



● Rulli Ranastra Irawan

BETON KINERJA TINGGI

TEKNOLOGI DAN
APLIKASI DI INDONESIA



BETON KINERJA TINGGI

TEKNOLOGI DAN APLIKASI DI INDONESIA

Penyusun
Rulli Ranastra Irawan



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum
www.pusjatan.pu.go.id

BETON KINERJA TINGGI, TEKNOLOGI DAN APLIKASI DI INDONESIA

Rulli Ranastira Irawan
Desember 2012

Cetakan Ke-1 2012, 54 halaman
© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Cover Luar : http://www.mcnarybergeron.com/images2/IMG_1125.jpg

No. ISBN : 978-602-8256-91-9
Kode Kegiatan : 13.PPK2 001107 B 12
Kode Publikasi : TR-60/ST/2012

Kata kunci : Beton, Kinerja Tinggi, High Performance Concrete

Ketua Program Penelitian:

N. Retno Setiati, ST., MT., Puslitbang Jalan dan Jembatan

Ketua Sub Tim Teknis:

Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2012, pada paket pekerjaan Kajian Beton Kinerja Tinggi Untuk Penerapan Konstruksi Beton

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:

Kementerian Pekerjaan Umum
Badan Penelitian dan Pengembangan
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40293

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id



Puslitbang Jalan dan Jembatan

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan di Indonesia dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi, dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan dukungan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS & SUB TIM TEKNIS

Tim Teknis

Prof.(R).DR. Ir. M.Sjahdanulirwan, M.Sc.
Ir. Agus Bari Sailendra, MT
Ir. I Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc
DR. Ir. Dadang Mohammad, M.Sc
DR. Ir. Poernornosidhi, M.Sc
DR. Drs. Max Antameng, MA
DR. Ir. Hedy Rahadian, M.Sc
Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc
Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto
Prof.(R).DR. Ir. Furqon Affandi, M. Sc
Ir. GJW Fernandez
Ir. Joko Purnomo, MT
Ir. Soedarmanto Darmonegoro
Ir. Lanny Hidayat, M.Si
Ir. Moch. Tranggono, M.Sc
DR. Ir. Djoko Widayat, M.Sc
Redrik Irawan, ST., MT.
DR. Ir. Didik Rudjito, M.Sc
DR. Ir. Triono Jumono, M.Sc
Ir. Palgunadi, M.Eng, Sc
DR. Ir. Doni J. Widiyanto, M.Eng.Sc
Ir. Teuku Anshar
Ir. Gandhi Harahap, M.Eng.Sc

Ir. Yayan Suryana, M.Sc
DR. Ir. Rudy Hermawan, M.Sc
Ir. Saktyanu, M.Sc
Ir. Herman Darmansyah
Ir. Rachmat Agus
DR. Ir. Hasroel, APU
DR. Ir. Chaidir Amin, M.Sc
Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE. Ph.D
Kemas Ahmad Zamhari
Dr. Ir. Mochammad Amron, M.Sc
Djoko Mujanto

Sub Tim Teknis

Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto
Ir. Rahadi Sukirman
Herbudiman, ST., MT.
Abinhot Sihotang, ST., MT.
Ir. Samun Haris, MT.
DR. Made Suangga
DR. Aswandy
Ir. Ahmad Yunaldi

Kata Pengantar

Beton Kinerja Tinggi (High-performance Concrete - HPC) adalah pengembangan dari konsep beton konvensional. Dalam penggunaan beton konvensional, kekuatan tekan biasanya menjadi batasan parameter yang harus dipenuhi agar suatu pekerjaan beton dinyatakan dapat diterima. Lain halnya dengan beton kinerja tinggi, parameter yang diharapkan tercapai tidak hanya satu akan tetapi terdiri dari beberapa parameter yang terkait dengan pelaksanaan dan hasil akhir dari suatu pekerjaan beton, dengan tujuan akhir tercapainya kekuatan dan durabilitas beton sebagai bahan dari suatu struktur.

Teknologi beton kinerja tinggi telah mulai diterapkan pada beberapa pekerjaan struktur beton di Indonesia yang memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi, seperti struktur beton dengan penulangan yang rapat, volume beton yang besar, waktu pengikatan/pengerasan yang harus di atur, memiliki ketahanan terhadap lingkungan ekstrim dan sebagainya.

Sampai saat ini belum ada spesifikasi yang mengatur beton kinerja tinggi di Indonesia, terlebih lagi bila dikaitkan dengan bahan penyusun beton yang ada di Indonesia. Dengan demikian perlu dipahami teknologi beton kinerja tinggi ini agar dalam penerapannya tercapai sesuai dengan tujuan penggunaannya.

Rulli Ranastra Irawan

Penyusun

Daftar Tabel

<i>Tabel 1</i>	Kriteria Beton Kinerja Tinggi.....	18
<i>Tabel 2</i>	Standar Semen Portland di Indonesia.....	20
<i>Tabel 3</i>	Produsen Semen Portland di Indonesia.....	20
<i>Tabel 4</i>	Calon Produsen Semen di Indonesia.....	21
<i>Tabel 5</i>	Karakteristik Semen Portland berdasarkan Standar Nasional Indonesia....	22
<i>Tabel 6</i>	Karakteristik Semen Portland Komposit (PCC) berdasarkan Standar Nasional Indonesia.....	23
<i>Tabel 7</i>	Karakteristik Semen Portland Pozolan (PPC) berdasarkan Standar Nasional Indonesia.....	23
<i>Tabel 8</i>	Persentase SCM.....	48

Bab 1

Pendahuluan

Dalam beberapa waktu terakhir ini istilah Beton Kinerja Tinggi – BKT (High Performance Concrete – HPC) mulai populer. Penggunaan Beton Kinerja Tinggi di sepakati untuk memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan jika beton biasa yang digunakan. Namun di Indonesia khususnya dalam pekerjaan jalan dan jembatan belum terlihat perbedaan yang jelas antara beton konvensional dengan beton kinerja tinggi .

Konsep dari Beton Kinerja Tinggi terus berevolusi seiring dengan waktu. Hal pertama yang perlu didefinisikan barangkali adalah mengenai apa sebenarnya kriteria “Kinerja Tinggi” dari suatu beton. Berbagai parameter telah melekat apabila kita mendengar istilah Beton Kinerja Tinggi, dengan memiliki kekuatan tinggi menjadi penjelasan yang paling populer, sementara menyamakan Beton Kinerja Tinggi dengan Beton Kekuatan Tinggi akan memberikan penjelasan dan deskripsi yang kurang/ tidak lengkap. Untuk menjelaskan Kinerja Tinggi dari beton, sifat lain dari beton juga harus diperhatikan, dan bahkan mungkin mengesampingkan masalah kekuatan.

Bagaimana seharusnya beton kinerja tinggi didefinisikan? Menurut Aitcin dan Neville (1993) Ada tiga pengaruh yang harus dipertimbangkan: struktur di mana beton akan digunakan, lingkungan di mana struktur akan ditempatkan, dan jenis dan jumlah beban yang struktur akan diaplikasikan.

Suatu pelat beton yang diletakkan di atas tanah akan membutuhkan sifat kekuatan yang jauh berbeda dari pelat beton yang diperuntukkan bagi lantai jembatan, atau elemen struktural jembatan, atau cerobong beton untuk pendingin. Namun dalam setiap aplikasi tersebut, dengan kekuatan yang sangat berbeda tentu dapat menggunakan Beton Kinerja Tinggi. Sifat beton lainnya yang perlu ditentukan termasuk panas hidrasi yang diijinkan selama pemeraman, stabilitas volume, rayapan (*creep*), potensi retak/kerapuhan, *workability*, *pumpability*, dan lain-lain (kriteria dapat terus bertambah). Pada dasarnya, persyaratan struktural dan pembangunan struktur harus dipenuhi oleh beton yang digunakan.

Faktor kondisi iklim juga harus diperhatikan dalam pekerjaan beton seperti, pemanasan dan pendinginan, serta pembasahan dan pengeringan. Selanjutnya potensi serangan kimia juga harus dipertimbangkan untuk struktur-struktur yang berhubungan langsung dengan tanah, terkena bahan kimia di udara atau terkena bahan kimia karena penggunaan akhir. Singkatnya, beton

harus tahan terhadap lingkungan di mana ia ditempatkan. Sebagaimana persyaratan struktural, persyaratan lingkungan juga dapat sangat bervariasi sebagai contoh, perkerasan beton dibangun di atas tanah dasar yang mengandung sulfat tentu akan memiliki kebutuhan yang berbeda untuk mencapai daya tahan jangka panjang jika dibandingkan dengan pelat beton bagian dalam pada lantai dua di sebuah gedung bertingkat tinggi yang terlindung dari cuaca.

Seperti dengan dua faktor sebelumnya, pengaruh, atau dampak beban pada kinerja dapat sangat bervariasi. Singkatnya, jenis, besaran dan jumlah beban yang diharapkan harus dipertimbangkan dengan cermat.

Di luar tiga pengaruh yang dibahas sebelumnya, faktor-faktor tambahan juga harus dipertimbangkan. Beton tidak hanya harus baik secara perencanaan, namun beton juga harus “*constructable*.” Berbagai persyaratan material khusus dapat ditempatkan pada komponen campuran, tergantung pada pengaruh lingkungan dan jenis struktur di mana beton ditempatkan, dan saat ini mungkin beton juga harus memenuhi persyaratan sebagai “*friendly constructions*.”

Petunjuk praktis yang baik harus diikuti selama pelaksanaan. Dasar atau bentuk-pekerjaan harus dipersiapkan dengan baik, cakupan yang memadai harus disediakan untuk memperkuat, teknik pengecoran harus diikuti, seperti

untuk menghindari pemisahan komponen beton, teknik pemadatan harus cukup untuk mencapai kepadatan target, tapi tidak sampai menimbulkan kerugian seperti mempengaruhi sistem rongga udara (untuk beton *air entrained*) atau menghasilkan segregasi. *Finishing* dan teknik perawatan harus tepat dari segi waktu dan memadai tergantung kondisi lingkungan.

Interaksi beton pada usia dini dengan lingkungan dan beban-beban yang bekerja harus dipertimbangkan. Panas yang dihasilkan selama hidrasi harus diperkirakan dan dikombinasikan dengan pengaruh dari lingkungan yang diharapkan. Pengecoran pada cuaca panas memerlukan pertimbangan khusus. Perubahan dalam proporsi campuran mungkin akan diperlukan untuk mencegah suhu internal yang berlebihan, perbedaan termal dan tegangan termal.

Dengan menggabungkan informasi tersebut dapat dikatakan bahwa Beton Kinerja Tinggi – BKT (*High Performance Concrete – HPC*) adalah beton yang dibuat dengan bahan yang tepat dikombinasikan sesuai dengan desain campuran yang dipilih, baik dicampur, diangkut, ditempatkan, dipadatkan dan dirawat sehingga beton yang dihasilkan akan memberikan kinerja yang sangat baik dalam struktur di mana beton tersebut ditempatkan, di lingkungan



(sumber : bestenggsite.blogspot.com, diakses : 10 Jan 2012)

Gambar 1. Simplifikasi skema beton kinerja tinggi

dan mampu menahan beban yang bekerja selama umur rencana.

Tidak ada bahan-bahan yang sangat khusus yang diperlukan untuk pembuatan beton kinerja tinggi, penggunaannya ditentukan oleh faktor-faktor dan pertimbangan dibahas. Artinya persyaratan untuk beton konvensional harus dipenuhi terlebih dahulu untuk mendapatkan beton Kinerja Tinggi. *Gambar 1* menunjukkan kategori utama faktor dan pertimbangan yang harus ditangani dalam rangka untuk memperoleh Beton Kinerja Tinggi sesuai yang diharapkan. ■

Pustaka

Aitcin, P.-C., and Neville, A., "High-Performance Concrete Demystified," *Concrete International*, V. 15, No. 1, pp.21-26.

Dr. Stephen W. Forster is a research geologist in the Pavements Division of the Federal Highway Administration. He has worked in the Office of Research of FHWA since 1975 on a range of materials and materials related issues, including aggregates and Portland Cement concrete. He is manager of FHWA's research program on cement and concrete.

Bab 2

Definisi dan Karakteristik

Definisi

American Concrete Institute (ACI) mendefinisikan beton kinerja tinggi sebagai beton yang memenuhi kombinasi persyaratan kinerja spesifik dan keseragaman yang tidak selalu bisa dicapai ketika menggunakan bahan-bahan konvensional serta praktik-praktik pencampuran (*mixing*), pengecoran (*placing*) dan perawatan (*curing*) untuk beton normal.

Dalam petunjuk teknis Spesifikasi Campuran Beton Kinerja Tinggi dengan Abu Terbang yang diterbitkan oleh Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah pada Tahun 2000, didefinisikan Beton Kinerja Tinggi sebagai beton dengan kekuatan tekan yang disyaratkan minimal 60 MPa pada 28 hari dengan benda uji silinder standar dan mempunyai kelecakan dan keawetan tinggi.

Beton kinerja tinggi adalah sesuatu yang menuntut kinerja yang lebih tinggi dari beton dibandingkan dengan kinerja yang diharapkan dari beton normal.

Tabel 1 Kriteria Beton Kinerja Tinggi

Kriteria Daya Tahan	Kriteria Kekuatan
Creep	Modulus Elastisitas
Permeabilitas Klorida	Scaling
Freeze-Thaw	Ketahanan Abrasi
Penyusutan	

(sumber : ACI)

Beton Kinerja Tinggi biasanya dirancang untuk memenuhi parameter (satu atau lebih) yang berada di dalam kriteria Kekuatan dan/atau di dalam kriteria daya tahan (*durability*), seperti yang tertera pada **Tabel 1**.

Spesifikasi Beton Kinerja Tinggi akan menuntut agar beton dapat memenuhi beberapa kriteria. Beton Kinerja Tinggi juga lebih sensitif terhadap perubahan sifat bahan utamanya dibandingkan dengan beton konvensional. Ini berarti akan diperlukan tingkat pengendalian mutu yang lebih tinggi untuk dapat memproduksi beton kinerja tinggi.

Beton Kinerja Tinggi diperoleh dalam praktek dengan hati-hati memilih bahan baku (semen, agregat, termasuk bahan tambah kimia / bahan tambah mineral) & desain campuran yang tepat untuk mencapai tujuan kinerja yang diinginkan. Pada umumnya beton kinerja tinggi mengguna-

kan kadar sementisius yang tinggi dengan rasio air-semen (f.a.s) 0,4 atau kurang.

Beton Kinerja Tinggi dirancang untuk memberikan beberapa manfaat dalam pembangunan struktur beton seperti tertera di bawah ini:

- ▶ kemudahan penempatan dan pematangan tanpa mempengaruhi kekuatan
- ▶ sifat mekanik jangka panjang
- ▶ kekuatan awal tinggi
- ▶ ketangguhan
- ▶ stabilitas volume
- ▶ kemampuan bertahan dalam lingkungan yang parah
- ▶ lebih sedikit material yang digunakan
- ▶ mengurangi pemeliharaan
- ▶ memperpanjang usia struktur
- ▶ estetika

dalam kondisi terbaru saat ini, suatu beton mutu tinggi akan selalu beton kinerja tinggi, tetapi beton kinerja tinggi tidak selalu beton mutu tinggi.

Bahan dan Karakteristik Kinerja

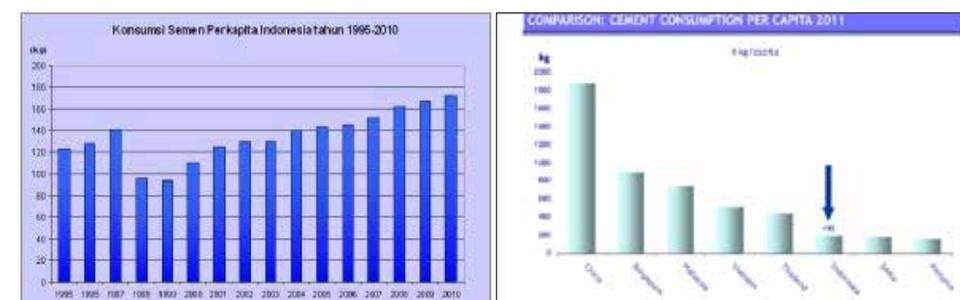
Portland Cement & Blended Cement

Semen adalah salah satu pengikat hidraulis dan didefinisikan sebagai bahan anorganik yang bila ditumbuk halus dan dicampur dengan air, akan membentuk pasta yang akan mengikat dan mengeras melalui proses hidrasi dimana setelah pengerasan terjadi akan mampu mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya bahkan di dalam air.

Ordinary Portland Cement (OPC) merupakan salah satu dari beberapa jenis semen yang diproduksi di seluruh dunia, OPC adalah semen untuk keperluan umum yang digunakan dalam konstruksi beton. OPC adalah campuran senyawa kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan sulfur trioksida (SO_3). Magnesium (MgO) termasuk dalam jumlah kecil

sebagai pengotor yang terkait dengan penggunaan kapur. SO_3 ditambahkan pada tahap penggilingan untuk memperlambat waktu setting semen. Ketika bahan baku semen yang mengandung oksida penting dengan proporsi yang tepat digiling sampai kehalusan tertentu dan kemudian dibakar sampai terjadi fusi baru di dalam kiln, maka akan terjadi kombinasi kimia, terutama dalam keadaan padat yang akan menghasilkan produk bernama klinker. Klinker inilah, yang ketika digiling sampai kehalusan yang sesuai bersama-sama dengan sejumlah kecil gipsum (SO_3) akan menjadi yang disebut Semen Portland.

Indonesia adalah salah satu negara yang mampu memproduksi berbagai tipe Semen Portland untuk keperluan sendiri maupun untuk penjualan ke luar negeri dengan produksi total mencapai 56,8 Juta Ton (ASI, 2012).



(sumber : Asosiasi Semen Indonesia, Semen Gresik, 2012)

Gambar 2. Konsumsi semen Indonesia

Tabel 2 Standar Semen Portland di Indonesia

No	Nama Pasar Semen	Nomor Standar
1.	Semen Portland	SNI 15 2049 2004
2.	Semen Masonry	SNI 15 3758 2004
3.	Semen Portland Putih	SNI 15 0129 2004
4.	Semen Portland Pozzolan (PPC)	SNI 15 0302 2004
5.	Semen Portland Komposit (PCC)	SNI 15 7064 2004
6.	Semen Portland Campur	SNI 15 3500 2004

Blended Cement (semen gabungan) adalah campuran semen Portland dengan bahan lain yang baik memiliki sifat semen mereka sendiri, misalnya tanah pasir besi terak blastfurnace, abu terbang, atau pozzolanic alam, yaitu mereka bereaksi dengan kapur dengan adanya air untuk membentuk senyawa semen, misalnya fly ash dan silica fume.

Semen Portland yang diproduksi di Indonesia harus memenuhi persyaratan sesuai SNI dalam *Tabel 2*.

Sampai saat ini (2012) terdaftar 9 Produsen semen portland di Indonesia dengan kapasitas produksi pada tahun 2012 mencapai 56,8 juta ton (ASI, 2012) seperti terlihat pada *Tabel 3*.

Disamping itu terdapat beberapa produsen lain yang berminat untuk segera berinvestasi dalam bisnis semen di Indonesia, sehingga total kapasitas produksi semen di Indonesia diperkirakan akan mencapai 80 juta ton (ASI, 2012). Jumlah tersebut diharapkan dapat memenuhi kebutuhan

Tabel 3 Produsen Semen Portland di Indonesia

No	Nama Produsen	Kapasitas/tahun	Lokasi
1.	PT. Semen Andalas Indonesia	1.5 juta ton	NAD
2.	PT. Semen Padang	5.4 juta ton	SUMBAR
3.	PT. Semen Baturaja	1.2 juta ton	Sumsel, Lampung
4.	PT Indocement Tunggul Prakarsa	17.1 juta ton	Jabar, Kaltim
5.	PT. Holcim Indonesia	8.3 juta ton	Jabar, Jateng
6.	PT. Semen Gresik	8.5 juta ton	Jatim
7.	PT. Semen Tonasa	3.9 juta ton	Sulsel
8.	PT. Semen Bosowa	3 juta ton	Sulsel
9.	PT. Semen Kupang	0.6 juta ton	NTT

(sumber : ASI, 2010)

Tabel 4 Calon Produsen Semen di Indonesia

No.	Nama Pemilik Proyek /Investor	Kapasitas per tahun	Lokasi
1	China Anhui	10 juta ton	Kalsel/Kaltim/Kalbar/Papua Barat
		2,5 juta ton	Tanjung, Kalsel
2	China Trio Int. Engineering Co. Ltd	1,5 juta ton	Subang, Jabar
3	(SDIC) State Development and Investment Cooperation	1 juta ton	Papua
4	Siam Cement Group – Thailand (Akuisisi Boral/Jaya Readymix)	1,8 juta ton	Sukabumi, Jabar
		1,2 juta ton	Bayah, Banten
5	Paku Bumi / Semen Karawang PT Jui Shin Indonesia	2,5 juta ton	Karawang, Jabar
6	PT Semen Grobogan / Gajah Tunggul (China Triumph Int Eng Co Ltd – CTIEC)	1,5 juta ton	Grobogan, Jateng
7	Wilmar Group	2 juta ton	Banten
8	Ultra Tech Cement – India	4 juta ton	Wonogiri, Jateng

(sumber : ASI, 2012)

semen di dalam negeri atau bahkan dapat memenuhi kebutuhan ekspor.

Dengan lokasi pabrik (plant) yang tersebar dari pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan dan Sulawesi. Dari kesembilan lokasi tersebut ada tiga jenis semen terbesar yang diproduksi yaitu Portland Semen Tipe I (PC Tipe I), Portland Semen Komposit (PCC) dan Portland Semen Pozolan (PPC).

Ringkasan sifat fisik dan kimia yang ditentukan dalam ketiga Jenis Standar diberikan pada *Tabel 2*. SNI 15 2049 2004, SNI 15 0302 2004 dan SNI 15 7064 2004 adalah spesifikasi berbasis kinerja di mana PC tipe I, PCC dan PPC didefinisikan dalam hal karakteristik kinerjanya. Bahan

baku yang digunakan untuk memproduksi semen Portland dapat sangat bervariasi dari tempat ke tempat, komposisi kimia dari semen juga dapat bervariasi cukup luas. Namun demikian, dengan teknologi modern, dari bahan-bahan yang beragam akan dimungkinkan untuk menghasilkan semen yang memiliki karakteristik fisik yang sama. Oleh karena itu, dalam spesifikasi hanya ditentukan pembatasan komposisi kimia yang diperlukan untuk menjamin kinerja yang memuaskan, misalnya batas atas pada jumlah MgO dan SO₃ untuk menjaga terhadap ekspansi volumetrik jangka panjang yang berlebihan dari pasta semen terhidrasi.

Tabel 5 Karakteristik Semen Portland berdasarkan Standar Nasional Indonesia

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20,0 ^(a)	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0 ^(a)	-	6,5	-

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO ₃ , maksimum Jika C ₃ A ≤ 8,0 Jika C ₃ A > 8,0	3,0	3,0 ^(d)	3,5	2,3 ^(d)	2,3 ^(d)
6	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C ₂ S, maksimum ⁽¹⁾	-	-	-	35 ^(b)	-
9	C ₃ S, minimum ⁽¹⁾	-	-	-	40 ^(b)	-
10	C ₄ A, maksimum ⁽²⁾	-	8,0	15	7 ^(b)	5 ^(b)
11	C ₃ AF + 2 C ₂ A atau ⁽³⁾ C ₃ AF + C ₂ F, maksimum	-	-	-	-	25 ^(c)

Tabel 3 Syarat fisika utama

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan: Uji permeabilitas udara, m ² /kg Dengan alat : Turbidimeter, min Blaine, min	160 280	160 280	160 280	160 280	160 280
2	Kekekalan : Pemuatan dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat tekan: Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	- 125 200 280	- 100 175 120 ^(a)	120 240 -	- 70 170	- 80 150 210
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat: Gillmore - Awal, menit, minimal - Akhir, menit, maksimum Vicat - Awal, menit, minimal - Akhir, menit, maksimum	60 600 45 375	60 600 45 375	60 600 45 375	60 600 45 375	60 600 45 375

Tabel 6 Karakteristik Semen Portland Komposit (PCC) berdasarkan Standar Nasional Indonesia

Tabel 1 Syarat fisika			
No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m ² /kg	min. 280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave: - pemuatan - penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20
3.	Waktu pengikatan dengan alat vicat: - pengikatan awal - pengikatan akhir	menit menit	min. 45 maks. 375
4.	Kuat tekan: - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari	kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ²	min. 125 min. 200 min. 250
5.	Pengikatan semu: - penetrasi akhir	%	min. 50
6.	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

Tabel 7 Karakteristik Semen Portland Pozolan (PPC) berdasarkan Standar Nasional Indonesia

Tabel 1 Syarat kimia (jenis IP-U dan IP-K)				
No	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			IP - U	IP - K
1	MgO	%	maks. 6,00	maks. 6,00
2	SO ₃	%	maks. 4,00	maks. 4,00
3.	Hilang pijar	%	maks. 5,00	maks. 5,00

Tabel 2 Syarat fisika (jenis IP-U dan IP-K)				
No	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1	Kehalusan dengan alat blaine	m ² /kg	min 280	min 280
2.	Waktu pengikatan dengan jarum vicat - pengikatan awal - pengikatan akhir	menit jam	min. 45 maks. 7	min. 45 maks. 7
3.	Kekekalan dengan autoclave - pemuatan - penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20	maks. 0,80 maks. 0,20
4.	Kuat tekan - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari	kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ²	min. 125 min. 200 min. 250	min. 110 min. 165 min. 205
5.	Panas hidrasi - umur 7 hari - umur 28 hari	kal/g kal/g	- -	maks. 70 maks. 80
6.	Kandungan udara dari mortar	% volume	maks. 12	maks. 12

Berikut ini akan dibahas semen pozzolan tipe “IP” Tipe, “P” dan tipe “I (PM)” yang termasuk ke dalam semen gabungan, semen gabungan diproduksi dengan salah satu tujuan mengurangi emisi gas rumah kaca, karena dalam produksinya tidak semua komponen semen tersebut harus dibakar, bahkan dapat memanfaatkan beberapa bahan yang masuk dalam kategori limbah. Spesifikasi untuk semen tersebut diatur berdasarkan AASHTO M-240 dan ASTM C-595 atau SNI 0302 2004. Blended semen dapat diproduksi menggunakan salah satu campuran intim semen portland pozzolan dan atau intergrinding dari pozzolan dengan klinker semen di kiln. Tipe I (PM)” (semen pozzolan modifikasi) memungkinkan hingga 15 persen dari penggantian semen dengan fly ash. Tipe “IP” dan Tipe “P” adalah pozzolan- portland semen modifikasi yang memungkinkan 15-40 persen dengan penggantian pozzolan. Perbedaan dalam dua jenis semen adalah kekuatan utama dan tingkat keuntungan kekuatan beton. Kebanyakan Negara menentukan batasan pada konten pozzolanic pada Type semen “IP”. Batasan ini antara 15 dan 25 persen. Di Indonesia SNI mengenai semen mengadopsi peraturan dari ASTM dan European Norm (EN), namun masih terdapat beberapa hal yang perlu dicermati dalam penggunaannya khususnya PPC dan PCC, sehingga penelitian lebih lanjut masih dibutuhkan untuk menjawab hal ini.

Abu Terbang (Fly Ash)

Abu terbang adalah residu halus dibagi dihasilkan dari pembakaran batubara yang telag digiling menjadi bubuk. Abu terbang pada umumnya lebih halus dari semen dan terutama terdiri dari partikel kaca (silica) berbentuk bola serta residu hematit dan magnetit, *char*, dan beberapa fase kristal yang terbentuk selama pendinginan. Penggunaan abu terbang pada beton dimulai di Amerika Serikat pada tahun 1930-an. Penelitian komprehensif pertama dilakukan pada tahun 1937, oleh RE Davis di University of California (Kohubu, 1968;. Davis et al, 1937). Tujuan utama dalam menggunakan fly ash dalam beton adalah untuk pembangunan Bendungan Hungry Horse pada tahun 1948, yang menggunakan 120.000 metrik ton fly ash. Keputusan ini oleh Pemerintah Amerika Serikat membuka jalan untuk menggunakan fly ash pada konstruksi beton.

Selain manfaat ekonomi dan ekologi, penggunaan fly ash pada beton meningkatkan kinerja pelaksanaannya, mengurangi segregasi, bliding, terbentuknya panas hidrasi dan permeabilitas, menghambat reaksi alkali-agregat, serta meningkatkan ketahanan sulfat. Data menunjukkan bahwa penggunaan batubara yang menghasilkan produk samping berupa abu terbang di Indonesia mencapai 14,1% dari total penggunaan energi lain pada tahun 2003.



(sumber : www.google.com)

Gambar 3. Abu Terbang (Fly Ash)

Diperkirakan penggunaan energi batubara ini akan terus meningkat hingga 34,6% pada tahun 2025 (Setiaka, dkk, 2011).

Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2006, limbah fly ash yang dihasilkan mencapai 52,2 ton/hari, sedangkan limbah bottom ash mencapai 5,8 ton/hari (Setiaka, dkk, 2011). Dari jumlah tersebut 60% fly ash yang dihasilkan telah dimanfaatkan oleh industri (PLN TJB, 2010)

Salah satu bidang yang paling penting dari aplikasi untuk fly ash adalah beton untuk perkerasan kaku, di mana jumlah besar beton digunakan dan nilai ekonomis merupakan faktor penting dalam konstruksi perkerasan beton. FHWA telah mendorong penggunaan fly ash pada beton. Ketika harga beton yang menggunakan fly ash adalah sama dengan, atau kurang dari harga campuran beton yang hanya menggunakan semen portland, beton yang meng-

gunakan fly ash akan diberikan keutamaan jika secara teknis sesuai di bawah pedoman FHWA (Adams 1988).

Klasifikasi dan Spesifikasi

Terdapat dua kelas utama fly ash yang ditentukan dalam ASTM C 618 / SNI 03-2460-1991 Spesifikasi Abu Terbang sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton atas dasar komposisi kimianya yang dihasilkan dari jenis batubara, yaitu kelas F dan Kelas C. Kelas F adalah fly ash yang biasanya diproduksi dari pembakaran antrasit atau batubara bituminous, dan Kelas C biasanya dihasilkan dari pembakaran batubara dan lignite subbituminous (sebagaimana ditemukan di beberapa negara barat Amerika Serikat) (Halstead 1986). Kelas C fly ash biasanya memiliki sifat semen di samping sifat pozzolanic karena

adanya kapur bebas, sedangkan kelas F tidak memiliki sifat semen bila dicampur dengan air saja.

Fly ash yang dihasilkan dari satu pembangkit listrik biasanya sangat seragam. Karena pembangkit listrik beroperasi secara terus menerus. Pengecualian keseragaman adalah akibat ketidakseragaman dalam *start-up* dan *shut-down* dari pembangkit ini. Kontaminasi dapat terjadi akibat penggunaan bahan bakar lain untuk memulai pembangkit, dan inkonsistensi dalam kandungan karbon yang terjadi sampai pembangkit listrik mencapai efisiensi operasi penuh. Abu yang dihasilkan dari *start-up* dan *shut-down* harus dipisahkan dari apa yang dihasilkan ketika pembangkit sedang berjalan efisien. Selain itu, ketika sumber batubara yang berubah, maka perlu untuk memisahkan abu terbang yang dihasilkan. Beban puncak penggunaan listrik akan mengakibatkan siklus *start-up* dan *shut-down* banyak. Karena itu, pembangkit yang mengalami hal seperti ini tidak dapat menghasilkan fly ash dengan tingkat keseragaman yang tinggi. Selain itu tipe boiler dan tipe pulverizer juga akan berpengaruh terhadap kualitas abu terbang yang dihasilkan.

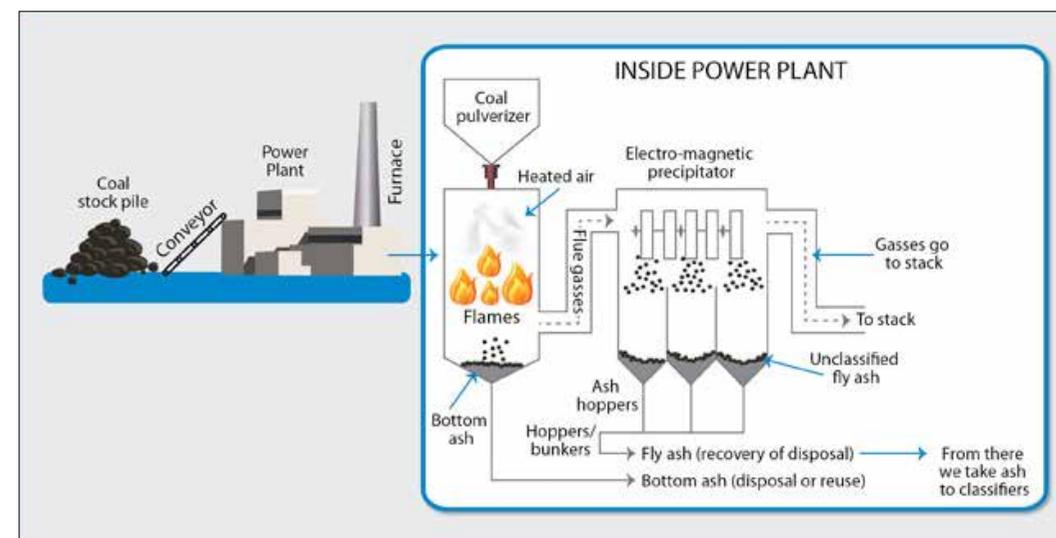
Spesifikasi yang paling sering digunakan untuk abu terbang (fly ash) adalah ASTM C 618, AASHTO M 295 dan SNI 03-2460-1991. Sementara dengan beberapa perbedaan yang ada, ketiga spesifikasi pada

dasarnya sama. Klasifikasi umum fly ash oleh jenis batubara dibakar tidak cukup menentukan jenis perilaku yang diharapkan ketika bahan yang digunakan dalam beton.

Ada juga perbedaan luas dalam karakteristik dalam setiap kelas. Meskipun acuan dalam ASTM C 618 untuk kelas batubara dari mana Kelas F dan C Kelas abu terbang yang berasal, tidak ada persyaratan bahwa kelas tertentu dari abu terbang harus datang dari jenis tertentu batubara. Misalnya, Kelas F abu dapat dihasilkan dari batubara bituminous yang tidak, dan batubara bituminous dapat menghasilkan abu yang tidak F Kelas (Halstead 1986). Khusus di Republik Indonesia fly ash dikategorikan sebagai limbah B3 dari sumber yang spesifik berdasarkan PP no. 18 tahun 1999 dan PP no. 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3 sehingga penggunaan dan pengelolannya harus melalui serangkaian kegiatan berdasarkan peraturan yang berlaku.

Penggunaan fly ash dalam semen portland akan bervariasi tergantung pada komposisi kimia dari abu terbang dan semen portland. Saat ini, di dalam spesifikasi di berbagai negara memungkinkan substitusi antara 6 persen sampai 25 persen.

Pengaruh fly ash, khususnya Kelas F, pada sifat beton segar dan beton keras telah dipelajari secara ekstensif oleh banyak peneliti di laboratorium yang berbeda, di seluruh dunia. Kedua sifat fly ash yang



(Sumber : <http://www.sephakucement.co.za>)

Gambar 4. Proses sampingan produksi abu terbang

paling perlu diperhatikan adalah kandungan karbon dan kehalusan bahan tersebut. Kedua sifat ini akan mempengaruhi kadar udara dan kebutuhan air dari beton.

Semakin halus bahan, akan semakin tinggi kebutuhan air karena peningkatan luas permukaan. Bahan yang halus akan membutuhkan lebih banyak bahan tambah pengikat udara (*air entraining agent*). Yang penting untuk diingat adalah keseragaman. Jika fly ash yang seragam dalam ukuran, desain campuran dapat disesuaikan untuk memberikan campuran dengan keseragaman yang baik.

Kandungan karbon, yang ditandai dengan hilang pijar (*loss on ignition*), juga akan mempengaruhi permintaan air karena karbon akan menyerap air. Penggunaan fly

ash meningkatkan dapat volume absolut dari bahan semen (semen ditambah fly ash) dibandingkan dengan beton tanpa abu terbang, sehingga volume pasta meningkat, yang mengarah ke penurunan gangguan partikel agregat dan peningkatan dalam workability beton. Bentuk partikel bola fly ash juga berpartisipasi dalam meningkatkan workability beton yang menggunakan fly ash karena apa yang disebut efek "*ball bearing effect*" (ACI, 226, 1987).

Menggunakan fly ash dalam campuran beton biasanya dapat mengurangi bliding dengan memberikan volume yang lebih besar dan kadar air yang lebih rendah untuk workability tertentu. Meskipun peningkatan kehalusan akan meningkatkan kebutuhan air, bentuk partikel yang bulat dari fly ash

dapat menurunkan efek gesekan partikel. Beton dengan kandungan fly ash yang relatif tinggi akan memerlukan air lebih sedikit daripada beton tanpa fly ash dengan nilai slump yang sama.

Semua Abu Terbang Kelas F dan hampir semua Abu Terbang Kelas C meningkatkan waktu pengikatan beton (ACI Comm 226, 1987c). Waktu pengikatan beton yang menggunakan fly ash dipengaruhi oleh karakteristik dan jumlah fly ash yang digunakan dalam beton. Untuk konstruksi jalan dan jembatan, perubahan waktu pengikatan biasanya tidak akan menimbulkan perlunya perubahan dalam teknik konstruksi, penundaan yang terjadi dapat dianggap sebagai hal yang menguntungkan (Halstead 1986).

Kekuatan beton yang menggunakan fly ash dipengaruhi oleh jenis semen, kualitas fly ash, dan suhu curing dibandingkan dengan beton biasa, proporsional untuk kuat tekan setara 28-hari. Beton yang menggunakan abu terbang Kelas F dapat menghasilkan kekuatan yang lebih rendah pada umur 3 atau 7 hari. Namun, biasanya akan memiliki kekuatan utama yang lebih tinggi ketika proses hidrasi telah berjalan sempurna. Perkembangan kekuatan yang lambat adalah hasil dari reaksi pozzolanic yang relatif lambat dari fly ash.

Kandungan karbon dalam fly ash, yang terkait dengan batubara yang dibakar

oleh jenis utilitas yang menggunakan batubara dan kondisi tungku dalam proses yang menghasilkan fly ash, akan mempengaruhi perilaku admixtures yang digunakan dalam beton. Menurut hasil penelitian (Joshi, Langan, dan Ward 1987; Hines 1985), kandungan karbon yang tinggi dalam abu terbang dapat mengurangi efektivitas bahan tambah. Untuk itu pengendalian kualitas abu terbang yang boleh digunakan sebagai bahan semen Portland gabungan harus menjadi salah satu perhatian utama.

Salah satu alasan penting untuk menggunakan fly ash dalam konstruksi jalan raya adalah untuk menghambat pengembangan (ekspansi) yang terjadi akibat reaksi alkali-Silika (ASR).

Pembatasan Penggunaan Beton Fly Ash dalam Konstruksi Jalan

Fly ash kelas F dan kelas C diketahui dapat memperbaiki sifat-sifat beton, namun beberapa faktor tetap harus dipertimbangkan ketika menggunakan abu terbang terutama dalam konstruksi jalan raya, di mana fly ash sering digunakan. Pembatasan yang berkaitan dengan penggunaan beton fly ash untuk konstruksi jalan raya dan struktur jalan raya lainnya meliputi :

1. tindakan khusus mungkin diperlukan untuk memastikan bahwa jumlah yang tepat dari penggunaan bahan tambah,

2. tidak semua abu terbang memiliki aktivitas pozzolanic cukup untuk memberikan hasil yang baik dalam beton,
3. abu terbang yang cocok tidak selalu tersedia di dekat lokasi konstruksi, dan biaya transportasi dapat meniadakan keuntungan biaya, dan
4. proporsi campuran mungkin harus diubah untuk setiap kesempatan dalam komposisi fly ash.

Karena reaksi semen fly ash dipengaruhi oleh sifat-sifat semen, penting bagi pengguna untuk tidak hanya untuk menguji dan menyetujui setiap sumber fly ash tetapi juga untuk menyelidiki sifat-sifat kombinasi abu-semen fly khusus untuk digunakan untuk setiap proyek (Halstead 1986).

Berikut ini adalah beberapa rekomendasi tentang penggunaan abu terbang untuk konstruksi jalan raya yang telah digunakan di Amerika Serikat.

1. Spesifikasi standar untuk fly ash (ASTM C-618 AASHTO atau M-295) harus digunakan (Indonesia telah memiliki SNI tentang spesifikasi abu terbang untuk digunakan dalam campuran beton).
2. Lembaga Negara Pengelola Jalan harus mengembangkan program sertifikasi serupa dengan yang ada pada serti-

fikasi semen Portland. Program ini harus mencakup pengujian oleh pemasok dengan pengambilan dan pengujian sampel yang diambil oleh lembaga Negara tersebut. Rencana tersebut juga harus meminta laboratorium pemasok berpartisipasi dalam Semen dan Referensi Laboratorium Beton (CCRL) program yang meliputi inspeksi fasilitas dan pengujian sampel perbandingan.

Di Amerika disarankan lima sampel per silo harus diuji untuk memastikan keseragaman fly ash. Setelah keseragaman sumber didapatkan, sampling dapat dikurangi menjadi satu per 400 ton sebagaimana ditentukan dalam ASTM C-311. Disarankan bahwa untuk setiap 10.000 ton fly ash perlu diuji sebelum dapat mengurangi frekuensi pengujian.

3. Spesifikasi harus berisi persyaratan kekuatan dengan rasio substitusi minimum dan maksimum penggantian. Hal ini akan memungkinkan substitusi maksimal tanpa mengorbankan kekuatan. Rasio air semen harus didasarkan pada bahan cementious total, yaitu, semen portland ditambah fly ash yang ditambahkan.
4. Pergantian rasio pada minimal 1 to 1 secara massal dengan substitusi maksimum harus ditentukan. Ting-

kat substitusi dari 15 sampai 25 persen maksimum saat ini sedang ditentukan untuk produksi beton yang khusus. Nilai-nilai ini harus ditetapkan berdasarkan pada abu terbang yang digunakan dan semen portland yang tersedia.

5. Desain campuran harus dilakukan pada setiap kombinasi dari bahan, atau oleh kontraktor dengan persyaratan untuk menyediakan data uji untuk Negara untuk verifikasi dengan batch. Karena komposisi kimia dari abu terbang dan semen portland sangat bervariasi, masalah substansial dapat terjadi jika persentase substitusi yang digunakan untuk semua kombinasi abu terbang dan semen.

Secara umum penggunaan flyash untuk beton dapat direkomendasikan, karena sifat-sifatnya yang menguntungkan akan tetapi pada beberapa kasus penggunaannya tidak diperbolehkan atau terdapat pembatasan-pembatasan seperti :

- ▶ Fly ash tidak boleh menggantikan sebagian semen Portland tipe "IP", Tipe "T" (PM) atau semen Portland Tipe "P" menurut ASTM C 595.
- ▶ Pergantian sebagian semen dengan flyash tidak boleh ditentukan untuk beton dengan kuat awal

yang tinggi. Dalam kasus ini, beton yang mengandung abu terbang akan menghasilkan perkembangan kekuatan yang lebih lambat sehingga tidak akan mampu memiliki keuntungan kekuatan awal yang tinggi.

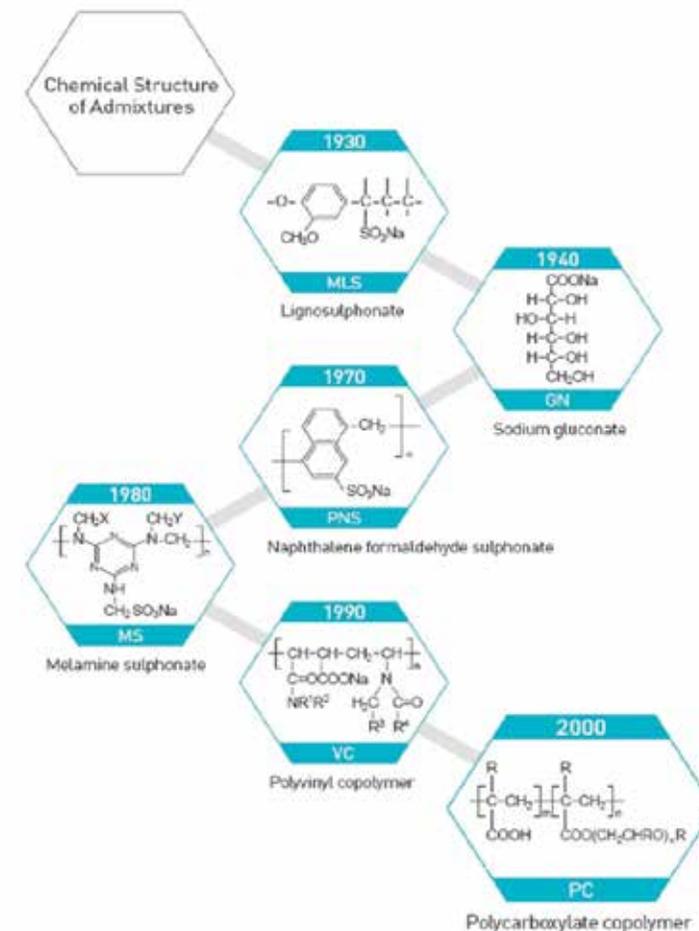
Bahan Tambah Kimia (Chemical Admixtures)

Terdapat banyak produk bahan tambah kimia (chemical admixtures) yang dijual di pasaran, dimana dilapangan beberapa menyebutnya dengan 'aditif'.

Bahan tambah (admixture) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. (Spesifikasi Bahan Tambah untuk Beton, SK SNI S-18-1990-03).

Berdasarkan ACI (American Concrete Institute), bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung.

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan lainnya, karena penggunaan bahan tambah



(Sumber : <http://fair-mate.blogspot.com/>)

Gambar 5. Perkembangan bahan tambah kimia

ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton atau mortar yang akan dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat-volume tidak terasa secara

langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah.

Penggunaan bahan tambah dalam sebuah campuran beton harus memperhatikan standar yang berlaku seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), ASTM (American Society for Testing and Materials) atau ACI

(American Concrete Institute) dan yang paling utama memperhatikan petunjuk dalam manual produk dagang.

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (chemical admixture) dan bahan tambah yang bersifat mineral (additive).

Menurut standar ASTM, terdapat 7 jenis bahan tambah kimia, yaitu:

- ▶ Tipe A, Water-Reducing Admixtures
- ▶ Tipe B, Retarding Admixtures
- ▶ Tipe C, Accelerating Admixtures
- ▶ Tipe D, Water Reducing and Retarding Admixtures
- ▶ Tipe E, Water Reducing and Accelerating Admixtures
- ▶ Tipe F, Water Reducing, High Range Admixtures
- ▶ Tipe G, Water Reducing, High Range Retarding Admixtures

Water-Reducing Admixtures (Plasticizer)

Di Indonesia penggunaan bahan tambah untuk pekerjaan jalan lebih populer dengan penggunaan bahan tambah tipe Water Reducing (A, D, F atau G). Water-Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Bahan tambah ini biasa disebut water reducer atau plasticizer.

Plasticizer dapat digunakan dengan cara-cara sebagai berikut:

- ▶ Kadar semen tetap, air dikurangi
Cara ini untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau faktor air semen (fas) yang rendah. Dengan faktor air semen yang rendah akan meningkatkan kuat tekan beton. Dengan penambahan plasticizer, walaupun fas rendah, beton tetap memiliki sifat workabilitas yang baik.
- ▶ Kadar semen tetap, air tetap
Cara ini untuk memproduksi beton dengan slump yang lebih tinggi. Tingginya nilai slump akan memudahkan penuangan adukan.
- ▶ Kadar semen dikurangi, faktor air semen tetap
Cara ini dilakukan untuk memperoleh beton dengan penggunaan semen yang lebih sedikit, sehingga mengurangi biaya.

Komposisi dari plasticizer diklasifikasikan secara umum menjadi 4 kelas:

- ▶ Asam lignosulfonic dan kandungan garam-garam
- ▶ Modifikasi dan turunan asam lignosulfonic dan kandungan garam-garam
- ▶ Hydroxylated carboxylic acids dan kandungan garamnya

- ▶ Modifikasi hydroxylated carboxylic acids dan kandungan garamnya

Berdasarkan prosentase pengurangan jumlah air, plasticizer/water reducer dibedakan menjadi 3 macam:

- ▶ Normal water reducer : Penggunaan jenis ini mampu mengurangi air antara 5 – 10%.
- ▶ Mid-range water reducer : Penggunaan jenis ini mengurangi air antara 10 – 15%.
- ▶ High-range water reducer : Jenis ini biasa disebut superplasticizers, mampu mengurangi air antara 20 – 40%.

Mekanisme adanya penambahan plasticizer dapat dijelaskan sebagai berikut: Senyawa diserap oleh bidang muka antara air dengan zat padat. Partikel padat tersebut mengandung muatan sisa pada permukaannya dapat positif, negatif ataupun keduanya.

Pada pasta semen, akibat perbedaan muatan tersebut, partikel dengan muatan berbeda yang posisinya berdekatan menyebabkan gaya elektrostatis, selanjutnya partikel mengalami flokulasi/ penggumpalan. Sejumlah air diikat oleh gumpalan tersebut dan diserap pada permukaan padat, sedang sedikit air yang tersisa mampu mengurangi viskositas/kekentalan pada pasta dan juga pada beton. Molekul pada plasticizer berfungsi menetralkan muatan pada permukaan atau membuat seluruh permukaan tersebut bermuatan seragam. Kemudian partikel tersebut saling tolak menolak (tidak lagi saling tarik menarik), sehingga semua partikel saling berpecah/dispersi dalam pasta. Hal ini membuat sebagian besar air mampu untuk mengurangi viskositas pada semen dan beton. Interaksi pada permukaan ini hampir pasti diketahui terjadi pada partikel semen, dan dapat pula terjadi pada fraksi terhalus dari agregat halus.



(sumber : sciencedirect.com)

Gambar 6. Dispersion Action akibat Plasticizer: (a) Pasta menggumpal; (b) Pasta berpecah

Contoh produk plasticizer,

Plastiment NS

Produk ini dikeluarkan oleh Sika[®], dengan bahan dasar polimer padat. Plastiment NS memenuhi standar ASTM C-494 Tipe A dan AASHTO M-194 Tipe A. Plastiment NS direkomendasikan untuk digunakan pada aplikasi beton kualitas tinggi dengan peningkatan kuat tekan awal dan waktu ikatan normal. Produk ini dapat mengurangi air sampai dengan 10% untuk memperoleh beton yang mudah dikerjakan dengan kuat tekan dan kuat lentur yang lebih tinggi. Dosis yang digunakan adalah 130 – 265 ml untuk tiap 100 kg semen.

Plastocrete 161W

Merupakan produk Sika[®] dengan bahan polimer dan telah memenuhi persyaratan ASTM C-494 Tipe A. Direkomendasikan untuk digunakan pada beton kualitas tinggi dengan workabilitas sangat baik dan waktu ikatan cepat. Plastocrete 161W memberikan hasil yang optimal apabila dikombinasikan dengan fly ash (abu terbang). Dosis yang digunakan adalah 195 – 650 ml/100 kg semen.

Plastocrete 169

Produk Sika[®] dengan tujuan ganda, yaitu sebagai reducer dan retarder. Produk ini telah memenuhi syarat ASTM C-494

Tipe A. Digunakan untuk beton normal dan memerlukan retarder. Tujuan ganda Plastocrete 169 sebagai water reducer normal dan set retarder memberikan fleksibilitas yang tinggi pada penggunaannya dan dapat dikombinasikan untuk meningkatkan kualitas maupun nilai ekonomis. Apabila digunakan untuk reducer, digunakan dosis 261-391 ml/100 kg semen. Apabila digunakan sebagai set retarder, dosis 390-520 ml/100 kg berat semen.

Viscocrete 4100

Merupakan produk Sika[®] yang digunakan sebagai high range water reducer dan superplasticizer. Produk ini telah memenuhi syarat ASTM C-494 Tipe A dan F. Bahan tambah ini dapat digunakan dengan dosis rendah untuk mengurangi air antara 10-15% dan apabila digunakan dengan dosis tinggi mampu mengurangi air hingga 40%. Produk ini dapat digunakan untuk Self Compacting Concrete (SCC) karena dapat memberikan workabilitas yang tinggi. Viscocrete 4100 tidak mengandung formaldehid dan kalsium klorida serta tidak menyebabkan korosi pada tulangan baja. Untuk tujuan umum dosis yang direkomendasikan sebanyak 195-520 ml/100 kg semen. Apabila diinginkan pengurangan air secara maksimum, dosisnya dapat mencapai 780 ml/100 kg semen. ■

Pustaka

- ACI Committee 226. 1987a. Ground granulated blast furnace slag as a cementitious constituent in concrete ACI 226.AR-87. Detroit: American Concrete Institute.
- PT. Semen Gresik, (Tbk), The Prospect Of Indonesian Cement Industry, Corporate Presentation, January, 2012.
- Davis, R. E., R. W. Carlson, J. W. Kelly, and A. G. Davis. 1937. Properties of cements and concretes containing fly ash. Proceedings, American Concrete Institute 33:577-612.
- Halstead, W. (October 1986). "Use of Fly Ash in Concrete". National Cooperative Highway Research Project 127.
- Joshi, R. C., B. W. Langan, and M. A. Ward. 1987. Strength and durability of concrete with high proportions of fly ash and other mineral admixtures. In Durability of building materials. Vol. 4, 253-70. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Kohubu, M. 1969. Fly ash and fly ash cement. In Proceedings, Fifth international symposium on the chemistry of cement (1968). Part IV, 75-105. Tokyo: Cement Association of Japan.
- Setiaka, Juniawan, Ita Ulfin, Nurul Widias-tuti. 2011. Adsorpsi Ion Logam Cu(II) dalam Larutan pada Abu Dasar Batu-bara Menggunakan Metode Kolom. Prosiding Tugas Akhir. Jurusan Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Departemen Perumahan dan Pengembangan Wilayah, Spesifikasi Campuran Beton Kinerja Tinggi dengan Abu Terbang, Petunjuk Teknis, 2000. http://www.babel.pln.co.id/index.php?berita_id=106&menu=berita&nmMenu=Berita (diakses 22 Januari 2012)
- <http://www.sciencedirect.com> (diakses 22 Januari 2012)



Gambar 7. Pengujian tarik belah beton

Bab 3

Pengujian Beton Kinerja Tinggi

Pengujian Kekuatan

Sepererti pengujian beton keras (hardened concrete) pada beton konvensional, pada beton kinerja tinggi juga diperlukan pengujian untuk membuktikan kinerja yang didapatkan apakah sesuai dengan kinerja yang diharapkan. Berikut ini adalah beberapa pengujian beton keras yang dapat dilakukan untuk menunjukkan kinerja kekuatan.

Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton

Pengujian ini bertujuan mengetahui kekuatan tarik beton secara tidak langsung (*indirect tensile strength*). Beton sangat kuat terhadap tekan dan relative lemah terhadap tarik. Pada beberapa kasus beton kinerja tinggi, kekuatan yang digunakan sebagai “*gold standard*” adalah kekuatan tarik, karena secara prinsip yang menyebabkan kehancuran pada beton adalah gaya tarik yang terjadi pada penampang beton.



Gambar 8. Pengujian kuat tekan beton

Pengujian Kekuatan Tekan Beton

Pengujian yang sangat umum untuk kekuatan beton adalah pengujian kekuatan tekan. Di dunia dikenal berbagai jenis dan dimensi benda uji untuk melaksanakan pengujian kuat tekan beton. Amerika menggunakan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebagai standar dalam melakukan pengujian kuat tekan beton, sedangkan Inggris menggunakan kubus dengan dimensi 100 mm, 150 mm, dan 200 mm.

Pengujian Workability

Selain kinerja kekuatan yang diharapkan memenuhi persyaratan, beton juga memiliki kinerja pelaksanaan/*workability* (kemudahan dikerjakan) yang harus dipenuhi. Saat ini terdapat beberapa jenis pengujian kinerja kelecakan beton segar, yang dipengaruhi oleh kental atau encernya suatu adukan beton. Suatu pengujian *workability* akan tepat untuk pengendalian kualitas beton segar dengan rentang kekentalan tertentu dimana pengujian *workability* yang lain akan kurang tepat untuk menggambarkan kondisi yang diharapkan.

Pengujian Slump Flow

Pada umumnya para pekerja beton melakukan suatu pengujian *slump* untuk menentukan bahwa suatu campuran beton segar layak atau tidak untuk ditempatkan (dicor). Pengujian Slump Flow digunakan untuk beton yang memiliki tingkat kekentalan yang sangat rendah (*flowing*). Apabila direncanakan penggunaan beton alir (*flowing concrete*) pada suatu pekerjaan, pengujian slump kurang tepat digunakan untuk menghasilkann gambaran tingkat *workability* dari beton tersebut, karena yang diukur adalah perbedaan tinggi

antara kerucut cetakan slump dengan beton setelah cetakan dilepas. Pengujian slump flow dinilai akan lebih tepat digunakan karena yang diukur adalah diameter beton yang terbentuk akibat pengaruh tingkat kekentalannya, serta waktu yang dibutuhkan untuk membentuk diameter tertentu, meskipun menggunakan jenis peralatan yang hampir setara.

Pengujian J - Ring

Pengujian ini mirip dengan pengujian slump flow dengan penambahan suatu jeruji (j-ring) yang dibuat sebagai hambatan pada saat beton mengalir ke segala arah, sesaat setelah cetakan kerucut Abrams diangkat. Perihal yang ingin digambarkan dengan pengujian ini salah satunya adalah segregasi/pemisahan yang mungkin terjadi antara agregat kasar dengan campuran beton yang lain, pada saat beton segar harus melewati sela-sela tulangan yang ada pada struktur beton bertulang yang dilaksanakan.

Pengujian L - Box

Pengujian ini dilaksanakan untuk melihat sejauh mana beton segar sanggup mengalir dan mengisi cetakan untuk mencapai ketinggian beton tertentu. Karakteristik dari pengujian L Box ini perlu diamati untuk menentukan apakah campuran beton yang



Gambar 9. Pengujian slump flow beton



Gambar 10. Pengujian slump flow beton (J Ring Test)



Gambar 11. Pengujian L Box

dibuat mampu mengisi bagian tertentu pada cetakan yang tidak memungkinkan pengisian dari bagian atasnya secara langsung. Pengujian ini juga sekaligus mengamati kinerja pengaliran beton berdasarkan campuran yang dibuat untuk melewati penampang tertentu pada cetakan untuk pekerjaan beton yang lebih spesifik.

Pengujian V Funnel

Pada beton kinerja tinggi, kinerja beton pada kondisi segar memegang peranan cukup penting dalam suksesnya suatu pekerjaan beton secara keseluruhan. Campuran beton yang memiliki kinerja pengaliran yang baik juga perlu diamati karakteristiknya akibat teknik pengecoran yang memiliki potensi menimbulkan segregasi pada campuran beton. Dalam pengujian ini campuran beton segar dimasukkan ke dalam mulut bagian atas dan menutup mulut keluar di corong Funnel bagian bawah. Kemudian tutup dibuka dan dihitung waktu yang diperlukan sampai lubang pada corong mulai terbuka akibat beton yang mengalir keluar. Kondisi beton juga dilihat secara visual terhadap kemung-

kinan terjadinya pemisahan antara agregat kasar dengan mortar dan pasta.

Pengujian Durability Beton

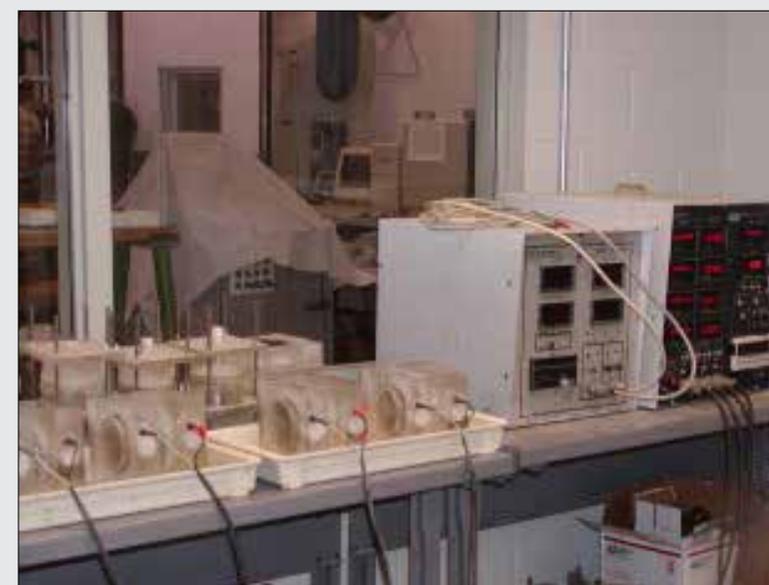
Keawetan beton (concrete durability) merupakan isu penting yang menjadikan beton sebagai material yang banyak digunakan. Keawetan pada saat ini juga ditinjau dari kondisi lingkungan dimana beton ditempatkan. Keawetan beton diukur berdasarkan kemampuan mempertahankan kinerja akibat pengaruh lingkungan selama jangka waktu tertentu, baik dari material beton itu sendiri maupun terhadap bentuk struktur yang lebih kompleks seperti beton bertulang. Kedapapan (impermeability) beton, stabilitas material terhadap serangan dari luar maupun dari dalam harus menjadi elemen penting dalam penentuan kinerja keawetan beton. Di bawah ini terdapat beberapa jenis pengujian yang umum digunakan untuk menggambarkan kemampuan beton mempertahankan kekuatannya, seperti pengujian permeabilitas beton, pengujian difusi klorida, pengujian susut serta pengujian rangkai dari beton keras. ■



Gambar 12. Pengujian V Funnel



Gambar 13. Pengujian permeabilitas beton keras



Gambar 14. Pengujian difusi klorida



Gambar 15. Pengujian susut beton keras



Gambar 16. Pengujian rangkai beton keras

Pustaka

- EFNARC. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, May 2005.
- SNI 03-2491-2002, METODE PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON, Badan Standardisasi Nasional, 2002.
- SNI 1974:2011, Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder yang dicetak, Badan Standardisasi Nasional, 2002.
- ASTM C596 - 09 Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement.
- Grace Construction Product, Understanding AASHTO T277 and ASTM C1202 Rapid Chloride Permeability Test, TECHNICAL BULLETIN TB- 0100.
- ASTM C1611 / C1611M - 09be1 Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.
- ASTM C512 / C512M - 10 Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression.

Bab 4

Pelaksanaan Beton Kinerja Tinggi

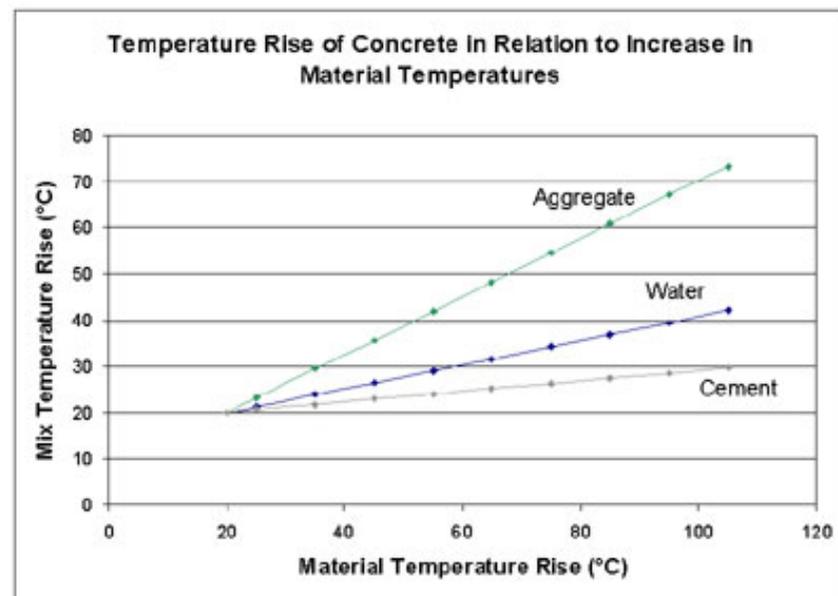
Penanganan dan Pengecoran

Ketika suhu beton segar mendekati sekitar 25 °C, kondisi lokasi yang buruk akan sangat mempengaruhi kualitas beton. Suhu ambien di atas 32 °C dan kurangnya lingkungan yang dilindungi untuk penempatan beton dan finishing (bangunan tertutup) dapat berkontribusi pada kesulitan dalam memproduksi beton yang memiliki kualitas baik.

Tindakan pencegahan yang diperlukan, untuk memastikan produk akhir berkualitas, akan bervariasi tergantung pada kondisi aktual selama penempatan beton dan aplikasi khusus untuk mana beton tersebut akan digunakan. Secara umum, jika temperatur pada saat penempatan beton akan melebihi 25 °C perencanaan yang cukup harus dikembangkan untuk menghilangkan efek yang kurang baik dari temperature lingkungan yang tinggi.

Tindakan pencegahan dapat mencakup beberapa atau semua hal berikut:

1. Melembabkan cetakan, tulangan baja, dan bentuk kerja sebelum penempatan beton.



(sumber : Portland Cement Association)

Gambar 17. Pengaruh temperature material terhadap temperature awal beton

2. Penghalang angin sementara untuk membatasi kecepatan angin dan penutup untuk mengurangi temperatur permukaan beton.
3. Menggunakan agregat dan air pencampur yang dingin, untuk digunakan dalam campuran beton untuk mengurangi suhu awal.
4. Menggunakan kekentalan beton yang memungkinkan penempatan yang cepat dan pemadatan yang mudah.
5. Melindungi permukaan beton selama penempatan dengan terpal plastik atau penunda penguapan untuk menjaga kelembaban awal dalam campuran beton.
6. Menyediakan tenaga kerja yang cukup untuk meminimalkan waktu yang dibutuhkan untuk menempatkan dan menyelesaikan beton, seperti kondisi cuaca panas untuk mengendalikan pengikatan awal dan akhir.
7. Pertimbangkan fogging daerah atas penempatan beton untuk meningkatkan kelembaban relatif dan memenuhi permintaan kelembaban udara ambien.
8. Menyediakan metode curing yang tepat sesegera mungkin setelah proses finishing beton telah selesai.
9. Dalam kondisi ekstrim mempertimbangkan atau menyesuaikan waktu penempatan beton untuk mengambil

keuntungan dari temperatur yang lebih dingin, seperti pagi atau malam.

Pentingnya pengendalian suhu beton dipahami dengan baik. Suhu mempengaruhi sifat beton segar dan beton keras serta potensi retak termal. Perhatian harus dilaksanakan kepada suhu batch dalam perkerasan cuaca panas dan dingin. Namun, sebagaimana dibuktikan oleh **Gambar 17**, efek relatif semen panas pada suhu batch diabaikan.

Waktu Pengikatan

Pengaruh suhu lingkungan yang tinggi dan suhu tinggi bahan komponen beton terhadap pengaturan waktu dari campuran beton adalah topik yang menjadi perhatian karena mengurangi waktu di mana beton harus ditempatkan, konsolidasi dan selesai, potensi peningkatan retak susut plastik, retak termal dan sendi dingin, pengurangan kekuatan potensial karena kebutuhan air tinggi dan suhu menyembuhkan tinggi, kesulitan dalam mengontrol kadar udara, dan meningkatkan urgensi untuk menerapkan metode curing yang tepat pada usia dini.

Sebagai aturan umum meningkat 11 ° C (20 ° F) akan mengurangi waktu pengaturan campuran beton sebanyak 50%. Sebagai contoh campuran beton yang

mencapai set terakhir dalam 3 jam pada 16 ° C (60 ° F) dapat mencapai set terakhir sebagai 1 kecil ½ jam pada 27 ° C (80 ° F). Sebagai suhu beton meningkatkan waktu pengaturan lebih jauh berkurang. Suhu sebenarnya dari campuran beton seperti disampaikan dipengaruhi oleh suhu bahan yang digunakan dalam campuran, kandungan semen campuran, suhu peralatan yang digunakan untuk batch dan mengangkat beton, dan suhu lingkungan dan kondisi di proyek situs. Aplikasi beton dapat dianggap beton cuaca panas pada suhu berkisar antara 25 ° C hingga 35 ° C (77 ° F hingga 95 ° F) tergantung pada aplikasi tertentu. Kewaspadaan harus direncanakan terlebih dahulu untuk melawan efek dari suhu tinggi baik sebelum eksekusi untuk melawan efek ini.

Kewaspadaan dapat mencakup penggunaan bahan dengan sejarah kinerja yang baik dalam kondisi suhu tinggi, bahan beton dingin atau campuran beton, memberikan konsistensi beton dan peralatan penempatan dan kru untuk penempatan yang cepat, mengurangi waktu transportasi, jadwal penempatan untuk membatasi paparan kondisi atmosfer (malam waktu penempatan atau cuaca yang lebih menguntungkan), berencana untuk membatasi hilangnya kelembaban yang cepat (matahari layar, layar angin, gerimis atau fogging), dan mempertimbangkan

penggunaan retarder penguapan. Jadwal-kan pertemuan preconstruction termasuk semua peserta untuk mendiskusikan rencana untuk mengontrol efek khusus untuk proyek dan kondisi yang diharapkan.

Perawatan Beton

Ketika ada kemungkinan suhu udara di bawah 35 ° F selama periode curing,

pelaksana harus menyerahkan rencana curing dan merinci metode dan peralatan yang akan digunakan untuk memastikan bahwa suhu beton yang diperlukan dipertahankan. Beton harus dipertahankan pada suhu tidak kurang dari 45 ° F selama enam hari pertama setelah penempatan-kecuali bahwa ketika pozzolans atau slag digunakan, periode ini adalah sebagai berikut:

Tabel 8 *Persentase SCM*

Percentage of Cement Replaced, by Weight,		Required Period of Controlled Temperature
With		
Pozzolans	Slag	
10%	25%	8 Days
11-15%	26-35%	9 Days
16-20%	36-50%	10 Days

Persyaratan di atas untuk jangka suhu terkontrol bisa dicabut jika kuat tekan 65 persen dari kekuatan desain ditentukan dicapai dalam 6 hari menggunakan situs-semboh silinder atau sistem pertandingan-curing atau metode jatuh tempo.

Ketika persentase penggantian semen lebih besar dari nilai-nilai yang tercantum di atas atau ketika kombinasi bahan yang digunakan sebagai pengganti semen, periode yang diperlukan suhu terkontrol harus paling sedikit 6 hari dan akan terus sampai kuat tekan 65 persen dari desain tertentu kekuatan dicapai dengan meng-

gunakan situs-semboh silinder atau sistem pertandingan-curing atau metode jatuh tempo.

Jika pemanasan eksternal digunakan, panas harus diterapkan dan ditarik secara bertahap dan seragam sehingga tidak ada bagian dari permukaan beton dipanaskan sampai lebih dari 90 ° F atau menyebabkan perubahan suhu lebih dari 20 ° F dalam 8 jam.

Ketika diminta oleh Direksi Pekerjaan, Kontraktor harus menyediakan dan memasang dua jenis termometer maksimum-minimum pada setiap struktur situs.

Termometer tersebut harus dipasang seperti yang diarahkan oleh Engineer sehingga untuk memantau suhu beton dan udara di sekitarnya selama periode penyembuhan.

Kunci sukses pengecoran beton kinerja tinggi adalah:

- (1) Pengidentifikasi faktor yang mempengaruhi beton, dan
- (2) Perencanaan untuk meminimalkan pengaruhnya.

Gunakan rekomendasi lokal terbukti untuk menyesuaikan proporsi beton, seperti penggunaan air mengurangi dan mengatur admixtures perlambatan. Memodifikasi campuran untuk mengurangi panas yang dihasilkan oleh hidrasi semen, seperti penggunaan semen Tipe panas ASTM II moderat dan penggunaan pozzolans dan terak dapat mengurangi potensi masalah dengan suhu beton tinggi. Muka waktu dan penjadwalan untuk menghindari keterlambatan dalam pengiriman, menempatkan dan finishing sangat penting. Truk harus

mampu untuk melepaskan segera dan personil yang memadai harus tersedia untuk menempatkan dan menangani beton. Bila mungkin, pengiriman harus dijadwalkan untuk menghindari bagian terpanas dari hari. Batas temperatur maksimum beton bisa dicabut oleh pembeli jika konsistensi beton memadai untuk penempatan dan penambahan air yang berlebihan tidak diperlukan.

Dalam kasus kondisi suhu ekstrim atau dengan beton massa, suhu beton dapat diturunkan dengan menggunakan air dingin atau es sebagai bagian dari air pencampuran. Para produsen beton siap dicampur menggunakan langkah-langkah lain, seperti penyiraman dan shading agregat sebelum pencampuran, untuk membantu menurunkan suhu beton.

Jika kelembaban rendah dan angin kencang diprediksi, penahan angin, tabir surya, kabut fogging, atau retardants penguapan mungkin diperlukan untuk menghindari penyusutan plastik retak pada lempengan. ■

Pustaka

- AASHTO LRFD Construction Specification 8.6.4.1 Protection During Cure. Portland Cement Association, Hot Weather Concreting, IS014.05, reprinted from Chapter 13 of Design and Control of Concrete Mixtures, EB001.14, Portland Cement Association, 2002.
- ACI Committee 305, Hot Weather Concreting, ACI 305-99, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999.
- Kosmatka, S. H. and Wilson, M. L., Design and Control of Concrete Mixtures, EB001.15, 15th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2011.
- Lerch, W., Hot Cement and Hot Weather Concrete Tests, IS015, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1955.
- Wilson M.L., and Thomas, M.D.A., Hot and Cold Weather Concreting, CD057, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2005.

Bab 5

Kesimpulan

Teknologi beton kinerja tinggi sudah banyak diaplikasikan dalam kegiatan konstruksi infrastruktur beton di Indonesia, seperti perkerasan kaku dan struktur jembatan.

Seperti beton konvensional, karakteristik beton kinerja tinggi sangat bergantung pada bahan-bahan pembentuknya dimana semen sebagai bahan pengikat menjadi bahan yang tidak dapat ditinggalkan.

Beberapa pedoman mengenai Beton Kinerja Tinggi telah diterbitkan di Indonesia yaitu 'Spesifikasi Campuran Beton Kinerja Tinggi dengan Abu terbang', yang mengatur persyaratan komposisi dan batasan kinerja, namun masih perlu disesuaikan kembali mengikuti perkembangan yang ada.

Pedoman yang mengatur jenis pengendalian mutu dan batasan kinerja dari beton kinerja tinggi masih belum tersedia.

Acknowledgements

This research project would not have been possible without the support of many people. The author wishes to express her gratitude to his supervisor, Prof. Lanneke Tristanto, Dr. John Dachtar, and Ir. Rahadi Sukirman who was abundantly helpful and offered invaluable assistance, support and guidance. Deepest gratitude are also due to the members of the supervisory committee, without whose knowledge and assistance this study would not have been successful. Special thanks also to all member of Asosiasi Semen Indonesia; especially for Ibu Vera from Indocement Tunggal Prakarsa for sharing the literature and resources. Not forgetting to his best friends who always been there. The author would also like to convey thanks to the Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan for providing the financial means and laboratory facilities. The author wishes to express her love and gratitude to her beloved families; for their understanding & endless love, through the duration of his studies.



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum
www.pusjatan.pu.go.id