



UNIVERSITAS INDONESIA

**HUBUNGAN ANTARA KUAT TEKAN DAN MODULUS
ELASTISITAS DENGAN FAKTOR AIR SEMEN PADA BETON
YANG DIBUAT DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN
PORTLAND PUTIH**

SKRIPSI

BANU ADJIE NUGROHO

04 05 01 010 8

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**HUBUNGAN ANTARA KUAT TEKAN DAN MODULUS
ELASTISITAS DENGAN FAKTOR AIR SEMEN PADA BETON
YANG DIBUAT DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN
PORTLAND PUTIH**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana teknik**

**BANU ADJIE NUGROHO
04 05 01 010 8**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Banu Adjie Nugroho
NPM : 04 05 01 010 8
Tanda Tangan : 
Tanggal : 17 juli 2009

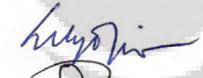
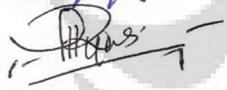
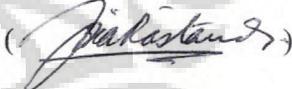
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Banu Adjie Nugroho
NPM : 04 05 01 010 8
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Hubungan Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas dengan Faktor Air Semen pada Beton yang Dibuat dengan Menggunakan Semen Portland Putih

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Elly Tjahjono S. , DEA. ()
Pembimbing : Ir. Essy Ariyuni, MSc. , PhD. ()
Penguji : Ir. H. Madsuri, M.T. ()
Penguji : Dr.-Ing. Josia I. Rastandi ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

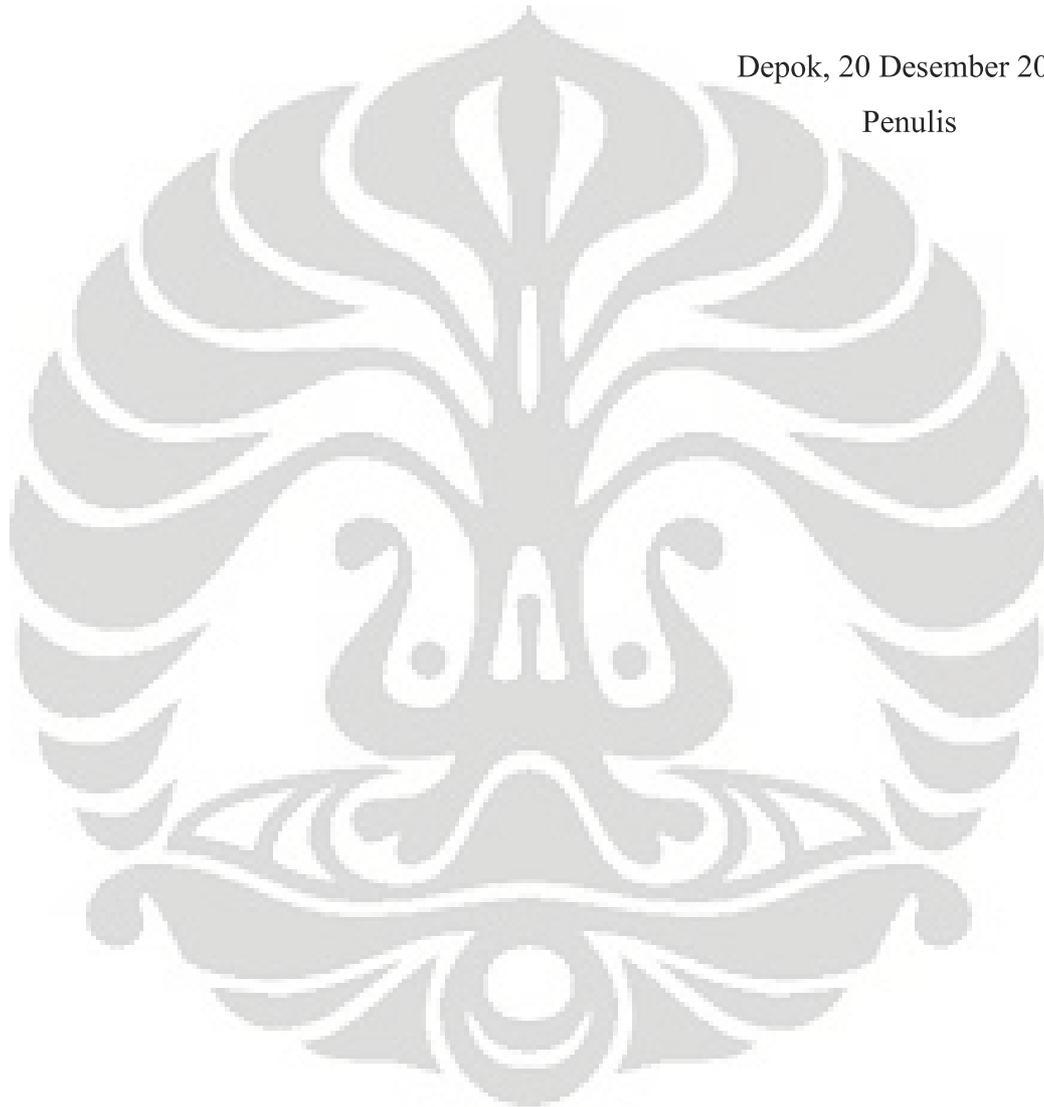
- (1) Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, DEA., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- (2) Dr. Ir. Elly Tjahjono S., DEA., selaku dosen pembimbing pertama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Ir. Essy Ariyuni, MSc., selaku dosen pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (4) Dr. Ing. Ir. Josia Irwan Rastandi, selaku dosen penguji;
- (5) Ir. Madsuri, M.T., selaku dosen penguji;
- (6) Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia lainnya yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya yang tak ternilai;
- (7) seluruh staf Departemen Teknik Sipil dan Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (8) PT. Adhimix, yang telah memberikan material penelitian yaitu agregat kasar dan halus;
- (9) PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk, yang telah memberikan material penelitian yaitu semen portland putih (White Cement);
- (10) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;

(11) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknik sipil.

Depok, 20 Desember 2006

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Banu Adjie Nugroho

NPM : 04 05 01 010 8

Program Studi : Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Hubungan Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas dengan Faktor Air Semen
pada Beton yang Dibuat dengan Menggunakan Semen Portland Putih

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juli 2009

Yang menyatakan



(Banu Adjie Nugroho)

ABSTRAK

Nama : Banu Adjie Nugroho
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Hubungan Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas dengan Faktor Air Semen pada Beton yang Dibuat dengan Menggunakan Semen Portland Putih

Skripsi ini membahas tentang hubungan kuat tekan dan modulus elastisitas dengan faktor air semen beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih/*White Cement* (WC) serta membandingkannya dengan beton yang dibuat dengan menggunakan semen abu-abu/*Portland Composite Cement* (PCC). Penelitian ini dilakukan melalui percobaan laboratorium dengan membuat benda uji silinder beton diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 68 buah. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa beton dengan semen putih/WC memiliki kuat tekan dan modulus elastisitas yang lebih besar dari pada beton dengan semen abu-abu/PCC. Juga didapatkan hubungan bahwa semakin besar kuat tekan, semakin besar nilai modulus elastisitas yang dihasilkan. Semakin kecil FAS (antara 0,4-0,55), semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan (hingga 118,34%). Dan semakin besar FAS, semakin kecil nilai modulus elastisitas yang dihasilkan (hingga 65,45%).

Kata kunci:
kuat tekan, modulus elastisitas, FAS, WC, PCC

ABSTRACT

Name : Banu Adjie Nugroho
Study Program : Civil Engineering
Judul : Relation Between Compression Strength and Modulus of Elasticity with Water Cement Ratio on Concrete by Using White Portland Cement

The focus of this study is about the relation between compression strength and modulus of elasticity with water cement ratio the concrete made by using White Cement (WC) and also compare it with the concrete made by using Portland Composite Cement (PCC). This Research through attempt in laboratory by making samples concrete cylinder with diametre of 150 mm and 300 mm high as many as 68 samples. From the research got that concrete with White Cement (WC) had the strength and modulus of elasticity larger than concrete with Portland Composite Cement (PCC). Was also got the relation that more big of strength, more bigger produce modulus of elasticity. The smaller water cement ratio (between 0,4-0,55), the biggest strength (up to 118,34%). And the biggest water cement ratio, smaller assessed produce the modulus of elasticity (up to 65,45%).

Key words:

Compression strength, modulus of elasticity, water cement ratio, WC, PCC

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
2. LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Beton	6
2.1.1 Riwayat Perkembangan.....	6
2.1.2 Deskripsi	7
2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan.....	8
2.1.4 Kinerja.....	9
2.2 Jenis-Jenis Beton	12
2.2.1 Beton Ringan.....	12
2.2.2 Beton Berat.....	12
2.2.3 Beton Massa (Mass Concrete)	13
2.2.4 Ferro-Cement	13
2.2.5 Beton Serat (Fibre Concrete)	14
2.2.6 Beton Siklop.....	14
2.2.7 Beton Hampa (Vacuum Concrete).....	14
2.3 Sifat dan Karakteristik Beton	15
2.3.1 Kuat Tekan Beton (f'_c)	15

2.3.2	Umur Beton.....	16
2.3.3	Modulus Elastisitas Beton (E_c)	18
2.3.4	Faktor Air Semen (FAS).....	23
2.4	Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Tekan Beton	27
2.4.1	Air	28
2.4.2	Semen.....	31
2.4.3	Agregat.....	46
2.4.4	Bahan Tambah	52
3.	METODOLOGI PENELITIAN.....	54
3.1	Bahan Pembentuk Beton	55
3.2	Pengujian Bahan Pembentuk Beton	56
3.2.1	Pemeriksaan Terhadap Semen	56
3.2.2	Pemeriksaan Terhadap Agregat Halus	60
3.2.3	Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar	63
3.3	pembuatan beton.....	66
3.3.1	Perancangan Campuran.....	66
3.3.2	Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji	67
3.4	PEMERIKSAAN KUALITAS BETON	68
3.4.1	Pemeriksaan Kualitas Beton Segar	68
3.4.2	Pemeriksaan Kualitas Reton Keras	69
4.	PEMBAHASAN	72
4.1	Pengujian semen.....	72
4.1.1	Berat Jenis Semen Portland.....	72
4.1.2	Konsistensi Normal Semen Hidrolis.....	72
4.1.3	Waktu Ikat Semen Hidrolis.....	73
4.2	Pengujian agregat halus	74
4.2.1	Berat Jenis dan Penyerapan.....	74
4.2.2	Kandungan Zat Organik.....	75
4.2.3	Analisa Saringan dan Modulus Kehalusan	76
4.3	Pengujian agregat kasar	77
4.3.1	Berat Jenis dan Penyerapan.....	78
4.4	Rancang campur	78
4.5	Pengujian beton	79
4.5.1	Uji Tekan dan Slump	79
4.5.2	Modulus Elastisitas	82
4.6	Analisa.....	84

4.6.1	Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton.....	84
4.6.2	Hubungan Kuat Tekan dengan FAS	85
4.6.3	Hubungan Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas	88
4.6.4	Hubungan Modulus Elastisitas dengan FAS.....	89
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	91
	DAFTAR REFERENSI	94
	LAMPIRAN	95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1.	Dampak Penggunaan Material dalam Membentuk Kinerja Beton	11
Gambar 2. 2.	Dampak Penggunaan Material dalam Membentuk Kinerja Beton Berdasarkan Tipe Konstruksi.....	12
Gambar 2. 3.	Hubungan Kuat Tekan Terhadap Umur Beton dari Berbagai FAS pada Beton yang Menggunakan Ordinary Portland Cement/OPC	17
Gambar 2. 4.	Empat Garis Statik Modulus Young dari Elastisitas Beton	19
Gambar 2. 5.	Hubungan Stress/Strength Ratio dan Strain Pada Beton dengan Perbedaan Kuat Tekan	20
Gambar 2. 6.	Kurva Stress-Strain untuk Pasta Semen, Agregat, dan Beton.....	21
Gambar 2. 7.	Hubungan Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari dengan FAS Menggunakan Semen yang Cepat Mengeras	24
Gambar 2. 8.	Hubungan FAS dengan Kuat Tekan Beton.....	24
Gambar 2. 9.	Hubungan Antara Kuat Tekan dengan FAS.....	25
Gambar 2. 10.	Hubungan Antara Kuat Tekan dengan FAS.....	26
Gambar 2. 11.	Proses Terjadinya Pengikatan dalam Beton.....	27
Gambar 2. 12.	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Tekan Beton	28
Gambar 2. 13.	Mineral Dasar Penyusun Portland Semen.....	34
Gambar 2. 14.	Perkembangan Kuat Tekan Beton untuk Berbagai Tipe Semen Portland dengan FAS 0,49	37
Gambar 2. 15.	Kurva Compressive Strength-Time in Days dari Mineral Penyusun Portland Semen.....	40
Gambar 2. 16.	Tipe Bentuk Agregat	48
Gambar 2. 17.	Tipe Kadar Air dalam Agregat.....	49
Gambar 3. 1.	Tahapan Proses Penelitian.....	55
Gambar 4. 1.	Grafik Hubungan Kadar Air dengan Kedalaman Jarum dari Pasta Semen Portland	73
Gambar 4. 2.	Kandungan Zat Organik Putih Bangka Berdasarkan Uji Laboratorium.....	75
Gambar 4. 3.	Gradasi Pasir Putih Bangka Berdasarkan Uji Laboratorium.....	77
Gambar 4. 4.	Daerah Gradasi III (Pasir Halus).....	77
Gambar 4. 5.	Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Uji pada Beton dengan Semen Putih (WC).....	84
Gambar 4. 6.	Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS pada Beton dengan Semen Putih (WC) dan Semen Abu-Abu (PCC)	85
Gambar 4. 7.	Persentase Perbandingan Komposisi Kimia Semen Putih/WC dengan Semen Abu-Abu/PCC	86
Gambar 4. 8.	Persentase Perbandingan Komposisi Potensial Semen Putih/WC dengan Semen Abu-Abu/PCC	87
Gambar 4. 9.	Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas pada Beton dengan Semen Putih (WC) dan Semen Abu-Abu (PCC) .	89

Gambar 4. 10. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dengan FAS dari Beton dengan Semen Putih/WC dan Semen Abu-Abu/PCC..... 90



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1.	Rasio Kuat Tekan Silinder-Kubus	15
Tabel 2. 2.	Perbandingan Kuat Tekan antara Silinder dengan Kubus	15
Tabel 2. 3.	Faktor Kenaikan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton (Berdasarkan Nilai Rata-Rata).....	17
Tabel 2. 4.	Batas Maksimum Ion Klorida.....	29
Tabel 2. 5.	Ketentuan Minimum untuk Beton Kedap Air.....	29
Tabel 2. 6.	Persyaratan untuk Kondisi Lingkungan Kusus.....	30
Tabel 2. 7.	Persyaratan untuk Beton yang Berhubungan dengan Air yang Mengandung Sulfat.....	31
Tabel 2. 8.	Perkembangan Panas Hidrasi Semen Portland pada Suhu 21 °C	36
Tabel 2. 9.	Karakteristik Senyawa Penyusun Semen Portland	40
Tabel 2. 10.	Persentase Komposisi Semen Portland.....	41
Tabel 2. 11.	Tipikal Komposisi Senyawa White Portland Cement	45
Tabel 2. 12.	Batas Gradasi Agregat Halus.....	50
Tabel 2. 13.	Syarat Persentase Maksimum Bahan-Bahan yang Berpengaruh Buruk pada Beton	52
Tabel 3. 1.	Specifications for FM 2,8 and Slump 8 Cm	66
Tabel 3. 2.	Change in Material of Proportions.....	66
Tabel 4. 1.	Berat Jenis Semen Portland Berdasarkan Uji Laboratorium	72
Tabel 4. 2.	Konsistensi Normal dari Semen Portland Berdasarkan Uji Laboratorium	73
Tabel 4. 3.	Penurunan Jarum pada Pemeriksaan Waktu Ikat Semen.....	74
Tabel 4. 4.	Berat Jenis dan Penyerapan Pasir Putih Bangka Berdasarkan Uji Laboratorium	75
Tabel 4. 5.	Persentase Pasir Putih Bangka yang Lolos Tiap Saringan Berdasarkan Uji Laboratorium	76
Tabel 4. 6.	Berat Jenis dan Penyerapan Koral/Split Asal Bogor Berdasarkan Uji Laboratorium	78
Tabel 4. 7.	Kebutuhan Material Campuran Beton Tiap FAS untuk Beton dengan Semen Putih (WC).....	78
Tabel 4. 8.	Kebutuhan Material Campuran Beton Tiap FAS untuk Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC)	79
Tabel 4. 9.	Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,4 ..	79
Tabel 4. 10.	Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,45	80
Tabel 4. 11.	Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,5 ..	80
Tabel 4. 12.	Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,55	81
Tabel 4. 13.	Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC) pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55	81
Tabel 4. 14.	Hasil Rata-Rata Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC)	82
Tabel 4. 15.	Hasil Rata-Rata Uji Tekan Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC).	82
Tabel 4. 16.	Hasil Modulus Elastisitas Beton dengan Semen Putih (WC).....	83
Tabel 4. 17.	Hasil Modulus Elastisitas Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC) ..	83

Tabel 4. 18. Hasil Rata-Rata Modulus Elastisitas Beton dengan Semen Putih (WC)	83
Tabel 4. 19. Hasil Rata-Rata Modulus Elastisitas Beton dengan Abu-Abu (PCC)	83
Tabel 4. 20. Properti dari semen portland putih dan abu-abu	86



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A-1. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Putih/WC	95
Lampiran A-2. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Abu-Abu/PCC	99
Lampiran B-1. Hasil Uji Tekan	103
Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas	106
Lampiran C-1. Jadwal Pembuatan Benda Uji.....	113
Lampiran C-2. Progres Pembuatan Benda Uji.....	114
Lampiran D-1. ASTM C 469-02.....	115
Lampiran E-1. Foto Proses Pembuatan Beton	121
Lampiran E-2. Foto Pengujian Tekan dan Modulus Elastisitas	122
Lampiran E-3. Foto Beton dengan Semen Portland Putih/WC dan Semen Abu- Abu/PCC	123



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi saat ini telah memiliki perkembangan yang cukup pesat. Perkembangan ini terjadi baik dari aspek struktural maupun dari aspek material. Sejak ditemukan dan digunakannya beton, konstruksi bangunan dapat menjadi lebih kuat, mudah dalam perawatan, serta memiliki daya tahan yang tinggi.

Struktur beton didefinisikan sebagai bangunan beton yang terletak di atas tanah yang menggunakan tulangan atau tidak menggunakan tulangan (ACI 318-89,1990, p. 1-1). Struktur beton sangat dipengaruhi oleh material penyusunnya dan dibatasi oleh kemampuan daya tekannya. Beton sendiri merupakan campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari semen hidrolik (*portland cement*), agregat halus/pasir, agregat kasar, air dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture atau additive*) yang membentuk massa padat (SK.SNI T-15-1990-03:1).

Perkembangan aspek struktural maupun material bangunan saat ini bukan hanya pada aspek kekuatan struktur yang harus kuat memenuhi beban yang diinginkan. Tetapi perkembangan tersebut saat ini juga meliputi perkembangan desain secara arsitektural, yang bahkan tidak jarang hal ini menjadi kebutuhan utama.

Dalam aspek arsitektural bangunan seperti: dinding, cat semen, nat ubin/keramik, panel, struktur yang bersifat dekoratif, sampai pada precast dan beton yang diperkuat dengan fiber, telah sering digunakan semen portland putih pada campuran materialnya. Semen portland putih mampu menghasilkan warna putih dari semen itu sendiri dan pada beton yang menggunakan campuran semen portland putih dan pasir putih serta bahan lainnya. Karena warna putih yang dihasilkan ini bukan merupakan lapisan, maka warna putih yang dihasilkan tidak akan pudar. Penggunaan semen portland putih dalam aspek arsitektural bangunan memang memiliki peranan yang cukup penting.

Penelitian aspek material beton sendiri telah banyak dilakukan dalam hal proporsi yang optimal dengan kekuatan yang maksimum maupun material-

material baru yang dapat digunakan dalam proporsi tersebut. Tetapi penelitian aspek material beton untuk kepentingan arsitektural khususnya beton dengan menggunakan semen portland putih belum dilakukan. Banyaknya penggunaan semen portland putih dalam industri konstruksi pada aspek arsitektural saat ini membuat perlunya penelitian melalui studi literatur mengenai kemampuan beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih.

1.2 Perumusan Masalah

Kemampuan beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih ini didasarkan pada sifat dan karakteristik dari beton yang dibutuhkan dalam desain struktur beton. Sifat dan karakteristik beton yang dibutuhkan dalam desain itu sendiri diantaranya: kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lentur, kuat geser untuk sifat mekanis, serta kemudahan pengerjaan, rangkai dan susut untuk sifat fisik.

Dalam desain suatu elemen struktur, beton diprioritaskan untuk menahan beban tekan walaupun beton sendiri mampu menahan beban tarik. Secara umum kekuatan tarik beton berkisar antara 10%-15% dari kekuatan tekan. Penggunaan beton dalam suatu struktur bangunan sangat dibatasi oleh kemampuan daya tekannya. Selain kemampuan daya tekan, kekakuan dari suatu elemen struktur juga akan menjadi batasan dan penting dalam desain, khususnya dalam desain jembatan dan bangunan tahan gempa. Kekakuan sendiri sangat bergantung pada inersia dan modulus elastisitas. Di mana inersia didapatkan dari perhitungan dimensi elemen dan modulus elastisitas didapatkan dari perbandingan tegangan dengan regangan yang bekerja dari elemen suatu struktur.

Kuat tekan dan modulus elastisitas harus diketahui dalam mendesain suatu bangunan. Oleh sebab itu penelitian mengenai kemampuan beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih ini diarahkan pada kuat tekan dan modulus elastisitas dimana digunakan perbedaan nilai Faktor Air Semen (FAS) yang akan berpengaruh terhadap nilai kekuatan dari beton.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai kuat tekan dan modulus elastisitas dari beton menggunakan semen portland putih/WC (White Cement) dari setiap Faktor Air Semen (FAS) serta membandingkannya dengan

beton dengan semen abu-abu/PCC (Portland Cement Composit). Setelah didapatkan nilai-nilai tersebut maka akan didapat hubungan antara nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas dalam bentuk grafik dengan perbedaan nilai Faktor Air Semen (FAS) pada beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih (WC) dan semen abu-abu (PCC). Dari hubungan nilai tersebut diharapkan didapat nilai Faktor Air Semen (FAS) yang tepat untuk berbagai keperluan aplikasi beton, khususnya dalam aspek arsitektural.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian mengenai kemampuan beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih ini diarahkan hanya pada hubungan nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas berdasarkan perbedaan nilai Faktor Air Semen (FAS).

Kekuatan tekan beton sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor. Empat faktor utama yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah (1). proporsi bahan penyusunnya, (2). metode perancangan, (3). perawatan dan (4). keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan yang sangat berhubungan dengan lingkungan setempat. Di antara ke empat faktor utama tersebut, fokus penelitian yang diambil adalah pada faktor proporsi bahan penyusun beton.

Bahan-bahan penyusun beton sendiri terdiri atas air, semen, agregat, dan bahan tambah (*additive/admixture*). Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air tawar dengan mutu standar yang tidak mengandung minyak, asam, alkali, zat organis yang dapat merusak beton. Pengaruh semen dalam campuran berhubungan dengan Faktor Air Semen (FAS), kehalusan butir, dan komposisi kimia. Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portland putih/WC (White Cement) serta semen abu-abu/PCC (Portland Cement Composit) dengan merk Indocement Tiga Roda dan nilai Faktor Air Semen (FAS) yang digunakan adalah 0,4; 0,45; 0,5 dan 0,55.

Agregat dalam campuran terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat tersebut memiliki mutu dan sifat tersendiri. Kusus untuk agregat halus pada penelitian ini digunakan pasir putih Bangka yang dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang memiliki aspek arsitektural (memiliki warna putih). Sedangkan untuk agregat kasar/split yang digunakan berasal dari Bogor. Untuk bahan tambah (*additive/admixture*) pada penelitian ini tidak dipergunakan.

1.5 Metodologi Penelitian

Hubungan antara nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas pada beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih dan semen abu-abu (PCC) ini didapatkan dengan menghubungkan data-data nilai kuat tekan dan data-data nilai modulus elastisitas dari beberapa nilai Faktor Air Semen (FAS) yang bervariasi pada campuran beton, yaitu: 0,4; 0,45; 0,5 dan 0,55.

Hubungan nilai yang didapatkan dari variasi nilai Faktor Air Semen (FAS) tersebut akan menghasilkan nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas yang berbeda-beda pada setiap nilai Faktor Air Semen (FAS). Dari nilai Faktor Air Semen (FAS) dan kuat tekan tersebut, maka dapat digolongkan nilai Faktor Air Semen (FAS) yang tepat untuk keperluan aplikasi beton.

Dalam mencari hubungan nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas dengan nilai Faktor Air Semen (FAS) tersebut, dilakukan pengujian di laboratorium dengan membuat benda uji silinder beton diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah benda uji beton dengan menggunakan semen portland putih masing-masing adalah 3 untuk setiap FAS pada umur uji 3, 7, dan 14. Dan untuk hari ke 28 sebanyak 5 benda uji. Untuk benda uji beton dengan menggunakan semen abu-abu (PCC) masing-masing 3 untuk setiap FAS pada umur uji 3, 7, 14 dan 28. Untuk pengujian modulus elastisitas, digunakan benda uji tekan untuk hari ke 28. Sebelum benda uji di tes tekan, benda uji tersebut di tes modulus elastisitas terlebih dahulu. Pada beton dengan semen portland putih sebanyak 3 benda uji untuk modulus elastisitas tiap FAS, dan pada beton dengan semen abu-abu (PCC) sebanyak 2 benda uji untuk modulus elastisitas tiap FAS. Sehingga total benda uji yang dibuat adalah 68 benda uji (56 benda uji beton dengan semen portland putih dan 12 benda uji dengan semen abu-abu, PCC).

Setelah dilakukan pengujian dan didapatkan data-data kuat tekan dan modulus elastisitas tiap FAS, maka selanjutnya data tersebut dianalisa berdasarkan kajian pustaka/referensi yang terkait.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2. LANDASAN TEORI

Berisi tentang penjelasan sifat-sifat beton serta bahan-bahan penyusunnya.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan pengujian laboratorium dan hal-hal yang dilakukan pada penelitian ini serta tahapan-tahapannya.

BAB 4. PEMBAHASAN

Berisi tentang penjelasan kebutuhan proporsi perancangan campuran serta tahapan-tahapannya, data-data yang diperoleh, dan analisa dari data tersebut.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Struktur beton dapat didefinisikan sebagai bangunan beton yang terletak di atas tanah yang menggunakan tulangan atau tidak menggunakan tulangan (ACI 318-89, 1990, p. 1-1). Struktur beton sangat dipengaruhi oleh komposisi dan kualitas bahan-bahan pencampur beton, serta dibatasi oleh kemampuan daya tekannya.

Dari sudut estetika, beton hanya membutuhkan sedikit pemeliharaan. Sifat-sifat beton yang tidak disenangi adalah 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 mendapatkan hasil yang optimal.

Agar hasil akhir yang diperoleh optimal, dibutuhkan pengenalan yang mendalam mengenai sifat-sifat yang berkaitan dengan bahan-bahan penyusun beton tersebut. Kinerja yang menjadi perhatian penting para perencana struktur ketika merencanakan struktur yang menggunakan beton ada dua, yaitu 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 dan ditemukannya bahan tambah beton, hal ini tidak lagi menjadi masalah.

2.1.1 Riwayat Perkembangan

Penggunaan beton dan bahan-bahan vulkanik seperti abu pozzolan sebagai pembentuknya telah dimulai sejak zaman Yunani dan Romawi, bahkan mungkin sebelum itu (Nawy, 1985, p. 2-3). Penggunaan bahan beton bertulang secara

intensif diawali pada awal abad ke-19. Pada tahun 1801, F. Coignet menerbitkan tulisannya mengenai prinsip-prinsip konstruksi dengan meninjau kelembaban bahan beton terhadap tariknya. Pada tahun 1850, J.L. Lambot untuk pertama kalinya membuat kapal kecil dari bahan semen untuk dipamerkan pada Pameran Dunia tahun 1855 di Paris. J. Monier, seorang ahli taman dari Prancis, mematenkan rangka metal sebagai tulangan beton untuk mengatasi tariknya yang digunakan untuk tempat tanamannya. Pada tahun 1886, Koenen menerbitkan tulisan mengenai teori dan perancangan struktur beton. C.A.P Turner mengembangkan pelat beton tanpa balok pada tahun 1906.

Seiring dengan kemajuan besar yang terjadi dalam bidang ini, terbentuklah German Committee Reinforce Concrete, Australian Concrete Committee, American Concrete Institute, dan British Concrete Institute. Di Indonesia sendiri, Departemen Pekerjaan Umum selalu mengikuti perkembangan beton melalui Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan (LPMB). Melalui lembaga ini diterbitkan peraturan-peraturan standar beton yang biasanya mengadopsi peraturan internasional yang disesuaikan dengan kondisi bahan dan jenis bangunan di Indonesia.

2.1.2 Deskripsi

Beton merupakan fungsi dari bahan-bahan penyusunnya yang terdiri dari semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku bahan-bahan penyusun beton, kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Nawy (1985, p. 8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimia dari material pembentuknya. Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Perencana dapat mengembangkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan oleh perencana dan memenuhi persyaratan pelayanan yang baik dengan memenuhi kriteria ekonomi.

Dalam memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton sebagai dasar perancangan beton, Departemen Pekerjaan Umum melalui LPMB mempublikasikan standar-standar yang berlaku. DPU-LPMB memberikan

definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SK.SNI T-15-1990-03, p. 1).

Parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton diantaranya kualitas semen, proporsi semen terhadap campuran, kekuatan dan kebersihan agregat, interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat, pencampuran dari bahan-bahan pembentuk beton, penyelesaian dan pemadatan beton, perawatan beton, serta kandungan klorida yang tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985, p. 24).

2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat dibentuk dengan berbagai macam bentuk, sehingga sering juga beton digunakan dalam bidang seni atau untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang indah jika pengolahan akhir dilakukan dengan cara khusus, seperti diekspose agregatnya. Selain tahan terhadap serangan api, beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah sebagai berikut:

Kelebihan Beton:

1. dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
2. mampu memikul beban yang berat
3. tahan terhadap temperatur yang tinggi
4. biaya pemeliharaan yang kecil dan lainnya

Kekurangan Beton:

1. bentuk yang telah dibuat sulit diubah
2. pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
3. memiliki massa yang besar
4. daya pantul suara yang besar

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen portland dan bahan tambah), sehingga akan 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 sama. Setiap penambahan mutu kekuatan tekan hanya disertai oleh peningkatan yang kecil dari kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton berkisar antara 10%-15% dari kuat tekannya. Kecilnya kuat tarik beton ini merupakan salah satu kelemahan dari beton. Untuk mengatasinya, beton dikombinasikan dengan tulangan beton di mana baja biasa digunakan sebagai tulangnya. 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 sama dalam menahan gaya yang bekerja (SKBI.1.4.53 1989, p. 4).

Beton dapat juga dikombinasikan dengan bahan lain sesuai dengan perilaku yang akan diberikan terhadap beton tersebut, misalnya beton pratekan/prategang dan beton pracetak. Beton juga dapat digunakan untuk struktur yang memerlukan bahan yang ringan, misalnya beton ringan struktural (SKBI.1A.53, 1989, p. 5) yaitu beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai massa kering udara yang sesuai dengan syarat seperti yang ditentukan oleh "*Testing Method for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete*" (ASTM C-567). Di mana beton tersebut beratnya tidak lebih dari 1900 kg/m³.

2.1.4 Kinerja

Sampai saat ini beton masih menjadi material utama dalam pembuatan struktur bangunan karena kemudahan dalam pembuatan dan ketersediaan bahan penyusunnya di alam. Selain dua kinerja utama yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu kekuatan tekan yang tinggi dan kemudahan pengerjaannya, kelangsungan proses pengadaan beton pada proses produksinya juga menjadi salah satu hal yang penting.

Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja beton ini harus disesuaikan dengan kategori bangunan yang akan dibuat. ASTM membagi bangunan menjadi tiga kategori yaitu rumah tinggal, perumahan, dan struktur yang menggunakan beton mutu tinggi.

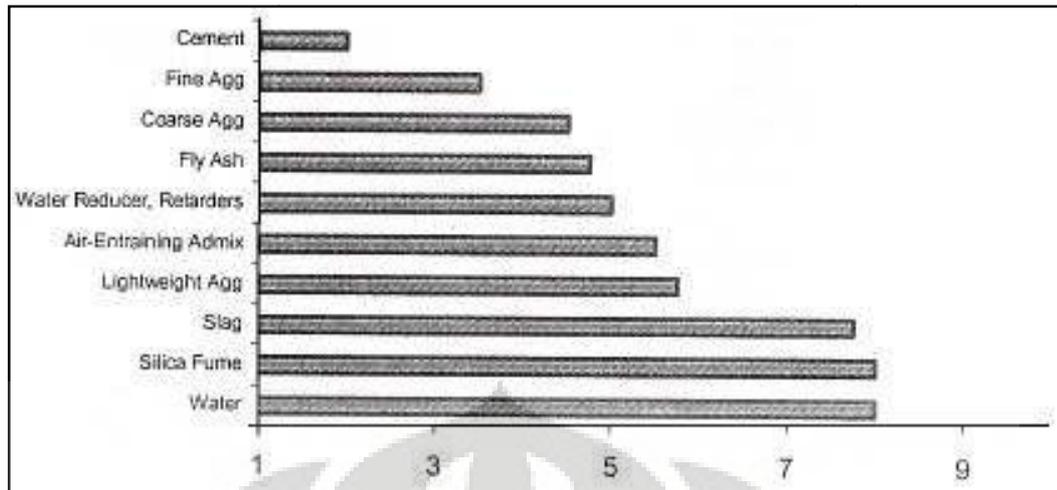
Menurut SNI T.IS-1990-03, beton yang digunakan pada rumah tinggal atau

untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa boleh menggunakan campuran perbandingan 1 semen, 2 pasir, 3 batu pecah dengan *slump* tidak lebih dari 100 mm. Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penakaran volume. Tetapi untuk pengerjaan beton dengan kekuatan tekan lebih besar dari 20 MPa harus digunakan perhitungan rancang campur.

Tiga kinerja yang dibutuhkan dalam pembuatan beton (STP 169C, *Concrete and Concrete-Making Materials*) adalah: (1). memenuhi kriteria konstruksi yaitu dapat dengan mudah dikerjakan dan dibentuk serta mempunyai nilai ekonomis, (2). kekuatan tekan dan (3). *durabilitas* atau keawetan.

Berdasarkan data ASTM mengenai pengaruh bahan-bahan yang digunakan terhadap kinerja beton, dapat diketahui bahan yang paling mempengaruhi kinerja beton. Pengaruh ini dilihat berdasarkan skala 1-10, di mana 10 merupakan pengaruh terkecil terhadap kinerja yang dihasilkan.

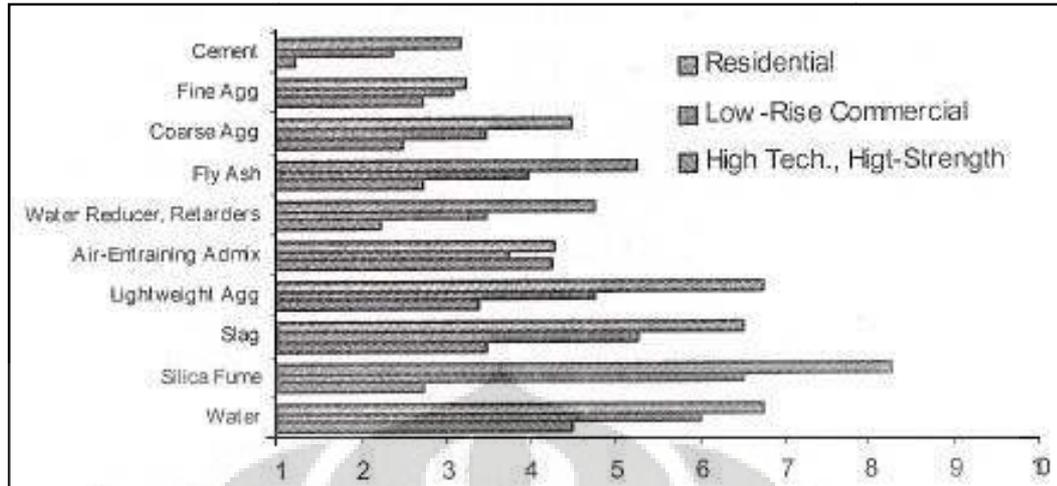
Secara praktis, pengaruh penggunaan bahan untuk menghasilkan kinerja tertentu akan bergantung pada tujuan beton tersebut dibuat. Penggunaan semen untuk rumah tinggal akan lebih banyak jika dibandingkan untuk penggunaan perumahan komersil atau beton mutu tinggi. Jadi, komposisi bahan penyusun juga harus dilihat berdasarkan tujuan pembuatan beton tersebut. Berdasarkan kategori rumah tinggal, perumahan dan beton mutu tinggi, pengaruh bahan terhadap kinerja beton yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2. 1. Dampak Penggunaan Material dalam Membentuk Kinerja Beton
(Sumber: STP 169C, *Concrete and Concrete-Making Materials*, p. 32)

Dalam Gambar 2.1 dijelaskan bahwa penggunaan semen pada campuran beton sangatlah penting. Penggunaan air tidak terlalu berpengaruh terhadap pembentukan kinerja beton seperti juga dijelaskan oleh Abrams (1920) yang meneliti pengaruh air dalam perbandingannya dengan semen (FAS). Abrams hanya menyatakan bahwa jika FAS atau *Water Content Ratio* lebih besar dari 0,6 maka kinerja kekuatan beton akan semakin turun. Namun karena mahalnya harga kebutuhan semen dalam pekerjaan berskala besar, penggunaan semen diusahakan seminimal mungkin. Hal ini mendorong penggunaan bahan tambah sebagai pengganti semen.

Penggunaan semen untuk pembangunan rumah tinggal lebih banyak dan lebih berpengaruh karena pembuatan rumah tinggal cenderung menggunakan perencanaan sederhana (Gambar 2.2). Hal ini berbeda dengan penggunaan semen untuk kebutuhan beton berkekuatan tinggi di mana penggunaan semen lebih sedikit, karena biaya kebutuhan semen yang cukup besar. Untuk mengurangi biaya, penggunaan semen diusahakan seminimal mungkin dan digantikan dengan bahan tambah yang membuat beton berkekuatan tinggi.



Gambar 2. 2. Dampak Penggunaan Material dalam Membentuk Kinerja Beton Berdasarkan Tipe Konstruksi

(Sumber: STP 169C, *Concrete and Concrete-Making Materials*, p. 32)

2.2 Jenis-Jenis Beton

Berdasarkan berat volumenya beton dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu ringan, berat dan normal. ASTM C.125 mendefinisikan bahwa agregat ringan adalah agregat yang digunakan untuk menghasilkan beton ringan, meliputi batu apung (pumice), scoria, vulkanik cinder, tuff, diatomite, *expanded* atau hasil pembakaran lempung, shale, slte, diatomaceous shele, perlite, vermiculite, atau slag/batubara dan hasil residu pembakarannya. Agregat berat didefinisikan sebagai agregat yang mampu menghasilkan beton dengan kepadatan tinggi seperti barite, magnetite, lirrionite, besi atau biji besi. Jenis-jenis beton lainnya dijelaskan di bawah ini.

2.2.1 Beton Ringan

Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu-bara, dan hasil pembakaran vulkanik (Holm, 1994: 522). Berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara $1440 - 1850 \text{ kg/m}^3$, dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari 17,2 MPa (ACI-318). SNI memberikan batasan kriteria beton ringan sebesar 1900 kg/m^3 .

2.2.2 Beton Berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai

berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Beton yang mempunyai berat yang tinggi ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya. ASTM C.638 memberikan suatu deskripsi mengenai pertimbangan penggunaan agregat untuk kepentingan beton yang menahan radiasi.

Beton berat ini digunakan jika ruang penempatannya tidak menjadi masalah. Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar, biasanya lebih dari 4,0 dibandingkan dengan agregat biasa dengan berat jenis 2,6. Agregat yang mempunyai berat jenis yang besar seperti barium sulfat yaitu 4,1 atau agregat alam dengan bahan lainnya seperti biji besi, magnetit, limonite, hematite, ilmenite (FeTiO_3) sebagai agregat halus. Berat isi beton yang dihasilkan menggunakan biji besi dapat mencapai $3000\text{-}3900 \text{ Kg/m}^3$ (Neville, 1981).

2.2.3 Beton Massa (Mass Concrete)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi jembatan, dan lain-lain. Batuan yang digunakan dapat lebih besar dari yang disyaratkan, sampai 150 mm. Pembuatan beton massa membutuhkan alat getar dan tenaga manusia yang banyak. Karena rendahnya nilai *slump* dalam beton massa ini maka panas hidrasi menjadi perhatian penting agar tidak timbul retak. Untuk menanggulangi retak, penuangan beton dengan berlapis-lapis selama beberapa hari dapat membantu, begitu juga pemberian pipa untuk pengaliran air dingin sebagai perawatan.

2.2.4 Ferro-Cement

Beton jenis ini merupakan gabungan dari campuran beton dengan tulangan kawat ayam atau kawat yang dianyam. Beton jenis ini akan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan daktil, serta lebih bersifat *waterproofing*.

Ketebalannya biasanya antara 10-60 mm dengan volume tulangan 6%-8% sebanyak satu lapis atau dua lapis. Karena kerapatannya yang tinggi dari tulangan maka volume agregat halus sekitar 60-75% volume mortarnya.

Kebaikan *ferro-cement* di antaranya adalah: struktur tipis dan ringan di mana reduksi berat sendiri hingga mencapai 30%, dapat dibuat di pabrik, mudah dalam pengerjaan, dan penghematan bahan cetakan.

2.2.5 Beton Serat (Fibre Concrete)

Beton jenis ini merupakan beton yang dibuat dengan campuran tambahan yaitu serat yang umumnya berupa batang-batang dengan ukuran 5-500 μm , dengan panjang sekitar 25 mm. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (polypropylene), atau potongan kawat baja. Kelemahannya sulit dikerjakan, namun terdapat banyak kelebihan yaitu segregasi yang kecil, daktil, dan tahan benturan.

Kebutuhan akan bahan serat dalam pembuatan serat semen selama ini sebagian besar dipakai bahan serat asbes. Jenis penutup langit-langit lain yang termasuk murah dan mudah pembuatannya serta sudah lama dikenal masyarakat secara luas adalah serat semen atau yang biasanya dikenal dengan nama eternit. Bahan serat yang digunakan dalam pembuatannya adalah serat sisa benang. Serat ini lebih ekonomis walaupun secara kualitas masih di bawah serat asbes. Untuk daerah pulau Jawa di mana industri tekstil telah berkembang dengan pesat, pemanfaatan sisa benang ini menjadi sangat efektif. Tetapi untuk daerah di luar pulau Jawa perlu diteliti penggunaan serat alami lain yang mudah diperoleh. Serat alami ini antara lain adalah serat sabut kelapa dan ijuk yang mempunyai kuat tarik setara dengan serat polypropylene dan keawetan yang sangat baik. Selain itu, keuntungan penggunaan kedua serat tersebut juga karena pohon kelapa merupakan tanaman tropis yang lahannya banyak terdapat di Indonesia, sedangkan ijuk merupakan hasil sampingannya.

2.2.6 Beton Siklop

Beton jenis ini menggunakan agregat yang besar, sampai dengan 20 cm, batasannya tidak lebih dari 20%. Digunakan juga untuk pekerjaan beton massa. (*mass concrete*).

2.2.7 Beton Hampa (Vacuum Concrete)

Beton vakum adalah beton yang air sisa dari proses hidrasinya (sekitar 50%), disedot keluar setelah beton mengeras. Penyedotan ini dinamakan *vacuum method*.

2.3 Sifat dan Karakteristik Beton

2.3.1 Kuat Tekan Beton (f'_c)

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dibutuhkan. Kekuatan beton dinotasikan sebagai berikut (PB, 1989, p. 16):

f'_c = kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)

f'_{ck} = kekuatan tekan beton yang didapatkan dari hasil uji kubus 150 mm atau dari silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm (MPa)

f_c = kekuatan tarik dari hasil uji belah silinder beton (MPa)

f'_{cr} = kekuatan tekan beton rata-rata yang dibutuhkan, sebagai dasar pemilihan perancangan campuran beton (MPa)

S = deviasi standard (MPa)

Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau SNI 03-1974-1990 dan kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115; Part 116 pada umur 28 hari. Kekuatan tekan relatif antara benda uji silinder dengan benda uji kubus ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1. Rasio Kuat Tekan Silinder-Kubus

Kuat Tekan (MPa)	7,00	15,20	20,00	24,10	26,20	34,50	36,50	40,70	44,10	50,30
Kuat Rasio Silinder/Kubus	0,76	0,77	0,81	0,87	0,91	0,94	0,87	0,92	0,91	0,96

(Sumber: Neville, "Properties of Concrete", 3rd Edition, Pitman Publishing, London, 1981, p.544)

Tabel 2. 2. Perbandingan Kuat Tekan antara Silinder dengan Kubus

Kuat Tekan Silinder (MPa)	2	4	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Kuat Tekan Kubus (MPa)	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40	45	50	55

(Sumber: ISO Standard 3893-1977)

Menurut BS (1881), rasio kubus terhadap silinder untuk semua kelas adalah 1,25, sedangkan menurut K. W. Day, “*Concrete Mix Design. Quality Control and Specification*” (E & FN SPON, 1995), kekuatan tekan kubus dibandingkan dengan silinder dinyatakan dalam persamaan 2.1 dan 2.2 dengan nilai kuat tekan kubus dan silinder dinyatakan dalam MPa atau N/mm². Departemen Pekerjaan Umum dalam Pedoman Beton (1989) “draf”, LPMB (1991) Pasal 4.1.2.1 memberikan hubungan antara kekuatan tekan kubus dengan silinder dalam persamaan 2.3

$$f'_{ck} = \left(f'_c - \frac{19}{\sqrt{f'_c}} \right) \quad (2.1)$$

$$f'_c = \left(f'_{ck} - \frac{20}{\sqrt{f'_{ck}}} \right) \quad (2.2)$$

$$f'_c = \left[0.76 + 0.2 \log \left(\frac{f_{ck}}{15} \right) \right] f_{ck} \quad (2.3)$$

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang disyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari f'_c seperti yang telah disyaratkan.

Kriteria penerimaan beton tersebut harus sesuai dengan syarat yang berlaku. Menurut Standar Nasional Indonesia, kuat tekan harus memenuhi $0.85 f'_c$ untuk kuat tekan rata-rata dua silinder dan memenuhi $f'_c + 0.82 S$ untuk rata-rata empat buah benda uji yang berpasangan.

2.3.2 Umur Beton

Kekuatan beton akan bertambah dengan bertambahnya umur beton. Kekuatan beton akan bertambah secara cepat sampai pada umur 28 hari, dan setelah itu pertambahan kekuatan beton akan menjadi kecil. Kekuatan beton pada kasus tertentu akan terus bertambah sampai beberapa tahun. Kekuatan tekan rencana beton umumnya dihitung pada umur 28 hari.

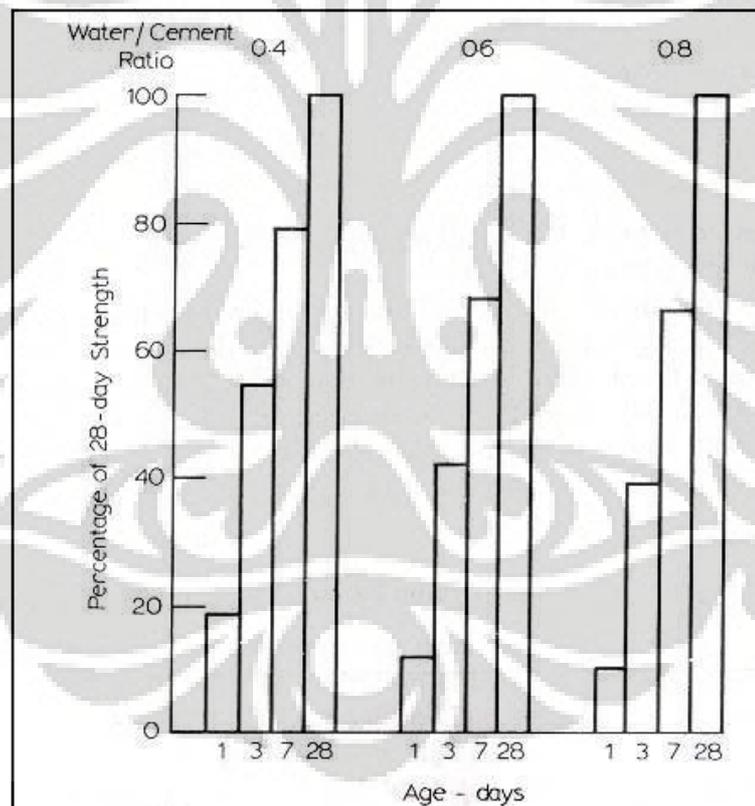
Rasio pertambahan kuat tekan beton setelah umur 28 hari terhadap kuat tekan beton umur 28 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 3. Faktor Kenaikan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton (Berdasarkan Nilai Rata-Rata)

Minimum age of member when full design load is applied, months	Age factor for concrete with a 28-day strength (MPa) of		
	20–30	40–50	60
1	1.00	1.00	1.00
2	1.10	1.09	1.07
3	1.16	1.12	1.09
6	1.20	1.17	1.13
12	1.24	1.23	1.17

(Sumber: *British Code of Practice CP 110: 1972*)

Kuat tekan beton berdasarkan umur beton tiap FAS ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 3. Hubungan Kuat Tekan Terhadap Umur Beton dari Berbagai FAS pada Beton yang Menggunakan Ordinary Portland Cement/OPC

(Sumber: Neville, 1991)

Untuk struktur yang dikehendaki memiliki kekuatan awal tinggi, campuran beton dikombinasikan dengan semen kusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-I). Laju kenaikan

umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya dan yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung akan memperbaiki kinerja kuat tekan beton.

2.3.3 Modulus Elastisitas Beton (E_c)

Setelah beton mulai mengeras, beton akan mengalami pembebanan. Pada beton yang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi waktu dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastisitas murni pada waktu pembebanan singkat. Sedangkan pada waktu pembebanan yang lama, beton akan mengalami tegangan dan regangan sesuai dengan lamanya pembebanan.

Tegangan atau *stress* adalah gaya reaksi atau gaya untuk mengembalikan ke bentuk semula. Gaya ini mengembalikan benda ke bentuk semula persatuan luas terbagi rata di seluruh permukaan. Tegangan normal dinyatakan dalam persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.4)$$

Regangan atau *strain* adalah perubahan pada ukuran benda karena gaya dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula. *Strain* juga dapat dikatakan sebagai tingkat deformasi. Gaya deformasi ini bekerja hanya satu arah atau *strain longitudinal linear* karena *stress* yang terjadi pada arah normal saja. Regangan linier (perubahan panjang per panjang semula) dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad (2.5)$$

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan dari nilai tegangan dengan nilai regangan. Dalam batas elastisitasnya setiap deformasi berbanding lurus dengan gaya penyebabnya (hukum Hooke), atau dengan kata lain nilai E_c adalah tetap. Modulus elastisitas beton dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$E_c = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.6)$$

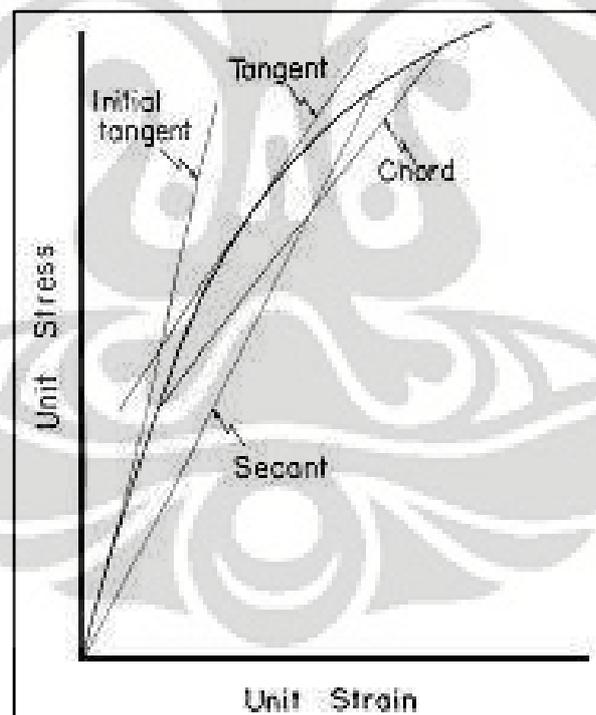
di mana:

P = gaya normal tekan

σ = tegangan normal

- = luas permukaan awal
- = regangan linier
- = pertambahan panjang
- = panjang mula-mula
- = modulus elastisitas beton

Pengertian modulus elastisitas secara umum dalam ASTM E6-89 (1994) adalah perbandingan tegangan dengan regangan di bawah batas proporsi. Satuan modulus elastisitas sama seperti tegangan, yaitu gaya per satuan luas. Perbedaan metode dalam menentukan modulus elastisitas akan menyebabkan perbedaan nilai yang didapatkan walaupun benda yang diujikan sama. Untuk beton dan juga material lainnya yang memiliki hubungan tegangan-regangan tidak linier, memiliki empat definisi statik modulus young. Di bawah ini merupakan grafik rekomendasi modulus elastisitas dari Stanton Walker (1919).



Gambar 2. 4. Empat Garis Statik Modulus Young dari Elastisitas Beton
(Sumber: S. Popovics, 1970)

Di mana empat garis pada Gambar 2.4 tersebut memiliki definisi sebagai berikut:

- 1) Initial tangent modulus

Merupakan kemiringan kurva tegangan-regangan awal.

2) Tangent modulus

Merupakan kemiringan kurva tegangan-regangan pada saat tegangan-regangan yang telah ditentukan.

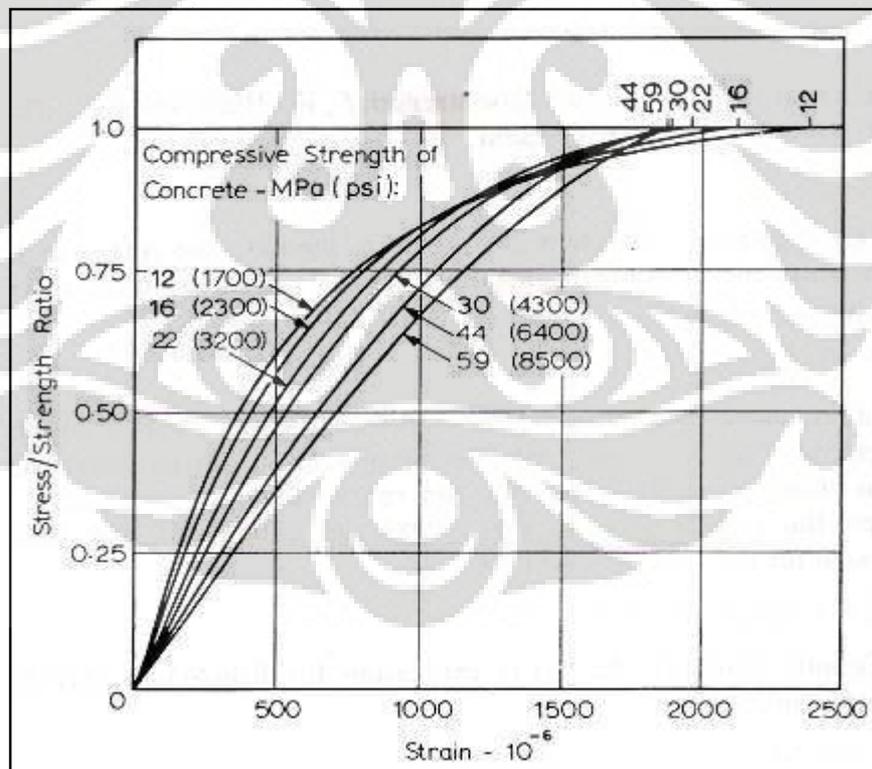
3) Secant modulus

Merupakan kemiringan garis potong yang ditarik dari titik awal sampai pada titik yang ditentukan pada kurva tegangan-regangan.

4) Chord modulus

Merupakan kemiringan garis yang ditarik diantara dua titik yang ditentukan pada kurva tegangan-regangan.

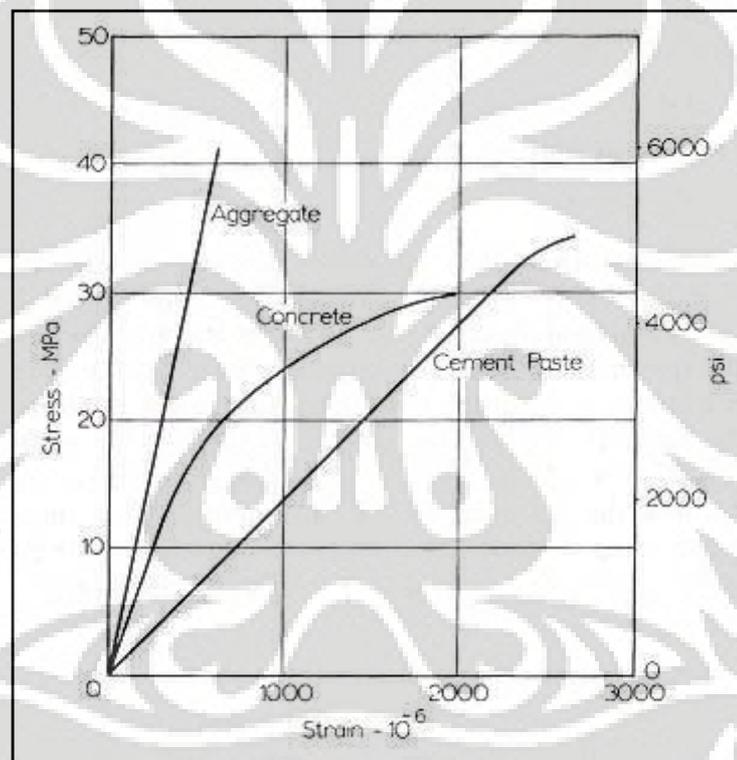
Pada gambar 2.5 di bawah dapat terlihat bahwa makin tinggi kekuatan beton akan makin rendah regangannya (sebelum *failure*). Maka makin tinggi kekuatan beton, akan semakin besar kemiringan/gradien *secant modulus* nya. Sedangkan pada saat *failure*, semakin rendah kekuatan beton, akan menyebabkan semakin cepat terjadinya *failure*.



Gambar 2. 5. Hubungan Stress/Strength Ratio dan Strain Pada Beton dengan Perbedaan Kuat Tekan

(Sumber: Neville, 1991, p. 361)

Pada gambar 2.6 di bawah dapat dilihat bahwa garis *stress-strain* untuk agregat dan pasta semen relatif lurus. Namun pada beton garis *stress-strain* tidak lurus tetapi melengkung ke kanan. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari pencampuran pasta semen dengan agregat. Pencampuran ini menyebabkan adanya *microcracking* pada masing-masing permukaannya. Hal ini membuat adanya variasi sudut dari arah pembebanan (*stress*) yang menyebabkan pertambahan rasio *strain* lebih cepat dari pada *stress* sehingga kurva *stress-strain* beton melengkung kekanan (Neville, 1991, p. 364). Pencampuran ini berhubungan erat dengan perhitungan rancang campur.



Gambar 2. 6. Kurva Stress-Strain untuk Pasta Semen, Agregat, dan Beton

(Sumber: Neville, 1991, p. 364)

Untuk menghitung modulus elastisitas dapat digunakan metode ASTM C469-94 “*Standard Method of Test for Static Young’s Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio in Compression*”. Dalam metode ini ditetapkan garis chord modulus berada di antara dua titik pada kurva tegangan-regangan, yaitu:

1. Titik bawah, di mana saat regangan longitudinal mencapai 50×10^{-6}
2. Titik atas, di mana terjadi saat tegangan mencapai 40% dari tegangan maksimum

Titik bawah bukan menjadi titik awal. Tetapi titik bawah dekat dengan titik awal pada kurva tegangan-regangan. Ini dilakukan untuk mencegah kemungkinan ketidakteraturan pembacaan regangan akibat penempatan benda uji dan alat pengukur regangan yang kurang sempurna. Titik atas diambil 40% dari tegangan maksimum merupakan asumsi dalam desain/perencanaan dan merupakan nilai yang cukup tepat dari percobaan-percobaan sebelumnya. Nilai modulus yang didapatkan adalah rata-rata beberapa nilai modulus elastisitas (minimal dua) yang merupakan kemiringan garis chord yang dihubungkan dari kedua titik tersebut.

Modulus elastisitas juga dapat dihitung dengan prinsip lendutan balok sederhana. Lendutan dari beban yang bekerja pada suatu balok sederhana dapat diukur. Atau dapat juga digunakan alat pengukur regangan pada balok. Modulus elastisitas dapat dihitung melalui rumus lendutan balok sederhana. Tetapi perhitungan modulus elastisitas dengan cara ini memiliki dua permasalahan. Pertama, rumus tersebut didasarkan pada asumsi hukum Hooke di mana terdapat penyederhanaan. Kedua, perbandingan tinggi dengan panjang dari balok beton tanpa tulangan normal yang besar akan memberi pengaruh gaya geser yang signifikan dari total lendutan yang terjadi (Wiley et al., 1998, p. 410). Koreksi rumus akibat geser telah ditemukan (Philleo, 1966; Seewald, 1927; Klieger, 1957), tetapi nilai modulus yang dihasilkan masih lebih besar dari nilai sebenarnya. Begitu juga deviasi yang dihasilkan dari asumsi hukum Hooke (S. Popovics, 1970). Untuk struktur beton, perkiraan nilai modulus elastisitasnya adalah sekitar 10^6 sampai 6×10^6 ksi atau 7000 sampai 42000 MPa (Wiley et al., 1998, p. 410).

Komposisi beton juga memiliki pengaruh terhadap modulus elastisitas. Semakin besar nilai modulus elastisitas dari agregat, akan semakin besar nilai modulus elastisitas beton yang dihasilkan. Dan semakin besar FAS pada beton akan semakin kecil nilai modulus elastisitas yang dihasilkan, walaupun efek ini tidak sebesar pengaruh besarnya kekuatan beton itu sendiri (Walker, 1919; Graf et al., 1960; Koenitzer, 1935).

Semakin tinggi kuat tekan beton akan membuat semakin baik beton menahan deformasi (Ros, 1950). Dengan kata lain semakin tinggi kuat tekan beton akan menyebabkan semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya. Walker (1919) telah memberikan persamaan hubungan tersebut yaitu:

$$E_c = k f_c^n \quad (2.7)$$

di mana E_c dan f_c dalam psi, serta k dan n adalah parameter percobaan yang bergantung pada kondisi pengetesan. Persamaan ini berlaku untuk beton normal dengan berat jenis ± 145 psi (2300 kg/m^3)

Rekomendasi Walker dengan persamaan yang hampir sama (Mummel, 1959; L'Hermite, 1950; Rilem, 1954; Chefdeville, 1953) yaitu sebagai berikut:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} \quad (2.8)$$

di mana E_c dan f_c dalam MPa dan dipergunakan untuk beton normal. Persamaan ini digunakan oleh ACI dan juga terdapat pada RSNI (2004, p. 54).

Pauw (1960) juga merekomendasikan persamaan yang menunjukkan bahwa modulus elastisitas dipengaruhi oleh kuat tekan dan juga berat jenis beton. Persamaan ini adalah:

$$E_c = (w_c)^{1,5} \times 0,043\sqrt{f_c} \quad (2.9)$$

di mana E_c dan f_c dalam MPa serta w_c antara $1500\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$. Persamaan ada dalam ACI 318 Code (1983b) dan pada RSNI (2004, p. 54).

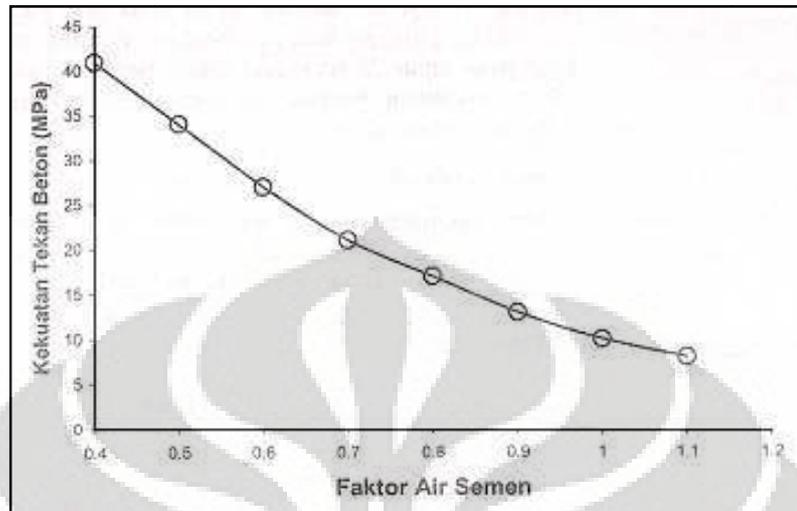
2.3.4 Faktor Air Semen (FAS)

Banyaknya air yang dipakai selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton. Pada dasarnya jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi adalah sekitar 25% dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25%, maka *workability* atau kemudahan pada pengerjaan tidak akan tercapai.

Beton yang memiliki *workability* didefinisikan sebagai beton yang dapat dengan mudah dikerjakan atau dituangkan ke dalam cetakan dan dapat dengan mudah dibentuk (Ilsley Hewes, 1942:224). Identifikasi dari kemudahan pekerjaan ini adalah nilai konsistensi dari beton segar. Kekuatan beton akan turun jika air yang ditambahkan kedalam campuran semakin banyak. Karena itu penambahan air harus sedikit demi sedikit sampai nilai maksimum yang tercantum dalam rencana tercapai.

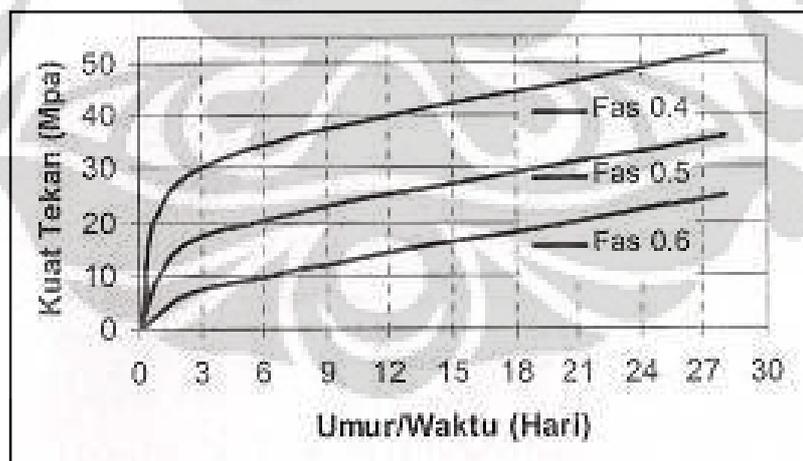
Faktor Air Semen (FAS) atau *water cement ratio* adalah indikator penting dalam perancangan campuran beton. Nilai FAS didapatkan dengan membagi berat air dengan berat semen. FAS yang rendah menyebabkan air yang berada di antara bagian-bagian semen menjadi sedikit dan jarak antara butiran semen menjadi lebih pendek. Duff dan Abrams (1919) telah meneliti hubungan antara

FAS dengan kuat tekan beton dengan uji silinder. Jika FAS semakin besar, maka kekuatannya akan semakin turun.



Gambar 2. 7. Hubungan Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari dengan FAS Menggunakan Semen yang Cepat Mengeras
(Sumber: Mulyono, 2003, p. 43)

Pada Gambar 2.7 dapat dilihat peningkatan kekuatan beton yang cukup besar pada FAS 0,5 sampai 1,1. Hubungan antara kuat tekan beton sampai umur 28 hari untuk beberapa FAS ditunjukkan pada Gambar 2.8.



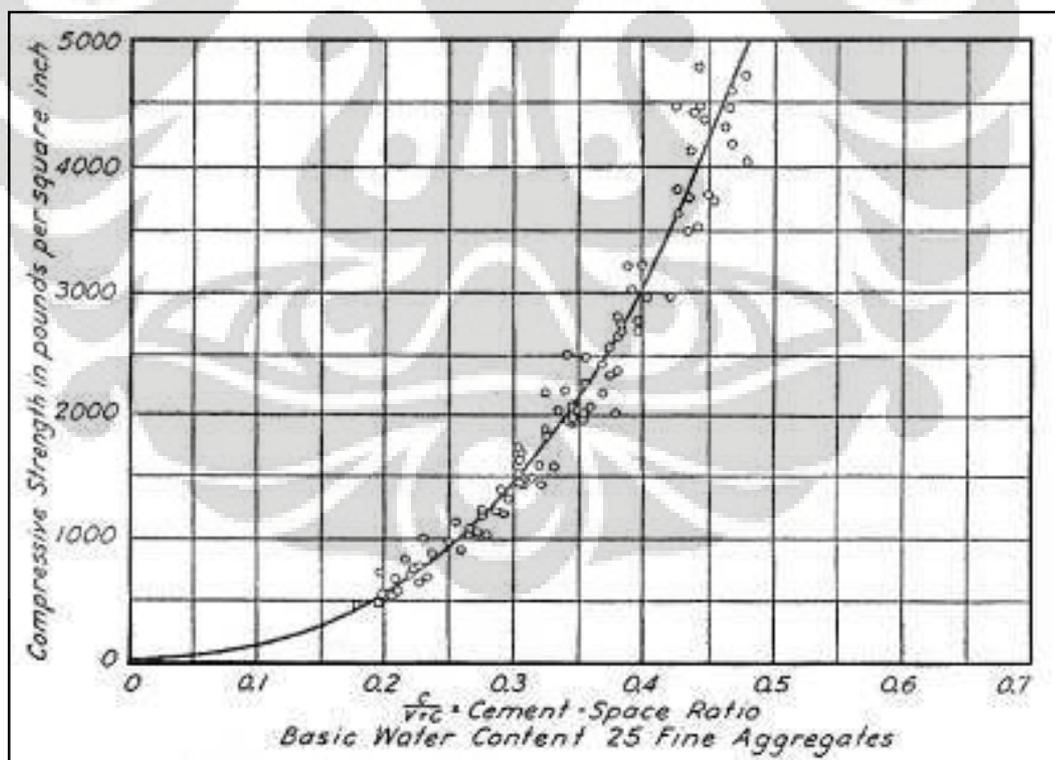
Gambar 2. 8. Hubungan FAS dengan Kuat Tekan Beton
(Sumber: Mulyono, 2003, p. 43)

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, akan semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti kekuatan beton akan semakin tinggi. Ada batas-batas dalam

hal ini. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu pada saat pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat bergantung pada FAS yang digunakan dan kehalusan butir semennya. Hubungan antara FAS dengan kuat tekan beton (Abraham, 1920, p. 220) dinyatakan dalam persamaan:

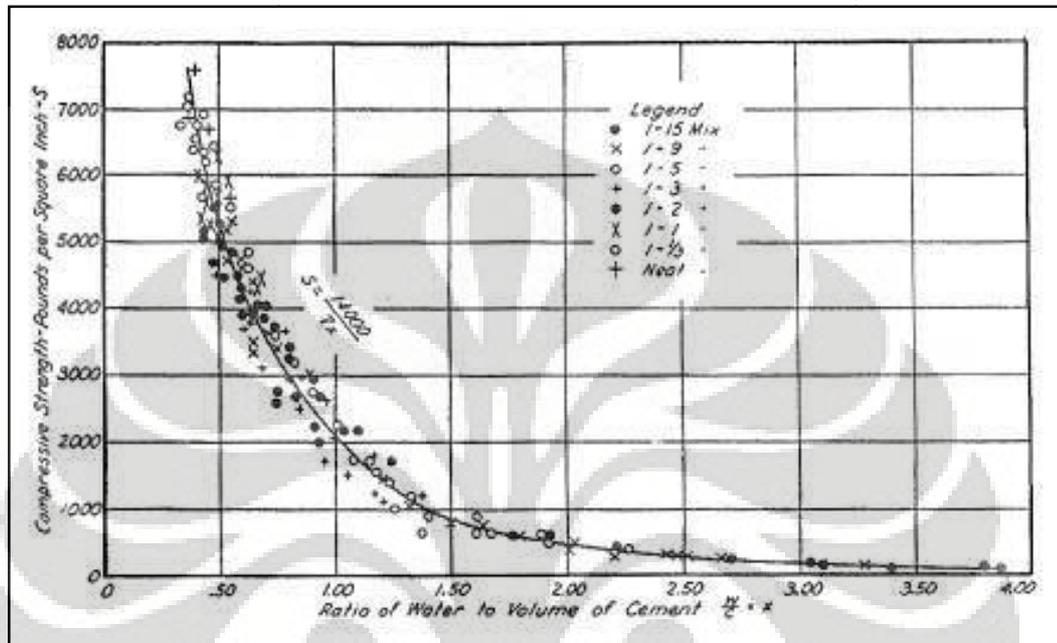
$$f'c = A / (B^{1,5X}) \quad (2.10)$$

di mana A dan B merupakan nilai konstanta serta X merupakan nilai FAS. Pada praktiknya untuk mengatasi kesulitan pengerjaan karena rendahnya nilai FAS ini digunakan bahan tambah (*admixture*) yang bersifat menambah keenceran (*plasticity or plasticizer admixture*). Menurut Talbot dan Richard (1942) pada FAS 0,2 sampai 0,5, kekuatan beton akan naik seperti pada Gambar 2.9 di bawah ini.



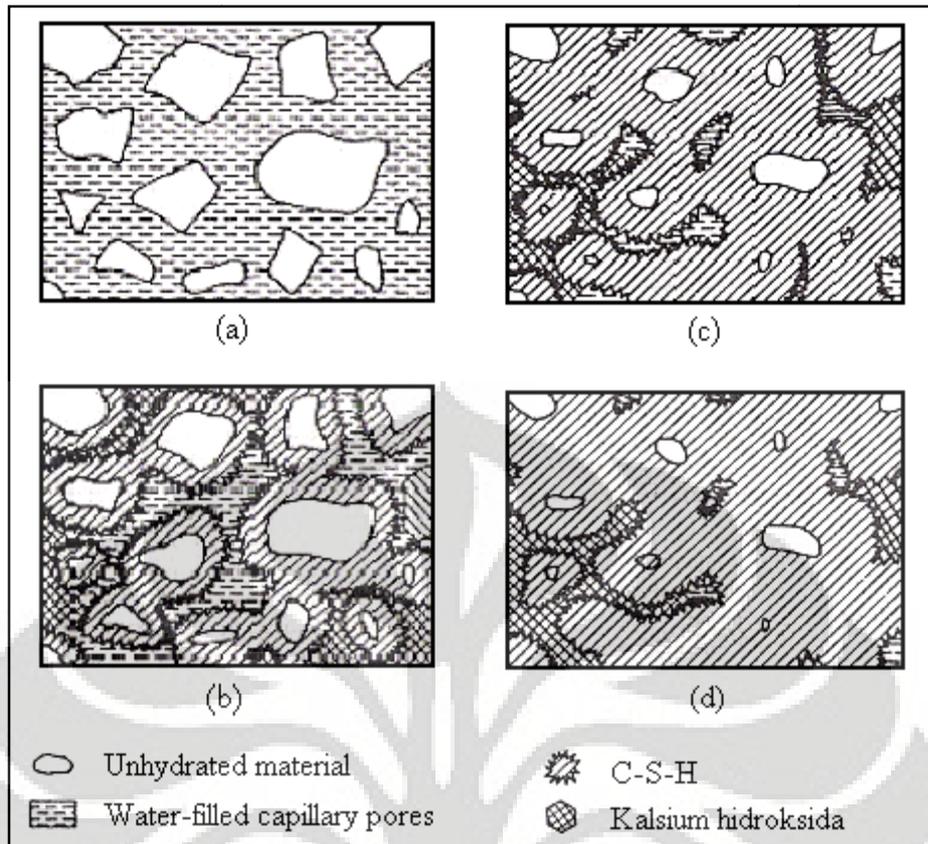
Gambar 2. 9. Hubungan Antara Kuat Tekan dengan FAS
(Sumber: Talbot and Richard, 1942)

Akan tetapi hasil penelitian (Abraham, 1920) menunjukkan bahwa bertambahnya FAS hingga lebih dari 0,6 akan menurunkan kuat tekan beton sampai mendekati nol, yaitu pada FAS 0,4 untuk beton umur 28 hari. Penurunan kuat tekan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2. 10. Hubungan Antara Kuat Tekan dengan FAS
(Sumber: Abrams, 1920)

Semen portland akan terus bereaksi dengan air saat pengikatan terjadi. Setelah 24 jam pada temperatur kamar (30-40%), semen biasanya mengalami proses hidrasi, pembentukan lapisan penutup dengan bertambahnya kepadatan dan ketebalan yang melapisi partikelnya. Hidrasi partikel klinker yang besar secara parsial dan keseluruhan akan membentuk beton. Proses pembentukan beton dari saat mulai mengeras sampai umur 90 hari dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini.

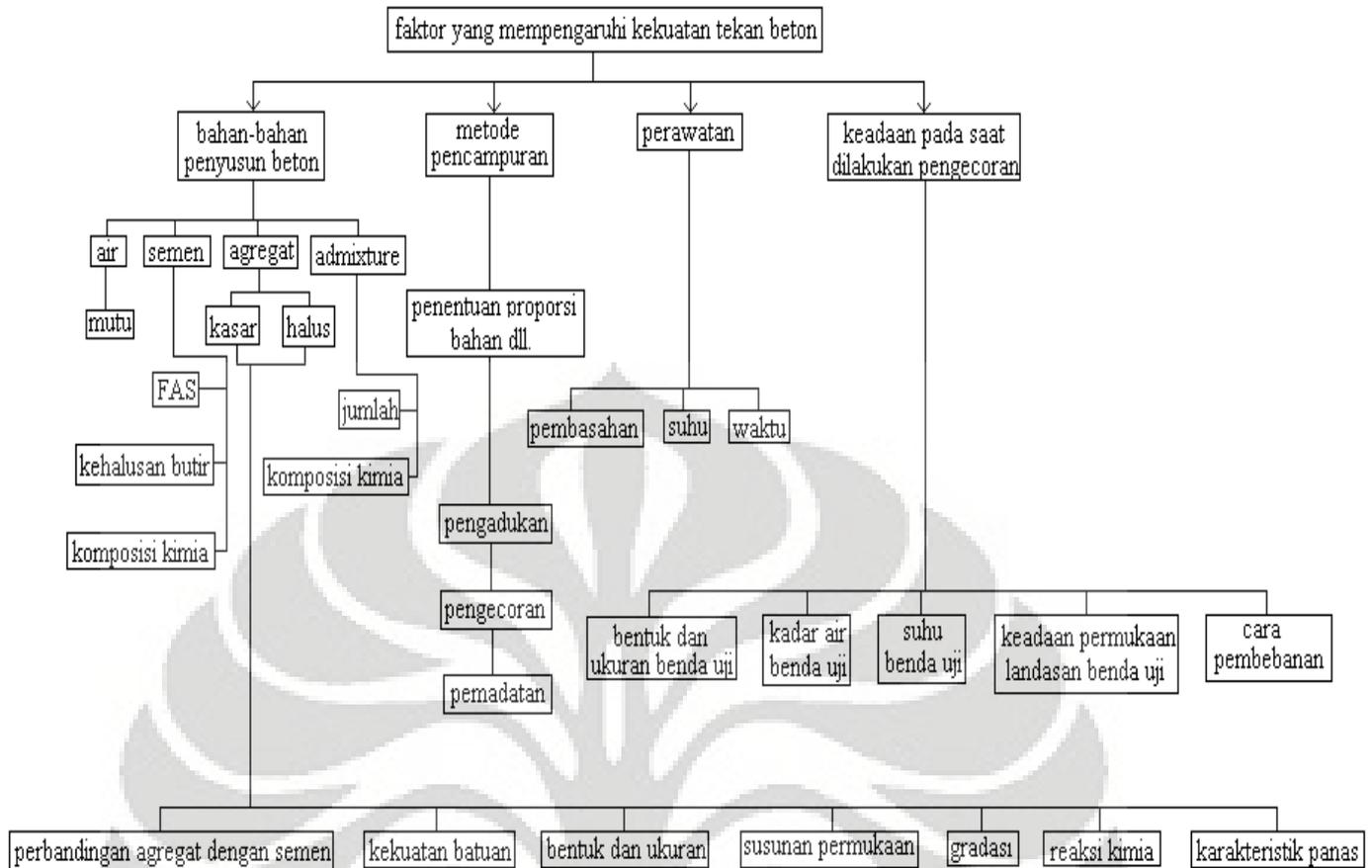


Gambar 2. 11. Proses Terjadinya Pengikatan dalam Beton
(Mulyono, 2003, p. 142-143)

2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Tekan Beton

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton dapat dilihat pada Gambar 2.12. Ada empat bagian utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton tersebut, yaitu:

1. proporsi bahan penyusunnya
2. metode perancangan
3. perawatan
4. keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat



Gambar 2. 12. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Tekan Beton
(Sumber: Mulyono, 2003, p. 139)

Berdasarkan bahan-bahan penyusun beton, faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari: air, semen, agregat dan bahan tambah (*admixture*).

2.4.1 Air

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pratekan dan beton yang berisi 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 tidak boleh melampaui batas yang diberikan pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2. 4. Batas Maksimum Ion Klorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pratekan	0.06
Beton bertulang yang selamanya berhubungan dengan ion klorida	0.15
Beton bertulang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1.00
Konstruksi beton lainnya	0.30

(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 (FAS) dalam Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 serta tebal selimut beton untuk tulangan dalam Peraturan Beton 1989:37-39, harus dipenuhi. Tebal minimum tersebut rata-rata adalah 50mm.

Tabel 2. 5. Ketentuan Minimum untuk Beton Kedap Air

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 Agregat)

Tabel 2. 6. Persyaratan untuk Kondisi Lingkungan Kusus

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan*	Faktor Air Semen Maksimum, Beton Normal	Kandungan Semen Minimum, kg/m ³			
			Ukuran Agregat 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	0.55	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

Keterangan:

*) 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 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.

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

Kandungan garam-garam sulfat maksimum yang diijinkan dalam beton adalah 1000 mg SO₃ per liter. Tetapi kadar sulfat yang diijinkan terkandung dalam air pencampur bergantung pada kadar sulfat dalam agregat dan semen karena faktor yang menentukan adalah besarnya jumlah sulfat dalam agregat dan yang terkandung dalam beton. kadar sulfat (SO₃) dalam beton tidak boleh lebih besar dari 4 % berat semen, seperti yang ditentukan dalam 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 2.7 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 2.7.

Tabel 2. 7. Persyaratan untuk Beton yang Berhubungan dengan Air yang Mengandung Sulfat

Kadar Gangguan Sulfat	Sulfat (SO ₄) dalam tanah yang larut dalam air, % dari massa	Sulfat (SO ₄) dalam air (ppm)	Tipe Semen	Beton Normal	Beton Ringan
				Faktor Air Semen dalam massa	Kuat Tekan Minimum (f'_c , MPa)
Diabaikan	0 – 0.10	0 – 150	-	-	-
Sedang*	0.10 – 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

Keterangan:

* Nilai FAS yang lebih rendah atau kuat tekan yang lebih tinggi diperlukan untuk mendapatkan kedekatan atau perlindungan terhadap korosi dari bahan yang tertanam di dalam beton (Tabel 3.3 dan 3.4)

⁺ Air laut

⁺⁺ Pozzolan yang telah terbukti dari uji atau data penggunaan, yang mampu memperbaiki ketahanan beton terhadap sulfat, bila semen yang digunakan adalah semen Tipe V (Sumber: PB (draft) 1989:22, Tabel 4.5.2)

2.4.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat dalam beton tidak memiliki peranan penting dalam reaksi kimia tersebut. Agregat memiliki peranan sebagai pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan volume beton pada saat pengadukan selesai dan mempengaruhi keawetan beton (Mulyono, 2003, p. 51).

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu: 1). semen non-hidrolik dan 2). semen hidrolik.

2.4.2.1 Semen Non-Hidrolik

Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur.

Jenis kapur yang baik adalah kapur putih, yaitu yang mengandung kalsium oksida yang tinggi ketika masih membentuk kapur sohor (belum berhubungan dengan air) dan akan mengandung banyak kalsium hidroksida ketika telah berhubungan dengan air.

Kapur putih cocok untuk menjernihkan plesteran langit-langit dan untuk mengkapur ruangan-ruangan. Jika digunakan sebagai bahan tambah campuran beton, kapur putih akan menambah kekenyalan dan memperbaiki sifat pengerjaan beton. Dengan menggunakan campuran 1:3, kapur putih dapat memperbaiki permukaan beton yang tidak mengandung pori-pori (Mulyono, 2003, p. 22). Kapur putih merupakan komponen utama dari bata yang terbuat dari pasir dan kapur. Kekuatan kapur sebagai bahan pengikat hanya dapat mencapai sepertiga kekuatan semen portland.

2.4.2.2 Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen pozzolan, semen terak, semen alam, semen prtland, semen portland-pozzolan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen expansif. Contoh lain adalah semen portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus.

1. Kapur Hidrolik

Sekitar 65-75% bahan kapur hidrolik terbuat dari batu gamping, yaitu kalsium karbonat beserta bahan pengikutnya seperti silika, alumina, magnesia dan oksida besi. Kapur hidrolik dibuat dengan cara membakar batu kapur yang mengandung silika dan lempung sampai menjadi klinker dan mengandung cukup kapur dan silikat untuk menghasilkan kapur hidrolik.

Kapur hidrolik tidak cocok untuk bangunan-bangunan di dalam air karena membutuhkan udara yang cukup untuk mengeras. Sifat umum dari kapur hidrolik diantaranya adalah: kekuatan rendah, berat jenis rata-rata 1000 kg/m^3 , bersifat hidrolik, dapat larut jika terkena air.

2. Semen Pozollan

Pozollan merupakan bahan yang mengandung silisium atau alumunium yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang. Pozollan memiliki butiran yang halus dan dapat membentuk senyawa yang mempunyai

sifat semen. Semen pozollan adalah bahan ikat yang mengandung silika amorf yang apabila dicampur dengan kapur akan menjadi padat dan keras.

3. Semen Terak

Semen terak adalah semen hidrolis yang sebagian besar kandungannya terdiri dari campuran terak tanur kapur tinggi dan kapur tohor. Sekitar 60% beratnya berasal dari terak tanur tinggi. Tanur tinggi merupakan bahan yang terdiri dari silikat, alumina silikat, kalsium dan senyawa basa lainnya, yang terbentuk dalam keadaan cair bersama besi dalam tanur tinggi.

Semen terak ini jarang digunakan dalam struktur beton, tetapi cukup menguntungkan jika digunakan untuk pembuatan volume beton besar yang tidak mengutamakan aspek kekuatan.

4. Semen Alam

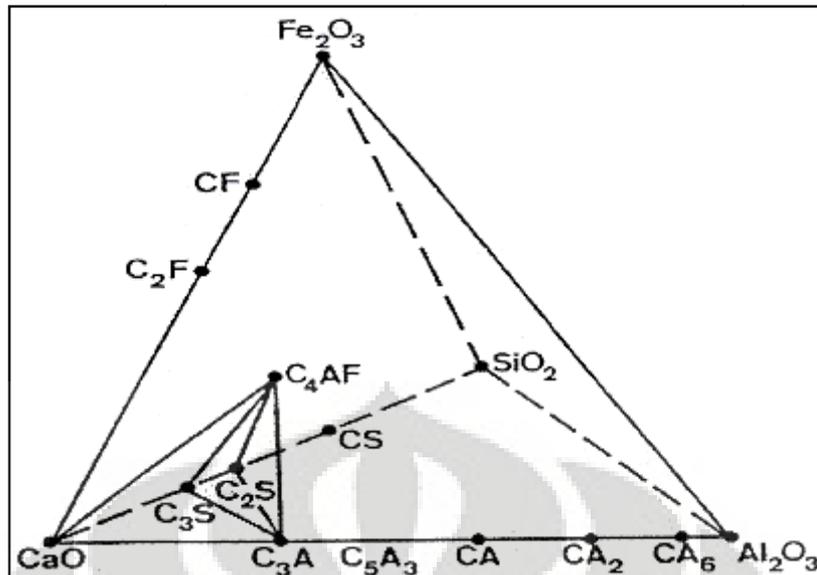
Semen alam dihasilkan dari pembakaran batu kapur yang mengandung lempung pada suhu yang lebih rendah dari suhu pengerasan. Hasil dari pembakaran digiling menjadi serbuk halus. Kadar silika, alumina, dan oksida besi pada serbuk ini akan bergabung dengan kalsium oksida dan membentuk senyawa kalsium silikat dan aluminat yang dapat dianggap mempunyai sifat hidrolis.

Semen alam ini tidak boleh digunakan pada tempat yang terekspos atau berhubungan langsung dengan perubahan cuaca. Semen alam ini biasa digunakan untuk konstruksi yang tidak memerlukan kekuatan tinggi.

5. Semen Portland

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pengerjaan 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.

Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah: kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO₂) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃ dan Al₂O₃) sekitar 7%-12%. Mineral dasar penyusun portland semen dapat dilihat pada Gambar 2.13 di bawah ini.



Gambar 2. 13. Mineral Dasar Penyusun Portland Semen

Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

Sifat Fisika

a. Kehalusan butir (*finenes*)

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan (*setting time*) menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Jika permukaan penampang semen lebih besar, maka bidang kontak dengan air juga akan besar. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya akan semakin cepat. Ini menyebabkan kekuatan awal yang tinggi dan kekuatan akhir yang akan berkurang.

Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding* atau naiknya air ke permukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan akan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut ASTM, butir semen yang lewat saringan No.200, harus lebih dari 78%. Untuk mengukur kehalusan butir semen digunakan alat *turbidimeter* dari Wagner atau *Air Permeability* dari Blaine.

b. Kepadatan (*density*)

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah $3,15 \text{ g/cm}^3$. Pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara $3,05$ sampai $3,25 \text{ g/cm}^3$. Variasi ini akan berpengaruh pada proporsi campuran semen dalam

campuran. Pengujian berat jenis dapat dilakukan menggunakan alat *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C-188.

c. Konsistensi

Konsistensi semen portland lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi bergantung pada rasio antara semen dan air serta sifat bahan semen lainnya seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi. Konsistensi mortar bergantung pada konsistensi semen dan agregate pencampurnya.

d. Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, di mana terhitung dan mulai bereaksi dengan air menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen dibedakan menjadi dua yaitu waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat plastis, dan waktu ikat akhir (*final setting time*) yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Pada semen portland waktu ikat awal berkisar 1,0 – 2,0 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1,0 jam, sedangkan waktu ikat akhir tidak boleh lebih dari 8,0 jam.

Waktu ikat awal sangat penting pada kontrol pekerjaan beton. Untuk kasus-kasus tertentu, diperlukan waktu ikat awal lebih dari 2,0 jam agar waktu terjadinya ikat awal menjadi lebih panjang. Waktu yang panjang ini diperlukan untuk transportasi, penuangan beton, pemadatan dan penyelesaiannya (*finishing*). Proses ikatan ini disertai perubahan temperatur yang di mulai sejak ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikat akan memendek karena naiknya temperatur sebesar 30 °C atau lebih. Waktu ikat ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan lingkungan sekitar.

Waktu ikat ini diukur dengan alat "*Vicat*" atau "*Gillmore*". Pengikatan semu untuk persentase penetrasi akhir minimum pada semua jenis semen adalah 50% (Mulyono, 2003, p. 33).

e. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air dan dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retak pada saat pendinginan. Pada beberapa struktur beton, terutama pada struktur beton mutu tinggi, retakan ini tidak diperbolehkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan.

Panas hidrasi naik sesuai dengan nilai temperatur saat hidrasi terjadi. Untuk semen biasa, panas hidrasi bervariasi mulai dari 37 kalori/gram pada temperatur sekitar 5 °C hingga 80 kalori/gram pada temperatur 40 °C. Semua jenis semen umumnya telah membebaskan sekitar 50% panas totalnya pada satu hingga tiga hari pertama, 70% pada hari ketujuh, serta 83-91% setelah 6 bulan (Mulyono, 2003, p. 33). Laju perubahan panas ini bergantung pada komposisi semen.

Perkembangan panas hidrasi untuk berbagai jenis semen pada suhu 21 °C ditunjukkan pada Tabel 1.2.8.

Tabel 2. 8. Perkembangan Panas Hidrasi Semen Portland pada Suhu 21 °C

Jenis Semen Portland	Hari					
	1	2	3	7	28	90
Tipe I	33	53	61	80	96	104
Tipe II	-	-	-	58	75	-
Tipe III	53	67	75	92	101	107
Tipe IV	-	-	41	50	66	75
Tipe V	-	-	-	45	50	-

(Sumber: Mulyono, 2003, p. 34)

f. Perubahan volume

Perubahan volume/kekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. Ketidakekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut. Kapur bebas itu mengikat air dan kemudian menimbulkan gaya-gaya ekspansi. Alat uji untuk menentukan nilai kekalan semen

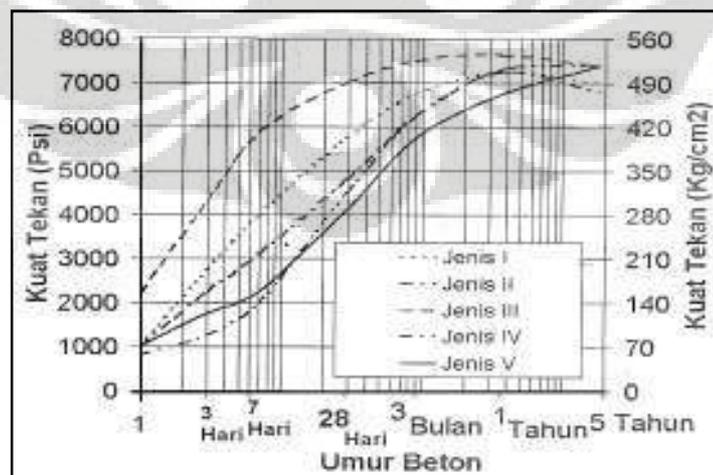
portland adalah "*Autoclave Expansion of Portland Cement*" cara ASTM C-151, atau cara Inggris, BS "*Expansion by Le Chatellier*",

Sifat-sifat semen portland sangat dipengaruhi oleh susunan ikatan oksida-oksida serta bahan-bahan pengotor lainnya. Semen yang digunakan untuk membangun suatu struktur harus mempunyai kualitas tertentu agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik pada saat pemrosesan, saat menjadi bubuk semen maupun setelah menjadi pasta semen. Pemeriksaan semen atau pengujian semen harus dilakukan sesuai dengan standar mutu. Standar yang paling umum dianut di dunia adalah Standar ASTM, "*American Society for Testing and Material*" C-150 dan *British Standar* (BS-12). Di Indonesia, kita menggunakan Standar Industri Indonesia, (SII-0013-81) yang mengadopsi ASTM C-150-80.

g. Kekuatan tekan

Kekuatan tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Contoh semen yang akan diuji dicampur dengan pasir silika dengan perbandingan tertentu, kemudian dibentuk menjadi kubus-kubus berukuran 5x5x5 cm.

Setelah berumur 3, 7, 14 dan 28 hari dan mengalami perawatan dengan perendaman, benda uji tersebut diuji kekuatan tekannya. Perkembangan kekuatan tekan untuk mortar dan beton yang menggunakan berbagai jenis semen dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14. Perkembangan Kuat Tekan Beton untuk Berbagai Tipe Semen Portland dengan FAS 0,49

(Sumber: Mulyono, 2003, p. 36)

Sifat Kimia

Secara garis besar, ada empat senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu:

1. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S
2. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S
3. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang di singkat menjadi C_3A
4. Tertrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C_3S dan C_2S adalah 70-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Cokrodimuljo, 1992). Semen dan air saling bereaksi. Persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi, dan hasilnya dinamakan hidrasi semen. Senyawa C_3S jika terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke-14. Senyawa C_2S lebih lambat bereaksi dengan air dan hanya berpengaruh terhadap semen setelah umur 7 hari. C_2S memberikan ketahanan terhadap serangan kimia dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan.

Kedua senyawa utama tadi membutuhkan air sekitar 21-24% dari beratnya untuk bereaksi. Senyawa C_3S membebaskan kalsium hidroksida hampir tiga kali dari yang dibebaskan oleh C_2S . Jika kandungan C_3S lebih banyak maka akan terbentuk semen dengan kekuatan tekan awal yang tinggi dan panas hidrasi yang tinggi, sebaliknya jika kandungan C_2S lebih banyak maka akan terbentuk semen dengan kekuatan tekan awal yang rendah dan ketahanan terhadap serangan kimia yang tinggi.

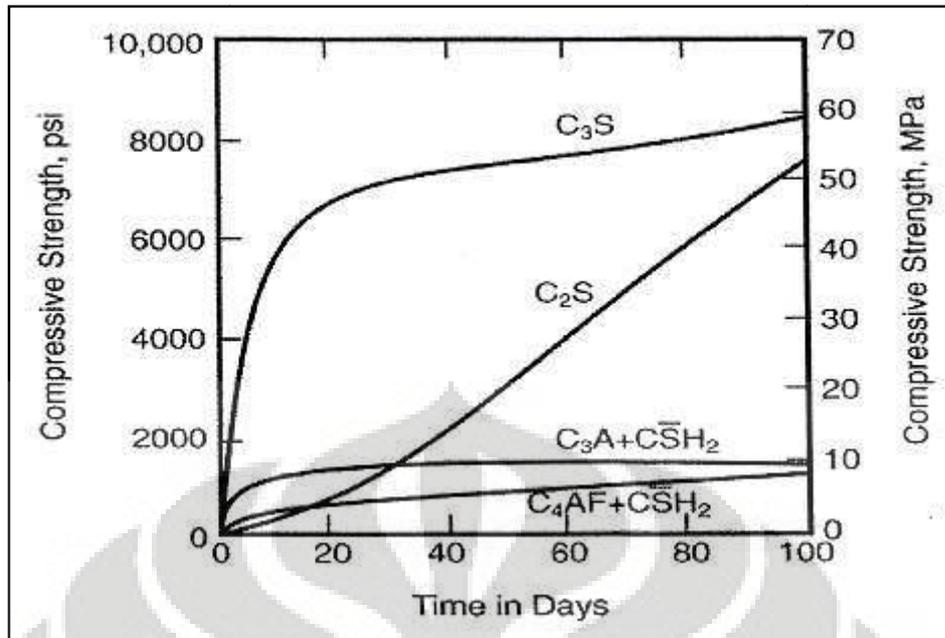
Senyawa ketiga yaitu C_3A , akan bereaksi secara *exothermic* dengan sangat cepat dan memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama. C_3A bereaksi dengan air dengan jumlah sekitar 40% dari beratnya. Karena persentasinya dalam semen yang kecil (sekitar 10%), maka pengaruhnya pada jumlah air untuk reaksi menjadi kecil. Unsur ini sangat berpengaruh pada nilai panas hidrasi tertinggi, baik pada saat awal maupun pada saat pengerasan berikutnya yang sangat panjang. Semen yang mengandung unsur C_3A lebih dari

10% tidak akan tahan terhadap serangan sulfat (Mulyono, 2003, p. 37).

Prinsip dasar pemilihan semen yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton yang tahan terhadap serangan sulfat adalah berapa banyak kandungan senyawa C_3A nya. Semen yang tahan sulfat harus memiliki kandungan C_3A tidak lebih dari 5%. Semen yang kandungan C_3A nya tinggi, jika terkena sulfat yang terdapat pada air atau tanah akan bereaksi dengan sulfat dan terlihat mengambang sehingga mengakibatkan retak-retak pada beton (Cokrodimuljo, 1992).

Untuk struktur drainase yang kandungan sulfatnya lebih tinggi dari normal, harus digunakan bahan campuran beton yang tahan terhadap serangan sulfat. Semen yang digunakan harus memiliki kandungan C_3A sekitar 0,10-0,20% (ACI 318-83: 2-7). Semen portland Tipe II biasanya mengandung C_3A lebih kecil dari 8% (ASTM C-150). Untuk struktur yang benar-benar akan terkena serangan sulfat, sebaiknya digunakan semen Tipe V, di mana kandungan maksimum C_3A sekitar 5% (ACI.318-83: 2-7).

Senyawa keempat yakni C_4AF , kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton sehingga kontribusinya dalam peningkatan kekuatan kecil. Perbandingan kuat tekan terhadap umur uji masing-masing senyawa penyusun semen portland dapat dilihat pada Gambar 2. 15. Sedangkan untuk perbandingan karakteristik senyawa yang menyusun semen portland dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.9 di bawah ini.



Gambar 2. 15. Kurva Compressive Strength-Time in Days dari Mineral Penyusun Portland Semen
(Sumber: S. Mindess and J. F. Young, 1981, p. 29)

Tabel 2. 9. Karakteristik Senyawa Penyusun Semen Portland

Compound	Reaction rate	Strength attained	Liberation of heat, cal/g at 7 days
C_3S	Moderate	High	High (1.10)
C_2S	Slow	Low at first, high later	Low (0.20)
C_3A	Fast	Low	Very high (1.95)
C_4AF	Moderate	Low	Moderate (0.50)

Berdasarkan Tabel 2.9 di atas maka dapat diketahui bahwa perbedaan persentasi senyawa kimia akan menyebabkan perbedaan sifat semen. Perbedaan kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakter dan jenis semen yang berbeda-beda. Peraturan Beton 1989 membagi semen portland menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu:

- Tipe I, semen untuk semua tujuan dan dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus.
- Tipe II, dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Relatif sedikit pelepasan panas dan digunakan untuk struktur besar.

- Tipe III, dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi. Semen ini akan mencapai kekuatan tinggi pada umur 3 hari.
- Tipe IV, dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Biasa dipakai pada bendungan beton.
- Tipe V, dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Biasa dipakai pada saluran dan struktur yang diekspose terhadap sulfat.

Persentase komposisi tiap tipe semen portland dapat dilihat pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2.10. Persentase Komposisi Semen Portland

	Komposisi dalam persen (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, di gunakan untuk struktur besar.
Tipe III, Kekuatan Awal Tinggi	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV, Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Di pakai pada bendungan beton
Tipe V, Tahan Sulfat	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspose terhadap sulfat.

(Sumber: Mulyono, 2003, p. 39)

Dalam SII 0013-1981 dan Ulasan PB 1989, dijelaskan bahwa semen Tipe I digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen Tipe II yang memiliki kadar C₃A tidak lebih dari 8% digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung garam sulfat dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa. Semen Tipe III, memiliki kadar C₃A serta C₃S yang tinggi dengan butiran yang sangat halus, sehingga dapat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini dipergunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah/negara yang mempunyai musim dingin. Semen

Tipe IV mempunyai panas hidrasi yang rendah, kadar C_3S -nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C_3A nya maksimum 5%. Semen tipe ini digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar dan masif, seperti untuk pekerjaan bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya. Semen Tipe V digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam persentase yang tinggi. Total alkali yang terkandung dalam semen dalam campuran beton harus dibatasi sekitar 0.5%-0.6% (Stanton, 1940).

Sifat-sifat kimia dari semen portland itu sendiri meliputi: kesegaran semen, sisa bahan yang tidak larut dan panas hidrasi semen.

a. Kesegaran Semen

Pengujian kehilangan berat akibat pembakaran (*loss of ignition*) dilakukan pada semen dengan suhu 900-1000°C. Kehilangan berat ini terjadi karena kelembaban yang menyebabkan prahidrasi dan karbonisasi dalam bentuk kapur bebas atau magnesium yang menguap.

Kelembaban ini disebabkan oleh atmosfer yang mengandung air, juga karena karbondioksida yang terserap di atmosfer. Kehilangan berat dari semen ini merupakan ukuran dari kesegaran semen. Pemeriksaan kesegaran semen dilakukan dengan cara mengambil satu gram semen dan menempatkannya dalam platina bertemperatur 900-1000°C, selama 15 menit. Dalam keadaan normal, akan terjadi kehilangan berat sekitar 2% dengan batas maksimum sekitar 4% (Mulyono, 2003, p. 40).

b. Sisa Bahan yang Tidak Larut

Sisa bahan yang tidak habis bereaksi adalah sisa bahan tidak aktif yang terdapat pada semen. Semakin sedikit sisa bahan ini, semakin baik kualitas semen. Jumlah maksimum sisa bahan tidak larut yang dipersyaratkan adalah 0,85%. Pemeriksaan bahan yang tidak larut dapat dilakukan dengan mengaduk satu gram semen dalam 40 ml air yang kemudian ditambahi dengan 10 ml HCL pekat. Campuran tersebut selanjutnya dididihkan selama 10 menit dan volumenya dibuat tetap. Jika terbentuk gumpalan, gumpalan tersebut harus

dipecah dan selanjutnya larutan disaring dengan kertas filter. Sisa yang tak larut disaring dan dicuci dengan larutan $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{HCL}$, kemudian dicuci dengan air. Untuk memperoleh sisa yang tidak larut, kertas filter dikeringkan lalu dibakar dan ditimbang.

c. Panas Hidrasi Semen

Seperti yang telah diuraikan, hidrasi terjadi jika semen bersentuhan dengan air. Proses hidrasi pada butiran semen terjadi dengan arah ke dalam dan keluar permukaan. Di mana hasil hidrasi mengendap di bagian luar di mana butiran semen bagian dalam belum terhidrasi dan secara bertahap akan terhidrasi sehingga volumenya mengecil/susut. Reaksi ini berlangsung lambat (sekitar 2 - 8 jam) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan butiran pecah.

Pada tahap berikutnya akan terbentuk pasta semen yang terdiri dari gel dan sisa semen yang tidak bereaksi, seperti kalsium $\text{Ca}(\text{OH})_2$, air dan senyawa yang lainnya. Kristal senyawa tersebut membentuk suatu rangkaian tiga dimensi yang saling melekat secara acak, dan sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang ditempati air, lalu membeku dan mengeras sehingga mempunyai kekuatan tertentu. Selama proses hidrasi berlangsung, akan keluar panas yang dinamakan panas hidrasi. Pasta semen yang telah mengeras memiliki struktur berpori dengan ukuran yang sangat kecil dan bervariasi (ukurannya sekitar 4×10^7 mm). Setelah hidrasi berlangsung, endapan pada permukaan butiran semen akan menyebabkan difusi air ke bagian dalam yang belum terhidrasi terhambat. Ini menyebabkan proses hidrasi menjadi lambat. Proses ini dapat terjadi sampai 50 tahun dalam peningkatan kekuatan beton.

6. Semen Portland Pozollan

Semen portland pozollan adalah campuran semen portland dengan bahan-bahan yang bersifat pozollan seperti terak tanur tinggi dan hasil residu PLTU. Semen jenis ini biasanya digunakan untuk beton yang diekspos terhadap sulfat. Semen portland pozollan dihasilkan dengan mencampurkan bahan semen portland dan pozollan 15-40% dari berat total campuran dengan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ dalam pozollan minimum 70% (SK.SNI T-15-1990-03:2).

7. Semen Portland Putih

Semen portland putih ini memang dibutuhkan pada aspek arsitektural bangunan seperti beton yang berwarna putih atau mortar yang berwarna. Untuk mendapatkan hasil yang baik digunakan semen portland putih dengan agregat yang sesuai warnanya tentunya.

Semen portland putih merupakan semen portland yang memiliki kandungan oksida besi dan mangan oksida yang rendah (kurang dari 0,5%). Bahan baku yang digunakan harus kapur murni, lempung putih yang tidak mengandung oksida besi dan pasir silika. Bahan bakar minyak digunakan dalam proses produksinya untuk menghindari kontaminasi kotoran/abu hasil pembakaran batu bara (jika digunakan bahan bakar batu bara).

Kontaminasi semen dari besi selama proses penggilingan juga harus dihindari dalam produksinya. Untuk tujuan ini bak penggilingan tidak terbuat dari besi melainkan nikel atau campuran material lainnya. (Neville, 1991, p. 82). Karena itu biaya dalam penggilingan semen portland putih ini akan menjadi lebih mahal. Dalam pembuatannya semen ini memiliki biaya mencapai dua kali lipat dari pembuatan *ordinary portland cement* (Neville, 1991, p. 82).

Karena mahalnya semen portland, beton dengan semen ini biasanya digunakan hanya pada permukaan bangunan dan berlawanan dengan penggunaan beton dengan *ordinary portland cement*. Dalam hal ini ikatan beton dari kedua jenis semen ini harus diperhatikan. Untuk mendapatkan warna yang baik dalam pembuatan beton putih dibutuhkan perhitungan rancang campur yang tepat. FAS disarankan tidak lebih dari 0,4 (Neville, 1991, p. 82). Beton dengan semen portland putih bisa dipakai sebagai dasar sebelum pengecatan. Warna dasar bisa dimasukkan saat pengadukan dengan *mixer*, tetapi sebelumnya sangat penting untuk memastikan bahwa warna dasar tersebut tidak memberikan dampak merugikan terhadap kekuatan semen dan kandungan udara beton yang akan dihasilkan. Contohnya warna hitam dengan penambahan karbon di mana akan menyebabkan berkurangnya kandungan udara pada beton yang dihasilkan. Pengadukan semen dengan penambahan warna dasar seperti ini jarang sekali dilakukan karena sangat sulit untuk mendapatkan warna yang seragam dari beton yang dihasilkan.

Untuk mendapatkan keawetan warna dalam beton, semen berwarna seperti semen putih ini memang dibutuhkan. Seperti untuk membuat siar keramik atau

benda yang berseni lainnya. Spesifikasi semen portland putih ini berbeda-beda sesuai dengan pabrik pembuatnya. Secara umum spesifikasi komposisi penyusun semen portland putih ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 11. Tipikal Komposisi Senyawa White Portland Cement

Compound	Content, per cent
C ₃ S	51
C ₂ S	26
C ₃ A	11
C ₄ AF	1
SO ₃	2-6
alkalis	0-25

(Sumber: Neville, 1991, p. 82)

Semen portland putih ini memiliki berat jenis sedikit lebih rendah dari *ordinary portland cement* (OPC). Berat jenisnya sekitar 3,05-3,10 (Neville, 1991, p. 83). Kekuatan semen portlan putih ini biasanya lebih rendah dari semen ordinary, tetapi semen portland putih ini memiliki standar semen yang sangat baik sesuai dengan BS 12:1978.

8. Semen Alumina

Semen alumina dihasilkan dari pembakaran batu kapur dan bauksit yang telah digiling halus pada temperatur 1600 °C. Hasil pembakaran tersebut berbentuk klinker dan selanjutnya dihaluskan hingga menyerupai bubuk yang berwarna abu-abu.

Semen alumina memiliki kekuatan awal yang tinggi, tahan terhadap serangan asam dan garam sulfat serta tahan serangan api. Tetapi jika digunakan pada suhu lebih dari 29 °C, kekuatannya berangsur-angsur akan berkurang. Karena itu semen jenis ini hanya digunakan oleh negara-negara yang memiliki musim dingin.

2.4.3 Agregat

2.4.3.1 Jenis Agregat

Agregat merupakan bahan pengisi dalam campuran beton yang mempunyai komposisi yang besar. Karena memiliki komposisi yang besar dalam campuran beton maka perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat beton yang akan dihasilkan. Penggunaan agregat yang banyak dalam beton akan menghemat penggunaan semen portland, sehingga semakin murah harganya. Tetapi dalam penggunaannya ada batasannya, karena pasta semen diperlukan untuk pelekatan butiran-butiran dalam pengisian rongga-rongga halus dalam adukan beton. Disamping itu penggunaan banyak agregat dapat mengurangi penyusutan akibat mengerasnya beton.

Agregat dapat digolongkan berdasarkan: daerah asalnya, ukuran butiran, berat jenis dan bentuk.

1. Berdasarkan daerah asalnya agregat terdiri dari:

a. Agregat alam

Agregat yang diperoleh dari sumber daya alam yang mengalami pengecilan ukuran secara alami atau dapat pula diperoleh dengan cara pemecahan batu alam. Pasir alam dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai, atau tepi laut.

b. Agregat buatan

Agregat buatan adalah agregat yang dibuat dengan tujuan penggunaan tertentu/khusus atau karena kekurangan agregat batuan-batuan alam.

2. Berdasarkan ukuran butirannya agregat terdiri dari:

a. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya mampu melalui saringan dengan lubang 4,75 mm (ASTM C 33,1982).

b. Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirannya tertinggal di atas saringan dengan lubang 4,75 mm (ASTM C 33,1982).

3. Ditinjau dari berat jenisnya agregat terdiri dari:

a. Agregat ringan

Agregat ringan yaitu agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0. Agregat ini memiliki berat sendiri yang rendah, sehingga stukturanya

menjadi ringan. Agregat ringan didapat secara alami atau buatan. Contoh agregat ringan antara lain: agregat batu apung, hydrite, rocklite dan lain-lain.

b. Agregat normal

Agregat ini memiliki berat jenis antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini digunakan pada beton jika dibutuhkan beton dengan berat jenis sekitar 2,3 atau disebut dengan beton normal.

c. Agregat Berat

Agregat berat ini memiliki berat jenis lebih dari 2,8. Beton yang dihasilkan juga memiliki berat jenis yang tinggi. Biasanya, digunakan sebagai pelindung dari sinar radasi sinar x.

4. Ditinjau dari bentuknya agregat terdiri dari:

a. Bulat

Pada umumnya agregat jenis ini berbentuk bulat atau bulat telur. Pasir/kerikil jenis ini biasanya berasal dari sungai atau pantai dan mempunyai rongga udara minimum 33 %. Ini berarti agregat mempunyai resiko luas permukaan yang kecil, sehingga hanya memerlukan sedikit pasta semen untuk menghasilkan adukan beton yang baik. Tetapi ikatan antar butir menjadi kurang sehingga ikatannya/lekatannya lemah. Oleh karena itu agregat ini tidak cocok untuk beton mutu tinggi maupun untuk perkerasan jalan.

b. Bersudut

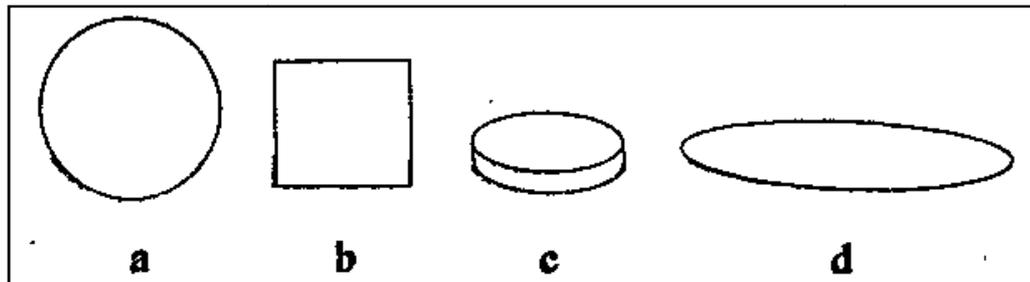
Agregat jenis ini mempunyai bentuk tidak beraturan, mempunyai sudut-sudut yang tajam dan permukaannya kasar. Yang termasuk jenis agregat ini adalah batu pecah yang berasal dari mesin pemecah batu. Ikatan antar butirannya baik, sehingga membentuk daya lekat yang baik pula. Agregat ini baik untuk beton mutu tinggi dan untuk perkerasan jalan.

c. Pipih

Agregat pipih adalah agregat yang memiliki perbandingan antara ukuran lebar dengan ukuran tebal lebih dari 3. Agregat ini berasal dari batuan-batuan yang berlapis.

d. Memanjang/Lonjong

Agregat ini dikatakan memanjang/Lonjong jika perbandingan antara ukuran yang terpanjang dengan yang terlebar lebih dari 3.



Gambar 2. 16. Tipe Bentuk Agregat

2.4.3.2 Sifat Agregat dalam Campuran Beton

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Untuk mendapatkan beton dengan kekuatan yang diinginkan, sifat-sifat agregat dalam campuran beton ini harus dipelajari terlebih dahulu. Agregat yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII 0052-80, “Mutu dan Cara Uji Agregat Beton). Jika terdapat hal-hal yang tidak termuat pada standard tersebut, maka digunakan ASTM C-33-82, “*Standard Specification for Concrete Aggregates*”.

Sifat-sifat agregat dalam campuran beton di antaranya: penyerapan air, kadar air, berat jenis dan daya serap, gradasi agregat, modulus kehalusan, serta bahan-bahan yang berpengaruh buruk pada beton.

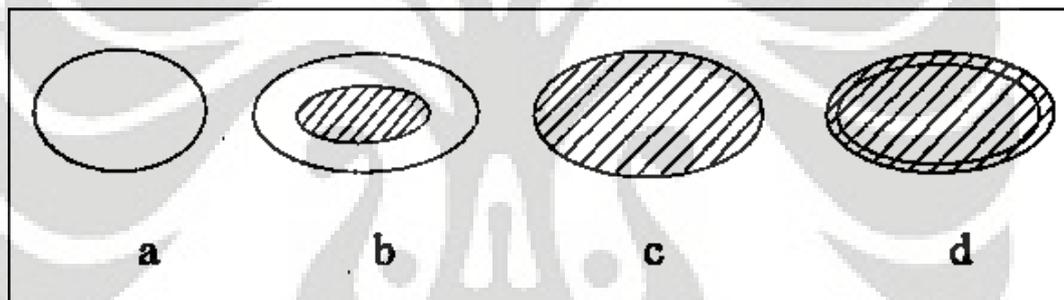
1. Penyerapan Air

Adanya udara yang terjebak dalam suatu butiran agregat ketika pembentukannya atau karena dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca akan menimbulkan lubang-lubang atau rongga-rongga kecil dalam agregat yang disebut dengan pori-pori. Pori-pori ini ada yang bisa dilihat dengan mata telanjang dan ada juga yang membutuhkan mikroskop untuk melihatnya dikarenakan pori-porinya yang sangat kecil. Persentase air yang mampu diserap oleh agregat, jika agregat direndam dalam air sampai jenuh, disebut serapan air atau daya serap air dalam agregat. Jika agregat yang didalamnya jenuh dengan air yang diambil dari rendaman, agregat tersebut dikatakan dalam keadaan basah. Jika air di luar agregat sudah menguap (permukaan agregat kering), maka dapat dikatakan agregat dalam keadaan jenuh kering muka.

2. Kadar Air

Banyaknya air yang dapat terkandung dalam agregat disebut kadar air. Keadaan air dalam agregat dibedakan atas beberapa hal sebagai berikut:

- a. Keadaan kering oven, yaitu agregat benar-benar dalam keadaan kering atau tidak mengandung air. Keadaan ini menyebabkan agregat dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, yaitu permukaan butir-butir dalam keadaan kering tetapi dalam butiran masih mengandung air. Pasir atau kerikil dalam keadaan ini masih dapat menyerap sedikit air.
- c. Jenuh kering muka (*saturated and surface dry/SSD*). Pada keadaan ini permukaan agregat kering/tidak ada air, tetapi butiran-butiran agregat jenuh dengan air. Sehingga pada keadaan ini tidak menyerap air dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran beton.
- d. Basah, pada keadaan ini butir-butiran agregat banyak mengandung air, baik dalam butiran maupun dalam permukaan agregat sehingga jika dipakai dalam campuran beton penggunaan air harus dikurangi.



Gambar 2. 17. Tipe Kadar Air dalam Agregat

3. Berat jenis dan daya serap agregat

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis pada agregat pada akhirnya akan menentukan berat jenis pada beton sehingga akan menentukan banyaknya agregat yang dibutuhkan dalam campuran beton. Semakin tinggi berat jenis agregat maka akan semakin kecil daya serap air agregat tersebut (Mulyono, 2003, p. 90).

4. Gradasi agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran agregat memiliki ukuran yang sama/seragam, volume pori antar butiran akan menjadi besar. Dan sebaliknya jika ukuran butiran bervariasi, maka pori antar butiran menjadi kecil karena sebagian pori-pori akan terisi oleh butiran yang lebih kecil, dan menyebabkan pori-porinya berkurang.

SK. SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus di mana agregat halus ini dibagi dalam empat zona/daerah. Keempat zona tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.12 di bawah ini.

Tabel 2. 12. Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4.8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2.4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1.2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0.6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0.3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0.15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Keterangan:

- Daerah gradasi I : pasir kasar
 Daerah gradasi II : pasir agak kasar
 Daerah gradasi III : pasir halus
 Daerah gradasi IV : pasir agak halus

(Sumber: Mulyono, 2003, p. 91)

Gradasi agregat akan berpengaruh terhadap sifat beton segar dan sifat beton keras.

a. Pada beton segar

Pada beton segar akan mempengaruhi kelecakan (*workability*), jumlah air pencampur, jumlah semen yang diperlukan, kontrol terhadap segregasi/pemisahan butir, dan bleeding/pemisahan air ke permukaan beton.

b. Pada beton keras

Dari sifat-sifat yang disebutkan pada beton segar, akan mempengaruhi kekuatan dalam beton keras.

5. Modulus Kehalusan (*Finnes Modulus*)

Modulus kehalusan atau biasa disebut dengan FM merupakan suatu indek yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat (Abrams,1918). Modulus kehalusan ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal diatas satu set saringan (38; 19; 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15; 0,074 mm) yang kemudian dibagi dengan

seratus. Makin besar nilai FM suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai FM sekitar 1.5-3.8 dan FM kerikil sekitar 5-8.

6. Bahan-bahan yang Berpengaruh Buruk pada Beton

Bahan-bahan yang berpengaruh buruk pada beton adalah bahan yang menyebabkan terganggunya proses pengikatan dan pengerasan pada beton. Bahan-bahan yang berpengaruh pada beton tersebut dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

a. Bahan-bahan yang merugikan yang terdapat dalam agregat

Pengujian untuk zat organik bisa dilakukan dengan cara zat organik dinetralkan dengan soda api (NaOH) dan warna cairan yang terjadi dibandingkan dengan warna standar. Jika warnanya lebih tua dari warna standar maka itu menunjukkan adanya zat organik. Zat organik ini dapat memperlambat pengikatan (*setting*) semen, dan juga dapat memperlambat perkembangan kekuatan beton. Bahan seperti gula, minyak dan lemak juga berpengaruh buruk terhadap sifat-sifat beton. Gula bersifat menghambat pengikatan semen dan perkembangan kekuatan beton, sedangkan minyak dan lemak akan mengurangi daya ikat semen.

b. Tanah liat, lumpur dan debu yang sangat halus

Tanah liat, lumpur dan debu yang sangat halus yang menempel pada permukaan agregat akan mengganggu ikatan agregat dengan pasta semen yang akibatnya akan mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Karena mempunyai pengaruh terhadap kekuatan beton maka jumlahnya dibatasi dalam agregat yaitu tidak boleh lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar.

c. Garam klorida dan sulfat

Garam klorida dan sulfat ini dapat dihilangkan dengan cara dicuci dengan air tawar. Adanya klorida dalam beton akan memberikan resiko berkaratnya tulangan baja yang ada dalam beton. Dan garam sulfat akan menghasilkan senyawa-senyawa yang akan mengembangkan volume, lalu sedikit demi sedikit akan merusak beton.

Bahan-bahan yang berpengaruh buruk pada beton kandungannya tidak boleh melebihi dari nilai pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 13. Syarat Persentase Maksimum Bahan-Bahan yang Berpengaruh Buruk pada Beton

Uraian	Prosentase Maks dalam Berat
Lempung dan partikel Butiran halus lolos ayakan No. 200 (0.075 mm)	3.0
Beton yang tahan terhadap abrasi	3.0
Beton umumnya	5.0
Batubara dan lignit	0.5
Beton yang permukaannya diekspose	1.0
Beton umumnya	

(Sumber: Mulyono, 2003, p. 105)

2.4.4 Bahan Tambah

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

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan dan atau pada saat dilakukan pengecoran (*placing*), sedangkan bahan tambah *additive* yaitu yang bersifat mineral dilaksanakan pada saat pengadukan dilaksanakan.

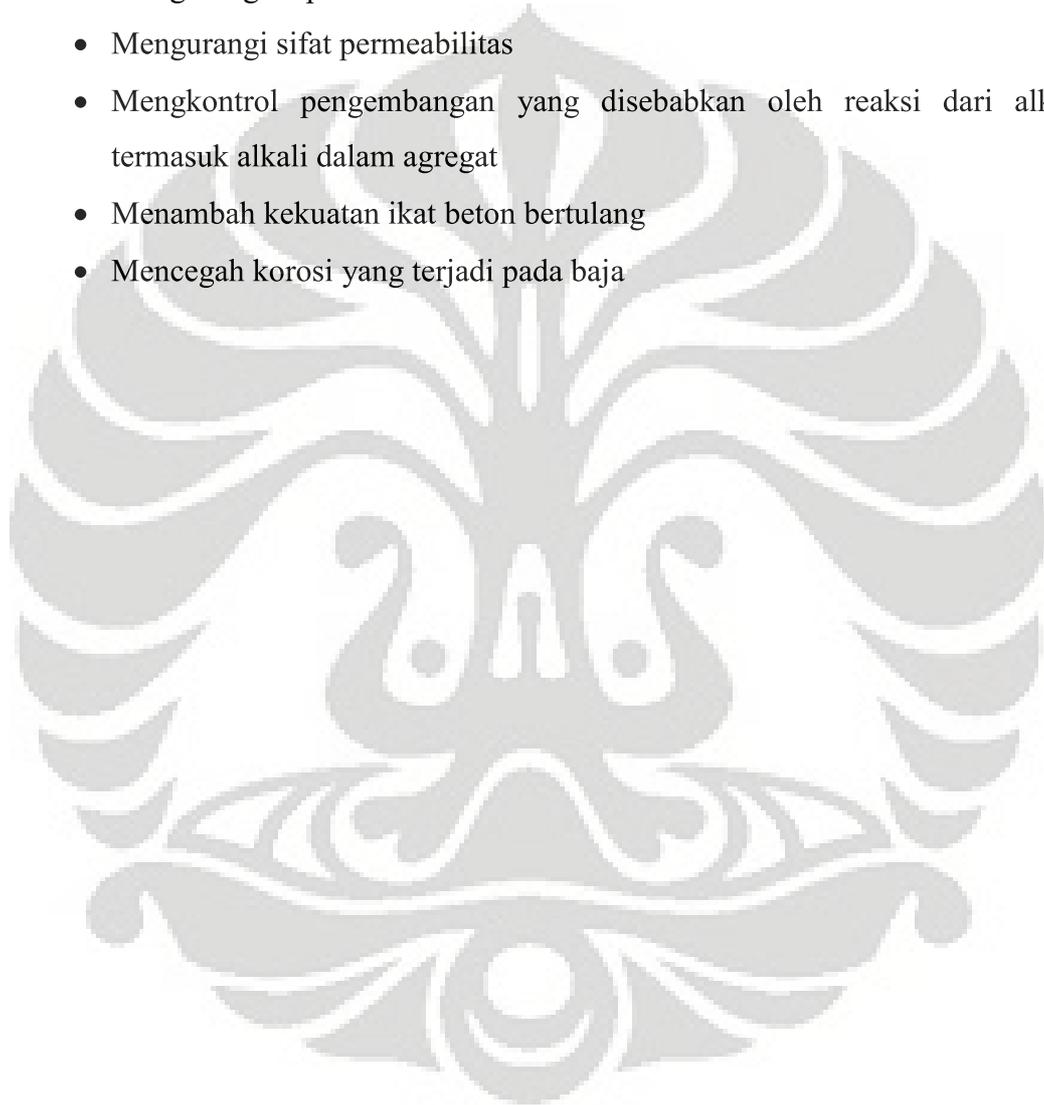
Ada beberapa tujuan dalam penggunaan bahan tambah pada pembuatan beton. Berdasarkan *Manual of Concrete Practice* (ACI. 212. 1R-81, Revised 1986), beberapa tujuan penting dari penggunaan bahan tambah di antaranya:

1. Dalam Memodifikasi Beton Segar

- Menambah kemudahan dalam pekerjaan tanpa menambah kandungan air
- Menghambat dan mempercepat waktu pengikatan awal pada campuran beton
- Mengurangi atau mencegah penurunan atau perubahan volume beton
- Mengurangi segregasi
- Mengembangkan dan meningkatkan sifat penetrasi dan pemompaan beton segar
- Mengurangi kehilangan nilai slump

2. Dalam Memodifikasi Beton Keras

- Menghambat atau mengurangi panas yang dihasilkan selama pengerasan awal beton muda
- Mempercepat laju pengembangan kekuatan beton di awal
- Menambah kekuatan beton
- Menambah keawetan beton atau ketahanan terhadap sulfat
- Mengurangi kapilaritas air
- Mengurangi sifat permeabilitas
- Mengontrol pengembangan yang disebabkan oleh reaksi dari alkali termasuk alkali dalam agregat
- Menambah kekuatan ikat beton bertulang
- Mencegah korosi yang terjadi pada baja



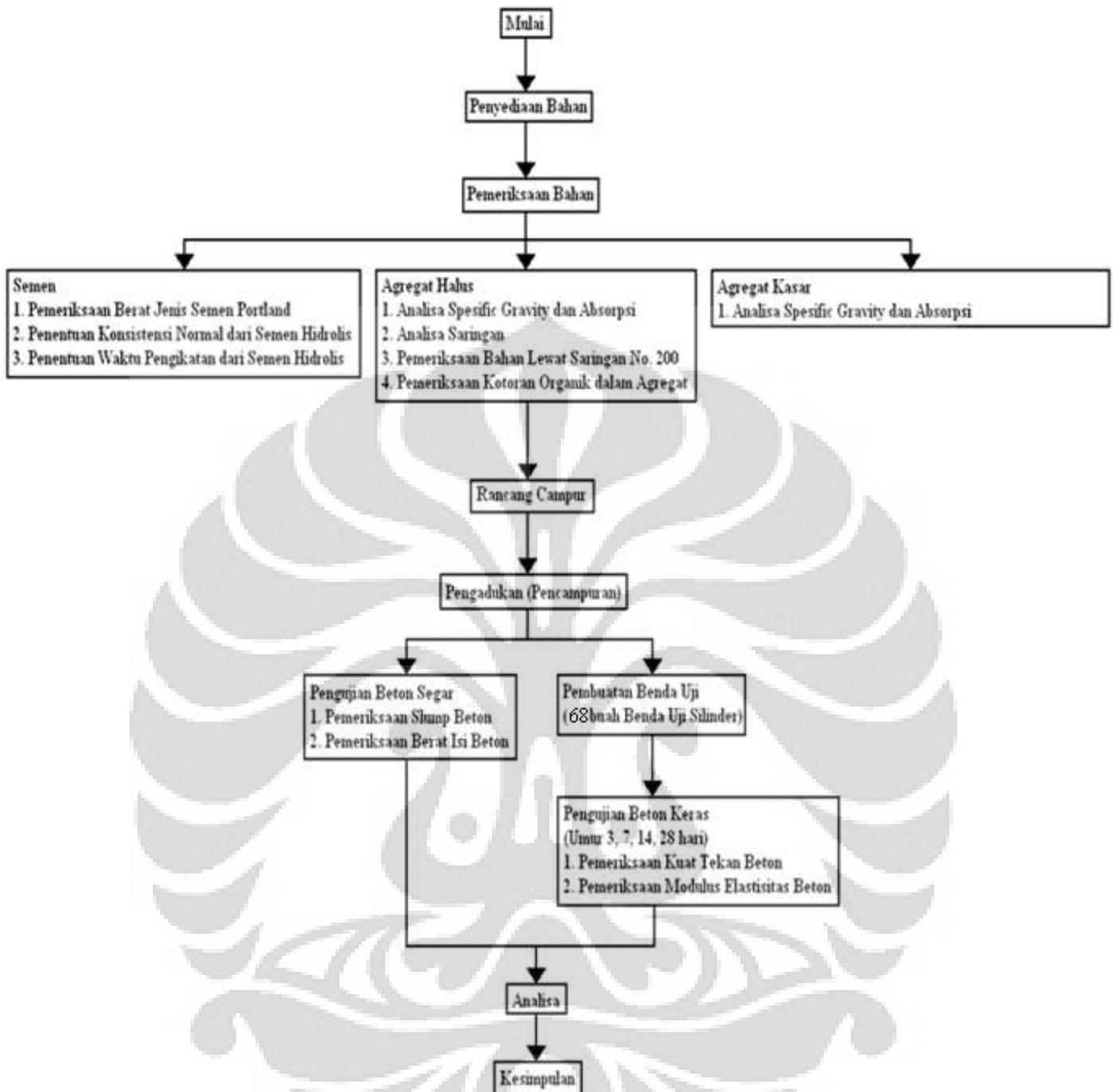
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas pada beton yang dibuat dengan menggunakan semen portland putih/White Cement (WC) dan semen abu-abu/Portland Composite Cement (PPC), dengan memberikan nilai Faktor Air Semen (FAS) yang bervariasi pada campuran beton, yaitu: 0,4; 0,45; 0,5 dan 0,55. Di mana hubungan ini akan diperlihatkan dan dibandingkan dengan grafik antara hasil penelitian dengan teori yang ada serta penelitian-penelitian sebelumnya.

Dalam mencari hubungan nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas dengan nilai Faktor Air Semen (FAS) tersebut, dilakukan pengujian di laboratorium dengan benda uji silinder beton diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah benda uji beton dengan menggunakan semen portland putih masing-masing adalah 3 untuk setiap FAS pada umur uji 3, 7, dan 14. Dan untuk hari ke 28 sebanyak 5 benda uji. Untuk benda uji beton dengan menggunakan semen abu-abu (PCC) masing-masing 3 untuk setiap FAS pada umur uji 3, 7, 14 dan 28. Untuk pengujian modulus elastisitas, digunakan benda uji tekan untuk hari ke 28. Sebelum benda uji di tes tekan, benda uji tersebut di tes modulus elastisitas terlebih dahulu. Pada beton dengan semen portland putih sebanyak 3 benda uji untuk modulus elastisitas tiap FAS, dan pada beton dengan semen abu-abu (PCC) sebanyak 2 benda uji untuk modulus elastisitas tiap FAS. Sehingga total benda uji yang dibuat adalah 68 benda uji (56 benda uji beton dengan semen portland putih dan 12 benda uji dengan semen abu-abu, PCC).

Analisa yang dilakukan didasarkan pada data-data yang dihasilkan dari pengujian di laboratorium dan kajian pustaka/referensi yang terkait. Tahapan-tahapan pada proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1. Tahapan Proses Penelitian

3.1 BAHAN PEMBENTUK BETON

Bahan utama pembentuk beton yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Semen

- jenis : *White Cement (WC)* dan *Portland Composite Cement (PPC)*
- merk : Indocement Tiga Roda
- sumber : PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.

2. Agregat Halus

- jenis : pasir putih Bangka (telah dicuci)
- asal : Bangka
- sumber : PT. Adhimix

3. Agregat Kasar

- jenis : batu pecah (telah dicuci)
- asal : Bogor, Jawa Barat
- sumber : PT. Adhimix

4. Air

- jenis : air PAM
- sumber : Laboratorium Beton FT-UI Depok

3.2 PENGUJIAN BAHAN PEMBENTUK BETON

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap semen, agregat halus, dan agregat kasar. Sedangkan untuk air tidak dilakukan pengujian.

3.2.1 Pemeriksaan Terhadap Semen

3.2.1.1 Pemeriksaan Berat Jenis Semen Portland

Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat jenis semen Portland. Berat jenis semen adalah perbandingan antara berat isi kering semen pada suhu kamar dengan berat isi kering air suling pada 4 °C yang isinya sama dengan isi semen.

- Prosedur
 - a) Isi botol Le Chatelier dengan kerosin atau naptha sampai antara skala 0 dan 1; bagian dalam botol diatas permukaan cairan dikeringkan.
 - b) Masukkan botol kedalam bak air dengan suhu konstan dalam waktu yang cukup untuk menghindarkan variasi suhu botol lebih besar dari 0,2 0 C.
 - c) Setelah suhu air sama dengan suhu cairan dalam botol' baca skala pada botol (*v1*).
 - d) Masukkan benda uji sedikit demi sedikit kedalam botol; jangan sampai terjadi ada semen yang menempel pada dindingdalam botol diatas cairan.

- e) Setelah semua benda uji dimasukkan, putar botol dengan posisi miring secara perlahan-lahan sampai gelembung udara tidak timbul lagi pada permukaan cairan.
- f) Ulangi pekerjaan pada no.2 setelah suhu air sama dengan suhu cairan dalam botol, baca skala pada botol (v_2).
- Perhitungan

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{berat semen}}{V_2 - V_1} \times d$$

Keterangan :

- V_1 = Pembacaan pertama pada skala botol
- V_2 = Pembacaan kedua pada skala botol
- $(V_2 - V_1)$ = Isi cairan yang dipindahkan oleh semen dengan berat tertentu.
- d = Berat isi air pada suhu 4 0C. (1 gram/cm³).

3.2.1.2 Penentuan Konsistensi Normal dari Semen Hidrolis

Menentukan konsistensi normal dari semen hidrolis untuk keperluan penentuan waktu pengikatan semen.

- Prosedur
 - a) Siapkan *mixer* dan pelengkapannya
 - b) bahan – bahan dimasukkan ke dalam *mixer* dengan cara sebagai berikut:
 - i. air 128 ml dituangkan ke dalam mangkuk
 - ii. semen portland 500 gram dimasukkan ke dalam mangkuk
 - iii. biarkan selama 30 detik untuk proses penyerapan
 - c) jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan rendah (140 ± 5 rpm) selama 30 detik
 - d) hentikan alat aduk selama 15 detik sambil mengorek isi mangkuk
 - e) jalankan kembali mesin pengaduk dengan kecepatan sedang (285 ± 10 rpm) selama 1 menit
 - f) segera ambil pasta dan bentuk menjadi bola dengan cara
 - g) melempar-lemparkan pasta ke tangan satu ke tangan yang lain dengan jarak ± 15 cm sebanyak 25x
 - h) tempatkan pada alat vicat
 - i) ketuk –ketuk cincin konis (G) agar pasta mengisi wadah
 - j) tempatkan cincin pada plat gelas (H)

- k) ratakan bagian atas semen dengan tanpa menekan adukkan
- l) pusatkan cincin berisi pasta dibawah batang (B) dan sentuhkan dan kunci jarum C pada permukaan pasta
- m) tempatkan indikator (F) tepat pada angka nol yang atas
- n) lepaskan batang (B) bersamaan jarum (C) dengan memutar kunci
- o) biarkan jarum masuk ke dalam pasta selama 30 detik dan mencapai 10 ± 1 mm dari permukaan dan itu adalah mengartikan bahwa semen telah mencapai konsistensi normal
- p) bila belum tercapai maka percobaan diulangi dengan jumlah air yang berbeda
- q) catat jumlah air yang diperlukan untuk mencapai konsistensi normal
- r) gambarkan grafiknya yang menunjukkan hubungan antara kedalaman penetrasi jarum dan kadar air dalam pasta semen

- Perhitungan

$$\text{kadar air} = \frac{\text{jumlah air}}{\text{berat semen}}$$

3.2.1.3 Penentuan Waktu Pengikatan dari Semen Hidrolis

Menentukan waktu pengikatan semen hidrolis (dalam keadaan konsistensi normal) dengan alat vicat dan alat Gillmor.

- Prosedur
 - a) Dalam test vicat, waktu pengikatan terjadi apabila jarum vicat yang kecil (Jarum D), membuat penetrasi sedalam 25 mm kedalam pasta setelah mapan selama 30 detik.
 - b) Dalam test gillmore, waktu pengikatan awal terjadi apabila jarum tekanan rendah tidak memberikan bekas yang tampak (jelas) pada pasta, sedang waktu pengikatan akhir terjadi apabila jarum tekanan tinggi tidak memberikan bekas yang tampak (jelas) pada pasta.

Alat Vicat:

- a) Tempatkan sudu serta mangkuk (kering) pada posisi mengaduk pada alat aduk.
- b) Tempatkan bahan-bahan untuk satu "batch" kedalam mangkuk dengan cara sebagai berikut :

- i. Masukkan semua air pencampur yang jumlahnya telah ditetapkan sebelumnya dalam pembuatan pasta semen dengan konsistensi normal untuk semen 500 gram.
 - ii. Tambahkan 500 gram semen pada air tersebut dan biarkan menyerap untuk 30 detik.
- c) Jalankan alat aduk dengan kecepatan rendah (140 ± 5 rpm) selama 30 detik.
 - d) Hentikan alat aduk selama 15 detik dan koreklah semua pasta dari sisi mangkuk.
 - e) Jalankan alat aduk dengan kecepatan sedang (248 ± 10 rpm) dan aduklah selama 1 menit.
 - f) Segera ambil pasta semen dari mangkuk dan bentuklah seperti bola, dan tekankan kedalam cincin konis sesuai cara dalam penentuan konsistensi normal.
 - g) Segera masukkan benda coba tersebut kedalam ruang lembab dan biarkan disana terus kecuali bila mau dipakai untuk percobaan.
 - h) Setelah 30 menit didalam ruang lembab, tempatkan benda coba pada alat vikat. Turunkan jarum D hingga menyentuh permukaan pasta semen. Keraskan sekrup E dan geser jarum penunjuk F pada bagian atas dari skala dan lakukan pembacaan awal.
 - i) Lepaskan batang B dengan memutar sekrup E dan biarkan jarum mapan pada permukaan pasta untuk 30 detik. Adakan pembacaan untuk menetapkan dalamnya penetrasi. Apabila pasta ternyata terlalu lembek, lambatkan penurunan batang B untuk mencegah melengkungnya jarum.
 - j) Jarak antara setiap penetrasi pada pasta tidak boleh lebih kecil dari 6mm untuk semen tipe I. Percobaan dilakukan segera setelah diambil dari ruang lembab dan setiap 15 menit sesudahnya sampai tercapai penetrasi sebesar 25 mm atau kurang. Untuk semen tipe III, percobaan dilakukan segera setelah diambil dari ruang lembab dan setiap 10 menit sesudahnya sampai tercapai penetrasi sebesar 25 mm atau kurang.
 - k) Gambarkan dalam suatu grafik, besarnya penetrasi jarum vikat sebagai fungsi dari waktu untuk semen-semen tipe I atau III.
 - l) Catat hasil semua percobaan penetrasi. Tentukan waktu tercapainya penetrasi sebesar 25 mm. Inilah waktu ikat.

Alat Gillmore :

Prosedurnya a – b, sama dengan alat vicat.

- e) Bentuklah suatu lingkaran pipih dari pasta dengan diameter 75 mm dan tebal 12 mm, ditengah-tengah lingkaran pipih tersebut datar ditengah dan menipis kearah pinggir. Pembuatan lingkaran pipih tersebut dilakukan pada kaca datar bersih berukuran +/- 10 x 10 cm².
- f) Tempatkan benda coba (bersama kacanya) kedalam ruang lembab dan biarkan disitu terus, kecuali bila akan dilakukan percobaan.
- g) Peganglah jarum-jarum kedalam posisi vertical dan letakkan ujung-ujungnya pelan-pelan pada permukaan pasta.
- h) Bila jarum tekanan rendah tidak memberi bekas pada pasta, maka pasta telah mencapai waktu ikat mula. Bila jarum tekanan tinggi tidak memberi bekas pada pasta, maka pasta telah mencapai waktu ikat akhir.
- i) Catatlah waktu-waktu ikat awal dan ikat akhir.
- j) Buatlah table yang menunjukkan perbedaan-perbedaan dalam waktu semen tipe I dan III.

3.2.2 Pemeriksaan Terhadap Agregat Halus

3.2.2.1 Analisa Specific Gravity dan Absorpsi

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh agregat halus menurut SNI 03 1970-1990.

- Cara pengujian
 - a) Keringkan benda benda uji di dalam oven pada suhu (110 + 5)° C sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
 - b) Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji, lakukan pengeringan sampai tercapai jenuh permukaan kering (SSD).
 - c) Periksa keadaan SSD dengan mengisi benda uji kedalam kerucut terpancung, dalam tiga bagian, padatkan sebanyak 25 kali. Lalu angkat kerucut terpancung. Keadaan SSD tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.

- d) Setelah tercapai keadaan SSD, ambil benda uji sebanyak ± 500 gram (B SSD) masukkan kedalam picnometer. Masukkan air suling sebanyak 90 % dari isi picnometer (dari tanda batas), putar sambil diguncang-guncang agar gelembung udara yang tersekap didalamnya dapat keluar.
- e) Rendam picnometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25° C.
- f) Tambahkan air sampai batas tertentu.
- g) Timbang picnometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0, 1 gram (BT).
- h) Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven pada suhu $(110 + 5)^{\circ}$ C sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji. Setelah benda uji dingin lalu timbang (BK).
- i) Tentukan berat picnometer berisi air penuh (B) dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standard 25° C.

- Perhitungan :

$$a) \text{ Berat jenis curah (bulk specific gravity) } = \frac{BK}{B+500-BT}$$

$$b) \text{ Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) } = \frac{500}{B+500-BT}$$

$$c) \text{ Berat jenis semu (apparent specific gravity) } = \frac{BK}{B+BK-BT}$$

$$d) \text{ Penyerapan Air } = \frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$$

3.2.2.2 Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus berdasarkan SNI 03 1969-1990.

- Cara pengujian:
 - a) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}$ C, sampai berat tetap.
 - b) Saringan benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digoncang dengan tangan atau mesin penggoncang selama 15 menit.
 - c) Timbang berat agregat kasar yang terdapat pada masing-masing ayakan.

- Perhitungan

Hitung persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

$$FM = \frac{\sum \% \text{ tertahan komulatif di atas ayakan } 0,15 \text{ mm}}{100}$$

3.2.2.3 Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh persentase jumlah dalam bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm), yang dimaksud dengan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih.

- Cara pengujian:
 - a) Timbang wadah tanpa benda uji
 - b) Timbang benda uji dan masukkan ke dalam wadah
 - c) Masukkan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam
 - d) Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan yang sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan pencuci sehingga mempermudah dalam pemisahannya.
 - e) Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan No. 16 (1, 18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan No.200 (0,075 mm) pada waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
 - f) Ulangi proses pengujian c,d dan e, sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih.
 - g) Kembalikan semua benda uji yang tertahan saringan No. 16 (1,18 mm) dan No. 200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum 0,1 % dari berat contoh.

- Perhitungan

Hitung persen bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) :

- a) Berat kering benda uji awal

$$w3 = w1 - w2$$

- b) Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$w5 = w4 - w2$$

- c) bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

$$w6 = (w3 - w5)/w3 * 100\%$$

Dimana:

w1 = berat kering benda uji + wadah (gram)

w2 = berat wadah (gram) .

w3 = berat kering benda uji awal (gram)

w4 = berat kering benda uji setelah pencucian + wadah (gram)

w5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

w6 = % bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

3.2.2.4 Pemeriksaan Kotoran Organik dalam Agregat Halus

Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan angka petunjuk larutan standar atau standar warna yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir.

- Cara pengujian:
 - a) Masukkan benda uji kedalam botol gelas sampai mencapai garis skala 130 ml
 - b) Tambahkan larutan (3 % NaOH + 97 % air) dan dikocok sampai volume mencapai 200 ml
 - c) Tutup botol, kocok kuat-kuat, kemudian diamkan selam 24 jam
 - d) Warna standar dapat menggunakan larutan standar atau organik plate No.3
 - e) Jika warna larutan benda uji lebih gelap dari warna larutan standar, lebih besar dari No.3, maka kemungkinan mengandung bahan organik dan tidak diizinkan untuk bahan campuran beton.

3.2.3 Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar

3.2.3.1 Analisa Specific Gravity dan Absorpsi

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh agregat kasar menurut SNI 03 1969-1990.

- Cara pengujian
 - a) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar 25° C selama 24 jam.

- b) Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering), untuk butir yang besar pengeringan harus dilakukan satu persatu.
- c) Timbang benda uji dalam keadaan jenuh permukaan kering (BJ).
- d) Letakkan benda uji di dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan gelembung udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (BA). Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu kamar 25° C.
- e) Masukkan benda uji ke dalam oven pada suhu (110 ± 5)° C sampai berat tetap.
- f) Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama satu jam sampai tiga jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0.5 gram (BK).

- Perhitungan

- a) Berat jenis curah (*bulk specific gravity*) = $\frac{BK}{BJ-BA}$

- b) Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) = $\frac{BJ}{BJ-BA}$

- c) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) = $\frac{BK}{BK-BA}$

- d) Penyerapan Air = $\frac{BJ-BK}{BK} \times 100\%$

3.2.3.2 Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat kasar berdasarkan SNI 03 1969-1990.

- Cara pengujian:
 - a) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5)° C, sampai berat tetap.
 - b) Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digoncang dengan tangan atau mesin penggoncang selama 15 menit.
 - c) Timbang berat agregat kasar yang terdapat pada, masing-masing ayakan.
 - d) Hitung persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

3.2.3.3 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

Pengujian ini untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin abrasi Los Angeles.

- Cara pengujian :

a) Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 (tujuh) cara berikut:

Cara A = Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm.

Jumlah bola 12 buah dengan putaran 500 putaran.

Cara B = Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah

bola 11 buah dengan 500 putaran.

Cara C = Gradasi C, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 4,75 mm.

Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.

Cara D = Gradasi D, bahan lolos 4,75 mm sampai tertahan 2,36 mm.

Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.

Cara E = Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm.

Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

Cara F = Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah

bola 12 buah dengan 1000 putaran.

Cara G = Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm.

Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

b) Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin Abrasi Los Angeles.

c) Putar mesin dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gradasi A, B, C, dan D 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G 1000 putaran.

d) Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no.12 (1,7 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$ sampai berat tetap.

- Perhitungan :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

di mana:

a = berat benda uji semula, gram

b = berat benda uji tertahan saringan No. 12, gram

3.3 PEMBUATAN BETON

3.3.1 Perancangan Campuran

Perhitungan rancang campur/*mix design* dilakukan dengan metode modifikasi dari US Bureau dan JSCE (*Japan Society of Civil Engineering*).

Tahapan dari perhitungan rancang campur ini adalah sebagai berikut:

1. Tentukan nilai FAS, *slump*, *Specific Gravity of Portland Cement*, *Specific Gravity of Coarse Aggregate*, *Fineness Modulus of Fine Agregate* dan *Specific Gravity of Fine Agregate*.
2. Tentukan *size of aggregate*.
3. Berdasarkan Tabel 3.1 tetapkan nilai *Entrapped air*, *sand percent (S/a)* dan *water content* berdasarkan *maximum size of aggregate* untuk FM 2,8 dan *slump* 8 cm.

Tabel 3. 1. Specifications for FM 2,8 and Slump 8 Cm

		Concrete Without AE ad.		
Size of Aggregate	Unit Coarse Aggregate Content by Volume	Entrapped Air	Sand Percent	Water Content
(mm)	(%)	(%)	S/a (%)	W (kg)
15	53	2,5	49	190
20	61	2,0	45	185
25	66	1,5	41	175
40	72	1,2	36	165
50	75	1,0	33	155
80	81	0,5	31	140

4. Berdasarkan tabel 3.2 hitung penyesuaian untuk FM of sand, *slump*, using *crushed coarse aggregate*, *water cement ratio (FAS)*, dan S/a yang digunakan jika berbeda spesifikasi dengan Tabel 3. yaitu FM 2,8 dan *slump* 8 cm.

Tabel 3. 2. Change in Material of Proportions

No.	Change in Material of Proportions	Sand Percent S/a (%)	Water Content W (Kg)
1.	Each 0,1 increase or decrease in FM of sand	± 0,5	no correction
2.	Each 1 cm increase or decrease in slump	no correction	± 1,2%
3.	Using crushed coarse aggregate	+ 3 ~ 5	+ 9 ~ 15
4.	Each 0,05 increase or decrease in water-cement ratio	± 1	no correction
5.	Each 1% increase or decrease in S/a	no correction	± 1,5

5. Hitung kebutuhan material per m³ beton.

3.3.2 Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan Benda Uji

- Cara pengujian
 - a) Persiapan cetakan
 - i. Satu hari sebelum pengecoran cetakan dikeluarkan.
 - ii. Cetakan tersebut diolesi dengan oli untuk kemudahan saat membuka cetakan nantinya.
 - b) Pengadukan dengan mesin
 - i. Agregat kasar dan air dimasukkan sebanyak 30-40% kedalam mesin pengaduk. Mesin dinyalakan dan agregat halus, semen, dan sisa air dimasukkan kedalam mesin pengaduk. Lalu masukan sisa agregat kasar. Aduk beton selama tiga menit. Setelah selesai matikan mesin dan biarkan adukan beton selama tiga menit.
 - ii. Ambil tutup pengaduk dan jalankan mesin selama dua menit. Setelah selesai tuangkan beton ke dalam talem dan aduk lagi dengan sekop agar merata.
 - c) Penentuan *slump*

Apabila *slump* yang didapatkan tidak sesuai dengan yang dikehendaki, maka ulangi pengujian poin (a) dengan menambah atau mengurangi agregat hingga didapatkan *slump* yang dikehendaki.
 - d) Pengisian cetakan

Cetakan diisi dengan adukan beton dengan tiga lapis. Tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata dengan kedalaman sepertiga tinggi cetakan (tidak boleh menyentuh dasar cetakan). Setelah selesai ketuk cetakan hingga lubang bekas tusukan tertutup.

Ratakan permukaan beton dan tutup dengan bahan kedap air serta tahan karat. Biarkan beton didalam cetakan selama 24 jam. Setelah itu buka cetakan dan keluarkan benda uji.

Perawatan Benda Uji

- Cara pengujian
 - a) Setelah 24 jam, cetakan dibuka dan benda uji dikeluarkan.

- b) Benda uji direndam dalam bak perendam yang berisi air yang telah memenuhi persyaratan untuk perawatan/curing selama waktu yang dikehendaki.
- c) Beton direndam sampai satu hari sebelum waktu pengetesan.

3.4 PEMERIKSAAN KUALITAS BETON

3.4.1 Pemeriksaan Kualitas Beton Segar

3.4.1.1 Pengujian Slump

Uji ini dimaksudkan untuk mengukur kekentalan adukan beton yang dihasilkan pada setiap pengadukan. Kekentalan beton berpengaruh pada kemudahan pengedaan, (*workability*) dari beton. Adukan ini diambil langsung dari mesin pengaduk.

- Cara pengujian:
 - a) Basahilah cetakan dan pelat dengan kain untuk menghindari adanya penyerapan air dari campuran beton.
 - b) Kerucut Abrams diletakkan di atas pelat dengan kokoh.
 - c) Isilah cetakan sampai penuh dengan beton segar dalam 3 lapis tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan, setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata.
 - d) Segera setelah penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat; kemudian diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas. Dari saat pengisian sampai cetakan diangkat harus selesai dalam jangka waktu 2,5 menit.
 - e) Balikkan cetakan dan letakan perlahan-lahan disamping benda uji, ukurlah slump yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

3.4.1.2 Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat isi beton yang dihasilkan pada tahap awal dan mencari nilai yield yaitu volume beton segar yang dihasilkan dari total berat bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam mixer. Besar nilai yield beton adalah perbandingan beton segar yang dihasilkan dengan berat total bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam mixer.

- Cara pengujian:
 - a) Cetakan yang telah diketahui volumenya (V) ditimbang dan dicatat beratnya (A).
 - b) Isi cetakan dengan adukan hingga, penuh dalam 3 lapisan (sesuai prosedur pencetakan sampel) dipadatkan, diratakan permukaannya.
 - c) Permukaan cetakan dibersihkan dari sisa-sisa beton dan ditimbang beratnya (B).
 - d) Berat beton segar (fresh unit weight) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Berat beton segar} = \frac{B-A}{V}$$

3.4.2 Pemeriksaan Kualitas Reton Keras

3.4.2.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai f_c , yaitu kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03 1974-1990.

- Persiapan pengujian
 - a) Ambil benda uji dan bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.
 - b) Tentukan berat dan ukuran benda uji.
 - c) Lapislah (capping) permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang.
 - d) Benda uji sudah siap untuk diperiksa.
- Cara pengujian:
 - a) Letakan benda uji pada mesin tekan secara sentris
 - b) Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik
 - c) Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
 - d) Gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

- Perhitungan

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A}$$

di mana:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda, uji (cm)

3.4.2.2 Pemeriksaan Modulus Elastisitas Beton dan Rasio Poison

- Persiapan pengujian
 - a) Ukur diameter dan panjang benda uji.
 - b) Timbang setiap benda uji.
 - c) Pasang alat kompresometer-ekstensometer pada benda uji.
 - d) Pasang alat pengukur deformasi (dial gauge) pada posisi yang tepat.
 - e) Lakukan uji tekan (pada benda uji yang bukan untuk pemeriksaan modulus elastisitas) minimum dua benda uji untuk mengetahui kuat tekan maksimum.
- Cara pengujian
 - a) Tempatkan benda uji yang telah terpasang alat ukur regangan pada mesin uji tekan dengan kedudukan simetris.
 - b) Jalankan mesin dan beri pembebanan secara teratur.
 - c) Catat deformasi lateral dan longitudinal yang terjadi setiap penambahan beban yang tetap sampai beban sebesar 40% kuat tekan.
 - d) Lakukan prosedur pengujian (c) tiga kali (tiga siklus).
- Perhitungan
 - a) Deformasi total

Jika eksentrisitas batang indikator dan alat ukur deformasi tidak sama, maka deformasi harus dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$d = \frac{g \times e_r}{e_r + e_g}$$

di mana:

d : deformasi total benda uji, μm

g : hasil yang terbaca pada alat ukur, μm

e_r : eksentrisitas batang indikator dari sumbu benda uji, mm

e_g : eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji, mm

- b) Modulus elastisitas

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,00005)}$$

di mana:

E : modulus elastisitas, MPa

S_2 : 40% kuat tekan maksimum, MPa

S_1 : kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai $\epsilon_l = 50$ per juta, MPa

ϵ_2 : regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

c) Rasio poisson

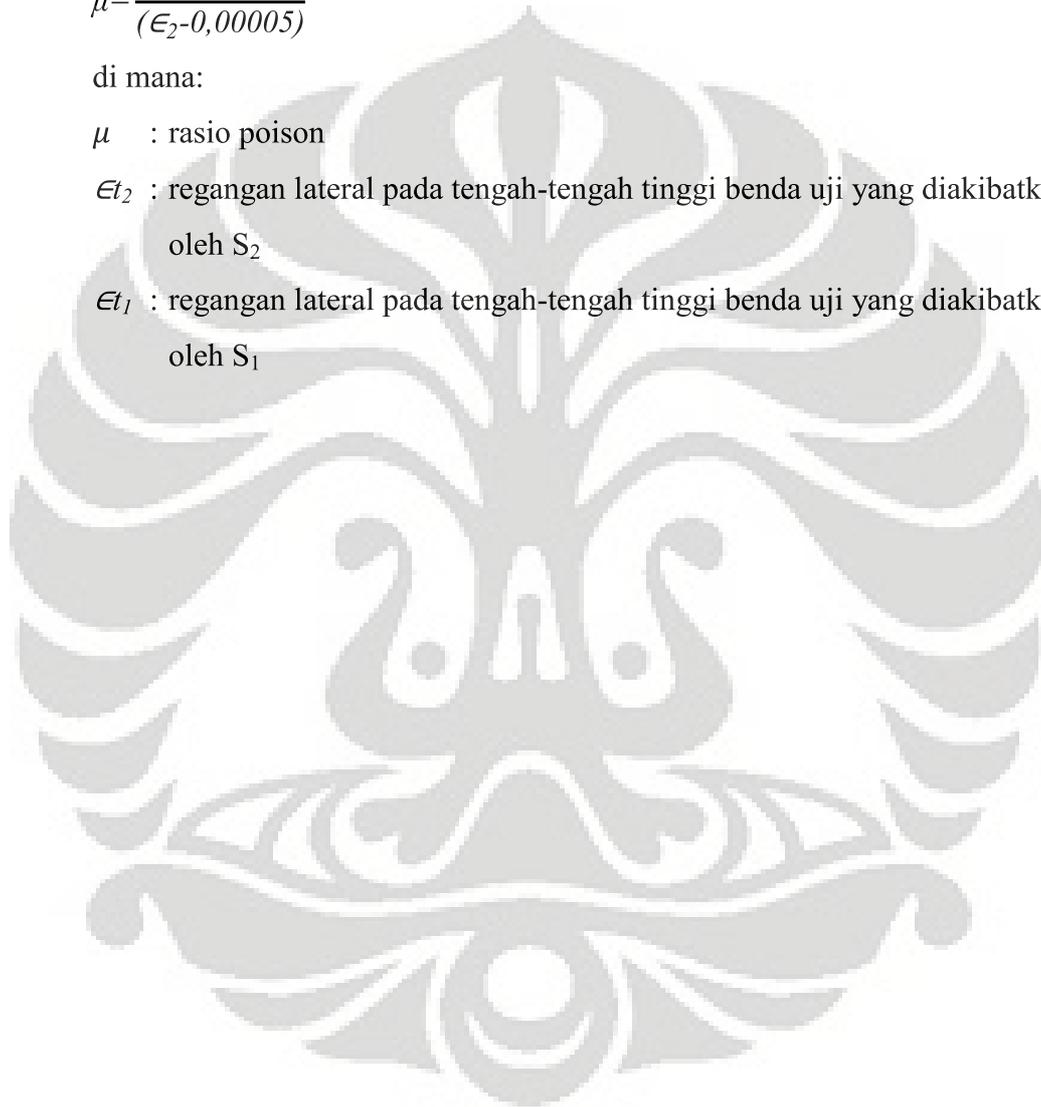
$$\mu = \frac{(\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1})}{(\epsilon_2 - 0,00005)}$$

di mana:

μ : rasio poisson

ϵ_{t2} : regangan lateral pada tengah-tengah tinggi benda uji yang diakibatkan oleh S_2

ϵ_{t1} : regangan lateral pada tengah-tengah tinggi benda uji yang diakibatkan oleh S_1



BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 PENGUJIAN SEMEN

4.1.1 Berat Jenis Semen Portland

Pengujian berat jenis semen portland ini dilakukan dua kali sesuai prosedur. Nilai berat jenis semen akhir adalah hasil rata-rata dari kedua nilai tersebut. Perhitungan berat jenis semen putih/*White Cement* (WC) dan semen abu-abu/*Portland Composite Cement* (PCC) masing-masing adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1. Berat Jenis Semen Portland Berdasarkan Uji Laboratorium

Tipe Semen	Berat Jenis I	Berat Jenis II	Rata-Rata, gr/cm ³
Semen putih/ <i>White Cement</i> (WC)	3,04	3,05	3,04
Semen abu-abu/ <i>Portland Composite Cement</i> (PCC)	3,24	2,77	3,01

Berdasarkan uji laboratotium berat jenis semen putih/WC sedikit lebih besar dari pada semen abu-abu/PCC. Sedangkan jika dibandingkan dengan *Ordinary Portland Cement* (OPC), berat jenis semen putih/WC akan sedikit lebih kecil (Neville, 1991, p. 83).

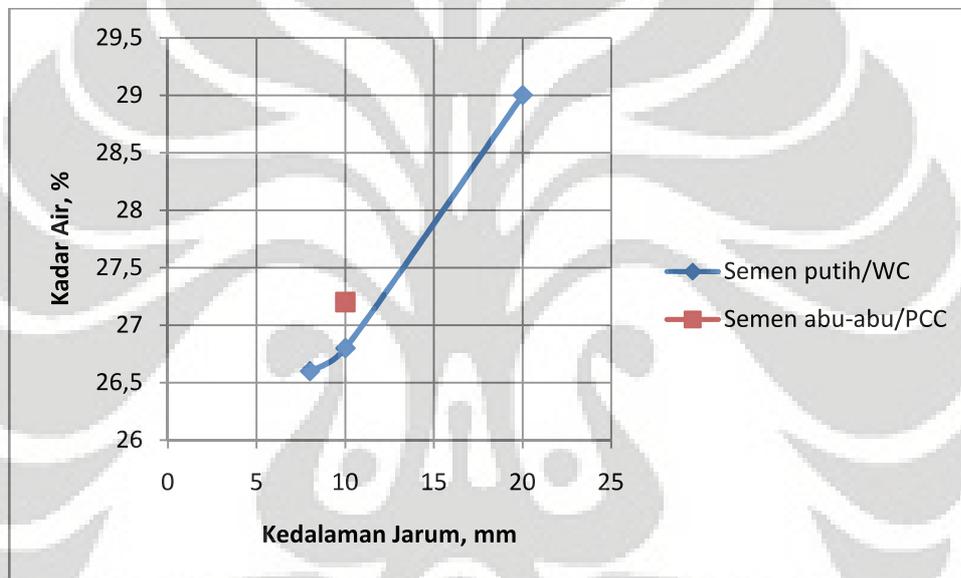
4.1.2 Konsistensi Normal Semen Hidrolis

Jumlah air yang dibutuhkan untuk pasta semen putih (WC) dari hasil laboratorium sesuai dengan prosedur adalah sebesar 134 ml dengan berat semen 500 gr, sehingga kadar air yang didapatkan sebesar 26,8%. Jumlah air tersebut merupakan jumlah air yang dibutuhkan untuk mendapatkan konsistensi normal semen putih (WC) saat penentuan waktu ikat semen. Sedangkan untuk semen abu-abu (PCC), jumlah air yang dibutuhkan untuk mendapatkan konsistensi

normal adalah sebesar 136 ml dengan berat semen yang sama yaitu 500 gr, sehingga kadar air yang didapatkan sebesar 27,2%.

Tabel 4. 2. Konsistensi Normal dari Semen Portland Berdasarkan Uji Laboratorium

Tipe Semen	Air, cc	Semen, gr	Kadar Air, %	Kedalaman Jarum, mm
Semen putih/WC	133	500	26,6	8
	134	500	26,8	10
	145	500	29	20
Semen abu-abu/PCC	136	500	27,2	10



Gambar 4. 1. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Kedalaman Jarum dari Pasta Semen Portland

Kadar air yang dibutuhkan semen abu-abu/PCC sedikit lebih besar dari pada semen putih/WC. Dengan demikian, akan dibutuhkan air yang lebih sedikit bagi semen putih/WC untuk mendapatkan konsistensi normal yaitu saat kedalaman jarum 10 mm. Kadar air pada saat konsistensi normal pasta semen ini dipengaruhi oleh kehalusan dan kecepatan hidrasi. Sedangkan kadar air konsistensi mortar bergantung pada konsistensi semen dan agregate pencampurnya.

4.1.3 Waktu Ikat Semen Hidrolis

Untuk pemeriksaan waktu ikat semen putih (WC), didapatkan sebagai berikut:

Tabel 4. 3. Penurunan Jarum pada Pemeriksaan Waktu Ikat Semen

Semen putih/WC			Semen abu-abu/PCC		
No.	Waktu (menit)	Penurunan (mm)	No.	Waktu (menit)	Penurunan (mm)
1	30	40	1	30	42
2	50	26	2	50	29,5
3	70	11	3	70	16,5
4	90	2,5	4	90	4
5	140	1	5	140	2
Konsistensi normal	26,80%		Konsistensi normal	27,20%	
Suhu pasa	3 °C		Suhu pasa	3 °C	
Suhu udara	28,9 °C		Suhu udara	28,7 °C	
Waktu pengukuran permulaan	51,33	menit	Waktu pengukuran permulaan	57	menit

Berdasarkan Tabel 4.3 waktu ikat semen putih/WC lebih cepat dari pada semen abu-abu/PCC. Maka semen putih/WC akan lebih cepat mengeras dibanding semen abu-abu/PCC.

4.2 PENGUJIAN AGREGAT HALUS

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir putih yang berasal dari Bangka. Pemeriksaan untuk agregat halus ini diantaranya:

4.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan

Dari penelitian laboratorium untuk pasir putih dari Bangka ini didapatkan berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) sebesar 2,56; berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,60; berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) sebesar 2,66; dan penyerapan (adsorpsi) sebesar 1,42%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 4. Berat Jenis dan Penyerapan Pasir Putih Bangka Berdasarkan Uji Laboratorium

	I	II	Rata-Rata	Satuan
Berat benda uji <i>oven dry</i>	493	493	493	gr
Berat piknometer berisi air	667	668	667,5	gr
Berat piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi	974	976	975	gr
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	2,55	2,57	2,56	gr/cm ³
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)	2,59	2,60	2,60	gr/cm ³
Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2,65	2,66	2,66	gr/cm ³
penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	1,42	1,42	1,42	%

4.2.2 Kandungan Zat Organik

Dari penelitian di laboratorium, pasir putih Bangka ini cukup tinggi kandungan organiknya. Dari pengujian empat kali untuk sampel yang sama dengan pencucian terlebih dahulu tetap didapatkan warna benda uji yang gelap cukup pekat. Sedangkan berdasarkan standar warna, nomor warna yang mendekati adalah warna nomor empat.



Gambar 4. 2. Kandungan Zat Organik Putih Bangka Berdasarkan Uji Laboratorium

Hasil warna larutan benda uji lebih gelap dari standar warna No. 3. Kemungkinan pasir asal Bangka ini memiliki kandungan organik yang memberikan pengaruh buruk pada beton. Jika demikian zat organik ini dapat memperlambat pengikatan (*setting*) semen, dan juga dapat memperlambat perkembangan kekuatan beton.

Berdasarkan hasil uji tekan, pasir putih Bangka ini tidak menunjukkan perkembangan kekuatan beton yang lambat. Uji tekan untuk hari ke 7 dan hari ke 14 sudah memiliki kuat tekan yang cukup besar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagian pengujian beton.

Kemungkinan adanya garam klorida dan sulfat bisa terjadi. Ini bisa menyebabkan berkaratnya tulangan baja yang ada dalam beton. Dan garam sulfat akan menghasilkan senyawa-senyawa yang akan mengembangkan volume, lalu sedikit demi sedikit akan merusak beton. Tetapi garam klorida dan sulfat ini dapat dihilangkan dengan cara dicuci dengan air tawar. Dan pada penelitian ini, pasir putih Bangka ini selalu dicuci sebelum digunakan.

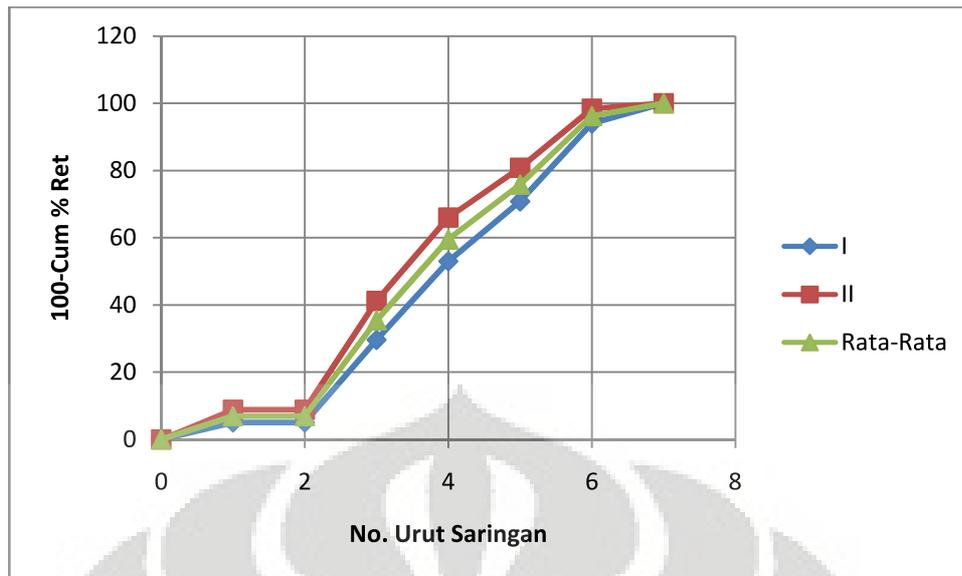
4.2.3 Analisa Saringan dan Modulus Kehalusan

Dari penelitian laboratorium, pasir putih Bangka ini memiliki nilai FM sebesar 2,26. Persentase pasir yang lolos tiap saringan dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4. 5. Persentase Pasir Putih Bangka yang Lolos Tiap Saringan Berdasarkan Uji Laboratorium

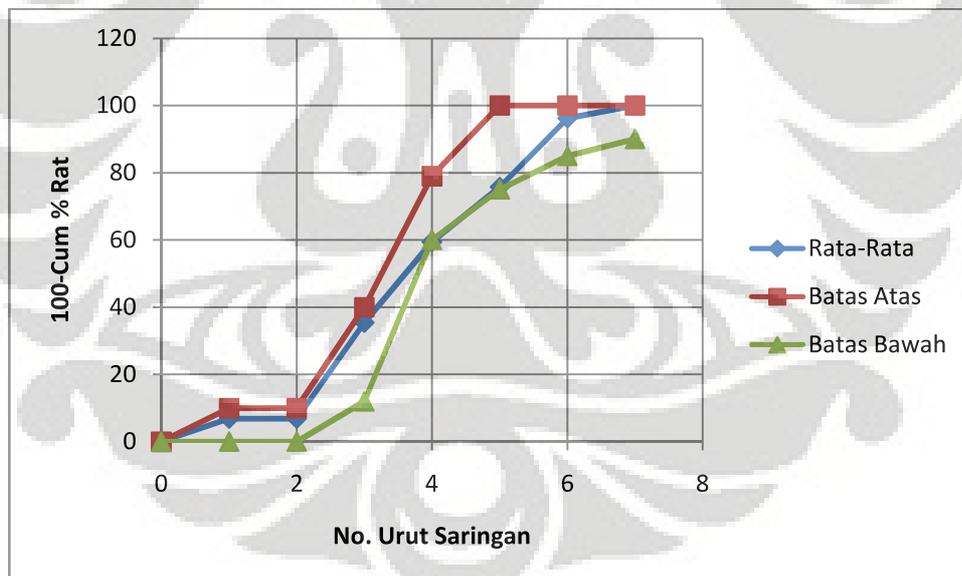
No.	Ukuran Saringan		I			II			Rata-Rata	
	No. Urut	Satuan (mm)	Wght RET (gr)	IND % RET	CUM % RET	Wght RET (gr)	IND % RET	CUM % RET	IND %	CUM %
4	7	4,75	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6	2,36	30	6	6	8	1,6	1,6	3,8	3,8
16	5	1,18	116	23,2	29,2	88	17,6	19,2	20,4	24,2
30	4	0,6	89	17,8	47	74	14,8	34	16,3	40,5
50	3	0,3	117	23,4	70,4	124	24,8	58,8	24,1	64,6
100	2	0,15	123	24,6	95	162	32,4	91,2	28,5	93,1
200	1	0,074	0	0	95	0	0	91,2	0	93,1
PAN			25	5	100	44	8,8	100	6,9	100
TOTAL			500	100		500	100		100	
FM			2,47			2,05			2,26	

Dari Tabel 4.5 dapat dibuat grafik gradasi dari pasir putih Bangka ini, gradasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4. 3. Gradasi Pasir Putih Bangka Berdasarkan Uji Laboratorium

Berdasarkan SK. SNI T-15-1990-03, Pasir putih Bangka ini termasuk daerah gradasi III yaitu pasir halus. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4. 4. Daerah Gradasi III (Pasir Halus)

4.3 PENGUJIAN AGREGAT KASAR

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah split yang berasal dari Bogor. Pemeriksaan untuk agregat kasar ini diantaranya:

4.3.1 Berat Jenis dan Penyerapan

Dari penelitian dilaboratorium untuk split dari Bogor ini didapatkan berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) sebesar 2,508; berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,578; berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) sebesar 2,697; dan penyerapan (adsorpsi) sebesar 2,785%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4. 6. Berat Jenis dan Penyerapan Koral/Split Asal Bogor Berdasarkan Uji Laboratorium

	I	II	Rata-Rata	satuan
Berat benda uji <i>oven dry</i>	4865	4864	4864,5	gr
Berat piknometer berisi air	5000	5000	5000	gr
Berat piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi	3060	3062	3061	gr
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	2,51	2,51	2,51	gr/cm ³
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2,58	2,58	2,58	gr/cm ³
Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2,7	2,7	2,7	gr/cm ³
Penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	2,77	2,8	2,79	%

4.4 RANCANG CAMPUR

Dalam perhitungan rancang campur (*mix design*) digunakan metode yang merupakan modifikasi dari US Bureau dan JSCE (*Japan Society of Civil Engineering*). Hasil perhitungan rancang campur untuk tiap FAS per meter kubik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 7. Kebutuhan Material Campuran Beton Tiap FAS untuk Beton dengan Semen Putih (WC)

No.	Materials	FAS 0,4		FAS 0,45		FAS 0,5		FAS 0,55	
		Weight (kg)	Volume (%)						
1	<i>Cement</i>	493,41	0,162	441,92	0,145	400,73	0,132	367,03	0,121
2	<i>Water</i>	197,36	0,197	198,87	0,199	200,37	0,200	201,87	0,202
3	<i>Fine Aggregate</i>	687,45	0,264	721,04	0,278	751,54	0,289	779,76	0,300
4	<i>Coarse Aggregate</i>	930,34	0,360	936,75	0,363	937,50	0,364	934,16	0,362
5	<i>Entrapped air</i>	-	0,015	-	0,015	-	0,015	-	0,015

Tabel 4. 8. Kebutuhan Material Campuran Beton Tiap FAS untuk Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC)

No.	Materials	FAS 0,4		FAS 0,45		FAS 0,5		FAS 0,55	
		Weight (kg)	Volume (%)						
1	Cement	493,41	0,164	441,92	0,147	400,73	0,133	367,03	0,122
2	Water	197,37	0,197	198,87	0,199	200,37	0,200	201,87	0,202
3	Fine Aggregate	685,43	0,264	719,19	0,277	749,82	0,289	778,15	0,300
4	Coarse Aggregate	927,61	0,360	934,34	0,362	935,35	0,363	932,23	0,362
5	Entrapped air	-	0,015	-	0,015	-	0,015	-	0,015

4.5 PENGUJIAN BETON

4.5.1 Uji Tekan dan Slump

Hasil tekan dari laboratorium untuk semen putih (WC) dan semen abu-abu (PCC) dilakukan pada saat beton berumur 3, 7, 14 dan 28 hari untuk tiap FAS. Hasil uji tekan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 9. Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,4

Kuat Tekan Beton dengan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,4/3 (1)	11,67	12,231	45	24,95	B
2	tek 0,4/3 (2)	11,67	12,348	44,25	24,53	C
3	tek 0,4/3 (3)	11,67	12,228	45,5	25,22	C
4	tek 0,4/7 (1)	11,67	12,233	64,5	35,76	C
5	tek 0,4/7 (2)	13	12,302	55	30,49	C
6	tek 0,4/7 (3)	12,17	12,163	40,75	22,59	C
7	tek 0,4/14 (1)	10	12,505	39	21,62	C
8	tek 0,4/14 (2)	12,17	12,235	63,75	35,34	C
9	tek 0,4/14 (3)	12,17	12,314	59,5	32,98	C
10	tek 0,4/28 (1)	11	12,454	81,25	45,04	C
11	tek 0,4/28 (2)	11	12,409	81,5	45,18	C
12	tek 0,4/28 (3)	11	12,403	49,5	27,44	C
13	tek 0,4/28 (4)	11	12,411	91,75	50,86	C
14	tek 0,4/28 (5)	11	12,88	90	49,89	C

keterangan:

kode sample menyatakan = tek-FAS/umur uji-(No. sample)

Tabel 4. 10. Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,45

Kuat Tekan Beton dengan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,45/3 (1)	12,17	12,155	34,75	19,26	C
2	tek 0,45/3 (2)	12,17	12,247	32,25	17,88	C
3	tek 0,45/3 (3)	10	12,521	40,5	22,45	B
4	tek 0,45/7 (1)	10	12,525	56	31,04	B
5	tek 0,45/7 (2)	10	12,292	60,25	33,40	B
6	tek 0,45/7 (3)	10	12,36	62,5	34,65	C
7	tek 0,45/14 (1)	12,33	12,421	65,25	36,17	B
8	tek 0,45/14 (2)	10	12,293	74,5	41,30	C
9	tek 0,45/14 (3)	10	12,364	68,25	37,83	C
10	tek 0,45/28 (1)	11,67	12,621	82,5	45,73	C
11	tek 0,45/28 (2)	11,67	12,357	80,75	44,76	C
12	tek 0,45/28 (3)	11,67	12,464	82,25	45,59	C
13	tek 0,45/28 (4)	11,67	12,336	76,75	42,55	C
14	tek 0,45/28 (5)	11,67	12,457	64,75	35,89	C

keterangan:

kode sample menyatakan = tek-FAS/umur uji-(No. sample)

Tabel 4. 11. Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,5

Kuat Tekan Beton dengan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,5/3 (1)	10,17	12,407	37,5	20,79	B
2	tek 0,5/3 (2)	10,17	12,373	35	19,40	C
3	tek 0,5/3 (3)	10,17	12,56	39,5	21,90	C
4	tek 0,5/7 (1)	11,33	12,489	39	21,62	C
5	tek 0,5/7 (2)	11,33	12,207	38,25	21,20	C
6	tek 0,5/7 (3)	10,83	12,333	47,5	26,33	C
7	tek 0,5/14 (1)	10,83	12,296	67,5	37,42	C
8	tek 0,5/14 (2)	10,83	12,343	70,25	38,94	C
9	tek 0,5/14 (3)	10,83	12,4	69	38,25	B
10	tek 0,5/28 (1)	11,33	12,454	64,25	35,62	C
11	tek 0,5/28 (2)	11,33	12,442	54	29,93	C
12	tek 0,5/28 (3)	11,33	12,328	70,25	38,94	C
13	tek 0,5/28 (4)	10,83	12,347	74,25	41,16	C
14	tek 0,5/28 (5)	10,83	12,433	82	45,46	C

keterangan:

kode sample menyatakan = tek-FAS/umur uji-(No. sample)

Tabel 4. 12. Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC) pada FAS 0,55

Kuat Tekan Beton dengan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,55/3 (1)	10,17	12,178	32,5	18,02	C
2	tek 0,55/3 (2)	10,17	12,269	34,5	19,12	C
3	tek 0,55/3 (3)	11,33	12,339	34,5	19,12	A
4	tek 0,55/7 (1)	11,33	12,523	39	21,62	C
5	tek 0,55/7 (2)	11,33	12,25	44,25	24,53	C
6	tek 0,55/7 (3)	13,33	12,34	40	22,17	C
7	tek 0,55/14 (1)	13,17	12,312	60,25	33,40	C
8	tek 0,55/14 (2)	13,17	12,302	59,25	32,84	B
9	tek 0,55/14 (3)	13,17	12,383	56,5	31,32	B
10	tek 0,55/28 (1)	13,33	12,169	57	31,60	C
11	tek 0,55/28 (2)	13,33	12,397	55,5	30,77	C
12	tek 0,55/28 (3)	13,33	12,241	54	29,93	C
13	tek 0,55/28 (4)	13,33	12,426	54	29,93	C
14	tek 0,55/28 (5)	13,33	12,343	59,5	32,98	C

keterangan:

kode sample menyatakan = tek-FAS/umur uji-(No. sample)

Tabel 4. 13. Hasil Uji Tekan Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC) pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55

Kuat Tekan Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,4/28 (1)	10,33	12,577	66	36,59	C
2	tek 0,4/28 (2)	10,33	12,339	85	47,12	C
3	tek 0,4/28 (3)	10,33	12,336	64	35,48	C
4	tek 0,45/28 (1)	11,17	12,571	64	35,48	C
5	tek 0,45/28 (2)	11,17	12,293	59,25	32,84	C
6	tek 0,45/28 (3)	11,17	12,534	73	40,47	C
7	tek 0,5/28 (1)	12,33	12,31	66	36,59	C
8	tek 0,5/28 (2)	12,33	12,3	62	34,37	C
9	tek 0,5/28 (3)	12,33	12,5	75	41,58	C
10	tek 0,55/28 (1)	11,5	12,35	46	25,50	C
11	tek 0,55/28 (2)	11,5	12,3	46	25,50	C
12	tek 0,55/28 (3)	11,5	12,5	66	36,59	C

keterangan:

kode sample menyatakan = tek-FAS/umur uji-(No. sample)

Sedangkan nilai rata-rata hasil uji tekan tiap umur uji dan tiap FAS dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 14. Hasil Rata-Rata Uji Tekan Beton dengan Semen Putih (WC)

Kuat Tekan Rata-Rata Beton dengan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,4/3	11,67	12,27	44,92	24,90	C
2	tek 0,45/3	11,45	12,31	35,83	19,86	C
3	tek 0,5/3	10,17	12,45	37,33	20,70	C
4	tek 0,55/3	10,56	12,26	33,83	18,76	C
5	tek 0,4/7	12,28	12,23	53,42	29,61	C
6	tek 0,45/7	10,00	12,39	59,58	33,03	C
7	tek 0,5/7	11,16	12,34	41,58	23,05	C
8	tek 0,55/7	12,00	12,37	41,08	22,77	C
9	tek 0,4/14	11,45	12,35	54,08	29,98	C
10	tek 0,45/14	10,78	12,36	69,33	38,43	C
11	tek 0,5/14	10,83	12,35	68,92	38,20	C
12	tek 0,55/14	13,17	12,33	58,67	32,52	C
13	tek 0,4/28	11,00	12,51	78,80	43,68	C
14	tek 0,45/28	11,67	12,45	77,40	42,91	C
15	tek 0,5/28	11,13	12,40	68,95	38,22	C
16	tek 0,55/28	13,33	12,32	56,00	31,04	C

keterangan:

kode sample menyatakan = tek-FAS/umur uji

Tabel 4. 15. Hasil Rata-Rata Uji Tekan Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC)

Kuat Tekan Rata-Rata Beton dengan Abu-Abu (PCC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek PCC 0,4/28	10,33	12,42	71,67	39,73	C
2	tek PCC 0,45/28	11,17	12,47	65,42	36,26	C
3	tek PCC 0,5/28	12,33	12,37	67,67	37,51	C
4	tek PCC 0,55/28	11,50	12,38	52,67	29,20	C

keterangan:

kode sample menyatakan = tek -tipe semen- FAS/umur uji

4.5.2 Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas didapatkan dari pengujian beton pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan sesuai prosedur dan hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 16. Hasil Modulus Elastisitas Beton dengan Semen Putih (WC)

No.	FAS	E, MPa
1	0,4	53.287,39
2	0,4	34.056,70
3	0,4	48.228,63
4	0,45	48.486,14
5	0,45	42.683,27
6	0,45	35.659,49
7	0,5	41.009,12
8	0,5	40.899,79
9	0,5	36.626,03
10	0,55	37.299,46
11	0,55	30.371,69
12	0,55	41.790,85

Tabel 4. 17. Hasil Modulus Elastisitas Beton dengan Semen Abu-Abu (PCC)

No.	FAS	E, MPa
1	0,4	27.507,33
2	0,4	31.649,58
3	0,45	36.193,54
4	0,45	34.653,67
5	0,5	31.912,68
6	0,5	39.325,86
7	0,55	32.510,99
8	0,55	37.623,65

Sedangkan nilai rata-rata hasil modulus elastisitas tiap FAS dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 18. Hasil Rata-Rata Modulus Elastisitas Beton dengan Semen Putih (WC)

No.	FAS	E
1	0,4	45.190,91
2	0,45	42.276,30
3	0,5	39.511,64
4	0,55	36.487,33

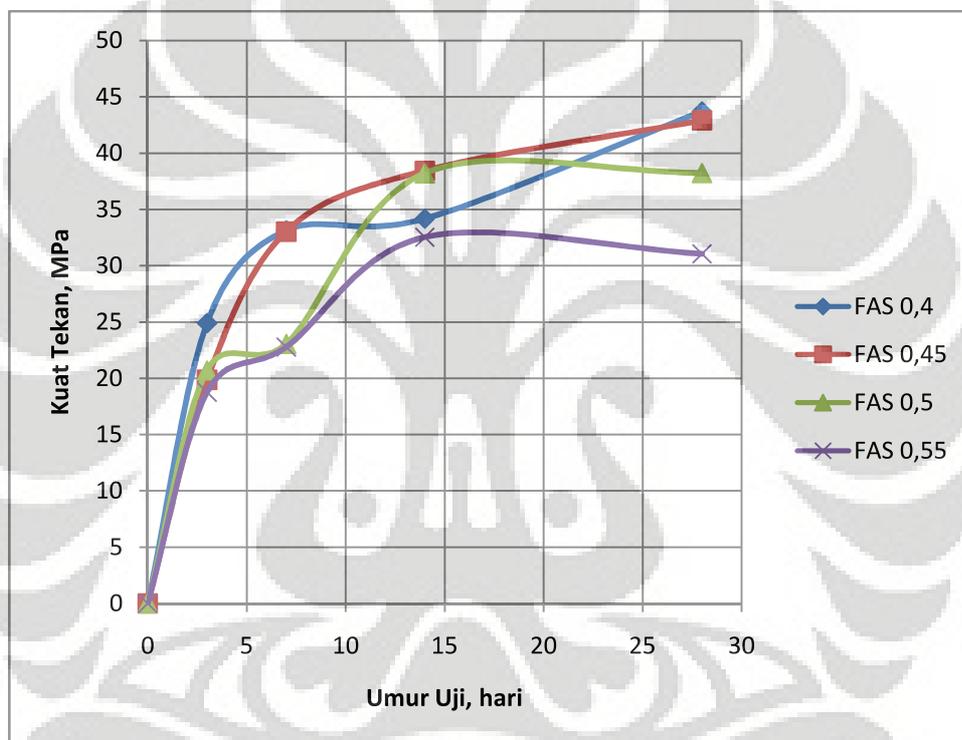
Tabel 4. 19. Hasil Rata-Rata Modulus Elastisitas Beton dengan Abu-Abu (PCC)

No.	FAS	E
1	0,4	29.578,45
2	0,45	35.423,61
3	0,5	35.619,27
4	0,55	35.067,32

4.6 ANALISA

4.6.1 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton

Telah diketahui bahwa semakin lama umur beton maka kekuatan beton tersebut akan semakin meningkat. Peningkatan tersebut sangat cepat di awal dan berangsur-angsur pertambahannya akan mengecil setelah melewati hari ke 28. Beton dengan menggunakan semen putih ini juga memiliki sifat seperti ini. Berdasarkan data-data tekan masing-masing umur uji dari beton dengan semen putih, dapat dibuat grafik yang memperlihatkan hubungan ini.



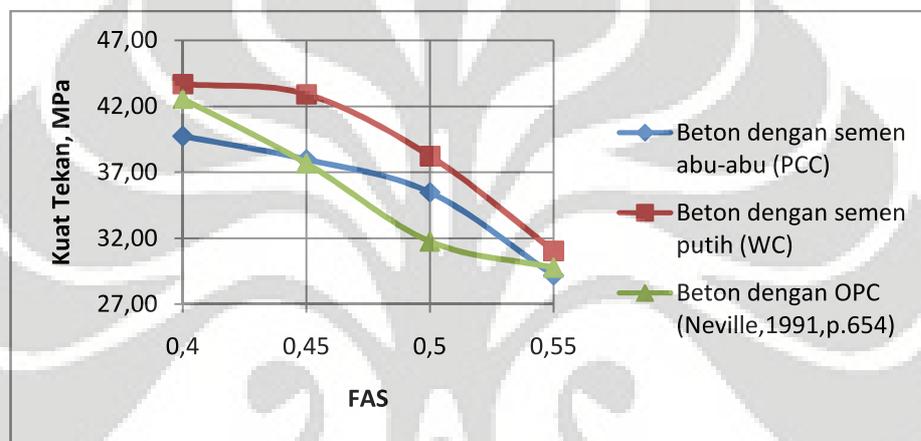
Gambar 4. 5. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Uji pada Beton dengan Semen Putih (WC)

Berdasarkan Grafik 4.5 di atas dapat diketahui bahwa pertambahan kekuatan beton di awal sangat cepat dan berangsur-angsur pertambahannya akan lebih lambat dan setelah umur 28 hari pertambahannya akan sangat kecil.

Pada Grafik 4.5 di atas juga memperlihatkan pengaruh FAS terhadap kuat tekan pada tiap umur uji. Terlihat bahwa semakin besar FAS kuat tekannya akan semakin kecil. Ini terjadi karena jumlah semen yang lebih sedikit dan jumlah air yang lebih banyak pada FAS yang besar. Semen memiliki fungsi mengikat agregat saat bereaksi dengan air dalam proses hidrasi.

4.6.2 Hubungan Kuat Tekan dengan FAS

Dari penelitian-penelitian sebelumnya, memang terdapat hubungan antara kuat tekan dengan FAS. Semakin besar FAS akan menghasilkan kuat tekan yang semakin kecil. Begitu pula sebaliknya. Namun hubungan ini tidak linier tetapi terdapat kelengkungan dari kurva yang dihasilkan hubungan kuat tekan dengan FAS. Pada penelitian ini, yaitu pengaruh FAS terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton dengan semen putih, telah didapatkan data-data dari kuat tekan dan modulus elastisitas dari empat nilai FAS. Berdasarkan data-data penelitian yang didapatkan, dapat dibuat grafik di bawah ini.



Gambar 4. 6. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan FAS pada Beton dengan Semen Putih (WC) dan Semen Abu-Abu (PCC) Serta OPC Benda Uji Silinder Umur 28 hari

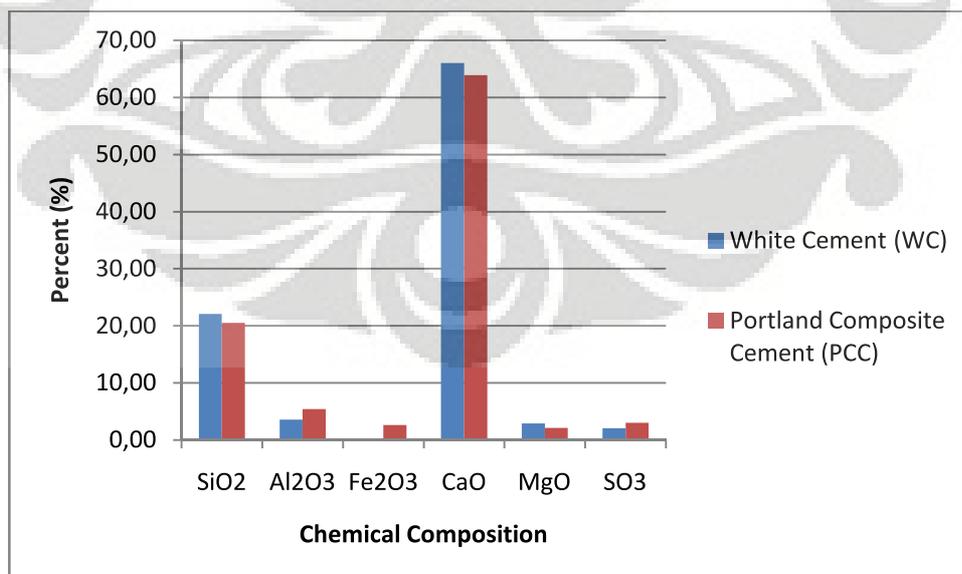
Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa semakin kecil FAS akan semakin kecil kuat tekan yang dihasilkan baik pada beton dengan semen putih/WC, beton dengan semen abu-abu/PCC, maupun OPC. Dari Gambar 4.6 tersebut terdapat perbedaan kelengkungan antara data penelitian (beton dengan WC dan PCC) terhadap beton dengan OPC data referensi (Neville, 1991, p. 654). Hal ini memang tidak bisa langsung dibandingkan karena perbedaan data ini tidak hanya karena perbedaan tipe semen, tetapi juga ada perbedaan agregat yang digunakan. Dari Gambar 4.6 tersebut juga diketahui bahwa beton dengan semen putih/WC memiliki kuat tekan yang lebih besar dari pada beton dengan semen abu-abu/PCC (hingga mencapai 118,34% pada FAS 0,45) dan beton dengan OPC pada tiap FAS. Hal ini terjadi karena perbedaan komposisi antara semen putih/WC dengan semen abu-abu/PCC dan OPC. Perbedaan komposisi antara semen putih/WC dengan semen abu-abu/PCC dapat dilihat pada Tabel 4.20 dibawah ini.

Tabel 4. 20. Properti dari semen portland putih dan abu-abu

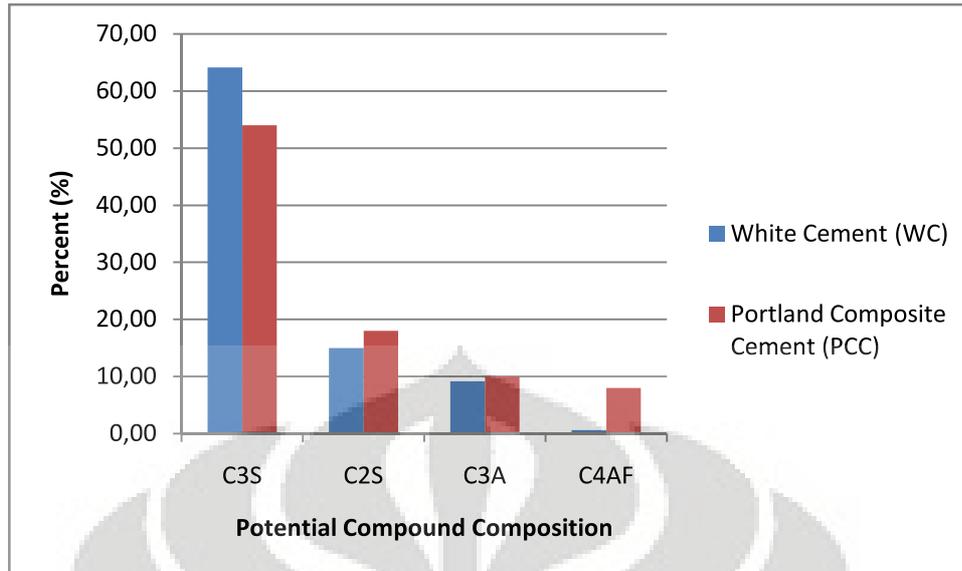
Type of portland cement	Chemical composition, %						Loss on ignition, %	Na ₂ O eq	Potential compound composition, %				Blaine fineness, m ² /kg
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃			C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
White Cement (WC)	22,11	3,59	0,21	66,02	2,92	2,07	1,7	0,17	64,14	15,00	9,16	0,64	464
Portland Composite Cement (PCC)	20,5	5,4	2,6	63,9	2,1	3	1,4	0,61	54	18	10	8	369

Sumber: PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk

Semen putih/WC dan semen abu-abu/PCC tidak memiliki perbedaan jenis komposisinya karena kedua semen ini sama-sama jenis portland semen yang komposisi utamanya adalah trikalsium silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S ; dikalsium silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S ; trikalsium aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang di singkat menjadi C_3A ; dan tertrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF . Perbedaannya terletak pada besar persentase dari komposisi tersebut dimana akan berpengaruh terhadap sifat-sifat semen itu sendiri. Besar persentase perbedaan komposisi semen putih/WC dengan semen abu-abu/PCC dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 7. Persentase Perbandingan Komposisi Kimia Semen Putih/WC dengan Semen Abu-Abu/PCC



Gambar 4. 8. Persentase Perbandingan Komposisi Potensial Semen Putih/WC dengan Semen Abu-Abu/PCC

Berdasarkan Gambar 4.7 dan 4.8 diketahui bahwa setiap komposisi memiliki perbedaan persentase dalam semen. Perbedaan senyawa kimia utama yang mempengaruhi sifat-sifat beton dapat dilihat pada Gambar 4.8. Persentase C_3S pada semen putih/WC lebih besar dari pada semen abu-abu/PCC. C_3S pada semen memberikan sifat reaksi yang cepat dan menghasilkan panas (mempengaruhi kecepatan mengeras sampai sebelum hari ke 14). C_3S akan memberikan kekuatan tekan awal yang tinggi. Dengan demikian, dengan kandungan C_3S yang lebih besar beton dengan semen putih/WC akan memiliki kekuatan tekan awal yang lebih tinggi dibanding beton dengan semen abu-abu/PCC.

Untuk komposisi C_2S , C_3A dan C_4AF , semen putih/WC memiliki persentase kandungan yang lebih kecil dibanding semen abu-abu/PCC. C_3S dan C_2S merupakan komposisi yang paling berpengaruh memberikan sifat semen. Reaksi C_2S dengan air pada semen sangat lambat. Setelah hari ke 7, reaksi C_2S dengan air baru akan berpengaruh pada kekuatan tekan. C_2S ini akan memberikan kuat tekan awal yang rendah dan memberikan ketahanan terhadap serangan kimia. C_2S pada semen abu-abu/PCC memiliki persentase kandungan yang lebih besar. Hal ini membuat beton dengan semen abu-abu/PCC memiliki kuat tekan awal yang lebih rendah dibanding beton dengan semen putih/WC (sesuai dengan Gambar 4.5).

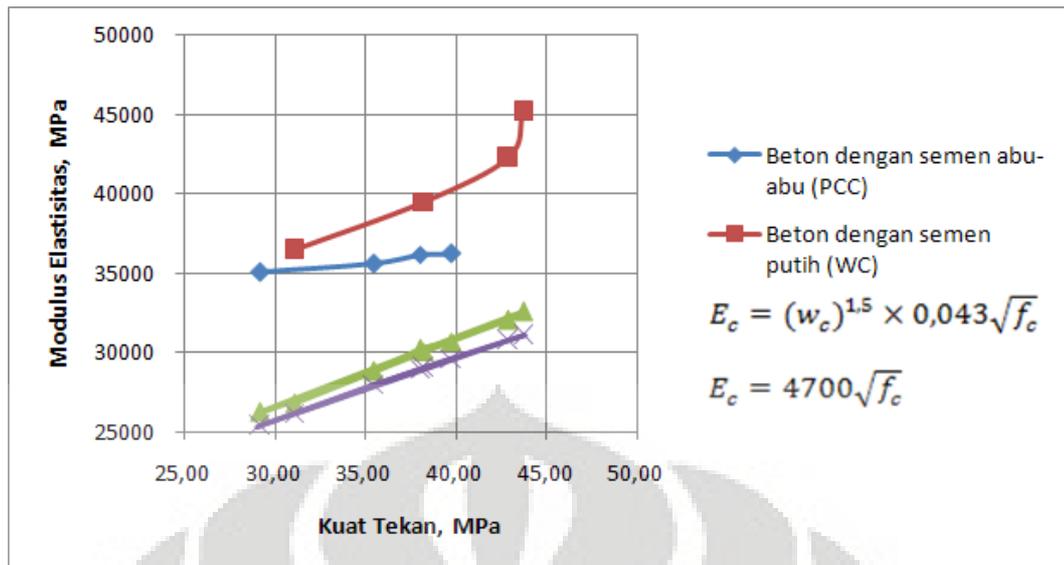
C₃A pada semen akan bereaksi secara *exothermic* secara cepat dan memberikan kekuatan awal yang cepat pada 24 jam pertama. C₃A bereaksi dengan air sebanyak 40% dari beratnya. Tetapi karena persentasenya yang kecil dalam semen (kurang dari 10%), pengaruhnya pada jumlah air untuk reaksi menjadi kecil. C₃A ini menentukan tahan tidaknya semen terhadap sulfat (sangat baik jika kandungannya $\leq 5\%$). Jika kandungan C₃A $\geq 10\%$ dari semen, maka semen tersebut tidak mampu menahan serangan sulfat. Perbedaan persentase kandungan C₃A antara semen putih/WC dengan semen abu-abu/PCC sangat kecil (sebesar 0,04%). Dengan demikian perbedaan kuat tekan yang terjadi antara kedua jenis semen ini tidak terlalu besar dipengaruhi oleh perbedaan kandungan C₃A.

C₄AF pada semen memberikan pengaruh kekuatan tekan yang paling sedikit di antara senyawa kimia utama lainnya. Perbandingan pengaruh dan karakteristik ke empat senyawa utama semen ini pada kekuatan tekan dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan Tabel 2.9.

4.6.3 Hubungan Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas

Dari penelitian-penelitian sebelumnya juga telah ditemui bahwa terdapat hubungan antara kuat tekan dengan modulus elastisitas. Semakin tinggi kuat tekan beton akan membuat semakin baik beton menahan deformasi (Ros, 1950). Dengan kata lain semakin tinggi kuat tekan beton akan menyebabkan semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya.

Dari data-data yang didapatkan dari penelitian ini, maka dapat dibuat grafik hubungannya seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. 9. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas pada Beton dengan Semen Putih (WC) dan Semen Abu-Abu (PCC)

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa semakin besar kuat tekan akan menghasilkan modulus elastisitas yang besar juga. Dan beton dengan semen putih/WC memiliki kuat tekan dan modulus elastisitas yang lebih besar dari beton dengan semen abu-abu/PCC.

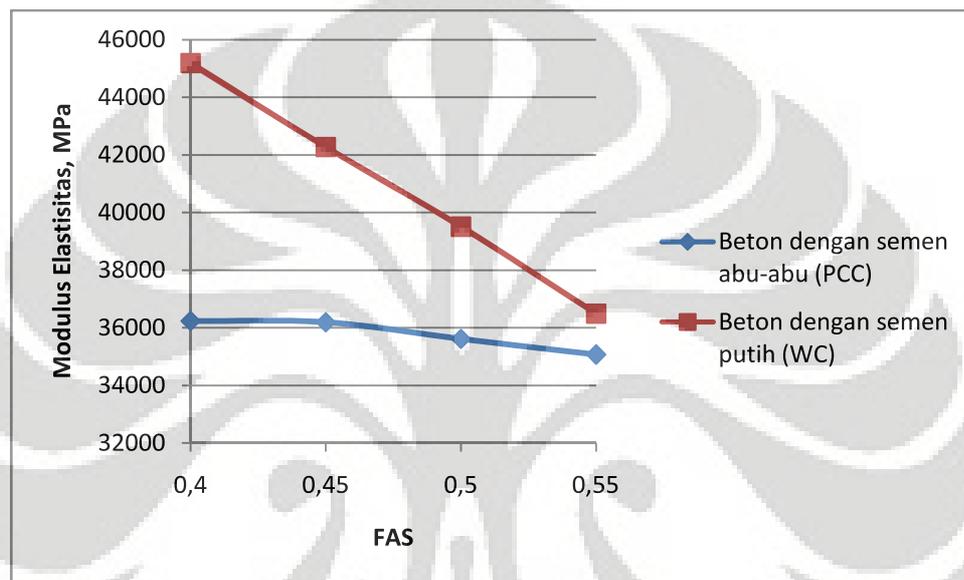
Persamaan hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan pada persamaan 2.9 (RSNI, 2004, p. 54) juga digambarkan pada Gambar 4.9 di mana diperhitungkan berat jenis beton/ w_c . Dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas dari persamaan ini berada di bawah nilai modulus elastisitas yang didapatkan pada penelitian baik beton dengan semen putih/WC maupun beton dengan semen abu-abu/PCC. Ini menunjukkan bahwa beton yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki kekuatan yang lebih besar. Hal ini terjadi karena penggunaan agregat yang dicuci terlebih dahulu sebelum pengadukan pada penelitian ini, sehingga menghilangkan bahan-bahan yang mengganggu pengikatan beton.

4.6.4 Hubungan Modulus Elastisitas dengan FAS

Komposisi beton memiliki pengaruh terhadap modulus elastisitas. Semakin besar nilai modulus elastisitas dari agregat, semakin besar nilai modulus elastisitas beton yang dihasilkan. Begitu juga dalam FAS yang mempengaruhi komposisi beton itu sendiri. Telah diketahui dari data uji tekan bahwa semakin kecil nilai FAS akan membuat semakin besar nilai kuat tekan karena lebih sedikitnya air dan lebih banyaknya semen dalam campuran betonnya. Dan telah

diketahui pula bahwa beton dengan semen putih ini juga memiliki hubungan antara kuat tekan dengan modulus elastisitas, dimana semakin besar kuat tekan akan menghasilkan modulus elastisitas yang besar pula. Dengan demikian akan ada hubungan antara FAS dengan modulus elastisitas di mana makin kecil FAS akan menyebabkan nilai modulus elastisitas yang semakin besar.

Berdasarkan data modulus elastisitas tiap FAS dari penelitian dapat dibuat grafik hubungannya seperti di bawah ini.



Gambar 4. 10. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dengan FAS dari Beton dengan Semen Putih/WC dan Semen Abu-Abu/PCC

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai FAS akan semakin kecil modulus elastisitas yang dihasilkan. Pengaruh FAS terhadap perubahan modulus elastisitas pada beton dengan menggunakan semen putih/WC lebih besar dibanding beton dengan semen abu-abu/PCC. Hal ini terjadi karena lebih besarnya pengaruh kuat tekan dan FAS pada beton dengan semen putih/WC dibanding beton dengan semen abu-abu/PCC.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari data-data yang diperoleh pada penelitian ini dan analisa yang dilakukan sesuai dengan landasan teori serta penelitian-penelitian sebelumnya maka dapat disimpulkan yaitu:

1. Berat jenis semen putih/WC lebih besar dari pada semen abu-abu/PCC. Berat jenis semen putih/WC sebesar 3,04 dan semen abu-abu/PCC sebesar 3,01.
2. Konsistensi normal semen putih/WC lebih kecil dari pada semen abu-abu/PCC. Sehingga semen putih/WC lebih sedikit membutuhkan air dari pada semen abu-abu/PCC untuk mengeras dengan tingkat yang sama. Konsistensi normal semen putih/WC sebesar 26,8% dan semen abu-abu/PCC 27,2%
3. Waktu ikat semen putih/WC lebih singkat dari pada semen abu-abu/PCC. Sehingga semen putih/WC akan lebih cepat mengeras dari pada semen abu-abu/PCC. Waktu ikat semen putih/WC sebesar 51,33 menit dan semen abu-abu/PCC 57 menit.
4. Komposisi utama senyawa kimia semen portland diantaranya: trikalsium silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S ; dikalsium silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S ; trikalsium aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A ; dan tertrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .
5. Perbedaan persentase senyawa kimia utama pada semen mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan. Persentase C_3S pada semen putih/WC lebih besar 18,78% dari pada semen abu-abu/PCC. C_3S pada semen memberikan sifat reaksi yang cepat dan menghasilkan panas (mempengaruhi kecepatan mengeras sampai sebelum hari ke 14). C_3S akan memberikan kekuatan tekan awal yang tinggi. Dengan demikian, dengan kandungan C_3S yang lebih besar beton dengan semen putih/WC akan memiliki kekuatan tekan awal yang lebih tinggi dibanding beton dengan semen abu-abu/PCC. Untuk kekuatan tekan umur 28 hari beton

dengan semen putih/WC lebih besar 9,94% dari pada beton dengan semen abu-abu/PCC.

6. C_2S pada semen abu-abu/PCC memiliki persentase kandungan yang lebih besar 20% dari pada semen putih/WC. Hal ini membuat beton dengan semen abu-abu/PCC memiliki kuat tekan awal yang lebih rendah dibanding beton dengan semen putih/WC.
7. C_3A pada semen akan bereaksi secara *exothermic* secara cepat dan memberikan kekuatan awal yang cepat pada 24 jam pertama. C_3A bereaksi dengan air sebanyak 40% dari beratnya. Tetapi karena persentasenya yang kecil dalam semen (kurang dari 10%), pengaruhnya pada jumlah air untuk reaksi menjadi kecil. C_3A ini menentukan tahan tidaknya semen terhadap sulfat (sangat baik jika kandungannya $\leq 5\%$). Jika kandungan $C_3A \geq 10\%$ dari semen, maka semen tersebut tidak mampu menahan serangan sulfat. Perbedaan persentase kandungan C_3A antara semen putih/WC dengan semen abu-abu/PCC cukup kecil (lebih besar 9,17% pada semen abu-abu/PCC). Dengan demikian perbedaan kuat tekan yang terjadi antara kedua jenis semen ini tidak terlalu besar dipengaruhi oleh perbedaan kandungan C_3A .
8. C_4AF pada ke dua semen portland ini memberikan pengaruh kekuatan tekan yang paling sedikit di antara senyawa kimia utama lainnya, walaupun memiliki perbedaan kandungan yang lebih besar (lebih besar semen abu-abu/PCC 1150% dari pada semen putih/WC). Ini juga disebabkan karena persentase kandungannya yang kecil dalam semen portland yaitu kurang dari 8% dari keseluruhan.
9. Semakin lama umur beton akan semakin besar nilai kuat tekan beton yang dihasilkan.
10. Semakin kecil nilai FAS semakin besar nilai kuat tekan beton yang dihasilkan.
11. Semakin besar kuat tekan beton semakin kuat kemampuan beton menahan deformasi, sehingga akan dihasilkan nilai modulus elastisitasnya yang semakin besar juga.
12. Semakin kecil nilai FAS semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan dan akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang semakin besar juga.

13. Dari penelitian ini didapatkan bahwa beton dengan menggunakan semen portland putih (WC) memiliki kuat tekan dan modulus elastisitas yang lebih besar pada FAS yang sama, dari pada beton dengan menggunakan semen abu-abu (PCC). Hal ini terjadi karena persentase kandungan C_3S yang lebih banyak (18,78%) dan persentase kandungan C_2S yang lebih sedikit pada semen putih/WC (20%). Sedangkan pengaruh perbedaan kandungan C_3A dan C_4AF pada kuat tekan dan modulus elastisitas tidak terlalu besar.
14. Beton dengan semen putih/WC memiliki warna lebih putih dan bersih dibanding beton dengan semen abu-abu/PCC, di mana dalam hal ini digunakan pasir putih dari Bangka dan koral/split dari Bogor yang dicuci terlebih dahulu.

Sedangkan saran untuk penelitian selanjutnya dari apa yang telah didapatkan pada penelitian ini di antaranya:

1. Untuk keakuratan data yang lebih baik, jumlah benda uji sebaiknya diperbanyak.
2. Untuk melengkapi data tekan berdasarkan umur uji pada beton dengan semen abu-abu/PCC, perlu dibuat juga benda uji beton dengan semen abu-abu/PCC pada umur uji 3, 7, dan 14 hari.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap karakteristik beton dengan semen putih/WC lainnya yaitu rangkai, permeabilitas, thermal dan lain-lain.

DAFTAR REFERENSI

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton* (SNI 03-1974-1990). Indonesia: BSN

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis dan Rasio Poison Beton dengan Kompresometer* (SNI 03-4169-1996). Indonesia: BSN

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Tata Cara Perencanaan Strukur Beton untuk Bangunan Gedung*. Indonesia: BSN

Mulyono, Tri. (2003). *Teknologi Beton*. Jakarta: Andi.

Neville, A.M. (1991). *Properties of Concrete* (3rd ed). Singapore: Longman Singapore Publisher.

Popovics, S. (1998). *Strength and Related Properties of Concrete a Quantitative Aproach*. Canada: John Wiley & Sons Inc.

Young, S. (1998). *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*. Sidney: Prentice-Hall International Inc.

Lampiran A-1. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Putih/WC



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,4		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,0441	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate			
	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	0	0
5	S/a	0	1,965
	Total	42,31	197,365
Total materials per cubic metre of concrete are:			
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	493,4125	0,162088138
2	Water	197,365	0,197365
3	Fine Aggregate	687,4509423	0,264668877
4	Coarse Aggregate	930,343445	0,360877985
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
For			
		35	liter = 0,001 m ³
Total materials of concrete are:			
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	17,27	
2	Water	6,91	
3	Fine Aggregate	24,06	
4	Coarse Aggregate	32,56	

Lampiran A-1. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Putih/WC (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,45		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,0441	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	1	0
5	S/a	0	3,465
	Total	43,31	198,865
	Total materials per cubic metre of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	441,9222222	0,145173359
2	Water	198,865	0,198865
3	Fine Aggregate	721,0395042	0,277600487
4	Coarse Aggregate	936,7450557	0,363361154
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
	For	35	liter = 0,001 m ³
	Total materials of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	15,47	
2	Water	6,96	
3	Fine Aggregate	25,24	
4	Coarse Aggregate	32,79	

Lampiran A-1. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Putih/WC (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,5		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,0441	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate			
	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	2	0
5	S/a	0	4,965
	Total	44,31	200,365
Total materials per cubic metre of concrete are:			
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	400,73	0,131641536
2	Water	200,365	0,200365
3	Fine Aggregate	751,5353624	0,289341404
4	Coarse Aggregate	937,4950108	0,36365206
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
For			
		35	liter = 0,001 m ³
Total materials of concrete are:			
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	14,03	
2	Water	7,01	
3	Fine Aggregate	26,30	
4	Coarse Aggregate	32,81	

Lampiran A-1. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Putih/WC (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,55		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,0441	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	3	0
5	S/a	0	6,465
	Total	45,31	201,865
	Total materials per cubic metre of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	367,0272727	0,120570045
2	Water	201,865	0,201865
3	Fine Aggregate	779,7607301	0,300208181
4	Coarse Aggregate	934,1557637	0,362356774
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
	For	35	liter = 0,001 m ³
	Total materials of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	12,85	
2	Water	7,07	
3	Fine Aggregate	27,29	
4	Coarse Aggregate	32,70	

Lampiran A-2. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Abu-Abu/PCC



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,4		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,01	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate			
	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	0	0
5	S/a	0	1,965
	Total	42,31	197,365
Total materials per cubic metre of concrete are:			
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	493,4125	0,163924419
2	Water	197,365	0,197365
3	Fine Aggregate	685,4329431	0,263891947
4	Coarse Aggregate	927,6124395	0,359818634
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
For			
		35	liter = 0,001 m ³
Total materials of concrete are:			
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	17,27	
2	Water	6,91	
3	Fine Aggregate	23,99	
4	Coarse Aggregate	32,47	

Lampiran A-2. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Abu-Abu/PCC
(lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,45		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,01	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	1	0
5	S/a	0	3,465
	Total	43,31	198,865
	Total materials per cubic metre of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	441,9222222	0,146818014
2	Water	198,865	0,198865
3	Fine Aggregate	719,1893759	0,276888187
4	Coarse Aggregate	934,3414447	0,362428799
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
	For	35	liter = 0,001 m ³
	Total materials of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	15,47	
2	Water	6,96	
3	Fine Aggregate	25,17	
4	Coarse Aggregate	32,70	

Lampiran A-2. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Abu-Abu/PCC
(lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,5		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,01	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	2	0
5	S/a	0	4,965
	Total	44,31	200,365
	Total materials per cubic metre of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	400,73	0,13313289
2	Water	200,365	0,200365
3	Fine Aggregate	749,8189509	0,288680585
4	Coarse Aggregate	935,3538911	0,362821525
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
For	35	liter = 0,001 m ³	
	Total materials of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	14,03	
2	Water	7,01	
3	Fine Aggregate	26,24	
4	Coarse Aggregate	32,74	

Lampiran A-2. Perhitungan Rancang Campur Beton Semen Abu-Abu/PCC
(lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

FAS	0,55		
Slump	12	cm	
Specific Gravity of Portland Cement	3,01	1000 kg/m ³	
Specific Gravity of Coarse Aggregate	2,578	1000 kg/m ³	
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,262		
Specific Gravity of Fine Agregate	2,5974	1000 kg/m ³	
Maximum Size of Aggregate	25	mm	
For:			
Fineness Modulus of Fine Agregate	2,8		
Slump	8	cm	
from Table 1. (Concrete without AE),			
Entrapped air	1,5	%	
Sand percent, S/a	41	%	
Water content	175	kg	
So, from Table 2:			
No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)	Water content, W (kg)
1	FM of sand	-2,69	0
2	Slump	0	8,4
3	Using crushed coarse aggregate	4	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	3	0
5	S/a	0	6,465
	Total	45,31	201,865
	Total materials per cubic metre of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	Volume (%)
1	Cement	367,0272727	0,121935971
2	Water	201,865	0,201865
3	Fine Aggregate	778,153196	0,29958928
4	Coarse Aggregate	932,2299328	0,361609749
5	Entrapped air	-	0,015
	Total		1
	For	35	liter = 0,001 m ³
	Total materials of concrete are:		
No.	Materials	Weight (kg)	
1	Cement	12,85	
2	Water	7,07	
3	Fine Aggregate	27,24	
4	Coarse Aggregate	32,63	

Lampiran B-1. Hasil Uji Tekan



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Kuat Tekan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,4/3 (1)	11,67	12,231	45	24,95	B
2	tek 0,4/3 (2)	11,67	12,348	44,25	24,53	C
3	tek 0,4/3 (3)	11,67	12,228	45,5	25,22	C
4	tek 0,4/7 (1)	11,67	12,233	64,5	35,76	C
5	tek 0,4/7 (2)	13	12,302	55	30,49	C
6	tek 0,4/7 (3)	12,17	12,163	40,75	22,59	C
7	tek 0,4/14 (1)	10	12,505	39	21,62	C
8	tek 0,4/14 (2)	12,17	12,235	63,75	35,34	C
9	tek 0,4/14 (3)	12,17	12,314	59,5	32,98	C
10	tek 0,4/28 (1)	11	12,454	81,25	45,04	C
11	tek 0,4/28 (2)	11	12,409	81,5	45,18	C
12	tek 0,4/28 (3)	11	12,403	49,5	27,44	C
13	tek 0,4/28 (4)	11	12,411	91,75	50,86	C
14	tek 0,4/28 (5)	11	12,88	90	49,89	C

Kuat Tekan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,45/3 (1)	12,17	12,155	34,75	19,26	C
2	tek 0,45/3 (2)	12,17	12,247	32,25	17,88	C
3	tek 0,45/3 (3)	10	12,521	40,5	22,45	B
4	tek 0,45/7 (1)	10	12,525	56	31,04	B
5	tek 0,45/7 (2)	10	12,292	60,25	33,40	B
6	tek 0,45/7 (3)	10	12,36	62,5	34,65	C
7	tek 0,45/14 (1)	12,33	12,421	65,25	36,17	B
8	tek 0,45/14 (2)	10	12,293	74,5	41,30	C
9	tek 0,45/14 (3)	10	12,364	68,25	37,83	C
10	tek 0,45/28 (1)	11,67	12,621	82,5	45,73	C
11	tek 0,45/28 (2)	11,67	12,357	80,75	44,76	C
12	tek 0,45/28 (3)	11,67	12,464	82,25	45,59	C
13	tek 0,45/28 (4)	11,67	12,336	76,75	42,55	C
14	tek 0,45/28 (5)	11,67	12,457	64,75	35,89	C

Lampiran B-1. Hasil Uji Tekan (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Kuat Tekan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,5/3 (1)	10,17	12,407	37,5	20,79	B
2	tek 0,5/3 (2)	10,17	12,373	35	19,40	C
3	tek 0,5/3 (3)	10,17	12,56	39,5	21,90	C
4	tek 0,5/7 (1)	11,33	12,489	39	21,62	C
5	tek 0,5/7 (2)	11,33	12,207	38,25	21,20	C
6	tek 0,5/7 (3)	10,83	12,333	47,5	26,33	C
7	tek 0,5/14 (1)	10,83	12,296	67,5	37,42	C
8	tek 0,5/14 (2)	10,83	12,343	70,25	38,94	C
9	tek 0,5/14 (3)	10,83	12,4	69	38,25	B
10	tek 0,5/28 (1)	11,33	12,454	64,25	35,62	C
11	tek 0,5/28 (2)	11,33	12,442	54	29,93	C
12	tek 0,5/28 (3)	11,33	12,328	70,25	38,94	C
13	tek 0,5/28 (4)	10,83	12,347	74,25	41,16	C
14	tek 0,5/28 (5)	10,83	12,433	82	45,46	C

Kuat Tekan Semen Putih (WC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,55/3 (1)	10,17	12,178	32,5	18,02	C
2	tek 0,55/3 (2)	10,17	12,269	34,5	19,12	C
3	tek 0,55/3 (3)	11,33	12,339	34,5	19,12	A
4	tek 0,55/7 (1)	11,33	12,523	39	21,62	C
5	tek 0,55/7 (2)	11,33	12,25	44,25	24,53	C
6	tek 0,55/7 (3)	13,33	12,34	40	22,17	C
7	tek 0,55/14 (1)	13,17	12,312	60,25	33,40	C
8	tek 0,55/14 (2)	13,17	12,302	59,25	32,84	B
9	tek 0,55/14 (3)	13,17	12,383	56,5	31,32	B
10	tek 0,55/28 (1)	13,33	12,169	57	31,60	C
11	tek 0,55/28 (2)	13,33	12,397	55,5	30,77	C
12	tek 0,55/28 (3)	13,33	12,241	54	29,93	C
13	tek 0,55/28 (4)	13,33	12,426	54	29,93	C
14	tek 0,55/28 (5)	13,33	12,343	59,5	32,98	C

Lampiran B-1. Hasil Uji Tekan (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Kuat Tekan Semen Abu-abu (PCC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,4/28 (1)	10,33	12,577	66	36,59	C
2	tek 0,4/28 (2)	10,33	12,339	85	47,12	C
3	tek 0,4/28 (3)	10,33	12,336	64	35,48	C
4	tek 0,45/28 (1)	11,17	12,571	64	35,48	C
5	tek 0,45/28 (2)	11,17	12,293	59,25	32,84	C
6	tek 0,45/28 (3)	11,17	12,534	73	40,47	C

Kuat Tekan Semen Abu-abu (PCC)						
No.	Sample	slump (cm)	Berat (kg)	Beban (Ton)	Kuat Tekan (Mpa)	Pola Retak
1	tek 0,5/28 (1)	12,33	12,31	66	36,59	C
2	tek 0,5/28 (2)	12,33	12,3	62	34,37	C
3	tek 0,5/28 (3)	12,33	12,5	75	41,58	C
4	tek 0,55/28 (1)	11,5	12,35	46	25,50	C
5	tek 0,55/28 (2)	11,5	12,3	46	25,50	C
6	tek 0,55/28 (3)	11,5	12,5	66	36,59	C

Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Dial Vertikal									
Code : ME 0,4/28 (3) WC		Kuat tekan : 81,375 ton							Tanggal Pengecoran : 02/04/2009
									Tanggal Pengetesan : 03/05/2009
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III		
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	
1		0	0,475	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	
2		2,5	0,495	0,53	0,5	0,52	0,5	0,54	
3		5	0,5	0,565	0,505	0,56	0,51	0,56	
4		7,5	0,51	0,585	0,515	0,58	0,52	0,59	
5		10	0,52	0,605	0,525	0,605	0,53	0,605	
6		12,5	0,53	0,62	0,535	0,625	0,54	0,63	
7		15	0,54	0,625	0,55	0,63	0,55	0,64	
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,55	0,625	0,56	0,63	0,565	0,64	
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,57	0,625	0,575	0,63	0,58	0,64	
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,58	0,625	0,585	0,63	0,59	0,64	
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,595	0,63	0,595	0,63	0,595	0,64	
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,6	0,63	0,6	0,63	0,615	0,64	
13	40 MPa = 72,16 ton	30	0,62	0,63	0,62	0,63	0,63	0,64	
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35							
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5							
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40							
Dial Vertikal									
Code : ME 0,4/28 (4) WC		Kuat tekan : 81,375 ton							Tanggal Pengecoran : 02/04/2009
									Tanggal Pengetesan : 04/05/2009
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III		
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	
1		0	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	
2		2,5	0,145	0,15	0,14	0,145	0,13	0,135	
3		5	0,15	0,17	0,145	0,16	0,14	0,15	
4		7,5	0,17	0,185	0,16	0,18	0,15	0,17	
5		10	0,185	0,19	0,17	0,19	0,17	0,185	
6		12,5	0,195	0,215	0,19	0,21	0,185	0,205	
7		15	0,21	0,23	0,2	0,23	0,2	0,22	
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,225	0,25	0,22	0,245	0,215	0,235	
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,24	0,26	0,24	0,26	0,23	0,25	
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,255	0,275	0,25	0,28	0,245	0,265	
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,275	0,29	0,27	0,29	0,265	0,28	
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,29	0,295	0,28	0,3	0,285	0,29	
13	40 MPa = 72,16 ton	30	0,305	0,32	0,295	0,315	0,295	0,305	
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35							
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5							
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40							
Dial Vertikal									
Code : ME 0,4/28 (5) WC		Kuat tekan : 81,375 ton							Tanggal Pengecoran : 02/04/2009
									Tanggal Pengetesan : 03/05/2009
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III		
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	
1		0	0,475	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	
2		2,5	0,495	0,53	0,5	0,52	0,5	0,54	
3		5	0,5	0,565	0,505	0,56	0,51	0,56	
4		7,5	0,51	0,585	0,515	0,58	0,52	0,59	
5		10	0,52	0,605	0,525	0,605	0,53	0,605	
6		12,5	0,53	0,62	0,535	0,625	0,54	0,63	
7		15	0,54	0,625	0,55	0,625	0,55	0,63	
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,55	0,62	0,56	0,625	0,565	0,63	
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,57	0,625	0,575	0,625	0,58	0,63	
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,58	0,625	0,585	0,63	0,59	0,64	
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,595	0,625	0,595	0,63	0,595	0,64	
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,6	0,63	0,6	0,63	0,615	0,64	
13	40 MPa = 72,16 ton	30	0,62	0,63	0,62	0,63	0,63	0,64	
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35							
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5							
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40							

Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Dial Vertikal							Tanggal Pengecoran : 03/04/2009	
Code : ME 0,45/28 (3) WC			Kuat tekan : 81,625 ton				Tanggal Pengetesan : 03/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
2		2,5	0,66	0,7	0,665	0,68	0,67	0,69
3		5	0,67	0,73	0,675	0,73	0,68	0,72
4		7,5	0,675	0,75	0,69	0,74	0,69	0,75
5		10	0,685	0,765	0,695	0,77	0,7	0,765
6		12,5	0,7	0,78	0,705	0,78	0,71	0,78
7		15	0,705	0,785	0,715	0,79	0,72	0,79
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,715	0,785	0,73	0,79	0,73	0,8
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,725	0,785	0,74	0,795	0,74	0,8
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,74	0,785	0,75	0,795	0,75	0,8
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,75	0,785	0,76	0,8	0,76	0,8
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,76	0,79	0,77	0,8	0,78	0,8
13	40 MPa = 72,16 ton	30	0,78	0,79	0,785	0,8	0,79	0,8
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5	0,79	0,79	0,8	0,8	0,8	0,8
15	47,5 Mpa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Dial Vertikal							Tanggal Pengecoran : 03/04/2009	
Code : ME 0,45/28 (4) WC			Kuat tekan : 81,625 ton				Tanggal Pengetesan : 04/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,51	0,515	0,515	0,52	0,52	0,52
2		2,5	0,515	0,54	0,52	0,54	0,525	0,55
3		5	0,52	0,565	0,53	0,565	0,53	0,565
4		7,5	0,53	0,585	0,54	0,58	0,54	0,585
5		10	0,54	0,6	0,55	0,6	0,555	0,6
6		12,5	0,555	0,615	0,56	0,61	0,565	0,615
7		15	0,57	0,63	0,575	0,63	0,58	0,63
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,58	0,645	0,595	0,65	0,6	0,65
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,595	0,65	0,605	0,665	0,61	0,665
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,61	0,67	0,62	0,675	0,625	0,68
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,63	0,67	0,635	0,68	0,645	0,685
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,645	0,675	0,655	0,68	0,665	0,69
13	40 MPa = 72,16 ton	30	0,66	0,675	0,665	0,68	0,675	0,69
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5	0,675	0,675	0,68	0,68	0,69	0,69
15	47,5 Mpa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Dial Vertikal							Tanggal Pengecoran : 03/04/2009	
Code : ME 0,45/28 (5) WC			Kuat tekan : 81,625 ton				Tanggal Pengetesan : 04/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,66	0,67	0,67	0,675	0,67	0,67
2		2,5	0,68	0,685	0,69	0,68	0,69	0,675
3		5	0,69	0,715	0,705	0,695	0,7	0,7
4		7,5	0,705	0,735	0,725	0,715	0,715	0,715
5		10	0,71	0,75	0,74	0,74	0,72	0,745
6		12,5	0,73	0,775	0,755	0,76	0,74	0,755
7		15	0,755	0,79	0,77	0,78	0,76	0,78
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,77	0,81	0,78	0,79	0,775	0,8
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,78	0,825	0,805	0,81	0,79	0,815
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,8	0,84	0,82	0,825	0,805	0,83
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,815	0,85	0,84	0,845	0,82	0,845
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,835	0,865	0,85	0,855	0,835	0,86
13	40 MPa = 72,16 ton	30	0,85	0,87	0,815	0,875	0,855	0,865
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5	0,87	0,87	0,88	0,88	0,87	0,87
15	47,5 Mpa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Dial Vertikal								
Code : ME 0,5/28 (3) WC			Kuat tekan : 59,125 ton			Tanggal Pengcoran : 10/04/2009		
						Tanggal Pengetesan : 09/05/2009		
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,48	0,475	0,445	0,445	0,44	0,445
2		2,5	0,48	0,5	0,45	0,47	0,45	0,46
3		5	0,49	0,53	0,46	0,5	0,46	0,49
4		7,5	0,5	0,55	0,47	0,52	0,47	0,51
5		10	0,51	0,575	0,48	0,54	0,48	0,535
6		12,5	0,52	0,585	0,49	0,56	0,49	0,555
7		15	0,53	0,59	0,5	0,565	0,5	0,56
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,55	0,59	0,52	0,57	0,52	0,565
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,56	0,59	0,54	0,57	0,54	0,57
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,575	0,59	0,55	0,57	0,55	0,57
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,59	0,59	0,57	0,57	0,57	0,57
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5						
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						
Dial Vertikal								
Code : ME 0,5/28 (4) WC			Kuat tekan : 62,83 ton			Tanggal Pengcoran : 11/04/2009		
						Tanggal Pengetesan : 12/05/2009		
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,875	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
2		2,5	0,9	0,93	0,91	0,93	0,91	0,91
3		5	0,91	0,97	0,92	0,97	0,92	0,92
4		7,5	0,92	0,99	0,93	0,99	0,93	0,93
5		10	0,93	1,01	0,94	1	0,95	0,975
6		12,5	0,945	1,025	0,95	1,025	0,96	1,02
7		15	0,96	1,03	0,97	1,03	0,97	1,04
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,98	1,03	0,98	1,03	0,99	1,04
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,99	1,035	1	1,035	1	1,04
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	1	1,04	1,01	1,035	1,02	1,04
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	1,02	1,04	1,02	1,04	1,03	1,04
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	1,04	1,04	1,04	1,04	1,045	1,045
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						
Dial Vertikal								
Code : ME 0,5/28 (5) WC			Kuat tekan : 62,83 ton			Tanggal Pengcoran : 11/04/2009		
						Tanggal Pengetesan : 12/05/2009		
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,46	0,465	0,465	0,47	0,47	0,475
2		2,5	0,475	0,49	0,48	0,495	0,495	0,48
3		5	0,485	0,515	0,495	0,51	0,5	0,495
4		7,5	0,495	0,535	0,51	0,53	0,52	0,51
5		10	0,51	0,55	0,525	0,545	0,52	0,525
6		12,5	0,525	0,57	0,54	0,56	0,56	0,545
7		15	0,54	0,585	0,555	0,58	0,585	0,565
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,55	0,6	0,58	0,595	0,595	0,58
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,57	0,615	0,6	0,61	0,61	0,6
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,59	0,63	0,61	0,625	0,63	0,61
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,61	0,63	0,63	0,645	0,65	0,63
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,635	0,635	0,655	0,655	0,66	0,66
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Dial Vertikal								
Code : ME 0,55/28 (3) WC			Kuat tekan : 56,25 ton				Tanggal Pengecoran : 10/04/2009	
							Tanggal Pengetesan : 09/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,425	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
2		2,5	0,44	0,46	0,44	0,46	0,44	0,465
3		5	0,455	0,51	0,45	0,5	0,45	0,5
4		7,5	0,47	0,53	0,46	0,53	0,47	0,525
5		10	0,48	0,55	0,465	0,55	0,48	0,54
6		12,5	0,49	0,57	0,49	0,56	0,49	0,56
7		15	0,505	0,575	0,5	0,565	0,5	0,565
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,52	0,575	0,51	0,565	0,515	0,565
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,54	0,575	0,53	0,565	0,53	0,565
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,56	0,575	0,55	0,565	0,55	0,565
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,575	0,575	0,565	0,565	0,565	0,565
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5						
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Dial Vertikal								
Code : ME 0,55/28 (4) WC			Kuat tekan : 56,25 ton				Tanggal Pengecoran : 10/04/2009	
							Tanggal Pengetesan : 09/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
2		2,5	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,19
3		5	0,2	0,2	0,19	0,2	0,19	0,2
4		7,5	0,22	0,22	0,21	0,22	0,21	0,22
5		10	0,23	0,24	0,22	0,24	0,23	0,24
6		12,5	0,25	0,26	0,24	0,26	0,25	0,26
7		15	0,27	0,28	0,26	0,275	0,26	0,275
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,28	0,295	0,28	0,295	0,29	0,295
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,3	0,31	0,3	0,31	0,3	0,31
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,32	0,33	0,32	0,325	0,32	0,32
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,345	0,345	0,34	0,34	0,34	0,34
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5						
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Dial Vertikal								
Code : ME 0,55/28 (5) WC			Kuat tekan : 56,25 ton				Tanggal Pengecoran : 10/04/2009	
							Tanggal Pengetesan : 08/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,825	0,83	0,83	0,835	0,835	0,835
2		2,5	0,84	0,85	0,845	0,84	0,845	0,84
3		5	0,85	0,89	0,855	0,88	0,85	0,88
4		7,5	0,86	0,91	0,87	0,91	0,87	0,91
5		10	0,87	0,93	0,88	0,93	0,88	0,92
6		12,5	0,885	0,95	0,9	0,95	0,89	0,94
7		15	0,895	0,96	0,91	0,965	0,91	0,965
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,91	0,96	0,925	0,97	0,92	0,97
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,93	0,96	0,94	0,97	0,94	0,97
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,95	0,965	0,96	0,98	0,96	0,97
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,965	0,965	0,98	0,98	0,97	0,97
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5						
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran :	
Code : ME 0,4/28 (2) PCC			Kuat tekan : 66 ton				Tanggal Pengetesan : 03/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,2	0,205	0,205	0,205	0,205	0,205
2		2,5	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
3		5	0,235	0,23	0,225	0,225	0,225	0,225
4		7,5	0,255	0,25	0,24	0,25	0,245	0,245
5		10	0,275	0,265	0,255	0,27	0,26	0,27
6		12,5	0,295	0,285	0,275	0,285	0,28	0,285
7		15	0,315	0,305	0,3	0,305	0,3	0,31
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,33	0,335	0,315	0,325	0,345	0,33
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,35	0,345	0,335	0,345	0,365	0,35
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,375	0,36	0,355	0,36	0,385	0,365
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,395	0,375	0,37	0,38	0,4	0,38
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,415	0,415	0,4	0,4	0,42	0,42
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						
Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran :	
Code : ME 0,4/28 (3) PCC			Kuat tekan : 66 ton				Tanggal Pengetesan : 17/04/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,945	0,945	0,945	0,945	0,945	0,945
2		2,5	0,96	0,95	0,97	0,95	0,975	0,95
3		5	0,98	0,97	0,99	0,975	0,99	0,965
4		7,5	1,01	0,99	1,005	0,99	1,005	0,99
5		10	1,015	1,005	1,025	1,01	1,025	1
6		12,5	1,045	1,025	1,04	1,03	1,035	1,025
7		15	1,055	1,045	1,055	1,04	1,055	1,045
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	1,065	1,06	1,07	1,06	1,075	1,065
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	1,085	1,08	1,085	1,08	1,09	1,08
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	1,105	1,1	1,105	1,1	1,105	1,1
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	1,125	1,115	1,13	1,115	1,125	1,11
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	1,145	1,145	1,145	1,145	1,145	1,145
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						
Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran :	
Code : ME 0,45/28 (2) PCC			Kuat tekan : 64 ton				Tanggal Pengetesan : 23/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
2		2,5	0,18	0,16	0,17	0,175	0,17	0,175
3		5	0,2	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19
4		7,5	0,22	0,2	0,2	0,2	0,205	0,2
5		10	0,23	0,22	0,22	0,21	0,215	0,21
6		12,5	0,25	0,23	0,235	0,23	0,24	0,23
7		15	0,27	0,25	0,25	0,24	0,26	0,25
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,29	0,28	0,27	0,275	0,28	0,275
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,3	0,3	0,29	0,295	0,29	0,295
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,315	0,315	0,31	0,31	0,305	0,31
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,33	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran : 20/04/2009	
Code : ME 0,45/28 (3) PCC			Kuat tekan : 64 ton				Tanggal Pengetesan : 20/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,57	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
2		2,5	0,595	0,59	0,6	0,59	0,6	0,59
3		5	0,61	0,6	0,62	0,61	0,62	0,61
4		7,5	0,63	0,62	0,64	0,63	0,64	0,63
5		10	0,66	0,64	0,67	0,64	0,66	0,65
6		12,5	0,67	0,65	0,68	0,65	0,67	0,66
7		15	0,68	0,67	0,69	0,68	0,69	0,68
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,7	0,69	0,7	0,7	0,705	0,7
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,71	0,71	0,72	0,72	0,725	0,72
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,74	0,73	0,74	0,73	0,75	0,74
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,76	0,74	0,76	0,75	0,76	0,75
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran : 19/04/2009	
Code : ME 0,5/28 (2) PCC			Kuat tekan : 66 ton				Tanggal Pengetesan : 19/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,76	0,765	0,77	0,77	0,77	0,77
2		2,5	0,78	0,78	0,79	0,8	0,8	0,79
3		5	0,81	0,81	0,81	0,81	0,815	0,8
4		7,5	0,825	0,825	0,82	0,83	0,83	0,82
5		10	0,84	0,84	0,83	0,85	0,85	0,84
6		12,5	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,85
7		15	0,88	0,88	0,895	0,88	0,885	0,87
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,9	0,89	0,92	0,905	0,91	0,9
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,92	0,92	0,93	0,92	0,93	0,91
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,93	0,93	0,95	0,94	0,945	0,93
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,95	0,95	0,97	0,95	0,975	0,95
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran : 19/04/2009	
Code : ME 0,5/28 (3) PCC			Kuat tekan : 66 ton				Tanggal Pengetesan : 22/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,485	0,495	0,495	0,5	0,5	0,5
2		2,5	0,5	0,505	0,52	0,53	0,515	0,535
3		5	0,515	0,55	0,53	0,56	0,53	0,555
4		7,5	0,525	0,575	0,54	0,58	0,545	0,575
5		10	0,54	0,59	0,55	0,6	0,555	0,595
6		12,5	0,55	0,61	0,565	0,615	0,57	0,615
7		15	0,565	0,63	0,57	0,635	0,59	0,63
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,57	0,645	0,6	0,65	0,6	0,65
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,6	0,65	0,62	0,665	0,62	0,665
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5	0,615	0,65	0,635	0,67	0,64	0,675
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25	0,64	0,655	0,66	0,67	0,655	0,675
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5	0,655	0,655	0,675	0,675	0,675	0,675
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Lampiran B-2. Hasil Uji Modulus Elastisitas (lanjutan)



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran : 19/04/2009	
Code : ME 0,55/28 (2) PCC			Kuat tekan : 46 ton				Tanggal Pengetesan : 23/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
2		2,5	0,15	0,15	0,155	0,145	0,15	0,155
3		5	0,17	0,2	0,18	0,16	0,175	0,18
4		7,5	0,18	0,23	0,195	0,18	0,19	0,2
5		10	0,19	0,25	0,21	0,2	0,21	0,22
6		12,5	0,21	0,27	0,23	0,22	0,23	0,235
7		15	0,22	0,28	0,25	0,245	0,25	0,25
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,23	0,28	0,27	0,25	0,27	0,26
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,25	0,28	0,29	0,27	0,29	0,27
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5						
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25						
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5						
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						
Dial Vertikal							Tanggal Pengcoran : 19/04/2009	
Code : ME 0,55/28 (3) PCC			Kuat tekan : 46 ton				Tanggal Pengetesan : 22/05/2009	
No.	Untuk Kuat Tekan, Umur 28 Hari	Beban (ton), Maksimum 40% Kuat Tekan	I		II		III	
			Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)	Regangan Penambahan Beban (mm)	Regangan Pengurangan Beban (mm)
1		0	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085
2		2,5	0,09	0,09	0,11	0,09	0,105	0,095
3		5	0,09	0,145	0,13	0,11	0,13	0,11
4		7,5	0,115	0,17	0,14	0,13	0,145	0,13
5		10	0,125	0,18	0,16	0,145	0,16	0,15
6		12,5	0,14	0,18	0,175	0,165	0,175	0,165
7		15	0,15	0,18	0,195	0,18	0,19	0,18
8	22,5 MPa = 40,59 ton	17,5	0,165	0,185	0,215	0,2	0,21	0,195
9	27,5 MPa = 49,61 ton	20	0,185	0,185	0,23	0,23	0,23	0,23
10	30 MPa = 54,12 ton	22,5						
11	32,5 MPa = 58,63 ton	25						
12	37,5 MPa = 67,65 ton	27,5						
13	40 MPa = 72,16 ton	30						
14	45 MPa = 81,18 ton	32,5						
15	47,5 MPa = 85,69 ton	35						
16	50 MPa = 90,2 ton	37,5						
17	52,5 MPa = 94,71 ton	40						

Lampiran C-1. Jadwal Pembuatan Benda Uji



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Penuatan benda uji dilakukan pada bulan April dan pengetesan dilakukan sampai bulan Mei. Total waktu kegiatan di laboratorium adalah dua bulan. Jadwal pembuatan benda uji di laboratorium adalah sebagai berikut:



JADUAL PERCOBAAN LABORATORIUM UNTUK TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS													
Tanggal	Pengecoran Sample	Persiapan	Pengetesan Sample	Kondisi Material					Slump	Temperatur dan Kelembapan	Kondisi Cuaca	Keterangan	
				Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar						
1	Rabu												
2	Kamis	I: tek 0,4/28 (1-5) II: tek 0,4/14 (1)				baik	baik	SSD	SSD	11 dan 10	27,3 °C dan 84%	cerah	pengecoran II ditambah 150 ml air
3	Jumat	I: tek 0,45/28 (1-5) II: tek 0,45/14 (1)				baik	baik	kurang SSD	kurang SSD	11,67 dan 12,33	27,3 °C dan 82%	agak mendung	pengecoran I ditambah 1750 gr air, pengecoran II ditambah 1050 gr air
4	Sabtu												
5	Minggu												
6	Senin												
7	Selasa												
8	Rabu	I: tek 0,5/3 (1-3)				baik	baik	kurang SSD	kurang SSD	10,17	27,3 °C dan 83%	mendung	pengecoran I ditambah 1470 gr air
9	Kamis												
10	Jumat	I: tek 0,55/28 (1-5); 7 (3) II: tek 0,55/7 (1-2); 3 (3) III: tek 0,5/28 (1-3)	angkat sample			baik	baik	SSD	SSD	13,33; 11,33 dan 11,33	27,4 °C dan 82%	agak mendung	pengecoran I kelebihan 600 gr air, pengecoran II kelebihan 650 gr air, pengecoran III ditambah 150 gr air
11	Sabtu	I: tek 0,5/7 (3); 14 (1-3); 28 (4-5) II: tek 0,55/14 (1-3)	capping	tek 0,5/3 (1-3)		baik	baik	SSD	SSD	13,17	27,3 °C dan 84%	cerah	pengecoran I ditambah 200 gr air, pengecoran II kelebihan 100 gr air
12	Minggu	I: tek 0,45/3 (3); 7 (1-3); 14 (2-3)	angkat sample			baik	baik	SSD	SSD	10	27,2 °C dan 82%	cerah	pengecoran I ditambah 175 gr air
13	Senin		capping	tek 0,55/3 (3)									
14	Selasa		angkat sample										
15	Rabu		capping + angkat sample	tek 0,45/3 (3)									
16	Kamis		capping + angkat sample	tek 0,4/14 (1)									
17	Jumat	I: tek PCC 0,4/28 (1-3)	capping + angkat sample	tek 0,45/14 (1); tek 0,55/7 (3); tek 0,55/7 (1-2)		baik	baik	SSD	SSD	10,33	27,3 °C dan 83%	cerah	dalam pengecoran air pas
18	Sabtu		capping + angkat sample	tek 0,5/7 (3)									
19	Minggu	I. tek PCC 0,5/28 (1-3) II. tek PCC 0,55/28 (1-3)	capping	tek 0,45/7 (1-3)		baik	baik	SSD	kurang SSD	12,33 dan 11,5	27,3 °C dan 84%	mendung	pengecoran I kelebihan 1080 gr air, pengecoran II lebih 220 gr air
20	Senin	I. tek PCC 0,45/28 (1-3)				baik	baik	kurang SSD	SSD	11,17	28,4 °C dan 77%	cerah	pengecoran I kelebihan 400 gr air
21	Selasa	I. tek 0,4/7 (3); 14 (2-3)				baik	baik	kurang SSD	SSD	12,17	28,7 °C dan 61%	cerah	pengecoran I ditambah 860 gr air
22	Rabu	I. tek 0,4/7 (2) II. Tek 0,4/7 (1); 3 (1-3)				baik	baik	SSD	kurang SSD	13 dan 11,67	28,7 °C dan 74%	cerah	pengecoran I ditambah 390 gr air, pengecoran ke II ditambah 330 gr air
23	Kamis	I. tek 0,45/3 (1-2)				baik	baik	kurang SSD	SSD	12,17	28,6 °C dan 74%	cerah	pengecoran I ditambah 200 gr air
24	Jumat	I. tek 0,55/3 (1-2) II. Tek 0,5/7 (1-2)	angkat sample			baik	baik	kurang SSD	kurang SSD	10,17 dan 11,33	28,5 °C dan 75%	cerah	pengecoran I kelebihan 1000 gr air, pengecoran ke II kelebihan 300 gr air
25	Sabtu		capping + angkat sample	tek 0,5/14 (1-3); tek 0,55/14 (1-3); tek 0,4/3 (1-3)									
26	Minggu		capping + angkat sample	tek 0,45/14 (2-3); tek 0,45/3 (1-2)									
27	Senin		capping + angkat sample	tek 0,55/3 (1-2)									
28	Selasa		capping + angkat sample	tek 0,4/7 (3)									
29	Rabu		capping + angkat sample	tek 0,4/7 (1-2)									
30	Kamis		capping + angkat sample	ME 0,4/28 (3-5)	tek 0,4/28 (1-5)								
1	Jumat		capping	ME 0,45/28 (3-5)	tek 0,45/28 (1-5); tek 0,5/7 (1-2)								
2	Sabtu												
3	Minggu												
4	Senin		angkat sample										
5	Selasa		capping	tek 0,4/14 (2-3)									
6	Rabu												
7	Kamis		angkat sample										
8	Jumat		capping + angkat sample	ME 0,55/28 (3-5); ME 0,5/28 (3)	tek 0,55/28 (1-5); tek 0,5/28 (1-3)								
9	Sabtu		capping	ME 0,5/28 (4-5)	tek 0,5/28 (4-5)								
10	Minggu												
11	Senin												
12	Selasa												
13	Rabu												
14	Kamis		angkat sample										
15	Jumat		capping	ME PCC 0,4/28 (2-3)	tek PCC 0,4/28 (1-3)								
16	Sabtu		angkat sample										
17	Minggu		capping + angkat sample	ME PCC 0,5/28 (2-3); ME PCC 0,55/28 (2-3)	tek PCC 0,5/28 (1-3); tek PCC 0,55/28 (1-3)								
18	Senin		capping	ME PCC 0,45/28 (2-3)	tek PCC 0,45/28 (1-3)								
19	Selasa												
20	Rabu												
21	Kamis												
22	Jumat												
23	Sabtu												
24	Minggu												
25	Senin												
26	Selasa												
27	Rabu												
28	Kamis												
29	Jumat												
30	Sabtu												
31	Minggu												

Lampiran C-2. Progres Pembuatan Benda Uji



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Faktor Air Semen	Semen Putih (WC)															Semen Abu-abu (PCC)		
	Tekan										Tekan & ME					Tekan	Tekan & ME	
0,4	3 (1)	3 (2)	3 (3)	7 (1)	7 (2)	7 (3)	14 (1)	14 (2)	14 (3)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	28 (4)	28 (5)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	
0,45	3 (1)	3 (2)	3 (3)	7 (1)	7 (2)	7 (3)	14 (1)	14 (2)	14 (3)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	28 (4)	28 (5)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	
0,5	3 (1)	3 (2)	3 (3)	7 (1)	7 (2)	7 (3)	14 (1)	14 (2)	14 (3)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	28 (4)	28 (5)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	
0,55	3 (1)	3 (2)	3 (3)	7 (1)	7 (2)	7 (3)	14 (1)	14 (2)	14 (3)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	28 (4)	28 (5)	28 (1)	28 (2)	28 (3)	

keterangan:	
Tanggal Pengecoran	
02/04/2009	
03/04/2009	
08/04/2009	
10/04/2009	
11/04/2009	
12/04/2009	
17/04/2009	
19/04/2009	
20/04/2009	
21/04/2009	
22/04/2009	
23/04/2009	
24/04/2009	

Lampiran D-1. ASTM C 469-02



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110/ 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)

Aturan ini memuat standard pengujian modulus elastisitas dan rasio poisson dari beton silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Isi ASTM C 469-02 ini adalah:





Designation: C 469 – 02

Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression¹

This standard is issued under the fixed designation C 469; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of (1) chord modulus of elasticity (Young's) and (2) Poisson's ratio of molded concrete cylinders and diamond-drilled concrete cores when under longitudinal compressive stress. Chord modulus of elasticity and Poisson's ratio are defined in Terminology E 6.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 31/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

C 39/C 39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens²

C 42/C 42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

C 174/C 174M Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores²

C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing³

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer³

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁴

3. Significance and Use

3.1 This test method provides a stress to strain ratio value and a ratio of lateral to longitudinal strain for hardened concrete at whatever age and curing conditions may be designated.

3.2 The modulus of elasticity and Poisson's ratio values, applicable within the customary working stress range (0 to 40 % of ultimate concrete strength), are used in sizing of reinforced and nonreinforced structural members, establishing the quantity of reinforcement, and computing stress for observed strains.

3.3 The modulus of elasticity values obtained will usually be less than moduli derived under rapid load application (dynamic or seismic rates, for example), and will usually be greater than values under slow load application or extended load duration, given other test conditions being the same.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—Use a testing machine capable of imposing a load at the rate and of the magnitude prescribed in 6.4. The machine shall conform to the requirements of Practices E 4 (Constant-Rate-of-Travel CRT-Type Testing Machines section). The spherical head and bearing blocks shall conform to the Apparatus Section of Test Method C 39/C 39M.

4.2 *Compressometer*⁵—For determining the modulus of elasticity use a bonded (Note 1) or unbonded sensing device that measures to the nearest 5 millionths the average deformation of two diametrically opposite gage lines, each parallel to the axis, and each centered about midheight of the specimen. The effective length of each gage line shall be not less than three times the maximum size of the aggregate in the concrete nor more than two thirds the height of the specimen; the preferred length of the gage line is one half the height of the specimen. Either use gage points embedded in or cemented to the specimen, and read deformation of the two lines independently; or use a compressometer (such as is shown in Fig. 1) consisting of two yokes, one of which (see B, Fig. 1) is rigidly attached to the specimen and the other (see C, Fig. 1) attached at two diametrically opposite points so that it is free to rotate.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Aug. 10, 2002. Published October 2002. Originally published as C469 – 61. Last previous edition C469 – 94^{ε1}.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁵ Copies of working drawings of strain measuring apparatus are available from ASTM International Headquarters, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. Request adjunct No. ADJC0469.

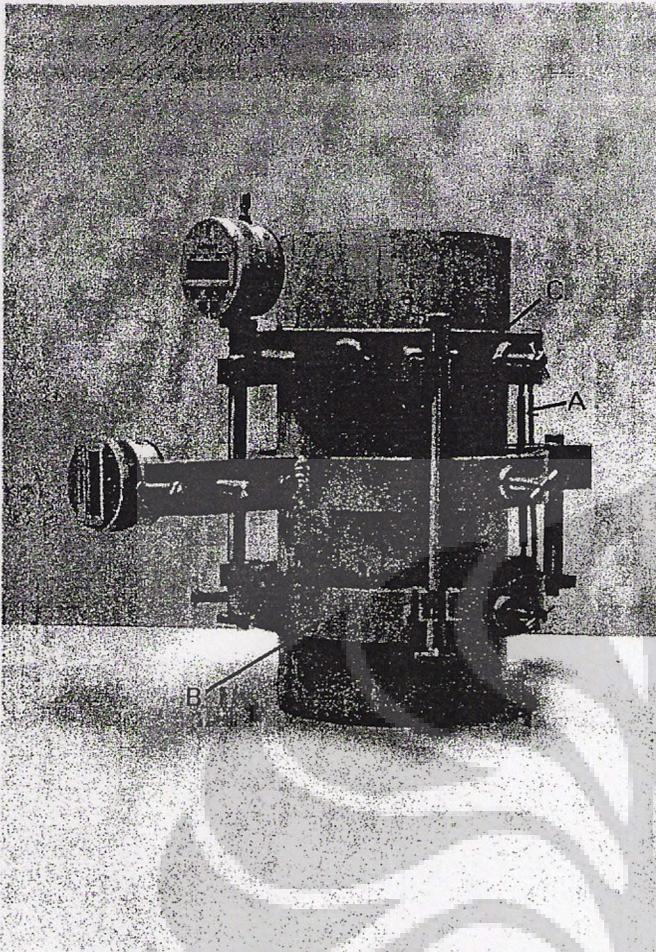
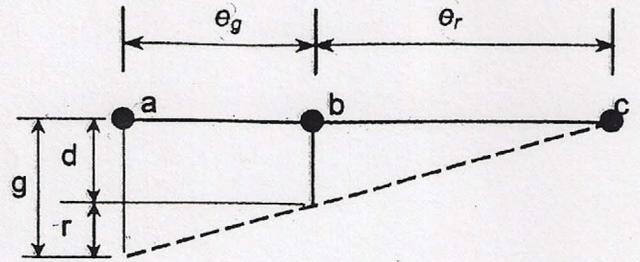


FIG. 1 Suitable Compressometer

At one point on the circumference of the rotating yoke, midway between the two support points, use a pivot rod (see A, Fig. 1) to maintain a constant distance between the two yokes. At the opposite point on the circumference of the rotating yoke, the change in distance between the yokes (that is, the gage reading) is equal to the sum of the displacement due to specimen deformation and the displacement due to rotation of the yoke about the pivot rod (see Fig. 2).

4.2.1 Measure deformation by a dial gage used directly or with a lever multiplying system, by a wire strain gage, or by a linear variable differential transformer. If the distances of the pivot rod and the gage from the vertical plane passing through the support points of the rotating yoke are equal, the deformation of the specimen is equal to one-half the gage reading. If these distances are not equal, calculate the deformation as follows:

$$d = g e_r / (e_r + e_g) \quad (1)$$



- d = displacement due to specimen deformation ✓
- r = displacement due to rotation of the yoke about the pivot rod
- a = location of gage ✓
- b = support point of the rotating yoke ✓
- c = location of pivot rod ✓
- g = gage reading ✓

FIG. 2 Diagram of Displacements

where:

- d = total deformation of the specimen throughout the effective gage length, $\mu\text{in.}$ (μm),
- g = gage reading, $\mu\text{in.}$ (μm),
- e_r = the perpendicular distance, measured in inches (millimetres) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the pivot rod to the vertical plane passing through the two support points of the rotating yoke, and
- e_g = the perpendicular distance, measured in inches (millimetres) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the gage to the vertical plane passing through the two support points of the rotating yoke.

Procedures for calibrating strain-measuring devices are given in Practice E 83.

NOTE 1—Although bonded strain gages are satisfactory on dry specimens, they may be difficult, if not impossible, to mount on specimens continually moist-cured until tested.

4.3 Extensometer⁵—If Poisson's ratio is desired, the transverse strain shall be determined (1) by an unbonded extensometer capable of measuring to the nearest 25 $\mu\text{in.}$ (0.635 μm) the change in diameter at the midheight of the specimen, or (2) by two bonded strain gages (Note 1) mounted circumferentially at diametrically opposite points at the midheight of the specimen and capable of measuring circumferential strain to the nearest 5 millionths. A combined compressometer and extensometer (Fig. 3) is a convenient unbonded device. This apparatus shall contain a third yoke (consisting of two equal segments) located halfway between the two compressometer yokes and attached to the specimen at two diametrically opposite points. Midway between these points use a short pivot rod (A', see Fig. 3), adjacent to the long pivot rod, to maintain a constant distance between the bottom and middle yokes. Hinge the middle yoke at the pivot point to permit rotation of the two segments of the

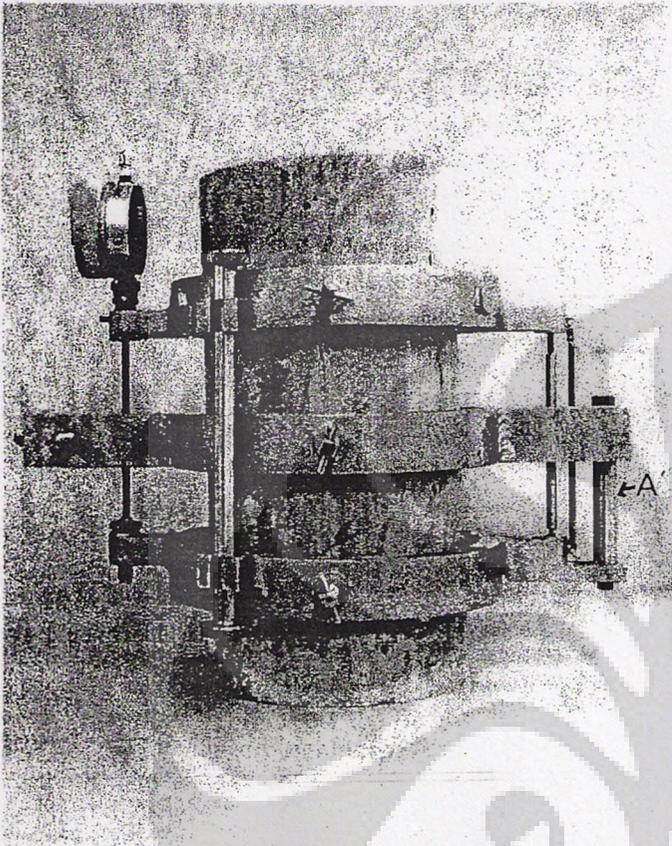


FIG. 3 Suitable Combined Compressometer-Extensometer

yoke in the horizontal plane. At the opposite point on the circumference, connect the two segments through a dial gage or other sensing device capable of measuring transverse deformation to the nearest 50 $\mu\text{in.}$ (1.27 μm). If the distances of the hinge and the gage from the vertical plane passing through the support points of the middle yoke are equal, the transverse deformation of the specimen diameter is equal to one-half the gage reading. If these distances are not equal, calculate the transverse deformation of the specimen diameter in accordance with Eq 2.

$$d' = g'e'_h / (e'_h + e'_g) \quad (2)$$

where:

d' = transverse deformation of the specimen diameter, $\mu\text{in.}$ (μm),

g' = transverse gage reading, $\mu\text{in.}$ (μm),

e'_h = the perpendicular distance, measured in inches (millimeters) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the hinge to the vertical plane passing through the support points of the middle yoke, and

e'_g = the perpendicular distance, measured in inches (millimeters) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the gage to the vertical plane passing through the support points of the middle yoke.

4.4 *Balance or Scale*, accurate to 0.1 lb (0.045 kg) shall be used if necessary.

5. Test Specimens

5.1 *Molded Cylindrical Specimens*—Mold test cylinders in accordance with the requirements for compression test specimens in Practice C 192/C 192M, or in Practice C 31/C 31M. Subject specimens to the specified curing conditions and test at the age for which the elasticity information is desired. Test specimens within 1 h after removal from the curing or storage room. Specimens removed from a moist room for test shall be kept moist by a wet cloth covering during the interval between removal and test.

5.2 *Drilled Core Specimens*—Cores shall comply with the requirements for drilling, and moisture conditioning applicable to compressive strength specimens in Test Method C 42/C 42M, except that only diamond-drilled cores having a length-to-diameter ratio greater than 1.50 shall be used. Requirements relative to storage and to ambient conditions immediately prior to test shall be the same as for molded cylindrical specimens.

5.3 The ends of the test specimens shall be made perpendicular to the axis ($\pm 0.5^\circ$) and plane (within 0.002 in.). If the specimen as cast does not meet the planeness requirements, planeness shall be accomplished by capping in accordance with Practice C 617, or by lapping, or by grinding. It is not prohibited to repair aggregate popouts that occur at the ends of specimens, provided the total area of popouts does not exceed 10 % of the specimen area and the repairs are made before capping or grinding is completed (Note 2). Planeness will be considered within tolerance when a 0.002 in. (0.05 mm) feeler gage will not pass between the specimen surface and a straight edge held against the surface.

NOTE 2—Repairs may be made by epoxying the dislodged aggregate back in place or by filling the void with capping material and allowing adequate time for it to harden.

5.4 Measure the diameter of the test specimen by caliper to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) by averaging two diameters measured at right angles to each other near the center of the length of the specimen. Use this average diameter to calculate the cross-sectional area. Measure and report the length of a molded specimen, including caps, to the nearest 0.1 in. (2.54 mm). Measure the length of a drilled specimen in accordance with Test Method C 174/C 174M; report the length, including caps, to the nearest 0.1 in. (2.54 mm).

6. Procedure

6.1 Maintain the ambient temperature and humidity as constant as possible throughout the test. Record any unusual fluctuation in temperature or humidity in the report.

6.2 Use companion specimens to determine the compressive strength in accordance with Test Method C 39/C 39M prior to the test for modulus of elasticity.

6.3 Place the specimen, with the strain-measuring equipment attached, on the lower platen or bearing block of the testing machine. Carefully align the axis of the specimen with the center of thrust of the spherically-seated upper bearing block. Note the reading on the strain indicators. As the

spherically-seated block is brought slowly to bear upon the specimen, rotate the movable portion of the block gently by hand so that uniform seating is obtained.

6.4 Load the specimen at least twice. Do not record any data during the first loading. Base calculations on the average of the results of the subsequent loadings (Note 3).

NOTE 3—At least two subsequent loadings are recommended so that the repeatability of the test may be noted.

During the first loading, which is primarily for the seating of the gages, observe the performance of the gages (Note 4) and correct any unusual behavior prior to the second loading. Obtain each set of readings as follows: Apply the load continuously and without shock. Set testing machines of the screw type so that the moving head travels at a rate of about 0.05 in. (1.25 mm)/min when the machine is running idle. In hydraulically operated machines, apply the load at a constant rate within the range 35 ± 5 psi (241 ± 34 kPa)/s. Record, without interruption of loading, the applied load and longitudinal strain at the point (1) when the longitudinal strain is 50 millionths and (2) when the applied load is equal to 40 % of the ultimate load (see 6.5). Longitudinal strain is defined as the total longitudinal deformation divided by the effective gage length. If Poisson's ratio is to be determined, record the transverse strain at the same points. If a stress-strain curve is to be determined, take readings at two or more intermediate points without interruption of loading; or use an instrument that makes a continuous record. Immediately upon reaching the maximum load, except on the final loading, reduce the load to zero at the same rate at which it was applied. If the observer fails to obtain a reading, complete the loading cycle and then repeat it. Record the extra cycle in the report.

NOTE 4—Where a dial gage is used to measure longitudinal deformation, it is convenient to set the gage before each loading so that the indicator will pass the zero point at a longitudinal strain of 50 millionths.

6.5 It is not prohibited to obtain the modulus of elasticity and strength on the same loading provided that the gages are expendable, removable, or adequately protected so that it is possible to comply with the requirement for continuous loading given in Test Method C 39/C 39M. In this case record several readings and determine the strain value at 40 % of the ultimate by interpolation.

6.6 If intermediate readings are taken, plot the results of each of the three tests with the longitudinal strain as the abscissa and the compressive stress as the ordinate. Calculate the compressive stress by dividing the quotient of the testing

machine load by the cross-sectional area of the specimen determined in accordance with 5.4.

7. Calculation

7.1 Calculate the modulus of elasticity, to the nearest 50 000 psi (344.74 MPa) as follows:

$$E = (S_2 - S_1)/(\epsilon_2 - 0.000050) \quad (3)$$

where:

- E = chord modulus of elasticity, psi,
- S_2 = stress corresponding to 40 % of ultimate load,
- S_1 = stress corresponding to a longitudinal strain, ϵ_1 , of 50 millionths, psi, and
- ϵ_2 = longitudinal strain produced by stress S_2 .

7.2 Calculate Poisson's ratio, to the nearest 0.01, as follows:

$$\mu = (\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1})/(\epsilon_2 - 0.000050) \quad (4)$$

where:

- μ = Poisson's ratio,
- ϵ_{t2} = transverse strain at midheight of the specimen produced by stress S_2 , and
- ϵ_{t1} = transverse strain at midheight of the specimen produced by stress S_1 .

8. Report

8.1 Report the following information:

- 8.1.1 Specimen identification number,
- 8.1.2 Dimensions of specimen, in inches (or millimetres),
- 8.1.3 Curing and environmental histories of the specimen,
- 8.1.4 Age of the specimen,
- 8.1.5 Strength of the concrete, if determined,
- 8.1.6 Unit weight of the concrete, if determined,
- 8.1.7 Stress-strain curves, if plotted,
- 8.1.8 Chord modulus of elasticity, and
- 8.1.9 Poisson's ratio, if determined.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—The single-operator-machine multibatch precision is ± 4.25 % (R1S %) max, as defined in Practice E 177, over the range from 2.5 to 4×10^6 psi (17.3 to 27.6×10^9 Pa); therefore, the results of tests of duplicate cylinders from different batches should not depart more than 5 % from the average of the two.

9.2 *Bias*—This test method has no bias because the values determined can only be defined in terms of the test method.

10. Keywords

10.1 compression testing; concrete; modulus of elasticity; Poisson's ratio

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Lampiran E-1. Foto Proses Pembuatan Beton



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)



Lampiran E-2. Foto Pengujian Tekan dan Modulus Elastisitas



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)



Uji Tekan



Uji Modulus Elastisitas

Lampiran E-3. Foto Beton dengan Semen Portland Putih/WC dan Semen Abu-
Abu/PCC



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 787 4878 (Ext. 110 / 111) - 787 4878 / 727 0028 (Fax)



Beton dengan Semen Portland Putih/WC (kanan) dan Beton dengan Semen Abu-
Abu/PCC (kiri)