2$ MPa

Jika melihat hubungan f_c' dengan f_{cr}' seperti itu, nilai margin (M) yang diberikan berarti juga angka keamanan (*safety factor*) dalam perancangan campuran. Kemungkinan kesalahan adalah pengam-

bilan nilai S tidak tepat; jika terlalu kecil berarti hasil perancangan kurang aman, tetapi sebaliknya jika terlalu besar berarti kurang/tidak ekonomis.

Kesalahan lain yang mungkin terjadi dalam tahap rancangan campuran adalah tidak dipahaminya perbedaan karakter kekuatan antara benda uji silinder dan benda uji kubus. Sebagai contoh masih banyak yang menganggap mutu beton $f_c' = 30$ MPa adalah sama dengan K300 sehingga kebutuhan $f_c' = 30$ MPa tersebut kemudian dirancang dengan K300. Apabila hal seperti ini terjadi, berarti mutu beton yang dirancang untuk produksi lebih kecil kekuatannya dari yang direncanakan karena mutu K300 < $f_c' = 30$ MPa. Para perancang campuran dan juga pelaksana beton harus menghindari kesalahan seperti itu dengan memahami nilai-nilai konversi kekuatan untuk benda-benda uji yang berbeda. Nilai konversi kekuatan yang umum adalah sebagai berikut (BSN 2000):

- a. benda uji kubus $150 \times 150 \times 150$ mm : 1
- b. benda uji silinder diameter 150–300 mm : 0,83
- c. benda uji kubus $200 \times 200 \times 200$ mm : 0,95

Dengan adanya nilai konversi tersebut, jika 1 MPa dianggap sama dengan 10 kg/cm^2 , mutu beton $f_c' = 30$ MPa akan setara dengan mutu K(300/0,83) ~ K360.

Kemudian jika formula hasil rancangan di laboratorium (*Design Mix Formula*-DMF) dianggap sebagai *Job Mix Formula* (JMF), juga merupakan suatu kesalahan, karena JMF seharusnya diperoleh dari hasil uji coba campuran di lapangan berdasarkan komposisi dari DMF dengan menggunakan instalasi, situasi dan kondisi lapangan. Dengan demikian, JMF bisa sama dengan DMF atau berbeda, bergantung ada/tidaknya penyesuaian dari hasil uji coba di lapangan.

2. Kesalahan penanganan material

Agregat halus dan agregat kasar adalah bahan berbutir yang terdiri atas beberapa ukuran butir dan kondisinya lepas. Kesalahan dalam penanganan agregat dapat mengakibatkan terjadinya perubahan mutu dan kondisi agregat dari yang seharusnya. Berikut ini adalah beberapa rekomendasi untuk penanganan agregat.

- a. Segregasi dalam agregat kasar dapat dikurangi jika agregat dipisahkan dalam ukuran-ukuran tersendiri.
- b. Partikel-partikel yang lebih kecil dari batas yang ditentukan untuk ukuran masing-masing harus dijaga seminimum mungkin.
- c. Penumpukan agregat harus dibuat dalam lapis-lapis horizontal atau dengan sudut yang lebih landai.
- d. Kendaraan-kendaraan seperti truk atau *bulldozer* tidak boleh dibiarkan lama berada di atas tumpukan agregat.
- e. Pemeriksaan harus dilakukan secara efektif pada tumpukan agregat di *batch plant* terhadap kemungkinan adanya segregasi.
- f. Pencampuran dua atau lebih agregat halus dengan ukuran yang berbeda harus menghasilkan campuran agregat yang baik.
- g. Agregat halus yang basah harus dikeringkan sampai diperoleh kondisi kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry-SSD*).

Semen merupakan bahan yang mudah berubah kondisinya karena pengaruh waktu, cara penyimpanan, dan kondisi tempat semen disimpan. Kesalahan yang umum terjadi adalah

- a. Semen disimpan di tempat yang lembap.
- b. Jarak penempatan semen dari lantai tembok/tanah atau dinding tembok terlalu dekat.
- c. Tumpukan sak semen lebih dari 10 sak.
- d. Jarak antar tumpukan menimbulkan perputaran udara.
- e. Lama penyimpanan semen lebih dari 2 bulan.
- f. Penggunaan semen yang masih panas (baru tiba dari pabrik).

3. Kesalahan pelaksanaan pada sambungan

Sering kali hanya tersedia waktu yang singkat untuk pemasangan tulangan pada sambungan sebelum pengecoran dimulai. Kesalahan pemasangan tulangan dapat memberikan pengaruh, baik ringan maupun berat yang dapat menyebabkan beton harus dibongkar kembali. Oleh karena itu, pemasangan tulangan ruji (*dowel*) pada sambungan melintang dan batang pengikat (*tie bar*) pada sambungan memanjang harus dipastikan sempurna sebelum pengecoran dilaksanakan. Tipikal pemasangan ruji yang salah diperlihatkan pada Gambar 53 dan tipikal pemasangan batang pengikat yang salah diperlihatkan pada Gambar 54.



Gambar 53. Tipikal Pemasangan Ruji yang Salah



Gambar 54. Tipikal Pemasangan Batang Pengikat yang Salah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

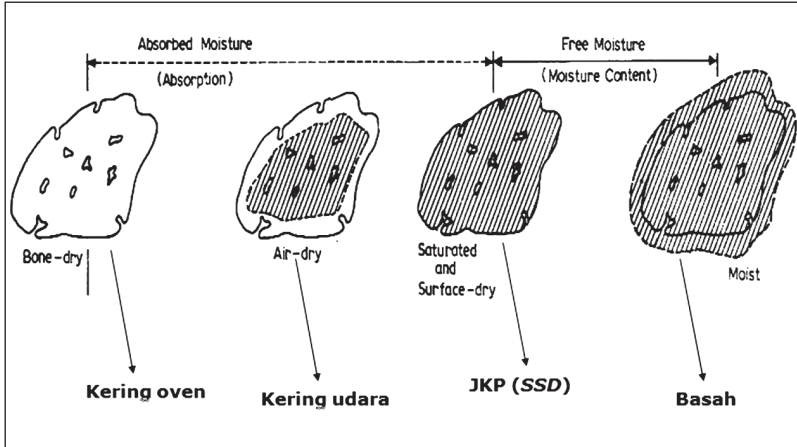
Seperti telah diketahui bahwa pelat beton yang dibuat harus mendekati bentuk kubus sehingga muncul beberapa pendapat yang menyatakan bahwa perbedaan antara panjang dan lebar maksimum 1,3 kali. Gambar 55 menunjukkan terjadinya retak memanjang akibat tidak adanya sambungan memanjang sehingga bentuk pelat tidak mendekati kubus.



Gambar 55. Retak Memanjang Akibat Tidak Adanya Sambungan Memanjang

C. KESALAHAN PADA TAHAP PEMBETONAN

Kesalahan pada tahap pembetonan ada tujuh, yaitu kesalahan penakaran bahan, pengecoran, adukan beton sudah *setting* ketika dicorkan, kesalahan akibat pengaruh cuaca, pengujian *slump*, pemadatan beton segar, dan kesalahan pada beton siap pakai.



Sumber: Neville (2010)

Gambar 56. Tipikal Kondisi Kelembapan Agregat

1. Kesalahan Penakaran Bahan

Proporsi bahan hasil rancangan campuran diperoleh dari suatu basis kondisi agregat tertentu. Metode SNI (identik dengan metode DOE) menggunakan basis agregat *Saturated Surface Dry (SSD)*. Metode ACI menggunakan basis agregat kering oven (*oven dry*). Ilustrasi kondisi kelembapan agregat tersebut diperlihatkan pada Gambar 56.

Jumlah air yang diperlukan disebut air bebas yang sebagian untuk keperluan hidrasi dan sebagian lagi untuk pencapaian kemudahan kerja (nilai *slump*). Oleh karena itu, jika kondisi agregat saat pelaksanaan tidak sama dengan basis agregat pada perancangan, tentu harus ada koreksi penakaran bahan, utamanya untuk menjaga air bebas.

Kemungkinan kesalahan yang terjadi adalah

- Agregat tidak sama dengan kondisi basis pada perancangan, tetapi produksi beton menggunakan rekomendasi proporsi hasil rancangan dari laboratorium tanpa melakukan koreksi terlebih dahulu.

- b. Produksi beton dilaksanakan seperti tersebut di atas (tanpa koreksi penakaran), sedangkan untuk mencapai nilai *slump* dilakukan dengan cara mengatur air secukupnya saat pencampuran agar mencapai kemudahan pengerjaan.

Dengan kesalahan seperti itu bisa dikatakan bahwa pelaksanaan produksi beton dilakukan tanpa rancangan campuran. Tentu saja hasil akhirnya tidak bisa diperkirakan. Berikut ini adalah contoh cara perhitungan koreksi takaran bahan campuran sebelum pelaksanaan.

Jika dengan kondisi agregat SSD diperoleh proporsi,

$$B_1 = \text{berat semen/m}^3$$

$$B_2 = \text{berat air/m}^3$$

$$B_3 = \text{berat agregat halus/m}^3, \text{ SSD}$$

$$B_4 = \text{berat agregat kasar/m}^3, \text{ SSD}$$

$$C_m = \text{kadar air agregat halus (\%)}$$

$$C_a = \text{resapan agregat halus (\%)}$$

$$D_m = \text{kadar air agregat kasar (\%)}$$

$$D_a = \text{resapan agregat kasar (\%)}$$

Proporsi campuran yang disesuaikan adalah (BSN, 2000):

$$\text{Semen, tetap} = B_1$$

$$\text{A i r} = B_2 - (C_m - C_a) \times B_3/100 - (D_m - D_a) \times B_4/100$$

$$\text{Agregat halus} = B_3 + (C_m - C_a) \times B_3/100$$

$$\text{Agregat kasar} = B_4 + (D_m - D_a) \times B_4/100$$

Contoh:

Perancangan campuran dengan basis agregat SSD menghasilkan,

$$\text{Semen} = 348,2 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Air} &= 195 \text{ kg} \\ \text{Agregat halus} &= 847,23 \text{ kg} \\ \text{Agregat kasar} &= 994,57 \text{ kg} \end{aligned}$$

dan jika:

$$\begin{aligned} \text{Resapan agregat halus} &= 3,15\% \\ \text{Resapan agregat kasar} &= 1,65\% \\ \text{Kadar air agregat halus} &= 6\% \\ \text{Kadar air agregat kasar} &= 1,5\% \end{aligned}$$

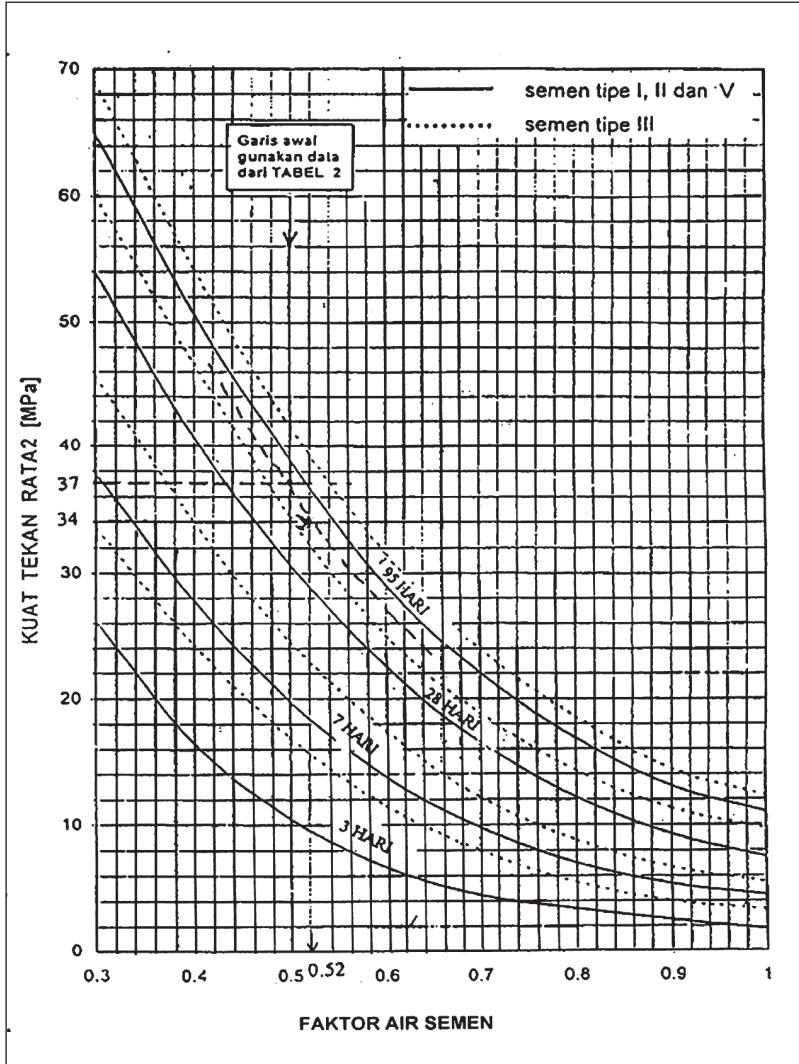
maka koreksi penakaran,

$$\begin{aligned} \text{Semen tetap} &= 348,2 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 195 - (6 - 3,15) \times 847,23/100 - (1,5 - 1,65) \times 994,57/100 \\ &= 195 - 24,15 + 1,49 \\ &= 172,34 \text{ lt} \\ \text{Agregat halus} &= 847,23 + (6 - 3,15) \times 847,23/100 \\ &= 847,23 + 24,15 \\ &= 871,38 \text{ kg} \\ \text{Agregat kasar} &= 994,57 + (1,5 - 1,65) \times 994,57 \\ &= 994,57 - 1,49 \\ &= 993,08 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kesalahan lain yang sering terjadi berkaitan dengan penakaran bahan adalah masih dilakukannya penakaran dengan cara volume untuk mutu beton $f_c \geq 20$ MPa ($\geq K250$). Hal ini berisiko terhadap terjadinya kegagalan mutu karena kurang telitnya penakaran bahan.

2. Kesalahan Pengecoran

Kesalahan ini adalah yang paling umum dilakukan, yaitu menambahkan air campuran pada adukan beton yang dianggap tingkat



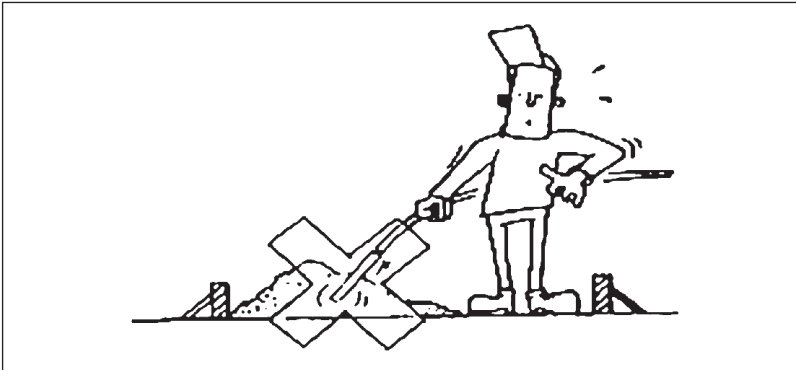
Sumber: BSN (2000)

Gambar 57. Hubungan Antara Faktor Air-Semen dan Kekuatan Beton

Buku ini tidak diperjualbelikan.

konsistensinya sulit untuk dikerjakan. Hal ini dilakukan tanpa mencari tahu terlebih dahulu penyebab terjadinya permasalahan dan tanpa mempertimbangkan efek negatif terhadap aspek mutu kekuatan dan durabilitas dimasa datang. Dalam hal ini harus dipahami bahwa kriteria mutu teknis beton minimal memenuhi tiga aspek, yaitu kemudahan kerja (*workability*), kekuatan, dan ketahanan (*durability*). Ketika menambahkan air pada adukan beton yang sudah jadi sehingga mengubah faktor air-semen menjadi lebih besar maka akan berisiko terhadap gagalnya mutu kekuatan dan juga durabilitas. Hal ini berisiko karena kekuatan beton sangat bergantung pada nilai faktor air-semen tertentu, sedangkan pembatasan faktor air-semen maksimum menentukan durabilitas beton. Gambar 57 memperlihatkan hubungan antara air-semen dengan kekuatan beton dan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Sering terjadi, adukan beton yang sudah memenuhi syarat homogenitas saat keluar dari *mixer* tapi kemudian berubah menjadi segregasi (terjadi pemisahan butiran kasar dari mortar) setelah berada di bagian-bagian dimana adukan beton dicorkan. Hal itu dimungkinkan



Sumber: CCAA (2010)

Gambar 58. Kesalahan Menyebarkan Tumpukan Adukan Beton dengan Vibrator

Buku ini tidak diperjualbelikan.

oleh kesalahan-kesalahan menempatkan adukan beton dalam satu tumpukan kemudian menyebarkannya/meratakannya dengan cara didorong oleh vibrator. Apabila hal ini dilakukan maka adukan beton akan mengalami segregasi, seperti diilustrasikan pada Gambar 58.

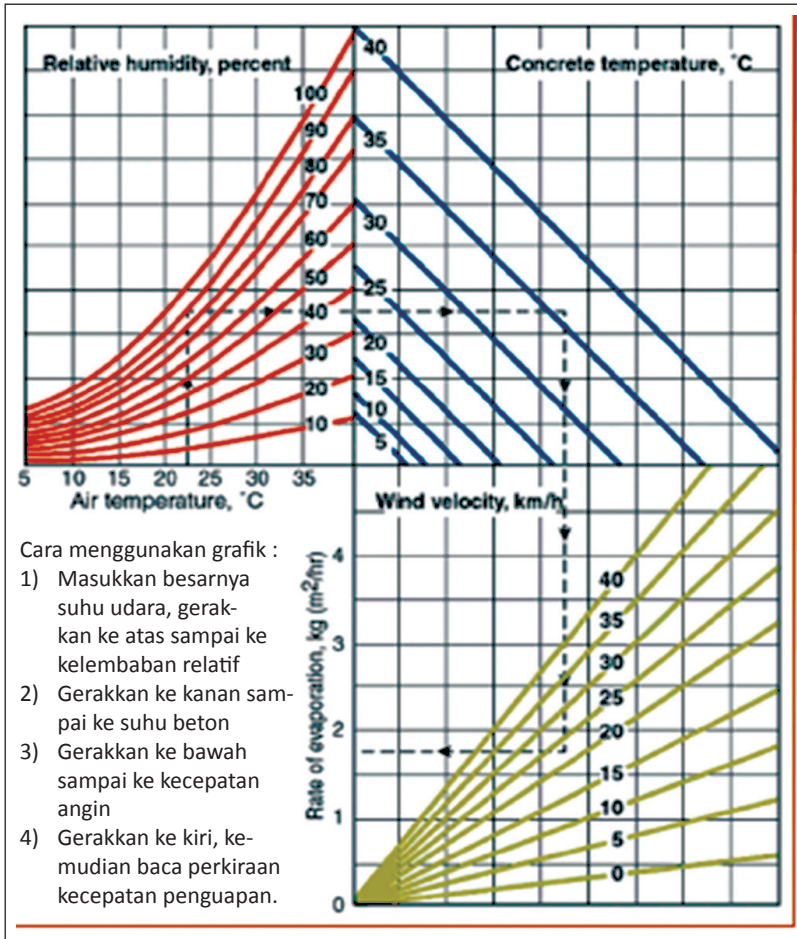
3. Kesalahan Adukan Beton Sudah *Setting* Ketika Dicorkan

Perubahan kondisi beton dari plastis sampai akhirnya menjadi keras seperti batu disebabkan oleh proses hidrasi semen yang dimulai dengan pengikatan awal (*initial setting*) yaitu saat mulai terjadi reaksi kimiawi antara semen dan air. Pencapaian akhir setelah beton mengeras sangat dipengaruhi oleh proses hidrasi. Oleh karena itu, pengecoran beton ketika kondisi sudah *setting* merupakan suatu kesalahan besar. Selain dari data hasil pemeriksaan waktu ikat, kondisi beton yang sudah *setting* juga bisa diketahui dari suhu beton.

Namun, kegagalan beton yang disebabkan oleh kesalahan seperti ini seharusnya bisa dihindari dengan menggunakan secara benar bahan tambah tipe *retarding* yang memiliki fungsi untuk menunda *setting*. Suatu praktik yang keliru adalah menambahkan salah satu jenis bahan tambah (*admixture*) ke dalam adukan beton untuk mencapai nilai *slump* padahal adukan betonnya sudah *setting*. Haruslah dipahami bahwa adukan beton yang sudah *setting* tidak bisa diatasi dengan bahan tambah yang mana pun.

4. Kesalahan Akibat Pengaruh Cuaca

Barangkali selama ini hanya dipahami bahwa pada kondisi hujan pengecoran tidak dapat dilaksanakan. Sebenarnya, dalam kondisi cuaca panas/cerah pun pengecoran belum tentu dapat dilaksanakan. Jika pengecoran beton dilakukan dalam cuaca panas, masalah yang akan muncul adalah besarnya kehilangan *slump* (*slump loss*) secara cepat disebabkan oleh cepatnya laju penguapan air. Kondisi seperti itu biasanya mendorong



Cara menggunakan grafik :

- 1) Masukkan besarnya suhu udara, gerakkan ke atas sampai ke kelembaban relatif
- 2) Gerakkan ke kanan sampai ke suhu beton
- 3) Gerakkan ke bawah sampai ke kecepatan angin
- 4) Gerakkan ke kiri, kemudian baca perkiraan kecepatan penguapan.

Sumber: ACI (2006)

Gambar 59. Laju Penguapan Air dalam Adukan Beton

pelaksana untuk menambahkan air campuran agar beton tetap mudah dikerjakan, tanpa memikirkan akibatnya terhadap mutu beton keras. Pelaksana harus memahami faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju penguapan air dalam adukan beton.

Berdasarkan Gambar 59, terlihat bahwa laju penguapan air dalam campuran beton dipengaruhi oleh faktor-faktor temperatur udara, kelembapan udara, suhu beton, dan kecepatan angin di lokasi pengecoran. Dari keempat faktor tersebut, suhu beton merupakan faktor yang memberi kontribusi terbesar pada laju penguapan air dan hanya suhu beton yang mungkin dikendalikan oleh pelaksana dibandingkan faktor-faktor lainnya.

Suhu beton sendiri dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu suhu agregat, suhu air, dan panas hidrasi semen. Suhu beton yang terjadi akibat ketiga faktor tersebut, hampir 60% berasal dari suhu agregat.

Jika laju penguapan sudah lebih besar dari $1,0 \text{ kg/m}^2/\text{jam}$, pengecoran tidak boleh dilakukan. Namun, laju penguapan bisa dijaga tidak melampaui nilai tersebut apabila mampu melakukan hal-hal sebagai berikut:

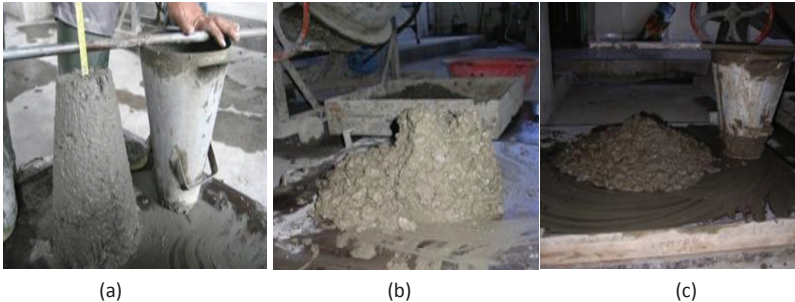
- a. Timbunan persediaan agregat dilindungi dari sinar matahari;
- b. Agregat disiram air secara periodik;
- c. Air campuran dijaga sedingin mungkin dengan cara menyimpannya di dalam tangki yang terlindung dari sinar matahari atau dicat putih;
- d. Pada daerah yang sangat panas, mungkin perlu penambahan balok-balok es pada air campuran;
- e. Penggunaan semen yang panas sedapat mungkin dihindari;

5. Kesalahan Pengujian *Slump*

Dari aspek struktural, beton yang dibutuhkan adalah beton yang setelah mencapai kondisi keras setelah umur tertentu memiliki kekuatan minimum yang ditetapkan. Namun, ketika beton dikerjakan, penerimaan atau penolakan beton hanya bisa didasarkan pada hasil pemeriksaan adukan beton segar, yaitu homogenitas campuran dan konsistensi adukan beton yang dipastikan belum *setting*.

Dari pengujian *slump*, kesalahan yang mungkin terjadi adalah apabila penerimaan atau penolakan adukan beton hanya berdasarkan nilai *slump* yang terjadi tanpa melihat bagaimana bentuknya. Pengawas pekerjaan beton harus memahami ada tiga bentuk *slump* seperti diperlihatkan pada Gambar 60, yaitu sebagai berikut:

- a. *Slump* sebenarnya; menunjukkan adukan yang homogen dan kohesif.
- b. *Slump* patah; menunjukkan adukan yang tidak homogen dan tidak kohesif.
- c. *Slump* runtuh; menunjukkan adukan *slump* yang terlalu besar dan cenderung menimbulkan segregasi saat pengecoran dan pemadatan, kecuali jika *slump* seperti itu diperoleh dengan penggunaan *plasticizer*.



Ket.: a. *Slump* Sebenarnya (*true*), b. *Slump* Patah (*shear*), c. *Slump* Runtuh (*collapse*)

Catatan:

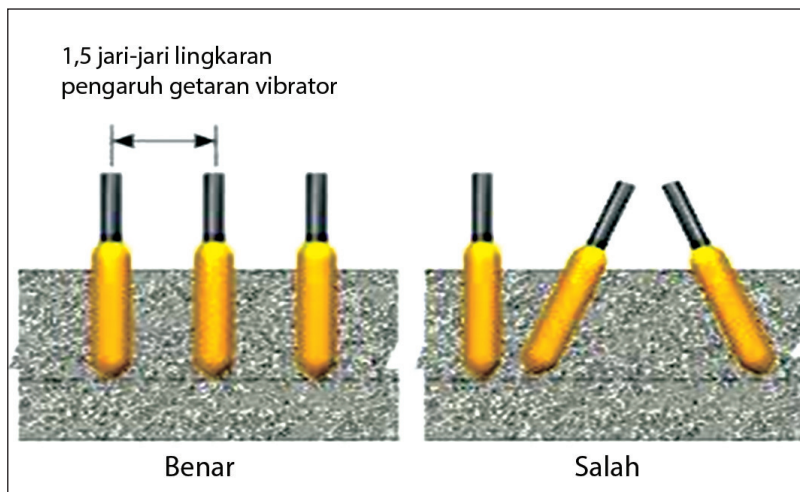
- Nilai *slump* yang diukur hanya boleh dikatakan memenuhi atau tidak jika dibandingkan nilai yang disyaratkan, apabila diperoleh dari *slump* yang sebenarnya.
- Jika terjadi *slump* patah, pengujian *slump* harus diulang lagi secara lebih hati-hati dengan menggunakan adukan yang baru. Bila dari pengulangan tersebut diperoleh bentuk *slump* sebenarnya kemudian dapat dilanjutkan dengan mengukur nilai *slump*. Namun, apabila hasilnya tetap menunjukkan *slump* patah, adukan beton tersebut harus ditolak karena tidak memenuhi syarat mutu basah.
- Lihat SNI 1972 : 2008 Metode pengujian *slump* beton (ASTM C 143)

Gambar 60. Bentuk-bentuk *Slump*

6. Kesalahan Pematatan Beton Segar

Kekuatan beton setelah mengeras juga dipengaruhi oleh pencapaian derajat kepadatan beton segar ketika dipadatkan. Tujuan pematatan beton segar adalah menghilangkan/meminimalkan rongga-rongga udara yang terperangkap di dalam beton segar. Pada umumnya, pematatan dilakukan dengan cara penggetaran, namun dengan tetap menjaga kondisi keseragaman beton. Kesalahan-kesalahan yang umum terjadi, yaitu:

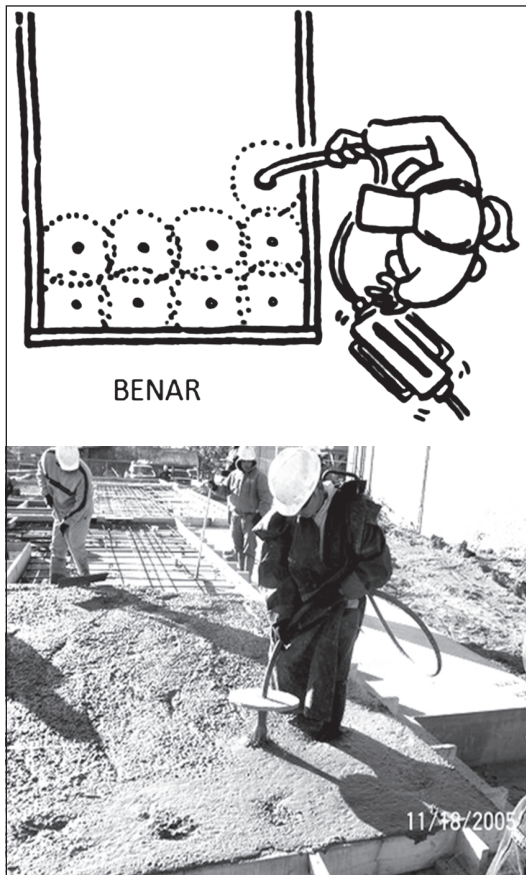
- Alat pematat tidak memadai, baik dari segi jumlah maupun kondisi.
- Terlalu singkat atau terlalu lama penggetaran. Penggetaran yang terlalu singkat tidak akan menghasilkan kepadatan yang maksimal, sedangkan bila terlalu lama akan berakibat pada terjadinya segregasi.
- Cara penggetaran tidak benar.



Sumber: CCAA (2010)

Gambar 61. Posisi Vibrator Ketika Digunakan

Sebaik-baik penggunaan vibrator adalah dengan posisi vertikal untuk mencegah terjadinya segregasi. Sebaliknya, vibrator dengan posisi miring akan mengakibatkan segregasi. Tebalnya penghamparan adukan beton harus sesuai dengan kapasitas alat penggetar yang digunakan sehingga apabila pengecoran dilakukan lebih dari satu lapis hamparan akan memudahkan untuk mendapatkan kesatuan antara lapis-lapis yang dicor. Pola pepadatan diperlihatkan pada Gambar 62.



Sumber: CCAA (2010)

Gambar 62. Pengaturan Jarak Pindah Vibrator

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 63. Pemadatan yang Kurang Baik Menyebabkan Beton Keropos

Pemindahan vibrator dari satu titik ke titik yang lain dengan jarak yang terlalu dekat akan mengakibatkan adanya bagian adukan yang terlalu banyak digetarkan sehingga timbul segregasi. Sebaliknya, jika jarak pindahnya terlalu jauh akan terdapat bagian-bagian yang kepadatannya tidak maksimal. Sebagai pegangan praktis, penggetaran adukan beton harus dihentikan apabila permukaan beton sudah kelihatan mengkilap yang menandakan adukan tersebut sudah mencapai kepadatan yang maksimal.

Hasil pemadatan yang tidak memuaskan akan diperoleh dari penggunaan jumlah vibrator yang sedikit untuk luas permukaan pemadatan yang cukup luas. Jumlah penggetar/vibrator yang digunakan harus disesuaikan dengan kecepatan pengecoran beton. Tipikal hasil pemadatan yang kurang baik diperlihatkan pada Gambar 63.

7. Kesalahan pada Pekerjaan Beton Siap Pakai

Pada dasarnya semua tahapan yang harus dilakukan dalam memproduksi beton *site mix*, juga berlaku untuk beton yang dibuat dengan sistem *ready-mix concrete*, sehingga kesalahan-kesalahan yang biasa ditemukan dalam beton *site mix*, juga bisa terjadi dalam konteks beton siap pakai. Dalam hal harus mengangkut adukan beton dengan waktu tempuh yang cukup lama dari *batching plant* ke lokasi pengecoran, kesalahan yang umum terjadi adalah produsen beton siap campur tidak mengantisipasi kemungkinan terburuk sudah terjadi *setting* beton atau kehilangan *slump* sebelum dicorkan sehingga akhirnya harus melakukan tindakan “menyelamatkan” adukan beton tanpa memikirkan akibatnya terhadap mutu beton setelah keras.

Untuk menghindari kemungkinan terjadinya resiko kegagalan beton siap pakai, terutama untuk sistem *central mixed*, dapat dilakukanantisipasi sebagai berikut:

- a. Pesan beton sesuai dengan margin (faktor keamanan) yang cukup pada setiap kelas kekuatan beton yang digunakan, untuk menjamin mutu yang tercapai sesuai dengan persyaratan.
- b. Gunakan bahan tambah jenis *retarder* saat pencampuran di *batching plant*.
- c. Membawa bahan tambah cadangan jenis *retarder* dan jenis *plasticizer* atau *superplasticizer* pada *truck mixer* saat mengangkut beton segar ke lokasi tujuan. Jika terjadi kondisi darurat sebelum sampai ke lokasi yang dituju dengan perkiraan *retarder* yang ditambahkan di *batching plant* sudah berakhir pengaruhnya dalam menunda pengikatan, *retarder* cadangan dapat digunakan. *Plasticizer* atau *superplasticizer* digunakan untuk mendapatkan konsistensi (nilai *slump* atau nilai *flow*) di lokasi pengecoran apabila sudah terjadi kehilangan *slump*, tetapi belum terjadi pengikatan, tanpa harus menambahkan air campuran.

D. KESALAHAN PADA TAHAP PENYELESAIAN

Kesalahan yang terjadi pada tahap penyelesaian ada tiga, yaitu kesalahan perawatan beton, kesalahan penggergajian, dan kesalahan mutu beton.

1. Kesalahan Perawatan Beton

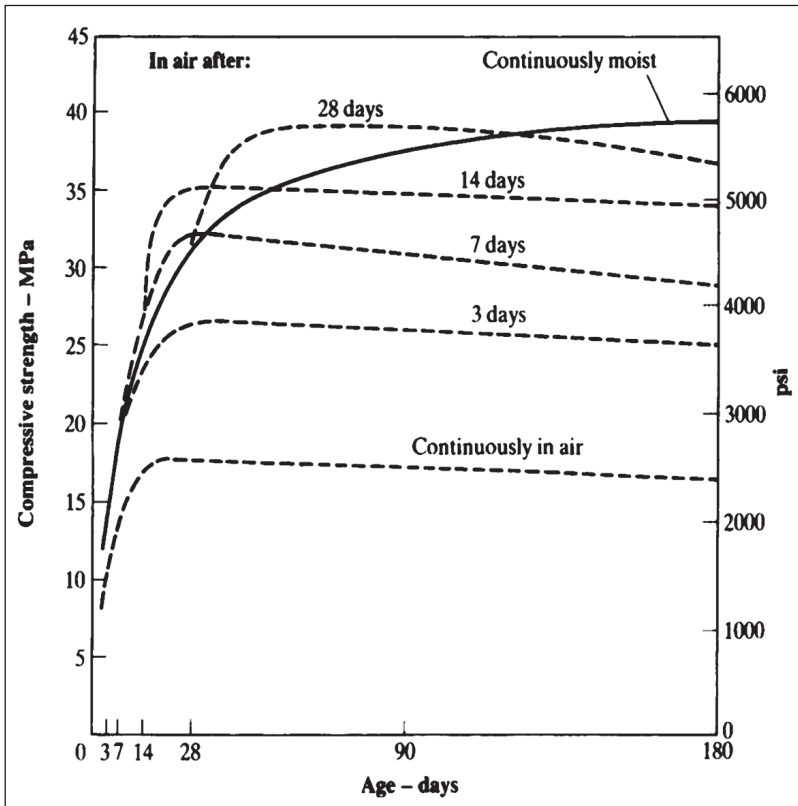
Masih banyak yang beranggapan bahwa pekerjaan pengecoran beton sudah selesai seluruhnya ketika pemadatan beton dan *finishing*nya sudah dikerjakan. Namun, sesungguhnya tidaklah demikian. Setelah *finishing* permukaan, beton harus segera dirawat sampai beton telah mencapai suatu kekuatan minimum yang ditetapkan.

Perawatan beton (*curing*) adalah suatu proses untuk menjaga tingkat kelembapan dan temperatur ideal untuk mencegah hidrasi yang berlebihan serta menjaga agar hidrasi terjadi secara berkelanjutan. Perawatan beton bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air atau sebagai tindakan menjaga kelembapan dan suhu beton. Perawatan dilakukan segera setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu total *setting* tercapai.



Gambar 64. Metode Perawatan Beton Menggunakan Goni/Burlap

Beton segar harus sudah selesai dipadatkan sebelum terjadi pengikatan awal atau sebelum terjadi reaksi antara semen dan air. Dengan demikian, reaksi air dengan semen baru akan terjadi setelah pemadatan dan *finishing*. Pada dasarnya pekerjaan perawatan beton secara benar adalah untuk menjaga proses hidrasi dengan baik. Apabila perawatan beton bisa dilakukan sesegera mungkin sebelum terjadi pengikatan dan bisa dijaga dalam durasi waktu yang lebih lama, hal



Sumber: Neville (2010)

Gambar 65. Pengaruh Perawatan terhadap Mutu Beton dengan Rasio Air/Semen 0,5

Buku ini tidak diperjualbelikan.

itu adalah sebaik-baiknya perawatan beton. Perawatan yang baik akan menghasilkan beton dengan mutu maksimal sebagai berikut:

- a. mutu/kekuatan beton (*strength*);
- b. keawetan struktur beton (*durability*);
- c. kededapan air beton (*water-tightness*);
- d. ketahanan permukaan beton, misal terhadap keausan (*wear resistance*);
- e. kestabilan volume, yang berhubungan dengan susut atau pengembangan (*volume stability : shrinkage and expansion*).

Seberapa besar pengaruh perawatan terhadap mutu beton dapat dilihat seperti pada Gambar 65, untuk contoh kasus beton dengan faktor air semen 0,5.



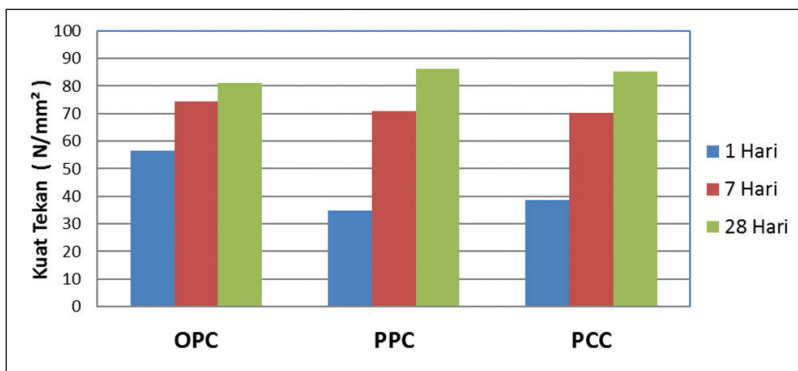
Gambar 66. Retak Terjadi Akibat Terlambat/Kurang Dalam Penggergajian

2. Kesalahan Penggergajian

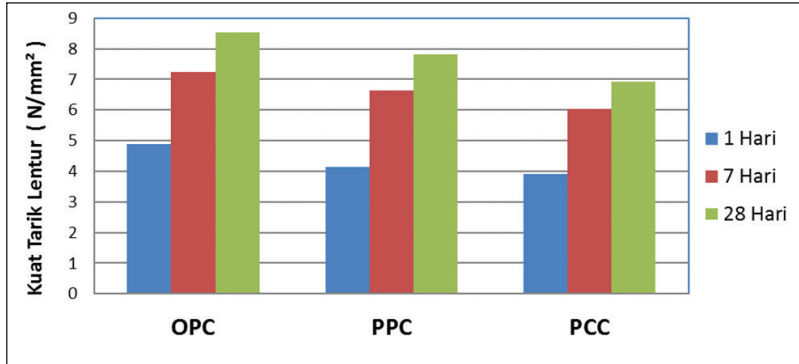
Penggergajian beton untuk mengarahkan retak pada posisi sambungan memanjang dapat dilaksanakan antara jam ke-4 sampai jam ke-4 dengan lebar penggergajian sekitar 3 mm. Keterlambatan penggergajian akan menyebabkan timbulnya retak melintang di sekitar posisi sambungan memanjang, seperti diperlihatkan pada Gambar 66.

3. Kesalahan Evaluasi Mutu

Evaluasi terhadap mutu beton dilakukan dengan membandingkan antara mutu beton hasil pelaksanaan dan rencana mutu beton yang sudah ditetapkan sebelumnya. Kesalahan yang sering dijumpai adalah belum dipahaminya perkiraan nilai-nilai konversi 0,40; 0,65; 0,88; dan 0,95 untuk masing-masing umur beton 3, 7, dan 14 hari. Nilai konversi tersebut didapat jika menggunakan semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) tipe I. Jika digunakan semen tipe lain seperti semen *Portland Composite Cement* (PCC) atau *Portland Pozzolane Cement* (PPC), nilai-nilai tersebut sudah tidak cocok lagi. Nilai-nilai konversi kekuatan beton yang sesungguhnya, sekalipun untuk semen OPC adalah yang diperoleh dari hasil uji coba campuran. Pada Gambar 67 dan Gambar 68 diperlihatkan perbedaan nilai mutu beton untuk berbagai tipe semen berdasarkan hasil penelitian di Pusjatan.



Gambar 67. Perbedaan Nilai Konversi Kuat Tekan Silinder Akibat Perbedaan Tipe Semen



Gambar 68. Perbedaan Nilai Konversi Kuat Lentur Akibat Perbedaan Tipe Semen

BAB VIII

STRATEGI OPTIMALISASI JALAN BETON UNTUK VOLUME LALU LINTAS RENDAH

Pada saat ini kecenderungan (tren) penggunaan jalan beton di Indonesia semakin meningkat karena keunggulan teknis yang dimiliki serta perbandingan harga konstruksi yang bersaing dengan jalan aspal. Jalan beton dianggap lebih tahan terhadap air, mempunyai umur yang panjang serta memerlukan pemeliharaan yang relatif kecil. Di samping itu, kenaikan harga aspal dan tersedianya produksi semen di dalam negeri menjadikan jalan beton menjadi lebih kompetitif secara ekonomis. Standar jalan beton yang ada di Indonesia umumnya mengadopsi dari standar luar yang bermutu tinggi. Mutu beton yang digunakan memiliki kuat tekan lentur lebih besar dari fs 4,5 MPa atau kuat tekan beton (K) lebih besar dari 350 kg/cm² dan diperuntukan untuk lalu lintas kendaraan berat, atau lalu lintas dengan jumlah kendaraan lebih dari 1 juta ESAL selama umur rencana. Ketentuan tersebut diatur dalam Pd T-14-2003: Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton dan Pd T-05-2004-B: Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen serta Spesifikasi Umum Jalan 2010 Revisi 3, Bina Marga Kementerian PUPR.

Kebutuhan akan standar yang lebih rendah, yaitu dengan persyaratan mutu beton lebih kecil dari K350 serta pelat beton yang lebih tipis sangat diperlukan. Hal ini dikhususkan untuk jalan-jalan dengan volume lalu lintas yang rendah, seperti jalan perkotaan, jalan kabupaten serta jalan perdesaan/permukiman. Pada saat ini standar jalan beton untuk jalan perkotaan/kabupaten di Indonesia belum

ada. Hal ini terbukti dari bervariasinya perancangan tebal beton di beberapa wilayah, seperti Jawa Barat dan Jawa Tengah.

Berdasarkan pembahasan dalam buku ini, jalan beton untuk lalu lintas rendah diusulkan untuk diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu jalan lokal, jalan kolektor, dan jalan khusus. Klasifikasi jalan tersebut ditentukan berdasar jumlah kendaraan harian rata-rata (LHR) yang melewati ruas jalan tersebut, yaitu $LHR < 50$ (jalan lokal), LHR antara 50 sampai dengan 500 (jalan kolektor), dan $LHR < 800$ (jalan khusus). Sementara itu, muatan sumbu terberat (MST) untuk jalan lokal dan kolektor dibatasi 8 ton dan untuk jalan khusus dibatasi 12 ton.

Berdasarkan hasil survei dan simulasi perhitungan diperoleh tebal lapisan beton untuk jalan lokal adalah 15 cm, untuk jalan kolektor adalah 20 cm, dan untuk jalan khusus setebal 23 cm. Sementara itu, mutu beton yang digunakan memiliki kuat lentur (f_s) 3,5 MPa (jalan lokal), 3,8 MPa (jalan kolektor), dan 4,1 MPa (jalan khusus). Secara lengkap usulan perancangan jalan beton untuk lalu lintas rendah diperlihatkan pada Desain Katalog Jalan Beton (Tabel 13).

Jalan beton sebaiknya digunakan di atas tanah dasar yang cukup baik, yaitu dengan kekuatan tanah dasar (CBR) lebih besar dari 4%. Tanah dasar dengan CBR kurang dari 2,5% sebaiknya menghindari penggunaan jalan beton. Sementara itu, untuk CBR antara 2,5%–4% perlu dilakukan perbaikan tanah dasar terlebih dahulu sebelum dilapis fondasi agregat.

Pelaksanaan konstruksi jalan beton perlu memperhatikan ketentuan-ketentuan yang ada, mulai dari pekerjaan persiapan, pem-betonan, dan penyelesaian akhir. Penyimpangan pada setiap tahapan akan menyebabkan kualitas jalan beton tidak tercapai dan berakibat kerusakan sebelum umur layanannya tercapai. Kesalahan-kesalahan umum selama pelaksanaan konstruksi bisa dijadikan pembelajaran

untuk lebih berhati-hati. Penyimpangan pelaksanaan yang paling sering dijumpai adalah pada tahap penyelesaian akhir, khususnya pada perawatan beton. Akibat perawatan yang tidak baik maka mutu beton yang diperoleh akan lebih rendah dari rencana.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington DC: AASHTO.
- American Concrete Institute (ACI). 2002. *Guide for Design of Jointed Concrete Pavements and Local Roads*. ACI 325.12R-02. California: ACI. Diakses pada Maret 2015. <https://www.concrete.org/>.
- _____. 2006. *Guide for Specification for Hot Weather Concrete*. ACI 05.1-06. California: ACI. Diakses pada Maret 2015. <https://www.concrete.org/>.
- AUSTROADS. 1992. *Pavement Design: A Guide to the Structural Design of Pavement*. Sydney: AUSTROADS.
- Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum 2010 Revisi 2*. Jakarta: Ditjen Bina Marga Kementerian PUPR.
- _____. 2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan*. No. 02/M/BM/201. Jakarta: Ditjen Bina Marga Kementerian PUPR.
- _____. 2015. *Overview Rencana Pengembangan Jalan di Indonesia*. Jakarta: Ditjen Bina Marga Kementerian PUPR.
- _____. 2016. *Spesifikasi Umum Jalan 2010 Revisi 3*. Jakarta: Ditjen Bina Marga Kementerian PUPR.
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. SNI 03-1974-1990. Jakarta: BSN.

- _____. 1997. *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. SNI 03-4431-1997. Jakarta: BSN.
- _____. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. Jakarta: BSN.
- _____. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. Jakarta: BSN.
- Cement Concrete and Aggregates Australia. 2010. *Concrete Basics : A Guide to Concrete Practice 7th Edition*. Australia: CCAA.
- Huang, Y. H. 1993. *Pavement Analysis and Design*. New Jersey: Prentice Hall.
- Indian Roads Congress (IRC). 2014. *Guidelines for Design and Construction of Cement Concrete Pavement for Low Volumen Roads*. IRC:SP:62-2014. India: IRC. Diakses pada Januari 2015. <http://www.irc.nic.in/>.
- _____. 2011. *Guidelines for the Design of Plain Jointed Rigid Pavement for Highways*. IRC:58/2011. India: IRC. Diakses pada Januari 2015. <http://www.irc.nic.in/>.
- Kementerian PU. 2003. *Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton*. Pd T-14-2003. Jakarta: Kementerian PU.
- _____. 2004. *Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Pd T- 05-2004-B. Jakarta: Kementerian PU.
- _____. 2011. *Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perancangan Teknis Jalan No.19/PRT/M/2011*. Jakarta: Kementerian PU.
- _____. 2016. *Panduan Pembangunan Jalan untuk Perdesaan*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). 2004. *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures Part 4: Low Volume Roads*. Washington DC: Transportation Research Board.

- Neville, A. M. & J. J., Brooks. 2010. *Concrete Technology, 2th Edition*. England: Prentice Hall.
- Portland Cement Association (PCA). 1995. *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavement*. Washington DC: PCA.
- Perrie, B. D. 2008. *Low-Volume Concrete Road*. Gauteng: Cement and Concrete Institute (CCI).
- Taylor P. C., Steven H. Kosmatka, Gerald F. Voigt dkk. 2007. *Integrated Materials and Construction Practice for Concrete Pavement: A State of the Practice Manual*. Technical Report No : FHWA HIF-07-004. Washington DC: Federal Highway Administration Office (FHWA).
- Yoder, E. J. dan M. W., Witczak. 1975. *Principles of Pavement Design*. UK: Wiley and Sons Inc.

GLOSARIUM

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHO	: American Association of State Highway Officials
ACI	: American Concrete Institute
ADTT	: <i>Average Daily Traffic Truck</i>
ESAL	: <i>Equivalent Single Axle Load 18 kips</i>
BSN	: Badan Standardisasi Nasional
CCI	: Cement Concrete Institute
CCAA	: Cement Concrete and Aggregates Australia
CVPD	: <i>Commercial Vehicle Per Day</i>
CBR	: <i>California Bearing Ratio</i>
fs	: <i>Flexural Strength</i>
fc	: <i>Compressive Strength</i>
IRC	: <i>Indian Roads Congress</i>
DMF	: <i>Design Mix Formula</i>
JMF	: <i>Job Mix Formula</i>
K	: Kuat tekan kubus
k	: Modulus reaksi tanah
k'	: Modulus reaksi efektif
kN	: Kilo Newton
LHR	: Lintas Harian Rata-Rata
MST	: Muatan Sumbu Terberat
MPa	: Mega Pascal
NCHRP	: <i>National Cooperative Highway Research Program</i>

- PSI** : *Present Serviceability Index*
PCA : Portland Cement Association
OPC : *Ordinary Portland Cement*
PCC : *Portland Composite Cement*
PPC : *Portland Pozzolane Cement*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

INDEKS

- AASHO (*American Association of State Highway Officials*) 21
- AASHTO 1, 2, 22, 23, 57, 121, 125
- ACI 42, 58, 59, 61, 63, 98, 104, 121, 125
- Acuan Tetap 70
- agregat halus 95, 99, 100
- Agregat halus 95, 99, 100
- agregat kasar 95, 99, 100
- bahan tambah (*admixture*) 103
- Balai Struktur 5
- batching plant 6, 110
- beban gandar 2, 38, 57
- beton bertulang 19
- beton kurus 7, 11, 16, 17, 19, 62, 65, 67, 68, 69, 71, 73
- beton molen 6
- Bina Marga 1, 7, 10, 15, 28, 62, 68, 69, 117, 121
- bleeding 75, 79
- CBR 2, 25, 26, 27, 36, 37, 41, 44, 52, 53, 62, 63, 65, 68, 69, 73, 118, 125
- CCI 57, 123, 125
- core drill 5, 82
- curing 3, 69, 82, 83, 111
- CVPD 1, 29, 43, 50, 51, 52, 57, 125
- Desain Katalog 55, 64, 65
- Deviasi standar 25, 93
- DMF 94, 125
- dowel 7, 11, 15, 16, 17, 71, 96
- durabilitas 75, 102
- empiris xvii, 3, 21, 22
- ESAL (*Equivalent Single Axle Load* 18-kip/8,2 ton) 1, 57
- faktor air semen 74, 113
- Fluktuasi Temperatur 43
- fondasi bawah 7, 16, 23, 26, 27, 37, 44, 48, 50, 63, 68, 71
- hidrasi 75, 81, 83, 98, 103, 105, 111, 112
- IRC 1, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 43, 44, 48, 57, 59, 73, 122, 125
- jalan arteri 28, 56, 57
- jalan aspal 2, 5, 117
- jalan beton 2, 3, 4, 5, 17, 19, 21, 27, 42, 55, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 79, 82, 84, 91, 117, 118
- jalan kabupaten/kota 1, 3, 5
- jalan khusus 59, 118
- Jalan Kolektor 56, 60
- Jalan lokal 56, 65
- jalan Nasional 28
- jalan perdesaan 7, 11, 28, 29, 73, 117

Jalan permukiman 58
 jalan provinsi 1, 56
 Jalan sekunder 56
 JMF 94, 125

 kelelahan (*fatigue*) 22, 29, 38, 61
 kendaraan niaga xvii, 3, 29, 59
 kuat lentur 19, 21, 22, 30, 38, 44, 61,
 118
 Kuat tekan karakteristik 24, 25, 36
 kuat tekan kubus 5, 19
 kuat tekan silinder 5

 lalu lintas berat xvii, 7, 10, 11, 17
 lalu lintas rendah xvii, xviii, 1, 2, 3, 7,
 10, 11, 15, 16, 17, 23, 24, 27, 28,
 30, 41, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61,
 63, 64, 67, 118
 lalu lintas sedang 3, 17
 lendutan 70, 73
 LHR (Lintas Harian Rata-Rata) 1

 mistar perata 68, 69, 79
 modulus reaksi 23, 25, 26
 mutu beton xvii, 3, 5, 6, 7, 11, 17, 19,
 21, 22, 44, 48, 52, 61, 93, 94, 100,
 104, 110, 113, 114, 117, 118, 119

 PCA (*Portland Cement Association*) 22
 pembetonan 4, 70, 71, 76, 91, 118
 pengecoran 69, 77, 83, 91, 96, 103, 105,
 108, 109, 110, 111

 Penutup Sambungan 85
 perancangan tebal 3, 4, 22, 41, 60, 64,
 118
 Perawatan beton 111
 perkerasan kaku 2, 3, 7, 10, 15, 16, 17,
 21, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 31, 32,
 33, 34, 35, 36, 41, 43, 44, 48, 50,
 55, 61, 62, 63, 64
 perkerasan lentur 2, 57
 pigmen putih 81, 82
 PSI (*Present Serviceability Index*) 21
 Pujatan 3, 82, 114
 Pujatan (Pusat Litbang Jalan dan
 Jembatan) 3

 rancangan campuran 92, 94, 98, 99
 ruji 7, 11, 15, 16, 17, 23, 63, 71, 73, 96

 semen Portland 74
 slump 75, 76, 98, 99, 103, 106, 110
 SSD (*Saturated Surface Dry*) 98
 sub base 7, 27, 41, 44, 48, 50, 52
 subgrade 23, 62

 tegangan kritis 30, 32, 37, 43, 48
 Tegangan Tarik Maksimum 31, 32
 Tegangan tepi 33
 tingkat kepercayaan 29, 30, 93

 waktu penggergajian 84

BIOGRAFI PENULIS

NYOMAN SUARYANA GELGEL, penulis dilahirkan pada bulan Januari 1965 di Bali dan lulus dari SMA Negeri Singaraja Bali pada tahun 1983. Memperoleh gelar Sarjana pada tahun 1988 di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung dan gelar Magister pada tahun 1992 di Jurusan Sistem dan Teknik Jalan Raya (STJR). Pada tahun 2014, penulis berhasil menyelesaikan program Doktor Teknik Sipil di Institut Teknologi Bandung.



Tahun 1988 sampai dengan tahun 1997 bekerja di Konsultan PT Indah Karya (Persero) sebagai tenaga ahli bidang Jalan. Sejak tahun 1998 menjadi Pegawai Negeri Sipil dan ditempatkan di Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian PUPR.

Pada tahun 2009 sampai dengan tahun 2015 diberi amanah sebagai Kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, tahun 2015 sampai dengan Maret 2017 sebagai Kepala Bidang Standardisasi dan Kerja Sama, dan April 2017 sampai dengan sekarang sebagai Kepala Balai Litbang Perkerasan Jalan. Hal ini dikerjakan di samping tugas fungsionalnya sebagai Peneliti Utama.

Penulis menikah dengan Lia Gusliani pada tahun 1990 dan mempunyai tiga orang anak, yaitu Gede Wiyasa (23 tahun), Made Semeru (19 tahun), dan Nyoman Raditya (almarhum).

PANJI KRISNA WARDANA, penulis dilahirkan pada bulan September 1974 di Bandung, dan lulus dari SMA Negeri 1 Bandung pada tahun 1993. Memperoleh gelar sarjana pada tahun 1997 di Jurusan Teknik Sipil UNPAR Bandung dan gelar Magister pada tahun 2000 di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung. Sejak tahun 1999 menjadi Pegawai Negeri Sipil dan ditempatkan di Kantor Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.



Pada tahun 2011 sampai tahun 2015 diberi amanah sebagai Kepala Seksi Penerapan dan Pelayanan Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan. Sementara itu, pada tahun 2016–sekarang sebagai Kepala Seksi Layanan Balai Litbang Geoteknik Jalan.

Penulis menikah dengan Vidya Setiawan, S. H. pada tahun 2001 dan mempunyai 1 (satu) orang anak yaitu Faza Deizia Wardana.

RULLY RANA STRA IRAWAN, penulis dilahirkan di Bandung pada tanggal 4 September 1976, dan lulus dari SMA Negeri 2 Bandung pada tahun 1995. Menamatkan pendidikan sarjana pada tahun 2001 di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung. Pada tahun 2003–2006 mengikuti program Magister Teknik Sipil Rekayasa Manajemen Infrastruktur di Institut Teknologi Bandung.



Sejak tahun 2001–2009 bekerja sebagai pegawai tidak tetap (teknisi laboratorium pengujian material jembatan) di Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum, sebelum akhirnya ditetapkan sebagai PNS. Pada tahun 2010 sampai dengan tahun 2014 ditugaskan sebagai Penyelia Laboratorium di Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Puslitbang Jalan dan Jembatan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pada tahun 2015, penulis menyelesaikan diklat peneliti Tk. I LIPI dan tahun 2016 sampai sekarang sebagai Kepala Subbidang Diseminasi dan Kerja Sama disamping tugas fungsionalnya sebagai Peneliti Muda bidang teknik konstruksi.

Penulis memiliki satu orang putri bernama Naimaa Suryaning Pertiwi (3 tahun) dari pernikahannya dengan Retno Anggraeni pada tahun 2009.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PERKERASAN BETON

— — UNTUK JALAN — —
DENGAN VOLUME LALU LINTAS RENDAH

Perkerasan kaku (jalan beton) merupakan salah satu teknologi untuk struktur perkerasan jalan. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) Kementerian PUPR menyampaikan hasil kajian teknologi perkerasan beton untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah. Tentunya dilengkapi dengan keunggulan penggunaan beton untuk perkerasan jalan, standar, dan metode perancangan, baik pemilihan mutu beton, ketebalan beton maupun bentuk tulangan beton. Selain itu, juga dibahas mengenai beberapa tipikal kesalahan umum, yang banyak dijumpai dalam pelaksanaan konstruksi jalan beton.

Buku ini juga mengulas tentang beberapa faktor yang menentukan desain ketebalan perkerasan kaku dan tips untuk merawat beton sehingga menghasilkan beton dengan mutu maksimal. Buku ini juga mengusulkan tiga klasifikasi jalan beton untuk volume lalu lintas rendah.

Baca dengan teliti untuk menemukan usulan standar dan klasifikasi beton yang sesuai dengan jalan untuk volume lalu lintas rendah. Selamat membaca!



Diterbitkan oleh:

LIPI Press, anggota Ikapi
Jln. R.P. Suroso No. 39, Menteng, Jakarta 10350
Telp. (021) 314 0228, 314 6942. Faks.: (021) 314 4591
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id

LIPI Press

ISBN 978-979-799-924-7



9 789797 999247