

Fahrizal Zulkarnain, ST., M.Sc., Ph.D.

TEKNOLOGI BETON



PRAKATA

Judul; **Teknologi Beton**

Penulis

Fahrizal Zulkarnain,ST.,M.Sc.,Ph.D

Editor

Imelda Sulasmi

Muhammad Arifin

Desain Sampul

Rizki Yunida br panggabean

Cetakan Pertama, Februari 2021

xii, 122 hal : 15.5 × 23 cm

Penerbit



Jalan Kapten Muktar Basri No 3 Medan, 20238

Telepon, 061-6626296, Fax. 061-6638296

Email : umsupress@umsu.ac.id

Website : <http://umsupress.umsu.ac.id>

ISBN ; 978-623-6888-44-5

E-ISBN ;978-623-6888-45-2 (PDF)

Anggota

Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

Afiliasi Penerbit Perguruan Tinggi Muhammadiyah Aisyiyah (APPTIMA)

Afiliasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh buku ini dalam bentuk apa pun (seperti cetakan, fotocopi, microfilm, VCD, CD-ROM, dan rekaman suara) tanpa adanya izin dari penerbit.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kekuatan, ketekunan dan kesabaran sehingga buku yang sudah lama dipersiapkan akhirnya dapat diselesaikan.

Buku ini dipersiapkan terutama untuk mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, yang sedang mengambil mata kuliah Teknologi Beton, sebagai menjadi bahan bacaan, informasi dan tambahan literatur kepada mahasiswa mengenai teknologi yang ada pada beton secara umum, dan penggunaan beton dalam struktur bangunan yang sesuai di lapangan.

Materi dalam buku akan memberikan gambaran secara praktis kepada mahasiswa mengenai bahan dasar campuran beton, pengerjaan beton, bahan tambah, pengujian beton, dan kontrol kualitas serta pada tahap akhir mengenai perawatan dan perbaikan struktur beton.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunannya, sehingga kami sangat mengharapkan masukan demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini pada masa akan datang.

Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu proses penyelesaian buku Teknologi Beton, terutama bapak/ibu yang telah memberikan masukan terhadap penulisan agar lebih mudah difahami.

Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua,
khususnya untuk mahasiswa teknik sipil di Indonesia.

Medan, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA _____	iii
DAFTAR ISI _____	v
DAFTAR GAMBAR _____	ix
DAFTAR TABEL _____	xi
BAB 1 PENDAHULUAN _____	1
1.1 Deskripsi Beton _____	3
1.2 Presentase Komposisi _____	6
1.3 Kinerja Beton _____	8
1.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton _____	13
1.5 Problematika Beton _____	15
BAB 2 SEJARAH SEMEN DAN BETON _____	19
2.1 Sejarah Semen _____	19
2.2 Jenis Jenis Semen hidrolik _____	22
2.3 Sejarah Beton _____	22
2.4 Industri Semen dan Beton di Indonesia _____	25
BAB 3 SEMEN _____	27
3.1 Definisi Semen _____	27
3.2 Proses Pembuatan Semen _____	27
3.3 Jenis Semen <i>Portland</i> _____	29
BAB 4 AGREGAT _____	35
4.1 Karakteristik Agregat _____	36
4.2 Fungsi Agregat dan Peranan Agregat _____	41

4.3	Gradasi Agregat Halus dan Kasar _____	42	8.2	Pengujian Beton Segar _____	93
4.4	Berat Jenis dan Berat Volume Agregat _____	44	8.3	Pengujian Kekuatan Beton _____	94
4.5	Absorpsi dan Kadar Air _____	45	8.4	Metode Metode Penilaian Kekuatan Beton _	95
4.6	Kekuatan dan Kekerasan Agregat _____	47	8.5	Klasifikasi Pengujian Non-Destruktif _____	97
	BAB 5 AIR _____	49		BAB 9 KONTROL KUALITAS _____	99
5.1	Syarat Umum Air _____	49	9.1	Kontrol Produksi Beton _____	100
5.2	Peran Air _____	53	9.2	Faktor-Faktor yang Berkontribusi pada Variasi Kekuatan Beton _____	102
5.3	Sumber Sumber Air Untuk Beton _____	54	9.3	Tahapan Kontrol Kualitas _____	103
5.4	Pengaruh Kotoran _____	57		BAB 10 PERWATAN DAN PERBAIKAN _____	
5.5	Penilaian Waktu Pengikatan (<i>Setting Time</i>) dan Uji Kuat Tekan _____	58		STRUKTUR BETON _____	105
	BAB 6 BAHAN TAMBAH _____	61	10.1	Metode Pemeriksaan _____	107
6.1	Definisi Bahan Tambah _____	62	10.2	Kerusakan-Kerusakan pada Beton _____	108
6.2	Aspek Ekonomi Penggunaan Bahan Tambah _____	62	10.3	Perawatan dan Tindakan Perbaikan _____	109
6.3	Bahan Tambah Kimia _____	63		DAFTAR PUSTAKA _____	111
6.4	Bahan Tambah Mineral _____	69		INDEKS _____	117
6.5	Bahan Tambah Lainnya _____	69		GLOSARIUM _____	119
	BAB 7 Pengerjaan Beton _____	75		TENTANG PENULIS _____	121
7.1	Persiapan dan Penakaran _____	75			
7.2	Pengadukan atau Pencampuran Beton _____	77			
7.3	Pemadatan Beton _____	83			
7.4	Sifat-sifat Beton Segar _____	85			
	BAB 8 PENGUJIAN BETON _____	89			
8.1	Pengujian Material Beton _____	89			

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Definisi detail beton _____	4
Gambar 1.2.	Definisi beton secara umum _____	5
Gambar 1.3	Presentasi Komposisi Beton Gemuk (Rich Concrete) dan Beton Kurus (Lean Concrete) _____	7
Gambar 1.4	Presentase volume komposisi beton pada umumnya _____	8
Gambar 1.5	Proses keseragaman beton _____	10
Gambar 1.6	Persepsi dampak penggunaan material dalam membentuk kinerja beton _____	11
Gambar 1.7	Persepsi Dampak penggunaan _____	13
Gambar 2.1	Lantai Trapesium Di Lepenski Vir. ____	20
Gambar 2.2	Mural d Thebes Yang Menunjukkan Pembuatan Beton _____	22
Gambar 2.3	Persentase Negara produsen terhadap produksi semen dunia 2004. _____	23
Gambar 2.4	Distribusi produksi industry semen Indonesia tahun 2005 _____	26
Gambar 3.1	Proses pembuatan semen Portland ____	28
Gambar 4.1	Pengaruh agregat dengan faktor air semen pada Kekuatan tekan beton yang berumur 28 hari _____	39

DAFTAR TABEL

Gambar 4.2	Kondisi Kandungan Air Dalam Agregat, (A) Kering Udara, (B) Kering Udara, (C) Saturated Surface Dry, (D) Lembab _____	46
Gambar 7.1	Mesin aduk yang berputar vertical_____	81
Gambar 7.2	Mesin aduk yang berputar horizontal _	82
Gambar 7.3	Mesin aduk yang berputar miring _____	82
Gambar 7.4	Pengaruh rongga-rongga udara pada kekuatan tekan beton _____	83
Gambar 8.1	Mesin Pembagi untuk contoh uji kecil agregat halus _____	93

Tabel 3.1	Jenis-jenis semen <i>Portland</i> dengan sifat-sifatnya_____	31
Tabel 3.2	Kesepadanan Semen Menurut Standar BS dan ASTM _____	32
Tabel 4.1	Pengaruh sifat agregat pada sifat beton __	41
Tabel 4.2	Syarat Gradasi Agregat Sesuai ASTM C33	
Tabel 4.3-	Berat rata-rata beton segar_____	43
Tabel 5.1	Batas Maksimum Ion Klorida_____	49
Tabel 5.2	Ketentuan Minimum Untuk Beton Kedap Air_____	50
Tabel 5.3	Persyaratan Untuk Kondisi Lingkungan Khusus _____	50
Tabel 5.4	Persyaratan Untuk Beton Yang Berhubungan Dengan Air Yang Mengandung Sulfat __	52
Tabel 5.5	Unsur-unsur dalam Air Laut _____	57
Tabel 5.6	Batas Toleransi Kotoran Pada Air _____	58
Tabel 7.1	Waktu Pengadukan Minimal _____	80
Tabel 8.1	Beberapa Standar Pengujian Beton Segar Menurut ASTM_____	94
Tabel 8.2	Beberapa Standar Pengujian Beton Keras Menurut ASTM_____	95
Tabel 8.3	Kegunaan Berbagai Metode Pengujian	

BAB 1

PENDAHULUAN

	Non-Destruktif Menurut Bs 1881: Part 201: 1986 _____	98
Tabel 9.1	Keputusan Yang Disyaratkan Dan Dianjurkan Berdasarkan Kuat Rata-Rata Untuk Berbagai Benda Uji _____	101
Tabel 9.2	Keputusan Yang Disyaratkan Dan DiAnjurkan Untuk Penyesuaian Simpangan Baku Rencana S_r , Dan Hasil Uji Kubus S_1 , Untuk Berbagai Jumlah Benda Uji _____	102
Tabel 10.1	Kerusakan Dan Penyebab _____	108

Menurut SNI 03-2847-2002, beton merupakan bahan yang didapat dengan mencampurkan semen Portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Beton yang digunakan sebagai struktur dalam konstruksi teknik sipil, dapat di manfaatkan untuk banyak hal. Dalam teknik sipil struktur beton di gunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat atau pelat cangkang.

Dalam teknik sipil hidro, beton digunakan untuk bangunan air seperti bendung, bendungan, saluran, dan drainase perkotaan. Beton juga digunakan dalam teknik sipil transportasi untuk pekerjaan *rigid pavement* (lapis keras permukaan yang kaku), saluran samping, gorong gorong, dan lainnya. Jadi, beton beton hampir digunakan dalam semua aspek ilmu teknik sipil. Artinya, semua struktur dalam teknik sipil akan menggunakan beton, minimal dalam pekerjaan pondasi.

Struktur beton dapat didefinisikan sebagai bangunan beton yang terletak di atas tanah yang menggunakan tulangan atau tidak menggunakan tulangan (ACI 318-89, 1990:1-1).

Struktur beton sangat dipengaruhi oleh komposisi dan kualitas bahan bahan pencampur beton, yang di batasi oleh kemampuan daya tekan beton (*in a state of compression*) seperti

yang tercantum dalam perencanaannya. Hal tersebut bergantung juga pada kemampuan daya dukung tanah (*supported by soil*), kemampuan struktur yang lain atau kemampuan struktur atasnya (*vertical support*).

Ditinjau dari sudut estetika, beton hanya membutuhkan sedikit pemeliharaan. Selain itu, beton tahan terhadap serangan api. Sifat-sifat beton yang kurang disenangi adalah mengalami deformasi yang tergantung pada waktu dan disertai dengan penyusutan akibat mengeringnya beton serta gejala lain yang berhubungan dengan hal tersebut. Pengaruh keadaan lingkungan, rangkai, penyusutan, pembebanan yang mengakibatkan perubahan dimensi pada struktur beton dan elemen-elemennya harus mendapat perhatian yang cukup pada tahap perencanaan untuk mengatasi kesulitan yang akan terjadi.

Agar hasil akhir yang diperoleh memuaskan, dibutuhkan pengenalan yang mendalam mengenai sifat-sifat yang berkaitan dengan suatu bahan yakni bahan penyusun beton tersebut. Kinerja yang menjadi perhatian penting para perencana struktur ketika merencanakan struktur yang menggunakan beton ada dua: kekuatan tekan dan kemudahan pengerjaan.

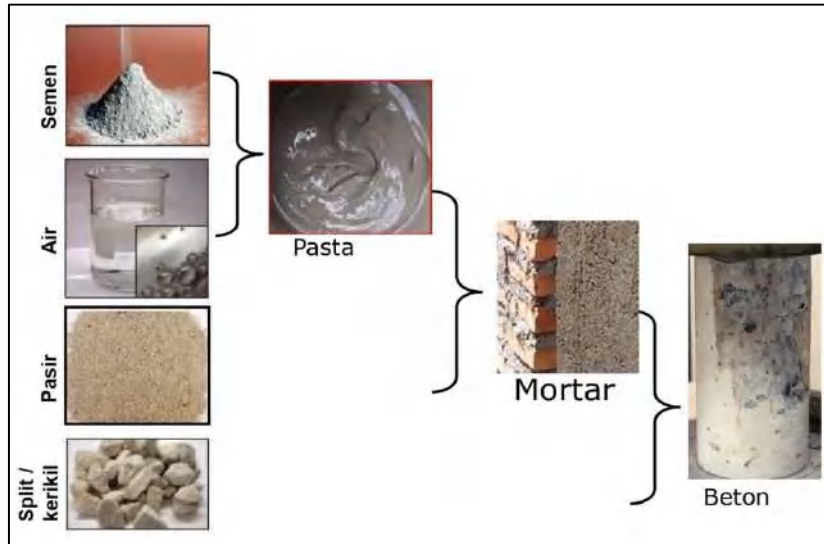
Penelitian yang dilakukan oleh peneliti beton terdahulu menghasilkan suatu kontradiksi. Untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan tinggi, penggunaan air atau faktor air terhadap semen haruslah kecil. Sayangnya, hal tersebut akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan. Dengan semakin majunya teknologi, hal itu tidak lagi menjadi masalah, telah ditemukan bahan tambah untuk beton.

1.1 Deskripsi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*Portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan penyusun beton) kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen.

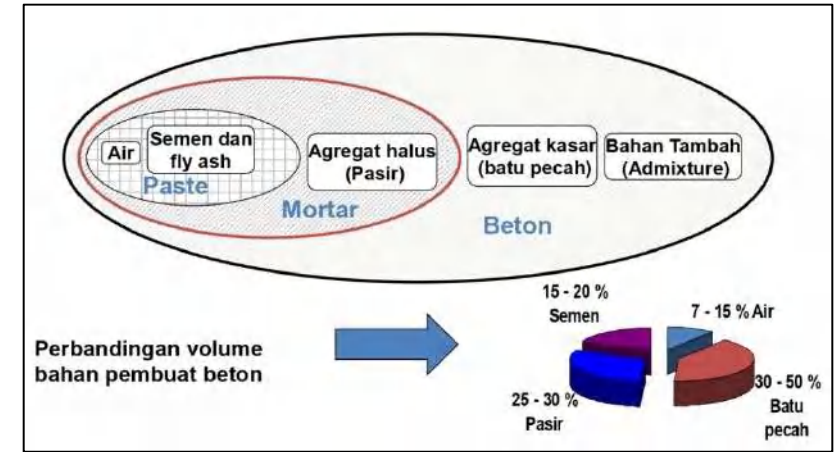
Nawy (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Perencana (*engineer*) dapat mengembangkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan *service ability* yang dapat diartikan juga sebagai pelayanan yang handal dengan memenuhi kriteria ekonomi.

Beton adalah hasil teknologi yang sederhana dan pengetahuan sangat kompleks: Dua hal ini pada waktu yang sama akan menyebabkan beton menjadi sempurna dan bisa juga sebaliknya dimana tergantung keahlian penguasaan pengetahuan yang kompleks tersebut (Bayuaji, 2017).



Gambar 1.1. Definisi detail beton (Bayuaji, 2017).

Dalam campuran beton agregat akan mengisi sehingga 75% dari total volume beton, sehingga sangat berpengaruh kepada kualitas beton. Selain itu dari segi ekonomi agregat relative murah sebagai salah satu bahan utama campuran beton (Bayuaji, 2017).



Gambar 1.2. Definisi beton secara umum (Bayuaji, 2017).

Dalam usaha untuk memahami karakteristik bahan penyusun campuran beton sebagai dasar perancangan beton, Departemen Pekerjaan Umum melalui LPMB banyak mempublikasikan standar standar yang berlaku. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen *Portland* atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat (SK.SNI T-15-1990-03:1).

Masalah yang dihadapi oleh seorang perencana adalah bagaimana merencanakan komposisi dari bahan penyusun beton tersebut agar dapat memenuhi spesifikasi teknik yang ditentukan atau sesuai dengan spesifikasi teknik dalam kontrak atau permintaan pemilik.

Parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah: a). kualitas semen, b). proporsi semen terhadap campuran, c). kekuatan dan kebersihan agregat, d). interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat, e). pencampuran yang cukup dari bahan pembentuk beton,

f). penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton, g). perawatan beton, dan h). Kandungan klorida tidak melebihi 0.15% dalam beton yang dieskpos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985).

Di samping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksana pekerjaan beton langsung, seperti disebutkan oleh N. Jackson: "The quality of the concrete in the structure depends on the *woekmanship on site* " (Jackson, 1977) serta L.J. Murdock dan K.M. Brock yang mengatakan "Kecakapan tenaga kerja adalah salah satu faktor penting dalam produksi suatu bangunan yang bermutu, dan kunci keberhasilan untuk mendapatkan tenaga kerja yang cakap adalah pengetahuan dan daya tarik pada pekerjaan yang sedang dikerjakan" (Murdock,1991).

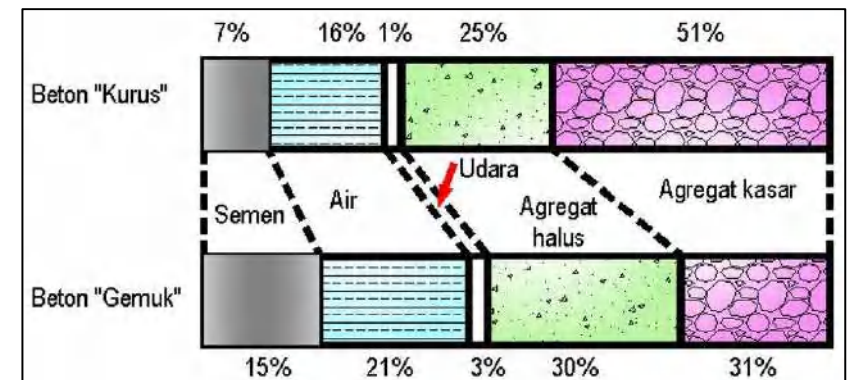
1.2 Presentase Komposisi

Pada beton yang baik, setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar. Demikian pula hal lainnya dengan ruang antaragregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlahnya hanya 7-15% dari campuran (Gambar 1.3). Beton dengan jumlah semen yang sedikit (sampai 7%) disebut beton kurus (*lean concrete*), sedangkan beton dengan jumlah semen yang banyak (sampai 15%) disebut beton gemuk (*rich concrete*).

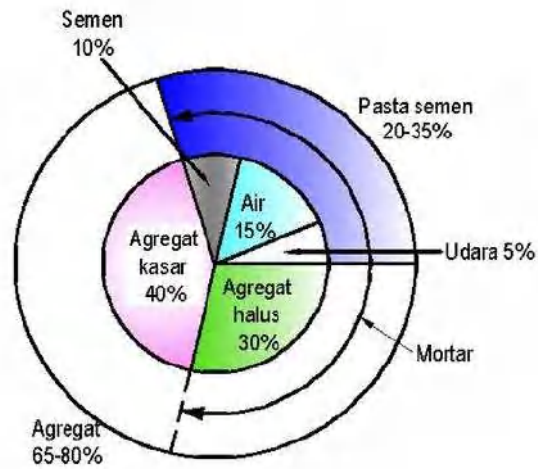
Sifat masing masing bahan juga berbeda dalam hal perilaku beton segar maupun pada saat sudah mengeras, selain faktor biaya yang perlu diperhatikan. Di lain pihak, secara

volumetric beton diisi oleh agregat sebanyak 61-76 % (Gambar 1.4). Jadi agregat juga mempunyai peran yang sama pentingnya sebagai material pengisi beton.

Sebagai materi komposit, keberhasilan penggunaan beton tergantung pada perencanaan yang baik, pemilihan dan pengadaan pada masing masing material yang baik, proses penanganan dan proses produksinya.



Gambar 1.3 Presentasi Komposisi Beton Gemuk (Rich Concrete) dan Beton Kurus (Lean Concrete) (Ardiansyah, 2021)



Gambar 1.4 Presentase volume komposisi beton pada umumnya
(Ardiansyah, 2021)

1.3 Kinerja Beton

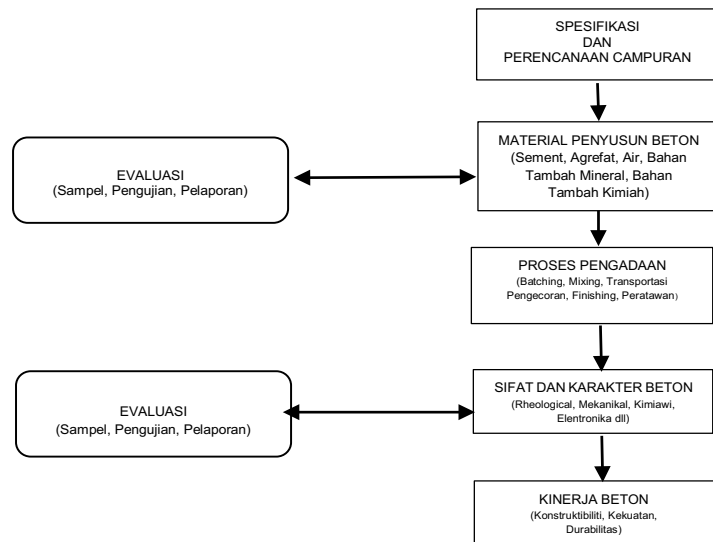
Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Selain karena kemudahan dalam mendapatkan material penyusunnya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah penyediaan lapangan kerja. Selain dua kinerja utama yang telah disebutkan diatas, yaitu kekuatan tekan yang tinggi dan kemudahan pengerjaannya, kelangsungan proses pengadaan beton pada proses produksinya juga menjadi salah satu hal yang dipertimbangkan.

Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja beton ini harus disesuaikan dengan katagori bangunan yang dibuat. ASTM membagi bangunan menjad tiga kategori yaitu: rumah

tinggal, perumahan, dan struktur yang menggunakan beton mutu tinggi.

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa boleh menggunakan campuran 1 semen: 2 pasir: 3 batu pecah dengan *slump* untuk mengukur kemudahan pengerjaannya tidak lebih dari 100 mm. Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penakaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan lebih besar dari 20 MPa harus menggunakan campuran berat.

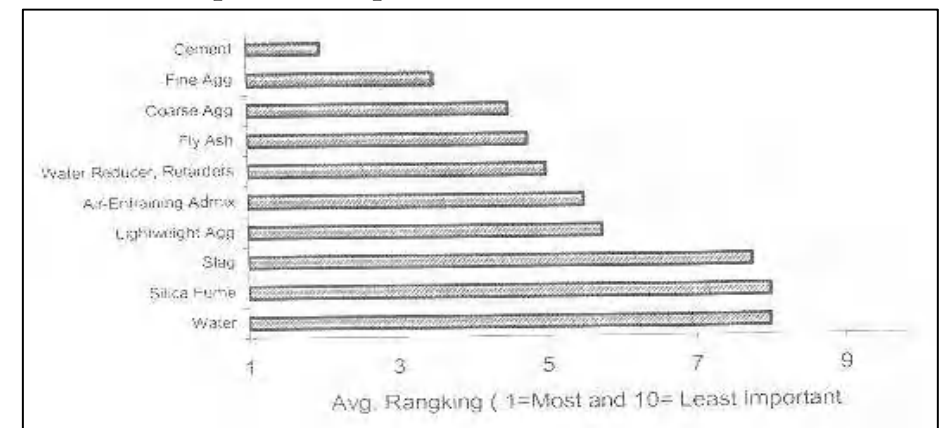
Tiga kinerja yang dibutuhkan dalam pembuatan beton adalah (STP 169C, *Concrete and concret-making materials*): 1). Memenuhi kriteria konstruksi yaitu dapat dengan mudah dikerjakan dan dibentuk serta mempunyai nilai ekonomis. 2). Kekuatan tekan dan 3). Durabilitas atau keawetan.



Gambar 1.5 Proses keseragaman beton (Sumber: STP 169C, *Concrete and Concrete-Making Materials*, p.32)

Kinerja yang dihasilkan pada proses pengadaan beton haruslah seragam. Secara umum, prosedur untuk mendapatkan kinerja yang seragam dalam pengerjaan beton dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 1.5 (Fiorato., Anthony E, 1994). Survei yang dilakukan ASTM mengenai pengaruh bahan bahan yang digunakan terhadap kinerja beton dilakukan pada 27 responden. Kriteria penilaian variable menggunakan skala 1 – 10, dimana 10 merupakan pengaruh tertinggi terhadap kinerja yang dihasilkan (Gambar 1.6). Penilaian ini didasarkan pada pentingnya penggunaan bahan tersebut untuk menghasilkan kinerja tertentu dalam beton yang dibuat.

Secara praktis, penilaian mengenai penggunaan bahan untuk menghasilkan kinerja tertentu akan bergantung pada tujuan beton tersebut dalam beton yang dibuat. Penggunaan semen untuk rumah tinggal akan lebih banyak jika dibandingkan untuk penggunaan perumahan komersil atau beton mutu tinggi. Jadi, komposisi bahan penyusun juga harus dilihat berdasarkan tujuan pembuatan beton tersebut. Berdasarkan kategori rumah tinggal, perumahan dan beton mutu tinggi, dampak pengaruh bahan terhadap kinerja yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6 Persepsi dampak penggunaan material dalam membentuk kinerja beton (Sumber: STP 169C, *Concrete and Concrete-Making Materials*, p.32)

Gambar 1.6 menjelaskan bahwa penggunaan semen pada campuran beton sangatlah penting. Penggunaan air tidak begitu berpengaruh terhadap pembentukan kinerja beton seperti yang juga di jelaskan oleh Abrams (1920) yang meneliti pengaruh air dalam perbandingannya dengan semen (FAS/WCR). Abrams hanya menyatakan bahwa jika FAS atau *water content ratio* lebih besar dari 0.6 maka kinerja kekuatan beton akan semakin turun, begitu juga sebaliknya. Namun demikian, mengingat mahalnya

harga semen, maka untuk pekerjaan berskala besar, penggunaan semen ini pun harus diusahakan seminimal mungkin. Hal ini mendorong penggunaan bahan pengganti semen.

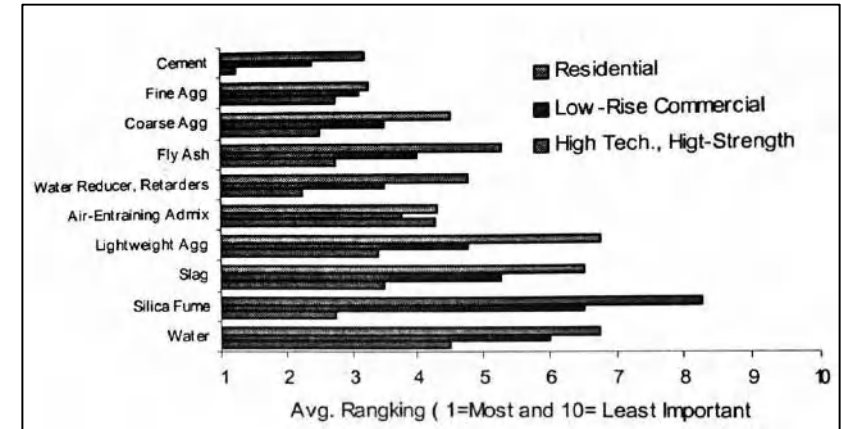
Penggunaan semen untuk pembangunan rumah tinggal lebih banyak dan lebih penting karena pembuatan rumah tinggal cenderung tidak menggunakan perencanaan sederhana (Gambar 1.7). Hal ini berbeda dengan penggunaan semen untuk kebutuhan beton berkekuatan tinggi di mana penggunaan semen lebih sedikit. Karena biaya semen besar, maka untuk mengurangi ongkos produksi penggunaan semen diusahakan seminimal mungkin.

Menurut (Bayuaji, 2017), ada empat sifat utama yaitu:

- *Workability*/Keleccakan atau kemudahan untuk mengerjakan beton
- *Cohesiveness*/Seberapa baik campuran beton itu menyatu dalam kondisi plastis
- *Strength*/Kekuatan Tekan
- *Durability*/Keawetan

Beton mengalami tiga kondisi yang berbeda:

- *Plastis*/beton segar)
- *Setting*/saat pengikatan
- *Hardening*/saat pengerasan



Gambar 1.7 Persepsi Dampak penggunaan
(Sumber: STP 169C, Concrete and Concrete-Making Materials)

1.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semat mata untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika pengolahan akhir dilakukan dengan cara khusus, umpamanya diekspose agregatnya atau agregat yang mempunyai bentuk yang bertekstur seni tinggi diletakkan di luar, sehingga nampak jelas pada permukaan betonnya. Selain tahan terhadap serangan api beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah:

- a. Kelebihan
 1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi

2. Mampu memikul beban yang berat
 3. Tahan terhadap temperature yang tinggi
 4. Biaya pemeliharaan yang kecil.
- b. Kekurangan
1. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
 2. Pelaksaaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
 3. Berat
 4. Daya pantul suara yang besar

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal/kecuali semen *Portland* atau bahan tambah kimia, sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun, pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

Nilai kuat tekan beton dengan kuat tariknya tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai oleh peningkatan yang kecil dari kuat tariknya. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tarik berkisar antara 9%-15% kuat tekannya. Nilai pastinya sulit diukur. Pendekatan hitungan biasanya dilakukan dengan menggunakan *modulus of rapture*, yaitu tegangan tarik beton yang muncul pada saat pengujian tekan beton normal (*normal concrete*).

Kecilnya kuat tarik beton ini merupakan salah satu kelemahan dari beton biasa. Untuk mengatasinya, beton dikombinasikan dengan tulangan beton di mana baja bias dikombinasikan sebagai tulangannya. Alasan penggunaan baja sebagai tulangan beton adalah koefisien baja hamper sama dengan koefisien beton. Beton tersebut didefinisikan sebagai

beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah yang tidak kurang dari jumlah minimum yang disyaratkan dalam pedoman perencanaan, dengan atau tanpa pratekan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja samadalam menahan gaya yang bekerja (SKBI.1.4.53 1989:4).

Beton dapat juga dicampur dengan bahan lain seperti *composite* atau dengan bahan lain sesuai dengan perilaku yang akan diberikan terhadap beton tersebut, misalnya beton pratekan atau pra-tegang (*pre-stressing*), beton pra-cetal (*pre-cast*). Beton juga dapat digunakan untuk struktur yang memerlukan bahan struktur yang ringan, misalnya beton ringan structural (SKBI.1.4.53,1989) yaitu beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai massa kering udara yang sesuai dengan syaratseperti yang ditentukan oleh "*Testing Method for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete*" (ASTM C-567). Beratnya tidak lebih dari 1900 kg/m³.

1.5 PROBLEMATIKA BETON

Bila dilihat secara sepintas, beton tampaknya sederhana. Namun kalau diamati dengan lebih seksama, beton sebagai material komposit mempunyai banyak permasalahan. Bayangkan kita ingin mengaduk sesuatu campuran yang beragam seperti dawet atau cendol, padahal menginginkan semua bahan tercampur merata dengan baik.

Campuran beton tersebut tidak bisa langsung menjadi benda kaku/set, tapi proses reaksi hidrasi air dengan semen memakan waktu. Masing masing unsur beratnya tidak sama sehingga yang berat seperti agregat cenderung bergerak ke

bawah sedangkan yang ringan seperti air cenderung naik ke atas.

Masing-masing unsur sendiri adalah benda yang kompleks. Semen, misalnya, terdiri dari banyak unsur. Demikian pula dengan agregat. Ukuran, bentuk kualitas permukaan, berat jenisnya juga berbeda-beda. Jadi beton dapat dianggap sebagai materi komposit dari komposit. Sifat beton segar sebelum dipadatkan seperti material berbutir/granular, sedangkan setelah menjadi massa yang padat masih mungkin terjadi deformasi plastis.

Sifat beton keras juga unik sebab di satu pihak bersifat elastis tetapi di pihak lain non-elastis. Karena pengikatnya semen hidraulis, reaksi semen dengan air sering mengakibatkan sut selama pengeringan, sehingga beton penuh dengan cacat seperti retak-retak rambut, bahkan sebelum menerima beban. Proses perawatan atau curing seteah beton dipadatkan perlu diperhatikan juga agar beton dapat mencapai kekuatan maksimalnya.

Meskipun beton dibuat dengan proporsi yang sudah tertentu, bisa terjadi variasi dari satu takaran ke takaran yang lain. Variasi bisa terjadi pada masing-masing bahan yang masuk ke dalam pengaduk, khususnya agregat.

Variasi bisa juga terjadi pada proses, mulai dari penakaran, pengadukan, penuangan, pemadatan maupun perawatannya. Variasi juga bisa terjadi akibat pengambilan dan pengujian contoh benda uji. Variasi bisa berfluktuasi sampai 15% di lapangan.

Jadi dengan demikian apakah beton adalah material bangunan yang lebih sulit bila dibanding dengan material yang lain? Jawabannya adalah ya dan tidak. Ya, bila melihat

permasalahan di atas. Tidak, bila sudah mempunyai pengetahuan dan keterampilan yang memadai untuk menghasilkan beton yang berkualitas baik sesuai rencana, konsisten dan seragam, yang juga ekonomis.

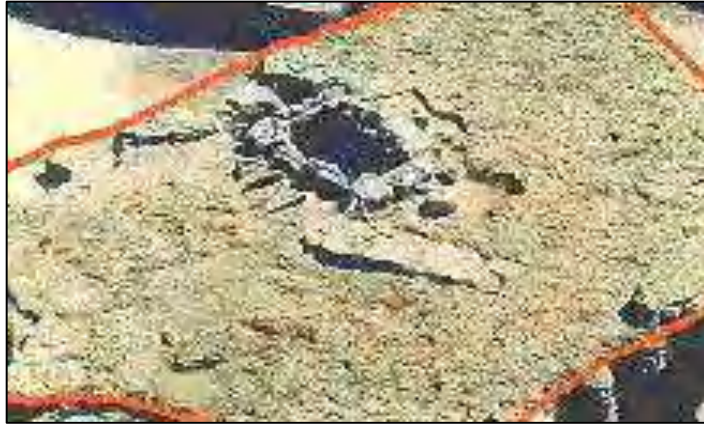
BAB 2

SEJARAH SEMEN DAN BETON

2.1 Sejarah Semen

Sejak peradaban membangun dimulai, manusia mencari sejenis semen untuk mengikat batu-batuan menjadi massa yang terbentuk dan utuh. Belum diketahui siapa yang berusaha membuat beton untuk pertama kalinya. Namun yang jelas, baik semen maupun beton, sebagaimana pula umumnya banyak bahan bangunan yang lain, bukanlah penemuan yang secara tiba-tiba muncul begitu saja, tapi berkembang secara berangsur dari berbagai upaya *trial & error* selama beberapa abad.

Bangunan beton tertua yang ditemukan adalah dari tahun 6500 Sebelum Masehi di tepian Sungai Danube di Lepenski Vir, di mantan negara Yugoslavia (Gambar 2.1). Lantai yang berbentuk trapesium tebalnya 25 cm, dibuat dari campuran kapur merah/diangkut hampir hampir 200 mil ke hulu, pasir dan kerikil, lalu ditambahkan air. Beton tersebut kemudian dituang dan dipadatkan membentuk lantai. Lantai ini menjadi dasar untuk gubuk dari sebuah desa para pemburu dan pengail dari jaman batu.



Gambar 2.1 Lantai Trapesium Di Lepenski Vir.
(Prabowo, 2010)

Ada catatan bahwa bangsa Assyria dan Babilonia kuno telah menggunakan tanah liat sebagai semen pengikat. Bahkan ada kemungkinan bahwa api ditemukan untuk tujuan mengubah batu kapur menjadi gamping, yang memanaskan waktu dicampur dengan air, dan secara lambat menjadi kaku. Dari sudut pandang yang lain. Beton dapat dikatakan sebagai material yang komposit. Pengetahuan tentang material komposit ini tampaknya sudah lama Yang tertua yang tercatat adalah kombinasi tanah liat dan jerami, yaitu seperti yang disebutkan pada Kitab Keluaran (*Exodus*) pada jaman Nabi Musa:

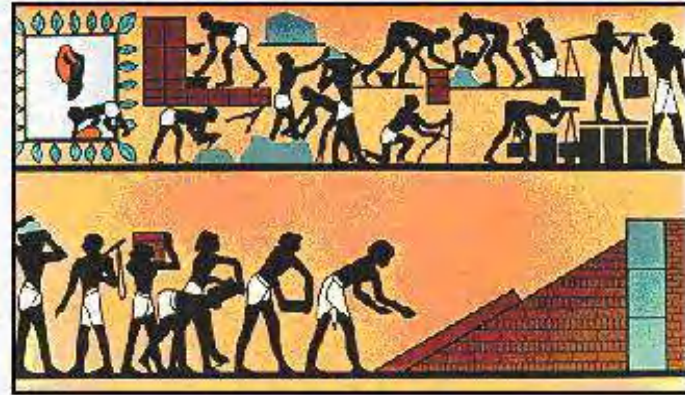
"Pada hari itu Firaun memerintahkan... kepada mandor-mandor... memberikan jerami ... untuk membuat batu bata.... " (Kel 5:7)

Sekitar tahun 3000 SM tersebut, orang Mesir kuno menggunakan tanah liat yang dikombinasikan dengan jerami

untuk mengikat batu bata yang dikeringkan, dan membuahkan piramida-piramida Ranmeses yang terkenal. Mereka juga memakai kapur sebagai semen pengikat pada bangunan piramida di Giza. Beberapa peneliti mengatakannya sebagai beton kapur, sedangkan penulis lain mengatakan perekatnya dibentuk dari gamping/gypsum, kapur yang dibakar. Pada masa yang sama, bahan perekat digunakan untuk mengikat bambu pada perahu dan Tembok Besar di Tiongkok Daratan.

Dalam perkembangan material bangunan, bukan-lah batu bata maupun pasta bata maupun pasta semen yang menjadi material ampuh. Batu sifatnya keras tetapi terlalu getas, sedangkan semen cenderung retak pada waktu mengering. Namun bila kedua bahan itu dikombinasikan menjadi beton maka jadilah material yang mungkin paling andal yang pernah kita kenal.

Ilustrasi proses pengecoran beton yang paling dini terdapat pada mural di Thebes, dari tahun 1950 SM (Gambar 2.2). Gambar bagian atas memperlihatkan para pekerja yang sedang mengisi gentong dengan air, yang kemudian diaduk dengan kapur dan dipakai sebagai mortar untuk pasangan batu. Pada gambar bagian bawah tampak dinding beton sedang dibangun. Mengingat bahwa pada jaman itu belum ada alat-alat besar seperti crane dan bulldozer, timbul banyak pertanyaan tentang bagaimana cara mereka membangun piramida tersebut. Bahkan ada yang berhipotesis bahwa piramida dibuat bukan dari batuan yang ditumpuk, tetapi dari beton yang dicor di tempat (*in-situ*) secara monolit.



Gambar 2.2 Mural di Thebes Yang Menunjukkan Pembuatan Beton
(Prabowo, 2010)

2.2 Jenis Jenis Semen hidrolik

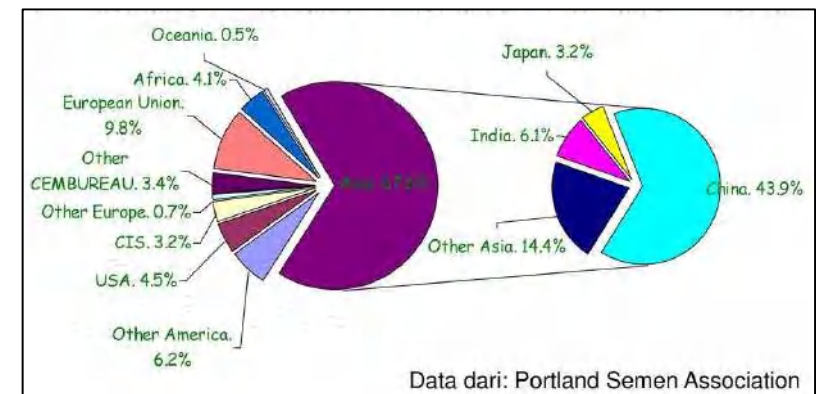
Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen pozollan, semen terak, semen alam, semen *Portland*, semen portland-pozollan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen ekspansif. Contoh lainnya adalah semen Portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus.

2.3 Sejarah Beton

Beton adalah bahan bangunan yang paling luas dipakai di dunia. Produksi beton secara global setahunnya berkisar antara 4 milyar meter kubik, atau kalau dikonversi akan menjadi sekitar 1.25 miliar ton semen setahunnya. Daya tarik beton yang sedemikian besar bukanlah suatu kebetulan. Bahan yang berwarna kelabu seperti batu tersebut diproduksi dari sumber daya alam yang paling berlimpah. Demikian pula dengan semen.

Menurut data dari *Portland Cement Association*, negara produsen semen terbesar di dunia saat ini adalah Cina, disusul oleh Jepang dan Amerika Serikat. Sebagai gambaran, industri semen di Amerika Serikat termasuk komponen yang relative kecil tetapi signifikan dalam ekonomi Amerika. Dengan omset senilai US\$ 4.2 miliar setahun, seluruh industri semen Amerika bisa menduduki posisi ke 120 dalam ranking majalah Fortune Top 500, jika dilihat sebagai satu perusahaan.

Industri semen secara alamiah bersifat regional. Ini disebabkan semakin naiknya biaya transportasi yang mengalahkan nilai produksinya sehingga pemakai umumnya membeli dari sumber lokal. Terdapat 50 perusahaan di Amerika yang mengoperasikan 118 pabrik di 38 negara bagian, Mayoritas semen yang diproduksi dikirim kurang dari 100 km. Sekitar 89% dikirim ke pelanggan dengan truk dan kereta. Sekitar 65% produksi dikuasai oleh perusahaan asing, antara lain oleh negara-negara Eropa, Jepang dan Korea Selatan.



Gambar 2.3 Persentase Negara produsen terhadap produksi semen dunia 2004.
(Ardiansyah, 2021)

Nasib semen, seperti juga bahan bangunan yang lain, sangat tergantung pada industri konstruksi. Pada tahun 1995, misalnya, konsumsi semen Amerika Serikat mencapai rekor 86 juta ton, sedangkan produksi domestik mencapai 75,3 Juta ton. Lebih dari separuh (55,5%) darinya dikirim ke perusahaan beton siap pakai (*ready-mix*). Sebelas persen lainnya dikirim ke manufaktur produk beton, 6% ke kontraktor, dan 4,7% ke pemasok bahan bangunan. Kekurangan semen tersebut diisi dengan mengimpor 13,8 juta ton semen dan kiinker semen. Inport semen tersebut terutama didatangkan dari Kanada, Spanyol, Venezuela dan Yunani. Konsumsi semen mereka melonjak 8.7% di bidang konstruksi non perumahan di tahun 1995 itu. Ini antara lain disebabkan oleh berkembangnya kota-kota ukuran menengah seperti Las Vegas, Nashville, dan Charlotte di Caroline Utara.

Masalah lain yang dihadapi adalah bahwa bisnis semen mereka bersilat sangat musiman. Hampir dua pertiga konsumsi mereka terjadi antara bulan Mei dan Oktober. Karenanya, produsen semen membangun persediaan mereka selama musim dingin dan mengirimkannya pada musim panas.

Dalam 20 tahun terakhir, jumlah tenaga kerja di industri semen Amerika merosot drastis. Pada tahun 1995 terdapat 17.800 orang buruh. Hanya sekitar 57% dari jumlah pekerja pada tahun 1975. Penurunan ini disebabkan terutama oleh naiknya efisiensi dengan otomatisasi produksi. Dan ditutupnya kiln-kiln berukuran kecil. Kiln yang aktif sekarang memproduksi rata-rata 364 ribu ton per tahun, dibandingkan 20 tahun lalu yang rata-rata 173 ribu ton per tahun. Efisiensi industri semen juga terangkat naik dengan terkonsentrasinya investasi modal baru pada pabrik yang menggunakan proses kering, dan

menghentikan operasi proses basah yang banyak memakan energi. Sekarang ini sekitar 7 semen di Amerika diproduksi menggunakan teknologi proses kering.

Manufaktur semen adalah industri yang sangat padat modal. Biaya pembangunan pabrik semen modern sekitar \$175 per ton kapasitas setahunnya modal, atau sekitar \$150 juta untuk pabrik dengan kapasitas 840 ribu ton setahun. Para ahli ekonomi memperkirakan bahwa diperlukan sekitar 3-dollar dari investasi untuk memproduksi satu dollar penjualan setahunnya.

2.4 Industri Semen dan Beton di Indonesia

Dengan diresmikannya tiga pabrik semen baru oleh Presiden Suharto awal April 1997, kapasitas produksi Indonesia menjadi 31,9 juta ton untuk tahun 1997. Total produksi semen nasional 32.8 juta ton, menurut data *Indonesian Cement Industry*. Sementara kebutuhan semen diperkirakan sekitar 29 juta ton. Konsumsi terbesar berturut-turut diambil oleh Propinsi Jawa Barat, DKI dan Jawa Timur, menurut data dari Asosiasi Semen Indonesia.

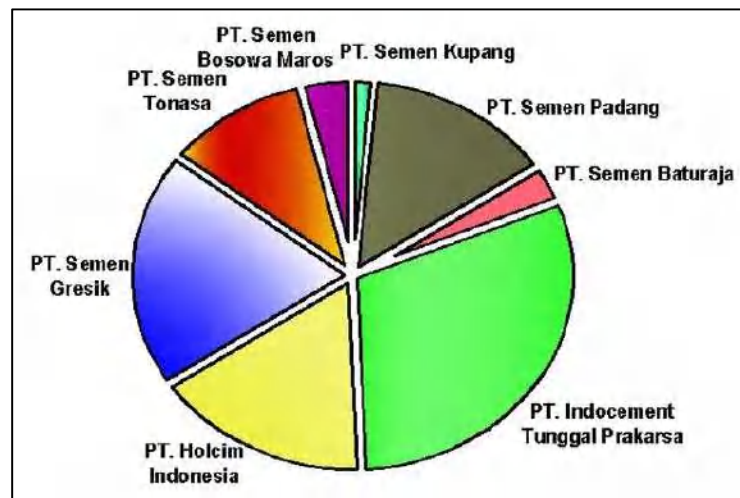
Sektor konstruksi mencapai pertumbuhan tercepat. 12%, selama Pelita Kelima (1989-1994). menurun sedikit di Pelita Keenam (1994-1999) menjadi 8 per tahun, nomor dua setelah manufaktur non-minyak yang 10.3% per tahun pengembangan infrastruktur tampaknya menjadi prioritas utama dalam Pelita Keenam.

Direncanakan Rp. 115 triliun selama 5 tahun untuk membangun jalan tol maupun jalan umum, jembatan, bandar laut dan udara. Perusahaan semen Indonesia juga bersaing

dalam pasar ekspor regional. Dari pengalaman, telah tersedia market di Singapura, Bangladesh, Vietnam dan Myanmar.

Pabrik Semen Cibinong, misalnya, mempunyai dua fasilitas produksi. Satu di Narogong, 45 km selatan kota Jakarta, dan yang lain di Cilacap, Jawa Tengah Pabrik di Narogong memakai proses kering, mempunyai kapasitas produksi 3 juta ton semen per tahun. Pabrik di Cilacap Juga memakai proses kering, dengan kapasitas 1,5 juta ton per tahun. Pasar utama Narogong adalah kota Jakarta dan Jawa Barat, terutama digunakan untuk proyek konstruksi sektor publik maupun oleh kontraktor kecil dan pembangunan rumah secara individu.

Total penjualan tahun 1995 sebanyak 2,6 juta ton, merupakan 24% market share dari konsumsi Jakarta dan Jawa Barat yang sebesar 10,2 juta ton. Pabrik di Cilacap melakukan penjualan sebanyak 1,25 juta ton pada tahun 1995, yang merupakan 42% market share dari konsumsi semen di Jawa Tengah.



Gambar 2.4 Distribusi produksi industry semen Indonesia tahun 2005

(Ardiansyah, 2021)

BAB 3 SEMEN

3.1 Definisi Semen

Beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu semen, agregat dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air.

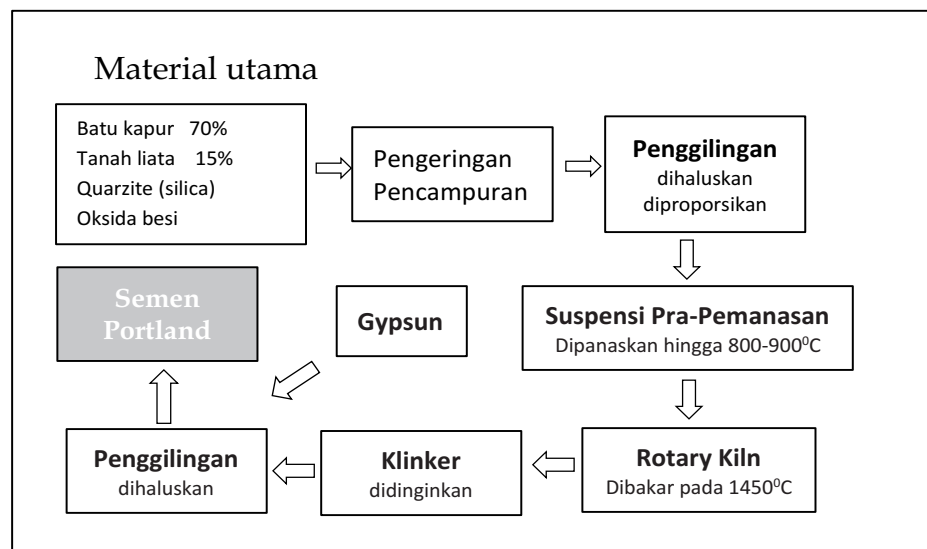
Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% 2%, pasta sermen atau semen dan air sekitar 25% 40%, dan agregat atau agregat halus dan agregat kasar sekitar 60%-75%.

3.2 Proses Pembuatan Semen

Proses pembuatan semen ditunjukkan pada gambar 3.1. Secara lebih detail, proses pembuatannya meliputi: Bahan mentah dari *quarry* dihaluskan hingga dapat diaduk dengan

rata. Gunungan batu dimasukkan ke dalam crusher yang mampu menangani bongkahan sebesar drum minyak.

Penggilingan pertama mengecilkan batu hingga menjadi sebesar 15 cm. Batu kemudian masuk ke dalam crusher kedua atau hammer mill untuk dikecilkan menjadi ukuran sekitar 7,5 cm. Bahan mentah dicampur sehingga menghasilkan bahan mentah yang seragam komposisi kimianya, mengandung kalsium karbonat, silika, alumina, oksida besi dan komponen lain menurut proporsi. Pencampuran dapat dilakukan pada waktu penghalusan ataupun lewat proses tersendiri, tergantung jenis proses produksi yang dipakai.



Gambar 3.1 Proses pembuatan semen Portland (Nugraha & Antoni, 2004).

Bahan mentah dimasukkan ke dalam kiln dan dipanaskan hingga semua kelengasan keluar sebagai uap air.

Balau kering dipanaskan sampai temperatur dekarbonasi atau pelepasan gas CO dari material dan kalsinasi pemanasan

untuk mengoksidasi material sebelum temperatur leleh, sekitar 800°C Kalsium karbonat terurai menjadi kalsium oksida dan CO, yang keluar sebagai gas.

3.3 Jenis Semen Portland

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, 1985, semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SILOO13-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB.1989:3.2-8).

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (concrete).

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Pemilihan tipe semen ini kelihatannya mudah dilakukan karena semen dapat langsung diambil dari sumbernya atau pabrik. Hal itu hanya benar jika standar deviasi yang ditemui kecil, sehingga semen yang berasal beberapa

sumber langsung dapat digunakan. Akan tetapi, jika standar deviasi hasil uji kekuatan semen besar, hal tersebut akan menjadi masalah. Saat ini banyak tipe semen yang ada di pasaran sehingga hal tersebut akan menjadi kemungkinan variasi kekuatan semennya pun besar (ACI 318-89:2-1).

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara hingga butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya dalam sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka beton hanya peranan semen menjadi penting.

Melihat sifat yang berbeda dari masing-masing komponen ini kita dapat kita dapat membuat bermacam jenis semen hanya dengan mengubah kadar yang masing-masing komponennya. Misalnya kita ingin mendapatkan semen ash yang kadar CS dan kadar kekuatan awal yang tinggi maka kita perlu menambah Testing Material mengurangi kadar C2S.

Tipe I adalah semen *Portland* untuk tujuan umum. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi

Tipe II adalah semen *Portland* modifikasi, adalah tipe yang sifatnya setengah tipe IV dan setengah tipe V (moderat). Belakangan lebih banyak diproduksi sebagai pengganti tipe IV.

Tipe III adalah semen *Portland* dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.

Tipe IV adalah semen *Portland* dengan panas hidrasi rendah, yang dipakai untuk kondisi di mana kecepatan dan

jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada semen tipe I.

Tipe V adalah semen *Portland* tahan sulfat, yang dipakai untuk menghadapi aksi sulfat yang ganas. Umumnya dipakai di daerah di mana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

Tabel 3.1 Jenis-jenis semen *Portland* dengan sifat-sifatnya (Nugraha & Antoni, 2004).

Tipe	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Kehalusan blaine (m ² /kg)	Kuat 1 hari (kg/cm ²)	Panas hidrasi (J/g)
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ S	C ₄ AF			
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Selain itu ada tipe IA, IIA, IIIA. Huruf A singkatan dari *air entrained* mengandung buih udara. Jenisnya sama dengan semen *Portland* tipe tersebut, tetapi mengandung material air entrained yang digiling bersama klinker pada waktu diproduksi. Material air entrained ini menghasilkan buih udara yang sangat kecil, terbagi rata dan saling terpisah dalam beton keras. Jenis ini dibuat untuk meninggikan ketahanan terhadap aksi membeku-mencair yang umumnya terjadi di negara-negara dengan empat musim.

Inggris memakai pembagian yang agak berbeda. Semen tipe I disebut semen *Portland* biasa (*Ordinary Portland Cement*

OPC), sedangkan semen tipe III disebut *Rapid Hardening Portland Cement* (HPC). Tipe-tipe semen yang lain disebut langsung sifat-sifatnya. Kesepadanan semen menurut standar BS dan ASTM tampak dalam Tabel 3.2

Tabel 3.2 Kesepadanan Semen Menurut Standar BS dan ASTM (Nugraha & Antoni, 2004).

Deskripsi Inggris	Simbol	BS	Deskripsi ASTM
Ordinary Portland	OPC	12 : 1989	I
Rapid-Hardening Portland	RHPC	12 : 1989	III
Low Heat Portland	LHPC	1370	IV
Sulphate Resisting Portland	SRPC	4027	V
Portland Blast-Furnace-Slag	PBFC	146	IS
Controlled Finest Portland	CFPC	12 : 1989	-

BS 12: 1991 merevisi klasifikasi mereka dengan 4 standar kelas: 32.5, 42.5, 52.5 dan 62.5. Diberi pula sub-kelas N untuk kuat awal normal dan sub-kelas R untuk kuat awal yang tinggi. Jadi terdapat 6 klasifikasi: 32.5N, 32.5R, 42.5N, 42.5R, 52.5N dan 62.5N.

Menurut (Bayuaji, 2017), jenis semen dapat dibedakan menjadi:

1. Semen non-hidrolik, tidak dapat mengikat dan mengeras dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama adalah kapur.
2. Semen Hidrolik :
 - a. Semen Alam

- b. Semen Pozzolan
- c. Semen Terak
- d. Kapur Hidrolik
- e. Semen Putih
- f. Semen Aluminium
- g. Semen *Portland*, semen hidrolik yang dihasilkan dari menggiling klinker yang terdiri dari kalium silikat hidrolik
- h. Semen *Portland Pozzolan*

3.4 PERBEDAAN PRODUK SEMEN

Antara satu merek dengan merek yang lain dapat berbeda dalam:

- Kehalusan butir-butir semen.
- Komposisi kimia (*detail*).
- Perkembangan kekuatan.
- Jumlah gypsum yang ditambahkan.

a. Kehalusan

Dengan mengubah kehalusan (*fineness*) dari semen maka kecepatan hidrasi semen dapat diubah. Dengan butiran partikel yang semakin halus maka reaksi hidrasi akan semakin cepat, karena hidrasi dimulai dari permukaan butir. Pada umumnya butir semen *Portland* berukuran lebih kecil dari 45 mikron (325 Mesh), atau sebesar 320 m²/kg, menurut uji kehalusan *Blaine*.

BAB 4

AGREGAT

b. Kekuatan

Kekuatan (*strength*) semen diuji dengan menggunakan pasir standar, yaitu pasir kuarsa dari Bangka (dengan kadar SiO_2 , minimal 95% dan diameter 1.2-0,6 mm 8 bagian berat dan diameter 0,6 - 0,42 mm 1 bagian berat). Dibentuk benda uji dengan ukuran 5x5x5 cm dan diuji kuat tekannya.

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman, komposisi agregat tersebut berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting. Karena itu perlu dipelajari karakteristik gregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan (Mulyono, 2003).

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat halus dan agregat kasar berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya.

Meskipun demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4.80 mm (*British Standard*) atau 4.75 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butimya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4.80 mm (4.75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4.80 mm dibagi lagi menjadi dua: yang berdiameter antara 4.80-40 mm disebut kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar (Mulyono, 2003).

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bronjong, atau bendungan, dan lainnya. Agregat halus biasanya dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan kerikil, split, batu pecah, kricak, dan lainnya (Mulyono, 2003).

4.1 Karakteristik Agregat

Jika dilihat dari sumbernya, agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat yang berasal dari alam dan agregat buatan (*artificial aggregates*). Contoh agregat yang berasal dari sumber alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan contoh agregat buatan adalah agregat yang berasal dari *stone crusher*, hasil residu terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pecahan genteng, pecahan beton, fly ash dari residu PLTU, *extended shale*, *expanded slag* dan lainnya. Interaksi antara iklim setempat dan geologinya akan menghasilkan tiga macam jenis *quarry*, yaitu sumber daya alam dari batu-batuan (*deposits*), yang dibedakan menjadi tiga, yaitu:

a. *Quarry* batu batuan dari *bedrock*

Quarry ini membutuhkan pengeboran dan peledakan (*drilling and blasting*) yang menghasilkan bermacam-macam ukuran yang perlu disesuaikan dengan kebutuhan. Derajat pelapukan *quarry* ini bergantung pada deposit batuan. Pada lapisan terluar, derajat pelapukan biasanya paling berat, berat; semakin ke dalam, derajat pelapukannya semakin rendah. Untuk

mendapatkan hasil yang baik dari batu-batuan segar (*fresh rock*), penggalan pada deposit ini harus dilakukan hingga ke dalaman yang cukup.

Hasil pemecahan agregat semacam ini adalah campuran batuan yang mengalami pelapukan dengan batu-batuan segar. Makin segar batu batuan, makin rendah nilai *crushing value* dan *Los Angeles Abrasion* serta semakin rendah porositasnya (*porosity*). Sebaliknya, semakin tinggi derajat pelapukan, semakin tinggi pula nilai-nilai tersebut.

Secara sederhana dapat disimpulkan bahwa campuran agregat dengan mutu yang baik dan agregat dengan mutu yang kurang baik yang dihasilkan suatu industri pemecah batu dapat mengakibatkan kesulitan dalam perencanaan dan pengendalian mutu campuran beton. Untuk itu, setiap produksi dari *crushing plant* harus diuji sesuai dengan standar dan tingkat kebutuhan agregat tersebut (Mulyono, 2003).

b. Pasir sungai dan batu batuan yang digali

Sungai-sungai yang terjal memiliki aliran yang deras sehingga deposit dari partil ke batu-batuannya akan bervariasi cukup besar pada suatu jarak tertentu. Biasanya butir halus tidak cukup banyak dan batu-batuan ini cukup bersih. Pada sungai-sungai yang landai, variasi perbedaan ukuran partikel tidak berubah dari tempat yang satu ke tempat yang lain. Kebanyakan partikel-partikelnya lebih bulat dan cukup kotor serta tercampur dengan *mica* dan *small fraction*.

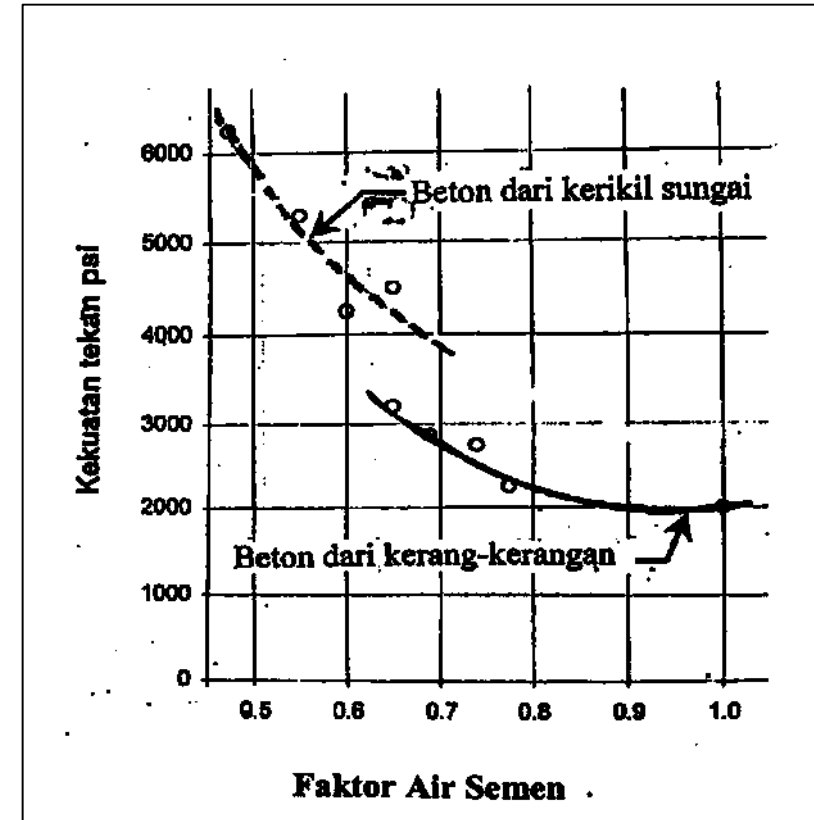
Di daerah tertentu, pasir dapat mengandung mineral-mineral berat. Umumnya batu-batuan porous dan yang sudah berkurang kekuatannya akibat pelapukan dapat pecah karena gaya-gaya yang terdapat di dalam sungai. Produk yang

dihasilkan di setiap sungai di Indonesia biasanya merupakan campuran jenis-jenis yang kuat dan fragment agak lemah.

Sungai yang mengalir melewati Jenis batuan yang seragam, misalnya sungai yang melewati gugusan pegunungan yang mengandung granit, akan mengha-silkan batuan yang sejenis, tetapi masih terdiri dari fragment batuan yang kuat dan lemah. Sungai ini biasanya mengandung cukup banyak mica dalam pasirnya dan gradasi agregatnya biasanya merupakan gradasi sela (salah satu dari ukuran agregat tidak ada).

Pasir kasar alami biasanya dapat memenuhi syarat gradasi zona I dari *British Standard (B.S)*, tetapi mineral halusnya yang berukuran lebih kecil dari 0.3 mm tidak cukup banyak. Pasir yang masuk zona II dan dapat juga ditemukan dalam pasir alami, tetapi biasanya banyak mengandung silt dan tanah liat. Agregat halus atau pasir alam yang berasal dari sumber ini biasanya berbutir halus dan berbentuk bulat-bulat akibat proses gesekan, sehingga daya lekat antara butirannya agak kurang. Agregat jenis ini cocok dipakai untuk campuran plesteran karena butir butirnya halus.

Gambar 4.1 memperlihatkan pengaruh material terhadap kekuatan beton bila beton dibuat dengan campuran agregat yang terdiri terdiri dari 60% agregat kuat dan 40% agregat lemah. Perbandingan kekuatan tekan ini menunjukkan bahwa pengaruh kekuatan agregat juga menentukan kekuatan tekan beton yang akan dibuat. Agar dicapai kekuatan tekan yang seragam, perlu dilakukan pemeriksaan agregat sesering mungkin dan perlu dipersiapkan *mix design alternative concrete* yang setiap waktu1 dapat digunakan bila terjadi variasi mutu agregat.



Gambar 4.1 Pengaruh agregat dengan faktor air semen pada Kekuatan tekan beton yang berumur 28 hari (Mulyono, 2004)

- c. Pasir dari pesisir pantai dan sumur sumur yang mengandung pasir dan batu batuan

Pesisir yang landai dan delta-delta sering dijumpai di Indonesia, meskipun tidak terdapat pada setiap tempat. Pantai biasanya terdiri dari batuan bulat dan fragmen kerang-kerangan. Di belakang pantai mungkin terdapat laguna tua yang dipenuhi material organik atau lumpur dan silt yang tercampur dengan batu-batuan dan pasir sungai.

Daerah yang mengandung silt dan tanah liat biasanya mengalami pelapukan dan dan tertutup lumpur dari lapisan tanah residual. Hasil galian pada endapan sungai terdiri dari lapisan yang hampir sama batu-batuannya, dengan kecenderungan mengandung lebih banyak tanah liat dan lempung serta mengandung sedikit material yang diameternya besar. Gradasi senjang merupakan gejala umum.

Pasir dan batu-batuannya biasanya terdiri dari material yang lemah dan porous karena proses pelapukan terus berlanjut meskipun bahan-bahan tersebut sudah terdampar. Gejala umum yang teramati adalah fraksi pasir mendekati zona II (BS), dengan sedikit sekali material yang *oversize* dan material halusnnya atau lebih kecil dari 0.3 mm biasanya tidak cukup.

Agregat atau pasir yang berasal dari pantai ini mutunya agak kurang karena banyak mengandung garam-garaman. Garam-garaman tersebut menyebab-kan pasir banyak menyerap air dari udara sehingga kondisi pasir akan selalu basah atau agak basah yang tidak dikehendaki dalam pekerjaan beton. Pasir ini juga menyebabkan terjadinya pengembangan ketika beton sudah jadi. Karena itu, sebaiknya pasisir pantai/laut tidak dipakai dalam campuran beton.

Agar diperoleh material yang baik, pencucian kadangkala perlu perlu dilakukan untuk membantu. Jika volume agregat yang dibutuhkan dalam campuran beton maka tindakan terbaik yang harus dilakukan adalah mencampur beberapa jenis agregat menjadi satu sehingga diperoleh hacil yang diinginkan atau masuk dalam zona yang disyaratkan.

4.2 Fungsi Agregat dan Peranan Agregat

Mengingat bahwa agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*) dan ekonomis. Pengaruhnya bisa dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengaruh sifat agregat pada sifat beton (Nugraha & Antoni, 2004).

Sifat Agrerat	Pengaruh Pada	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, gradasi	Beton cair	Keleccakan pengikatan dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (<i>durability</i>)

Ada dua peraturan yang berlaku. Pertama, SII 0052-80 "Mutu dan Cara Uji Agregat Beton". Kedua, PBI 89 menyebutkan ASTM C33 "Standard Specification for Concrete Aggregate". Mengingat agregat lebih murah daripada semen maka akan ekonomis bila agregat dimasukkan sebanyak mungkin selama secara teknis memungkinkan, dan kandungan semennya minimum.

Meskipun dulu agregat dianggap sebagai material pasif, berperan sebagai pengisi saja, kini disadari adanya kontribusi positif agregat pada sifat beton, seperti stabilitas volume, ketahanan abrasi, dan ketahanan umum (*durability*) diakui. Bahkan beberapa sifat fisik beton secara langsung tergantung pada sifat agregat, seperti kepadatan, panas jenis, dan modulus elastisitas.

4.3 Gradasi Agregat Halus dan Kasar

a. Agregat Halus

Bagian yang lolos dari suatu ayakan tidak boleh lebih dari 45% dari yang tertahan pada ayakan berikutnya. Modulus kehalusan harus antara 2,3 - 3,1. Variasi tidak lebih dari 0,2. Batasan ini memberikan variasi gradasi yang cukup lebar.

Sebagai contoh, untuk ukuran maksimum 40 mm, berat per unit volume beton = 1610 kg/m³, modulus kehalusan pasir = 2,80. Nilai A[^] (persentase jumlah agregat dalam beton) = 0,73. Jadi agregat kasar = 1610 x 0,73 = 1175 kg/m³. Variasi 0,2 pada modulus kehalusan akan menghasilkan 1208 atau 1143 kg/m³, yaitu kisaran sekitar 33 kg/m³ yang cukup besar.

Gradasi dan keseragaman agregat halus lebih menentukan kelecakan (workability) daripada gradasi dari keseragaman agregat kasar karena mortar berfungsi sebagai pelumas sedangkan agregat kasar hanya mengisi ruang saja. Jumlah agregat halus yang melewati 2 ayakan terkecil memengaruhi kelecakan, tekstur permukaan dan pendarahan.

BS lama membagi pasir ke dalam 4 zona. Dalam praktik di Indonesia masih banyak digunakan 4 zona tersebut. Ada beberapa kelemahan pada penerapan zona tersebut, antara lain terjadinya pertautan (overlap) pada hampir semua ukuran kecuali ukuran 600 mm. Ada persepsi umum yang salah bahwa material dapat diterima selama tetap berada di dalam batas zona.

Sebaliknya, untuk pengiriman yang sedikit bergeser dari ujung bawah pada ukuran 600 mm ke ujung atas dari ukuran berikutnya, gradasi ini sering ditolak, padahal kurang beralasan. Modulus kehalusan zona-zona ini juga bertautan.

Misalnya, zona 1 memiliki modulus kehalusan antara 4,00 - 2,71, sedangkan zona 2 antara 3,37 sampai 2,11. Jadi peraturan BS yang baru bergeser ke arah kinerja daripada peraturan yang preskriptif, yang menghasilkan kemungkinan gradasi yang lebih luas pada BS 882:83.

b. Agregat Kasar

SII 0052-80 mensyaratkan modulus kehalusan agregat kasar antara 6,0-7,1. ASTM mensyaratkan gradasi agregat melalui persentase berat yang melalui masing-masing ayakan (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Syarat Gradasi Agregat Sesuai ASTM C33 (Nugraha & Antoni, 2004).

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	% berat melalui ayakan			
		Agregat kasar		Agregat halus	
		Batas bawah	Batas atas	Batas bawah	Batas atas
1 in	25	95	100		
¾ in	19				
½ in	12,5	25	60		
⅜ in	10			100	100
No. 4	5	0	10	95	100
No. 8	2,5	0	5	80	100
No. 16	1,2			50	85
No. 30	0,6			25	60
No. 50	0,3			10	30
No. 100	0,15			2	10
Dasar					

Gradasi agregat kasar untuk ukuran maksimum tertentu dapat divariasikan tanpa berpengaruh besar pada Kebutuhan

semen dan air yang baik. Karena variasi sulit diantisipasi, sering lebih ekonomis untuk mempertahankan keseragaman penanganan dari pada menyesuaikan proporsi untuk variasi gradasi.

Makin besar diameter maksimum maka semakin ekonomis. Lihat pasal yang bersangkutan. Selain itu British Standard mensyaratkan ekonomis gradasi agregat gabungan, yaitu untuk diameter maksimum 10, 20 dan 40 mm. BS sebelumnya memakai zone 1, 2, 3, 4 untuk pasir. BS 882-83 memakai kategori lain untuk pasir, yaitu pasir kasar (G), seang (M) dan halus (F).

4.4 Berat Jenis dan Berat Volume Agregat

Berat jenis agregat adalah 2400-2900 kg/m³. Berat jenis ini agak sukar untuk diukur karena agregat mempunyai pori. Namun untungnya juga jarang diperlukan. Yang lebih diperlukan adalah berat volume kering. Berat volume kering agregat sekitar 1200-1750 kg/m³.

Berat agregat halus dan kasar per unit volume beton dapat dihitung dari Tabel S.5. Nilai berkisar antara 1691 - 2245 kg/m³. Ini identik dengan 77-89% berat beton, atau 67 - 82% volume beton.

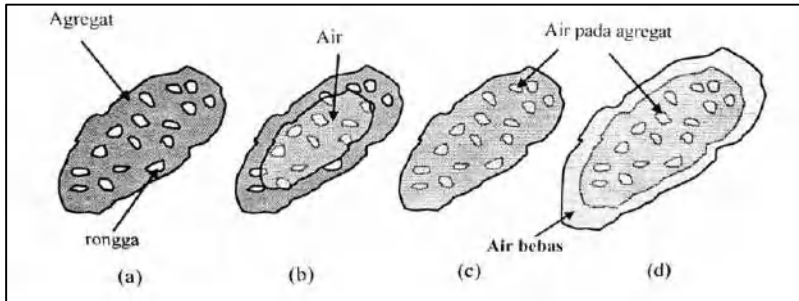
Tabel 4.3- Berat rata-rata beton segar (Nugraha & Antoni, 2004).

D max agregat (mm)	Kadar udara (%)	Kadar air (kg/m ³)	Kadar semen (kg/m ³)	Kepadatan (kg/m ³), untuk kepadatan relatif agregat				
				2,55	2,60	2,65	2,70	2,75
19	6,0	168	336	2194	2227	2259	2291	2323
38	4,5	145	291	2259	2291	2339	2371	2403
76	3,5	121	242	2307	2355	2387	2435	2467
152	3,0	97	167	2355	2387	2435	2467	2515

4.5 Absorpsi dan Kadar Air

Air yang terkandung di dalam agregat akan memengaruhi jumlah air yang diperlukan di dalam campuran (*mix*). Agregat yang basah akan membuat campuran lebih basah dan meningkatkan faktor air-semen, dan sebaliknya agregat yang kering akan menyerap air campuran dan menurunkan. Sebaliknya kelecakan beton. Jadi kandungan air di dalam agregat harus diketahui. Perubahan kadar air tidak hanya tergantung dari pengiriman, tapi pengaruh dari cuaca. Misalnya kadar air hujan atau panas terik dan lamanya menyimpan.

Pasir yang ditumpuk dan diberi kesempatan untuk mengering selama 16 jam akan mempunyai kadar air sekitar 5%. Dalam keadaan basah antara 7 sampai 10%, kadang sampai 15%. Pasir yang lembab terasa agak basah tetapi tidak meninggalkan kebasahan di tangan. Kadar air sekitar 2% berat, pasir tetapi terasa basah dan sedikit membasahi tangan, membentuk bola di tangan. Kadar air sekitar 4% berat, pasir yang sangat basah, airnya sampai menetes ketika air diangkat, semakin membasahi tangan dan tampak mengilat.



Gambar 4.2 Kondisi Kandungan Air Dalam Agregat, (A) Kering Udara, (B) Kering Udara, (C) Saturated Surface Dry, (D) Lembab (Nugraha & Antoni, 2004).

Ada 4 kondisi kandungan air di dalam agregat:

- Kering kerontang (*bone dry atau oven dry - od*), Bisa didapat dengan memasukkan agregat kedalam oven selama 24 jam pada temperatur 105 - 110 °C.
- Kering udara (*air dry - ad*), Bagian luarnya kering namun bagian dalamnya masih mengandung air. Keadaan agregat di lapangan apabila terjemur.
- Saturated Surface Dry (SSD)
Ini keadaan teoritis ideal, yaitu butir di dalamnya sudah jenuh air (*saturated*) namun bagian sebelah luar masih kering. Kondisi ini dipakai sebagai dasar perhitungan *mix design*.
- Lembab (*moist atau wet*)
Selain bagian dalam jenuh air, bagian luar juga basah. Didapat dengan merendam agregat selama 24 jam. Jumlah air total adalah sepuluh kali air yang ada, baik yang di dalam pori maupun yang di luar butir. Kadar air total adalah persentase jumlah air tersebut terhadap berat

agregat kering. Kadar air bebas adalah persentase jumlah air yang di luar butir saja. Kadar air bebas dipakai sebagai dasar untuk perencanaan campuran karena agregat dianggap dalam keadaan SSD.

Beberapa definisi penting:

Kapasitas Absorpsi	= $(W - W_{al}) / W_{ol} \times 100\%$
Kapasitas Absorpsi Efektif	= $(W_{sad} - W_a) / W_{ss} \times 100\%$
Kadar Lengas Bebas	= $(w_{er} W_{ssa}) / W_{sad} \times 100\%$
Kadar Lengas Total	= $(W_{EE} - W) / W_{od} \times 100\%$

4.6 Kekuatan dan Kekerasan Agregat

Pada sub-sub bab di bawah ini akan dibahas tentang kekuatan beton dan kekerasan beton.

a. Kekuatan Beton

Apa yang menentukan kekuatan beton? Ingat bahwa beton adalah benda yang heterogen, lain dengan baja atau kayu. Mengingat beton adalah material yang heterogen, maka kekuatan beton tergantung pada:

- Kekuatan agregat,
- Kekuatan semen,
- Kekuatan lekatan antara semen dengan agregat.

Manakah yang paling menentukan, yang paling lemah atau yang paling kuat. Yang paling lemah. Mana yang paling lemah?

Tergantung pada banyak faktor. Mana yang menentukan itu dapat dilihat dari bidang pecahan dari kubus atau silinder beton. Kalau agregat yang paling lemah maka akan terlihat

bahwa agregatnya yang hancur. Demikian pula kalau yang lemah adalah ikatan, maka ikatannya yang terlihat mengelupas.

Agregat yang lunak dan rapuh umumnya tidak memuaskan. Agregat yang lemah, getas, atau flaky juga tidak dikehendaki. Shale, batu yang dilapisi shale, dan cherts harus dihindari.

b. Kekerasan

Ketahanan abrasi sering dipakai sebagai indeks umum untuk kualitas agregat. Kekerasan (hardness) adalah perlawanan terhadap keausan. Misalnya untuk pavement atau lantai gudang/workshop alat-alat berat. Dibutuhkan beton untuk yang selain kuat juga tidak cepat aus akibat abrasi. Dilakukan percobaan bejana tekan Los Angelos, bejana tekan Rudolf, Leighton Buzzard atau Rckwell Test. Kekerasan dinyatakan dalam persen bagian hancur yang halus, yang melewati ayakan 1,7-2 mm. Dibatasi 14 - 16% pada Rudolf dan 27% pada Los Angelos oleh SII.

Selain itu ada lagi sifat yang lain, yaitu keuletan (toughness) terhadap benturan. Tes abrasi dilakukan dengan Los Angeles Test

Pengujian kekerasan agregat halus dapat dilakukan dengan membuat contoh dan membandingkannya dengan pasir standar. Untuk SII dipakai pasir Bangka. Angka pembanding tidak boleh lebih besar dari 2,20. Agregat kasar bila digores dengan batang tembaga maka bagian yang lemah maksimum 5%.

Untuk agregat ringan ada syarat tersendiri oleh ASTM C330-80.

BAB 5

AIR

5.1 Syarat Umum Air

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pra-tekan dan beton yang akan ditanami logam almunium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (ACI 318-89:2-2).

Untuk perlindungan terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan bersemen dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas diberikan pada Tabel 5.1

**Tabel 5.1 Batas Maksimum Ion Klorida
(Mulyono, 2004).**

Jenis beton	Batas (%)
Beton pra-tekan	0.06
Beton bertulang yang selamanya berhubungan dengan klorida	0.15
Beton bertulang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1.00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0.3

Sumber : PB 1989 : 23

Bila beton akan berhubungan dengan air payau, air laut, atau air siraman dari sumber-sumber tersebut, maka persyaratan faktor air semen dalam Tabel 5.2 dan 5.3 serta tebal selimut beton (lihat Pasal 7.7 Pelindung Beton) untuk tulangan dalam Peraturan Beton 1989:37-39, harus dipenuhi. Tebal minimum tersebut rata-rata adalah sekitar 50 mm.

Tabel 5.2 Ketentuan Minimum Untuk Beton Kedap Air (Mulyono, 2004)

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan Berhubungan dengan	Faktor Air Semen Maksimum	Kadar Semen Minimum, Kg/M ³	
			40 mm*	20 mm*
Beton Bertulang	Air Tawar	0.50	260	290
	Air Payau / Air Laut	0.45	320	360
Beton Pratekan	Air Tawar	0.50	300	300
	Air Payau / Air Laut	0.45	320	360

Sumber : Tabel 4.5.1 (a) PB (draft)1989:21,*) Ukuran Maksimum Agrerat

Tabel 5.3 Persyaratan Untuk Kondisi Lingkungan Khusus (Mulyono, 2004)

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan*	Faktor Air Semen Maksimum, Beton Normal	Kandungan Semen Minimum, Kg/m ³			
			Ukuran agrerat maksimum, mm			
			40	20	14	10
Bertulang	Ringan	0.65	220	250	270	290
	Sedang	0.55	260	290	320	340
	Berat	0.45	320	360	390	410
Pratekan	Ringan	0.65	300	300	300	300
	Sedang	0.555	300	300	320	340
	Berat	0.45	320	360	390	410
Tidak bertulang	Ringan	0.65	200	220	250	270
	Sedang	0.55	220	250	280	300
	Berat	0.45	270	310	330	360

Sumber: Tabel 4.5.1 (b) PB (draft) 1989:21,

*) Kondisi lingkungan

Ringan = Terlindung sepenuhnya dari cuaca atau kondisi agresif, kecuali sesaat pada waktu konstruksi terbuka terhadap cuaca normal

Sedang = Terlindung dari hujan deras, beton yang tertanam dan beton yang sesaat pada waktu konstruksi terbuka terhadap cuaca normal selamanya terendam air.

Berat = Terbuka terhadap air laut, air payau, hujan yang lebat dan keras, pergantian antara basah dan kering. Mengalami kondensasi yang berat atau uap yang korosif.

Kandungan garam-garam sulfat maksimum yang diijinkan dalam beton adalah 1000 mg SO₃ per liter. Tetapi kadar sulfat yang diijinkan dalam air pencampur bergantung pada kadar sulfat dalam agregat dan semen karena faktor yang menentukan adalah besarnya jumlah sulfat yang terkandung dalam beton. Kadar sulfat (SO₃) dalam beton tidak boleh lebih besar dari 4% berat semen, seperti yang ditentukan dalam British Standard BS.5328-76.

Senyawa alkali karbonat dan bikarbonat akan mempengaruhi waktu pengikatan semen (*setting time*) dan kekuatan beton. Selain itu, kemungkinan terjadinya reaksi alkali agregat dalam beton menjadi besar.

Disyaratkan jumlah gabungan garam-garam ini tidak lebih dari 100 mg per liter. Beton yang digunakan pada lingkungan yang mengandung sulfat harus memenuhi persyaratan yang terdapat dalam Tabel 3.5 atau dibuat dengan menggunakan semen yang tahan terhadap serangan sulfat yaitu Semen Tipe V.

Faktor Air Semen maksimum dan kuat tekan minimum yang disyaratkan untuk beton jenis ini tercantum dalam Tabel 3.5.

Tabel 5.4 Persyaratan Untuk Beton Yang Berhubungan Dengan Air Yang Mengandung Sulfat (Mulyono, 2004)

Kadar Gangguan Sulfat	Sulfat (SO ₄) dalam tanah yang larut dalam air, % dari massa	Sulfat (SO ₄) dalam air (ppm)	Type semen	Beton Normal	Beton Ringan
				Faktor Air Semen Dalam Massa	Kuat Tekan Minimum (f'c, Mpa)
Diabaikan	0 - 0.12	0 - 150	-	-	-
Sedang +	0.12 - 0.20	150 - 1500	II IP (MS) IS (MS)	0.50	25
Berat	0.20 - 2.00	1500 - 10000	V	0.45	30
Sangat Berat	>2.00	>10000	V + Pozzolan ++	0.45	30

Sumber : Pedoman Beton (*draft*) 1989 : 22, Tabel 4.5.2

Keterangan:

- Nilai FAS yang lebih rendah atau kuat tekan yang lebih tinggi diperlukan untuk mendapatkan kekedapan atau perlindungan terhadap korosi dari bahan yang tertanam didalam beton (Tabel 5.2 dan 5.3)
- Air Laut
- Pozollan yang telah terbukti dari uji atau data penggunaan, yang mampu memperbaiki ketahanan beton terhadap sulfat, bila semen yang digunakan adalah semen Tipe V.

5.2 Peran Air

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (*workable*).

Jumlah air yang terikat dalam beton dengan faktor air-semen 0,65 adalah sekitar 20% dari bera: semen pada umur 4 minggu. Dihitung dari komposisi nmineral semen, jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah 35 - 37% dari berat semen.

Dalam praktik, estimasi air yang terikat secara kimia didapat dengan mengeringkan contoh sampai 100°C, menghilangkan air bebas yang bias menguap di dal.m pori kapiler.

Kehilangan berat akibat dekomposisi contoh kering pada 1009°C dianggap sebagai jumlah non-evaporable. Hidrasi penuh dicapai dengan terjadinya hidrasi slurry semen (dengan rasio air/semen di atas 1.00) terjadi di Jalam ball-mill. Proses ini mengambil lapisan terhidrasi dari permukaan butir semen. Seluruh proses bisa memakan waktu beberapa bulan hingga mencapai hidrasi penuh.

- a. Air yang diambil oleh pori gel. Air gel ini tertahan dalam struktur gel dengan tegangan permukaan. Sering disebut "air yang terserap". Perilaku sebenarnya masih diselidiki. Diambilnya air ini menyebabkan perubahan volume yang besar, misalnya selama susut pengeringan.
- b. Air di dalam pori-pori kapiler relatif mudah untuk diambil. Jumlahnya ditentukan oleh faktor air-semen awal

dan dikurangi oleh hidrasi yang menerus. Diambilnya air ini selama proses pengeringan tidak akan menyebabkan penyusutan. Pori-pori ini terus jenuh jika perawatan dilakukan dengan penggenangan atau dengan lingkungan yang jenuh. Waktu air secara bertahap keluar dari pori kapiler, tekanan uap berkurang. Ruang diisi oleh udara yang difusi ke dalam pori. Bila kelengasan relatif turun di bawah 80%, kecepatan difusi sempat dikurangi.

- c. Pergerakan air keluar-masuk struktur gel menyebabkan perubahan volume ini bisa disebabkan oleh
 - 1) Regangan akibat lingkungan, yaitu susut pengeringan atau pengembangan selama perawatan,
 - 2) Regangan akibat beban, yaitu rangkakan (*creep*).
- d. Kehilangan air sebelum setting karena hidrasi dan evaporasi dari permukaan terekspos yang menyebabkan hilangnya kelecakan. Bila kecepatan evaporasi melampaui kecepatan pendarahan sebelum setting maka akan bisa terjadi retak susut plastis.

5.3 Sumber Sumber Air Untuk Beton

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3.3% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garaman

dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra-tegang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan. Sumber sumber air yang ada adalah sebagai berikut.

1. Air yang Terdapat di Udara

Air yang terdapat di udara atau air atmosfer adalah air yang terdapat di awan. Kemurnian air ini sangat tinggi. Sayangnya, hingga sekarang belum ada teknologi untuk mendapatkan air atmosfer ini secara mudah. Air yang terdapat dalam atmosfer ini kondisinya sama dengan air suling, sehingga sangat mungkin untuk mendapatkan beton yang baik dengan air ini.

2. Air Hujan

Air hujan menyerap gas-gas serta uap dari udara ketika jatuh ke bumi. Udara terdiri dari komponen-komponen utama yaitu zat asam atau oksigen, nitrogen dan karbondioksida. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.

3. Air Tanah

Air tanah terutama terdiri dari unsur kation (seperti Ca^{++} , Mg^{++} , Na dan K^+) dan unsur anion (seperti CO_3 , HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 ;) Pada kadar yang lebih rendah, terdapat juga unsur Fe, Mn, Al, B, F dan Se. Disamping itu air tanah juga menyerap gas-gas serta bahan-bahan organik seperti CO_2 , $H_2 S$ dan NH_3 .

4. Air Permukaan

Air permukaan dibagi menjadi air sungai, air danau dan situ, air genangan dan air reservoir. Erosi yang disebabkan oleh

aliran air permukaan, membawa serta bahan-bahan organik dan mineral-mineral. Air sungai atau air danau dapat digunakan sebagai bahan campuran beton asal tidak tercemar oleh air buangan industri. Air rawa-rawa atau air genangan tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, kecuali setelah melalui pengujian kualitas air.

5. Air Laut

Air laut yang mengandung 30.000-36.000 mg garam per liter (3% - 3.6%) pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran untuk beton tidak bertulang, beton pra-tegang dan beton pra-tekan atau dengan kata lain untuk beton-beton mutu tinggi. Unsur-unsur yang terdapat dalam air laut dapat dilihat di Tabel 5.5.

Air asin yang terdapat di pedalaman mengandung 1000-5000 mg garam per liter. Air dengan kadar garam sedang, mengandung 2000-10000 mg garam per liter. Air di daerah pantai, memiliki kadar garam sekitar 20000-30000 mg per liter.

Air laut tidak boleh digunakan untuk pembuatan beton pra-tegang atau pra-tekan, karena batang-batang baja pra-tekan langsung berhubungan dengan betonnya. Air laut sebaiknya tidak digunakan untuk beton yang ditanami almunium di dalamnya, beton yang memakai beton yang tulangan atau yang mudah mengalami korosi pada tulangnya akibat perubahan panas (temperatur) dan lingkungan yang lembab (ACI 318-89:2-2).

**Tabel 5.5 Unsur-unsur dalam Air Laut
(Mulyono, 2004)**

Unsur Kimia	Kandungan (ppm)
Clorida (CL)	19.000
Natrium (Na)	10.600
Magnesium (Mg)	1.270
Sulfur (S)	880
Calium (Ca)	400
Kalsium (K)	380
Brom (Br)	65
Carbon (C)	28
Cr	13
B	4,6

Sumber : *Concrete Technology and Practice*

5.4 Pengaruh Kotoran

Kotoran secara umum bisa menyebabkan

- Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.
- Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
- Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan.
- Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
- Bercak-bercak pada permukaan beton.

Batas limit konsentrasi untuk berbagai kotoran adalah sebagaimana tertera pada Tabel 5.6

**Tabel 5.6 Batas Toleransi Kotoran Pada Air
(Nugraha & Antoni, 2004).**

Kotoran	Konsentrasi maks (ppm)	Keterangan
Suspensi	2.000	Silt, tanah liat, bahan organik
Ganggang	500 -1.000	Air entrain
Karbonat	1.000	Mengurangi setting time
Bikarbonat	400 – 1.000	400 ppm utk Ca, Mg
Sodium sulfat	10.000	Kekuatan dini dapat meningkat, tapi kekuatan akhir dapat menurun
Magnesium sulfat	40.000	
Sodium klorida	20.000	Mengurangi setting time, kekuatan dini meningkat tetapi kekuatan akhir menurun
Kalsium klorida	50.000	
Magnesium klorida	40.000	
Garam besi	40.000	
Phosphat, arsenat, borat	500	Memperlambat set
Garam, Zn, Cu, Mn, Sn	500	
Asam inorganis	10.000	pH tidak kurang dari 3,0
Sodium hidroksida	500	
Sodium sulfida	100	Beton harus di uji
Gula	500	Memengaruhi set

5.5 Penilaian Waktu Pengikatan (*Setting Time*) dan Uji Kuat Tekan

Air pengaduk dianggap tidak mempunyai pengaruh berarti terhadap waktu pengikatan dan sifat pengerasan beton jika hasil pengujian menunjukkan:

- (1) Perbedaan waktu pengikatan awal campuran beton yang menggunakan air yang diragukan dibanding dengan

campuran beton memakai air suling tidak lebih besar dari 30 menit.

- (2) Kuat tekan rata-rata kubus beton yang dibuat dengan air yang diragukan tidak kurang dari 90% kuat tekan beton yang memakai air suling

BAB 6

BAHAN TAMBAH

Admixture adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.

Admixture atau bahan tambah didefinisikan dalam Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete of Aggregates (ASTM C.125-1995:61) dan dalam Cement and Concrete Terminology (ACI SP-19) sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

Di Indonesia bahan tambah telah banyak dipergunakan. Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan dipakai di lapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI. Untuk bahan tambah yang merupakan bahan tambah kimia harus memenuhi syarat yang

diberikan dalam ASTM C.494, "*Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*".

6.1 Definisi Bahan Tambah

Menurut ACI Committee 212.1R-81 (Revised 1986) yang selalu diperbaiki sejak 1944, 1954, 1963, 1971, jenis bahan tambah untuk beton dikelompokkan dalam 5 kelompok yaitu: *accelerating*, *air-entraining*, *water reducer and set-controlling*, *finely divided mineral* dan *water miscellaneous*.

6.2 Aspek Ekonomi Penggunaan Bahan Tambah

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan yang lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari dalam campuran beton itu sendiri.

Karena tujuannya atau mortar yang akan dihasilkan, maka kecenderungan perubahan memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik tertentu dari beton komposisi dalam berat-volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah.

Penambahan biaya mungkin baru terasa efeknya pada saat pengadaan bahan tambah tersebut yang meliputi biaya transportasi, penempatannya di lapangan dan biaya penyelesaian akhir beton tersebut. Jadi pertimbangan biaya di luar dari biaya yang langsung tetap menjadi perhatian dalam aspek ekonominya.

6.3 Bahan Tambah Kimia

Menurut standar ASTM. C.494 (1995) dan Pedoman Beton 1989 SKBI.1.4.53.1989 (Ulasan Pedoman Beton 1989), jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah. Pada dasarnya suatu bahan tambah harus mampu memperlihatkan komposisi dan unjuk kerja yang sama sepanjang waktu pekerjaan selama bahan tersebut digunakan dalam racikan beton sesuai dengan pemilihan proporsi Proporsi betonnya (PB,1989). Jenis dan definisi bahan tambah kimia ini sebagai berikut;

a. Tipe A, *Water-Reducing Admixtures*

Water-Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

Water-Reducing Admixture digunakan antara lain untuk dengan tidak mengurangi kadar semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau rasio faktor air semen (wcr) yang rendah. Atau dengan tidak mengubah kadar semen yang digunakan dengan faktor air semen yang tetap maka nilai slump yang dihasilkan dapat lebih tinggi.

Hal lain juga dimaksudkan dengan mengubah kadar semen tetapi tidak mengubah faktor air semen dan slump. Pada kasus pertama dengan mengurangi faktor air semen secara tidak langsung akan meningkatkan kekuatannya karena dalam banyak kasus dengan faktor air semen yang rendah akan meningkatkan kekuatan tekan beton.

Pada kasus kedua dengan tingginya nilai slump yang didapatkan akan memudahkan penuangan adukan (*placing*)

atau dengan hal ini waktu penuangan adukan dapat diperlambat. Pada kasus ketiga dimaksudkan untuk mengurangi biaya karena penggunaan semen yang lebih kecil (Mather, Bryant., 1994:494-495).

Bahan tambah pengurang air dapat berasal dari bahan organik ataupun campuran anorganik untuk beton tanpa udara (non-air-entrained) atau dengan udara dalam hal mengurangi kandungan air campuran. Selain itu bahan tambah ini dapat digunakan untuk memodifikasi waktu pengikatan beton atau mortar sebagai dampak perubahan faktor air semen. Komposisi dari campuran bahan tambah ini diklasifikasikan secara umum menjadi 5 (lima) kelas ;

- a. Asam lignosulfonic dan kandungan garam-garam.
- b. Modifikasi dan turunan asam lignosulfonic dan kandungan garam-garam.
- c. Hydroxylated carboxylic acids dan kandungan garamnya.
- d. Modifikasi hydroxylated carboxylic acids dan kandungan garamnya.
- e. Material lain seperti:
 - Material inorganik seperti seng, garam-garam, barak, posfat, klorida.
 - Asam amino dan turunannya,
 - Karbonhidrat, polisakarida dan gula asam.
 - Campuran polimer, seperti eter, turunan melamic, naptan, silikon, hidrokarbon-sulfat.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan bahan tambah ini adalah air yang dibutuhkan, kandungan air, konsistensi, *bleeding* dan kehilangan air pada saat beton segar, laju pengerasan, kekuatan tekan dan lentur, ketahanan terhadap perubahan volume, susut pada saat pengeringan. Berdasarkan

hal tersebut, menjadi penting untuk melakukan pengujian sebelum pelaksanaan pencampuran terhadap bahan tambah tersebut.

b. Tipe B, *Retarding Admixtures*

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton (*setting time*) misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu untuk pemadatan untuk menghindari cold joints dan menghindari dampak penurunan saat beton segar pada saat pengecoran dilaksanakan.

c. Tipe C, *Accelerating Admixtures*

Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan atau hidrasi dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton. *Accelerating Admixtures* yang paling terkenal adalah kalsium klorida. Bahan kimia lain yang berfungsi sebagai pemercepat antara lain adalah senyawa senyawa garam seperti klorida, bromida, karbonat, silikat dan terkadang senyawa organik lainnya seperti tri-etanolamin.

Perlu ditekankan bahwa kalsium klorida jangan digunakan jika korosi progresif dari tulangan baja dapat terjadi. Dosis maksimum adalah 2% dari berat semen yang digunakan. Penggunaan bahan tambah pemercepat laju pengerasan harus didasarkan atas pertimbangan ekonomi dengan membandingkan pada penggunaan bahan tambah lain seperti, bandingkan dengan penggunaan semen Tipe II, penggunaan

semen yang lebih banyak, penggunaan metode perawatan dan proteksi yang berbeda, penggunaan bahan air dan agregat yang panas. Secara umum, kelompok bahan tambah ini dibagi menjadi tiga: (1). Larutan garam organik, (2). Larutan campuran organik, (3). Material miscellaneous.

d. Tipe D, *Water Reducing and Retarding Admixtures*

Water Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

Water Reducing and Retarding Admixtures yaitu pengurang air dan pengontrol pengeringan (*Water Reducing Admixture*). Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton. Bahan ini juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air. Bahan ini hampir semuanya berwujud cair. Air yang terkandung dalam bahan ini akan menjadi bagian dari air campuran beton. Jadi, dalam perencanaan air ini harus ditambahkan sebagai berat air total dalam campuran beton. Perlu ditekankan bahwa perbandingan antara mortar dengan agregat kasar tidak boleh berubah. Perubahan kandungan air, atau udara, atau semen, harus diatasi dengan perubahan kandungan agregat halus sehingga volume tidak berubah.

e. Tipe E, *Water Reducing and Accelerating Admixtures*

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi Jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton. Bahan ini Juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air artinya FAS yang digunakan tetap dengan mengurangi kadar air.

Bahan ini hampir semuanya berwujud cair. Air yang terkandung dalam bahan ini akan menjadi bagian dari air campuran beton. Jadi, dalam campuran perencanaan air ini harus di tambahkan sebagai berat air total dalam campuran beton. Perlu ditekankan bahwa perbandingan antara mortar dengan agregat kasar tidak boleh berubah, Perubahan kandungan air, atau udara, atau semen, harus diatasi dengan perubahan kandungan agregat halus sehingga volume tidak berubah.

Pemercepat waktu pengikatan di dalam bahan tambah kimia ini untuk mempercepat sehingga untuk beton yang menggunakan bahan tambah ini akan dihasilkan waktu pengikatan cepat dan kadar air yang rendah dalam FAS. Kondisi yang dikehendaki adalah kuat tekan beton yang tinggi tetapi kecepatan pengikatan yang diinginkan dapat lebih tinggi.

f. Tipe F, *Water Reducing, High Range Admixtures*

Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

Fungsinya untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Kadar pengurangan air dalam bahan ini lebih tinggi sehingga diharapkan kekuatan

beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan juga lebih tinggi.

Jenis bahan tambah ini dapat berupa superplasticizer. Bahan jenis ini pun termasuk dalam bahan kimia tambahan yang baru, dan disebut sebagai "bahan tambahan kimia pengurang air".

Tiga jenis plastisizer yang dikenal adalah (1). kondensi sulfonat melamin formadehid dengan kandungan klorida sebesar 0.005%, (2). Sulfonat naphthalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan dan (3). Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida. Ketiga jenis bahan tambahan tersebut dibuat dari sulfonat organik dan disebut superplastisizer, karena dapat mengurangi pemakaian air pada campuran beton dan meningkatkan slump beton sampai 8 inch (208 mm) atau lebih. Dosis yang disarankan adalah 1% sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kekuatan tekan beton.

g. Tipe G, *Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk mengha-silkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan menunda waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja.

6.4 Bahan Tambah Mineral

Menurut Cain, 1994, bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Pada saat ini, bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan tambah mineral ini cenderung bersifat penyemenan.

Beberapa bahan tambah mineral ini adalah *pozzollan, fly ash, slag, dan silica fume*. Beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral ini antara lain:

- Memperbaiki kinerja workability
- Mengurangi panas hidrasi
- Mengurangi biaya pekerjaan beton
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika
- Mempertinggi usia beton
- Mempertinggi kekuatan tekan beton
- Mempertinggi keawetan beton
- Mengurangi penyusutan
- Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

6.5 Bahan Tambah Lainnya

a. *Air entraining*

Bahan tambah ini membentuk gelembung-gelembung udara ber diameter 1 mm atau lebih kecil di dalam beton atau mortar selama pencampuran, dengan maksud mempermudah pengerjaan beton pada saat pengecoran dan menambahkan ketahanan awal pada beton.

Hampir semua bahan *air entraining admixture* berwujud cair, tetapi ada yang berbentuk serbuk, lapisan-lapisan atau gumpalan. Banyaknya bahan tambahan yang diperlukan untuk memperoleh gelembung udara ini tergantung pada bentuk dan gradasi agregat yang digunakan. Semakin halus ukuran agregat, semakin besar persentase bahan tambah yang diperlukan.

Persentase ini dipengaruhi juga beberapa faktor lain seperti jenis dan kondisi pencampur, apakah memakai *fly-ash* ataukah pozollan lain, juga derajat agitasi campuran. Penambahan udara ini dapat mengu-rangi kekuatan udara, tetapi dengan mempertahankan kandungan semen dan kemudahan kerja, pengurangan kekuatan ini dapat dicegah karena faktor air semennya berkurang.

b. Beton tanpa *slump*

Beton tanpa slump didefinisikan sebagai beton yang mempunyai slump sebesar 1 inch (25.4 mm) atau kurang, sesaat setelah pencampuran. Pemilihan bahan tambah ini tergantung pada sifat-sifat beton yang diinginkan terjadi, seperti sifat plastisnya, waktu pengikatan dan pencapaian kekuatan, efek beku-cair, kekuatan dan harga dari beton tersebut.

c. Polimer

Ini adalah produk bahan tambah yang baru yang dapat menghasilkan kekuatan tekan beton yang tinggi sekitar 15.000 psi (1.000 psi = 6,9 MPa) atau lebih, dan kekuatan belah tariknya sekitar 1.500 Psi atau lebih. Beton dengan kekuatan tinggi ini biasanya diproduksi dengan menggunakan polimer dengan cara (1). Memodifikasi sifat beton dengan mengurangi air di

lapangan atau (2). Menjenuhkan dan memancarkannya pada temperature yang sangat tinggi di laboratorium.

Beton dengan modifikasi polimer (PMC=*Polimer Modified Concrete*) adalah beton yang ditambah resin dan pengeras sebagai bahan tambahan. Prinsipnya adalah menggantikan air pencampur dengan polimer sehingga dihasilkan beton yang berkekuatan tinggi dan mempunyai mutu yang baik. Faktor polimer beton yang optimum adalah berkisar 0.3 sampai 0.45 dalam perbandingan berat, untuk mencapai kekuatan tinggi tersebut.

c. Bahan pembantu untuk mengeraskan permukaan beton (*hardener concrete*)

Permukaan beton yang harus menanggung beban-beban yang berat dan hidup serta selalu dalam keadaan berputar atau berpindah-pindah, seperti lantai untuk bengkel-bengkel alat alat berat (*heavy equipment*), dan lainnya.

Pembebanan ini akan menyebabkan pengausan pada permukaan beton, yang seiring dengan bertam-bahnya waktu akan menyebabkan rusaknya permukaan beton tersebut. Untuk menghindari hal ini dapat digunakan dua jenis bahan untuk mengeraskan permukaan beton. Yaitu (1) agregat beton terbuat dari bahan kimia, dan (2) agregat metalik, terdiri dari butiran-butiran yang halus. Untuk memperkeras permukaan beton, harus dipilih salah satu dari bahan pengeras tersebut dan kemudian ditambahkan kedalam campuran beton saat pengerjaan beton berlangsung.

e. Bahan pembantu kedap air (*water proofing*)

Jika beton terletak di dalam air atau berada di dekat permukaan air tanah atau misalnya beton yang digunakan pada pembuatan *tunnel* maka beton tersebut tidak boleh mengalami rembesan sehingga harus beton diusahakan agar kedap air. Salah satu bahan yang dapat digunakan adalah bahan yang mempunyai partikel-partikel halus dan gradasi yang menerus dalam campuran beton. Bahan-bahan semacam itu akan mengurangi permeabilitas air.

f. Bahan Tambah Pemberi Warna

Beton yang diexpose permukaannya biasanya memerlukan keindahan. Bahan yang digunakan untuk memberi warna pada permukaan beton ini cat (*coating*), yang dilapiskan setelah pengerjaan beton selesai. Cara lainnya adalah menambahkan bahan warna, misalnya oker atau umber atau pewarna coklat, kedalam permukaan beton selagi beton masih segar.

Bahan-bahan ini biasanya dicampurkan dalam suatu adukan beton yang mutunya terjamin baik. Cara ini merupakan cara yang terbaik. Selain itu dapat pemberian warna dapat pula dilakukan dengan cara menaburkan pasir silika atau agregat metalik selagi permukaan masih dalam keadaan segar, dengan cara beton

g. Bahan tambah untuk memperkuat ikatan beton lama dengan beton baru (*bonding agent for concrete*)

Penuangan beton segar di atas permukaan beton lama sering di beton mengalami kesulitan dalam pengikatan atau penyatuannya. Untuk mengatasinya, perlu ditambahkan suatu bahan tambah agar terjadi ikatan yang menyatu antara

permukaan yang lama dengan permukaan yang baru. Jenis bahan tambah tersebut biasanya di sebut bonding agent yang merupakan larutan polimer.

BAB 7

PENGERJAAN BETON

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan penyusun berdasarkan rancangan campuran beton. Sebelum diimplementasikan dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan, pencampuran bahan-bahan dapat dilakukan di laboratorium.

Agar tetap terjaga konsistensi rancangannya, tahapan lebih lanjut dalam pengolahan beton perlu diperhatikan. Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkannya beton yang tak sesuai dengan rencana akan semakin besar (Mulyono, 2004). Cara pengolahan ini akan menentukan kualitas dari beton yang akan dibuat. Adapun tahapan dalam pelaksanaan di lapangan meliputi:

- a. Persiapan
- b. Penakaran
- c. Pengadukan (*Mixing*)
- d. Penuangan atau pengecoran (*Placing*)
- e. Pemasukan (*Vibrating*)
- f. Penyelesaian Akhir (*Finishing*)
- g. Perawatan (*Curing*)

7.1 Persiapan dan Penakaran

- a. Persiapan

Sebelum penuangan beton dilaksanakan, hal-hal berikut ini harus terlebih dahulu harus diperhatikan (PB,1989:27).

- (1) Semua peralatan untuk pengadukan dan pengangkutan beton harus bersih.
- (2) Ruang yang akan diisi dengan beton harus bebas dari kotoran-kotoran yang mengganggu.
- (3) Untuk memudahkan pembukaan acuan, permukaan dalam acuan boleh dilapisi dengan bahan khusus, antara lain lapisan minyak mineral, lapisan bahan kimia (form release agent) atau lembaran *polyurethane*.
- (4) Pasangan dinding bata yang berhubungan langsung dengan beton-beton harus dibasahi air sampai jenuh.
- (5) Tulangan harus dalam keadaan bersih dan bebas dari segala lapisan penutup yang dapat merusak beton atau mengurangi lekatan antara beton dengan tulangan.
- (6) Air yang terdapat pada ruang yang akan diisi beton harus dibuang, kecuali apabila penuangan dilakukan dengan tremi atau telah seijin pengawas ahli.
- (7) Semua kotoran, serpihan beton dan material lain yang menempel pada permukaan beton yang telah mengeras harus dibuang sebelum beton yang baru dituangkan pada permukaan beton yang telah mengeras tersebut.

Pada kasus-kasus tertentu, persiapan lebih detail harus juga dilakukan. Untuk pengerjaan beton pre-stressing misalnya, persiapan akan bahan-bahan kimia seperti bonding agent untuk perekat antara lapisan beton yang baru dengan beton yang lama, ataupun *cemengrouting* untuk memperbaiki bagian-bagian yang keropos akibat kurangnya pemadatan atau karena terjadinya segregasi harus dilakukan.

b. Penakaran

Penakaran bahan-bahan penyusun beton yang dihasilkan dari hasil rancangan harus mengikuti ketentuan yang tertuang dalam Pasal (3.3.2) SK.SNI.T-28-1991-03 tentang Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton dan ASTM C.685 Standard Made By Volumetric Batching and Continuous Mixing serta ASTM.94 sebagai berikut:

- (1) Beton yang mempunyai kekuatan tekan (f_c) lebih besar atau sama dengan 20 MPa proporsi penakarannya harus didasarkan atas penakaran berat.
- (2) Beton yang mempunyai kekuatan tekan (f_c) lebih kecil dari 20 MPa proporsi penakarannya boleh menggunakan teknik penakaran volume. Tekniknya harus didasarkan atas penakaran berat yang dikonversikan kedalam penakaran volume untuk setiap campuran bahan penyusunnya.

7.2 Pengadukan atau Pencampuran Beton

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu, maka proses selanjutnya adalah pencampuran di lapangan. Komposisinya disesuaikan dengan kapasitas alat aduk. Secara umum pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Indikasinya adalah warna adukan merata, kelecakan yang cukup, dan tampak homogen.

Selama proses pengadukan, harus dilakukan pendataan rinci mengenai:

- (1) Jumlah batch-aduk yang dihasilkan,

- (2) Proporsi material,
- (3) Perkiraan lokasi dari penuangan akhir pada struktur, dan
- (4) Waktu dan tanggal pengadukan serta penuangan.

Metode pengadukan dapat dibedakan menjadi dua yaitu manual dan dengan mesin. Pengadukan manual dilakukan dengan tangan, sedangkan pengadukan dengan mesin memanfaatkan bantuan alat aduk seperti molen atau batching plant. Pengadukan dengan tangan biasanya dilakukan jika kebutuhan akan beton lebih kecil dari 10 m³ dalam satu periode yang pendek. Menurut SNI, jika kebutuhan adukan lebih kecil dari 10, dapat digunakan campuran dengan perbandingan 1:2:3, tetapi untuk kebutuhan beton lebih besar dari 10 m³, desain campurannya harus direncanakan.

a. Pengadukan Manual

Berikut ini adalah tata cara pengadukan manuala

1. Pasir dengan semen dicampur atau dalam keadaan kering dengan komposisi tertentu, di atas tempat yang datar dan kedap air.
2. Pencampuran dilakukan sampai didapatkan warna yang homogen.
3. Tambahkan kerikil, kemudian lakukan pencampuran lagi.
4. Alat bantu yang digunakan dapat berupa sekop, cangkul, ataupun alat gali lainnya.
5. Buat lubang di tengah adukan, tambahkan kira-kira 75% dari kebutuhan air.

6. Aduk hingga rata dan tambahkan sedikit-demi sedikit air yang tersisa.

b. Pengadukan dengan Mesin

Jika ditinjau dari sisi ekonomi, penggunaan mesin aduk untuk pengerjaan beton yang besar justru akan menurunkan biaya. Campuran beton yang dihasilkan pun biasanya akan bersifat lebih homogen dan plastis. Pengadukan dengan mesin ini dilakukan sesuai dengan manual alat aduknya. Untuk beton siap pakai (PB,1989:27) pengadukan dan pengangkutan harus mengikuti persyaratan dari "*Specification for Ready Mixed Concrete*" ASTM.C94 atau "*Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and and Continuous Mixing*" ASTM C.685.

Secara umum, pengadukan dengan mesin harus dilakukan menggunakan mesin-mesin yang telah disetujui penggunaannya (PB, 1989:27).

Mesin pengaduk harus diputar sesuai dengan kecepatan yang direkomendasikan oleh pabrik pembuatnya. Setelah pencampuran seluruh bahan dalam batching, harus dilakukan pengadukan kembali minimal selama 1.5 menit, kecuali bila dapat dibuktikan bahwa pengadukan yang lebih pendek mampu memberikan hasil yang memuaskan dan memenuhi pengujian keseragaman pengadukan yang ditetapkan dalam ASTM C.94. Ketentuan mengenai waktu pengadukan minimal dapat dilihat pada Tabel 7.1

**Tabel 7.1 Waktu Pengadukan Minimal
(Mulyono, 2004)**

Kapasitas dari Mixer (M ³)	ASTM C.94 dan ACI 318
0.8 – 3.1	1 menit
3.8 – 4.6	2 menit
7.6	3 menit

Menurut SK.SNI.T-28-1991-03 Ps. (3.3.3), waktu pengadukan minimal untuk campuran beton yang volumenya lebih kecil atau sama dengan 1 m³ adalah 1,5 menit, dan ditambahkan selama 0,5 menit untuk penambahan 1 m³ beton serta pengadukan ditambahkan selama 1,5 menit setelah semua bahan tercampur.

Waktu pengadukan ini akan berpengaruh pada mutu beton. Jika terlalu sebentar pencampuran bahan kurang merata, sehingga pengikatan antara bahan-bahan beton akan berkurang. Sebaliknya, pengadukan yang terlalu lama akan mengakibatkan:

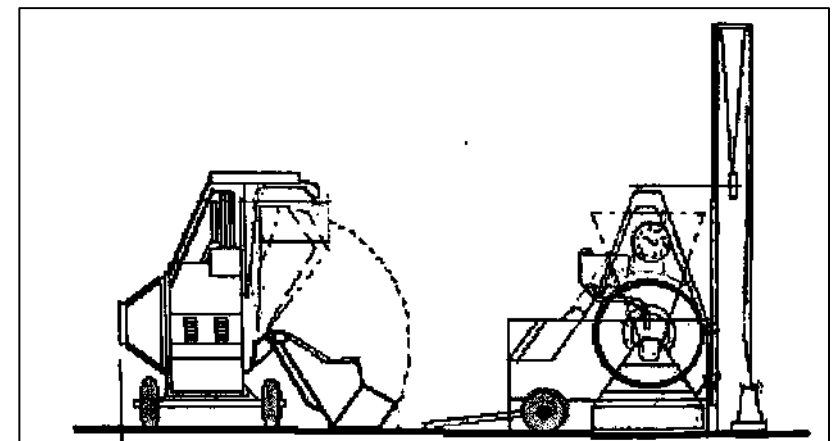
- (1) Naiknya suhu beton,
- (2) Keausan pada agregat sehingga agregat pecah,
- (3) Terjadinya kehilangan air sehingga penambahan air diperlukan,
- (4) Bertambahnya nilai slump dan
- (5) Menurunnya kekuatan beton.

Selama proses pengadukan, kekentalan campuran beton harus diawasi terus dengan cara memeriksa nilai slump yang disesuaikan dengan jarak pengangkutan. Pengontrolan dan pencatatan data selama pengadukan harus dilakukan, meliputi:

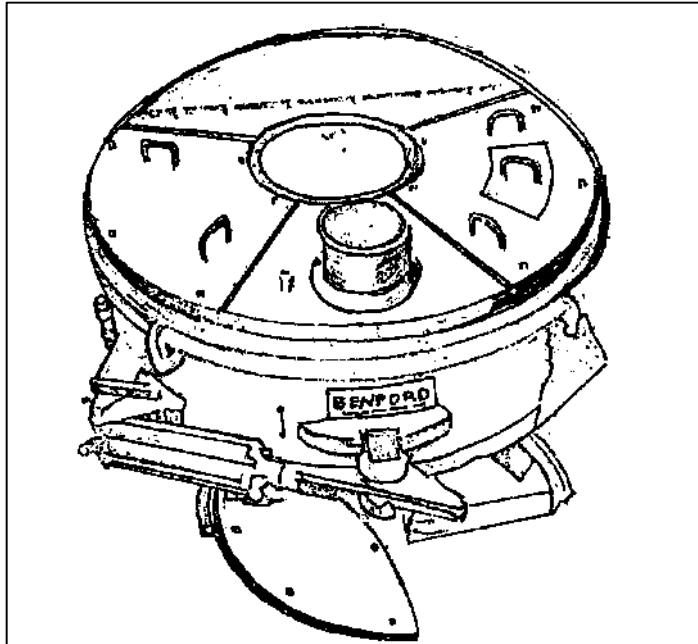
- (1). Waktu dan tanggal pengadukan dan pengecoran,
- (2). Proporsi bahan yang digunakan,
- (3). Jumlah batch adukan yang dihasilkan, dan
- (4). Lokasi akhir pengecoran.

Mesin atau alat pengaduk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu alat aduk yang mobil yang dapat dipindah-pindahkan dan mempunyai kapasitas yang kecil (*mixer* atau molen), serta alat aduk stasioner yang biasanya mempunyai kapasitas besar (*batching plant*). Jika dilihat dari arah perputaran batch-nya, alat aduk dapat dibedakan menjadi 3, yaitu, alat aduk yang berputar vertikal (*vertical mixing or reversing drum mixer*), alat aduk yang berputar mendatar (*horizontal mixing or pan drum mixer*), dan alat aduk yang berputar miring (*tilting drum mixing*).

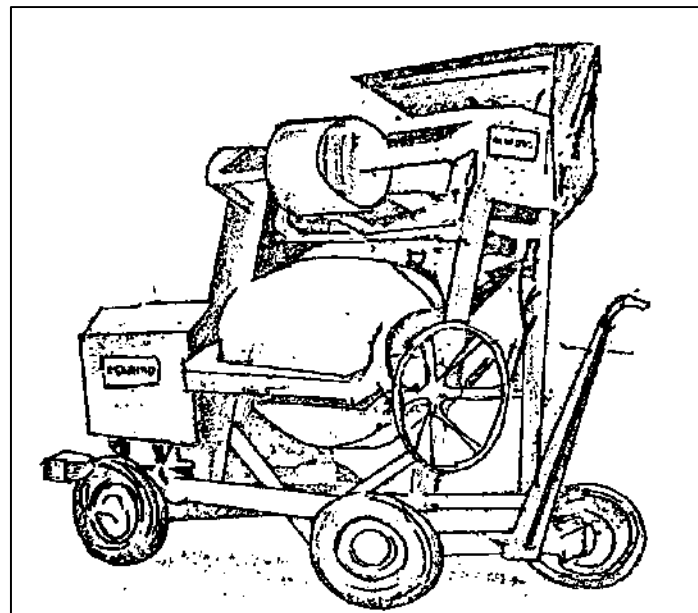
Mesin pengaduk vertikal dan yang berputar miring biasanya dipakai untuk pengerjaan di lapangan dan yang berputar horizontal biasanya digunakan di laboratorium.



Gambar 7.1 Mesin aduk yang berputar vertical (Mulyono, 2004).



Gambar 7.2 Mesin aduk yang berputar horizontal (Mulyono, 2004).

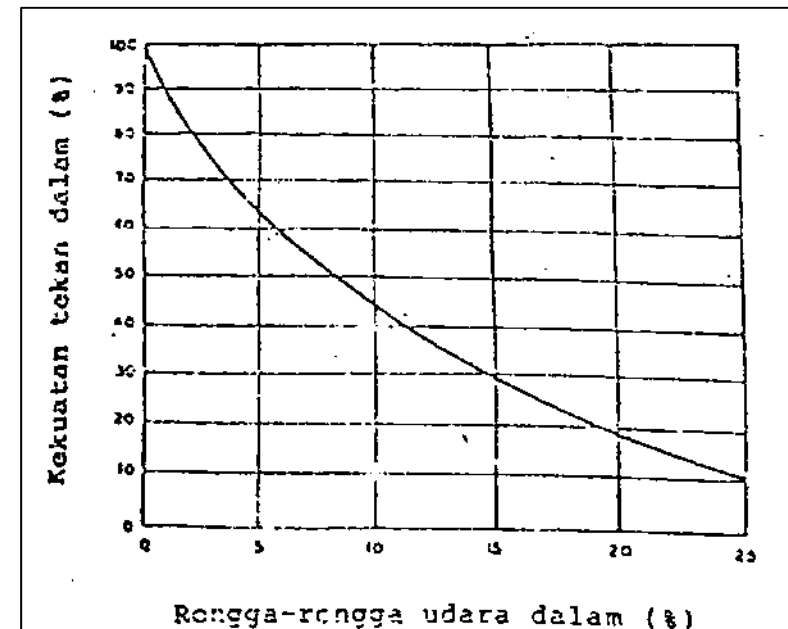


Gambar 7.3 Mesin aduk yang berputar miring (Mulyono, 2004).

7.3 Pemadatan Beton

Pemadatan dilakukan segera setelah beton dituang. Kebutuhan akan alat pemadat disesuaikan dengan kapasitas pengecoran dan tingkat kesulitan pengerjaan. Pemadatan dilakukan sebelum terjadinya initial Setting time pada beton. Dalam praktik di lapangan, pengindikasian initial Setting dilakukan dengan cara menusuk beton tersebut dengan tongkat tanpa kekuatan. Jika masih dapat ditusuk sedalam 10 cm, berarti *setting time* belum tercapai.

Pemadatan dimaksudkan untuk menghilangkan rongga-rongga udara yang terdapat dalam beton segar. Dari Gambar 9.5 terlihat bahwa bertambahnya kandungan udara dalam beton akan menyebabkan kekuatan tekan beton berkurang.



Gambar 7.4 Pengaruh rongga-rongga udara pada kekuatan tekan beton (Mulyono, 2004).

Pada pengerjaan beton dengan kapasitas kecil, alat pemadat dapat berupa kayu atau besi tulangan. Untuk pengecoran dengan kapasitas lebih besar dari 10 m, alat pemadat mesin harus digunakan. Alat pemadat ini lebih dikenal dengan nama vibrator atau alat getar. Pemadatan dilakukan dengan penggetaran. Campuran beton akan mengalir dan memadat karena rongga-rongga akan terisi dengan butir-butir yang lebih halus. Alat getar ini dibagi menjadi dua, yaitu:

- (1) Alat getar intern (*internal vibrator*), yaitu alat getar yang berupa tongkat dan digerakan dengan mesin. Untuk menggunakannya, tongkat dimasukkan ke dalam beton pada waktu tertentu, tanpa harus menyebabkan bleeding.
- (2) Alat getar cetakan (*external vibrator or form vibrator*), yaitu alat getar yang mengetarkan form work sehingga betonnya bergetar dan memadat.

Beberapa pedoman umum dalam proses pemadatan adalah:

- (1) Pada jarak yang berdekatan/pendek, pemadatan dengan alat getar dilaksanakan dalam waktu yang pendek.
- (2) Pemadatan dilaksanakan secara vertikal dan jatuh dengan beratnya sendiri.
- (3) Tidak menyebabkan terjadinya bleeding.
- (4) Pemadatan merata.
- (5) Tidak terjadi kontak antara alat getar dengan bekisting.
- (6) Alat getar tidak berfungsi untuk mengalirkan, mengangkat atau memindahkan betoon.

7.4 Sifat-sifat Beton Segar

Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat yang penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan, sarang kerikil (*segregation*) dan naiknya air (*bleeding*).

a. Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai slump yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain;

- (1) Jumlah air pencampur semakin banyak, air semakin mudah untuk dikerjakan.
- (2) Kandungan semen, Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannyapun akan lebih tinggi.
- (3) Gradasi campuran pasir-kerikil. Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan
- (4) Bentuk butiran agregat kasar. Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
- (5) Butir maksimum
- (6) Cara pemadatan dan alat pemadat.

Percobaan slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan. Percobaan ini dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dan tinggi 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm.

Langkah percobaan adalah sebagai berikut.

- (1) Siapkan alat-alat slump, termasuk centong untuk memasukan semen.
- (2) Bagi volumenya menjadi masing-masing 1/3 volume,
- (3) Jika dihitung, tinggi lapisan 1/3 pertama ± 7 cm, tinggi lapisan kedua ± 9 dan sisanya menjadi tinggi lapisan ketiga.
- (4) Masukkan beton dengan centong secara hati-hati setinggi 1/3 volume (Jangan sampai alat *slump* bergerak).
- (5) Padatkan lapisan tersebut dengan tongkat pemadat dengan menusuk nusuk sebanyak 25 kali.
- (6) Lakukan hal yang sama untuk lapisan kedua dan ketiga.
- (7) Biarkan selama 60 detik setelah lapisan terakhir dikerjakan,
- (8) Angkat alat slump secara hati-hati (jangan sampai miring) hingga mengenai sisi beton segar.
- (9) Letakan alat *slump* di sisi beton segar
- (10) Ukur rata-rata tinggi slump, diukur dari tinggi permukaan alat sampai inggi permukaan beton yang jatuh.

b. Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal. *Pertama*, campuran kurus atau kurang semen. *Kedua*, terlalu banyak air. *Ketiga*, besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm. *Keempat*, permukaan butir agregat kasar; semakin kasar permukaan butir agregat, semakin mudah terjadi segregasi.

Kecenderungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah jika:

- (1). Tinggi jatuh diperpendek,
- (2). Penggunaan air sesuai dengan syarat,
- (3). Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan,
- (4). Ukuran agregat sesuai dengan syarat, dan
- (5). Pemadatan baik.

c. *Bleeding*

Kecenderungan air untuk naik kepermukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan bleeding. Air yang naik ini membawa semen dan Ou-outir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*). Bleeding ini dipengaruhi oleh:

- (1) Susunan butir agregat
Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya bleeding kecil
- (2) Banyaknya air
Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya bleeding.
- (3) Kecepatan hidrasi
Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya bleeding.
- (4) Proses pemadatan
Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya bleeding. Bleeding ini dapat dikurangi dengan cara: (1). Memberi lebih banyak semen, (2). Menggunakan air sesedikit mungkin, (3). Menggunakan butir halus lebih banyak, dan (4). Memasukan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

BAB 8

PENGUJIAN BETON

Pengambilan contoh uji dan pengujian dalam pelaksanaan pekerjaan beton secara umum dapat dibagi menjadi tiga kegiatan. *Pertama*, Pengambilan contoh dan pengujian material penyusun beton, yang meliputi bahan-bahan semen, agregat, air dan atau bahan tambah. Hasil pengujian ini akan digunakan sebagai dasar dari perancangan beton (*mix design*).

Kedua, pengambilan contoh dan pengujian beton segar. Pengujian ini dilaksanakan setelah didapatkan suatu komposisi campuran beton. Pengujian ini dilakukan untuk menguji sifat-sifat dari beton segar dan pengaruhnya nanti setelah beton mengeras. *Ketiga*, pengambilan contoh dan pengujian beton keras. Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kekuatan dari struktur yang direncanakan dan langkah perbaikan selanjutnya.

8.1 Pengujian Material Beton

Pengujian material penyusun beton meliputi pengujian terhadap (1). Portland Cement, (2). Air, (3). Agregat, dan (4). Bahan tambah (admixture atau additive). Bentuk dan cara pengujian disesuaikan dengan rencana metode perancangan campuran beton yang digunakan. Menurut SNI, pengujian material ini harus mengikuti SK.SNI-S-04-1989-F.

a. Pengambilan Contoh Uji Material

Pengambilan contoh uji ini dilakukan agar kondisi sebenarnya dapat terwakili. Batasan minimum contoh yang harus diambil dalam suatu ukuran tertentu belum dijelaskan secara rinci. Secara mudah, untuk tingkat homogenitas material yang tinggi, contoh uji akan lebih sedikit diambil. Standar yang dapat diadopsi mengikuti ASTM D.3665 "Practice for Random Sampling of Construction Material". Aturan pengambilan sampel mengikuti aturan statistik.

1. Portland Cement

Pengambilan contoh uji semen dilakukan secara acak (*random*). Untuk semen zak yang telah disimpan cukup lama dalam gudang, perlu dilakukan pengambilan sampel, begitupun untuk semen curah.

2. Agregat

Pengambilan contoh uji dalam agregat pun harus dilakukan secara tinggi maka acak, namun karena variabilitas sumber agregat yang tinggi maka pengambilan contoh pun bergantung pada tempat asal agregat. ASTM D-75 *Standard Practice for Sampling Aggregates* memberikan rekomendasi tentang pengambilan sampel ini.

(a) Pengambilan dari Quarry

Jika agregat yang akan digunakan dalam campuran nantinya langsung diambil dari *quarry* maka contoh yang diambil harus dapat mewakili. Contoh dapat diambil dari daerah-daerah yang akan digunakan. Untuk lapisan yang lebih dalam, dapat digunakan pengeboran atau pipa yang diruncingkan (khusus agregat halus). Pengambilan contoh

sebaiknya dilakukan pada arah vertikal, karena homogenitas dari sisi vertikal biasanya tinggi.

(b) Pengambilan dari Timbunan (*Stockpiles*)

Jika diambil dari timbunan, contoh uji harus diambil pada interval tertentu yang dirasa mewakili. Pada lapis terdalam, pengambilan dilakukan dengan pipa atau penggalian langsung dengan sekop/ ekskavator.

(c) Pengambilan dari Belt Conveyor

Pengambilan contoh dengan *belt conveyor* harus dilakukan secara penuh dalam arah melintang dan dalam waktu yang pendek. Banyak sedikitnya sampel yang diambil tergantung homogenitas agregat.

(d) Pengambilan dari gerbong kereta api (*trains*)

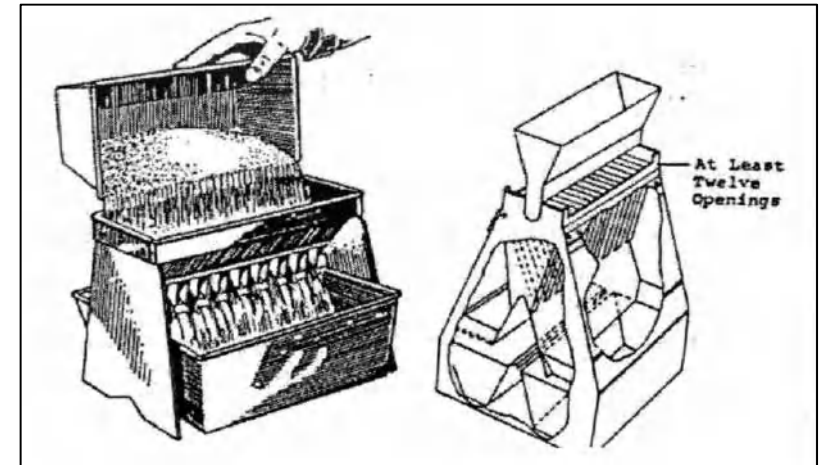
Pengambilan contoh dilakukan pada setiap gerbong, pada sisi-sisi dan tengah gerbong. Banyak sedikitnya contoh uji yang diambil tergantung homogenitas agregat. Jika contoh agregat yang diambil terlalu banyak, dapat dikurangi sesuai dengan kebutuhan.

Pengurangan ini dapat dilakukan secara manual (*Quarter Method*) atau dengan mesin (*Splitter Machine*). Standar yang dapat diadopsi adalah ASTM C.702 "Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size". Berikut ini adalah penjelasan mengenai metode-metode pengurangan tersebut.

- Mesin Pembagi (*Mechanical Splitter*) atau Metode A Splitter Machine/Sample Splitter merupakan alat pembagi contoh yang biasanya digunakan di laboratorium untuk volume pengerjaan yang kecil. Agregat yang masuk ke dalam mesin pembagi akan dibagi dua sama banyak, dimana satu bagian keluar/berhenti dan satu lagi terbagi

dua sama banyak, hingga didapatkan contoh uji yang diinginkan.

- **Quartering Method atau Metode B**
Agregat ditaruh di tempat yang datar kemudian dicampur secara merata. Campuran agregat kemudian dibagi empat sama besar, dengan terlebih dahulu membentuk kerucut dan memberikan beban merata sampai berbentuk lingkaran. Lingkaran tersebut dibagi menjadi empat yang sama besarnya. Dua contoh yang berlawanan arah diambil sebagai contoh uji. Jika masih terlalu banyak, diulangi lagi sampai didapatkan contoh yang diinginkan.
- **Miniatur Penimbunan (*Miniature Stockpile Sampling*) atau Metode C**
Metode pengambilan sampel dengan cara membuat miniatur penimbunan hanya digunakan untuk agregat halus saja. Metode ini merupakan cara C dalam ASTM C.702. Prosedur pelaksana-naannya adalah menempatkan contoh agregat halus pada tempat yang keras serta bersih dan meratakan permukaannya. Material dicampur dan diputar-putar sebanyak tiga kali. Bentuk kerucut dibuat dengan menggunakan sekop. Puncak kerucut kemudian ditekan dengan sekop agar terbagi menjadi empat bagian.



Gambar 8.1 Mesin Pembagi untuk contoh uji kecil agregat halus (Mulyono, 2004).

8.2 Pengujian Beton Segar

Pada dasarnya pengujian beton segar dilakukan untuk melihat konsistensi campuran sebagai dasar untuk kemudahan pekerjaan. Tata cara pengadukan dan pengecoran menurut SNI tertuang dalam SK.SNI.T-28-1991-03. Pengujian beton segar pada umumnya meliputi pengujian slump, bleeding dan berat isi.

Beberapa standar pengujian beton segar menurut ASTM dapat dilihat di Tabel 10.3. Kontrol ini dimaksudkan untuk mendapatkan keseragaman beton yang dihasilkan.

Tabel 8.1 Beberapa Standar Pengujian Beton Segar Menurut ASTM (Mulyono, 2004).

Pengujian	ASTM Standart
Berat Isi dan Kandungan Udara	C.138
Slump Test	C0.143
Pengambilan Beton Segar	C.172
Kandungan Udara dalam Beton Segar Dengan Metode Volumetric	C.173
Kandungan Udara dengan Metode Tekanan	C.231
Bleeding	C.232
Kadar Semen dalam Beton Segar	C.1078
Kandungan Air dalam Beton Segar	C.1079

8.3 Pengujian Kekuatan Beton

Pengujian beton keras dilakukan setelah masa perawatan contoh uji yang caranya dapat mengikuti SK.SNI.T-16-1991-03. SK.SNI.M-08-1991-03 memberikan tata cara pengujian untuk kuat lentur dan SK.SNIM-10-1991-03 memberikan tata cara pengujian untuk kuat tekan.

Pengujian kuat geser tertuang dalam SK.SNI.M-09-1991-03, sedangkan pengujian nilai modulus harus sesuai dengan SK.SNI.M-11-1991-03. Benda uji yang digunakan dapat berupa silinder, balok ataupun kubus dengan ukuran sesuai dengan yang disyaratkan. Beberapa standar menurut ASTM yang dapat digunakan untuk pengujian beton keras adalah sebagai berikut.

Tabel 8.2 Beberapa Standar Pengujian Beton Keras Menurut ASTM (Mulyono, 2004).

Pengujian	Standar ASTM
Pembuatan dan Perawatan benda uji	C.617
Capping silinder	C.31
Pembuatan dan perawatan benda uji di lapangan	C.192
Pembuatan dan perawatan benda uji di laboratorium	C.495
Pengujian kuat tekan	C.873
Aggrerat ringan	C.116
Silinder hasil contoh uji lapangan	C.39
Hasil kuat lentur balok	C.215
Silinder	
Pengujian modulus elastisitas kuat lentur	C.293
Penekanan pada titik pusat balok sederhana dengan tiga titik	C.78
Kuat lentur beton serat	C.1018

8.4 Metode Metode Penilaian Kekuatan Beton

BS 6089 memberikan petunjuk untuk penilaian kekuatan beton pada bangunan yang ada. Secara umum dapat dibagi dalam 2 kategori:

- Pembebanan langsung sampai beban servis dan/atau beban maksimum.
- Pengujian non-destruktif oleh metode dekat-permukaan maupun yang in-depth.

Pembebanan langsung adalah mahal dan tidak selalu sederhana, kecuali masing-masing elemen bisa dibebani secara langsung. Pada umumnya pengujian dilakukan pada elemen lentur seperti pada balok atau plat. Pengujian pada kolom memerlukan beban yang besar dan tidak mudah dilakukan.

Pengujian bisa dilakukan pada prototipe maupun pada elemen yang aktual. Yang pada umumnya dipakai sebagai beban adalah beban mati seperti batu bata, kantong pasir, air atau aktuator hidraulis. Sebagai kriteria penerimaan sering dipakai kekakuan elemen struktur, misalnya defleksi. Namun sering pula diperlukan pengukuran regangan pada beton dan tulangan baja. Bisa memakai BS 8110: part 2 1985 Section 9.5, maupun ACI Committee 318 1989.

Secara umum pengujian non-destruktif bisa dilihat di BS 1881: Part 201: 1986, atau ASTM Annual Book of Standards Volume 04.02. Pengujian ini dilakukan di laboratorium untuk memonitor perubahan properti beton akibat banyak faktor seperti bahan campuran dan proporsinya, metode perawatan, kehancuran karena lingkungan agresif, dan sebagainya.

Akhir-akhir ini penggunaannya berkembang dengan cepat. Teknik dan prosedur yang asalnya dilakukan di laboratorium kini dilakukan di lapangan. Ini menyebabkan kesulitan dalam interpretasi hasil pengujian. Kadang-kadang pengujian lebih lanjut diperlukan untuk pengecekan atau verifikasi.

Sebelum maju lebih lanjut, perlu dibedakan antara istilah kalibrasi dan korelasi. Kalibrasi adalah cek pada akurasi dari peralatan dengan membandingkan nilai yang diindikasikan oleh alat tersebut terhadap nilai yang sudah diketahui, misalnya ketebalan beton decking dengan covermeter.

Korelasi, sebaliknya, adalah hubungan antara nilai yang diindikasikan oleh alat dan kuantitas yang diharapkan yang diukur oleh pengujian lain, misalnya hubungan antara skala pembacaan pada beberapa covermeter jenis analog dengan tebal yang sebenarnya.

8.5 Klasifikasi Pengujian Non-Destruktif

BS 6089 membagi ke dalam 3 kelompok: Pengujian pada Permukaan, Pengujian Dekat Permukaan, dan Pengujian Dalam. Penulis lain mengelompokkannya dalam 2 kategori berikut:

- a. Metode-metode Dekat Permukaan
 1. Metode Kekerasan Permukaan Schmidt Rebound Hammer
 2. Metode Perlawanan Penetrasi - Windsor Probe
 3. Metode Break-off
 4. Metode Pull-off
 5. Metode Pull-out - Sistem Lok-test
 6. Metode Fraktur Internal
- b. Metode-metode Dalam
 1. Metode Kecepatan Pulsa Ultrasonik
 2. Metode Pemboran Inti (*drilled cores*)

Tabel 8.3 Kegunaan Berbagai Metode Pengujian Non-Destruktif Menurut Bs 1881: Part 201: 1986 (Nugraha & Antoni, 2004).

Berbagai Metode	Kontrol Kualitas	Investigasi Standar Kerja	Kontrol Pelepasan Bekisting, Pratekan	Survey Perbandingan Kualitas Beton	Investigasi Potensi Ketahanan	Investigasi Api, Serangan Kimia
pull-out tekanan	x		x			
pull-out (di bor)	x		x	x		x
fraktur internal	x		x	x		x
break-off	x		x			
pull-off	x		x	x		
perlawanan penetrasi	x		x	x		
kekerasan permukaan	x		x	x	x	
screed	x			x	x	
respons dinamis	x	x		x		
kecepatan pulsa ultrasonik	x	x	x	x	x	x
emisi akustik		x			x	
ukur cover elektromagnetik	x	x			x	
radar		x		x		
radiografi		x				x
radiometri	x	x		x		
kelengasan neutron				x	x	
ketebalan karbonasi				x	x	x
absorpsi permukaan awal				x	x	
permeabilitas permukaan					x	
resistifitas					x	
potensi paruh sel					x	

BAB 9

KONTROL KUALITAS

Perlu menyadari perbedaan dua istilah:

Kualitas-totalitas-fitur dan karakteristik sebuah produk atau jasa yang mempunyai kemampuan untuk memuaskan suatu kebutuhan.

Jaminan Kualitas (*Quality Assurance*), semua aktivitas dan fungsi yang berkaitan dengan dicapainya kualitas.

Kontrol kualitas (*Quality Control*), teknik dan aktivitas operasional untuk menjaga kualitas produk atau jasa sesuai dengan syarat yang dispesifikasikan, termasuk menggunakan teknik dan aktivitas tersebut.

Kontrol kualitas adalah bagian dari proses jaminan kualitas guna memastikan kualitas produk dengan menguji untuk mengecek terhadap nilai target tertentu, misalnya uji kubus standar dalam produksi beton.

Kecenderungan mutakhir dalam teknologi konstruksi seperti produksi beton siap pakai (*readymix*) dan produk pabrik pracetak adalah bergerak ke arah industri manufaktur di mana jaminan kualitas lebih sering dipraktikkan daripada hanya kontrol kualitas.

Sarjana teknik sipil harus mengadopsi strategi dan metodologi yang dipakai oleh sektor manufaktur dari industri.

9.1 Kontrol Produksi Beton

Rekaman data yang didapat dari uji benda uji pada kontrol kualitas dipakai oleh kontraktor untuk menghindari ditolaknya pengecoran. Data ini juga dapat dipakai untuk mengoptimasi ekonomi dari produksi betonnya. Misalnya ada peringatan untuk kemungkinan tidak tercapainya kriteria 3 dan 4, sehingga tidak perlu menunggu sampai beton ditolak. Sebaliknya ada peringatan pula bila mutu beton terlalu tinggi sehingga dapat diadakan perencanaan ulang dengan mutu yang lebih rendah.

Hansen menganjurkan bahwa simpangan baku dari rata-rata benda uji adalah SV dan risiko mengambil keputusan yang salah 5%, maka bila kriteria 1 dan 3 disatukan, didapat rumus:

$$f_m \geq f_{tm} - 1,64 S / \sqrt{n} = f_c' + (1,64 - 1,64 / \sqrt{n}) S$$

$$= f_c' + \alpha S$$

di mana n = jumlah benda uji berturut-turut

Dalam praktik, kontraktor akan mulai gelisah dan terperingatkan untuk memperbaiki mutu bila mendapat nilai rata-rata yang selalu di bawah hanya 10%, atau:

$$f_m \geq f_{tm} - 1,28 S / \sqrt{n} = f_c' + (1,64 - 1,28 / \sqrt{n}) S$$

$$= f_c' + \beta S$$

Sebaliknya kontraktor mungkin akan ingin mengurangi jumlah semen bila secara konsisten mendapat hasil kuat yang tinggi dan ada risiko mengambil keputusan yang salah 5%:

$$f_m \geq f_{tm} - 1,64 S / \sqrt{n} = f_c' + (1,64 + 1,64 / \sqrt{n}) S$$

$$= f_c' + \alpha_1 S$$

Tabel 9.1 Keputusan Yang Disyaratkan Dan Dianjurkan Berdasarkan Kuat Rata-Rata Untuk Berbagai Benda Uji (Nugraha & Antoni, 2004)

Jlh benda uji	Tidak memenuhi PBI71	Harus tambah semen	Semen bisa dikurangi	Jlh benda uji	Tidak memenuhi PBI71	Harus tambah semen	Semen bisa di kurangi
1	0	0	3,28	14	1,21	1,3	2,07
2	0,29	0,74	2,79	15	1,22	1,31	2,06
3	0,69	0,9	2,59	16	1,23	1,32	2,05
4	0,91	1,07	2,37	17	1,24	1,33	2,04
5	0,91	1,07	2,37	18	1,25	1,34	2,03
6	0,97	1,12	2,31	19	1,26	1,35	2,02
7	1,02	1,16	2,26	20	1,27	1,35	2,01
8	1,06	1,19	2,22	40	1,38	1,44	1,9
9	1,09	1,21	2,19	60	1,43	1,49	1,85
10	1,12	1,23	2,16	80	1,46	1,50	1,82
11	1,15	1,25	2,13	100	1,48	1,51	1,8
12	1,17	1,27	2,11	~	1,64	1,64	1,64
13	1,19	1,28	2,09				

Rasio S_1/S_r adalah simpangan baku nyata dari hasil benda uji dibagi dengan simpangan baku rencana. Bila rasio $S_1/S_r > 1$ maka 95% pasti bahwa control matematika harus diperketat. Semua prosedur produksi dan pengujian harus ditinjau kembali dan diperbaiki. Bila $S_1/S_r > 1$ setelah rentetan 20 benda uji, S, harus dinaikkan, dan diadakan perencanaan ulang (otomatis kuat target yang diperlukan meningkat).

Sebaliknya bila $S_1/S_r < -1$, maka 95% pasti bahwa S_1/S_r . Bila ini untuk 20 benda uji, maka PBI71 memperbolehkan -1 dikurangi, diadakan perencanaan ulang. Jumlah semen bisa dikurangi, sehingga beton bisa lebih murah.

Tabel 9.2 Keputusan Yang Disyaratkan Dan Di Anjurkan Untuk Penyesuaian Simpangan Baku Rencana S_r Dan Hasil Uji Kubus S_1 , Untuk Berbagai Jumlah Benda Uji (Nugraha & Antoni, 2004)

Jumlah benda uji n	S, harus dinaikkan	S, boleh diturunkan	Jumlah benda uji n	S, harus dinaikkan	S, boleh diturunkan
4	1,35	0,25	14	1,25	0,64
5	1,34	0,34	15	1,24	0,65
6	1,33	0,4	20	1,22	0,7
8	1,3	0,5	30	1,19	0,77
9	1,29	0,53	40	1,17	0,8
10	1,28	0,56	50	1,14	0,82
11	0,27	0,58	60	1,14	0,83
12	1,27	0,6	100	1,1	0,87
13	1,26	0,62	~	1	1

9.2 Faktor-Faktor yang Berkontribusi pada Variasi Kekuatan Beton

Ada banyak faktor. Beberapa yang penting adalah:

1. Variasi kualitas semen
 - a. Semen dari satu sumber - antar takaran.
 - b. Semen dari berbagai sumber - antar penyedia (*supplier*).
2. Variasi agregat
 - a. Deviasi harian pada gradasi antar takaran.

- b. Penyelia yang berbeda - bentuk butir, tekstur, dan gradasi.
3. Variasi material yang ditakar
 - a. Akurasi alat penakar - frekuensi kalibrasi.
 - b. Akurasi penakaran atas berat takaran pelatihan, keterampilan dan kepatuhan operator.
 4. Kontrol faktor air-semen
 - a. Metode dan frekuensi pengukur kadar lengas agregat.
 - b. Metode dan frekuensi pengukuran kelecakan beton.
 - c. Metode penyesuaian untuk kadar lengas dan mempertahankan kelecakan yang konstan. lengas dan mempertahankan
 5. Kesalahan yang berkaitan dengan pengukuran kekuatan
 - a. Frekuensi dan akurasi benda uji.
 - b. Akurasi peralatan cetakan dan alat penguji, pembuatan, perawatan, penanganan dan pengujian spesimen.

9.3 Tahapan Kontrol Kualitas

1. Pengiriman bahan-bahan campuran
 - a. Tes standar pada kualitas semen waktu yang tidak cukup antara datangnya semen dan pemakaian dalam produksi beton jadi untuk melakukan pengujian.
 - b. Gradasi dan kelengasan agregat.
 - c. Berat jenis campuran, waktu dipakai.
2. Produksi
 - a. Nilai dari simpangan baku dalam produksi dan rincian faktor yang berkontribusi.
 - b. Cek akhir dari kelecakan dengan mata.

- c. Alat khusus lain seperti konsumsi energi alat pengaduk, konduktivitas listrik atau kapasitas dari beton segar.
3. Konstruksi
- a. Proses tahap-tahap pengangkutan, penanganan, peletakan, pemadatan, penyelesaian dan perawatan, yang sangat tergantung pada inspeksi visual dan pengamatan praktik pembetonan yang baik oleh personal lapangan. Daerah aktivitas ini membutuhkan keinginan baik, kerjasama, dan profesionalisme dari semua pihak yang terlibat atau penyelia, kontraktor, staf pengawas dan pemilik dan kerajinan pengawasan dari prosedur sepanjang waktu. Tidak mudah, dan jikalau mungkin, untuk mengkuantitaskan variabel-variabel dan pengaruhnya dalam daerah daerah tersebut.
4. Pengujian kontrol
- a. Kelecekan, kadar udara, jika disyaratkan dan kepadatan beton segar yang sudah dipadatkan.
 - b. Analisis beton segar, dengan *Rapid Analysis Machines* untuk evaluasi dan penyesuaian.
 - c. Uji kekuatan awal atau yang dipercepat untuk memberikan estimasi potensi kekuatan pada umur kemudian, umumnya 28 hari.

BAB 10

PERWATAN DAN PERBAIKAN STRUKTUR BETON

Beton yang telah dibuat dan menjadi sebuah struktur, harus dirawat selama usia strukturnya. Tindakan perawatan ini dimaksudkan untuk menjamin tercapainya usia ekonomi struktur tersebut. Salah satu sifat yang penting dari beton adalah keawetannya, yakni mampu menahan serangan atau pengaruh kimia dan fisika serta mekanis (*ductility*). Menurut (Mulyono, 2004) memberikan contoh antara lain:

- (1) Tahan terhadap korosi dan serangan air, dibandingkan dengan baja,
- (2) Tahan terhadap api, dibandingkan baja,
- (3) Tahan terhadap beban kejutan dan gempa, dapat berperilaku duktail dan
- (4) Tahan terhadap perubahan suhu, susut karena suhu kecil sekali. Keawetan yang baik didapatkan jika perencanaan, pelaksanaan dan perawatan beton pada struktur dilakukan dengan baik.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam tahapan perencanaan selain dari kekuatan struktur adalah:

- (1) Tidak cukupnya gambaran pembagian beban sehingga pemilihan bahan menjadi tidak benar dan tahapan pelaksanaan menjadi salah.
- (2) Ketidaktelitian detail, misalnya jarak jarak tulangan,

- (3) Kesalahan hitung,
- (4) Selimut beton kurang diperhatikan, dan
- (5) Detail sambungan atau tempat di mana berhentinya pengecoran.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam tahapan pelaksanaan meliputi

- (1) Ketidakkokohan bekisting/acuan dan perancah/form-work,
- (2) Tidak adanya selimut beton,
- (3) Kurangnya perhatian pada sambungan beton,
- (4) Penghentian pengecoran pada tempat yang salah,
- (5) Jenis semen yang digunakan tidak tepat,
- (6) Penggunaan bahan kimia tambahan (*admixture*),
- (7) Tinggi penuangan yang besar dan
- (8) Cara pemadatan.

Kecuali untuk kasus khusus, pengecoran yang menggunakan tremi jarang digunakan lagi karena hal ini akan menyebabkan:

- (1) Tidak homogenya campuran,
- (2) Keplastisan yang diperlukan tinggi, dan
- (3) Komposisi campuran kadang-kadang tidak tepat lagi atau lebih banyak air untuk melancarkan penuangan.

Indikasi dari pengeluaran biaya untuk pekerjaan beton meliputi:

- (1) Biaya perawatan atau curing cost selama pelaksanaan,
- (2) Biaya pemeriksaan (*inspection cost*) dan *preventive cost* yaitu biaya untuk perbaikan,
- (3) Perawatan koreksi termasuk perbaikan kemudian dan
- (4) Penggantian bagian-bagian yang rusak.

Kecerobohan pada saat perencanaan dan pelaksanaan akan menyebabkan tingginya biaya struk-tur (*cost structure*) secara keseluruhan. Setelah struktur jadipun, banyak terjadi kesalahan dalam pemakaian yang antara lain disebabkan oleh:

- (1) Pemberian beban yang berlebih,
- (2) Perubahan fungsi dan
- (3) Penambahan struktur yang tidak direncanakan.

10.1 Metode Pemeriksaan

Suatu pemeriksaan dimulai dari historis atau sejarah mengenai bangunan dengan perhatian terhadap lokasi, tempat siar, sambungan, persoalan selama pelaksanaan, campuran beton, tulangan, perawatan kemudian, finishing, dan perbaikan sebelumnya.

Pemeriksaan mengenai sejarah perencanaan dan pelaksanaan akan menghasilkan suatu tindakan perbaikan yang tepat yang akan dilakukan kemudian. Tinjauan mengenai perbaikan ini haruslah memperhatikan aspek ekonomis dan aspek tekniknya, sehingga jika ditinjau secara kekuatan struktur tetap terjaga dan melibatkan biaya perbaikan yang rendah. Pemeriksaan pertama dapat dilakukan secara visual atau kasat mata selanjutnya barulah diambil langkah pemeriksaan secara mendalam/detail.

a. Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual ditujukan pada tempat-tempat rawan/akibat korosi misalnya, elemen tipis, pemasangan pagar berkisi, saluran air, balkon/konsol, sambungan-sambungan.

Hasilnya ditabelkan pada tabel kerusakan dan penyebabnya dan didokumentasikan dengan foto-foto.

Tabel 10.1 Kerusakan Dan Penyebab (Mulyono, 2004).

No	Kerusakan	Penyebab
1.	Retak halus keliatan (retak rambut)	Kering-susut Hidrasi Kelebihan beban struktur Deformasi tak sempurna
2.	Rongga dalam beton	Segregasi, Penguapan tak sempurna
3.	Permukaan berpasir (laitance)	Bleeding, Kurang Perawatan
4.	Kerusakan setempat	Beban mekanis (gempa)
5.	Karat	Korosi
6.	Bintik-bintik coklat diretakan	Pengaruh klorida

10.2 Kerusakan-Kerusakan pada Beton

Keawetan struktur beton selama masa pelaksanaan masih tetap memerlukan jaminan pengawasan pelaksanaannya, agar beton tidak menimbulkan kerusakan pada kondisi normal selama umur rencana.

Namun demikian, kadangkala beton dapat rusak selama masa umur umur rencananya. Kerusakan-kerusakaan tersebut terjadi akibat pengaruh mekanis, fisika dan kimia. Untuk itu, perlu diambil langkah-langkah pencegahan.

10.3 Perawatan dan Tindakan Perbaikan

Tindakan ini dilakukan untuk menjamin keawetan beton. Kegiatan pemeriksaan dilakukan secara teratur (*regularly*), sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sesegera mungkin.

a. Perawatan

Perawatan dapat diartikan sebagai langkah-langkah perlindungan yang diberikan pada beton. Langkah perlindungan ini dapat berupa pemberian lapisan pelindung agar gangguan luar dapat diperkecil. Perlindungan ini dapat berupa pengecatan (*coating*), pemlesteran, pemberian lapisan penutup karet dan baja.

b. Perbaikan

Tindakan perbaikan meliputi perbaikan pada fase pelaksanaan dan setelah beton mengeras. Tindakan ini dapat berupa pengasaran lapis permukaan, penghan-curan bagian yang rusak dan menggantinya dengan beton baru (*demolition*) dan pengasaran sedikit bagian permukaan atau membuang sedikit bagian yang rusak (*chipping*), *sandblasting* atau pengamplasan, ataupun pemberian lapisan pada permukaan yang diperbaiki (*coating*). Tindakan ini menggunakan mutu bahan yang lebih tinggi dari mutu beton yang diperbaiki, misalnya menggunakan *cement grout*.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Material Journal , Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash, ACI Material Journal Vol.90. No. 3 May-June 1993. pp. 272-283.
- American Concrete Institute, ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinforce Concrete, Part I, General Requirement, Fifth Edition, Skokie, Illinois, USA: PCA, 1990. pp. 5.
- American Society for Testing and Material, Annual Book of ASTM Standards 1995: Vol.04.02, Concrete and Aggregates, Philadelphia: ASTM 1995.
- American Society for Testing and Material, Annual Book of ASTM Standards: Part 14, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia: ASTM 1983.
- American Society for Testing and Material, Annual Book of ASTM Standards 1995: Vol.04.02, Concrete and Aggregates, Philadelphia: ASTM 1995.
- American Concrete Institute, Admixture for Concrete, ACI.212.1R-81 Revised 1986, USA: ACI Committee 212, 1986.
- American Concrete Institute, ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinforce Concrete, Part II, Material Concrete Quality, Fifth Edition, Skokie, Illinois, USA: PCA, 1990.
- American Concrete Institute, ACI Manual of Concrete Practice; Part I, Material, Detroit: American Concrete Institute, 1983.

- American Society for Testing and Material, Annual Book of ASTM1 Standards: Part 14, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia: ASTM 1983.
- Amirudin, N., Pedoman Konstruksi Beton. Edisi Pertama, Bandung: PEDC, 1982.
- Ardiansyah, R. (2021, Februari 26). *Teknologi Bahan Konstruksi dan Perencanaan*. Retrieved from slideplayer.info/: <https://slideplayer.info>. Diakses, 2 Februari 2021, pukul 12.00 WIB
- ASTM C-33, Specification for Concrete Aggregates, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States, 1990.
- ASTM, Concrete and Aggregates, Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02.1995, Philadelphia: ASTM, 1995.
- ASTM D.3665 Practice for Random Sampling of Construction Material Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.03.1995, Philadelphia: ASTM, 1995.
- Astuti, E.D et al, Semen Portland Pozzolan, Paket C Perencanaan, Pengembangan dan Pengendalian Pekerjaan Beton, UK Petra, 23 Sept-5 Okt 1991.
- Auburn University, Historical Timeline of Concrete, <http://www.duc.auburn.edu/academic/architecture/bsc/classes/bsc314/timeline/timeline.htm>
- [Auburn.edu/academic/architecture/bsc/classes/bsc314/timeline/timeline.htm](http://www.duc.auburn.edu/academic/architecture/bsc/classes/bsc314/timeline/timeline.htm)
- Bayuaji, R., Teknologi Beton dan Begisting, Material Penyusun Beton, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ITS, Surabaya, 2017.
- Beedle, D., Portland cement in the Making, Cement and Concrete Association, 1983.
- Cain, Craig J., Mineral Admixture, Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete-Making Material-STP 169 C, Philadelphia, ASTM, 1994. pp. 500-508.
- Cements, Vol. 21. No.4, Publics Road, Western Region, USA, 1940
- Departemen Pekerjaan Umum. Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Pedoman Beton 1989. SKBI.1.4.53. 1989. Draft Konsensus. Jakarta: DPU, 1989.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. SK SNI T-15-1991-03. Cetakan Pertama, Bandung: DPU - Yayasan LPMB, 1991.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal. SK SNI T-15-1990-03. Cetakan Pertama, Bandung: DPU -Yayasan LPMB, 1991.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal. SK SNI T-15-1990-03. Cetakan Pertama, Bandung: DPU -Yayasan LPMB, 1991. Pp. 38.
- Departemen Pekerjaan Umum. Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Pedoman Beton 1989. SKBI.1.4.53.1989. Draft Konsensus. Jakarta: DPU, 1989.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. SK SNI T-15-1991-03. Cetakan Pertama, Bandung: DPU - Yayasan LPMB, 1991.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal. SK SNI T-15-1990-

03. Cetakan Pertama, Bandung: DPU -Yayasan LPMB, 1991.
- DeHayes, Sharon M., Hydraulic Cement-Cemical Properties, in Concrete and Concrete-Making Materials STP.169C, Philadelphia: ASTM, 1994 pp.462-477.
- Depertemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi, PEDC, Teknologi Bahan 2, Edisi 1983, Bandung: PEDC, 1983.
- Departemen Pekerjaan Umum. Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Pedoman Beton 1989. SKBI.1.4.53.1989. Draft Konsensus, Jakarta: DPU.LPMB, 1989.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. Tata Cara Pembuatan Benda Uji untuk Pengujian Laboratorium Mekanika Batuan. SK SNIT-28-1991-03. Cetakan Pertama, Bandung: DPU Yayasan LPMB,1992.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam) SK SNI S-04-1989-F. Cetakan Pertama, Bandung: DPU - Yayasan LPMB, 1989.
- Fiorato, Anthony E., Variability of Concrete-Making Materials, in Concrete and Concrete-Making Materials STP.169C, Philadelphia: ASTM, 1994 pp.31-37.
- Fookes, P.G., Aggregates in Indonesia, 1983.
- Fookes, P.G., Concrete in the Middle East, Viewpoint Publication, Cement & Concrete Association, 1977.
- Harries, K.A., Concrete Construction in Early Rome, Concrete International January 1995.
- Helmuth, Richard A. The Nature of Concrete, in Concrete and Concrete-Making Materials STP.169C, Philadelphia: ASTM, 1994 pp.5-14.
- History of Concrete. <http://www.gaynor.net/editcone.htm>
- History of Concrete. <http://www.perfectpavements.com/PPhistory.html>
- History of Concrete Timeline. <http://symons.com/concrete/history.htm>
- History of concrete. <http://concretethinker.com/Papers.aspx?DocId-337>
- Huang. C.Y. Feldman, Influence of Silika fume on the Microstructure Development in Cement Mortars. Cement and Concrete Research, Vol 15 No. 2, 1985.
- Ilsley, H, Laurence, American Higway Practice, in Chapter: Design of Cement Concrete Pavement Mixtures. Volume 11, Fourth Edition, New York, USA: Jhon Wiley & Sons, Inc, 1949, pp. 491.
- Jackson, N. Civil Engineering Material. Great Britain: Unwin Brothers Ltd. 1977.
- Moore, David. The Roman Pantheon: The Triumph of Concrete. <http://www.romanconcrete.com>
- Moore, David, The Riddle of Ancient Roman Concrete, <http://www.Moore,romanconcrete.com/spillway.htm>
- Mulyono, T., Teknologi Beton, Yogyakarta, Penerbit Andi, 2004.
- Murdock, L.J. L.M.Brock, dan Stephanus Hendarko., Bahan dan Praktek Beton. Jakarta: Erlangga, 1991.
- Nawy., Edward. G., Reinforce Concrete a Fundamental Approach Terjemahan, Cetakan Pertama, Bandung: PT.Eresco, 1990.

- Nugraha, P, Antoni, Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi
- Nugraha, P., Sugiharto, H., dan Sahureka, T., Potensi Propinsi Maluku dalam Pengembangan Teknologi Beton, International Conference on Modern Design & Construction of Structure -for Safety, Economy and Durability, UK Petra. 16-17 Nopember 1994.
- Portland cement Association. A History of Cement, <http://www.portcement.org/indhist.htm>
- Prabowo, H. (2010, November 13). *Sejarah semen dan beton bagian 1*. Retrieved from prabowoherry.wordpress.com: <https://prabowoherry.wordpress.com>. Diakses 2 Februari 2021, pukul 13.00 WIB
- Sagel.R and H. Kesuma., Gideon. Pedoman Pekerjaan Beton. Cetakan Ketiga, Jakarta: Erlangga, 1994.
- Santoso, A., Astuti, E.D., Jenis Semen dan Penggunaannya ntuk Beton, Seminar Teknologi Beton dalam Rangka Menyambut PBI 1988, 21 Agustus 1986.
- SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Bandung, Desember, 2002.
- Stanley, C.C., Highlights in The History of Concrete, Cement and Concrete Association, 1982.
- World Business Council for Sustainable Development, Toward a Sustainable Cement Industry, <http://www.wbesdcenment.org/>

INDEKS

A

- Abrams · 11
 ACI Committee 212 · 68
 Adhesi · 6
 Agregat · 5, 6, 29, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 93, 97, 98, 100
 Anthony · 10, 124
 Antoni · 30, 33, 35, 45, 48, 49, 50, 65, 106, 111, 112, 126
 ASTM · 9, 10, 15, 31, 35, 39, 45, 47, 48, 53, 67, 68, 69, 83, 85, 86, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 120, 121, 122, 124, 125

B

- Bayuaji · 4, 5, 12, 36, 122
 Blaine · 37
 Brock · 6, 126
 Bryant · 70

C

- Cain · 75, 122
 Cemengrouting · 83

D

- Defleksi · 104
 Deformasi · 2, 16
 Destruktif · 103, 104

E

- Evaporasi · 61

F

- Fiorato · 10, 124
 Fly-Ash · 77
 Fraksi · 44

G

- Gradasi · 42, 45, 46, 47, 48, 77, 79, 113

H

- Hansen · 110

I

- Inspeksi · 114

J

Jackson · 6, 126

K

Kalibrasi · 104, 113

Kel · 20

Komposit · 7, 15, 16, 20

L

LPMB · 5, 122, 123, 124

M

Mather · 70

Mortar · 6, 21, 31, 39, 46, 67,
68, 70, 73, 76

Mulyono · 39, 40, 41, 43, 56,
57, 59, 64, 81, 86, 88, 89,
90, 91, 101, 102, 103, 115,
118, 126

Murdock · 6, 126

N

Nawy · 3, 6, 126

Nugraha · 30, 33, 35, 45, 48,
49, 50, 65, 106, 111, 112,
126

P

PB · 31, 56, 57, 69, 82, 85, 86

Portland · 5, 1, 3, 5, 14, 22,
23, 30, 31, 32, 33, 34, 35,
36, 37, 97, 98, 120, 121,
122, 127

Preskriptif · 47

S

Slump · 9, 69, 70, 75, 77, 87,
93, 94, 101

Slurry · 60

SNI · 1, 5, 9, 68, 83, 84, 86,
98, 101, 102, 123, 124, 127

GLOSARIUM

Adhesi	: Gaya tarik-menarik antar molekul yang tidak sejenis.
Agregat	: Material granular seperti pasir, kerikil, batu pecah yang dipakai secara bersama-sama dengan satu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan.
ASTM	: Singkatan dari American Society for Testing and Materials. merupakan organisasi internasional sukarela yang mengembangkan standardisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa.
Blaine	: Nilai kehalusan semen
Defleksi	: Proses hilangnya infleksi.
Deformasi	: Perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena di terapkan gaya atau perubahan suhu.
Destruktif	: Merusak, memusnahkan, atau menghancurkan.
Evaporasi	: Penguapan.
Fluktuasi	: Ketidaktetapan Atau Guncangan
fly-ash	: Merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara telah digunakan sebagai bahan campuran <i>pada beton</i> .
Inspeksi	: Pemeriksaan dengan saksama; pemeriksaan secara langsung.
Kalibrasi	: Merupakan proses verifikasi bahwa

- suatu akurasi alat ukur sesuai dengan rancangannya.
- Komposit : Gabungan; campuran.
- Mortar : Campuran dari bahan pengikat (semen, kapur), bahan pengisi (pasir) dan air.
- Preskriptif : Menurut ketentuan
- Slump : Alat uji konsistensi/kekentalan adonan beton.

TENTANG PENULIS



Fahrizal Zulkarnain, lahir di Medan, 27 April 1975. Meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) tahun 1998. Kemudian gelar Master of Science (M.Sc) dari Universiti Sains Malaysia (USM) pada tahun 2000. Selanjutnya, gelar Doktor of Philosophy (Ph.D) dari Universiti Sains Malaysia (USM) pada tahun 2012. Pada saat ini sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Selain menjadi dosen di Fakultas Teknik, dan Program Pasca Sarjana, penulis juga aktif di Persatuan Insiyur Indonesia (PII), Wilayah Sumatera Utara, serta meneliti tentang teknologi beton, material beton, beton ringan, dan beton bertulang pada bangunan.

TEKNOLOGI BETON

Buku ini dipersiapkan terutama untuk mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, yang sedang mengambil mata kuliah Teknologi Beton, sebagai menjadi bahan bacaan, informasi dan tambahan literatur kepada mahasiswa mengenai teknologi yang ada pada beton secara umum, dan penggunaan beton dalam struktur bangunan yang sesuai yang ada di lapangan.

Materi dalam buku akan memberikan gambaran secara praktis kepada mahasiswa mengenai bahan dasar campuran beton, pengerjaan beton, bahan tambah, pengujian beton, dan kontrol kualitas serta pada tahap akhir mengenai perawatan dan perbaikan struktur beton.



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3
Medan, Sumatera Utara
Website: <http://umsupress.umsu.ac.id/>
Email: umsupress@umsu.ac.id

