



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP
KUAT TARIK BELAH DAN KUAT TARIK LENTUR
PADA BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN PUTIH
DIBANDINGKAN DENGAN BETON BIASA**

SKRIPSI

**ILHAM SIPALA
04 05 01 034 5**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JANUARI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP
KUAT TARIK BELAH DAN KUAT TARIK LENTUR
PADA BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN PUTIH
DIBANDINGKAN DENGAN BETON BIASA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ILHAM SIPALA
04 05 01 034 5**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JANUARI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ilham Sipala

NPM : 04 05 01 034 5

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Januari 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ilham Sipala

NPM : 04 05 01 034 5

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur pada Beton yang menggunakan Semen Putih dibandingkan dengan Beton Biasa.

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

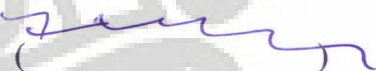
Pembimbing I : Dr. Ir. Elly Tjahjono S., DEA.

()

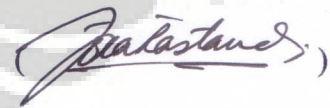
Pembimbing II : Ir. Essy Ariyuni, MSc., PhD.

()

Penguji I : Ir. H. Madsuri, M.T.

()

Penguji II : Dr.-Ing. Josia I. Rastandi

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Januari 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur pada kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas penulisan seminar skripsi dengan tema “ Studi Pengaruh Penggunaan Variasi faktor Air Semen terhadap nilai Kuat tarik dan Lentur Pada Beton Putih ”.

Skripsi ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa bantuan dari pihak-pihak yang telah berperan baik yang secara langsung maupun tidak langsung. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda serta adinda tercinta dirumah yang telah memberikan doa dan dukungan yang memotivasi diri penulis
2. Bapak Prof. Dr. Irwan Katili, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
3. Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono sebagai pembimbing pertama
4. Ibu Ir. Essy Ariyuni, Ph.D. sebagai pembimbing kedua
5. Ir. H. Madsuri, MT. sebagai dosen penguji
6. Dr. Ing. Ir. Josia I. Rastandi MT. sebagai dosen penguji
7. Segenap bapak dan ibu dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia atas bimbingan dan keikhlasan dalam memberikan ilmu dan pengalaman yang tidak ternilai.
8. Seluruh staf Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia yang telah memberikan kemudahan dalam administrasi dan kemudahan akademik.
9. PT. Adhimix khususnya Bapak Moko, Mas Heri, Mas Febri dan staf-staf lainnya, yang telah memberikan sumbangan material untuk penelitian yaitu agregat kasar dan halus.
10. PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk khususnya Bapak Saiful, yang telah memberikan sumbangan material untuk penelitian yaitu semen portland putih (*White Cement*) dan data mengenai komposisi senyawa semen PCC dan OPC.
11. Teman-teman terbaik khususnya Anggie, Akmal, Iqbal, Alvis, Teo, Imam, Ihsan, Kamil, Aji, Amir, Wisnu dan Riky yang telah membantu dalam proses pencucian material dan *mix design* beton.

12. Teman-teman sipil UI angkatan 2005 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah memberi semangat dan inspirasi dalam menyelesaikan tugas yang ada.

Akhirnya, dengan selesainya penulisan seminar ini, penulis berharap semoga penulisan seminar skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Depok, 2010



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

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

Nama : Ilham Sipala
NPM : 04 05 01 034 5
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 :

Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tarik Belah dan
Kuat Tarik Lentur pada Beton yang menggunakan Semen Putih
dibandingkan dengan Beton Biasa.

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 : 11 Januari 2010

Yang menyatakan



(Ilham Sipala)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Ilham Sipala
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur pada Beton yang menggunakan Semen Putih yang dibandingkan dengan Beton Biasa.

Penelitian ini bertujuan mempelajari karakteristik kuat tarik belah dan kuat tarik lentur dari beton yang menggunakan semen putih (sebagai bahan baku utama) akibat pengaruh nilai faktor air semen (FAS). Variasi FAS yang digunakan pada campuran beton adalah 0,4; 0,45; 0,5; dan 0,55. Selanjutnya, penelitian ini akan membandingkan nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur antara beton yang menggunakan semen portland putih (WPC) dengan beton yang menggunakan semen PCC di masing-masing nilai faktor air semen (FAS). Metode dan prosedur pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM dan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa beton WPC memiliki kuat tarik belah dan kuat tarik lentur yang lebih tinggi dibanding dengan beton PCC di masing-masing variasi FAS. Semakin besar kenaikan FAS, maka kuat tarik belah dan kuat tarik lentur yang dihasilkan akan semakin kecil, baik pada beton WPC maupun beton PCC.

Perbedaan nilai terbesar pada kuat tarik belah yang terjadi antara beton PCC dengan beton WPC adalah pada variasi FAS 0,55 yaitu sebesar 17,83 %. Sedangkan untuk perbedaan nilai terbesar kuat tarik lentur antara beton PCC dengan beton WPC adalah pada variasi FAS 0,4 yaitu sebesar 35,28 %.

Kata Kunci :
Semen Portland Putih (WPC), PCC, Kuat Tarik Belah, Kuat Tarik Lentur, Faktor Air Semen (FAS)

ABSTRACT

Name : Ilham Sipala
Study Program : Civil Engineering
Judul : The Influence of Water-Cement Ratio to Splitting Tensile Strength and Flexural Tensile Strength of Concrete using White Cement compared with Ordinary Concrete

This research aims to study the characteristics of the splitting tensile strength and flexural tensile strength of concrete using white cement (as the main raw material) due to the influence of water-cement ratio (W/C). Variations in water-cement ratio that are used in the concrete mixture are 0.4, 0.45, 0.5 and 0.55. Furthermore, this study will compare the value of splitting tensile strength and flexural tensile strength of concrete using white Portland cement (WPC) with the use of concrete using PCC in each of the water-cement ratio (W/C). The method and procedure of this study was conducted with reference to ASTM standards and conducted in Materials and Structures Laboratory Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

From the research results obtained that the WPC concrete had splitting tensile strength and flexural tensile strength is higher than with ordinary cement concrete in each variation of W/C. The greater increase of W/C, the splitting tensile strength and flexural tensile strength produced would be smaller, both WPC concrete and PCC concrete.

Differences of greatest value in splitting tensile strength between PCC concrete with WPC concrete is the variation of W/C of 0.55 for 17.83%. As for the biggest value differences flexural tensile strength of PCC concrete with WPC concrete is the variation of water cement ratio of 0.4 for 35.28%.

Keywords:

White Portland cement (WPC), PCC, Splitting Tensile Strength, Flexural Tensile Strength, Water-Cement Ratio (W/C).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. TUJUAN PENELITIAN	3
1.3. BATASAN PENELITIAN.....	4
1.4. HIPOTESA AWAL	5
1.5. METODOLOGI PENELITIAN.....	5
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
2. STUDI LITERATUR.....	7
2.1. SEJARAH SINGKAT	7
2.2. GAMBARAN UMUM BETON	8
2.3. MATERIAL PEMBENTUK BETON	11
2.3.1. Semen	11
2.3.2. Agregat	21
2.3.3. Air.....	31
2.4. FAKTOR AIR SEMEN	32
2.5. KARAKTERISTIK BETON	35
2.5.1. Kuat Tarik Belah	35
2.5.2. Kuat Tarik Lentur	36
3. METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1. RENCANA PENELITIAN	39
3.2. PERALATAN LABORATORIUM.....	42
3.3. BAHAN BAKU PENELITIAN.....	42
3.4. PENGUJIAN BAHAN BAKU PENELITIAN.....	43
3.4.1. Pengujian Terhadap Semen Portland Putih	43
3.4.2. Pengujian Agregat Halus	47
3.4.3. Pengujian Agregat Kasar	54
3.5. PERANCANGAN CAMPURAN.....	55
3.6. PEMBUATAN BENDA UJI	61

3.7. PENGUJIAN BETON SEGAR	63
3.7.1. Percobaan Slump Beton.....	63
3.8. PENGUJIAN BENDA UJI	64
3.8.1. PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH	64
3.8.2. PENGUJIAN KUAT TARIK LENTUR	66
4. HASIL DAN ANALISIS PERCOBAAN	68
4.1. KONDISI PENELITIAN	68
4.2. ANALISA HASIL PENGUJIAN BAHAN BAKU PENELITIAN.....	69
4.2.1. Pengujian Terhadap Semen	69
4.2.2. Pengujian Terhadap Agregat Halus	71
4.2.3. Pengujian Terhadap Agregat Kasar.....	78
4.3. RANCANG CAMPUR	80
4.3.1. Contoh Perhitungan Rancang Campur	82
4.4. ANALISA HASIL UJI KUAT TARIK BELAH.....	83
4.5. ANALISA HASIL UJI KUAT TARIK LENTUR	99
4.6. PERBANDINGAN KUAT TARIK BELAH DENGAN KUAT TARIK LENTUR.....	110
4.7. PERBANDINGAN KUAT TARIK BELAH (SPLITTING TEST) DAN KUAT TARIK LENTUR (FLEXURAL TEST) TERHADAP KUAT TEKAN (CRUSHING TEST).....	116
4.8. TEKNIS PENGUJIAN	123
4.8.1. Teknis Pengujian Kuat Tarik Belah.....	123
4.8.2. Teknis Pengujian Kuat Tarik Lentur	124
5. KESIMPULAN DAN SARAN	127
5.1. KESIMPULAN.....	127
5.2. SARAN	129
DAFTAR REFERENSI	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Proses Terjadinya Beton	9
Gambar 2. 2	Laju kenaikan kuat tekan pasta semen (Mindess. S dan Young J.F. : 1981)	14
Gambar 2. 3	Semen putih hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk.....	16
Gambar 2. 4	Semen putih adalah kunci komposisi dalam pembuatan beton berwarna putih.....	17
Gambar 2. 5	Bentuk agregat	24
Gambar 2. 6	Proses terjadinya pengikatan dalam beton (Tri Mulyono, 2004)..	33
Gambar 2. 7	Hubungan Kekuatan tekan beton pada hari ke-7 terhadap rasio air semen untuk beton yang terbuat dengan <i>rapid hardening</i> semen portland (Neville, Adam M., 1988).....	34
Gambar 2. 8	Hasil plot kekuatan terhadap rasio semen air untuk data pada gambar 2.7 (Neville, Adam M., 1988).....	34
Gambar 2. 9	Perbandingan warna pasta semen putih pada keadaan basah dan kering di beberapa variasi rasio air semen	35
Gambar 2. 10	Splitting Test	36
Gambar 2. 11	Skema Pembebanan Lentur pada balok (<i>third-point loading</i>)	37
Gambar 3. 1	Skema Alur Penelitian.....	41
Gambar 3. 2	<i>Mold</i> untuk <i>Slump Test</i>	64
Gambar 3. 3	Pemasangan posisi silinder beton dengan <i>bearing strips</i> yang tepat (ASTM C 496 / C 496M-04).....	65
Gambar 3. 4	Detail Perencanaan pemasangan silinder beton yang sesuai (ASTM C 496 / C 496M-04)	65
Gambar 3. 5	Posisi spesimen silinder dalam mesin tekan untuk menentukan <i>Splitting Tensile Strength</i>	66
Gambar 3. 6	Pengujian kuat tarik lentur pada balok uji dengan metode <i>Third-Point Loading</i> (ASTM C 78 - 94).....	67
Gambar 4. 1	Daerah Gradasi II (Pasir Agak Kasar)	74
Gambar 4. 2	Daerah Gradasi I (Pasir Kasar)	75
Gambar 4. 3	Kadar Organik dalam Agregat Halus Tahap Pertama.....	76
Gambar 4. 4	Kadar Organik dalam Agregat Halus Tahap Kedua	77
Gambar 4. 5	Grafik Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton WPC	81
Gambar 4.6	Grafik Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton PCC	81
Gambar 4. 7	Grafik Kuat Tarik Belah Beton WPC pada Hari ke-7 & 28 dimasing-masing FAS.....	87

Gambar 4. 8	Grafik Kuat Tarik Belah pada Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari terhadap FAS pada Tahap I.....	90
Gambar 4. 9	Grafik Kuat Tarik Belah pada Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari terhadap FAS pada Tahap II.....	94
Gambar 4. 10	Grafik Kuat Tarik Lentur pada Beton WPC dengan Beton PCC terhadap FAS di umur beton 28 hari untuk Tahap I.....	102
Gambar 4. 11	Grafik Kuat Tarik Lentur pada Beton WPC dengan Beton PCC terhadap FAS di umur beton 28 hari untuk Tahap II.....	108
Gambar 4. 12	Grafik Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC terhadap FAS untuk Tahap I .	113
Gambar 4. 13	Grafik Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC terhadap FAS untuk Tahap II	114
Gambar 4. 14	Grafik Perbandingan antara hasil uji tarik belah (gabungan tahap I &II) & uji kuat tarik lentur (tahap II) pada beton WPC dan PCC terhadap FAS.....	116
Gambar 4. 15	Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap I	117
Gambar 4. 16	Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap II.....	119
Gambar 4. 17	Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap I	121
Gambar 4. 18	Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap II	122
Gambar 4. 19	Sampel silinder yang telah diberikan tanda garis untuk Uji Tarik Belah	123
Gambar 4. 20	Sampel silinder Tarik Belah yang telah di uji.....	124
Gambar 4. 21	Sampel Balok yang telah diberikan tanda garis	125
Gambar 4. 22	Pola patahan yang terjadi pada sampel balok uji tarik lentur.....	125

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Kelebihan dan kekurangan beton.....	10
Tabel 2. 2	Komposisi Kimia Semen Portland.....	13
Tabel 2. 3	Komposisi senyawa campuran khusus semen Portland putih .	19
Tabel 2. 4	Syarat kimia	19
Tabel 2. 5	Syarat Fisika.....	19
Tabel 2. 6	Komposisi Kimia dan Senyawa Campuran (Portland Cement Association, 1999)	20
Tabel 2. 7	Komposisi Kimia dan Senyawa Campuran WPC, PCC & OPC hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk	20
Tabel 2. 8	Pengaruh senyawa oksida dalam semen biasa	21
Tabel 2. 9	Klasifikasi Fisik Agregat (BSI 812-1975)	24
Tabel 2. 10	Gradasi Standar Agregat Halus Alam.....	26
Tabel 2. 11	Batas-batas Gradasi Agregat Halus Menurut SNI 03-2834-1992.	27
Tabel 2. 12	Gradasi Standar Agregat Kasar Alam Berdasarkan ASTM C 33 – 78.....	28
Tabel 2. 13	Batas-batas Gradasi Agregat Kasar SNI 03- 2834-1992.....	28
Tabel 3. 1	Jumlah sampel kuat tarik belah.....	40
Tabel 3. 2	Jumlah sampel kuat tarik lentur	40
Tabel 3. 3	Daftar Peralatan Percobaan Berat Isi Agregat Kasar	48
Tabel 3. 4	Ukuran Agregat Kering Minimum.....	52
Tabel 3. 5	Ukuran Agregat Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam-Macam Tipe Konstruksi (<i>US Bureau of Reclamation, 1975</i>)	57
Tabel 3. 6	Ukuran <i>Slump</i> Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam Tipe Konstruksi (<i>US Bureau of Reclamation, 1975</i>)	57
Tabel 3. 7	Perbandingan Material Yang Digunakan Dalam Berbagai <i>Design Mix</i> (<i>US Bureau of Reclamation, 1975</i>).....	58
Tabel 3. 8	Penyesuaian Harga Perbandingan Material (<i>US Bureau of Reclamation, 1975</i>)	59
Tabel 3. 9	Harga-harga <i>Compressive Strength</i> Minimum Rata-Rata Dari Beton Untuk Berbagai-beda Harga <i>Water-Cement Ratio</i> (<i>US Bureau of Reclamation, 1975</i>)	59
Tabel 3. 10	Target Strength.....	60
Tabel 4. 1	Hasil Pengujian Berat Jenis semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC).....	69
Tabel 4. 2	Hasil Pengujian Berat Jenis semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC).....	70

Tabel 4. 3	Konsistensi Normal dari semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC)	70
Tabel 4. 4	Waktu Ikut dari semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC)..	71
Tabel 4. 5	Berat Isi dalam Agregat Halus	72
Tabel 4. 6	Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus Tahap Pertama.	72
Tabel 4. 7	Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus Tahap Kedua ...	73
Tabel 4. 8	Presentase Agregat Halus yang Lolos Tiap Saringan pada Tahap Pertama.....	74
Tabel 4. 9	Presentase Agregat Halus yang Lolos Tiap Saringan pada Tahap Kedua	75
Tabel 4. 10	Berat Isi Agregat Kasar.....	78
Tabel 4. 11	Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Penelitian Pertama	78
Tabel 4. 12	Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Penelitian Kedua	79
Tabel 4. 13	Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton WPC.....	80
Tabel 4. 14	Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton PCC.....	80
Tabel 4. 15	Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,4 Tahap I.....	84
Tabel 4. 16	Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,45 Tahap I.....	84
Tabel 4. 17	Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,5 Tahap I.....	84
Tabel 4. 18	Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,55 Tahap I.....	85
Tabel 4. 19	Hasil Uji Tarik Belah Beton PCC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap I	85
Tabel 4. 20	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC Tahap I.....	86
Tabel 4. 21	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC pada umur beton 7 dan 28 hari di masing-masing FAS.....	86
Tabel 4. 22	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton PCC Tahap I.....	87
Tabel 4. 23	Perbandingan koefisien kenaikan kekuatan yang terdapat kuat tarik belah beton terhadap kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari ...	88
Tabel 4. 24	Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap I	89
Tabel 4. 25	Hasil Uji Tarik Belah Beton PCC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II.....	91
Tabel 4. 26	Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II.....	91
Tabel 4. 27	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC pada Tahap I & II .	92
Tabel 4. 28	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton PCC pada Tahap I dan II	93

Tabel 4. 29	Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap I & II.....	93
Tabel 4. 30	Komposisi Kimia dan Senyawa Campuran WPC, PCC & OPC hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk	95
Tabel 4. 31	Hasil Uji Tarik Lentur Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap I	99
Tabel 4. 32	Hasil Uji Tarik Lentur Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap I	100
Tabel 4. 33	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC pada Tahap I.....	101
Tabel 4. 34	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton PCC pada Tahap I.....	101
Tabel 4. 35	Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap I.....	102
Tabel 4. 36	Hasil Uji Tarik Lentur Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II	105
Tabel 4. 37	Hasil Uji Tarik Lentur Beton PCC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II	106
Tabel 4. 38	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC pada Tahap II	107
Tabel 4. 39	Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton PCC pada Tahap II.....	107
Tabel 4. 40	Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap II	107
Tabel 4. 41	Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC Tahap I.....	112
Tabel 4. 42	Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC pada Tahap II	114
Tabel 4. 43	Perbandingan antara hasil uji tarik belah (gabungan tahap I &II) & uji kuat tarik lentur (tahap II) pada beton WPC dan PCC.....	115
Tabel 4. 44	Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap I	117
Tabel 4. 45	Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap II.....	118
Tabel 4. 46	Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap I	120
Tabel 4. 47	Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap II.....	121

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Beton atau *concrete* adalah salah satu bahan yang paling banyak pemakaiannya di seluruh dunia selain baja dan kayu. Beton merupakan elemen struktur bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan sampai saat ini. Penggunaan beton sebagai bahan bangunan digunakan di hampir semua tempat seperti pembuatan perkerasan jalan, struktur bangunan, pondasi, jalan, jembatan penyeberangan, struktur parkir, dasar untuk pagar/gerbang, dan semen dalam bata atau tembok blok. Nama lama untuk beton adalah batu cair (Wikipedia, n.d.). Alasan pemakaiannya disebabkan karena beton memiliki berbagai macam keuntungan, antara lain seperti kemudahan dalam memperoleh bahan-bahan penyusun campurannya, memiliki kekuatan yang tinggi, perawatan yang murah, dan dapat dicor sesuai dengan bentuk dan ukuran yang dikehendaki. Beton dapat dibuat dengan berbagai macam mutu. Perbedaan mutu beton ini biasanya ditunjukkan oleh perbedaan pada kuat tekannya.

Dalam konstruksi, beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk umum dari bahan penyusun beton adalah campuran yang terdiri dari bahan semen hidrolik (semen Portland), agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air. Dalam membuat suatu beton dengan mutu tertentu perlu ditentukan jumlah pasta semen dan agregat yang sesuai. Pasta adalah campuran semen dan air yang digunakan untuk merekatkan agregat-agregat dalam beton. Biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Beton tidak mengeras akibat air yang menguap didalamnya namun akibat semen yang berhidrasi, mengemulsi komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti-batu. Jumlah pasta pada pembuatan beton sekitar 30-40% dari volume dan berat total beton. Sedangkan jumlah agregat sebesar 60-70% (Tri Mulyono, 2004)

Dalam perancangan rancang beton, faktor-faktor penting yang perlu diperhatikan diantaranya adalah kekuatan, nilai ekonomis, dan durabilitas bahan dari beton tersebut. Durabilitas adalah daya tahan suatu bahan terhadap beban yang akan diterimanya. Perancangan campuran beton dilakukan melalui proses perhitungan faktor air semen (FAS), jumlah semen dan jumlah agregat yang diperlukan. Setelah proses perhitungan rancang campuran beton maka dilakukan pengecoran atau pengadukan bahan-bahan yang telah dihitung. Campuran beton akan terbentuk dan mengeras, selanjutnya dilakukan proses perawatan selama 28 hari. Pada umur beton hari ke 28, kualitas beton hanya memenuhi 70% dari kondisi normalnya. Pada proses perawatan beton diusahakan agar temperatur ruang perawatan jangan terlalu dingin, juga beton diusahakan jangan terlalu kering karena akan menyebabkan getas.

Pada perkembangannya, beton banyak mengalami modifikasi baik dalam pembuatan campuran maupun dalam pelaksanaan konstruksinya. Salah satu perkembangan beton yaitu pembuatan campuran beton dengan menggunakan pasta semen putih yang dikenal sebagai beton dengan semen putih. Semen putih sangat jarang digunakan sebagai bahan utama dari beton untuk penyusun elemen struktur bangunan, hal ini disebabkan karena pertimbangan faktor ekonomis yaitu harga yang lebih mahal dibandingkan beton dengan semen Portland. Selain itu, terdapat perbedaan bahan campuran yang harus diperhatikan dalam beton putih dibandingkan beton semen Portland, karena pada beton putih untuk campuran agregat kasar dan halus merupakan salah satu faktor perhatian terutama faktor warna yang harus sesuai dengan semen untuk mendapatkan hasil permukaan/*expose* beton yang berwarna putih. Biasanya semen putih digunakan untuk keperluan pekerjaan-pekerjaan arsitektural, *precast* dan beton yang diperkuat dengan fiber, panel, permukaan teraso, stucco, cat semen, nat ubin / keramik serta struktur yang bersifat dekoratif. Semen putih dibuat dari bahan-bahan baku pilihan yang rendah kandungan besi dan magnesium oksidanya (bahan-bahan tersebut menyebabkan semen berwarna abu-abu).

Derajat keputihan dari semen putih diukur menurut standar yang berbeda-beda.

Untuk tujuan tertentu (yaitu nilai pretise), sebagian orang menginginkan memakai semen Portland putih sebagai bahan campuran beton untuk elemen struktur pada konstruksi bangunan. Beton tersebut diharapkan sebagai material konstruksi yang memberikan hasil yang memenuhi nilai estetika dan berfungsi struktural. Oleh karena sejauh ini penelitian terhadap beton dengan menggunakan semen putih belum pernah dilakukan, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian ini. Pada perancangan suatu campuran beton salah satu faktor penting yang mempengaruhi mutu kekuatan beton adalah faktor air semen (FAS). Penelitian ini menitikberatkan pada karakteristik kuat tarik belah dan tarik lentur pada beton dengan semen putih dengan pengaruh FAS pada campuran betonnya. Dengan menggunakan beberapa nilai FAS yang berbeda pada campuran beton putih maka dapat diketahui perbandingan nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur untuk masing-masing nilai FAS pada campuran beton dengan semen putih.

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari karakteristik kuat tarik belah dan kuat tarik lentur dari beton yang menggunakan semen putih (sebagai bahan baku utama) akibat pengaruh nilai faktor air semen (FAS).

Adapun tujuan lain dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

- Membandingkan nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur antara beton yang menggunakan semen putih (WPC) dengan beton menggunakan semen PCC di masing-masing nilai faktor air semen (FAS).
- Mengharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pengaplikasian penggunaan beton dengan semen putih dalam perancangan elemen struktur bangunan.
- Memenuhi salah satu syarat kelulusan untuk setiap mahasiswa Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

1.3. BATASAN PENELITIAN

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, diantaranya:

- Semen yang digunakan diantaranya Semen Portland putih (WPC) dan Semen Portland abu-abu (PCC) yang keduanya merupakan hasil pabrikasi PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk.
- Mutu beton yang direncanakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan masing-masing nilai faktor air semen telah ditentukan.
- Agregat halus yang digunakan adalah pasir putih Bangka.
- Agregat kasar yang akan digunakan adalah kerikil yang berasal dari Sudamanik, Jawa Barat.
- Air yang digunakan adalah air yang terdapat di Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang berasal dari Perusahaan Air Minum (PAM).
- Variasi nilai faktor air semen (FAS) yang digunakan diantaranya 0,4; 0,45; 0,5; dan 0,55.
- Penelitian yang dilakukan dibatasi pada pengujian kekuatan tarik dan kekuatan lentur pada beton yang menggunakan semen Portland putih (untuk selanjutnya disingkat menjadi “beton WPC”) dan beton dengan semen portland biasa (untuk selanjutnya disingkat menjadi “beton PCC”) untuk masing-masing nilai faktor air semen telah ditentukan.
- Pengujian beton WPC yang dilakukan akan dibandingkan langsung dengan pengujian dengan beton PCC.
- Pengujian pada beton ini menggunakan standarisasi sesuai ASTM (*American Society for Testing Material*).
- Penelitian dilakukan pada Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

1.4. HIPOTESA AWAL

Pada penelitian ini diharapkan nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada beton WPC yang akan diperoleh lebih besar dibanding nilai kekuatan tarik dan kekuatan lentur dengan beton PCC.

1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan studi literatur, membuat hipotesa, membuat metode percobaan, melakukan percobaan, membuat pengolahan data percobaan, menganalisa hasil percobaan, dan membuat kesimpulan akhir.

Urutan kegiatan adalah berikut:

1. Studi literatur.
2. Pemahaman karakteristik beton putih.
3. Pembuatan batasan penelitian dan hipotesa.
4. Penentuan jumlah dan komposisi benda uji.
5. Mempersiapkan dan melakukan pengujian terhadap bahan-bahan penyusun benda uji.
6. Merancang campuran untuk benda uji di laboratorium.
7. Melakukan pengujian terhadap benda uji di laboratorium.
8. Mengumpul data percobaan di laboratorium.
9. Mengolah data percobaan.
10. Membuat analisis hasil dan kesimpulan.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- BAB 1 Pendahuluan
Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, hipotesa awal, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.
- Bab 2 Studi Literatur
Berisi penjelasan tentang hal-hal yang berkaitan dengan beton dan material pembentuknya, serta mengenai semen putih.

➤ Bab 3 Metode Penelitian

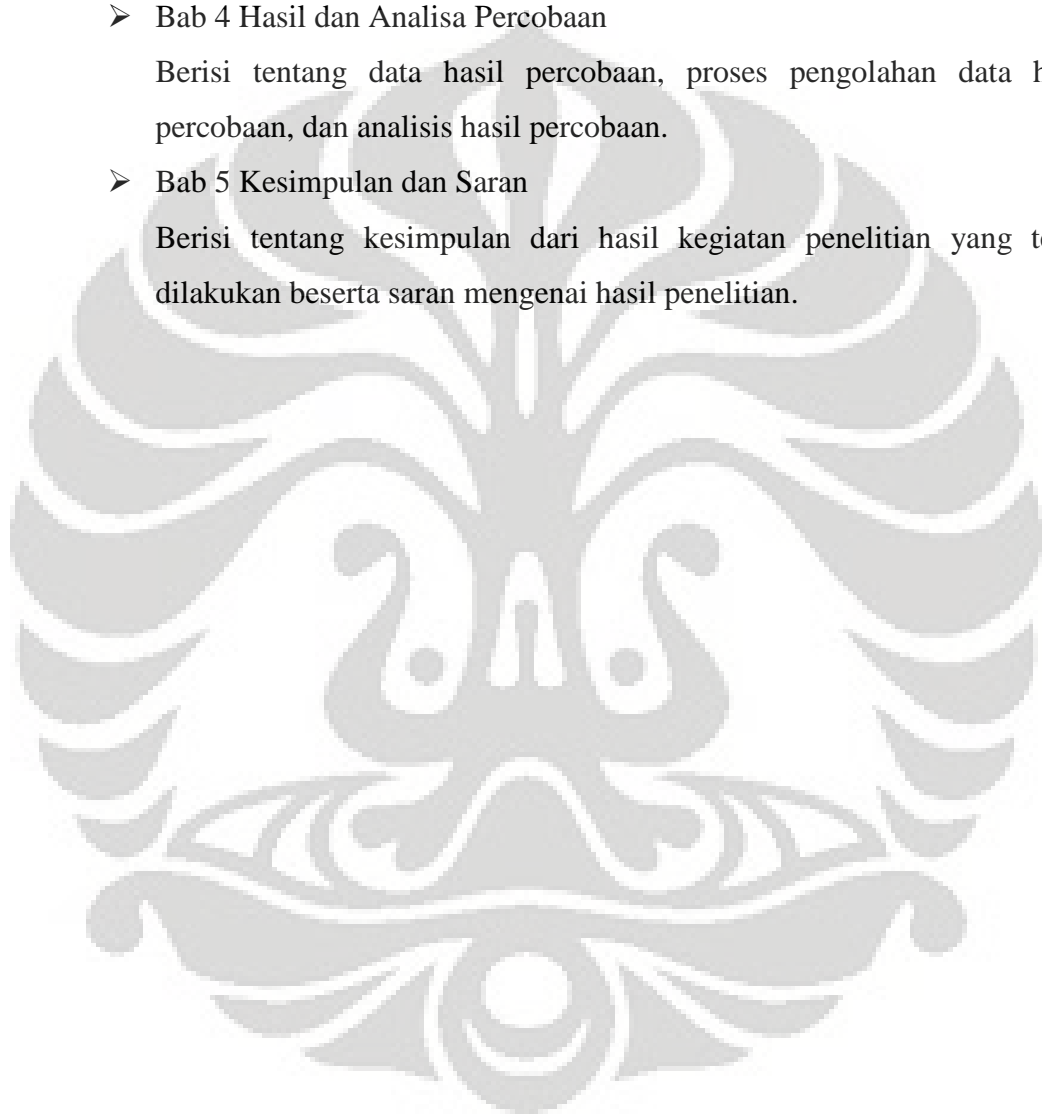
Berisi rencana mengenai prosedur penelitian yang meliputi metode pengujian terhadap bahan penyusun beton yang digunakan, metode pembuatan rancang campuran untuk sampel beton yang menggunakan semen putih serta metode pengujian kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada sampel beton yang akan dilakukan di laboratorium.

➤ Bab 4 Hasil dan Analisa Percobaan

Berisi tentang data hasil percobaan, proses pengolahan data hasil percobaan, dan analisis hasil percobaan.

➤ Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan dari hasil kegiatan penelitian yang telah dilakukan beserta saran mengenai hasil penelitian.



BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. SEJARAH SINGKAT

Pada peradaban kuno, beton telah banyak digunakan dalam bentuk lumpur kering, jerami, dan bahan lainnya. Selama zaman Romawi, Kerajaan Romawi membuat beton dari kapur, pozzolan, dan gabungan dari batu apung; beton ini sangat mirip dengan beton modern dengan campuran semen Portland. Penggunaan dari beton yang tersebar secara luas pada struktur bangunan Romawi telah memberikan bukti bahwa banyak yang masih bertahan hampir utuh sampai pada saat ini. *The Baths of Caracalla* di Roma adalah salah satu contoh dari keunggulan dan ketahanan dari umur panjang beton, yang memungkinkan Kerajaan Romawi untuk membangun bangunan tersebut dan struktur serupa di seluruh kekuasaan kerajaan Romawi. Banyak saluran air Romawi memiliki selubung batuan pada teras beton, suatu teknik yang digunakan dalam struktur seperti *Pantheon*, Roma, interior kubah dari beton utuh.

Rahasia dari beton yang telah hilang selama 13 abad sampai pada tahun 1756, ketika seorang tenaga ahli Inggris John Smeaton yang memelopori penggunaan hidrolik kapur dalam beton, dengan menggunakan batu kerikil dan serbuk bebatuan sebagai agregat. Portland semen pertama kali digunakan dalam beton pada awal tahun 1840-an.

Pada saat ini, penggunaan material-material daur ulang sebagai bahan pembentuk beton mendapatkan perhatian khusus karena perundang-perundangan tentang lingkungan hidup semakin ketat. Yang paling jelas adalah *fly ash* (abu terbang), yang oleh produk pabrik tenaga pembakaran batubara. Hal ini memiliki dampak yang signifikan dengan mengurangi jumlah ruang penggalian dan tempat yang diperlukan, dan karena bertindak sebagai pengganti semen, akan mengurangi jumlah semen yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang padat. Selama produksi semen membuat jumlah yang banyak dari karbon dioksida, teknologi semen-penggantian

seperti ini akan memainkan peran penting di masa depan sebagai usaha untuk memotong emisi karbon dioksida.

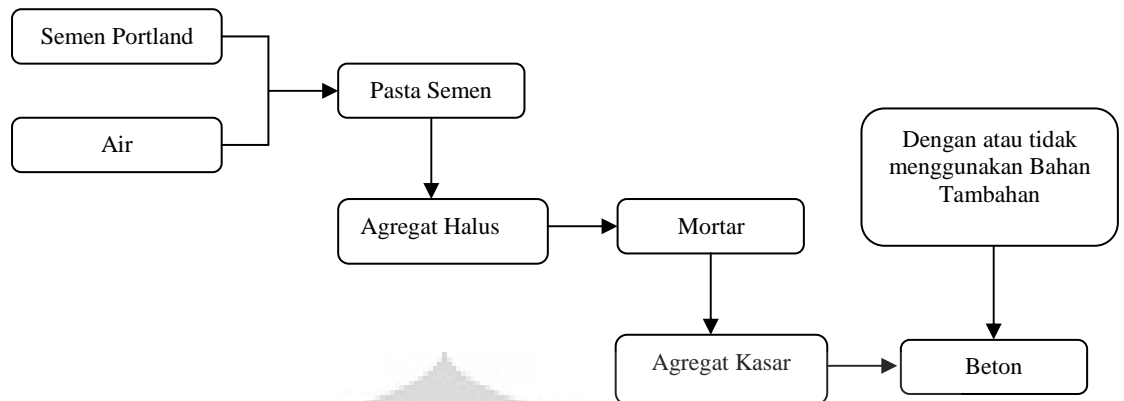
Bahan tambahan dari beton telah digunakan sejak zaman Roma dan Mesir, ketika bahan itu ditemukan dalam penambahkan abu vulkanis pada campuran diizinkan untuk ditempatkan di bawah air. Dengan cara yang sama, orang Romawi pun tahu bahwa dengan menambahkan rambut kuda dalam pembuatan beton dapat membuat beton menjadi memperkecil kemungkinan untuk *crack* (retak) saat proses pengerasan, menambahkan darah dan membuat beton menjadi lebih tahan cuaca dingin.

Dalam zaman modern, peneliti telah mengadakan percobaan dengan penambahan bahan-bahan lainnya untuk membuat beton dengan menyempurnakan propertinya, seperti mutu kekuatan yang lebih tinggi atau kekuatan daya konduksi elektrik.

2.2. GAMBARAN UMUM BETON

Beton merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam struktur bangunan. Pemakaiannya sendiri sebagai material konstruksi telah lama dikenal mempunyai banyak kelebihan dibanding dengan material konstruksi lain. Seorang ahli mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Secara umum, beton memiliki definisi sebagai batuan buatan yang terjadi dari hasil pengerasan suatu campuran tertentu yang terdiri semen, air, agregat (batu pecah, kerikil, dan pasir) dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan (*admixture atau additive*).

Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu proses hidrasi antara air dengan semen, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar dan jika ditambahkan dengan agregat kasar menjadi beton. Proses terbentuknya beton dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Proses Terjadinya Beton

Pasta semen adalah campuran semen dan air yang digunakan untuk merekatkan agregat-agregat dalam beton, pasta juga dikenal sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Sedangkan fungsi dari agregat dalam campuran beton adalah sebagai bahan pengisi (tidak mengadakan reaksi). Bahan pengikat dan bahan pengisi akan membentuk suatu kesatuan yang mempunyai struktur padat dan keras. Beton yang baik agregatnya harus terbungkus seluruhnya oleh pasta semen begitu pula rongga-rongganya.

Untuk menghasilkan beton yang sesuai dengan perencanaan maka diperlukan evaluasi penyelidikan untuk mengetahui dan mempelajari perilaku terhadap bahan-bahan penyusun beton tersebut serta diperlukan pengetahuan mengenai sifat-sifat karakteristik dari masing-masing komponen. Mutu beton secara umum akan sangat bergantung pada jenis dan karakteristik dari material yang digunakan. Untuk membuat beton dengan mutu yang diinginkan dapat ditentukan komposisi campuran antara jumlah pasta, agregat, dan *admixture* yang sesuai. Biasanya dalam komposisi campuran beton jumlah pasta sekitar 30-40% dari volume dan berat total beton sedangkan untuk jumlah agregat adalah sekitar 60-70%.

Apabila dibandingkan dengan material konstruksi lain, beton memiliki banyak kelebihan. Ditinjau dari sudut kekuatan terhadap ketahanan gaya, beton lebih kuat tekan dibanding terhadap gaya-gaya lainnya seperti kuat tarik. Kuat tekan merupakan ciri yang terpenting dari kuat tidaknya beton. Secara sederhana terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi kekuatan beton diantaranya adalah:

- a) Proporsi bahan-bahan penyusun beton,

- b) Metode Pencampuran,
- c) Perawatan,
- d) Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan,

Ditinjau dari sudut estetika, beton hanya membutuhkan sedikit pemeliharaan. Selain itu, beton tahan terhadap serangan api. Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau untuk tujuan dekoratif. Selain tahan terhadap serangan api, beton juga tahan terhadap serangan korosi.

Beton juga memiliki beberapa kekurangan, beton yang telah terbentuk sulit diubah. Selain itu jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya beton memiliki massa yang lebih besar. Beton mengalami deformasi yang tergantung pada waktu dan disertai dengan penyusutan akibat mengeringnya beton serta gejala lain yang berhubungan dengan hal tersebut. Pengaruh-pengaruh keadaan lingkungan, rangkai, penyusutan, pembebanan yang mengakibatkan perubahan dimensi pada struktur beton dan elemen-elemennya harus mendapat perhatian yang cukup pada tahap perencanaan untuk mengatasi kesulitan yang akan terjadi.

Secara umum kelebihan dan kekurangan beton dibandingkan dengan material konstruksi lainnya ditunjukkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2. 1 Kelebihan dan kekurangan beton

Kelebihan	Kekurangan
a. Kuat terhadap gaya tekan	a. Lemah terhadap gaya tarik
b. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi	b. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
c. Mampu memikul beban yang berat	c. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
d. Tahan terhadap temperatur yang tinggi	d. Berat
e. Biaya pemeliharaan yang kecil.	e. Daya pantul suara yang besar.

2.3. MATERIAL PEMBENTUK BETON

Selanjutnya pada bagian ini akan menjelaskan mengenai bahan penyusun dari beton yang terdiri dari semen (terutama semen portland putih), agregat (kasar dan halus) dan air. Dalam penelitian ini, beton yang dibuat tidak menggunakan bahan tambahan sehingga tidak perlu dijelaskan.

2.3.1. Semen

Semen sebenarnya telah digunakan lebih dari 2000 tahun yang lalu sebagai bahan perekat dalam adukan untuk bangunan, walaupun bahan dasarnya sangat sederhana, yaitu batu kapur yang dibakar lalu dicampur pasir dan air. Kata “cement” berasal dari kata latin “cementum”, yang artinya perekat atau pengikat. Semen bersifat adhesif maupun kohesif yang digunakan sebagai bahan pengikat (*Bonding Material*), antara lain sebagai pengikat batu, pasir dan bahan lain menjadi bahan padat/kompak yang dipergunakan untuk pekerjaan konstruksi.

Semen disebut perekat hidrolis karena senyawa-senyawa yang terkandung di dalam semen tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat perekat terhadap batuan. Karena sifat hidrolis tersebut, maka semen bersifat :

- Dapat mengeras bila dicampur dengan air.
- Tidak larut dalam air.
- Plastis sementara bila dicampur dengan air.
- Melepaskan panas bila dicampur dengan air.
- Dapat melekatkan batuan bila dicampur dengan air.

Dengan timbulnya berbagai macam kebutuhan, maka industri semen dituntut untuk kreatif dalam melakukan inovasi terhadap penemuan jenis semen baru dalam berbagai penelitiannya, sehingga ditemukan berbagai jenis semen seperti Semen Portland, Semen Pozzolan, Semen Putih, dan *Oil Well Cement*.

Berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII) 0031-1981, semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *clinker* yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, bersama bahan tambahan yang biasanya digunakan adalah *gypsum*. *Clinker* adalah penamaan

untuk gabungan komponen produk semen yang belum diberikan tambahan bahan lain untuk memperbaiki sifat dari semen.

Semen Portland yang diproduksi di Indonesia dibedakan atas lima jenis, yaitu tipe I, II, III, IV, V. Adapun perbedaan dari kelima jenis semen tersebut adalah untuk mencapai tujuan/target bangunan tertentu. Beberapa tipe semen yang diproduksi di Indonesia, antara lain:

1) Tipe I (*Ordinary Portland Cement*)

Ordinary Portland Cement adalah semen yang dipakai untuk segala macam konstruksi apabila tidak diperlukan sifat-sifat khusus, misalnya ketahanan terhadap sulfat, panas hidrasi dan sebagainya. *Ordinary Portland Cement* mengandung 5 % MgO, dan 2,5 – 3 % SO₃. Sifat-sifat *Ordinary Portland Cement* berada diantara sifat-sifat *moderate heat* semen dan *highly early strength portland cement*.

2) Tipe II (*Moderate Heat Portland Cement*)

Moderate Heat Portland Cement adalah semen Portland yang dipakai untuk memakai konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang, biasanya digunakan untuk daerah pelabuhan dan bangunan sekitar pantai. *Moderate Heat Portland Cement* terdiri dari 20 % SiO₂, 6 % Al₂O₃, 6 % Fe₂O₃, 6 % MgO, dan 8 % C₃A. Semen tipe ini lebih banyak mengandung C₂S dan mengandung lebih sedikit C₃A dibandingkan dengan semen tipe I.

3) Tipe III (*Highly Early Strength Portland Cement*)

Highly Early Strength Portland Cement adalah semen Portland yang digunakan keadaan-keadaan darurat dan musim dingin. Juga dipakai untuk produksi beton tekan. *Highly Early Strength Portland Cement* ini mempunyai kandungan C₃S lebih tinggi dibandingkan dengan semen tipe lainnya sehingga lebih cepat mengeras dan cepat mengeluarkan kalor. *Highly Early Strength Portland Cement* tersusun atas 6 % MgO, 3,5-4,5 Al₂O₃, 35 % C₃S, 40 % C₂S, dan 15 % C₃A. Semen tipe ini sangat cocok digunakan untuk pembangunan gedung-gedung besar, pekerjaan-pekerjaan berbahaya, pondasi, pementasan pada udara dingin, dan pada *prestressed concrete*, yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi.

4) Tipe IV (*Low Heat Portland Cement*)

Low Heat Portland Cement adalah semen Portland yang digunakan untuk bangunan dengan panas hidrasi rendah misalnya pada bangunan beton yang besar dan tebal, baik sekali untuk mencegah keretakan. *Low Heat Portland Cement* ini mempunyai kandungan C_3S dan C_3A lebih rendah sehingga pengeluaran kalornya lebih rendah. *Low Heat Portland Cement* tersusun atas 6,5 % MgO, 2,3 % SO_3 , dan 7 % C_3A . Semen ini biasa digunakan untuk pembuatan atau keperluan *hidraulic engineering* yang memerlukan panas hidrasi rendah.

5) Tipe V (*Sulphate Resistance Portland Cement*)

Sulphate Resistance Portland Cement adalah semen Portland yang mempunyai kekuatan tinggi terhadap sulfur dan memiliki kandungan C_3A lebih rendah bila dibandingkan dengan tipe-tipe lainnya, sering digunakan untuk bangunan di daerah yang kandungan sulfatnya tinggi, misalnya: pelabuhan, terowongan, pengeboran di laut, dan bangunan pada musim panas. *Sulphate Resistance Portland Cement* tersusun atas 6 % mgO, 2,3 % SO_3 , dan 5 % C_3A .

Menurut SII 0013-1981 dapat diketahui komposisi kimia dari kelima jenis semen portland seperti yang ditunjukkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Semen Portland

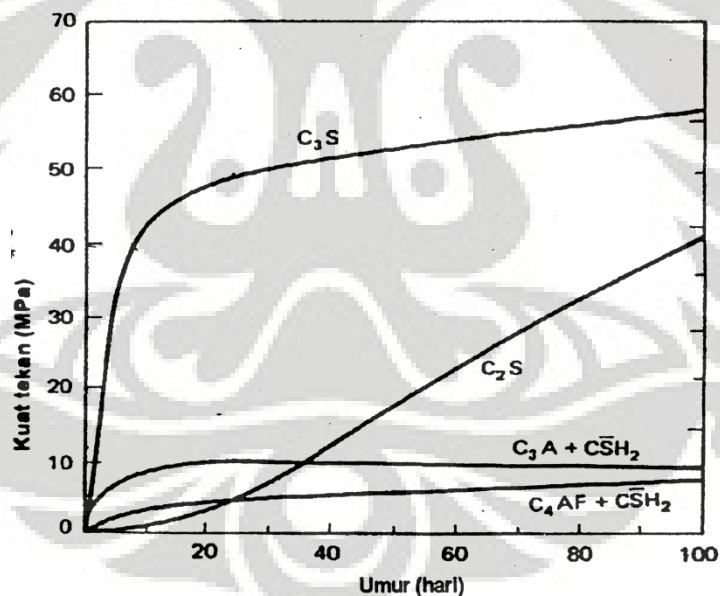
Komposisi dalam %	Jenis Semen Portland				
	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV	Tipe V
C_3S	49	46	56	30	43
C_2S	25	29	15	46	36
C_3A	12	6	12	5	4
C_4AF	8	12	8	13	12
$CaSO_4$	2,9	2,8	3,9	2,9	2,7
CaO	0,8	0,6	1,4	0,3	0,4
MgO	2,4	3	2,6	2,7	1,6

Bahan pembentuk semen Portland adalah:

- Kapur (CaO), dari batu kapur
- Silika (SiO₂), dari lempung
- Aluminium (Al₂O₃), dari lempung.

Senyawa C₃S dan C₂S berpengaruh besar terhadap kekakuan semen, di mana C₃S berpengaruh pada kekuatan awal, sedangkan C₂S berpengaruh terhadap kekuatan semen pada tahap selanjutnya. Waktu yang diperlukan oleh semen dari keadaan cair menjadi mengeras disebut waktu pengikatan (*setting time*).

Sifat-sifat dari senyawa C₃S dan C₂S dapat terlihat dalam sifat fisik dari semen Portland yaitu kuat tekan. Kuat tekan adalah sifat kemampuan semen menahan suatu beban tekan. Kuat tekan dipengaruhi komposisi dan kehalusan tekan. Semakin halus suatu semen maka makin tinggi kuat tekan, sedangkan kekuatan tekan awal semen dipengaruhi oleh senyawa C₃S dan kuat tekan dalam rentang waktu lama dipengaruhi oleh C₂S. Berikut ini adalah laju kenaikan kuat tekan pasta semen.



Gambar 2. 2 Laju kenaikan kuat tekan pasta semen (Mindess. S dan Young J.F. : 1981)

Komponen Utama dalam pembuatan semen Portland:

- 1) Tri Kalsium Silikat (3CaO.SiO₂ atau C₃S)



Memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- Panas yang dilepas selama proses hidrasi sebesar 500 joule/gram semen.
- Mempercepat pengerasan semen, karena hidrasi terjadi dengan cepat mempengaruhi pengikatan awal dan kekuatan tekan akhir yang tinggi.

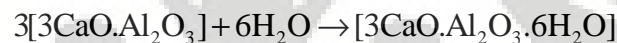
2) Di Kalsium Silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ atau C_2S)



Kandungan C_2S di dalam semen umumnya berkisar antara 15-35 %. C_2S memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- Proses hidrasi berlangsung dengan lambat selama beberapa hari.
- Panas yang dilepas selama proses hidrasi sebesar 250 joule/gram semen.
- Mempunyai pengaruh di dalam kekuatan akhir yaitu pengembangan kekuatan akhir terjadi dengan lambat.
- Tahan terhadap serangan kimia.

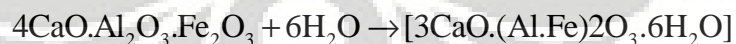
3) Tri Kalsium Aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ atau C_3A)



Kandungan C_3A di dalam semen berkisar antara 7-15 %. C_3A memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- Proses hidrasi terjadi secara cepat dan mempengaruhi nilai panas hidrasi tertinggi.
- Panas yang dilepas selama proses hidrasi sebesar 850 joule/gram semen.

4) Tetra Kalsium Alumina Ferit ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ atau C_4AF)



Kandungan C_4AF di dalam semen berkisar antara 5-10 %. C_4AF memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- Pengembangan kekuatan yang cepat.
- Panas yang dikeluarkan sebesar 420 joule/gram semen.

2.3.2.1. Semen Portland Putih

Semen Portland putih yang sering digunakan di Indonesia harus memiliki spesifikasi sesuai dengan SNI 15-0129-2004. Pada penelitian ini semen putih yang digunakan merupakan hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk. dan merupakan satu-satunya semen putih yang diproduksi di Indonesia dan memenuhi standard mutu SNI 15-0129-1987 dan ASTM C 150. Meskipun pada tipe I, II, III, dan V semen putih dapat dihasilkan, namun pada tipe I dan III adalah yang paling umum digunakan. Semen Portland putih memiliki definisi sebagai semen hidrolis yang berwarna putih dan dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland putih yang terutama terdiri atas kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat (SNI 15-0129-2004).



Gambar 2. 3 Semen putih hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk.

Tujuan awal pembuatan semen putih adalah untuk dekoratif, baik interior maupun eksterior, bukan konstruktif. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan semen ini harus mengandung **oksida besi dan oksida mangan** yang sangat rendah dibawah 1%. Penggunaan semen putih dipergunakan untuk luluhan trass, bangunan arsitektur dan dekorasi. Semen Putih dapat digunakan untuk plamir tembok, pembuatan traso, pemasangan keramik, tegel dan marmer. Semen jenis ini mudah diberi warna sesuai keinginan.



Gambar 2. 4 Semen putih adalah kunci komposisi dalam pembuatan beton berwarna putih

Untuk tujuan arsitektur beton dengan semen putih atau, khususnya di negara-negara tropis, penyelesaian dengan cat warna pastel kadang-kadang diperlukan. Untuk mencapai hasil terbaik, dianjurkan untuk menggunakan semen putih dengan, tentu saja, agregat halus yang cocok, untuk permukaan yang akan dirawat, juga digunakan agregat kasar. Untuk itu, sebaiknya digunakan agregat kasar dan halus dengan pemilihan warna putih ataupun warna terang lainnya agar mendapatkan hasil warna terang yang maksimum. Semen jenis ini juga memiliki keuntungan yang tidak memungkinkan menyebabkan noda, karena memiliki rendah kandungan alkalis yang dapat larut.

Semen Portland putih dibuat dari bahan baku yang mengandung sedikit oksida besi dan oksida mangan dimana dua materi tersebut merupakan penyebab warna abu-abu pada semen Portland biasa. Tanah lempung umumnya digunakan, bersama dengan kapur atau batu gamping, bebas dari takmurnian yang ditentukan. Minyak yang digunakan sebagai bahan bakar untuk membakar untuk menghindari kontaminasi oleh abu batu bara. Karena besi bertindak sebagai aliran dalam proses *clinkering*, dengan tidak adanya keharusan untuk pengeringan suhu tinggi tapi kadang-kadang *cryolite* (*sodium aluminium fluor*) ditambahkan sebagai pengaliran.

Kontaminasi dari semen dengan besi selama pengasahan juga harus dihindari. Untuk alasan ini, sebagai gantinya umumnya digiling dengan bola, yang lebih parah atau tidak efisien lagi kerikil nikel dan *molybdenum* alloy bola digunakan. Biaya penggilingan adalah justru lebih tinggi, dan ini, digabungkan dengan bahan baku lebih mahal, membuat semen putih agak mahal (sekitar dua kali harga semen Portland biasa).

Karena itu, beton WPC yang sering digunakan dalam suatu bentuk yang ditempatkan menghadap terhadap dukungan beton biasa, tetapi sangat diperlukan perhatian penuh untuk memastikan ikatan antara kedua beton tersebut. Untuk mendapatkan warna yang baik, putih beton yang kaya-proporsi campuran umumnya digunakan, factor air semen tidak lebih tinggi dari sekitar 0,4. Suatu penyimpanan mungkin dalam beberapa kasus dapat dicapai oleh pengganti parsial dari semen putih oleh tiupan-terak tanur, yang memiliki warna yang sangat terang.

Bila diperlukan pastel warna putih beton dapat digunakan sebagai dasar untuk pengecatan. Pigmen dapat ditambahkan ke mixer, tetapi penting bahwa pigmen tidak mempengaruhi kurang baiknya pengembangan kekuatan semen atau mempengaruhi *air entrainment*. Sebagai contoh, karbon hitam mengurangi udara isi campuran. Untuk alasan ini, beberapa pigmen yang dipasarkan di Amerika Serikat dengan *interground* zat tambah gelembung udara beton, yang tentu saja penting untuk berhati-hati dari pada campuran desain. Pencampuran dengan beton pigmen yang tidak umum karena agak sulit untuk menjaga keseragam warna yang dihasilkan beton.

Sebuah cara yang lebih baik untuk mendapatkan beton yang berwarna seragam dan tahan lama adalah dengan menggunakan warna semen. Ini terdiri dari semen putih *interground* dengan 2 sampai 10 % dari pigmen. Spesifikasi untuk penggunaan semen jenis ini adalah yang diberikan oleh masing-masing produsen produk ini agak khusus. Spesifikasi untuk pigmen diberikan dalam BS 1014: 1975. Karena pigmen tidak *cementitious*, lebih kaya sedikit campuran dari biasanya harus digunakan.

Komposisi senyawa campuran khusus semen Portland putih diberikan dalam tabel 2.3. Pada tabel tersebut kadar dari C_3S dan C_2S mungkin sangat bervariasi. Semen putih memiliki berat jenis sedikit lebih rendah daripada semen Portland biasa, umumnya antara **3,05** sampai **3,10**. Kekuatan semen Portland putih biasanya lebih rendah daripada semen Portland biasa tetapi bagaimanapun memenuhi persyaratan BS 12: 1978. Nilai keputihan semen Portland putih dapat ditentukan sebagai material bubuk yang memiliki nilai *reflectance* lebih dari 85%.

Tabel 2. 3 Komposisi senyawa campuran khusus semen Portland putih

Senyawa Campuran	Kadar dalam persen (%)
C ₃ S	51
C ₂ S	26
C ₃ A	11
C ₄ AF	1
SO ₃	2,6
alkalis	0,25

Menurut SNI 15-0129-2004, syarat umum dari semen putih harus memenuhi syarat kimia dan fisika seperti tertera pada tabel berikut:

Tabel 2. 4 Syarat kimia

Jenis uji	Satuan	Syarat maksimum
MgO	%	maks. 5,0
SO ₃	%	maks. 3,5
Fe ₂ O ₃	%	maks. 0,4
Hilang pijar	%	maks. 5,0
Bagian tak larut	%	maks. 3,0
Alkali sebagai Na ₂ O	%	maks. 0,6

Tabel 2. 5 Syarat Fisika

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat <i>blaine</i>	m ² /kg	min 280
2.	Waktu pengikat dengan alat <i>vicat</i>		
	- pengikatan awal	%	min. 45
	- pengikatan akhir	%	maks. 375
3.	Kekekalan dengan <i>autoclave</i>		
	- pemuaiian	%	maks. 0,8
4.	Pengikatan semu		
	- penetrasi akhir	%	min. 50
5.	Derajat warna putih (<i>whiteness</i>)		
	- alat hunter lab	%	min. 90
	- alat kett meter	%	min. 80
6.	Kuat tekan:		
	- 3 hari	kg/cm ²	min. 180
	- 7 hari	kg/cm ²	min. 250
	- 28 hari	kg/cm ²	min. 350

Pada tabel di bawah ini, menjelaskan bahwa perbandingan komposisi kimia dan senyawa campuran dan kehalusan semen antara semen putih dengan semen abu-abu. Perbedaan pada kedua semen ini terlihat jelas pada komposisi kimiawi Fe_2O_3 (oksida besi) yang tidak mempengaruhi kekuatan ikat dari semen. Maka kekuatan ikat antara semen abu-abu dengan semen putih relatif sama.

Tabel 2. 6 Komposisi Kimia dan Senyawa Campuran (Portland Cement Association, 1999)

Tipe semen Portland	Komposisi Kimia (%)						Potential compound composition (%)			
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
White I	22,5	4,5	0,4	66,3	1,0	2,9	60	19	11	1
Grey I	20,5	5,4	2,6	63,9	2,1	3,0	54	18	10	8

Sedangkan untuk komposisi WPC, PCC dan OPC hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Komposisi Kimia dan Senyawa Campuran WPC, PCC & OPC hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk

SAMPLE	Chemical Composition (%)						Potential Compound Composition (%)			
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
WPC	22.11	3.59	0.21	66.02	2.92	2.07	64.14	15.00	9.16	0.64
PCC	22.50	6.00	3.50	60.00	2.25	1.90	-	-	-	-
OPC	19.42	4.51	3.24	63.87	2.65	1.78	59.5	14.5	9	10

Salah satu sumber juga menjelaskan apa yang membuat semen putih berwarna sangat putih, hal ini disebabkan oleh kadar warna senyawa oksida yang banyak dihilangkan didalam penyusunan komposisi semen putih. Senyawa oksida yang mempengaruhi warna dalam semen biasa yaitu menjadi abu-abu dan coklat terang.

Tabel 2. 8 Pengaruh senyawa oksida dalam semen biasa

Komposisi	Rekomendasi Nilai batas	Pengaruh warna dalam klinker
Fe ₂ O ₃	< 0,4 %	Abu-abu
Mn ₂ O ₃	< 0,02%	Ungu kebau-abuan, ungu kemerahan
Cr ₂ O ₃	< 0,01%	Kehijauan
MgO	< 3 %	Coklat kehijauan

Semen putih memiliki bahan baku yang mengurangi senyawa oksida yang terdapat pada tabel diatas. Bahan baku seperti kapur putih atau batu apung dan kaolinite, yang dapat menghilangkan kadar partikel halus, karena mengandung lebih senyawa oksida pewarna. Proses pabrikasi menentukan, yang harus dikontrol adalah proses klinker agar senyawa oksida pewarna tidak masuk kedalamnya misalnya pada mesin pengasahan, lapisan penggilingan material dan bahan bakar dalam pembakaran juga harus diperhatikan.

2.3.2. Agregat

Agregat adalah material granular (pasir, kerikil dan batu pecah) yang dipakai bersama-sama dengan media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolis atau adukan. Agregat memiliki peranan penting dalam pembuatan beton, hal ini didasarkan bahwa beton tidak akan terbentuk tanpa adanya agregat. Agregat secara umum menempati sekitar 60 – 70 % dari volume total campuran beton.

Agregat pada beton mempunyai beberapa fungsi utama yaitu :

- Sebagai material pengisi beton yang relatif lebih murah daripada semen.
- Sebagai material padat yang tahan terhadap beban yang bekerja, mencegah abrasi jika beton digunakan di bangunan laut, perkolasi air dan pengaruh cuaca.
- Sebagai penentu sifat mortar atau mutu beton yang akan dihasilkan.
- Mengurangi kembang susut dari pasta semen, karena menimbulkan volume beton yang stabil.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat batuan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat

dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batas antara agregat halus dan agregat kasar memiliki perbedaan antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya. Meskipun demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4.80 mm (*british standard*) atau 4.75 mm (*Standar ASTM*). Untuk agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm), dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4.80 mm (4.75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4.80 mm di bagi lagi menjadi dua yaitu, yang berdiameter antara 4.80 – 40 mm (kerikil beton) dan yang lebih dari 40 mm (kerikil kasar).

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

Selain itu, sifat mekanik dan fisik dari agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton yang dihasilkan, seperti kuat tekan, durabilitas, berat, dll. Karakteristik lain dari agregat yang dapat mempengaruhi sifat-sifat beton yaitu ketahanan terhadap abrasi, ketahanan terhadap zat kimia, berat jenis, daya serap dan kadar air, gradasi dan ukuran, serta bentuk dan tekstur permukaan.

2.3.2.1. Jenis Agregat Berdasarkan Bentuk

Bentuk dan gradasi agregat mempengaruhi sifat pengerjaan beton (*workability*) dan jumlah pemakaian agregat dalam campuran beton. Bentuk agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Secara alamiah bentuk agregat dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Setelah dilakukan penambangan, bentuk agregat dipengaruhi oleh cara peledakan maupun mesin pemecah batu dan teknik yang digunakan. Dilihat dari bentuknya agregat ini ada beberapa macam, yaitu :

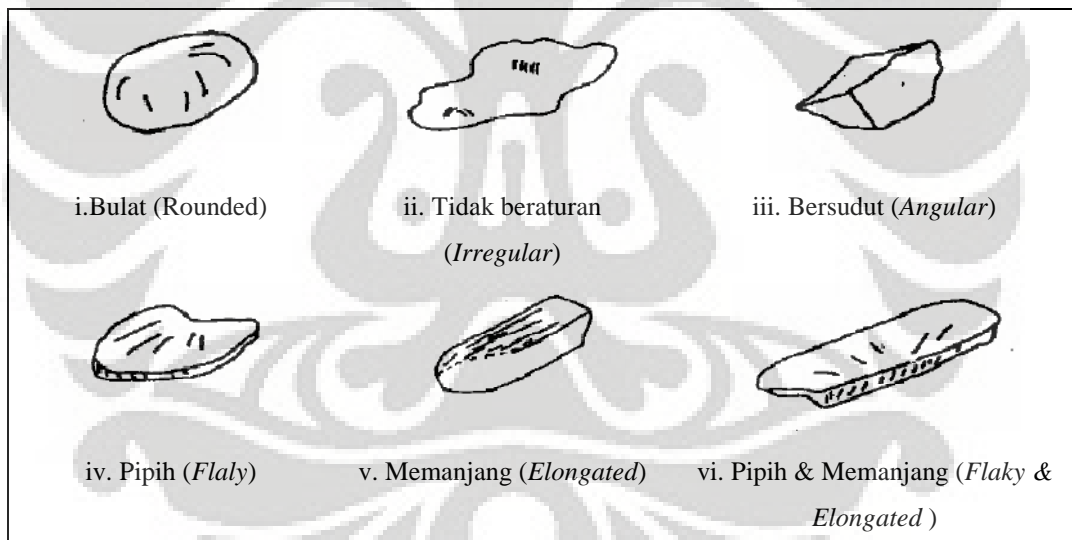
- a) Bentuk bulat (*Rounded*) terbentuk karena banyaknya gesekan yang dialami oleh batuan yang terbawa oleh arus sungai dengan batuan yang

terdapat di lereng-lereng sungai, sehingga semakin sering batu tersebut bergesekan akibatnya menjadi berbentuk bulat.

- b) Bentuk tidak beraturan (*Irregular*), agregat ini bentuk permukaannya hampir sama dengan agregat bentuk bulat yaitu memiliki permukaan yang tidak tajam, hanya bentuknya saja yang tidak beraturan.
- c) Bersudut (*Angular*), bentuknya tidak beraturan serta permukaannya tajam. Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang nampak jelas, yang terbentuk ditempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38% - 40%, sehingga membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan.
- d) Bentuk pipih, dinamakan pipih karena ketebalannya lebih kecil dibandingkan dengan lebar dan panjangnya. Agregat pipih memiliki sifat yang sama agregat panjang yaitu tidak baik untuk campuran beton mutu tinggi. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya kurang dari $\frac{3}{5}$ ukuran rata-ratanya. Untuk contoh diatas agregat disebut pipih jika lebih kecil dari 9 mm.
- e) Bentuk memanjang (*Elongated*), agregat ini memiliki panjang yang lebih besar dibanding lebar dan tebalnya. Agregat disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari $\frac{9}{5}$ ukuran rata-rata. *ukuran rata-rata adalah ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat.* Sebagai contoh, agregat dengan ukuran rata-rata 15 mm, akan lolos ayakan 19mm dan tertahan oleh ayakan 10 mm. Agregat ini dinamakan panjang jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari 27 mm ($\frac{9}{5} \times 15$ mm). Agregat jenis ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan dibuat. Agregat jenis ini cenderung berada dirata-rata air sehingga akan terdapat rongga dibawahnya. Kekuatan tekan dari beton yang menggunakan agregat ini buruk.
- f) Bentuk pipih dan memanjang (*Angular & Elongated*), agregat jenis ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar daripada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.

Tabel 2. 9 Klasifikasi Fisik Agregat (BSI 812-1975)

Klasifikasi	Deskripsi	Contoh
Bulat (<i>Rounded</i>)	Aus akibat air atau terbentuk akibat keseluruhannya	Kerikil sungai
Tidak beraturan (<i>Irregular</i>)	Tak beraturan alami, atau sebagian terkikis dan memiliki bentuk bulat	Kerikil lain; batu tanah atau galian
Pipih (<i>Flaky</i>)	Material yang tipis pada salah satu sisinya	Batu yang terlindung salah satu sisinya
Bersudut (<i>Angular</i>)	Memiliki bentuk sisi yang baik pada potongan sisi planar yang kasar	Batuan tebing yang dipecah, batuan kerak
<i>Elongated</i>	Material yang bersudut salah satunya lebih panjang dari yang lain	
<i>Flaky dan Elongated</i>	Material yang memiliki panjang yang lebih besar dari lebarnya dan lebar ini lebih besar dari tebalnya	



Gambar 2. 5 Bentuk agregat

Agregat untuk beton harus memenuhi ketentuan dan mutu dan cara uji agregat beton dalam SII 00452-80 ataupun persyaratan ASTM C 330 tentang *Specification for Concrete Agregate*. Dalam perencanaan beton, diperlukan pembagian butiran (gradasi) agregat. Untuk menentukan gradasi agregat dilakukan dengan analisa saringan. Alat yang digunakan adalah seperangkat saringan dengan ukuran jaring-jaring tertentu.

2.3.2.2. Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butir Nominal

Menurut ukuran butirannya agregat bisa diklasifikasikan menjadi dua, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Batasan ukuran dan klasifikasi di atas adalah ayakan dengan lubang 4.75 mm (saringan No.4 Standar ASTM), butiran yang tertahan diayakan tersebut digolongkan sebagai agregat kasar sedangkan butiran yang dapat melewati ayakan tersebut digolongkan sebagai agregat halus.

Pemilihan agregat dilakukan dengan memperhatikan hal-hal berikut:

- Kualifikasi dari beton yang ingin dibentuk
- Perbandingan antara biaya dengan mutu
- Persediaan di sekitar lokasi proyek

Pada umumnya agregat yang tidak kekurangan beberapa ukuran secara mencolok dan gradasinya membentuk suatu kurva yang mulus (*smooth*) akan menghasilkan beton yang baik. Hal ini dapat dijelaskan dengan teori kepadatan maksimum dan pori-pori minimum. Kebutuhan semen sebanding dengan pori-pori agregat. Semakin sedikit pori-pori agregat, semakin sedikit semen yang dibutuhkan. Dengan demikian diharapkan untuk bisa dibuat suatu kondisi pori-pori minimum. Keadaan ini dapat terjadi apabila agregat terdiri dari suatu campuran ukuran yang seimbang (tidak seragam).

Tingkat kebutuhan air beton untuk suatu konsistensi dan jenis agregat tertentu adalah tetap, tetapi bervariasi untuk ukuran maksimum agregat yang berbeda. Tingkat kebutuhan air lebih tinggi untuk ukuran maksimum yang kecil, dan menurun seiring dengan meningkatnya ukuran maksimum agregat. Hal ini disebabkan karena agregat yang halus mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan agregat yang besar, sehingga agregat yang halus lebih banyak menyerap air.

a. Agregat Halus

Agregat halus, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200. Sedangkan menurut ASTM C 125-92, agregat halus ialah agregat yang lewat ayakan $3/8 \text{ in}$ ($9,5 \text{ mm}$) dan hampir seluruhnya melewati saringan 4.75 mm (saringan No.4 Standar ASTM) dan tertahan pada ayakan $75\text{-}\mu\text{m}$ (No.200). Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang

berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering, serta memenuhi persyaratan sebagai berikut ;

- a. Nilai Sand Equivalent minimum 50 (AASHTO-T-1176)
- b. Penyerapan agregat terhadap air maksimum 3% (ASTM C-128-04)
- c. Berat jenis curah (Bulk) minimum 2.5 (ASTM C-29M-2003)

Agregat halus yang umum dipakai sebagai campuran beton adalah pasir alam. Menurut asal dan cara mendapatkannya, pasir alam dapat digolongkan menjadi:

- Pasir galian, diperoleh dari permukaan tanah dengan cara menggali. Pasir jenis ini biasanya berbentuk tajam, bersudut, berpori, bebas dari kandungan garam, tetapi perlu dicuci dahulu untuk membersihkan kotoran tanah.
- Pasir sungai, diperoleh dari dasar sungai, umumnya berbentuk bulat karena gesekan dengan air, sehingga kurang dapat diikat dengan kuat. Butirannya relatif halus, baik untuk pekerjaan plesteran.
- Pasir laut, diperoleh dari pantai, butirannya bulat dan halus. Kurang baik karena kandungan garamnya tinggi yang menyebabkan besarnya absorpsi dan pengembangan pada beton.

Gradasi agregat halus yang baik menurut ASTM C 33 - 78 :

Tabel 2. 10 Gradasi Standar Agregat Halus Alam

Diameter ayakan	Persentase Lolos (%)
9.5 mm (No.2)	100
4.75 mm (no.4)	95 sampai 100
2.36 mm (No.8)	80 sampai 100
1.18 mm (No.16)	50 sampai 85
600 μ m (No.30)	25 sampai 60
300 μ m (No.50)	10 sampai 30
150 μ m (No.100)	2 sampai 10

Menurut SNI 03-2834-1992 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus (pasir) menjadi empat daerah atau zone, yaitu : zone I (kasar), zone II (agak kasar) , zone III (agak halus) dan zone IV (halus).

Tabel 2. 11 Batas-batas Gradasi Agregat Halus Menurut SNI 03-2834-1992

Ukuran Saringan	Persentase berat yang lolos saringan			
	Gradasi Zone I	Gradasi Zone II	Gradasi Zone III	Gradasi Zone IV
9.60 mm	100	100	100	100
4.80 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60 mm	15-34	35-59	60-79	80-10
0.30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

b. Agregat Kasar

Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4. Agregat harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Sedangkan menurut ASTM C 125-92, agregat kasar adalah porsi dari agregat yang tertahan (9,5 mm) dan pada saringan 4,75 mm (saringan No.4 Standar ASTM). Agregat kasar juga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Jumlah butir yang tertahan saringan No. 4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (visual) : minimum 50 % (khusus untuk kerikil pecah)
- Indeks kepipihan butiran yang tertahan saringan 9,5 mm (3/8") maksimum 25%
- Penyerapan air maksimum 3 % (ASTM C-127-04)
- Berat jenis curah minimum 2.5 % (ASTM C-29M-2003)
- Bagian yang lunak maksimum 5% (AASHTO T-189)

Fungsi agregat kasar adalah sebagai penyusun kekuatan sedangkan agregat halus berfungsi sebagai pengisi ruang kosong. Dalam praktek, agregat halus bekerja dengan bahan matriks membentuk suatu mortar yang melingkupi seluruh permukaan agregat kasar dan memberikan sifat adhesif.

Asumsi umum yang ada mengenai ukuran butiran agregat kasar yang baik adalah ukuran butiran yang berkisar antara 5 mm sampai 25 mm, dengan prediksi bahwa ukuran yang relatif lebih kecil akan menghasilkan beton dengan kuat tekan lebih baik. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin luas bidang kontak dari agregat kasar tersebut akan menyebabkan reaksi pengikatan yang lebih sempurna.

Ukuran maksimum dari agregat kasar, menurut ASTM C 136 berkisar antara ½ sampai 6 in. Gradasi agregat kasar yang baik menurut ASTM C 133:

Tabel 2. 12 Gradasi Standar Agregat Kasar Alam Berdasarkan ASTM C 33 – 78

Diameter ayakan	Persentase Lolos (%)
25.4 mm (1")	100
19.0 mm (3/4")	90 sampai 100
9.50 mm (3/8")	20 sampai 55
4.75 mm (No.4)	0 sampai 10
2.36 mm (No.8)	0 sampai 5

Batasan gradasi agregat kasar yang baik untuk ukuran butir agregat maksimum 19 mm dan 38 mm, menurut SNI 02-2834-1992 pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. 13 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar SNI 03- 2834-1992

Ukuran Saringan	Persentase berat yang lolos saringan (%)	
	5 mm sampai 38 mm	5 mm sampai 19 mm
38,0 mm	90-100	100
19,0 mm	35-70	90-100
9,6 mm	10-40	50-85
4,8 mm	0-5	0-10

2.3.2.3. Kekuatan dan ketahanan agregat

Karakteristik utama agregat yang menentukan kekuatan beton adalah kekuatan agregat. Karakteristik ini menunjukkan kekuatan alami agregat tanpa dipengaruhi oleh semen, air maupun aditif.

1) Ketahanan terhadap keausan (*Abrasion resistance*)

Karakteristik ini penting bagi struktur yang berfungsi sebagai lantai kerja (*heavy duty floor*) seperti pavement, lantai gudang, lantai workshop alat-alat berat. Untuk itu dibutuhkan beton tidak hanya kuat tetapi juga tidak

cepat aus akibat abrasi atau gesekan antara beton dengan benda di atasnya. Untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan, dapat dilakukan uji kekerasan (*hardness test*) dengan beberapa cara antara lain bejana tekan Los Angeles. PUBL mensyaratkan bahwa bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 50 % berat sedangkan menurut SII-80 tidak boleh lebih dari 27 %.

2) Ketahanan Terhadap Beban Kejut

Beban kejut adalah beban yang diberikan secara tiba-tiba, dan berlangsung dalam waktu yang relatif singkat. Ketahanan agregat terhadap beban tersebut dinyatakan dengan nilai *Impact* yaitu persentase berat agregat yang hancur setelah dilakukan impact test, terhadap berat agregat mula-mula. Menurut PUBL-82, nilai impact maksimal agregat kasar untuk beton struktur adalah 30 % sedangkan menurut BS-882 : 1992 adalah 25 % untuk *heavy duty concrete floor finishes*

3) Ketahanan Terhadap Zat Kimia (*Chemical Resistance*)

Zat kimia yang dapat mempengaruhi beton terdiri atas kotoran organis (gula, kunut, humus dan serpihan kayu) serta alkali dan garam. Gula memperlambat proses pengikatan semen dengan agregat sedangkan lumut, humus dan serpihan kayu menimbulkan bercak pada permukaan beton.

Alkali dapat merusak beton akibat reaksi dengan silika yang ada pada agregat (reaksi alkali silika).

4) Berat Jenis (*specific gravity*)

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat agregat dengan berat air pada volume yang sama. Sifat ini digunakan dalam mix design untuk mengontrol volume absolut agregat. Berat jenis agregat normal berkisar antara 2,4 - 2,9. Pada mix design digunakan berat jenis agregat untuk kondisi SSD. Berat volume agregat adalah berat agregat dibagi dengan volume agregat. Berat volume agregat normal adalah 1,2 - 1,75 kg/cm³.

5) Daya Serap dan Kadar Air

Kadar air digunakan untuk menghitung jumlah air yang diperlukan untuk pembuatan beton. Daya serap dipengaruhi oleh pori-pori agregat dan

kadar air yang terkandung dalam agregat. Hal ini mempengaruhi jumlah air dalam mix design. Perubahan kadar air agregat dapat terjadi pada saat pengiriman, pengaruh cuaca dan kondisi penyimpanan. Kondisi kandungan air dalam agregat dapat berupa:

- Kering kerontang (*bone dry atau oven dry*)
Merupakan kondisi agregat yang benar-benar kering. Didapat dengan memasukan agregat ke dalam oven dengan temperatur (105- 110)°C.
- Kering udara
Bagian luar agregat kering, namun dalamnya masih terdapat air. Merupakan kondisi agregat yang berada di lapangan bila terjemur.
- *Saturated surface dry (SSD)*
Merupakan kondisi teoritis yang ideal, dimana bagian dalam jenuh dengan air bagian luarnya kering. Kondisi inilah yang dipakai sebagai dasar dalam perhitungan mix design.

- Lembab (*moist*)
Pada kondisi ini, bagian dalam agregat jenuh dengan air, dan bagian luarnya juga basah. Merupakan kondisi agregat yang direndam. Jumlah air total adalah seluruh air yang ada, baik yang di dalam pori maupun di dalam butir. Kadar air total adalah persentase berat air total terhadap berat agregat kering. Kadar air bebas adalah persentase berat air di luar butir saja. Nilai ini dipakai sebagai dasar perencanaan mix design karena agregat dianggap dalam keadaan SSD. Daya serap agregat adalah jumlah air yang dapat diserap agregat dari kondisi kering kerontang sampai menjadi jenuh air (SSD). Penyerapan maksimal yang diijinkan dalam Petunjuk Pelaksanaan beton adalah 5%.

6) Gradasi dan Ukuran Agregat

Gradasi adalah distribusi ukuran agregat. Gradasi diketahui dengan *sieve-analysis* ayakan, kemudian dibuat grafik dengan ukuran butir sebagai absis dan persentase agregat yang lolos ayakan sebagai ordinat. Gradasi disebut juga dengan modulus kehalusan. Pada pembuatan beton dilakukan pembatasan gradasi agregat karena gradasi dan ukuran agregat

mempengaruhi kebutuhan semen dan air, *workability*, porositas dan kembang susut beton.

7) Bentuk dan Tekstur Permukaan

Karakteristik ini lebih berpengaruh terhadap *workability* beton segar dibandingkan dengan beton segar. Berdasarkan bentuknya, agregat dapat diklasifikasikan menjadi *angular*, *rounded*, *flaky* dan *elongated*.

Agregat yang angular dan kasar akan menurunkan *workability* beton namun meningkatkan kekuatannya sedangkan yang bulat dan halus meningkatkan *workability* dan menurunkan kekuatan. Agregat yang pipih (*flaky*) dan memanjarig (*elongated*) serta pipih dan memanjang (*flaky and elongated*) kurang baik untuk digunakan dalam campuran beton karena sulit untuk dipadatkan. PUBLI mensyaratkan jumlah agregat yang pipih atau memanjang tidak boleh lebih dari 20 % berat.

2.3.3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimia semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-bahan organis atau bahan-bahan lain karena apabila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut sebagai Faktor Air Semen (*water-cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya

dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garaman dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra-tegang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar.

Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali memenuhi ketentuan berikut ini:

- (1) Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
- (2) Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan "*Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)*" (ASTM C 109).

2.4. FAKTOR AIR SEMEN

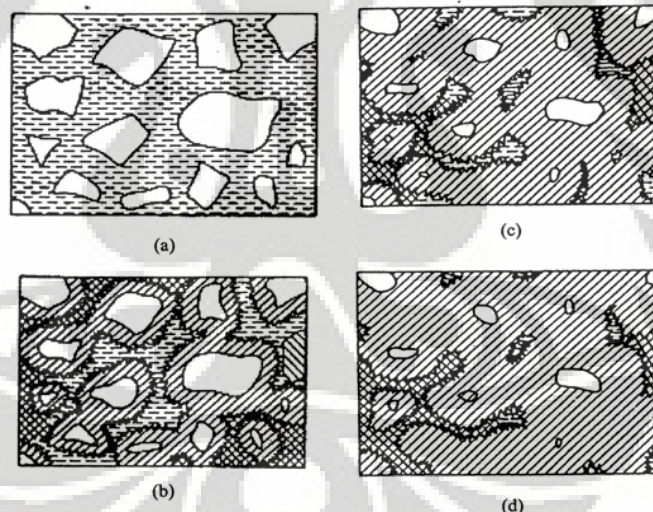
Secara umum diketahui bahwa semakin besar nilai FAS (Faktor Air Semen) maka semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti kekuatan beton akan semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan 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.

Dalam praktek perancangan, kekuatan beton telah diberikan pada umur beton dan perawatannya ditentukan oleh temperatur yang diasumsikan tergantung pada dua faktor utama yaitu rasio air semen dan tingkatan pemadatan (*compaction*).

Saat beton telah sepenuhnya dipadatkan maka nilai kekuatannya ditentukan menjadi berkebalikan sebanding terhadap rasio air semen.

Rasio air semen sangat menentukan porositas pasta semen yang mengeras pada beberapa tingkatan hidrasi. Dengan demikian rasio air semen dan tingkatan pemadatan keduanya mempengaruhi volume void (pori-pori) dalam beton. Hubungan antara kekuatan dan volume total dari void adalah bukan sifat unik dari beton namun juga ditemukan dalam material getas dimana air tertinggal didalam pori-pori: sebagai contoh, kekuatan dari plesteran juga merupakan fungsi langsung dari kandungan udara void dalam plesteran tersebut.

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

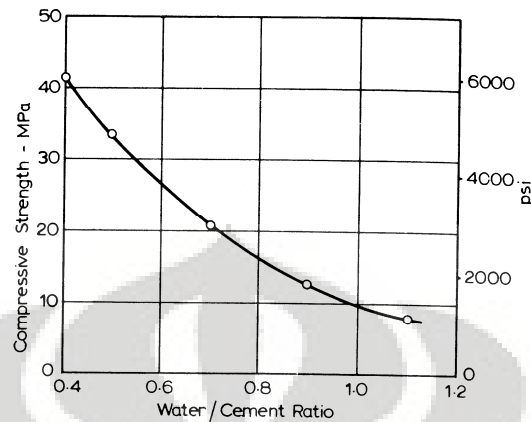


Keterangan: (a). Terjadinya pencampuran pertama; (b). Kondisi beton setelah berumur 7 hari; (c). Kondisi beton setelah berumur 28 hari; (d). Kondisi beton setelah berumur 12 bulan.

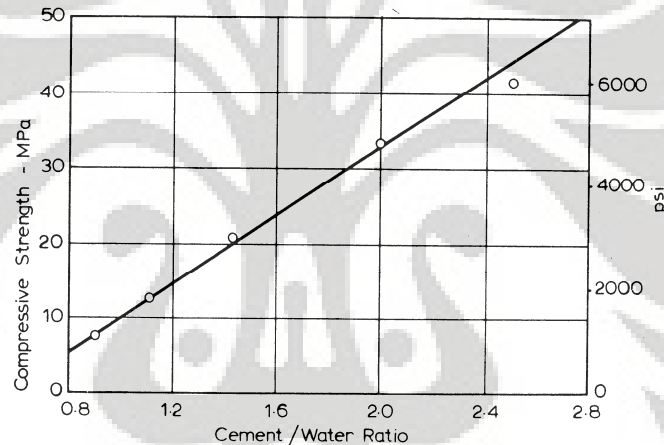
Gambar 2. 6 Proses terjadinya pengikatan dalam beton (Tri Mulyono, 2004)

Gambar 2.7 menunjukkan grafik hubungan antara kekuatan dengan rasio air semen yang sekiranya memiliki bentuk hiperbola. Dari hubungan grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin rendah rasio air semen maka kekuatan tekan beton semakin tinggi pada umur hari ke-7 dengan menggunakan suatu *rapid-hardening* semen portland dan sebaliknya. Grafik ini diterapkan untuk beton dengan tipe

agregat apa saja dan umur beton kapan saja. Sifat geometrik dari fungsi hiperbola $y = kx$ bahwa y terhadap $1/x$ diplot sebagai garis lurus.



Gambar 2. 7 Hubungan Kekuatan tekan beton pada hari ke-7 terhadap rasio air semen untuk beton yang terbuat dengan *rapid hardening* semen portland (Neville, Adam M., 1988)

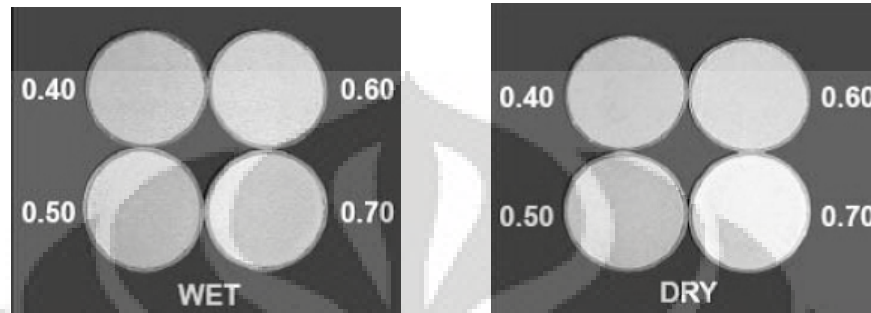


Gambar 2. 8 Hasil plot kekuatan terhadap rasio semen air untuk data pada gambar 2.7 (Neville, Adam M., 1988)

Jadi hubungan antara kekuatan dan rasio semen air adalah linear dalam interval rasio semen air antara 1,2 dan 2,5. Hubungan linear ini lebih cocok digunakan daripada kurva rasio air semen, terutam sekali saat interpolasi diinginkan pada gambar 2.8 menunjukkan data pada gambar 2.7 hasil plot dengan rasio semen air. Nilai yang digunakan untuk diterapkan untuk penentuan semen saja, dan dalam kasus praktek apapun hubungan sebenarnya antara kekuatan dan rasio semen air harus selalu ditentukan.

Untuk membandingkan pengaruh variasi rasio air semen terhadap warna beton putih, dapat dilakukan dalam pencampuran pasta semen dengan beberapa variasi rasio air semen. Jika dilihat dalam keadaan basah dan kering, ternyata

variasi rasio air semen tertinggi memiliki warna yang lebih terang dibandingkan rasio air semen lainnya. Namun hal ini tidak menjamin bahwa kekuatan beton putih semakin baik, untuk beton struktural maka diperlukan campuran beton dengan variasi rasio air semen yang tepat untuk menghasilkan kekuatan beton yang diinginkan.



Gambar 2. 9 Perbandingan warna pasta semen putih pada keadaan basah dan kering di beberapa variasi rasio air semen

2.5. KARAKTERISTIK BETON

2.5.1. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik beton adalah yang paling penting dalam perencanaan elemen balok struktur balok dan pelat. Dimana elemen balok tersebut disyaratkan harus mampu menahan tegangan-tegangan tarik yang ditimbulkan akibat pembebanan dan kontraksi oleh akibat penyusutan dan perubahan suhu.

Terdapat 3 metode pengujian dalam menentukan kekuatan tarik beton, yaitu:

- Metode pengujian tarik langsung (*the direct tension test*)
- Metode kuat tarik belah beton (*splitting silinder test*)
- Metode pengujian tarik lentur (*the modulus of rupture test*)

Untuk penelitian ini digunakan metode kuat tarik belah beton (*splitting silinder test*) dengan rumus:

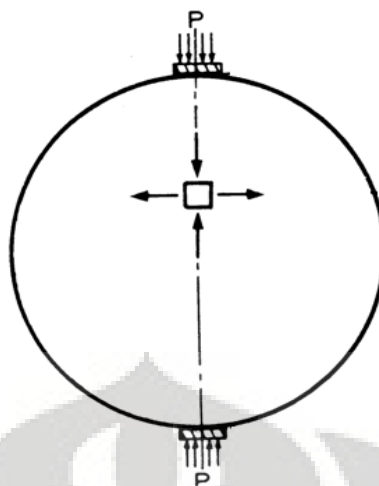
$$T = \frac{2.P}{\pi.L.D} \quad (2.1)$$

dimana: T = kuat belah beton (MPa)

P = Beban maksimum yang ditunjukkan mesin tes (N)

L= Tinggi silinder (300 mm)

D = diameter silinder (150 mm)



Gambar 2. 10 Splitting Test

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah kuat tarik belah yang sesuai dengan ASTM C 496/C 496M – 04. Jika beban diberikan disepanjang sisi atas silinder yang terlihat pada gambar 2.10 maka terdapat elemen pada sisi vertikal diameter silinder yang diperlakukan sebagai tegangan tekan arah vertikal. Sedangkan untuk rumus tegangan tarik arah horizontal telah dituliskan pada rumus metode kuat tarik belah beton (*splitting silinder test*).

2.5.2. Kuat Tarik Lentur

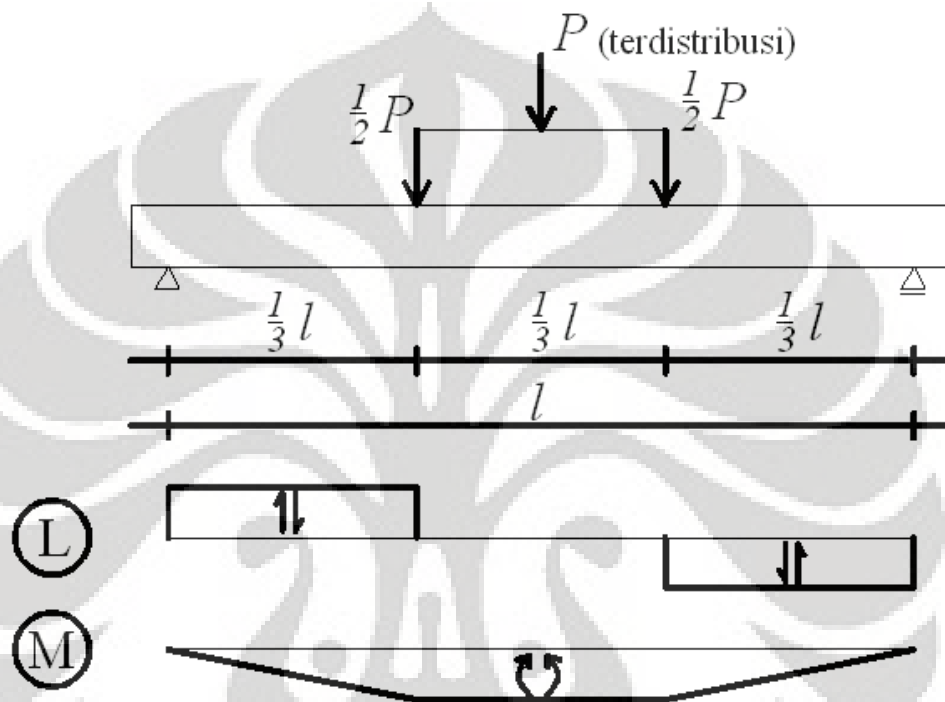
Pada pengujian tarik lentur bahan-bahan bangunan, permulaan retak biasanya terjadi didaerah tarik sebelah bawah umumnya memiliki arah tegak lurus terhadap garis netral balok, sebab kuat tarik pada beton lebih kecil dibandingkan kuat tekannya. Kuat tarik lentur (f_r) adalah kekuatan tarik beton dalam keadaan lentur akibat momen. Kekuatan yang dikenal sebagai modulus runtuh (*modulus of rupture*) adalah hal yang cukup penting untuk menentukan retak-retak dan lendutan dari suatu balok yang dibebani. Kuat tarik lentur pada beton dapat ditentukan dari balok beton yang mengalami pembebanan arah transversal. Kuat tarik lentur maksimum dialami oleh serat bawah balok beton dan disebut sebagai *Modulus of Rupture*, yang besarnya tergantung dari panjang balok dan jenis pembebanan.

Pada struktur beton bertulang, kuat tarik lentur beton kurang memiliki pengaruh yang lebih karena gaya lentur pada balok telah ditopang oleh tulangan lentur yang ada. Namun kuat tarik lentur dibutuhkan untuk mengetahui batasan dan jenis keretakan pada struktur beton. karena keretakan

yang tampak akibat tekanan selalu berkaitan dengan *modulus of rupture* dari beton. Nilai *modulus of rupture* sedikit lebih besar dari nilai kekuatan tarik sesungguhnya. Menurut SNI SNI 03-1726-2002 nilai *modulus of rupture* adalah

$$f_r = 0,7\sqrt{f_c'} \quad (2.2)$$

untuk beton normal, f_r dalam MPa bila f_c' dalam MPa.



Gambar 2. 11 Skema Pembebanan Lentur pada balok (*third-point loading*)

Perhitungan nilai *modulus of rupture* tergantung dari daerah lokasi patahan yang terjadi pada balok. Apabila patahan terjadi pada $\frac{1}{3}$ bagian tengah bentang dari balok, tidak lebih dari 5% panjang bentang balok, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \quad (2.3)$$

dimana :

R = Modulus Runtuh (*modulus of rupture*), MPa

P = Maksimum Beban, N

l = Panjang bentang, mm

b = Rata-rata lebar benda uji, mm

d = Rata-rata ketinggian benda uji, mm

Untuk *modulus of rupture* untuk sampel mengalami patahan terjadi pada 1/3 bagian tepi bentang, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (2.4)$$

dimana :

R = Modulus Runtuh (*modulus of rupture*), MPa

P = Maksimum Beban, N

a = Jarak Rata-rata antara retakan dengan perletakan yang terdekat, mm

b = Rata-rata lebar benda uji, mm

d = Rata-rata ketinggian benda uji, mm

Sedangkan untuk sampel yang mengalami patahan terjadi pada 1/3 bagian tepi bentang balok dengan jarak lebih dari 5% panjang bentang, hasil pengujian harus dianulir.

Modulus of rupture merupakan tegangan tarik lentur beton yang diukur dari percobaan balok sederhana yang diberi beban pada dua titik dengan jarak 1/3 bentang hingga benda uji itu patah (*third-point loading*) pada beton polos sebagai pengukur kuat tarik sesuai dengan teori elastisitas.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. RENCANA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton putih dengan batasan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan variasi faktor air semen terhadap nilai kuat tarik dan lentur pada beton putih. Pembuatan benda uji divariasikan menurut faktor air semen yaitu 0,4; 0,45; 0,5; dan 0,55. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tarik dan lentur antara beton putih dengan beton menggunakan semen portland biasa untuk masing-masing nilai variasi faktor air semen telah ditetapkan.

Setelah semua material terkumpul, maka langkah selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap material penyusun benda uji, yang terdiri atas semen Portland putih, agregat kasar, dan agregat halus. Pemeriksaan terhadap air tidak dilakukan karena air yang akan digunakan telah memenuhi syarat-syarat ketentuan sebagai campuran beton. Apabila semua pemeriksaan telah dilakukan terhadap masing-masing material, maka langkah selanjutnya adalah merencanakan campuran beton dengan metode rancang campur.

Dengan data-data yang telah diperoleh melalui pemeriksaan material, maka dengan metode rancang campur dapat diketahui hubungan antara komponen masing-masing material. Sehingga kebutuhan untuk masing-masing material penyusun beton dapat diketahui secara efisien dan efektif. Nilai efisien pada campuran beton untuk mendapatkan komposisi campuran yang paling ekonomis dan tepat, sedangkan nilai efektif agar beton yang dihasilkan mempunyai *workability*, *durability*, dan *strength* seperti yang diinginkan.

Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji untuk sampel uji tarik belah dan sampel uji tarik lentur disertai dengan pengujian beton segar yaitu pemeriksaan slump beton. Tujuan dari pengujian slump ini adalah untuk menyesuaikan nilai slump beton yang telah dihitung dalam rancang campuran beton. Metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai karakteristik beton putih

diantaranya metode pengujian tarik belah untuk mengetahui nilai kuat tarik dan metode *third point load* untuk mengetahui nilai kuat tarik lentur.

Pengujian kuat tarik belah pada beton WPC ini akan dilakukan sebanyak 2 kali dengan 4 jenis variasi rasio air semen, yaitu pada hari ke-7 dan 28. Setiap pengujian dibutuhkan berturut-turut untuk umur 7 hari dan 28 hari adalah 3 sampel dan 5 sampel silinder dengan diameter 15 cm (6 in.) dan tinggi 30 cm (12 in.).

Tabel 3. 1 Jumlah sampel kuat tarik belah

Rasio air semen	Umur beton	
	7 hari	28 hari
0,4	3 sampel	5 sampel
0,45	3 sampel	5 sampel
0,5	3 sampel	5 sampel
0,55	3 sampel	5 sampel

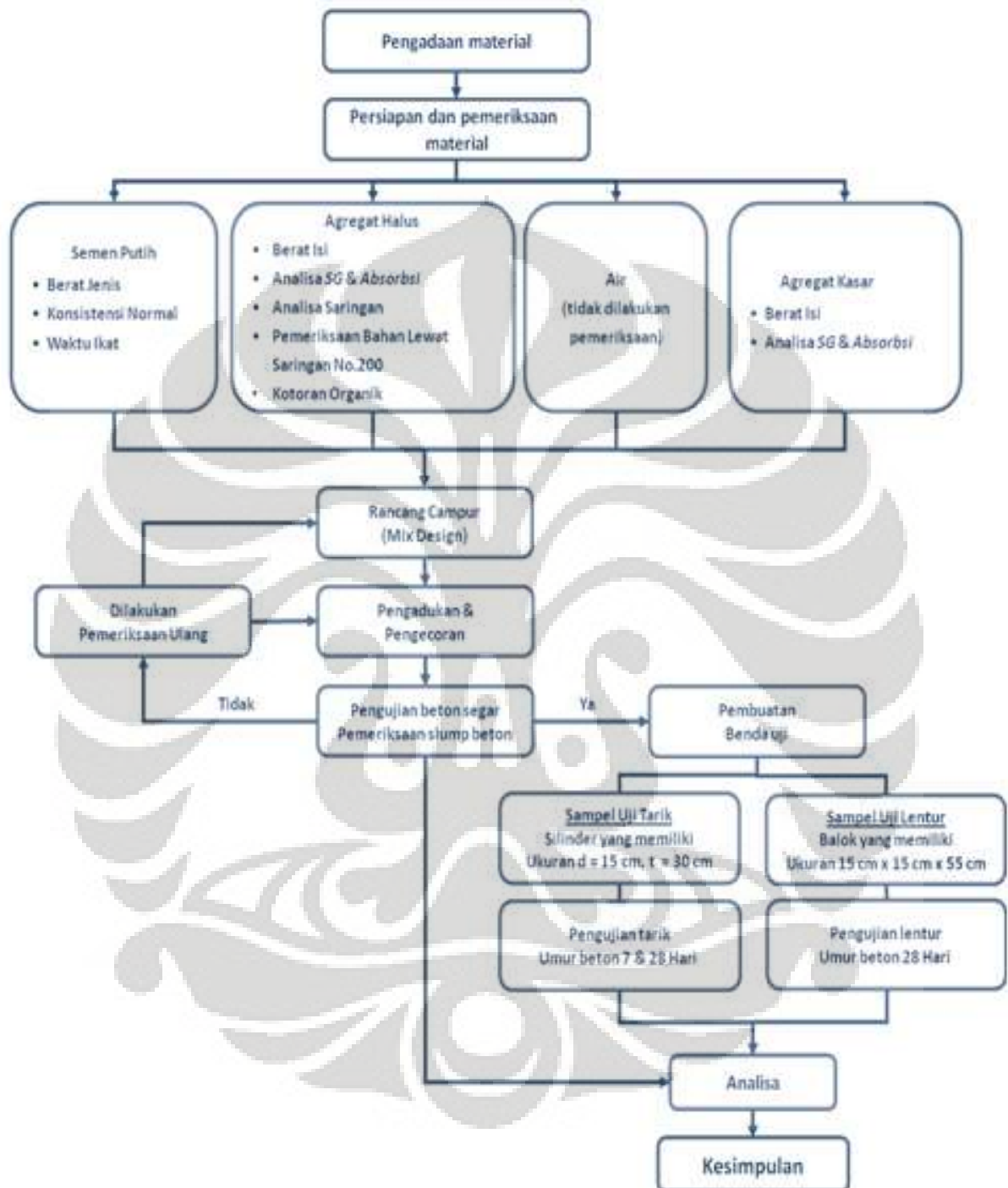
Pengujian kuat tarik lentur dengan menggunakan balok yang diberi beban pada dua titik dengan jarak 1/3 bentang hingga benda uji itu patah (*third point load*). Pengujian kuat tarik lentur ini akan dilakukan sebanyak 1 kali pada beton putih dengan 4 jenis variasi rasio air semen, yaitu pada hari 28. Setiap pengujian dibutuhkan 3 sampel balok sederhana yang memiliki penampang bujur sangkar dengan ukuran 15 cm dengan bentang 60 cm.

Tabel 3. 2 Jumlah sampel kuat tarik lentur

Rasio air semen	Umur beton
	28 hari
0,4	3 sampel
0,45	3 sampel
0,5	3 sampel
0,55	3 sampel

Data-data hasil yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tarik dan lentur disertai pengujian beton segarnya kemudian dianalisis. Dari analisis ini akan diperoleh suatu kesimpulan yang dapat menjelaskan hubungan pengaruh nilai

faktor air semen terhadap nilai kuat tarik dan lentur pada beton putih. Skema alur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. 1 Skema Alur Penelitian

3.2. PERALATAN LABORATORIUM

Pada penelitian dan pengujian di laboratorium digunakan beberapa peralatan diantaranya:

- a. Timbangan
- b. Saringan
- c. Pengaduk beton (sendok semen)
- d. Oven
- e. Capping kit
- f. Alat uji tarik belah silinder dan alat uji tarik lentur beton.
- g. Peralatan lain (cetakan beton, ember, peralatan slump test, terpal, sekop/cangkul).

3.3. BAHAN BAKU PENELITIAN

Bahan baku yang akan digunakan dalam penelitian diantaranya:

1. Semen
Pada penelitian ini digunakan Semen Portland Putih yang merupakan produksi dari PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk.
2. Agregat
Agregat halus yang digunakan adalah jenis pasir putih alam yang berasal dari pulau Bangka. Sedangkan untuk agregat kasar merupakan jenis kerikil yang berasal dari daerah Sudamanik, Jawa Barat.
3. Air
Air yang digunakan bersumber dari Air Perusahaan Air Minum (PAM) yang terdapat di Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Air ini dapat digunakan karena tidak berbau, tidak mengandung minyak, jernih dan dapat digunakan sebagai air minum.

3.4. PENGUJIAN BAHAN BAKU PENELITIAN

Bahan baku yang dilakukan pengujian diantaranya semen portland putih, agregat halus, dan agregat kasar.

3.4.1. Pengujian Terhadap Semen Portland Putih

3.4.1.1. Pemeriksaan berat jenis semen Portland (ASTM C188 – 95 *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, 2003*)

- a. Tujuan: 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.
- b. Peralatan
 - 1) Botol Le Chatelier
 - 2) Kerosin bebas air atau naptah dengan berat jenis 62 API.
- c. Bahan: Semen Putih sebanyak 64 gram
- d. 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°C.
 - c) Setelah suhu air sama dengan suhu cairan dalam botol' baca skala pada botol (V_1).
 - 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).

e. Perhitungan

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat Semen}}{(V_2 - V_1)} \times d \quad (3.1)$$

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°C (1 gram/cm³).

3.4.1.2. Penentuan Konsistensi Normal Semen Hidrolis (ASTM C187 - 98 *Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement*)

- a. Tujuan: Menentukan konsistensi normal dari semen hidrolis untuk keperluan penentuan waktu pengikatan semen. (Menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk mempersiapkan pasta semen hidrolis untuk pengetesan).
- b. Bahan: Semen Portland (tipe I) ± 3,5 kg (untuk ± 6 percobaan); Air bersih (dengan suhu kamar).
- c. Peralatan
 - 1) Mesin aduk (*mixer*), dengan daun-daun pengaduk dari baja tahan karat serta mangkuk yang dapat dilepas.
 - 2) Alat vicat.
 - 3) Timbangan dengan kepekaan sampai 1,0 gram.
 - 4) Alat pengorek (*scraper*) dibuat dari karet yang agak kaku.
 - 5) Gelas ukur dengan kapasitas 150 atau 200 ml.
 - 6) Sendok perata (*trowel*).
 - 7) Sarung tangan karet.
- d. Prosedur
 - 1) Pasang daun pengaduk serta mangkuk pada alat pengaduk.
 - 2) Masukkan bahan untuk percobaan dalam mangkuk dan campurlah sebagai berikut:

- a) Tuangkan air ($\pm 155 - 125$ cc untuk semen tipe I dan $\pm 130 - 140$ cc untuk semen tipe III).
- b) Masukkan 500 gram semen kedalam air dan biarkan untuk penyerapan selama 30 detik.
- c) Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan rendah (140 ± 5 ppm) dan aduklah untuk 1 menit.
- d) Hentikan mesin pengaduk untuk 15 detik dan sapulah bahan (pasta) dari dinding sisi mangkuk.
- e) Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan sedang (285 ± 10 ppm) dan aduklah untuk 1menit.
- f) Segera ambil pasta dari mangkuk dan bentuklah sebagai bola. Lemparkan bola pasta tersebut dari tangan yang satu ke tangan yang lain (dengan jarak ± 15 cm) sebanyak 25 kali. Kemudian tempatkan pada alat vicat. Tekankan ke dalam cincin konis sehingga memenuhi cincin tersebut.
- g) Tempatkan cincin tersebut pada pelat gelas dan tuanglah kelebihan pasta semen dari kedua sisi cincin. Ratakan bagian atas dari pasta semen dengan sendok adukan sedemikian rupa sehingga tidak menekan adukan.
- h) Pusatkan cincin berisi pasta tersebut dibawah batang dan sentuhkan dan kuncilah jarum pada permukaan pasta.
- i) Tempatkan indikator tepat pada angka nol yang atas. Lepaskan batang bersamaan jarum dengan memutar kunci. Jarum akan masuk ke dalam pasta.
- j) Bila dalam waktu 30 detik kedalaman masuk jarum kedalam pasta besarnya 10 ± 1 mm dari permukaan, maka konsistensi pasta semen tersebut adalah normal.
- k) Bila konsistensi normal belum tercapai, ulangi langkah-langkah tersebut di atas hingga tercapai konsistensi normal.

3.4.1.3. Penentuan Waktu Ikat Semen Hidrolis (ASTM C 191 - 99 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle)

- a. Tujuan: Menentukan waktu pengikatan semen hidrolis (dalam keadaan konsistensi normal) dengan alat vikat
- b. Bahan:
 - 1) Semen Putih (500×2) gr
 - 2) Air bersih dengan suhu kamar
- c. Peralatan
 - 1) Mesin aduk (*mixer*), dengan daun-daun pengaduk dari baja tahan karat serta mangkuk yang dapat dilepas.
 - 2) Alat vikat.
 - 3) Timbangan dengan kepekaan sampai 1,0 gram.
 - 4) Alat pengorek (*scraper*) dibuat dari karet yang agak kaku.
 - 5) Gelas ukur dengan kapasitas 150 atau 200 ml.
 - 6) Ruang lembab yang mampu memberikan kelembabab relatif minimum 90%.
- d. Prosedur
 - 1) Tempatkan sudu serta mangkuk [kering] pada alat aduk dalam posisi mengaduk.
 - 2) Tempatkan bahan-bahan untuk satu "BATCH" ke dalam mangkuk dengan cara sebagai berikut :
 - a) Masukkan semua air pencampur yang jumlahnya telah ditetapkan sebelumnya dalam pembuatan pasta semen dengan konsistensi normal untuk semen 500 gram.
 - b) Masukkan 500 gram semen ke dalam air tersebut dan biarkan menyerap selama 30 detik.
 - 3) Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan rendah (140 ± 5 ppm) dan aduklah selama 30 detik.
 - 4) Hentikan mesin pengaduk untuk 15 detik dan sapulah bahan (pasta) dari dinding sisi mangkuk.
 - 5) Jalankan mesin pengaduk dengan sedang (285 ± 10 ppm) dan aduklah selama 1 menit.

- 6) Segera ambil pasta semen dari mangkuk dan bentuklah sebagai bola, dan tekankan ke dalam cincin konis sesuai cara dalam penentuan konsistensi normal.
- 7) Segera masukkan benda coba tersebut ke dalam ruang lembab dan biarkan di sana terus kecuali bila mau dipakai untuk percobaan.
- 8) Setelah 30 menit di dalam ruang lembab, tempatkan benda coba pada alat vicat. 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.
- 9) 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.
- 10) Jarak untuk setiap penetrasi pada pasta tidak boleh lebih kecil dari 6 mm. Untuk setiap 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.
- 11) Gambarkan penetrasi dalam suatu grafik, besarnya penetrasi jarum vicat sebagai fungsi dari waktu untuk semen-semen tipe I atau III.
- 12) Catat hasil semua percobaan penetrasi. Tentukan waktu tercapainya penetrasi sebesar 25 mm. Inilah waktu ikat.

3.4.2. Pengujian Agregat Halus

3.4.2.1. Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus, Kasar atau Campuran (ASTM C-29M-97 Test method for Bulk Density (Unit weight) in Aggregate, 2003)

- a. Tujuan: Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat isi agregat halus. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.
- b. Peralatan
 - 1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh

- 2) Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
- 3) Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat
- 4) Mistar perata (*straight edge*)
- 5) Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Daftar Peralatan Percobaan Berat Isi Agregat Kasar

Kapasitas (liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal Wadah Minimum (mm)		Ukuran Butir Maksimum (mm)
			Dasar	Sisi	
2,832	152,4 ± 2,5	154,9 ± 2,5	5,08	2,54	12,7
9,435	203,2 ± 2,5	292,1 ± 2,5	5,08	2,54	25,4
14,158	254,0 ± 2,5	279,4 ± 2,5	5,08	3,00	38,1
28,316	355,6 ± 2,5	284,4 ± 2,5	5,08	3,00	101,8

- c. Benda Uji
- d. Masukkan contoh agregat ke dalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah sesuai tabel III.1, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$ sampai berat tetap.
- e. Prosedur
 - 1) Berat isi lepas
 - a) Timbang dan catat berat wadah (w_1).
 - b) Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
 - c) Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - d) Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - e) Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
 - 2) Berat isi padat agregat ukuran butir maksimum 36.1 mm ($1\frac{1}{2}$ "') dengan cara penusukkan
 - 1) Timbanglah dan catat berat wadah (w_1) .

- 2) Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.
 - 3) Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - 4) Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - 5) Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
- 3) Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38.1 mm (1½") sampai 101.8 mm (4") dengan cara penggoyangan
- a) Timbanglah dan catat berat wadah (w_1).
 - b) Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
 - c) Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut:
 - Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan.
 - Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
 - d) Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - e) Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - f) Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
- f. Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = \frac{w_3}{V} \text{ kg / dm}^3 \quad (3.2)$$

Keterangan:

V = Isi wadah (dm^3).

3.4.2.2. Analisa *Specific Gravity* dan *Absorpsi Agregat Halus* (ASTM C-128-04 *Test method for Density, Specific Gravity, and Absorption of Fine Aggregate*)

- a. Tujuan: Menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128, guna menentukan volume agregat dalam beton

- b. Bahan: 1000 gram (2×500 gram) agregat halus, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.
- c. Peralatan
- 1) Neraca timbangan dengan kepekaan 0.1 gram dan kapasitas maksimum 1 kg.
 - 2) Piknometer kapasitas 500 gram.
 - 3) Cetakan kerucut pasir.
 - 4) Tongkat Pematik (*Tamper*) dari logam untuk cetakan kerucut pasir.
 - 5) Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu (110 ± 5) °C.
- d. Prosedur
- 1) Agregat halus dibuat jenuh air dengan cara merendam selama 1 hari, kemudian dikeringkan (kering udara) sampai didapat keadaan kering merata. Agregat halus disebut kering merata jika telah dapat tercurah (*Free Flowing Condition*).
 - 2) Pengujiannya dilakukan dengan memasukkan sebagian benda uji pada metal sand cone mold. Kemudian benda uji dipadatkan dengan tongkat pematik sampai 25 kali tumbukan. Kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) diperoleh jika ketika cetakan diangkat, agregat halus runtuh atau longsor.
 - 3) 500 gram agregat halus dalam kondisi SSD dimasukkan ke dalam piknometer, kemudian ditambahkan air sampai 90% kapasitas piknometer.
 - 4) Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyang-goyangkan piknometer.
 - 5) Rendam dalam air dengan temperatur air (73.4 ± 3) °F selama paling sedikit 1 hari. Kemudian tentukan berat piknometer, benda uji, dan air.
 - 6) Pisahkan benda uji dari piknometer dan keringkan pada temperatur ($212 - 230$) °F selama 1 hari.
 - 7) Tentukan berat piknometer berisi air sesuai kapasitas kalibrasi pada temperatur (73.4 ± 30) °F dengan ketelitian 0.1 gram.

e. Perhitungan

$$\text{➤ Bulk Specific Gravity (SSD)} : \frac{500}{B + 500 - C} \quad (3.3)$$

$$\text{➤ Apparent Specific Gravity} : \frac{A}{B + A - C} \quad (3.4)$$

$$\text{➤ Presentase Absorpsi} : \frac{500 - A}{A} \times 100\% \quad (3.5)$$

Keterangan:

A = Berat (*gram*) dari benda uji *oven dry*.

B = Berat (*gram*) dari piknometer berisi air.

C = Berat (*gram*) dari piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi.

3.4.2.3. Analisa Saringan Agregat Halus (ASTM C-136-05 *Test Method for Sieve Analysis of Fine Aggregate*)

- a. Tujuan: Menentukan pembagian butir/gradasi agregat halus melalui metode pengayakan dengan menggunakan saringan
- b. Bahan Benda uji berupa agregat halus diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak:
 - Ukuran maksimum No.4; berat minimum 500 gram.
 - Ukuran maksimum No.8; berat minimum 100 gram.
- c. Peralatan
 - 1) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
 - 2) Satu set saringan: 76,2 mm [3"]; 63,5 mm [2½"]; 50,8 mm [2"]; 37,5 mm [1½"]; 25 mm [1"]; 19,1 mm [¾"]; 12,5 mm [½"]; 9,5 mm [¼"]; No.4; No.16; No.30; No.50; No.100; No.200 (Standar ASTM).
 - 3) Oven, yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - 4) Alat pemisah contoh (*sample splitter*).
 - 5) Mesin penggetar saringan.
 - 6) Talam-talam.
 - 7) Kuas, sikat kuning, sendok dan alat-alat lainnya.

d. Prosedur

- 1) Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
- 2) Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digetarkan dengan mesin penggetar selama 15 menit.

e. Perhitungan

Hitunglah presentase berat benda uji yang tertahan diatas masing-masing saringan terhadap berat total uji.

3.4.2.4. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200 (ASTM C-117-04 *Test Method for Materials Finer Than 75- μm*)

- a. Tujuan: untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan No.200 dengan cara pencucian.
- b. Bahan: Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum sesuai tabel dibawah ini :

Tabel 3. 4 Ukuran Agregat Kering Minimum

Ukuran Agregat Maksimum		Berat Contoh Agregat Kering Minimum
<i>mm</i>	<i>Inch.</i>	<i>Gram</i>
2,36	No. 8	100
1,18	No. 4	500
9,5	$\frac{1}{4}$	2000
19,1	$\frac{3}{4}$	2500
38,1	$1\frac{1}{2}$	5000

c. Peralatan

- 1) Saringan No.16 dan No.200.
- 2) Wadah pencucian benda uji berkapasitas cukup besar sehingga pada waktu diguncang-guncang, benda uji dan atau air pencuci tidak tumpah.
- 3) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- 4) Timbangan dengan ketelitian 0.1 % berat contoh.
- 5) Talam berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.

d. Persiapan benda uji

- Masukkan contoh agregat lebih kurang 25 kali berat benda uji ke dalam talam, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- Siapkan benda uji dengan berat (w_1) sesuai dengan tabel diatas.

e. Prosedur

- 1) Masukkan benda uji ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
- 2) Guncang-guncangkan wadah dan tuangkan air cucian ke dalam susunan saringan No.16 dan No.200. Pada waktu menuangkan air cucian, usahakan agar bahan-bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
- 3) Masukkan air pencuci baru, dan ulanglah pekerjaan No.2 sampai air cucian menjadi bersih.
- 4) Semua bahan yang tertahan No.16 dan No.200 kembalikan ke dalam wadah; kemudian masukkan seluruh bahan tersebut ke dalam talam yang telah diketahui beratnya (w_2) dan keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- 5) Setelah kering timbang dan catatlah beratnya (w_3).
- 6) Hitunglah berat bahan kering tersebut ($w_4 = w_3 - w_2$).

f. Perhitungan

$$\text{Jumlah bahan lewat saringan No.200} = \frac{w_1 - w_4}{w_1} \times 100\% \quad (3.6)$$

3.4.2.5. Pemeriksaan Kotoran Organik Dalam Agregat Halus (ASTM C40 – 04 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete)

- a. Tujuan: untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai bahan campuran mortar atau beton.
- b. Bahan: pasir 115ml (kira-kira 1/3 isi botol)
- c. Peralatan:
 - 1) Botol gelas tidak berwarna mempunyai tutup dari karet, gabus atau lainnya yang tidak larut dalam NaOH, dengan isi sekitar 350ml.
 - 2) Standar warna (*organic plate*)

3) Larutan NaOH

d. Prosedur

- 1) Masukkan benda uji ke dalam botol
- 2) Tambahkan larutan NaOH 3%. Setelah dikocok, isinya harus mencapai kira-kira $\frac{2}{3}$ isi botol
- 3) Tutup botol, lalu kocok lagi kuat-kuat dan biarkan selama 24 jam
- 4) Setelah 24 jam bandingkan warna cairan yang terlihat di atas benda uji dengan warna standar no.3

3.4.3. Pengujian Agregat Kasar

3.4.3.1. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Kasar (ASTM C-127-04 Test Method for Density, Specific Gravity, and Absorption of Coarse Aggregate)

- a. Tujuan: Menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127 guna menentukan volume agregat dalam beton.
- b. Peralatan
 - 1) Timbangan dengan ketelitian 0.5 *gram*, kapasitas minimum 5 *kg*.
 - 2) Panjang besi 8 *in* dan tinggi 2.5 *in*.
 - 3) Alat penggantung keranjang
 - 4) Oven
 - 5) Handuk
- c. Bahan: 11 liter agregat (SSD) diperoleh dari alat pemisah contoh atau alat perempatan. Bahan benda uji lewat saringan No.4 dibuang.
- d. Prosedur
 - 1) Benda uji direndam 24 jam.
 - 2) Benda uji digulung dengan handuk, sehingga air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab (kondisi SSD). Timbang.
 - 3) Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air $73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ dan ditimbang sebelum *container* diisi benda uji, digoyang-goyang dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.

4) Benda uji dikeringkan pada temperatur 212 – 230⁰F. Didinginkan dan ditimbang.

e. Perhitungan:

$$\text{➤ Bulk Specific Gravity (SSD)} : \frac{B}{B - C} \quad (3.7)$$

$$\text{➤ Apparent Specific Gravity} : \frac{A}{A - C} \quad (3.8)$$

$$\text{➤ Persentase Absorpsi} : \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad (3.9)$$

Keterangan:

A = Berat (*gram*) dari benda uji *oven-dry* di udara.

B = Berat (*gram*) dari benda uji pada kondisi SSD.

C = Berat (*gram*) dari benda uji pada kondisi jenuh.

3.5. PERANCANGAN CAMPURAN

Langkah-langkah perhitungan rancang campuran beton adalah sebagai berikut:

3.5.1. Perbandingan Campuran Beton

a. Konsep Perhitungan Campuran Beton

Perbandingan campuran bahan-bahan beton harus dipilih untuk mendapatkan beton yang paling ekonomis, sehingga dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia akan menghasilkan beton yang mempunyai *workability*, *durability*, dan *strength* seperti yang diinginkan. Tes-tes laboratorium adalah dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara komponen-komponen material beton seperti agregat, semen, air, dan *admixture* sehingga didapatkan kombinasi yang optimum, akan tetapi perbandingan yang terakhir harus ditentukan dengan cara coba-coba dan disesuaikan dengan keadaan di lapangan.

b. Metode Perhitungan Campuran Beton

Perbandingan campuran beton pada prinsipnya harus dicari dengan cara coba-coba. Tes-tes terhadap campuran beton sebelum pengecoran beton dilaksanakan tidak boleh dilakukan dengan menggunakan material-material yang betul-betul diambil dari material yang akan digunakan. Dan setelah didapatkan perbandingan campuran yang dianggap cocok

kemudian harus diselidiki dan disesuaikan dengan menggunakan *batching plant* yang sesungguhnya akan digunakan di lapangan.

3.5.2. Prosedur Perhitungan Campuran

a. Prosedur

Prosedur perhi2ungan campuran beton pada prinsipnya dilakukan dengan cara coba-coba, dan pada garis besarnya adalah sebagai berikut:

- 1) Tes terhadap material beton, untuk memeriksa apakah material tersebut memenuhi syarat spesifikasi atau tidak.
- 2) Menentukan ukuran butiran maksimum agregat kasar, *slump*, dan kandungan udara yang disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi dan pelaksanaan pekerjaan.
- 3) Menentukan *water-cement ratio* yang memenuhi *strength* dan *durability* yang diperlukan.
- 4) Menentukan perbandingan campuran dengan cara coba-coba di dalam *batch*, dengan jumlah air adukan dan presentase pasir terhadap agregat yang untuk sementara ditentukan.
- 5) Penyesuaian jumlah air adukan dan *admixture* untuk mendapatkan *slump* dan kandungan udara yang diperlukan.

b. Menentukan Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar

Ukuran butiran maksimum agregat kasar tidak boleh menyimpang dari ketentuan spesifikasi yang telah ditetapkan. Selama dalam batas-batas harga dan spesifikasi kemungkinan penggunaan agregat yang lebih besar adalah dibenarkan, akan tetapi hal ini akan menyebabkan berkurangnya air dan semen. Ukuran agregat maksimum yang akan digunakan untuk campuran beton untuk suatu konstruksi tertentu dapat ditentukan dengan menggunakan tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Ukuran Agregat Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam-Macam Tipe Konstruksi (US Bureau of Reclamation, 1975)

Dimensi Bagian Konstruksi [cm]	Ukuran agregat maksimum [mm] untuk:		
	Dinding balok; kolom bertulang	Slab dengan penulangan maksimum	Slab dengan Penulangan minimum
12,5	-	20-40	20-40
15-30	20-40	40	40-80
30-75	40-80	80	80-150
75	40-80	80	150

c. Menentukan *Slump*

Slump suatu beton adalah lebih baik ditentukan serendah-rendahnya tetapi masih dapat dikerjakan dengan baik. Semakin rendah *slump* akan semakin sedikit jumlah air yang diperlukan, ini berarti akan semakin tinggi *strength* beton yang dihasilkan. Untuk menentukan *slump* suatu beton yang akan digunakan untuk bermacam-macam konstruksi dapat ditentukan dengan tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Ukuran *Slump* Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam Tipe Konstruksi (US Bureau of Reclamation, 1975)

Jenis konstruksi	<i>Slump</i> maksimum [cm]
1. heavy mass concrete	5
2. canal lining dengan tabel >8cm	8
3. slap dan tunnel invert	5
4. walls, pier, parapet, dan curb	5
5. side walls, tunnel lining	10
6. konstruksi lainnya	8

d. Menentukan Jumlah Air Adukan, Kandungan Udara dan Persentase Pasir Terhadap Agregat

- 1) Banyaknya kandungan udara di dalam beton yang menggunakan *air-entraining admixture* umumnya berkisar antara 3% – 6% dari volume beton tergantung kepada ukuran agregat maksimum yang digunakan.
- 2) Untuk mendapatkan *strength* yang terbesar, *durability*, dan sifat-sifat lainnya yang dikehendaki dengan baik, beton harus dibuat menggunakan jumlah air adukan yang terkecil tetapi masih dapat

dikerjakan dengan baik. Jumlah air adukan (per meter kubik beton) yang diperlukan untuk membuat campuran beton dengan kekentalan yang dikehendaki dipengaruhi oleh ukuran agregat maksimum, bentuk partikel, dan gradasi dari agregat dan jumlah tambahan kandungan udara.

- 3) Harga-harga dari jumlah agregat kasar, jumlah air adukan, dan presentase pasir terhadap agregat yang diperlukan per meter kubik beton untuk bermacam-macam ukuran maksimum agregat kasar dapat menggunakan sebuah tabel.

e. Menentukan *Water-Cement Ratio*

Kualitas beton dapat diukur dari *workability*, *durability*, dan *strength* beton tersebut. Kualitas beton sebanding dengan jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton. Untuk mendapatkan kualitas beton yang diinginkan, jumlah semen yang diperlukan dapat dihitung dari *water-cement ratio* dan jumlah air adukan yang telah ditentukan. *Water-cement ratio* ini harus ditentukan dengan memperhitungkan *strength* dan *durability* beton yang diperlukan. Dalam memilih *water-cement ratio* berdasarkan kepada *compressive strength*, maka hubungan antara *water-cement ratio* dengan *compressive strength* (dalam umur 28 hari) pada prinsipnya harus ditentukan dengan tes-tes laboratorium.

Tabel 3. 7 Perbandingan Material Yang Digunakan Dalam Berbagai *Design Mix* (US Bureau of Reclamation, 1975)

Size of Agregate [mm]	Unit Coarse agregate Content by Volume [%]	Concrete without AE ad.			
		Entrapped Air [%]	Sand Percent S/A[%]	Water content W [kg]	Air Content [%]
15	53	2.5	49	190	7.0
20	61	2.0	45	185	6.0
25	66	1.5	41	175	5.0
40	72	1.2	36	165	4.5
50	75	1.0	33	155	4.0
80	81	0.5	31	140	3.5

Catatan:

- Harga-harga diatas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM = 2.8, dan *slump* beton dalam *mixer* 8cm.
- Penyesuaian harga-harga di atas untuk kondisi yang lain dengan menggunakan tabel 3.6.

Tabel 3. 8 Penyesuaian Harga Perbandingan Material (US Bureau of Reclamation, 1975)

Change in material or proportion		Correction on s/a and w	
		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	Each 1 % increase or decrease in air content	$\pm 0.5 \sim 1$	± 3 %
4	Using crushed coarse aggregate	$\pm 3 \sim 5$	$\pm 9 \sim 15$
5	Using crushed coarse sand	$\pm 2 \sim 3$	$\pm 6 \sim 9$
6	Each 0.05 increase or decrease in water-cement ratio	± 4	No correction
7	Each 1 % increase or decrease in S/A	No correction	± 1.5

Tabel 3. 9 Harga-harga Compressive Strength Minimum Rata-Rata Dari Beton Untuk Berbagai-bagai Harga Water-Cement Ratio (US Bureau of Reclamation, 1975)

Water-cement ratio (w/c)	Compressive strength pada umur 28 hari [kg/cm ²]	
	Beton dengan A.E saja	Beton dengan A.E+W.R.A
0.40	400	450
0.45	340	390
0.50	290	340
0.55	250	290
0.60	220	250
0.65	180	220
0.70	150	190

f. Target Strength

Target *strength* adalah suatu *strength* beton yang harus dicapai oleh beton (biasanya dalam umur 28 hari) yang digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan perbandingan campuran beton. Target *strength* ini pada umumnya ditentukan dengan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut:

- *Standard Design Strength*
- Macam-macam kualitas beton yang mungkin dihasilkan di lapangan.
- Kepentingan/kegunaan dari pada struktur.

Compressive strength beton yang telah dipasang dalam konstruksi harus mempunyai koefisien variasi yang tidak boleh lebih dari 15%. Koefisien

variasi adalah koefisien yang menentukan variasi *compressive strength* beton yang dihasilkan oleh beberapa silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama. Besarnya harga koefisien variasi ini berkisar antara 5% - 25%, dan ini sangat tergantung pada:

- Keadaan cuaca pada waktu produksi, sifat-sifat fisik agregat dan semen.
- Perubahan dari pada sifat-sifat fisik agregat dan semen.
- Perubahan dari pada gradasi agregat.
- Ketelitian dan keterampilan pada pekerja pada waktu pencampuran dan pengecoran. Semakin tinggi ketelitian dan keterampilan maka akan semakin kecil harga koefisien variasi yang dapat ditentukan.

Hubungan antara target *strength* dan *standard design strength* ditentukan dengan rumus berikut:

$$\sigma_{ts} = \frac{\sigma_{ds}}{1 - t.v} \quad (3.10)$$

dimana:

σ_{ts} = Target *strength*

σ_{ds} = *Standard design strength*

t = Konstanta

v = *Coefficient of variation*

Harga dari $1/(1 - t.v)$ dinamakan "*Increament Coeffecien*". Harga t ditentukan oleh banyaknya silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama akan mencapai *compressive strength* di atas *standard design strength*. Biasanya 75% atau lebih silinder tes akan mencapai *compressive strength* di atas *standard design strength*. Lihat tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Target Strength

Persentase target <i>strength</i> yang lebih besar dari <i>design strength</i>	t
75 %	0.703
80 %	0.883
85 %	1.100

g. Penentuan Perbandingan Campuran Sebenarnya

Penentuan perbandingan campuran sebenarnya harus ditentukan dengan melakukan tes-tes campuran di *batching plant* dengan cara coba-coba, sehingga diperoleh perbandingan campuran beton yang mempunyai sifat-sifat sesuai dengan *compressive strength* dan *workability* yang diinginkan.

Penyesuaian perbandingan campuran ini harus memperhatikan faktor-faktor berikut:

- Gradasi dari agregat halus (pasir)
- *Surface moisture content* dari agregat halus
- *Slump* dan kandungan udara yang diperlukan

3.6. PEMBUATAN BENDA UJI

Pada pembuatan benda uji ini akan dibuat (ACI 544.2R - 89 / minimal 3 buah benda uji untuk setiap pengujian) :

- Benda Uji Silinder diameter 15 cm & tinggi 30 cm, untuk uji kuat tarik.
- Benda Uji Balok 15 cm x 15 cm x 60 cm, untuk uji kuat tarik lentur.

Prosedur:

a. Persiapan Cetakan:

- 1) Satu hari sebelum pembuatan beton, keluarkan cetakan yang akan digunakan untuk pencetakan.
- 2) Minyak cetakan dengan oli atau gemuk, agar memudahkan saat cetakan dibuka.

b. Pengadukan (dengan mesin pengaduk):

- 1) Masukkan agregat kasar dan air pencampur sebanyak 30 % sampai 40 % ke dalam pengaduk (seperti yang terlihat pada gambar 1). Jalankan mesin pengaduk, masukkan agregat halus semen dan sisa air pencampur. Setelah semua bahan campuran beton dimasukkan ke dalam pengaduk, biarkan adukan beton selama 3 menit (gambar 2).
- 2) Ambillah tutup pengaduk dan jalankan mesin pengaduk selama 2 menit. Tuangkan beton ke dalam talam dan aduklah lagi dengan sekop merata (gambar 3).

- 3) Tentukan *slump*. Apabila *slump* yang didapat tidak sesuai dengan yang dikehendaki, ulangi pekerjaan dengan menambah atau mengurangi agregat sampai mendapat *slump* yang dikehendaki. Kemudian tentukan berat isi.
- 4) Isilah cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap – tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Pada saat pemadatan lapisan kedua serta ketiga, tongkat pemadat tidak boleh masuk kira – kira 25.4 mm ke dalam lapisan di bawahnya. Setelah selesai melakukan pemadatan, ketuklah sisi cetakan perlahan – lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup.
- 5) Ratakan permukaan beton dan tutuplah segera dengan bahan kedap air serta tahan karat. Kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji.

c. Perawatan Benda Uji:

Sesudah pelaksanaan pembuatan benda uji, maka dilakukan perawatan benda uji dengan ketentuan ASTM C 31- 91. Pembongkaran benda uji dilakukan dalam waktu ± 24 jam sesudah pembuatan yang selanjutnya dilakukan perendaman di dalam air rendaman. Adapun kondisi perendaman harus seluruh bagian dari benda uji terendam dengan baik.

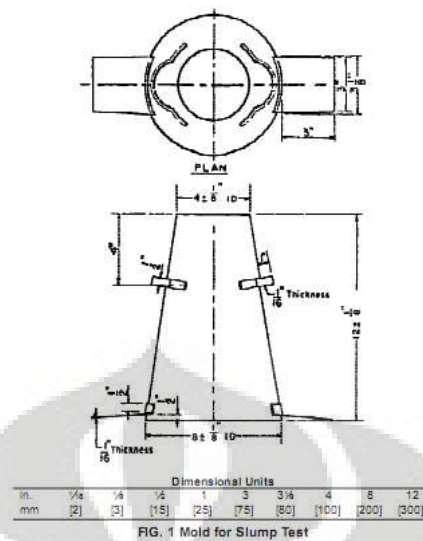
Pada penelitian ini langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Pembongkaran benda uji dilakukan ± 24 jam setelah pengecoran.
- 2) Perendaman di dalam bak rendaman Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Sipil FTUI dilakukan segera setelah pembongkaran. Untuk pengujian kuat tarik, untuk masing-masing variasi rasio air-semen benda uji direndam selama 7 hari dan 28 hari. Sedangkan untuk pengujian kuat tarik lentur, benda uji direndam selama 28 hari.
- 3) Benda uji diangkat dari bak perendaman sehari sebelum hari pengujian.

3.7. PENGUJIAN BETON SEGAR

3.7.1. Percobaan Slump Beton (*ASTM C 143/C 143M – 003 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*)

- a. Tujuan: untuk menentukan slump beton. Slump merupakan ukuran kekentalan / plastisitas dan kohesif dari beton segar.
- b. Peralatan:
 - 1) Cetakan berupa kerucut terpancung dengan diameter bagian bawah 20 cm, bagian atas 10 cm dan tinggi 30 cm. Bagian bawah dan atas cetakan terbuka.
 - 2) Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 60 cm, ujung dibulatkan dan sebaiknya dibuatkan dari baja tahan karat.
 - 3) Pelat logam dengan permukaan yang kokoh rata dan kedap air.
 - 4) Sendok cekung.
 - 5) Mistar ukur.
- c. Prosedur:
 - 1) Cetakan dan pelat dibasahi dengan kain basah
 - 2) Letakkan cetakan di atas pelat
 - 3) Isilah cetakan sampai penuh dengan beton muda dalam 3 lapis, tiap lapis berisi kira – kira $\frac{1}{3}$ isi cetakan. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata. Pada pemadatan, tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap – tiap lapisan.
 - a) Pada lapisan pertama penusukan bagian tepi, tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan cetakan.
 - 4) Segera setelah selesai pemadatan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat; tunggu selama setengah menit dan dalam jangka waktu ini semua benda uji yang jatuh disekitar cetakan harus disingkirkan.
 - 5) Kemudian cetakan diangkat perlahan – lahan tegak lurus keatas.
 - 6) Baliklah cetakan dan letakkan perlahan – lahan disamping benda uji.
 - 7) Ukurlah slump yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata – rata benda uji.



Gambar 3. 2 Mold untuk Slump Test

3.8. PENGUJIAN BENDA UJI

3.8.1. PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH

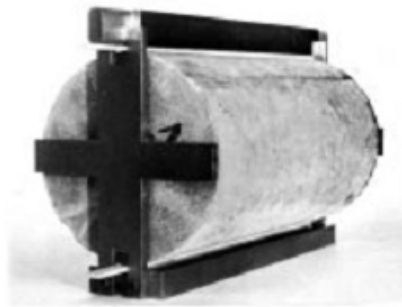
Pengujian ini dilakukan mengacu pada ASTM C 496 / C 496M-04 dengan metode *Splitting Test* (Pengujian Tarik Belah Beton Silinder). Adapun tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui *splitting tensile strength*, yaitu kuat tarik belah dari spesimen beton silinder yang mengeras dengan umur 7 hari dan 28 hari. Benda uji silinder beton memiliki ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Peralatan:

- Mesin tekan, kapasitas sesuai kebutuhan.
- *Supplementary bearing plate*, yang berfungsi sebagai pengunci spesimen silinder yang menyebabkan beban (P) tersalurkan disepanjang daerah tinggi dari silinder.
- *Bearing strips*, diperlukan 2 batang dalam sekali pengujian *splitting test* dengan ketebalan 3,2 mm (1/8 in).

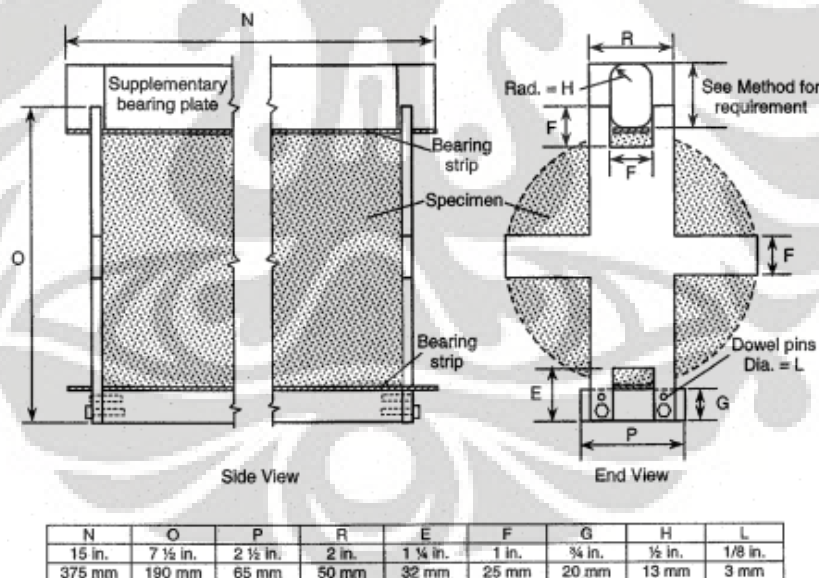
Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a. Timbang benda uji serta ukur panjang dan diameternya.
- b. Siapkan alat perlengkapan pengujian tarik dan (*splitting test*) berupa pelat dasar yang tebal dan dilengkapi dengan alat untuk menahan benda uji (*Supplementary bearing plate*).



Gambar 3. 3 Pemasangan posisi silinder beton dengan *bearing strips* yang tepat (ASTM C 496 / C 496M-04)

- c. Letakkan benda uji secara mendatar sejajar dengan meja mesin tekan, pasang pada bagian dasar atas dan bawah benda uji dengan bantalan penekan berupa *bearing strips*. Atur posisinya agar tepat sejajar pada bagian dasar atas dan bawah.
- d. Atur kembali posisi silinder yang telah dilengkapi *supplementary bearing plate* hingga tepat ditengah-tengah dan tegak lurus terhadap mesin tekan.
- e. Lakukan pembebanan sampai benda uji terbelah menjadi dua bagian. Catat beban maksimum.



Gambar 3. 4 Detail Perencanaan pemasangan silinder beton yang sesuai (ASTM C 496 / C 496M-04)



Gambar 3. 5 Posisi spesimen silinder dalam mesin tekan untuk menentukan *Splitting Tensile Strength*

3.8.2. PENGUJIAN KUAT TARIK LENTUR

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading*. Umur pengujiannya adalah 28 hari. Adapun tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat tarik lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah balok pada beton yang mengeras dengan umur 28 hari. Benda uji balok beton ukuran $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$.

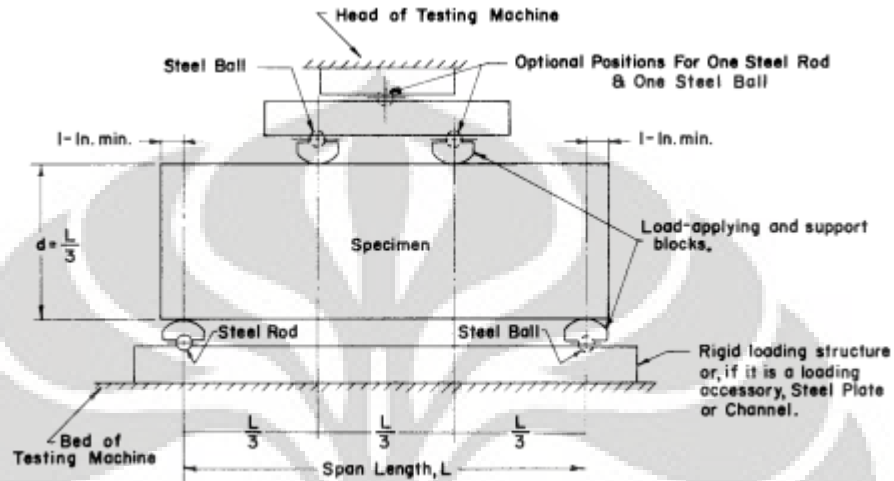
Peralatan:

- Mesin Uji Tarik Lentur (*Flexural Strength Testing Machine*) Beton dengan kapasitas 100 kN yang terdapat di Laboratorium Bahan dan Struktur Univeritas Indonesia
- *Beam mold* $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$

Prosedur:

- a. Benda uji balok yang sudah mengalami proses perawatan dan pengeringan disiapkan, diukur dimensinya (juga untuk mengetahui balok tersebut memenuhi persyaratan keseragaman sampel).
- b. Tentukan panjang bentang yaitu tiga kali tinggi balok pada posisi simetris memanjang dan mengatur posisi roda baja bagian bawah untuk meletakkan benda uji.

- c. Balok diletakkan di kedua perletakan mesin uji tarik lentur secara simetris dan diberi beban garis sejarak $\frac{1}{3}$ bagian dari perletakan secara simetris.
- d. Hidupkan mesin dan berikan beban secara tetap dan berkesinambungan tanpa ada beban kejut sampai keruntuhan terjadi.
- e. Besar beban maksimum yang terjadi catat untuk perhitungan.



Gambar 3. 6 Pengujian kuat tarik lentur pada balok uji dengan metode *Third-Point Loading* (ASTM C 78 - 94)

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS PERCOBAAN

4.1. KONDISI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama dan tahap kedua. Pada hasil penelitian tahap pertama terjadi suatu kesalahan pada pengujian kuat tarik lentur karena pemakaian cetakan sampel yang tidak seragam sehingga hasil pengolahan data yang diperoleh tidak dapat di analisis dengan pendekatan terhadap landasan teori yang ada. Hal ini akan dijelaskan berikutnya pada analisis pengujian lentur tahap pertama. Sedangkan untuk pengujian tarik belah tahap pertama sampel yang digunakan kurang banyak sehingga hasil pengolahan data yang diperoleh kurang akurat. Oleh karena itu, segala macam kekurangan yang terjadi pada penelitian tahap pertama akan diperbaiki pada penelitian tahap kedua, diantaranya pengujian ulang untuk kuat tarik lentur dan juga penambahan sampel untuk pengujian kuat tarik belah.

Pada tahap pertama material yang digunakan telah habis terpakai, maka pada penelitian tahap kedua dilakukan pengambilan material kembali pada sumber yang sama. Untuk memperoleh data-data yang akurat pada penelitian tahap kedua, dilakukan beberapa pengujian ulang terhadap material penyusun beton terutama pada agregat kasar dan halus. Hal ini dilakukan karena saat pengambilan material tahap kedua dilakukan pada waktu dan lokasi yang berbeda dengan tahap pertama. Jadi dapat dikatakan bahwa material pada tahap kedua memiliki properti material yang berbeda dengan tahap pertama walaupun dalam jenis agregat kasar dan agregat halus yang sama.

Kemudian untuk analisa hasil uji tarik belah beton dan hasil uji tarik lentur beton, data untuk analisis awal yang digunakan adalah hasil pengujian tahap satu. Analisa hasil pengujian tahap satu ini hanya untuk sementara waktu saja. Analisis akhir terhadap hasil uji tarik belah beton dan analisa hasil uji tarik lentur beton akan dilengkapi setelah pengujian pada tahap kedua selesai, dengan penggabungan data antara pengujian tahap pertama dengan tahap kedua (kecuali untuk hasil analisis lentur yang digunakan adalah hasil data tahap kedua).

4.2. ANALISA HASIL PENGUJIAN BAHAN BAKU PENELITIAN

4.2.1. Pengujian Terhadap Semen

Pengujian dilakukan pada 2 jenis semen, yaitu semen putih (*White Portland Cement*) dan semen abu-abu (*Portland Composite Cement*). Pengujian yang dilakukan meliputi berat jenis, konsistensi normal dan waktu ikat dari semen.

4.2.1.1. Pemeriksaan berat jenis semen

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C188 – 95 (2003) tentang *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. Pemeriksaan yang dilakukan untuk masing-masing jenis semen sebanyak dua sampel. Dari hasil percobaan terhadap semen putih (*White Portland Cement*) dan semen abu-abu (*Portland Composite Cement*) diperoleh berat jenis sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC)

Jenis Semen	Berat Jenis (gr/cm ³)		
	Sampel I	Sampel II	Rata-rata
semen putih (<i>White Portland Cement</i>)	3.03	3.05	3.04
semen abu-abu (<i>Portland Composite Cement</i>)	3.24	2.77	3.01

Dari tabel 4.1 diatas, dapat diketahui bahwa hasil percobaan untuk nilai berat jenis dari semen putih (*White Portland Cement*) lebih besar dibandingkan nilai berat jenis dari semen abu-abu (*Portland Composite Cement*).

Untuk mengetahui hasil pemeriksaan berat jenis semen agar lebih akurat maka dilakukan pemeriksaan ulang dengan jumlah sampel sebanyak tiga sampel untuk masing-masing semen. Dengan catatan, data hasil dari pemeriksaan ini tidak digunakan sebagai data perhitungan rancang campur beton pada tahap pertama dan kedua karena pada kedua tahapan tersebut telah digunakan data dari pemeriksaan berat jenis tahap pertama. Data hasil pemeriksaan ini hanya digunakan untuk membandingkan nilainya dengan standar literatur yang ada mengenai berat jenis semen putih (*White Portland Cement*) dan semen abu-abu (*Portland Composite Cement*).

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC)

Jenis Semen	Berat Jenis (gr/cm ³)			
	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Rata-rata
semen putih (<i>White Portland Cement</i>)	3.12	3.08	3.14	3.11
semen abu-abu (<i>Portland Composite Cement</i>)	3.11	3.13	3.14	3.13

Dari tabel 4.2 diatas, dapat diketahui bahwa hasil percobaan untuk nilai berat jenis dari semen putih (*White Portland Cement*) lebih besar dibandingkan nilai berat jenis dari semen abu-abu (*Portland Composite Cement*). Hal ini hampir sesuai dengan acuan literatur yang ada, karena umumnya semen abu-abu (*Portland Composite Cement*) memiliki berat jenis 3,15 sedangkan untuk berat jenis semen putih (*White Portland Cement*) adalah sekitar 3,05-3,10 (Neville, Adam M., 1988).

4.2.1.1. Penentuan Konsistensi Normal Semen Hidrolis

Dari hasil pengujian diperoleh, jumlah air dibutuhkan untuk mencapai konsistensi normal dari semen putih (*White Portland Cement*) adalah sebanyak 134 ml dengan massa semen 500 gr. Sedangkan untuk konsistensi dari semen abu-abu (*Portland Composite Cement*) adalah sebanyak 136 ml dengan massa semen 500 gr. Dengan perbandingan kadar air sebesar 26,80 % untuk semen putih dan sebesar 27,20 % untuk semen abu-abu.

Tabel 4. 3 Konsistensi Normal dari semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC)

Tippe Semen	Air (cc)	Semen (gr)	Kadar Air (%)	Kedalaman Jarum (mm)	Memenuhi 10 ± 1
Semen putih (<i>White Portland Cement</i>)	133	500	26,6	8	Gagal
	134	500	26,8	10	Ya
	145	500	29	20	Gagal
Semen abu-abu (<i>Portland Composite Cement</i>)	136	500	27,2	10	Ya

Dari hasil perbandingan kadar air pada tabel 4.3, maka dapat disimpulkan bahwa semen putih membutuhkan air yang lebih sedikit untuk mencapai konsistensi normal. Konsistensi normal pada semen sangat dipengaruhi oleh presentase kehalusan semen serta komposisi senyawa kimia penyusun semen yang mempengaruhi kecepatan semen berhidrasi dengan air.

4.2.1.2. Penentuan Waktu Ikat Semen Hidrolis

Pengujian ini dilakukan untuk mencari waktu pengikatan semen hidrolis (dalam keadaan konsistensi normal) dengan alat vicat. Prosedur yang dilakukan telah sesuai dengan ASTM C 191 – 99 tentang *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. Berikut ini adalah hasil pengujian waktu ikat pada semen putih dan semen abu-abu:

Tabel 4. 4 Waktu Ikat dari semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC)

Semen putih (<i>White Portland Cement</i>)			Semen abu-abu (<i>Portland Composite Cement</i>)		
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		25 °C	Suhu Udara		25 °C
Waktu Pengukuran Permulaan		51.33 menit	Waktu Pengukuran Permulaan		56.92 menit

Dari data tabel 4.4 di atas, terlihat bahwa semen putih memiliki waktu pengikatan dan pengerasan yang lebih cepat dibanding dengan semen abu-abu. Hal ini terjadi karena akibat pengaruh faktor yang sama pada pengujian konsistensi normal yaitu kehalusan semen dan komposisi senyawa kimia penyusun semen yang mempengaruhi kecepatan semen berhidrasi dengan air.

4.2.2. Pengujian Terhadap Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan meliputi pemeriksaan berat isi, analisa *specific gravity & absorpsi*, analisa saringan dan pemeriksaan kotoran organik (*Organic Impurities*) pada sampel agregat halus sesuai dengan ASTM C-128. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir putih yang berasal dari daerah Bangka.

4.2.2.1. Berat Isi Agregat Halus

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat isi dalam agregat halus. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi. Percobaan dilakukan berdasarkan 3 cara pengujian yang kerja berbeda untuk memperoleh berat isi agregat halus yang hasilnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 4. 5 Berat Isi dalam Agregat Halus

Metode Penentuan Berat Isi	Berat Isi Agregat (kg/dm^3)
Cara Lepas	1,546
Cara Penusukan	1,701
Cara Penggoyangan	1,750

Nilai berat isi yang digunakan adalah berat isi dengan cara penusukan sebesar $1,701 kg/dm^3$ dengan *void* 34,09%. Nilai *void* memenuhi batasan 30-50%.

4.2.2.2. Analisa *Specific Gravity* & Absorpsi

Percobaan ini dilakukan untuk memperoleh nilai berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*), berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) dan penyerapan (absorpsi) dari agregat halus.

Pada penelitian tahap pertama untuk data perhitungan rancang campur awal, diperoleh data-data sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus Tahap Pertama

Uraian	I	II	Rata-Rata	Satuan
Berat benda uji <i>oven dry</i>	493	493	493	<i>gr</i>
Berat piknometer berisi air	667	668	667,5	<i>gr</i>
Berat piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi	974	976	975	<i>gr</i>
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	%

Sedangkan untuk pemeriksaan material agregat halus tahap kedua diperoleh data-data sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus Tahap Kedua

Uraian	I	II	Rata-Rata	Satuan
Berat benda uji <i>oven dry</i>	474	476	475	gr
Berat piknometer berisi air	667	659	663	gr
Berat piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi	963	955	959	gr
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	2.32	2.33	2.33	gr/cm ³
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)	2.45	2.45	2.45	gr/cm ³
Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2.66	2.64	2.65	gr/cm ³
penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	5.49	5.04	5.26	%

Jika dibandingkan dari tabel 4.6 dengan tabel 4.7 diperoleh hasil yang berbeda terutama pada berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) dan penyerapan (*Absorpsi*). Dimana nilai berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) pada penelitian kedua dengan nilai **2,45** lebih kecil dibandingkan dengan penelitian pertama dengan nilai **2,56**. Sehingga menyebabkan jumlah kebutuhan perhitungan untuk rancang campur beton menjadi berbeda, dengan kata lain tidak memiliki jumlah komposisi yang sama. Sedangkan untuk nilai penyerapan (*Absorpsi*) memiliki perbandingan yang cukup jauh yaitu pada penelitian pertama memiliki nilai sebesar **1,42 %** dan pada penelitian kedua memiliki nilai yang lebih besar yaitu **5,26 %**.

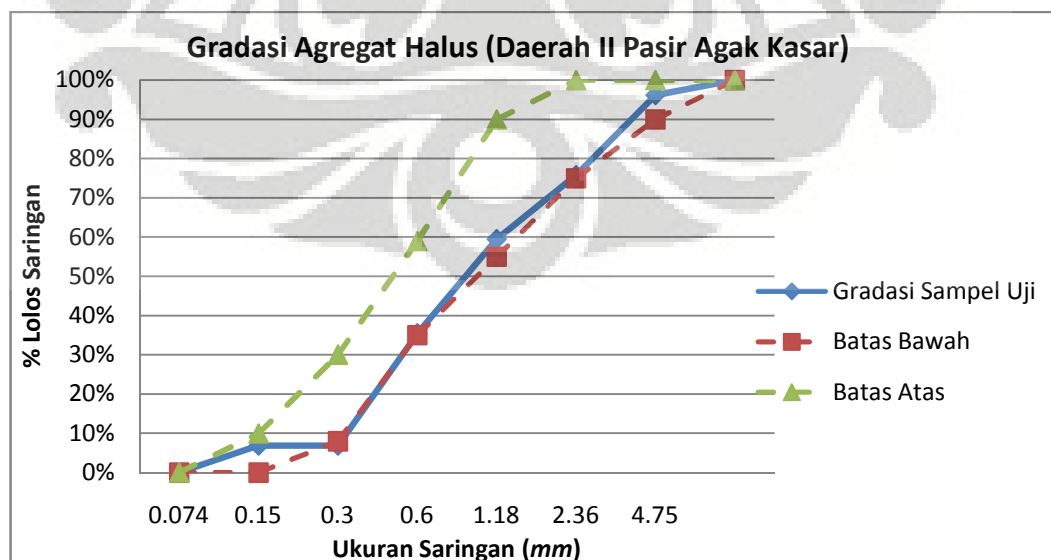
4.2.2.3. Analisa Saringan Agregat Halus

Dari hasil penelitian *sieve analysis* di laboratorium, pada material agregat halus yang pertama memiliki nilai FM sebesar 2,26. Presentase pasir yang lolos tiap saringan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4. 8 Presentase Agregat Halus yang Lolos Tiap Saringan pada Tahap Pertama

No. Sieve	Sieve Ret (mm)	Sample No.1			Sample No.2			AVERAGE	
		Weight Ret (gr)	Ind % Ret	Cum % Ret	Weight Ret (gr)	Ind % Ret	Cum % Ret	Ind % Ret	Cum % Ret
4	4.75	0	0.0%	0.0%	0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8	2.36	30	6.0%	6.0%	8	1.6%	1.6%	3.8%	3.8%
16	1.18	116	23.2%	29.2%	88	17.6%	19.2%	20.4%	24.2%
30	0.6	89	17.8%	47.0%	74	14.8%	34.0%	16.3%	40.5%
50	0.3	117	23.4%	70.4%	124	24.8%	58.8%	24.1%	64.6%
100	0.15	123	24.6%	95.0%	162	32.4%	91.2%	28.5%	93.1%
200	0.074	0	0.0%	95.0%	0	0.0%	91.2%	0.0%	93.1%
pan	0	25	5.0%	100.0%	44	8.8%	100.0%	6.9%	100.0%
Total			100%			100%		100%	
FM (Finess Modulus)		2.48			2.05			2.26	

Pada tabel 4.8, hasil yang diperoleh untuk pemeriksaan analisa saringan agregat halus yang pertama dapat dikategorikan pasir jenis agak kasar atau pasir jenis gradasi II yang sesuai dengan jumlah presentase lolos saringan, berikut ini adalah gambar hasil pemeriksaan pasir putih Bangka yang kemudian dibandingkan dengan standar batas atas dan batas bawah pada pasir jenis gradasi II.



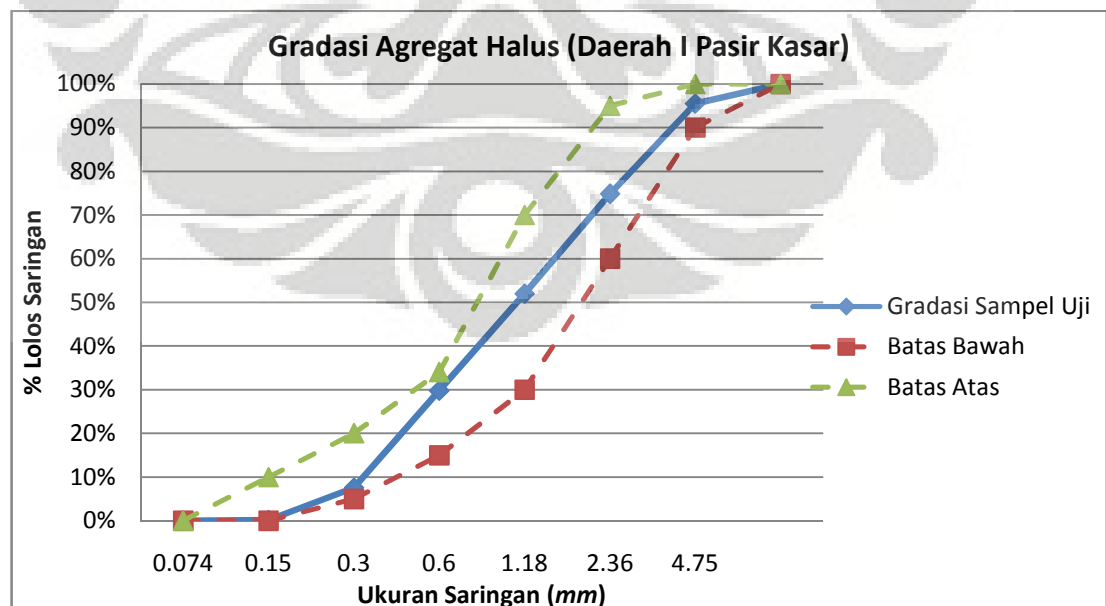
Gambar 4. 1 Daerah Gradasi II (Pasir Agak Kasar)

Pada material agregat halus tahap kedua memiliki nilai FM sebesar 2,40. Presentase pasir yang lolos tiap saringan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 9 Presentase Agregat Halus yang Lolos Tiap Saringan pada Tahap Kedua

No. Sieve	Sieve Ret (mm)	Sample No.1			Sample No.2			AVERAGE	
		Weight Ret (gr)	Ind % Ret	Cum % Ret	Weight Ret (gr)	Ind % Ret	Cum % Ret	Ind % Ret	Cum % Ret
4	4.75	0	0.0%	0.0%	0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8	2.36	26	5.2%	5.2%	19	3.8%	3.8%	4.5%	4.5%
16	1.18	109	21.8%	27.0%	98	19.6%	23.4%	20.7%	25.2%
30	0.6	113	22.6%	49.6%	115	23.0%	46.4%	22.8%	48.0%
50	0.3	108	21.6%	71.2%	114	22.8%	69.2%	22.2%	70.2%
100	0.15	107	21.4%	92.6%	115	23.0%	92.2%	22.2%	92.4%
200	0.074	36	7.2%	99.8%	38	7.6%	99.8%	7.4%	99.8%
pan	0	1	0.2%	100.0%	1	0.2%	100.0%	0.2%	100.0%
Total			100%			100%		100%	
FM (Finess Modulus)		2.46			2.35			2.40	

Pada tabel 4.9, hasil yang diperoleh untuk pemeriksaan analisa saringan agregat halus yang kedua ini dapat dikategorikan pasir jenis kasar atau pasir jenis gradasi I sesuai dengan jumlah presentase lolos saringan, berikut ini adalah gambar hasil pemeriksaan pasir putih Bangka yang kemudian dibandingkan dengan standar batas atas dan batas bawah pada pasir jenis gradasi I.



Gambar 4. 2 Daerah Gradasi I (Pasir Kasar)

Berdasarkan ASTM 33-78 nilai FM yang baik adalah berkisar antara 2,2 – 3,1. Maka nilai FM pada pemeriksaan material agregat halus yang pertama dan kedua memenuhi kriteria persyaratan.

4.2.2.4. Pemeriksaan bahan Lewat Saringan No.200

Pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat halus menggunakan saringan No.16 dan No.200 dengan cara pencucian. Dari hasil percobaan ini diperoleh presentase kadar lumpur pada agregat halus sebesar 1,6 %. Kandungan bahan-bahan halus yang diizinkan pada agregat halus memiliki kisaran antara 0,2 - 6% pada ASTM C-117. Maka dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan.

Lempung atau bahan-bahan halus lainnya, misalnya silt atau debu pecahan batu, yang terdapat pada lapisan permukaan agregat, akan menghalangi rekatan antara permukaan agregat dan pasta semen. Jika daya rekat antara permukaan butir agregat dan pasta semen berkurang, maka kekuatan beton dan daya tahan beton terhadap rembesan air berkurang pula.

4.2.2.5. Kotoran Organik (*Organic Impurities*)

Dari pemeriksaan kadar organik pada tahap I yang telah dilakukan terhadap agregat halus diperoleh warna yang cukup gelap (pekat) yang sesuai dengan warna pada No.4 yang lebih gelap dibandingkan warna standar (No.3). Sehingga agregat halus memiliki kandungan organik yang cukup tinggi.



Gambar 4. 3 Kadar Organik dalam Agregat Halus Tahap Pertama

Sebelumnya agregat halus yang digunakan untuk pemeriksaan ini dilakukan pencucian terlebih dahulu, kemudian dilakukan pemeriksaan sebanyak 4 sampel agregat halus. Dari hasil pemeriksaan 4 sampel tersebut

diperoleh hasil yang sama yaitu warna No.4. Hal ini disebabkan karena kadar organik telah melekat pada agregat halus sulit dihilangkan walaupun telah dilakukan pencucian berulang-ulang.

Sedangkan kadar organik pada tahap II yang telah dilakukan terhadap agregat halus diperoleh warna yang agak terang sesuai dengan warna standar (No.3). Sehingga agregat halus memiliki kandungan organik yang rendah.



Gambar 4. 4 Kadar Organik dalam Agregat Halus Tahap Kedua

Terdapat perbedaan yang terjadi pada tahap I dan tahap II, pasir yang dipergunakan pada tahap II mengandung humus (serbuk-serbuk akar) yang lebih sedikit dibandingkan tahap I sehingga menyebabkan kadar organik pada tahap II agak rendah dibandingkan tahap I.

Kandungan zat organik ini mengganggu reaksi kimia dalam proses hidrasi antara air dan semen. Kandungan zat organik umumnya terdiri dari tumbuh-tumbuhan yang telah busuk dan muncul dalam bentuk humus. Hal ini dapat ditemukan dalam agregat halus yang digunakan memiliki banyak sekali serbuk-serbuk akar yang telah membusuk yang berwarna kehitaman.

4.2.3. Pengujian Terhadap Agregat Kasar

4.2.3.1. Berat Isi Agregat Kasar

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat isi agregat kasar. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi. Percobaan dilakukan berdasarkan 3 cara pengujian yang kerja berbeda untuk memperoleh berat isi agregat kasar yang hasilnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 4. 10 Berat Isi Agregat Kasar

Metode Penentuan Berat Isi	Berat Isi Agregat (kg/dm^3)
Cara Lepas	1,3817
Cara Penusukan	1,5273
Cara Penggoyangan	1,4895

Nilai berat isi yang digunakan adalah berat isi dengan cara penusukan sebesar $1,5273 \text{ kg/dm}^3$ dengan *void* 40,36 %. Nilai *void* memenuhi batasan 30-50%.

4.2.3.1. Analisa *Specific Gravity* & Absorpsi

Percobaan ini dilakukan untuk memperoleh nilai berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*), berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) dan penyerapan (absorpsi) dari agregat kasar.

Pada penelitian yang pertama untuk data perhitungan rancang campur awal, diperoleh data-data sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Penelitian Pertama

Uraian	I	II	Rata-Rata	Satuan
Berat benda uji <i>oven dry</i>	4865	4864	4864.5	<i>gr</i>
Berat benda uji pada kondisi SSD	5000	5000	5000	<i>gr</i>
Berat benda uji pada kondisi jenuh	3060	3062	3061	<i>gr</i>
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	2.51	2.51	2.51	gr/cm^3
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)	2.58	2.58	2.58	gr/cm^3
Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2.70	2.70	2.70	gr/cm^3
penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	2.77	2.80	2.79	%

Sedangkan untuk pemeriksaan material agregat kasar tahap kedua diperoleh data-data sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Data Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Penelitian Kedua

Uraian	I	II	III	Rata-Rata	Satuan
Berat benda uji <i>oven dry</i>	4842	4845	4865	4851	<i>gr</i>
Berat benda uji pada kondisi <i>SSD</i>	5000	5000	5000	5000	<i>gr</i>
Berat benda uji pada kondisi jenuh	3069	3071	3071	3070	<i>gr</i>
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	2.51	2.51	2.52	2.51	<i>gr/cm³</i>
Berat jenis jenuh kering permukaan (<i>SSD</i>)	2.59	2.59	2.59	2.59	<i>gr/cm³</i>
Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2.73	2.73	2.71	2.72	<i>gr/cm³</i>
penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	3.26	3.20	2.77	3.08	%

Jika dibandingkan dari tabel 4.11 dengan tabel 4.12 diperoleh hasil yang hampir sama terutama pada berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) namun untuk nilai penyerapan (*Absorpsi*) diperoleh hasil yang agak berbeda. Dimana nilai berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) pada penelitian pertama dengan nilai **2,59** hampir mendekati nilai berat jenis curah pada penelitian kedua yaitu dengan nilai **2,58**. Sedangkan untuk nilai penyerapan (*Absorpsi*) memiliki perbandingan yang cukup jauh, pada penelitian pertama memiliki nilai sebesar **2,79 %** dan pada penelitian kedua memiliki nilai yang lebih besar yaitu **3,08 %**. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas beton yang dihasilkan karena semakin besar kemampuan agregat kasar menyerap kandungan air akan mengurangi ketahanan beton. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 4 % (ASTM C-127).

4.3. RANCANG CAMPUR

Metode rancang campur yang digunakan adalah modifikasi cara *US Bureau of Reclamation* yang dikembangkan oleh JSCE (*Japan Society of Civil Engineer*). Berikut ini adalah tabel yang berisikan hasil perhitungan rancang campuran untuk masing-masing nilai faktor air semen dalam jumlah kebutuhan per meter kubik (m^3).

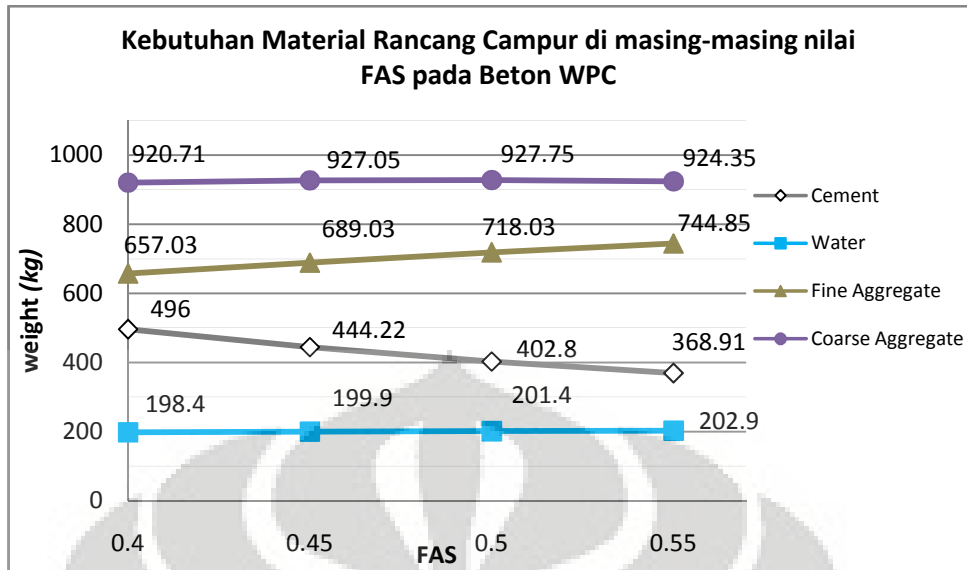
Tabel 4. 13 Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton WPC

No.	Materials	FAS 0,4		FAS 0,45		FAS 0,5		FAS 0,55	
		Weight (kg)	Volume (%)	Weight (kg)	Volume (%)	Weight (kg)	Volume (%)	Weight (kg)	Volume (%)
1	<i>Cement</i>	496.00	0.163	444.22	0.146	402.80	0.132	368.91	0.121
2	<i>Water</i>	198.40	0.198	199.90	0.200	201.40	0.201	202.90	0.203
3	<i>Fine Aggregate</i>	657.03	0.268	689.03	0.281	718.03	0.293	744.85	0.304
4	<i>Coarse Aggregate</i>	920.71	0.355	927.05	0.358	927.75	0.358	924.35	0.357
5	<i>Entrapped air</i>	-	0.015	-	0,015	-	0,015	-	0,015

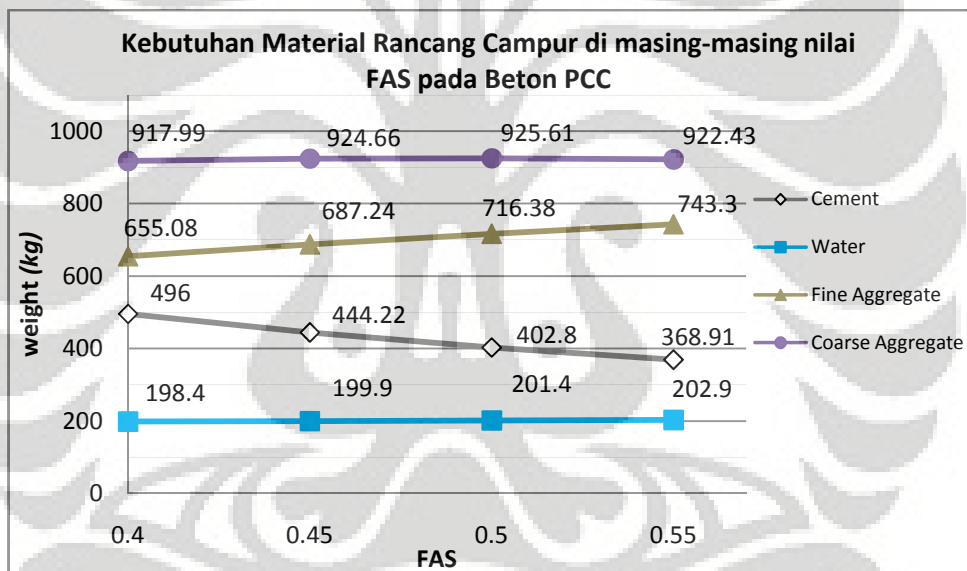
Tabel 4. 14 Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton PCC

No.	Materials	FAS 0,4		FAS 0,45		FAS 0,5		FAS 0,55	
		Weight (kg)	Volume (%)	Weight (kg)	Volume (%)	Weight (kg)	Volume (%)	Weight (kg)	Volume (%)
1	<i>Cement</i>	496.00	0.165	444.22	0.148	402.80	0.134	368.91	0.123
2	<i>Water</i>	198.40	0.198	199.90	0.200	201.40	0.201	202.90	0.203
3	<i>Fine Aggregate</i>	655.08	0.267	687.24	0.281	716.38	0.292	743.30	0.303
4	<i>Coarse Aggregate</i>	917.99	0.354	924.66	0.357	925.61	0.357	922.43	0.356
5	<i>Entrapped air</i>	-	0,015	-	0,015	-	0,015	-	0,015

Berikut ini adalah gambar yang menyajikan kebutuhan material rancang campur di masing-masing nilai FAS untuk beton WPC dan beton PCC.



Gambar 4.5 Grafik Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton WPC



Gambar 4.6 Grafik Kebutuhan Material Rancang Campur Beton untuk masing-masing nilai FAS pada Beton PCC

Apabila kedua grafik diatas dibandingkan, maka diperoleh jumlah kebutuhan yang sama pada semen dan air di masing-masing FAS. Semakin tinggi jumlah FAS yang digunakan maka kebutuhan semen yang diperlukan semakin sedikit dan kebutuhan air yang diperlukan semakin banyak. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS semakin rendah mutu kekuatan beton yang dihasilkan. Namun untuk jika dibandingkan pada kebutuhan agregat terhadap kedua jenis rancang campur beton diatas didapat jumlah yang berbeda, dimana faktor berat jenis dari semen yang mempengaruhi hasil perhitungan jumlah kebutuhan agregat.

Dengan komposisi kebutuhan agregat yang berbeda maka akan dihasilkan mutu kekuatan beton yang tentu berbeda. Mutu kekuatan beton secara umum juga dipengaruhi ikatan antara pasta semen dan agregatnya, dengan adanya dua jenis pemakaian semen yang berbeda (walaupun dengan volume kebutuhan yang sama) maka mutu kekuatan beton yang diperoleh juga akan berbeda.

4.3.1. Contoh Perhitungan Rancang Campur

Contoh perhitungan rancang campur beton WPC untuk FAS : 0,4.

- Kuat tekan rencana (f_c') : 35 MPa = 357,1429 kg/cm²
- Data dari hasil pengujian material, sebagai berikut:
 - Berat Jenis semen WPC : 3,044 × 10³ kg/m³
 - Berat Jenis Agregat Kasar : 2,59 × 10³ kg/m³
 - Berat Jenis Agregat Halus : 2,45 × 10³ kg/m³
 - Fineness Modulus (FM) pasir : 2,4

Perhitungan:

- Penentuan ukuran maksimum agregat kasar adalah 25 mm.
- Penentuan slump : 12 cm
- Menentukan FAS :

$$\text{Increment coefficient } (C) = \frac{1}{1-t.v}$$

t (konstanta perkiraan) yang diambil adalah 0,883.

v (koefisien variasi) ditentukan adalah 12 %.

$$\text{Target kuat tekan} = \frac{357,1429}{1-0,883.12\%} = 399,471 \text{ kg/cm}^2$$

Dari grafik (lampiran A-1) didapat W/C = 0,4

- Dari tabel 3.7 dengan ukuran maksimum agregat kasar 25 mm didapat:

$$\text{Water content } (W) = 175 \text{ kg}$$

$$\text{Sand percent } (S/A) = 1,5 \%$$

$$\text{Entrapped air } (A) = 41 \%$$

Besaran yang diatas ini adalah untuk beton dengan slump 8 cm dan menggunakan pasir dengan FM 2,8. Sedangkan beton yang dirancang adalah dengan slump 12 cm dan menggunakan pasir dengan FM 2,4.

Oleh karena itu harus dilakukan penyesuaian dengan menggunakan tabel 3.8 yaitu sebagai berikut:

No.	Changes in materials of proportions	Sand percent, S/a (%)		Water content, W (kg)	
1	FM of sand	$\frac{2,8 - 2,4}{0,1} \times 0,5 =$	-2	Tidak ada koreksi	0
2	Slump	Tidak ada koreksi	0	$1,2\% \times (12 - 8) \times 175 =$	8.4
3	Using crushed coarse aggregate	+ 3 - 5 (diambil nilai tengah)	4	+ 9 - 15 (diambil nilai tengah)	12
4	Water-cemen ratio (FAS)	Tidak ada koreksi	0	Tidak ada koreksi	0
5	S/A	Tidak ada koreksi	0	$1,5 \times (43 - 41) =$	3
Total		$41\% + (-2 + 0 + 4 + 0 + 0) =$ 43 %		$175 + (0 + 8,4 + 12 + 0 + 3) =$ 198,4 kg	

Dari penyesuaian diperoleh $W = 198,4 \text{ kg}$; $S/A = 43 \%$

➤ Dari $W/C = 0,4$; $W = 198,4 \text{ kg}$ ➔ dapat dihitung jumlah semen:

$$C = \frac{198,4}{0,4} = 496 \text{ kg}$$

➤ Menghitung volume total agregat (A_g)

$$A_g = 1 - \frac{W}{\rho_w} - \frac{C}{\rho_c} - \text{Air entrapped} = 1 - \frac{198,4}{1000} - \frac{496}{3,0441 \times 10^3} - \frac{1,5}{100} = 0,6237 \text{ m}^3$$

➤ $S/A = 43 \%$ ➔ dapat dihitung pasir (S) dan batu (Ca), yaitu sebagai berikut:

$$S = \frac{43}{100} \times 0,6237 = 0,2682 \text{ m}^3 \quad \rightarrow \quad 0,2682 \times 2,45 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 657,0278 \text{ kg}$$

$$Ca = 0,6237 - 0,2682 = 0,3555 \text{ m}^3 \quad \rightarrow \quad 0,3555 \times 2,59 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 920,7120 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan ini, untuk per m^3 beton didapat campuran sebagai berikut:

Semen = 496 kg Pasir = 657,0278 kg

Air = 198,4 kg Batu = 920,7120 kg

4.4. ANALISA HASIL UJI KUAT TARIK BELAH

Pengujian tarik yang dilakukan adalah untuk membandingkan nilai kuat tarik belah pada beton WPC terhadap beton PCC di umur beton 28 hari. Pengujian juga dilakukan pada umur beton 7 hari untuk beton WPC untuk mengetahui pengaruh umur beton terhadap kuat tarik belah pada beton tersebut.

Untuk mengetahui nilai kuat tarik dalam penelitian ini digunakan metode uji kuat tarik belah beton (*splitting silinder test*) dengan rumus:

$$T = \frac{2.P}{\pi.L.D}$$

dimana: T = kuat belah beton (MPa)

P = Beban maksimum yang ditunjukkan mesin tes (N)

L = Tinggi silinder (300 mm)

D = diameter silinder (150 mm)

Berikut ini adalah hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium beton.

Tabel 4. 15 Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,4 Tahap I

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)
	di cor	di test							
1	02/04/09	10/04/09	8	0.4	1	11.67	12.391	29.25	4.0553
2	02/04/09	10/04/09	8	0.4	2		12.427	30	4.1592
3	02/04/09	10/04/09	8	0.4	3		12.381	29	4.0206
4	02/04/09	30/04/09	28	0.4	1	11.67	12.605	31.5	4.3672
5	02/04/09	30/04/09	28	0.4	2		12.451	32	4.4365
6	02/04/09	30/04/09	28	0.4	3		12.544	25.5	3.5354

Tabel 4. 16 Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,45 Tahap I

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)
	di cor	di test							
1	03/04/09	10/04/09	7	0.45	1	11.67	12.369	27.5	3.8126
2	03/04/09	10/04/09	7	0.45	2		12.308	24.5	3.3967
3	03/04/09	10/04/09	7	0.45	3		12.333	27.5	3.8126
4	03/04/09	01/05/09	28	0.45	1	11.67	12.351	28	3.8820
5	03/04/09	01/05/09	28	0.45	2		12.277	30	4.1592
6	03/04/09	01/05/09	28	0.45	3		12.437	29	4.0206

Tabel 4. 17 Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,5 Tahap I

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)
	di cor	di test							
1	11/04/09	18/04/09	7	0.5	1	13.17	12.287	21	2.9115
2	11/04/09	18/04/09	7	0.5	2		12.389	21.5	2.9808
3	11/04/09	18/04/09	7	0.5	3		12.208	20.75	2.8768
4	08/04/09	06/05/09	28	0.5	1	10.17	12.3	25.5	3.5354
5	08/04/09	06/05/09	28	0.5	2		12.42	24	3.3274
6	08/04/09	06/05/09	28	0.5	3		12.68	27.5	3.8126

Tabel 4. 18 Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,55 Tahap I

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)
	di cor	di test							
1	10/04/09	18/04/09	8	0.55	1	13.33	12.448	17.5	2.4262
2	10/04/09	18/04/09	8	0.55	2		12.406	19	2.6342
3	10/04/09	18/04/09	8	0.55	3		12.269	17.75	2.4609
4	10/04/09	08/05/09	28	0.55	1	13.33	12.261	23.5	3.2581
5	10/04/09	08/05/09	28	0.55	2		12.226	22.5	3.1194
6	10/04/09	08/05/09	28	0.55	3		12.307	22.5	3.1194

Tabel 4. 19 Hasil Uji Tarik Belah Beton PCC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap I

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Kode		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)
	di cor	di test							
1	23/04/09	21/05/09	28	0.4	1	13.67	12.298	24.25	3.3621
2	23/04/09	21/05/09	28	0.4	2		12.228	27.5	3.8126
3	23/04/09	21/05/09	28	0.4	3		12.418	27	3.7433
4	17/04/09	15/05/09	28	0.45	1	13.33	12.363	24.5	3.3967
5	17/04/09	15/05/09	28	0.45	2		12.107	17.5	2.4262
6	17/04/09	15/05/09	28	0.45	3		12.297	24	3.3274
7	18/04/09	16/05/09	28	0.5	1	12.33	12.156	24.75	3.4314
8	18/04/09	16/05/09	28	0.5	2		12.345	21	2.9115
9	18/04/09	16/05/09	28	0.5	3		12.185	22.5	3.1194
10	18/04/09	16/05/09	28	0.55	1	10.17	12.325	19.75	2.7382
11	18/04/09	16/05/09	28	0.55	2		12.375	19	2.6342
12	18/04/09	16/05/09	28	0.55	3		12.378	23.5	3.2581

Tabel di bawah ini menunjukkan pengolahan data untuk nilai rata-rata pengujian tarik beton WPC, dimana data-data kuat tarik belah yang diperoleh telah dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data. Pada tabel terdapat nilai beban (P) dan kuat tarik belah dengan angka yang disamakan, hal itu memperlihatkan nilai yang menyimpang diantara kelompok data didalam variasinya. Sehingga data-data tersebut tidak dimasukkan ke dalam pengolahan data untuk memperoleh nilai rata-rata pengujian tarik dari beton WPC.

Tabel 4. 20 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC Tahap I

No.	Umur (hari)	FAS & Kode	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Standar Deviasi	Kuat Tarik Belah Rata-rata
1	8	0.4 1	11.67	12.391	29.25	4.0553	7.22%	4.0784
2	8	0.4 2		12.427	30	4.1592		
3	8	0.4 3		12.381	29	4.0206		
4	28	0.4 1	11.67	12.605	31.5	4.3672	4.90%	4.4019
5	28	0.4 2		12.451	32	4.4365		
6	28	0.4 3		12.544	25.5	3.5354		
7	7	0.45 1	11.67	12.369	27.5	3.8126	0.00%	3.8126
8	7	0.45 2		12.308	24.5	3.3967		
9	7	0.45 3		12.333	27.5	3.8126		
10	28	0.45 1	11.67	12.351	28	3.8820	13.86%	4.0206
11	28	0.45 2		12.277	30	4.1592		
12	28	0.45 3		12.437	29	4.0206		
13	7	0.5 1	13.17	12.287	21	2.9115	5.29%	2.9230
14	7	0.5 2		12.389	21.5	2.9808		
15	7	0.5 3		12.208	20.75	2.8768		
16	28	0.5 1	10.17	12.3	25.5	3.5354	14.71%	3.4314
17	28	0.5 2		12.42	24	3.3274		
18	28	0.5 3		12.68	27.5	3.8126		
19	8	0.55 1	13.33	12.448	17.5	2.4262	11.14%	2.5071
20	8	0.55 2		12.406	19	2.6342		
21	8	0.55 3		12.269	17.75	2.4609		
22	28	0.55 1	13.33	12.261	23.5	3.2581	8.00%	3.1657
23	28	0.55 2		12.226	22.5	3.1194		
24	28	0.55 3		12.307	22.5	3.1194		

Keterangan: kuat tarik belah sampel bertanda disamakan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 14 % sesuai dengan standar ASTM C 496 / C 496M-04 tentang metode *Splitting Test*.

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan nilai rata-rata pengujian tarik beton WPC pada umur beton 7 dan 28 hari di masing-masing faktor air semen (FAS).

Tabel 4. 21 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC pada umur beton 7 dan 28 hari di masing-masing FAS

Umur (hari)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa) pada FAS			
	0.4	0.45	0.5	0.55
7	4.0784	3.8126	2.9230	2.5071
28	4.4019	4.0206	3.4314	3.1657

Tabel di bawah ini menunjukkan pengolahan data untuk nilai rata-rata pengujian tarik beton PCC, dimana data-data kuat tarik belah tersebut telah dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data.

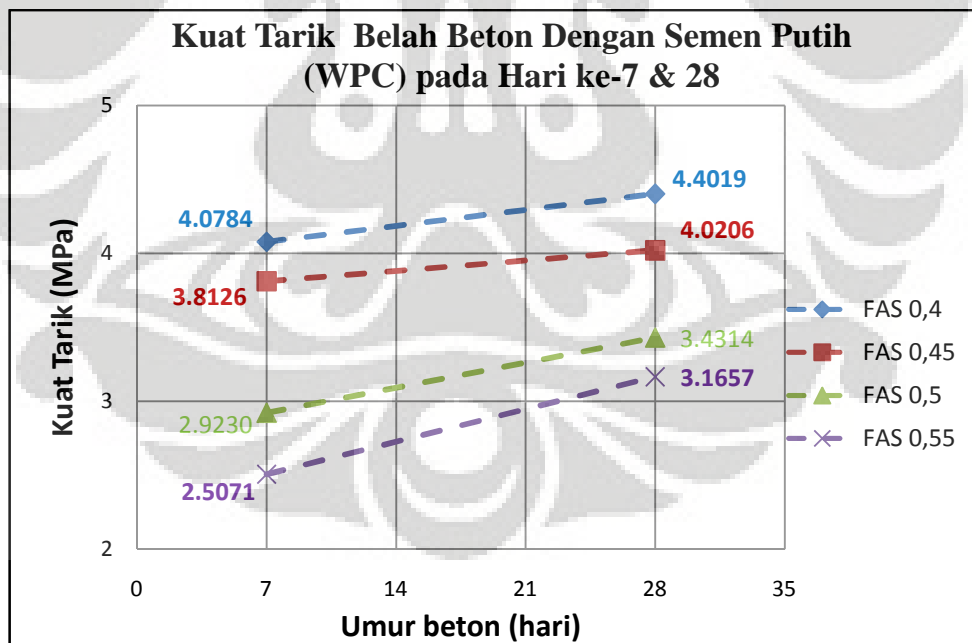
Tabel 4. 22 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton PCC Tahap I

No.	Umur (hari)	FAS & Code	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Standar Deviasi	Kuat Tarik Belah Rata-rata
1	28	0.4 1	13.67	12.298	24.25	3.3621	4.90%	3.7780
2	28	0.4 2		12.228	27.5	3.8126		
3	28	0.4 3		12.418	27	3.7433		
4	28	0.45 1	13.33	12.363	24.5	3.3967	4.90%	3.3621
5	28	0.45 2		12.107	17.5	2.4262		
6	28	0.45 3		12.297	24	3.3274		
7	28	0.5 1	12.33	12.156	24.75	3.4314	14.71%	3.0155
8	28	0.5 2		12.345	21	2.9115		
9	28	0.5 3		12.185	22.5	3.1194		
10	28	0.55 1	10.17	12.325	19.75	2.7382	7.35%	2.6862
11	28	0.55 2		12.375	19	2.6342		
12	28	0.55 3		12.378	23.5	3.2581		

Keterangan: kuat tarik belah sampel bertanda disamakan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 14 % sesuai dengan standar ASTM C 496 / C 496M-04 tentang metode *Splitting Test*.

Hubungan Kuat Tarik Belah Dengan Umur Beton

Sedangkan hubungan antara kuat tarik belah dengan umur beton pada beton WPC dapat terlihat dalam grafik di bawah ini.



Gambar 4. 7 Grafik Kuat Tarik Belah Beton WPC pada Hari ke-7 & 28 dimasing-masing FAS

Gambar 4.7 ini menunjukkan grafik kekuatan tarik pada umur beton hari ke-7 dan ke-28. Dapat diketahui bahwa kenaikan nilai kekuatan tarik yang terjadi pada umur beton hari ke-7 terhadap hari ke-28 ternyata tidak begitu besar untuk

masing-masing variasi faktor air semen. Dimana kenaikan nilai (dinyatakan dalam %) yang terjadi untuk masing-masing variasi faktor air semen adalah sebagai berikut untuk FAS 0,4 sebesar 7,93 %; FAS 0,45 sebesar 5,45 %; FAS 0,5 sebesar 17,39 %; dan FAS 0,55 sebesar 26,27 %.

Pada gambar 4.7, kenaikan pada kuat tarik belah pada umur beton 7 hari tidak bersifat linear sampai kuat tarik belah pada umur beton 28 hari. Untuk mengetahui kenaikan kuat tarik belah beton WPC lebih lanjut perlu dilakukan penelitian pada umur beton 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Jika mengacu pada kekuatan tekan beton, maka kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan naiknya umur beton. Peningkatan tersebut sangat cepat di awal dan berangsur-angsur pertambahan kekuatannya akan mengecil setelah melewati hari ke 28. Perbandingan koefisien kenaikan kekuatan antara kuat tarik belah beton terhadap kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 4. 23 Perbandingan koefisien kenaikan kekuatan yang terdapat kuat tarik belah beton terhadap kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari

Umur (hari)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)				Kuat Tekan Rata-rata (MPa)			
	pada FAS				pada FAS			
	0.4	0.45	0.5	0.55	0.4	0.45	0.5	0.55
7	4.0784	3.8126	2.923	2.5071	33.12	33.03	23.05	22.77
28	4.4019	4.0206	3.4314	3.1657	43.68	42.91	38.22	31.04
Koefisien kenaikan kekuatan	0.93	0.95	0.85	0.79	0.76	0.77	0.60	0.73
Standar deviasi	7.16%				7.69%			
Median	0.89				0.75			
Rata-rata	0.88				0.72			

Jika dilihat dari perbandingan di atas, koefisien kenaikan kekuatan yang terjadi pada kuat tarik belah tidak sama dengan kuat tekan pada beton WPC. Koefisien kenaikan kekuatan pada kuat tarik belah pada umur 7 hari ke umur 28 hari memiliki nilai koefisien yang lebih besar dibandingkan koefisien kuat tekannya. Selisih kuat tekan pada umur 7 hari dengan 28 hari terlihat sangat signifikan. Hal ini tidak sebanding pada hubungan kekuatan tarik beton dengan umur beton, akibat partikel-partikel yang terdapat dalam beton bersifat lemah terhadap gaya tarik. Beton dengan kekuatan yang baik diperoleh apabila interaksi antara komponen pembentuknya terjadi dengan baik, interaksi ini akan diperoleh bila antara komponen pembentuk beton memiliki lekatan yang kuat satu dengan

yang lain. Saat pasta semen mengeras akan terjadi penyusutan pada beton, proses ini akan membentuk *microcrack* pada daerah lemah (*weak zone*). Jumlah *microcrack* dalam beton akan mempengaruhi kekuatan beton (I.B. Dharma Giri, I Ketut Sudarsana dan N.L.P. Eka Agustiningsih, 2008).

Hubungan Kuat Tarik Belah Terhadap Faktor Air Semen

Pada gambar grafik 4.7 juga menunjukkan bahwa hubungan kuat tarik belah terhadap faktor air semen, dimana semakin besar nilai faktor air semen maka kekuatan tarik yang diperoleh semakin rendah. Hal ini terjadi karena di setiap variasi faktor air semen yang digunakan memiliki perbandingan jumlah semen dan jumlah air yang berbeda sehingga menyebabkan penurunan kekuatan seiring dengan bertambah besarnya faktor air semen yang digunakan. Faktor air semen yang rendah menyebabkan air yang berada di antara bagian-bagian semen menjadi sedikit dan jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek. Kekentalan pasta semen sangat mempengaruhi kekuatan beton yang dihasilkan, semakin banyak air yang digunakan dalam beton mengakibatkan pasta semen berpori lebih banyak, sehingga beton yang dihasilkan banyak berpori dan kurang kuat.

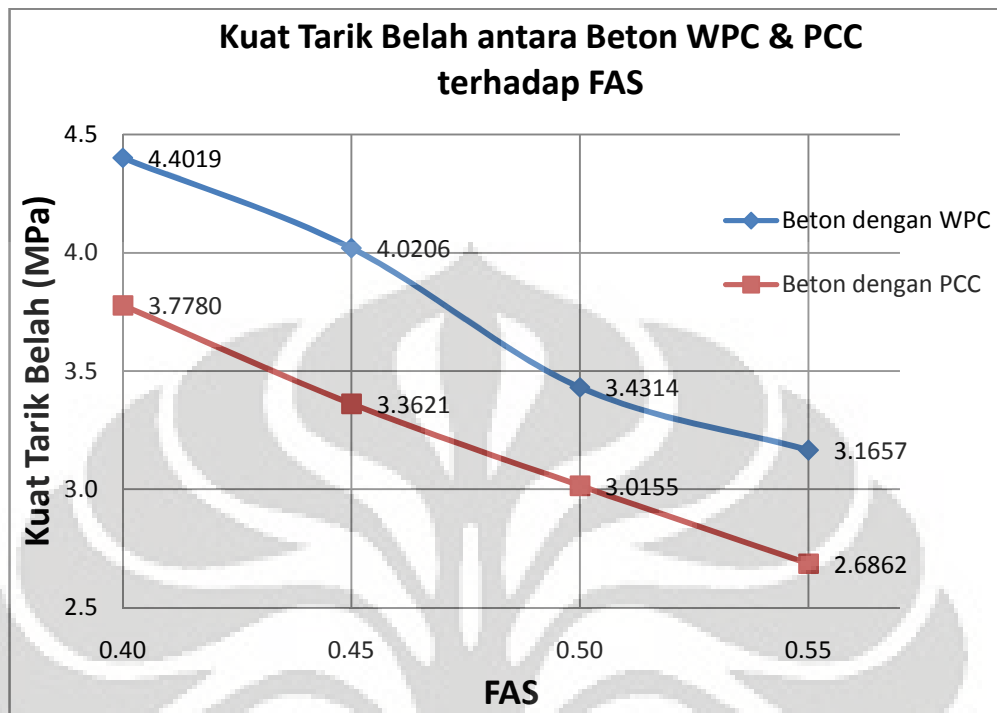
Selanjutnya, dari hasil perhitungan data pada tabel 4.20 dan tabel 4.22 dapat dibuat suatu tabel yang menunjukkan data-data hasil pengujian yang berisikan perbandingan nilai rata-rata pengujian tarik beton WPC dan beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing faktor air semen (FAS).

Tabel 4. 24 Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap I

Jenis Beton	Umur (hari)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa) pada FAS			
		0.4	0.45	0.5	0.55
Beton WPC	28	4.3672	4.0206	3.5354	3.1657
Beton PCC	28	3.7780	3.3621	3.0155	2.6862

Pada tabel tersebut menjelaskan bahwa kuat tarik belah yang diperoleh pada kedua jenis beton memiliki penurunan nilai kekuatan tarik seiring dengan bertambahnya nilai faktor air semen. Dimana nilai kuat tarik belah beton WPC lebih besar dibandingkan beton PCC di masing-masing variasi faktor air semen yang digunakan. Untuk memperjelas data hasil pengujian dari tabel 4.21, maka dibentuklah suatu grafik dari data-data tersebut yang menggambarkan

perbandingan nilai rata-rata pengujian tarik beton WPC dan beton PCC pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 8 Grafik Kuat Tarik Belah pada Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari terhadap FAS pada Tahap I

Pada gambar 4.8 dapat terlihat bahwa semakin besar nilai faktor air semen maka akan semakin kecil nilai kuat tarik belah yang dihasilkan baik pada beton WPC maupun beton PCC. Selain itu grafik ini juga menggambarkan bahwa kuat tarik belah yang dimiliki beton WPC lebih tinggi beton PCC dimasing-masing nilai FAS. Dimana perbedaan nilai (yang dinyatakan dalam %) yang terjadi pada nilai kuat tarik belah beton PCC terhadap nilai kuat tarik belah semen putih untuk masing-masing variasi faktor air semen adalah sebagai berikut untuk FAS 0,4 sebesar 16,51 %; FAS 0,45 sebesar 19,59 %; FAS 0,5 sebesar 13,79 %; dan FAS 0,55 sebesar 17,85 %.

Pengujian Kuat Tarik Belah Tahap II

Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tarik belah tahap II yang dilakukan di laboratorium material.

Tabel 4. 25 Hasil Uji Tarik Belah Beton PCC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II

No.	Tanggal		Umur (hari)	W/C & Code		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)
	di cor	di test							
1	10/11/09	08/12/09	28	0.4	4	12.17	12.306	29	4.0206
2	10/11/09	08/12/09	28	0.4	5		12.306	27.5	3.8126
3	11/11/09	09/12/09	28	0.45	4	13.33	12.298	25	3.4660
4	11/11/09	09/12/09	28	0.45	5		12.281	23.5	3.2581
5	12/11/09	10/12/09	28	0.5	4	12.17	12.299	24	3.3274
6	12/11/09	10/12/09	28	0.5	5		12.315	23	3.1888
7	13/11/09	11/12/09	28	0.55	4	13.17	12.345	19.5	2.7035
8	13/11/09	11/12/09	28	0.55	5		12.364	20.25	2.8075

Tabel 4. 26 Hasil Uji Tarik Belah Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II

No.	Tanggal		Umur (hari)	W/C & Code		Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)
	di cor	di test							
1	20/11/09	18/12/09	28	0.4	4	11.83	12.472	34	4.7138
2	20/11/09	18/12/09	28	0.4	5		12.478	30	4.1592
3	19/11/09	17/12/09	28	0.45	4	11.5	12.293	27.5	3.8126
4	19/11/09	17/12/09	28	0.45	5		12.285	27.5	3.8126
5	18/11/09	16/12/09	28	0.45	4	13.67	12.373	25.5	3.5354
6	18/11/09	16/12/09	28	0.45	5		12.386	23	3.1888
7	17/11/09	15/12/09	28	0.55	4	10.67	12.332	26.5	3.6740
8	17/11/09	15/12/09	28	0.55	5		12.309	24	3.3274

Berikut ini adalah tabel pengolahan data gabungan antara tahap I dan tahap II untuk nilai rata-rata pengujian tarik beton WPC dan semen PCC, dimana data-data kuat tarik belah yang diperoleh telah dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data. Pada tabel terdapat nilai beban (P) dan kuat tarik belah dengan angka yang disamarkan, hal itu memperlihatkan nilai yang menyimpang diantara kelompok data didalam variasinya. Sehingga data-data tersebut tidak dimasukkan ke dalam pengolahan data untuk memperoleh nilai rata-rata pengujian tarik dari beton WPC dan beton PCC.

Tabel 4. 27 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC pada Tahap I & II

No.	Umur (hari)	FAS & Code	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Standar Deviasi	Kuat Tarik Rata-rata Belah (MPa)
1	28	0.4	1	12.605	31.5	4.3672	14.43%	4.3210
2	28	0.4	2	12.451	32	4.4365		
3	28	0.4	3	12.544	25.5	3.5354		
4	28	0.4	4	12.472	34	4.7138		
5	28	0.4	5	12.478	30	4.1592		
6	28	0.45	1	12.351	28	3.8820	9.80%	3.8820
7	28	0.45	2	12.277	30	4.1592		
8	28	0.45	3	12.437	29	4.0206		
9	28	0.45	4	12.293	27.5	3.8126		
10	28	0.45	5	12.285	27.5	3.8126		
11	28	0.5	1	12.3	25.5	3.5354	12.01%	3.4660
12	28	0.5	2	12.42	24	3.3274		
13	28	0.5	3	12.68	27.5	3.8126		
14	28	0.5	4	12.373	25.5	3.5354		
15	28	0.5	5	12.386	23	3.1888		
16	28	0.55	1	12.261	23.5	3.2581	10.40%	3.2061
17	28	0.55	2	12.226	22.5	3.1194		
18	28	0.55	3	12.307	22.5	3.1194		
19	28	0.55	4	12.332	26.5	3.6740		
20	28	0.55	5	12.309	24	3.3274		

Keterangan: kuat tarik belah sampel bertanda disamakan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 14 % sesuai dengan standar ASTM C 496 / C 496M-04 tentang metode *Splitting Test*.

Tabel 4. 28 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton PCC pada Tahap I dan II

No.	Umur (hari)	FAS & Code	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban P (Ton)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Standar Deviasi	Kuat Tarik Rata-rata Belah (MPa)
1	28	0.4	1	12.298	24.25	3.3621	12.01%	3.8473
2	28	0.4	2	12.228	27.5	3.8126		
3	28	0.4	3	12.418	27	3.7433		
4	28	0.4	4	12.306	29	4.0206		
5	28	0.4	5	12.306	27.5	3.8126		
6	28	0.45	1	12.363	24.5	3.3967	8.95%	3.3621
7	28	0.45	2	12.107	17.5	2.4262		
8	28	0.45	3	12.297	24	3.3274		
9	28	0.45	4	12.298	25	3.4660		
10	28	0.45	5	12.281	23.5	3.2581		
11	28	0.5	1	12.156	24.75	3.4314	13.97%	3.2667
12	28	0.5	2	12.345	21	2.9115		
13	28	0.5	3	12.185	22.5	3.1194		
14	28	0.5	4	12.299	24	3.3274		
15	28	0.5	5	12.315	23	3.1888		
16	28	0.55	1	12.325	19.75	2.7382	7.22%	2.7208
17	28	0.55	2	12.375	19	2.6342		
18	28	0.55	3	12.378	23.5	3.2581		
19	28	0.55	4	12.345	19.5	2.7035		
20	28	0.55	5	12.364	20.25	2.8075		

Keterangan: kuat tarik belah sampel bertanda disamakan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 14 % sesuai dengan standar ASTM C 496 / C 496M-04 tentang metode *Splitting Test*.

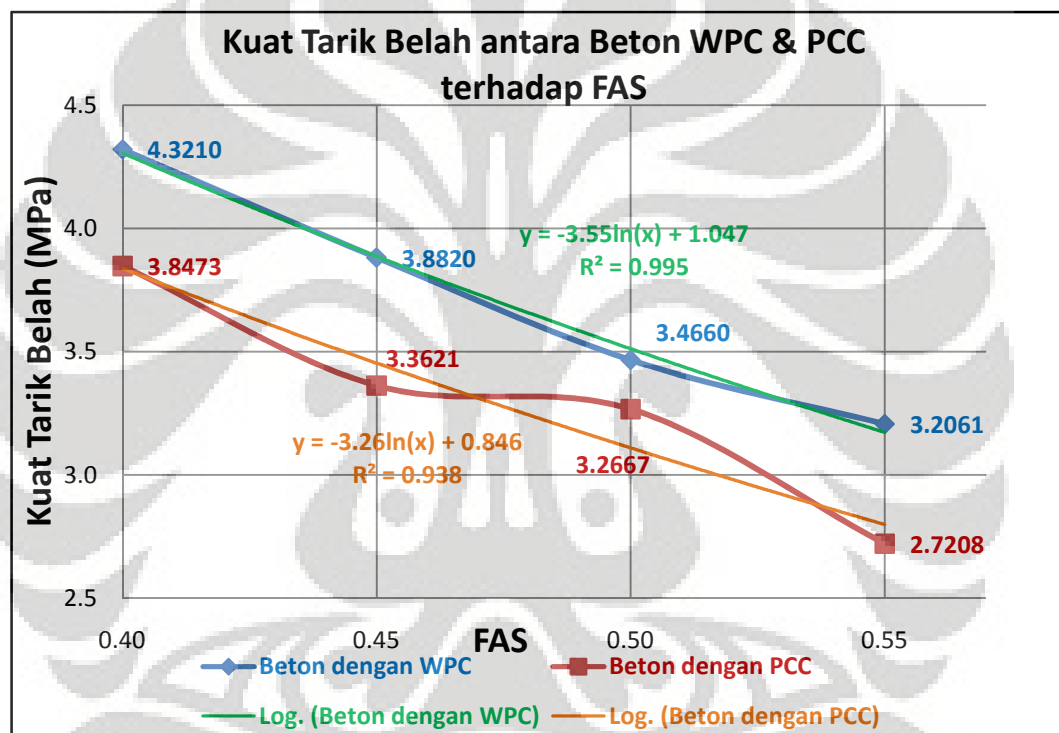
Hubungan Kuat Tarik Belah Terhadap Faktor Air Semen

Dari hasil pengujian tahap II menunjukkan bahwa semakin besar nilai faktor air semen maka kuat tarik belah yang diperoleh semakin rendah, hal ini dapat terlihat dalam tabel ringkasan hasil pengujian beton WPC dan beton PCC.

Tabel 4. 29 Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Belah Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap I & II

Jenis Beton	Umur (hari)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa) pada FAS			
		0.4	0.45	0.5	0.55
Beton WPC	28	4.3210	3.8820	3.4660	3.2061
Beton PCC	28	3.8473	3.3621	3.2667	2.7208

Pada tabel 4.29 dapat dilihat bahwa beton WPC memiliki kuat tarik belah rata-rata terbesar pada FAS 0,4 dengan nilai 4,3120 MPa dan terkecil pada FAS 0,55 dengan nilai 3,2061 MPa. Sedangkan pada beton PCC memiliki kuat tarik belah rata-rata terbesar pada FAS 0,4 dengan nilai 3,8473 MPa dan terkecil pada FAS 0,55 dengan nilai 2,7208 MPa. Jika membandingkan antara kuat tarik beton WPC terhadap kuat tarik beton PCC, maka jelas terlihat bahwa beton WPC memiliki kuat tarik lebih tinggi dibandingkan dengan beton PCC di masing-masing nilai FAS. Untuk memperjelas perbandingan antara kedua jenis beton tersebut dapat dilihat dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4. 9 Grafik Kuat Tarik Belah pada Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari terhadap FAS pada Tahap II

Pada gambar 4.9 dapat terlihat bahwa semakin besar nilai faktor air semen maka akan semakin kecil nilai kuat tarik belah yang dihasilkan baik pada beton WPC maupun beton PCC. Selain itu grafik ini juga menggambarkan bahwa kuat tarik belah yang dimiliki beton WPC lebih tinggi beton PCC dimasing-masing nilai FAS.

Apabila digunakan suatu pendekatan terhadap grafik hubungan kuat tarik belah pada beton WPC dan beton PCC dengan suatu persamaan garis maka akan diperoleh suatu persamaan garis *logarithmic* yang dapat digunakan untuk menentukan kuat tarik belah pada beton WPC dan beton PCC terhadap faktor air

semen. Dari grafik diatas dapat terlihat kedua persamaan garis *logarithmic* dan nilai ketepatan (R) untuk masing-masing beton.

Dimana perbedaan nilai (yang dinyatakan dalam %) yang terjadi pada nilai kuat tarik belah beton PCC terhadap nilai kuat tarik belah beton WPC untuk masing-masing variasi faktor air semen adalah sebagai berikut untuk FAS 0,4 sebesar 12,31 %; FAS 0,45 sebesar 15,46 %; FAS 0,5 sebesar 6,10 %; dan FAS 0,55 sebesar 17,83 %. Untuk mengetahui perbedaan kuat tarik belah beton WPC dan kuat tarik belah beton PCC dapat dilakukan dengan membandingkan susunan komposisi senyawa pembentuk semen masing-masing beton. Komposisi senyawa semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC) yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 30 Komposisi Kimia dan Senyawa Campuran WPC, PCC & OPC hasil pabrikasi PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk

SAMPLE	Chemical Composition (%)						Potential Compound Composition (%)			
	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
WPC	22.11	3.59	0.21	66.02	2.92	2.07	64.14	15.00	9.16	0.64
PCC	22.50	6.00	3.50	60.00	2.25	1.90	-	-	-	-
OPC	19.42	4.51	3.24	63.87	2.65	1.78	59.5	14.5	9	10

Bahan dasar penyusun semen Portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), oksida besi (Fe₂O₃), magnesia (MgO), dan sulfur (SO₃). Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

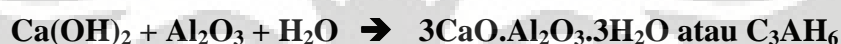
Unsur-unsur penyusun tersebut membentuk empat komposisi senyawa penting yang telah disebutkan pada analisis tahap I, yaitu:

- a. **Tri Kalsium Silikat (3CaO.SiO₂ atau C₃S),**
- b. **Di Kalsium Silikat (2CaO.SiO₂ atau C₂S),**
- c. **Tri Kalsium Aluminat (3CaO.Al₂O₃ atau C₃A) dan**
- d. **Tetra Kalsium Alumina Ferit (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃ atau C₄AF).**

Untuk membandingkan kekuatan dari semen putih (WPC) dan semen abu-abu (PCC) ternyata tidak bisa langsung dibandingkan karena empat komposisi

senyawa utama dalam semen PCC tidak diketahui. Dalam semen PCC, presentase jumlah empat komposisi senyawa utama tidak diperhitungkan kembali dalam proses pembuatan semen sebab menggunakan bahan tambahan yaitu pozzolan. Sedangkan pada semen putih tidak digunakan bahan pozzolan. Pozzolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang reaktif. Pozzolan sendiri tidak memiliki sifat semen, tetapi dalam keadaan halus jika dicampur dengan kapur padam aktif ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan air (H_2O) dalam beberapa waktu pada suhu kamar ($24\text{-}27^\circ\text{C}$) dapat bereaksi membentuk suatu massa yang padat dan sukar larut dalam air.

Unsur silika dan alumina yang reaktif akan bereaksi dengan kapur padam aktif ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang merupakan hasil sampingan dari proses hidrasi antara semen Portland dan air menjadi kalsium silikat hidrat ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ atau *tobermorite*). Secara sederhana proses kimianya dapat dituliskan sebagai berikut:



Dari reaksi diatas tampak bahwa pozzolan ini mengikat kapur padam aktif yang masih bebas dalam beton dan membentuk kalsium silikat hidrat (*tobermorite*) atau yang sama dengan hasil hidrasi semen Portland. Adanya kapur bebas dalam beton membuat beton berpori dan mudah ditembus air, sedangkan kalsium silikat hidrat merupakan zat yang padat dan kuat. Dengan demikian bila pozzolan dipakai sebagai bahan tambahan pada beton maka beton tersebut akan lebih rapat air dan lebih tahan terhadap serangan kimia (garam, sulfat dan air asam).

Jika pada tabel 4.30 susunan unsur pembentuk semen WPC dan PCC dibandingkan, maka pada semen WPC memiliki unsur kapur (CaO) yang lebih banyak 6,02% daripada semen PCC. Namun untuk presentase unsur silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), oksida besi (Fe_2O_3), semen PCC memiliki jumlah komposisi yang lebih banyak dibandingkan semen WPC. Kapur (CaO) dan silika (SiO_2) mempengaruhi pembentukan atau pengikatan senyawa C_3S dan C_2S . Sedangkan untuk pengikatan komposisi senyawa C_3A dan C_4AF dipengaruhi oleh unsur Kapur (CaO), alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3). Kandungan unsur oksida besi sangat mempengaruhi sifat warna dalam semen yaitu menjadi abu-abu.

Sehingga kandungan Fe_2O_3 pada WPC memiliki presentase 0,21%, hal ini sesuai dengan persyaratan **SNI 15-0129-2004** mengenai jumlah maksimum presentase Fe_2O_3 pada semen putih yaitu 0,4 % (dapat dilihat pada tabel 2.4).

Dua unsur yang pertama (C_2S dan C_3S) merupakan bagian yang dominan dalam memberikan sifat semen terutama kekuatan. Peran dari C_3S dalam semen adalah menghasilkan proses pengerasan yang cepat pada pembentukan kekuatan awal disertai dengan panas hidrasi yang tinggi. Sedangkan untuk C_2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah lebih dari 7 hari, dan memberikan kekuatan akhir yang cukup tinggi (dapat dilihat pada gambar 2.2). Selain itu, C_2S juga memberikan ketahanan terhadap serangan kimia dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan. Sedangkan untuk senyawa C_3A dan C_4AF kurang berpengaruh untuk memberikan sumbangan kekuatan untuk semen.

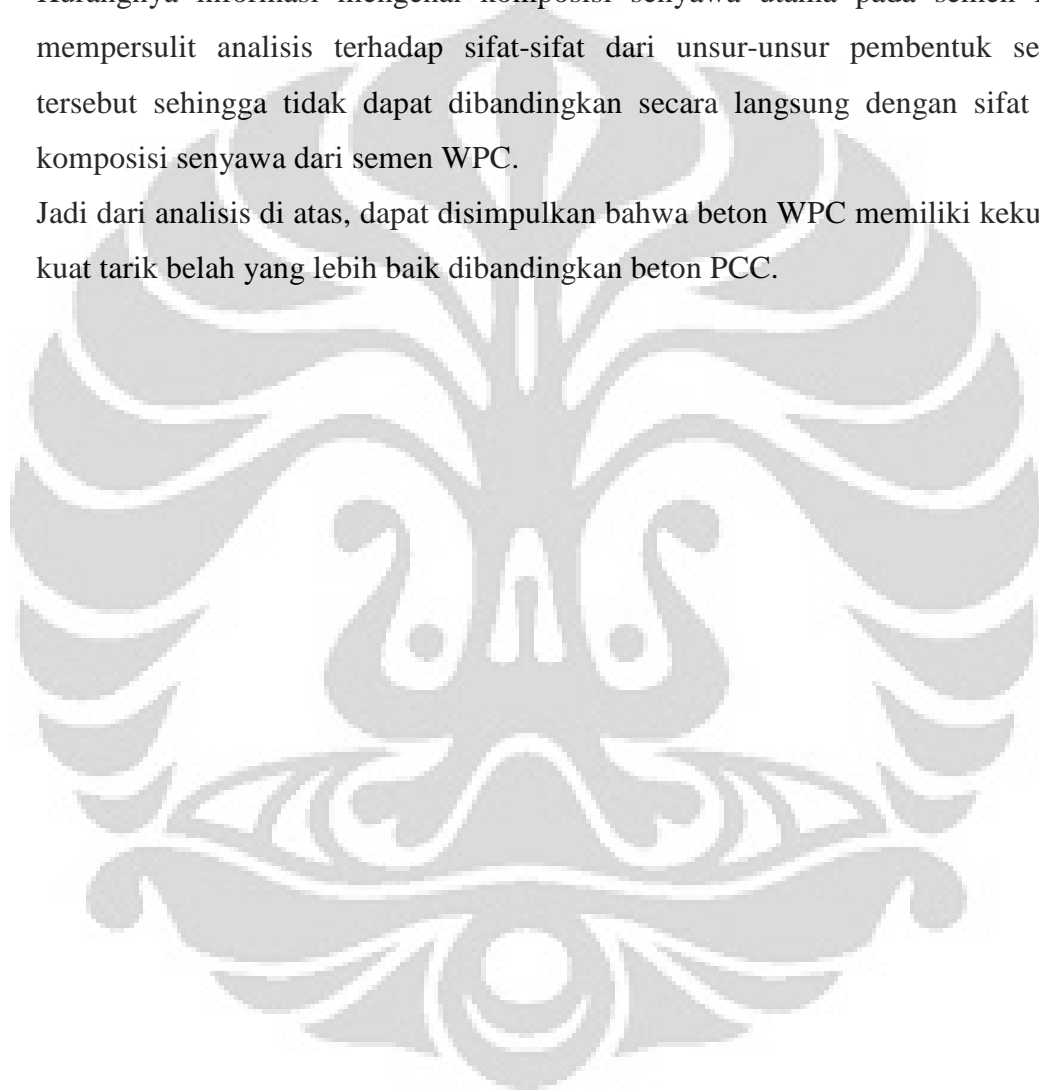
Menurut hasil pengujian uji tarik belah, beton WPC memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan beton PCC dimasing-masing FAS. Kuat tarik belah pada kedua beton yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh faktor komposisi penyusun semennya. Dari perbandingan diatas telah disebutkan bahwa jumlah presentase kapur (CaO) dari semen WPC lebih banyak daripada semen PCC. Jumlah presentase kapur (CaO) dalam semen ini ternyata sangat mempengaruhi hasil kuat tarik belah pada kedua beton.

Dengan adanya pozzolan seharusnya pada reaksi hidrasi semen PCC bereaksi dengan maksimal dan memberikan kekuatan yang optimum untuk beton PCC. Dimana hasil sampingan dari proses hidrasi antara kapur padam aktif ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan unsur silika dan alumina yang reaktif pada semen PCC membentuk senyawa ikatan kalsium silikat hidrat yang lebih banyak dibandingkan semen WPC. Walaupun kandungan silika dan alumina pada semen PCC lebih banyak karena penambahan bahan pozzolan ternyata tidak mempengaruhi secara signifikan dalam kuat tarik belah beton. Sebaliknya pada semen WPC, komposisi senyawa utama pada semen memberikan kekuatan yang lebih dibandingkan semen PCC.

Kandungan silika yang lebih pada semen PCC seharusnya dapat menghasilkan kalsium silika hidrat yang lebih banyak dibandingkan semen WPC dan

memberikan kekuatan yang lebih serta ketahanan terhadap serangan kimia yang lebih baik. Sedangkan untuk unsur alumina pada semen PCC, seharusnya dapat menghasilkan kalsium alumina hidrat yang lebih banyak dibandingkan semen WPC. Sehingga memberikan panas hidrasi yang lebih banyak dan *setting time* yang lebih cepat dibandingkan semen WPC. Namun pada kenyataannya semen WPC memiliki waktu pengikatan yang lebih cepat dibandingkan semen PCC. Kurangnya informasi mengenai komposisi senyawa utama pada semen PCC mempersulit analisis terhadap sifat-sifat dari unsur-unsur pembentuk semen tersebut sehingga tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan sifat dari komposisi senyawa dari semen WPC.

Jadi dari analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa beton WPC memiliki kekuatan kuat tarik belah yang lebih baik dibandingkan beton PCC.



4.5. ANALISA HASIL UJI KUAT TARIK LENTUR

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading* untuk mengetahui nilai modulus runtuh beton (*modulus of rupture*). Pengujian lentur yang dilakukan adalah untuk membandingkan nilai kuat tarik lentur pada beton WPC dan beton PCC akibat penggunaan faktor air semen (FAS) pada umur beton 28 hari. Berikut ini adalah hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium beton.

Tabel 4. 31 Hasil Uji Tarik Lentur Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap I

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Kode		Slump (cm)		BEBAN (P)		Bentang & Dimensi Penampang			W = $\frac{1}{6}bh^2$ (mm ³)	Momen Lentur M = $\frac{1}{6}PL$ (N.mm)	Teg.Lentur M/W (MPa)
	di cor	di test				I	II	(kg)	(N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)			
1	22/04/09	22/04/09	28	0.4	1-I	10.67	-	3784.2	37085.2	450	151	152	581450.67	2781387	4.7835
2	22/04/09	22/04/09	28	0.4	2-I	10.67	-	4352.8	42657	450	152	150	570000.00	3199271.25	5.6128
3	22/04/09	22/04/09	28	0.4	3-II	-	10	3850.5	37734.9	450	151	151	573825.17	2830117.5	4.9320
4	18/03/09	18/03/09	28	0.45	1-I	12.33	-	3748.5	36735.3	450	152	160	648533.33	2755147.5	4.2483
5	18/03/09	18/03/09	28	0.45	2-I	12.33	-	3668.8	35954.2	450	152	154	600805.33	2696568	4.4883
6	18/03/09	18/03/09	28	0.45	3-II	-	12..33	3688.2	36144.4	450	152	153	593028.00	2710827	4.5712
7	24/04/09	24/04/09	28	0.5	1-I	12.67	-	4865	47676.9	450	150	152	577600.00	3575769.12	6.1907
8	24/04/09	24/04/09	28	0.5	2-II	12.67	-	3916.8	38384.6	450	150	152	577600.00	2878848	4.9842
9	24/04/09	24/04/09	28	0.5	3-II	-	14	4352.8	42657	450	149	152	573749.33	3199271.25	5.5761
10	25/03/09	25/03/09	28	0.55	1-I	12	-	2561.2	25100	450	156	158	649064.00	1882496.7	2.9003
11	25/03/09	25/03/09	28	0.55	2-I	-	12.5	2703.5	26494.4	450	155	151	589025.83	1987079.85	3.3735
12	25/03/09	25/03/09	28	0.55	3-II	-	12.5	2845.8	27888.8	450	154	154	608710.67	2091663	3.4362

Tabel 4. 32 Hasil Uji Tarik Lentur Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap I

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Kode		Slump (cm)		BEBAN (P)		Bentang & Dimensi Penampang			W = $\frac{1}{6}bh^2$ (mm ³)	Momen Lentur M = $\frac{1}{6}PL$ (N.mm)	Teg.Lentur M/W (MPa)
	di cor	di test				I	II	(kg)	(N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)			
1	25/04/09	23/05/09	28	0.4	1-I	10.67	-	4523.5	44330.3	450	151	152	581450.67	3324769.56	5.7181
2	25/04/09	23/05/09	28	0.4	2-I	10.67	-	4182	40983.6	450	152	150	570000.00	3073770	5.3926
3	25/04/09	23/05/09	28	0.4	3-II	-	10	3983.1	39034.4	450	151	151	573825.17	2927578.5	5.1019
4	28/04/09	26/05/09	28	0.45	1-I	12.33	-	3187.5	31237.5	450	152	160	648533.33	2342812.5	3.6125
5	28/04/09	26/05/09	28	0.45	2-I	12.33	-	3187.5	31237.5	450	152	154	600805.33	2342812.5	3.8995
6	28/04/09	26/05/09	28	0.45	3-II	-	12..33	3054.9	29938	450	152	153	593028.00	2245351.5	3.7862
7	30/04/09	28/05/09	28	0.5	1-I	12.67	-	2427.6	23790.5	450	150	152	577600.00	1784286	3.0891
8	30/04/09	28/05/09	28	0.5	2-II	-	14	2142	20991.6	450	150	152	577600.00	1574370	2.7257
9	30/04/09	28/05/09	28	0.5	3-II	-	14	1856.4	18192.7	450	149	152	573749.33	1364454	2.3781
10	01/05/09	29/05/09	28	0.55	1-I	12	-	3187.5	31237.5	450	156	158	649064.00	2342812.5	3.6095
11	01/05/09	29/05/09	28	0.55	2-I	12	-	3519	34486.2	450	155	151	589025.83	2586465	4.3911
12	01/05/09	29/05/09	28	0.55	3-II	0	12.5	3717.9	36435.4	450	154	154	608710.67	2732656.5	4.4893

Tabel di bawah ini menunjukkan pengolahan data untuk nilai rata-rata pengujian lentur beton WPC dan beton PCC, dimana data-data kuat tarik lentur yang diperoleh telah dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data. Pada tabel terdapat nilai beban (P) dan kuat tarik lentur dengan angka bertanda merah, hal itu memperlihatkan nilai yang menyimpang diantara kelompok data didalam variasinya. Sehingga data-data tersebut tidak dimasukkan ke dalam pengolahan data untuk memperoleh nilai rata-rata yang tepat pada pengujian lentur dari beton WPC dan beton PCC.

Tabel 4. 33 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC pada Tahap I

No	Umur (hari)	FAS & Kode		Slump (cm)	Teg.Lentur (MPa)	Standar Deviasi	Teg. Lentur Rata-rata (MPa)	Keterangan
1	28	0.4	1-I	10.67	4.7835	10.50%	4.8578	menggunakan cetakan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi baik
2	28	0.4	2-I	10.67	5.6128			
3	28	0.4	3-II	10	4.9320			
4	28	0.45	1-I	12.33	3.7951	5.86%	4.5297	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan kayu) kondisi buruk, dimensi tidak presisi letak patahan pada sampel 1 di 1/3 bentang samping
5	28	0.45	2-I	12.33	4.4883			
6	28	0.45	3-II	12..33	4.5712			
7	28	0.5	1-I	12.67	6.1907	41.86%	5.2801	menggunakan cetakan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi baik
8	28	0.5	2-II	12.67	4.9842			
9	28	0.5	3-II	14	5.5761			
10	28	0.55	1-I	12	2.9003	4.43%	3.4049	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan kayu) kondisi buruk, dimensi tidak presisi
11	28	0.55	2-I	12.5	3.3735			
12	28	0.55	3-II	12.5	3.4362			

Keterangan: kuat tarik lentur sampel bertanda disamarkan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 16 % sesuai dengan standar ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading*

Tabel 4. 34 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton PCC pada Tahap I

No.	Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)	Teg.Lentur (MPa)	Standar Deviasi	Teg. Lentur Rata-rata (MPa)	Keterangan
1	28	0.4	1-I	10.67	5.7181	20.56%	5.2472	menggunakan cetakan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi baik
2	28	0.4	2-I	10.67	5.3926			
3	28	0.4	3-II	10	5.1019			
4	28	0.45	1-I	12.33	3.6125	12.29%	3.6994	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi buruk, dimensi tidak presisi letak patahan pada sampel 2 di 1/3 bentang samping
5	28	0.45	2-I	12.33	3.1629			
6	28	0.45	3-II	12..33	3.7862			
7	28	0.5	1-I	12.67	3.0891	24.58%	2.5519	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi buruk, dimensi tidak presisi
8	28	0.5	2-II	14	2.7257			
9	28	0.5	3-II	14	2.3781			
10	28	0.55	1-I	12	3.6095	6.94%	4.4402	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi buruk, dimensi tidak presisi
11	28	0.55	2-I	12	4.3911			
12	28	0.55	3-II	12.5	4.4893			

Keterangan: kuat tarik lentur sampel bertanda disamarkan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 16 % sesuai dengan standar ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading*

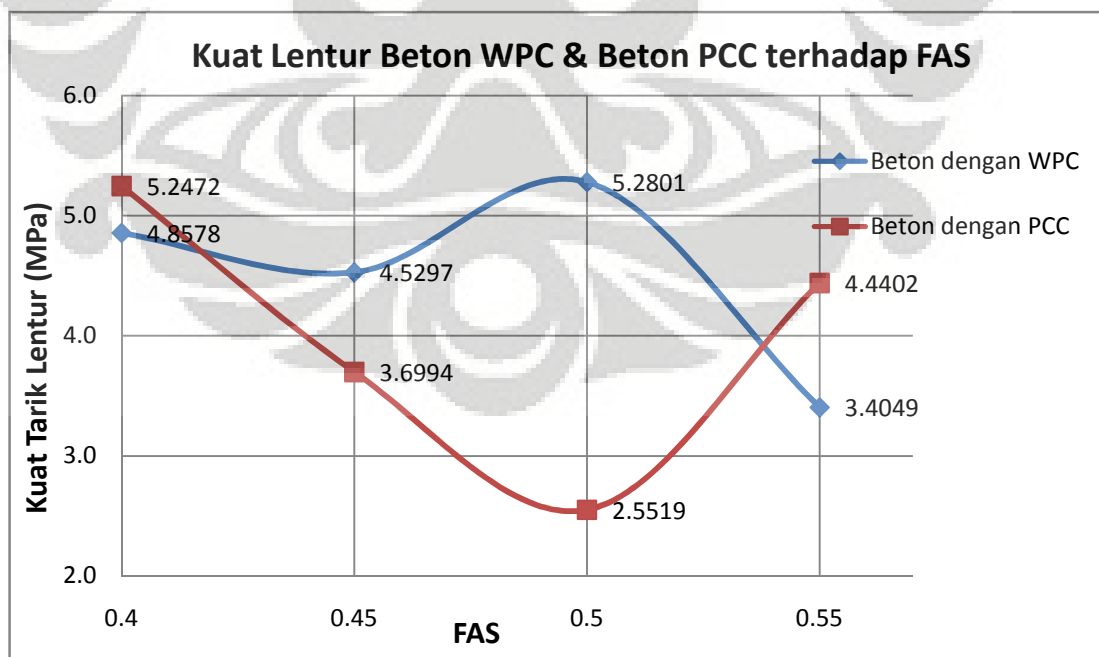
Hubungan Kuat Tarik Lentur Terhadap Faktor Air Semen

Dari hasil perhitungan data pada tabel 4.33 dan tabel 4.34 dapat dibuat suatu tabel ringkasan yang menunjukkan perbandingan nilai rata-rata pengujian tarik lentur beton WPC dan beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing faktor air semen (FAS). Data-data tersebut dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. 35 Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap I

Jenis Beton	Umur (hari)	Kuat Tarik Lentur Rata-rata (MPa) pada FAS			
		0.4	0.45	0.5	0.55
Beton WPC	28	4.8578	4.5297	5.2801	3.4049
Beton PCC	28	5.2472	3.6994	2.5519	4.4402

Dari data tabel diatas menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan hipotesa dan literatur yang ada mengenai hubungan kekuatan beton dengan faktor air semen. Karena semakin besar nilai faktor air semen maka kekuatan beton yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini ternyata tidak sesuai dengan hasil yang diperoleh, terutama pada beton WPC dimana variasi FAS 0,5 yang melebihi kekuatan lentur variasi FAS 0,4 dan 0,45; serta pada beton PCC dimana variasi FAS 0,55 yang melebihi kekuatan lentur variasi FAS 0,45 dan 0,45. Agar lebih jelas, hal ini dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini yang merupakan hasil plot dari tabel 4.28.



Gambar 4. 10 Grafik Kuat Tarik Lentur pada Beton WPC dengan Beton PCC terhadap FAS di umur beton 28 hari untuk Tahap I

Jika dibandingkan dengan kuat tarik yang telah diperoleh pada pengujian tarik belah, seharusnya kuat tarik lentur memiliki pola kekuatan tarik yang sama, karena tujuan dari kedua pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tarik pada beton. Menurut literatur yang ada (pada pengujian beton biasa), kuat tarik yang terjadi pada *flexural test* memiliki kuat tarik yang sedikit lebih besar dibandingkan kuat tarik yang diperoleh dengan cara *splitting test*. Hubungan antara kuat tarik belah dengan kuat tarik lentur akan dibahas pada sub-bab berikutnya.

Penyebab dari ketidaksesuaian pada data pengujian lentur yang tidak sebanding dengan pengujian tarik ini tidak terlepas pada faktor-faktor yang mempengaruhi keadaan sampel uji. Salah satunya adalah pemakaian cetakan sampel balok, hal ini ternyata sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh, dimana terdapat 3 jenis cetakan berbeda yang dipergunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

- a. Cetakan baja I, dengan dimensi 60 cm x 15 cm x 15 cm (keadaan baik)
- b. Cetakan baja II, dengan dimensi 55 cm x 15 cm x 15 cm (keadaan buruk)
- c. Cetakan kayu, dengan dimensi 55 cm x 15 cm x 15 cm (keadaan buruk)

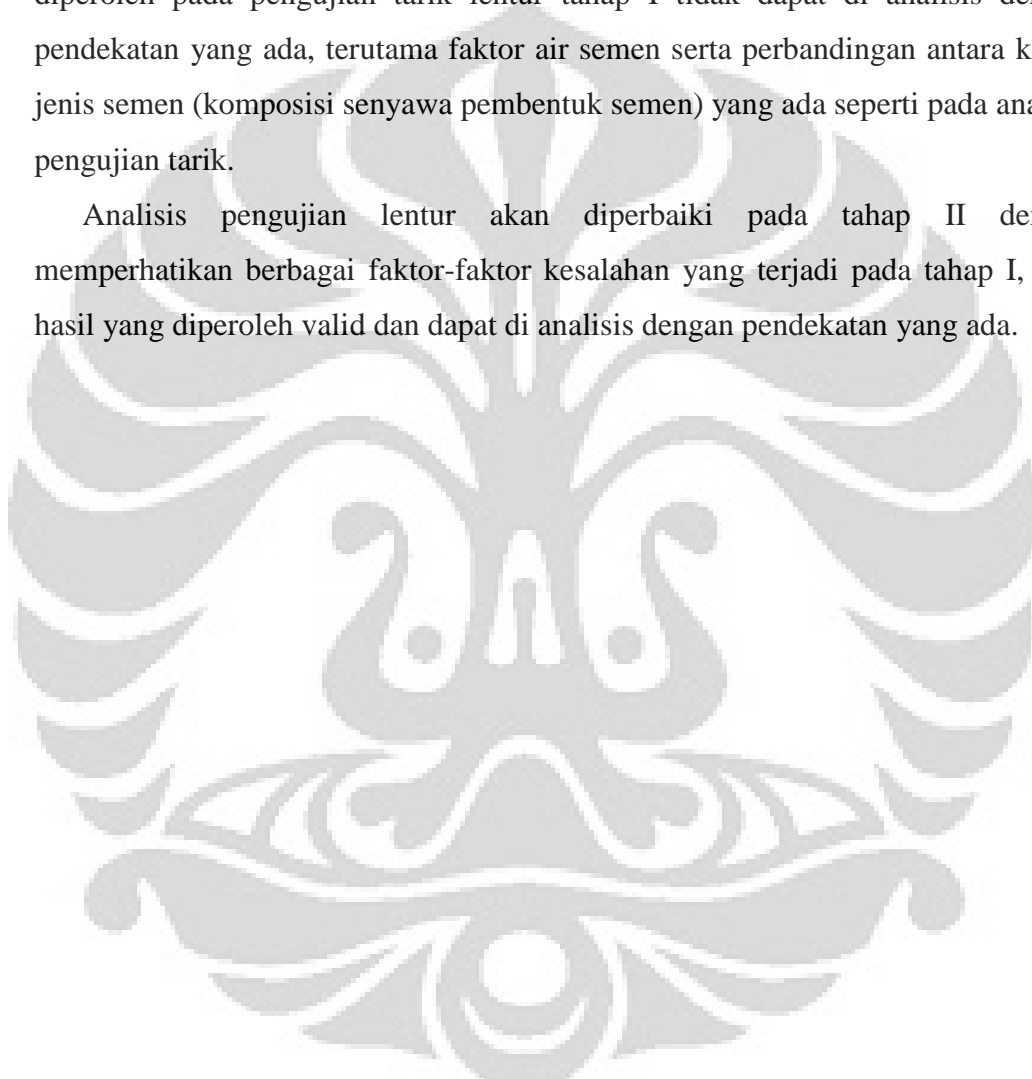
Hasil yang diperoleh menggunakan cetakan sampel baja I memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan cetakan lainnya. Sebab pada cetakan baja II dan kayu memiliki keadaan yang sangat buruk, kedua cetakan ini menghasilkan sampel dengan dimensi yang tidak presisi. Sehingga menyebabkan kekuatan yang diperoleh tidak optimum, terdapat beberapa sampel yang mengalami patahan disepertiga bentang pinggir pada saat pengujian. Selain itu keadaan permukaan sampel juga menjadi perhatian, permukaan yang tidak rata menyebabkan posisi beban pada saat pengujian tidak tepat pada posisi sepertiga bentang tengah balok.

Selain itu, mesin uji (*Flexural Bending Test Machine*) yang digunakan pada pengujian kuat tarik lentur tahap I memiliki konversi kalibrasi kurang tepat, sehingga mempengaruhi hasil pengujian. Pada mesin uji, kondisi perletakan yang dapat bergeser dan juga posisi beban yang terdistribusi tidak tepat di sepertiga bentang tengah merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi ketidaktepatan data uji yang diperoleh. Untuk mengetahui, kondisi mesin uji pada pengujian kuat tarik

lentur tahap pertama dapat dilihat pada halaman lampiran (gambar mesin uji tarik lentur).

Jadi dapat disimpulkan bahwa hasil pada pengujian tarik lentur tahap I ini dapat dinyatakan gagal, sehingga pada gambar 4.10 yang berisi nilai perbandingan kuat tarik lentur antara beton WPC dengan beton PCC terhadap variasi FAS tidak dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya. Data-data yang telah diperoleh pada pengujian tarik lentur tahap I tidak dapat di analisis dengan pendekatan yang ada, terutama faktor air semen serta perbandingan antara kedua jenis semen (komposisi senyawa pembentuk semen) yang ada seperti pada analisis pengujian tarik.

Analisis pengujian lentur akan diperbaiki pada tahap II dengan memperhatikan berbagai faktor-faktor kesalahan yang terjadi pada tahap I, agar hasil yang diperoleh valid dan dapat di analisis dengan pendekatan yang ada.



Pengujian Kuat Tarik Lentur Tahap II

Pengujian tarik lentur tahap II ini telah menggunakan cetakan sampel yang seragam berdimensi 60 cm × 15 cm × 15 cm. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tarik lentur tahap II yang dilakukan di laboratorium material. Selain itu, pada pengujian ini telah menggunakan mesin uji tarik lentur (*Flexural Bending Test Machine*) yang berbeda dengan tahap I serta memiliki kalibrasi yang baik.

Tabel 4. 36 Hasil Uji Tarik Lentur Beton WPC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II

No.	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)		BEBAN (P)		Bentang & Dimensi Penampang			W = $\frac{1}{6}bh^2$ (mm ³)	Momen Lentur M = $\frac{1}{6}PL$ (N.mm)	Teg.Lentur M/W (MPa)
	di cor	di test		I	II	(kg)	(N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)					
1	20/11/09	18/12/09	28	0.4	1-I	11.5	-	4284	41983.2	450	150	152	577600.00	3148740	5.4514
2	20/11/09	18/12/09	28	0.4	2-I	11.5	-	3876	37984.8	450	150	151	570025.00	2848860	4.9978
3	20/11/09	18/12/09	28	0.4	3-II	-	10.67	4131	40483.8	450	152	151	577625.33	3036285	5.2565
4	19/11/09	17/12/09	28	0.45	1-I	12	-	4080	39984	450	150	151	570025.00	2998800	5.2608
5	19/11/09	17/12/09	28	0.45	2-I	12	-	3774	36985.2	450	152	152	585301.33	2773890	4.7393
6	19/11/09	17/12/09	28	0.45	3-II	-	13.67	3672	35985.6	450	151	152	581450.67	2698920	4.6417
7	18/11/09	16/12/09	28	0.5	1-I	12.33	-	3162	30987.6	450	152	152	585301.33	2324070	3.9707
8	18/11/09	16/12/09	28	0.5	2-II	12.33	-	3264	31987.2	450	150	152	577600.00	2399040	4.1535
9	18/11/09	16/12/09	28	0.5	3-II	-	11.5	2958	28988.4	450	150	151	570025.00	2174130	3.8141
10	17/11/09	15/12/09	28	0.55	1-I	10.33	-	2856	27988.8	450	152	150	570000.00	2099160	3.6827
11	17/11/09	15/12/09	28	0.55	2-I	10.33	-	3060	29988	450	150	151	570025.00	2249100	3.9456
12	17/11/09	15/12/09	28	0.55	3-II	-	11.83	3009	29488.2	450	151	152	581450.67	2211615	3.8036

Tabel 4. 37 Hasil Uji Tarik Lentur Beton PCC pada FAS 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 Tahap II

No	Tanggal		Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)		BEBAN (P)		Bentang & Dimensi Penampang			W = $\frac{1}{6}bh^2$ (mm ³)	Momen Lentur M = $\frac{1}{6}PL$ (N.mm)	Teg.Lentur M/W (MPa)
	di cor	di test		I	II	(kg)	(N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)					
1	10/11/09	08/12/09	28	0.4	1-I	12.33	-	3162	30987.6	450	151	151	573825.17	2324070	4.0501
2	10/11/09	08/12/09	28	0.4	2-I	12.33	-	2958	28988.4	450	150	150	562500.00	2174130	3.8651
3	10/11/09	08/12/09	28	0.4	3-II	-	12.17	3264	31987.2	450	152	151	577625.33	2399040	4.1533
4	11/11/09	09/12/09	28	0.45	1-I	12.83	-	2856	27988.8	450	151	151	573825.17	2099160	3.6582
5	11/11/09	09/12/09	28	0.45	2-I	12.83	-	2754	26989.2	450	150	151	570025.00	2024190	3.5511
6	11/11/09	09/12/09	28	0.45	3-II	-	13.33	2856	27988.8	450	152	151	577625.33	2099160	3.6341
7	12/11/09	10/12/09	28	0.5	1-I	11.67	-	2652	25989.6	450	152	152	585301.33	1949220	3.3303
8	12/11/09	10/12/09	28	0.5	2-II	11.67	-	2754	26989.2	450	150	152	577600.00	2024190	3.5045
9	12/11/09	10/12/09	28	0.5	3-II	-	12.17	2550	24990	450	151	150	566250.00	1874250	3.3099
10	13/11/09	11/12/09	28	0.55	1-I	11	-	2550	24990	450	150	150	562500.00	1874250	3.3320
11	13/11/09	11/12/09	28	0.55	2-I	11	-	2550	24990	450	150	151	570025.00	1874250	3.2880
12	13/11/09	11/12/09	28	0.55	3-II	-	13.17	2244	21991.2	450	152	150	570000.00	1649340	2.8936

Tabel di bawah ini menunjukkan pengolahan data untuk nilai rata-rata pengujian lentur beton WPC dan beton PCC, dimana data-data kuat tarik lentur yang diperoleh telah dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi dalam kelompok data. Pada tabel terdapat nilai beban (P) dan kuat tarik lentur dengan angka bertanda merah, hal itu memperlihatkan nilai yang menyimpang diantara kelompok data didalam variasinya. Sehingga data-data tersebut tidak dimasukkan ke dalam pengolahan data untuk memperoleh nilai rata-rata yang tepat pada pengujian lentur dari beton WPC dan beton PCC.

Tabel 4. 38 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC pada Tahap II

No.	Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)	Teg.Lentur (MPa)	Standar Deviasi	Teg. Lentur Rata-rata (MPa)
1	28	0.4	1-I	11.5	5.4514	13.78%	5.3540
2	28	0.4	2-I	11.5	4.9978		
3	28	0.4	3-II	10.67	5.2565		
4	28	0.45	1-I	12	5.2608	6.90%	4.6905
5	28	0.45	2-I	12	4.7393		
6	28	0.45	3-II	13.67	4.6417		
7	28	0.5	1-I	12.33	3.9707	11.08%	3.8924
8	28	0.5	2-II	12.33	4.1535		
9	28	0.5	3-II	11.5	3.8141		
10	28	0.55	1-I	10.33	3.6827	13.16%	3.8107
11	28	0.55	2-I	10.33	3.9456		
12	28	0.55	3-II	11.83	3.8036		

Keterangan: kuat tarik sampel bertanda disamakan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 16 % sesuai dengan standar ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading*

Tabel 4. 39 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton PCC pada Tahap II

No.	Umur (hari)	FAS & Code		Slump (cm)	Teg.Lentur (MPa)	Standar Deviasi	Teg. Lentur Rata-rata (MPa)
1	28	0.4	1-I	12.33	4.0501	14.60%	3.9576
2	28	0.4	2-I	12.33	3.8651		
3	28	0.4	3-II	12.17	4.1533		
4	28	0.45	1-I	12.83	3.6582	5.08%	3.6145
5	28	0.45	2-I	12.83	3.5511		
6	28	0.45	3-II	13.33	3.6341		
7	28	0.5	1-I	11.67	3.3303	9.10%	3.3816
8	28	0.5	2-II	11.67	3.5045		
9	28	0.5	3-II	12.17	3.3099		
10	28	0.55	1-I	11	3.3320	2.54%	3.1712
11	28	0.55	2-I	11	3.2880		
12	28	0.55	3-II	13.17	2.8936		

Keterangan: kuat tarik sampel bertanda disamakan tidak dipakai karena menyebabkan standar deviasi > 16 % sesuai dengan standar ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading*

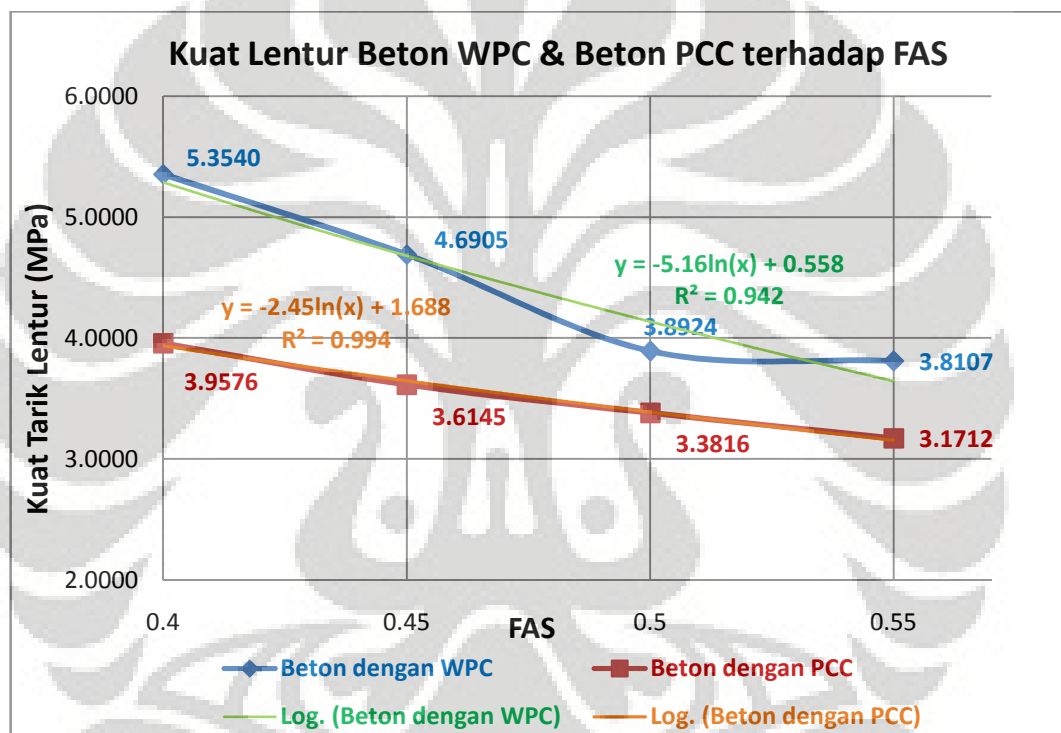
Hubungan Kuat Tarik Lentur Terhadap Faktor Air Semen

Dari hasil pengujian tahap II menunjukkan bahwa semakin kecil nilai faktor air semen maka kuat tarik lentur yang diperoleh semakin tinggi, hal ini dapat terlihat dalam tabel ringkasan hasil pengujian beton WPC dan beton PCC.

Tabel 4. 40 Perbandingan Hasil Rata-Rata Uji Tarik Lentur Beton WPC dengan Beton PCC pada umur beton 28 hari di masing-masing FAS pada Tahap II

Jenis Beton	Umur (hari)	Kuat Tarik Lentur Rata-rata (MPa) pada FAS			
		0.4	0.45	0.5	0.55
Beton WPC	28	5.3540	4.6905	3.8924	3.8107
Beton PCC	28	3.9576	3.6145	3.3816	3.1712

Pada tabel 4.40 dapat dilihat bahwa beton WPC memiliki kuat tarik lentur rata-rata terbesar pada FAS 0,4 dengan nilai 5,3540 MPa dan terkecil pada FAS 0,55 dengan nilai 3,8107 MPa. Sedangkan pada beton PCC memiliki kuat tarik lentur rata-rata terbesar pada FAS 0,4 dengan nilai 3,9576 MPa dan terkecil pada FAS 0,55 dengan nilai 3,1712 MPa. Jika membandingkan antara kuat tarik lentur beton WPC dengan kuat tarik lentur beton PCC, maka jelas terlihat bahwa beton WPC memiliki *nilai modulus of rupture* lebih tinggi dibandingkan dengan beton PCC di masing-masing nilai FAS. Untuk memperjelas perbandingan antara kedua jenis beton tersebut dapat dilihat dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4. 11 Grafik Kuat Tarik Lentur pada Beton WPC dengan Beton PCC terhadap FAS di umur beton 28 hari untuk Tahap II

Pada gambar 4.11 dapat terlihat bahwa semakin besar nilai faktor air semen maka akan semakin kecil nilai kuat tarik lentur yang dihasilkan baik pada beton WPC maupun beton PCC. Selain itu, grafik di atas juga dapat dibandingkan bahwa kuat tarik lentur (*modulus of rupture*) yang dimiliki beton WPC lebih tinggi beton PCC dimasing-masing nilai FAS.

Apabila digunakan suatu pendekatan terhadap grafik hubungan kuat tarik lentur pada beton WPC dan beton PCC dengan suatu persamaan garis maka akan diperoleh suatu persamaan garis *logarithmic* yang dapat digunakan untuk

menentukan kuat tarik lentur pada beton WPC dan beton PCC terhadap faktor air semen. Dari grafik diatas dapat terlihat kedua persamaan garis *logarithmic* dan nilai ketepatan (R) untuk masing-masing beton.

Dimana perbedaan nilai (yang dinyatakan dalam %) yang terjadi pada nilai kuat tarik lentur beton PCC terhadap nilai kuat tarik lentur beton WPC untuk masing-masing variasi faktor air semen adalah sebagai berikut untuk FAS 0,4 sebesar 35,28 %; FAS 0,45 sebesar 29,77 %; FAS 0,5 sebesar 15,11 %; dan FAS 0,55 sebesar 20,16 %. Perbedaan kekuatan lentur pada beton WPC terlihat jelas pada FAS 0,4 dimana nilai kekuatannya 35,28% lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan lentur beton PCC.

Hal yang menyebabkan kekuatan lentur pada beton WPC lebih tinggi dibandingkan kekuatan lentur pada beton PCC di masing-masing FAS terletak pada perbedaan jenis semen yang digunakan. Pembahasan mengenai perbandingan komposisi penyusun semen WPC dengan semen PCC telah dijelaskan pada analisis kuat tarik.

Dengan demikian, hal yang sama juga berlaku terhadap perbandingan kuat tarik lentur beton WPC dan beton PCC, yaitu perbandingan unsur-unsur penyusun pada masing-masing semen. Dimana jumlah presentase kapur (CaO) dalam semen ini ternyata sangat mempengaruhi hasil kuat tarik pada kedua beton. Semen WPC memiliki presentase kapur (CaO) yang lebih banyak daripada semen PCC. Peranan unsur kapur (CaO) dalam semen adalah sebagai pembentuk ikatan senyawa utama yang berikatan dengan bersama unsur lainnya, menghasilkan komposisi senyawa terutama C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF .

Letak perbedaan selanjutnya pada kedua semen ini adalah bahan tambahan yang digunakan dalam semen yaitu pozzolan. Semen PCC adalah semen campuran yang terdiri dari semen Portland dan pozzolan. Sedangkan semen WPC disini adalah semen Portland memiliki nilai presentase unsur oksida besi (Fe_2O_3) yang rendah dibawah 0,4 % tanpa ada bahan tambahan lainnya.

Dengan adanya pozzolan seharusnya pada reaksi hidrasi semen PCC bereaksi dengan maksimal dan memberikan kekuatan yang optimum untuk beton PCC. Pada semen PCC, hasil sampingan dari proses hidrasi antara kapur padam aktif ($Ca(OH)_2$) dengan unsur silika dan alumina yang reaktif membentuk senyawa

ikatan kalsium silika hidrat dan kalsium alumina hidrat yang lebih banyak dibandingkan semen WPC. Walaupun kandungan silika dan alumina pada semen PCC lebih banyak karena penambahan bahan pozzolan ternyata tidak mempengaruhi secara signifikan dalam kuat tarik beton. Sebaliknya pada semen WPC, komposisi senyawa utama pada semen memberikan kekuatan yang lebih dibandingkan semen PCC.

Kurangnya informasi mengenai komposisi senyawa utama pada semen PCC mempersulit analisis terhadap sifat-sifat dari unsur-unsur pembentuk semen tersebut sehingga tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan sifat dari komposisi senyawa dari semen WPC.

Jadi dari analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa beton WPC memiliki kekuatan lentur yang lebih besar dibandingkan beton PCC.

4.6. PERBANDINGAN KUAT TARIK BELAH DENGAN KUAT TARIK LENTUR

Salah satu sifat dari kelemahan beton yaitu tidak mampu menahan gaya tarik, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil kuat tariknya. Kuat tarik belah (f_t) adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya. Menurut Dipohusodo (1994:10) nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit untuk diukur.

Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui pengujian *splitting cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian yang berulang kali pada beton normal mencapai kekuatan $0,50 - 0,60 \sqrt{f_c'}$, sehingga untuk beton normal digunakan nilai $0,57 \sqrt{f_c'}$ (Dipohusodo, 1999: 10). Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang diatas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila

kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung keujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *splitting cylinder strength*.

Suatu pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, ialah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai dengan teori elastisitas. Kuat tarik lentur (f_r) adalah kekuatan tarik beton dalam keadaan lentur akibat momen. Kuat tarik lentur maksimum dialami oleh serat bawah balok beton dan disebut sebagai *Modulus of Rupture*, yang besarnya tergantung dari panjang balok dan jenis pembebanan. Pada struktur beton bertulang, kuat tarik lentur beton kurang memiliki pengaruh yang lebih karena gaya lentur pada balok telah ditopang oleh tulangan lentur yang ada. Namun kuat tarik lentur dibutuhkan untuk mengetahui batasan dan jenis keretakan pada struktur beton, karena keretakan yang tampak akibat tekanan selalu berkaitan dengan *modulus of rupture* dari beton. Nilai *modulus of rupture* sedikit lebih besar dari nilai kekuatan tarik sesungguhnya. Menurut SNI 03-1726-2002 nilai *modulus of rupture* adalah $f_r = 0,7 \sqrt{f_c'}$ untuk beton normal.

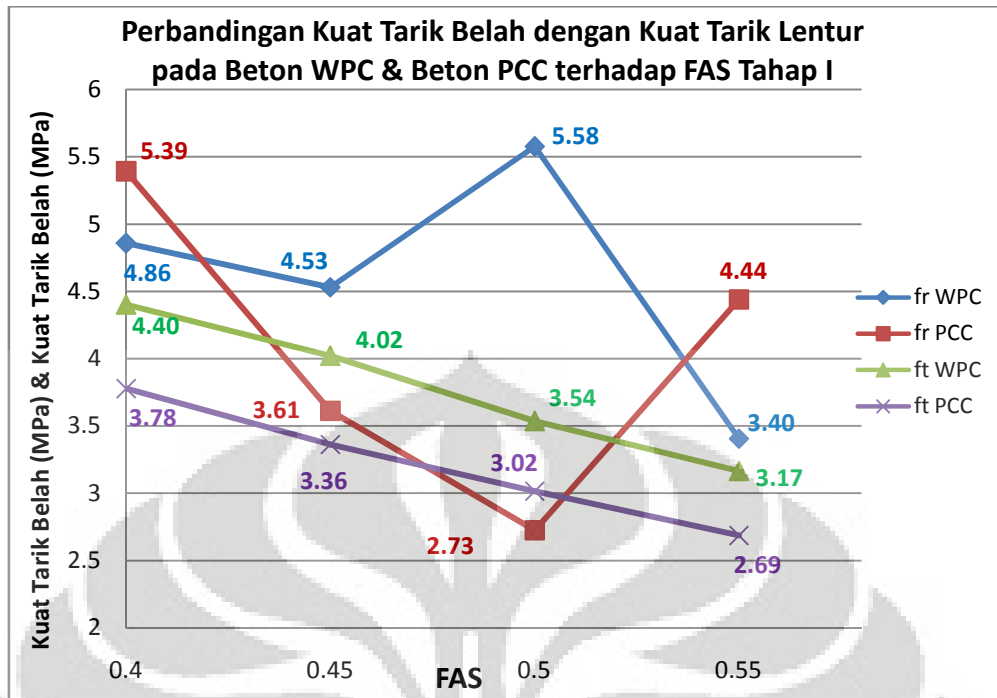
Sedangkan menurut buku *Properties of Concrete* karangan A. M. Neville mengatakan bahwa, beton secara umum tidak didesain untuk menahan gaya tarik, pengetahuan tentang kekuatan tarik adalah nilai dalam memperkirakan beban di mana retakan akan terjadi. Terdapat tiga metode dalam mencari kekuatan tarik pada beton diantaranya pengujian tarik langsung (*direct test*), pengujian tarik belah (*splitting test*) dan pengujian tarik lentur (*flexural test*). Uji tarik belah lebih sederhana untuk dilakukan dan memberikan hasil yang lebih baik diantara pengujian tarik lainnya. Kekuatan yang diperoleh dari uji tarik belah lebih dipercaya yang paling dekat dengan kuat tarik asli dimiliki beton dibandingkan dengan *modulus of rupture*; kekuatan tarik ini 5 - 12 % lebih tinggi dibandingkan uji tarik langsung. Namun, di dalam pengujian mortar dan beton ringan, uji tarik belah memiliki nilai yang sangat rendah. Dengan agregat normal, letak agregat tersebut di dekat permukaan dimana beban akan diberikan dapat mempengaruhi perilaku kekuatannya. Keunggulan dari tarik belah adalah didalam tipe spesimen yang sama bisa digunakan untuk pengujian tekan dan tarik.

Telah disebutkan bahwa pengujian lentur adalah untuk mengetahui nilai *modulus of rupture* dari suatu sampel balok. Nilai *modulus of rupture* yang dihasilkan melampaui kekuatan tarik beton biasa dan memberikan nilai yang lebih tinggi daripada akan diperoleh dalam tes tarik langsung pada briket (yang terbuat dari beton yang sama), atau dalam tes tarik belah. Meskipun begitu, uji tarik lentur ini sangat berguna, khususnya dalam hubungan perancangan slab jalan dan landasan pesawat terbang karena tegangan lentur digunakan sebagai faktor kritis.

Terdapat beberapa alasan mengapa *modulus of rupture* memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding pengujian tarik lainnya, hal-hal tersebut diantaranya berkaitan dengan asumsi bentuk tegangan pada balok, nilai eksentrisitas dalam uji tarik langsung hasilnya nyata yang lebih rendah kekuatan beton serta pengaruh cara pembebanan pada *modulus of rupture* dengan pengujian lainnya, dimana pada uji tarik langsung seluruh bagian spesimen terkena tegangan maksimum, sehingga kemungkinan terjadi elemen-elemen yang lemah cukup tinggi. Selain itu pada pengujian lentur, tegangan serat maksimum yang terjadi mungkin lebih tinggi dari tegangan yang terjadi pada uji tarik belah karena ditahan oleh bagian atas dari elemen yang tertekan di dekat sumbu netral. Sehingga energi yang dibutuhkan untuk mendapatkan memikul momen di serat bawah lebih besar akibat tertahan tegangan tekan di bagian daerah serat atas akibatnya beton tidak langsung runtuh namun akan bertahan sedikit lebih lama untuk menahan momen lentur. Berikut adalah tabel dan gambar perbandingan antara hasil tes tarik belah dan tes kuat tarik lentur pada tahap I:

Tabel 4. 41 Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC Tahap I

Jenis Beton	Variasi W/C	f_t (MPa)	f_r (MPa)	f_t/f_r	Rata-rata f_t/f_r	Median	Standar Deviasi
WPC	0.4	4.4019	4.8578	0.9062	0.8394	0.8969	13.80%
	0.45	4.0206	4.5297	0.8876			
	0.5	3.5354	5.5761	0.634			
	0.55	3.1657	3.4049	0.9297			
PCC	0.4	3.778	5.3926	0.7006	0.8357	0.8157	22.64%
	0.45	3.3621	3.6125	0.9307			
	0.5	3.0155	2.7257	1.1063			
	0.55	2.6862	4.4402	0.605			



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC terhadap FAS untuk Tahap I

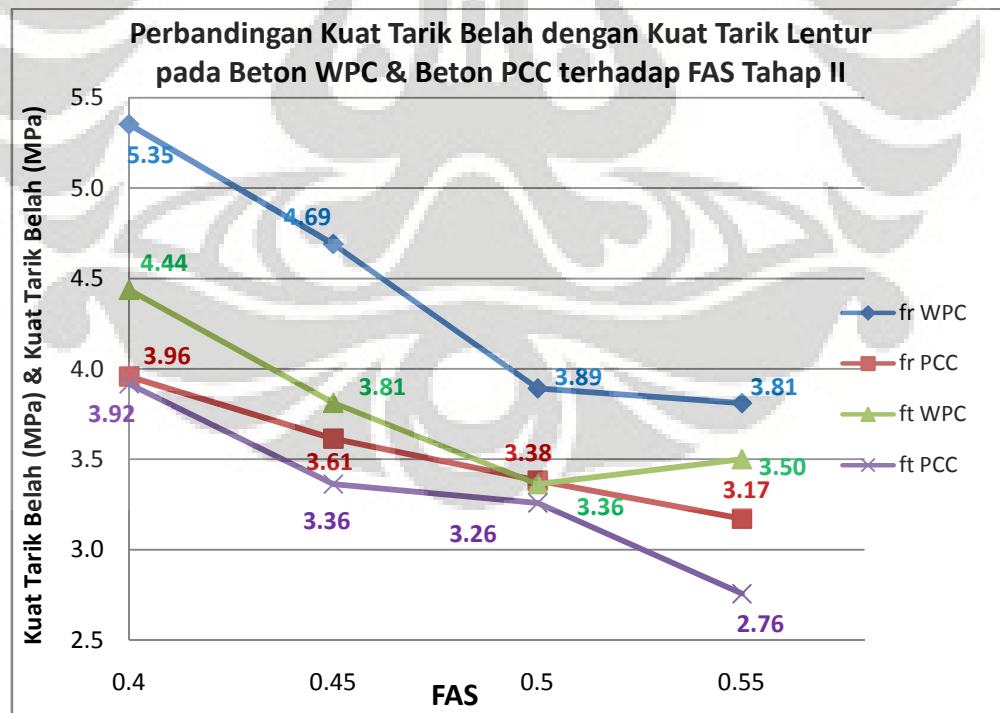
Pada sub-bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa pengujian kuat tarik lentur pada tahap I telah dinyatakan gagal karena hasil pengujiannya tidak dapat di analisis dengan pendekatan studi literatur yang ada. Sehingga grafik gambar 4.12 di atas tidak dapat digunakan sebagai acuan untuk membandingkan kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC terhadap FAS. Tabel 4.41 membuktikan hal ini, dengan perolehan perhitungan standar deviasi perbandingan antara kuat tarik belah dan kuat tarik lentur (pada beton WPC dan PCC dimasing-masing FAS) memiliki nilai sangat besar yaitu melebihi 10%.

Berikut adalah tabel perbandingan antara hasil tes tarik belah dan tes kuat tarik lentur pada tahap II:

Tabel 4. 42 Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC pada Tahap II

Jenis Beton	Variasi W/C	f_t (MPa)	f_r (MPa)	f_t/f_r	Rata-rata f_t/f_r	Median	Standar Deviasi
WPC	0.4	4.4365	5.3540	0.8286	0.8560	0.8462	4.69%
	0.45	3.8126	4.6905	0.8128			
	0.5	3.3621	3.8924	0.8637			
	0.55	3.5007	3.8107	0.9187			
PCC	0.4	3.9166	3.9576	0.9896	0.9381	0.9468	5.21%
	0.45	3.3621	3.6145	0.9302			
	0.5	3.2581	3.3816	0.9635			
	0.55	2.7555	3.1712	0.8689			

Pada tabel diatas diperoleh nilai perbandingan hasil uji tarik belah dengan uji kuat tarik lentur pada beton WPC adalah sebesar 0,8560. Sedangkan pada beton PCC diperoleh nilai perbandingan yang lebih tinggi sebesar 0,9360. Nilai standar deviasi pada perbandingan kedua jenis beton memiliki nilai di bawah 10 %. Untuk memperjelas perbandingan antara hasil uji tarik belah dengan uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan beton PCC, dapat dilihat dalam grafik di bawah ini.



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan antara hasil uji tarik belah & uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan PCC terhadap FAS untuk Tahap II

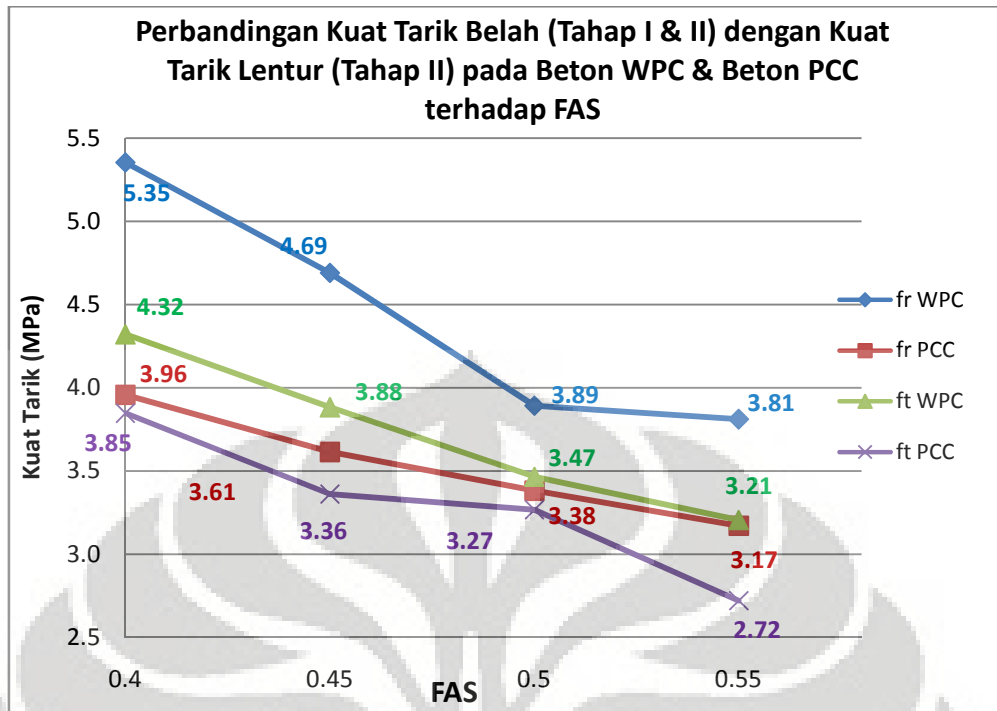
Dapat dilihat dalam grafik bahwa baik pada beton WPC maupun beton PCC memiliki nilai yang kuat tarik lentur lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tarik belahnya. Perbandingan antara kuat tarik lentur terhadap kuat tarik belah pada beton WPC memiliki jarak perbandingan yang lebih besar dibandingkan dengan PCC. Hal ini menyebabkan nilai koefisien rata-rata pada beton WPC menjadi lebih kecil. Sedangkan pada beton PCC memiliki nilai koefisien rata-rata yang lebih besar karena nilai perbandingan antara kuat tarik lentur terhadap kuat tarik belah yang lebih rapat dibandingkan beton WPC.

Berikut adalah tabel dan gambar perbandingan antara hasil tes tarik belah dengan gabungan tahap I & II terhadap tes kuat tarik lentur pada tahap II:

Tabel 4. 43 Perbandingan antara hasil uji tarik belah (gabungan tahap I &II) & uji kuat tarik lentur (tahap II) pada beton WPC dan PCC

Jenis Beton	Variasi W/C	f_t (MPa)	f_r (MPa)	f_t/f_r	Rata-rata f_t/f_r	Median	Standar Deviasi
WPC	0.4	4.3210	5.3540	0.8071	0.8416	0.8345	3.55%
	0.45	3.8820	4.6905	0.8276			
	0.5	3.4660	3.8924	0.8905			
	0.55	3.2061	3.8107	0.8413			
PCC	0.4	3.8473	3.9576	0.9721	0.9316	0.9481	5.24%
	0.45	3.3621	3.6145	0.9302			
	0.5	3.2667	3.3816	0.9660			
	0.55	2.7208	3.1712	0.8580			

Penambahan dua sampel di masing-masing FAS pada pengujian tarik belah menyebabkan perubahan nilai untuk kuat tarik belah dan juga nilai perbandingan koefisien rata-rata pada kedua jenis beton. Pada tabel diatas diperoleh nilai perbandingan hasil uji tarik belah dengan uji kuat tarik lentur pada beton WPC adalah sebesar 0,8416. Sedangkan pada beton PCC diperoleh nilai perbandingan yang lebih tinggi sebesar 0,9316. Nilai standar deviasi pada perbandingan kedua jenis beton memiliki nilai di bawah 10 %. Untuk memperjelas perbandingan antara hasil uji tarik belah dengan uji kuat tarik lentur pada beton WPC dan beton PCC, dapat dilihat dalam grafik di bawah ini.



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan antara hasil uji tarik belah (gabungan tahap I &II) & uji kuat tarik lentur (tahap II) pada beton WPC dan PCC terhadap FAS

Dapat dilihat dalam grafik di atas bahwa baik pada beton WPC maupun beton PCC memiliki nilai yang kuat tarik lentur lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tarik belahnya. Perbandingan antara kuat tarik lentur terhadap kuat tarik belah pada beton WPC memiliki jarak perbandingan yang lebih besar dibandingkan dengan PCC. Hal ini menyebabkan nilai koefisien rata-rata pada beton WPC menjadi lebih kecil. Sedangkan pada beton PCC memiliki nilai koefisien rata-rata yang lebih besar karena nilai perbandingan antara kuat tarik lentur terhadap kuat tarik belah yang lebih rapat dibandingkan beton WPC.

4.7. PERBANDINGAN KUAT TARIK BELAH (SPLITTING TEST) DAN KUAT TARIK LENTUR (FLEXURAL TEST) TERHADAP KUAT TEKAN (CRUSHING TEST)

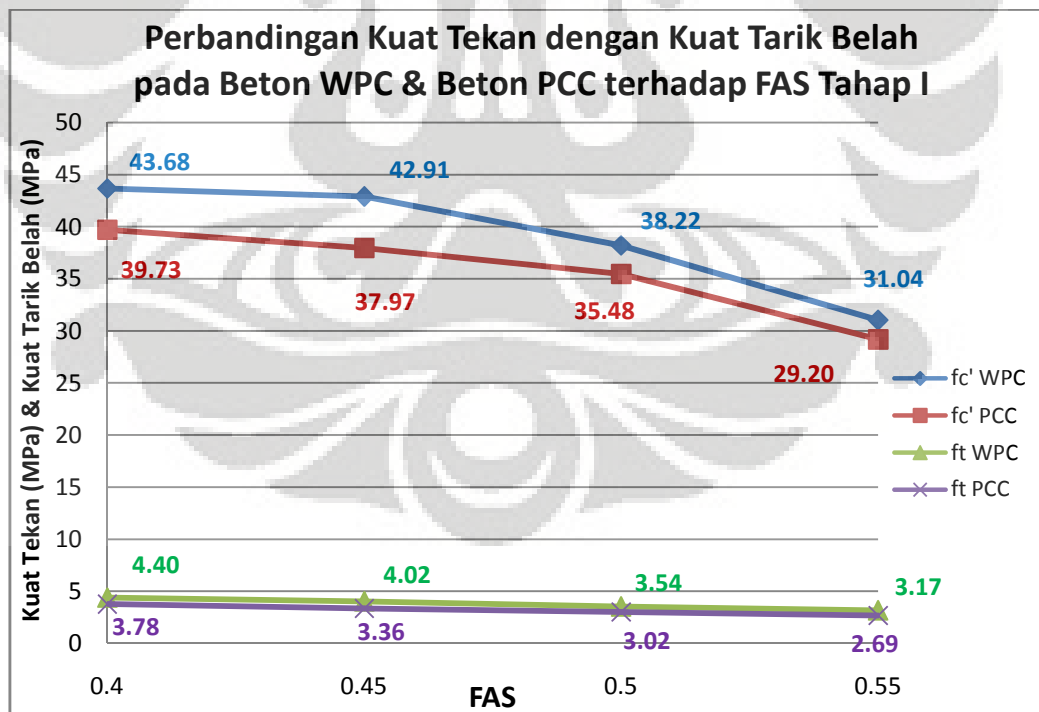
Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama dari beton, sehingga untuk membandingkan karakteristik kekuatan lainnya dalam beton sering digunakan kuat tekan sebagai koefisien pembandingnya. Terutama pada kuat tarik belah (*splitting test*) dan kuat tarik lentur (*flexural test*), yang kedua pengujian tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mengetahui kuat tarik dari beton.

Untuk mengetahui hasil pengujian tersebut valid atau tidak, maka dibutuhkan suatu perbandingan yaitu kuat tekan. Hasil perbandingan kuat tarik belah beton dengan kuat tekan beton pada hari ke 28 untuk tahap I dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 44 Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap I

Jenis Beton	Variasi W/C	f_c' (MPa)	f_t (MPa)	f_t/f_c'	Koef.	Rata-rata Koef.	Median	Standar Deviasi
WPC	0.4	43.6822	4.4019	10.08%	0.6660	0.6050	0.5928	4.57%
	0.45	42.9061	4.0206	9.37%	0.6138			
	0.5	38.2219	3.5354	9.25%	0.5719			
	0.55	31.0432	3.1657	10.20%	0.5682			
PCC	0.4	39.7279	3.778	9.51%	0.5994	0.5371	0.5259	4.65%
	0.45	37.9725	3.3621	8.85%	0.5456			
	0.5	35.478	3.0155	8.50%	0.5063			
	0.55	29.1954	2.6862	9.20%	0.4971			

Untuk memperjelas perbandingan kuat tarik belah dengan kuat tekan pada beton WPC dan beton PCC pada tahap I berikut ini adalah grafik perbandingannya.



Gambar 4. 15 Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap I

Hasil yang diperoleh pada perbandingan diatas bahwa nilai perbandingan kuat tarik beton WPC terhadap kuat tekannya berada pada nilai kuat tarik belah beton normal yang berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994). Sedangkan untuk nilai koefisien k yang diperoleh melalui perbandingan kuat tarik belah terhadap nilai $\sqrt{f'_c}$ diperoleh nilai rata-rata 0,61 dari variasi FAS untuk beton WPC dan nilai rata-rata 0,54 dari variasi FAS untuk beton PCC. Nilai koefisien beton WPC ternyata lebih besar dibandingkan nilai koefisien menurut Dipohusodo yaitu $0,57 \sqrt{f'_c}$.

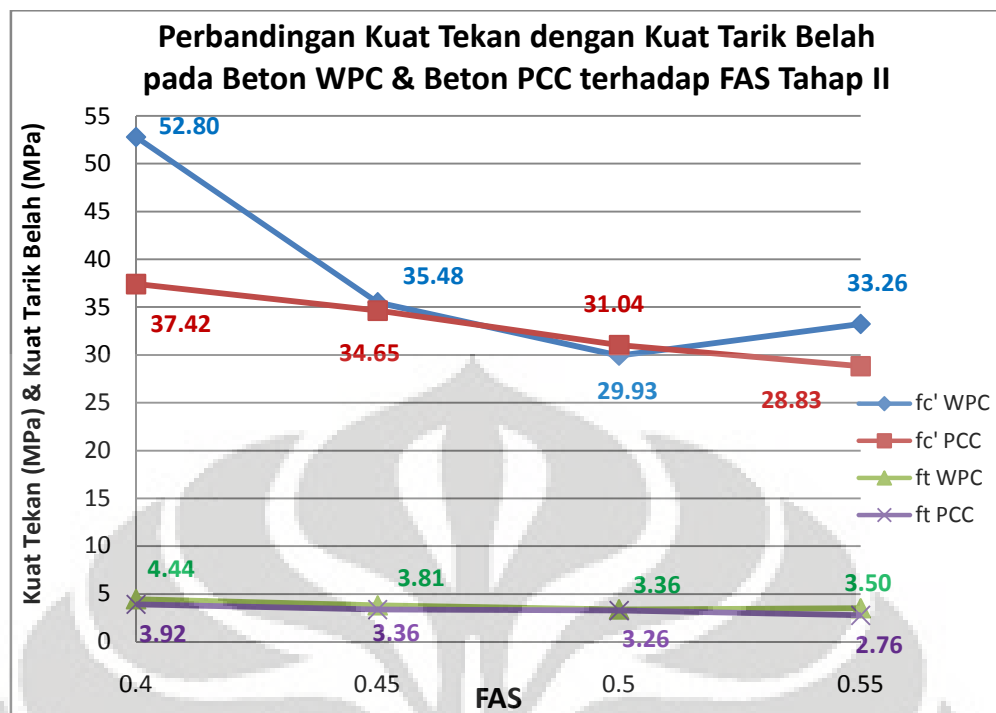
Sedangkan hasil perbandingan kuat tarik belah beton dengan kuat tekan beton pada hari ke 28 untuk tahap II dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 45 Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap II

Jenis Beton	Variasi W/C	f'_c (MPa)	f_t (MPa)	f_t/f'_c	Koef.	Rata-rata Koef.	Median	Standar Deviasi
WPC	0.4	52.80	4.4365	8.40%	0.6106	0.6180	0.6125	1.50%
	0.45	35.48	3.8126	10.75%	0.6401			
	0.5	29.93	3.3621	11.23%	0.6145			
	0.55	33.26	3.5007	10.53%	0.6070			
PCC	0.4	37.4182	3.9166	10.47%	0.6403	0.5774	0.5780	5.22%
	0.45	34.6465	3.3621	9.70%	0.5712			
	0.5	31.0432	3.2581	10.50%	0.5848			
	0.55	28.8259	2.7555	9.56%	0.5132			

Keterangan: kuat tekan pada tabel diatas digunakan sebagai kontrol saja terhadap kuat tarik belah, karena sampel yang digunakan hanya berjumlah satu sampel pada masing-masing FAS

Untuk memperjelas perbandingan kuat tarik belah dengan kuat tekan pada beton WPC dan beton PCC pada tahap II berikut ini adalah grafik perbandingannya.



Gambar 4. 16 Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap II

Hasil yang diperoleh pada perbandingan tahap II hampir mendekati nilai kuat tarik belah beton normal hanya berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994). Namun pada pengujian tahap II ini, sampel yang digunakan sebagai kuat tekan hanya berjumlah satu sampel sebagai kontrol terhadap dua sampel kuat tarik belah sehingga kuat tekan yang terjadi pada masing-masing FAS belum bisa dianggap valid. Untuk mengetahui hasil lebih valid seharusnya digunakan sampel yang lebih banyak lagi sebagai pembanding. Pada FAS 0,4 terdapat nilai perbandingan yang terendah sebesar 8,40 %, hal ini terjadi karena kuat tekan kontrol yang diperoleh pada FAS 0,4 sangat tinggi yaitu 52, 80 MPa. Sedangkan untuk nilai koefisien k yang diperoleh melalui perbandingan kuat tarik belah terhadap nilai $\sqrt{f_c'}$ diperoleh nilai rata-rata 0,62 dari variasi FAS untuk beton WPC dan nilai rata-rata 0,58 dari variasi FAS untuk beton PCC. Nilai koefisien beton WPC ternyata lebih besar dibandingkan nilai koefisien menurut Dipohusodo yaitu $0,57\sqrt{f_c'}$.

Dari tabel dan gambar perbandingan di halaman sebelumnya terlihat bahwa kuat tarik belah dan kuat tekan beton WPC pada FAS 0,5 lebih rendah dibandingkan kuat tarik belah dan kuat tekan beton WPC pada FAS 0,55. Hal ini

terjadi karena slump diperoleh pada saat rancang campur untuk FAS 0,5 sangat rendah yaitu 13,67 cm dibandingkan FAS 0,55 dengan nilai slump 10,67 cm, slump dengan nilai 13,67 cm tersebut memiliki kekentalan yang encer dengan kandungan yang cukup banyak sehingga membuat kuat beton menjadi rendah. Pengaruh tersebut terlihat jelas pada hasil yang diperoleh pada kuat tarik belah dan kuat tekan beton WPC untuk FAS 0,5 terhadap FAS 0,55.

Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik lentur beton SNI 03-1726-2002 nilai *modulus of rupture* adalah

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} \quad (4.1)$$

untuk beton normal, f_r dalam *MPa* bila f_c' dalam *MPa*.

Sedangkan menurut standar ACI 318 – 83 hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik lentur beton, dapat dirumuskan sebagai berikut:

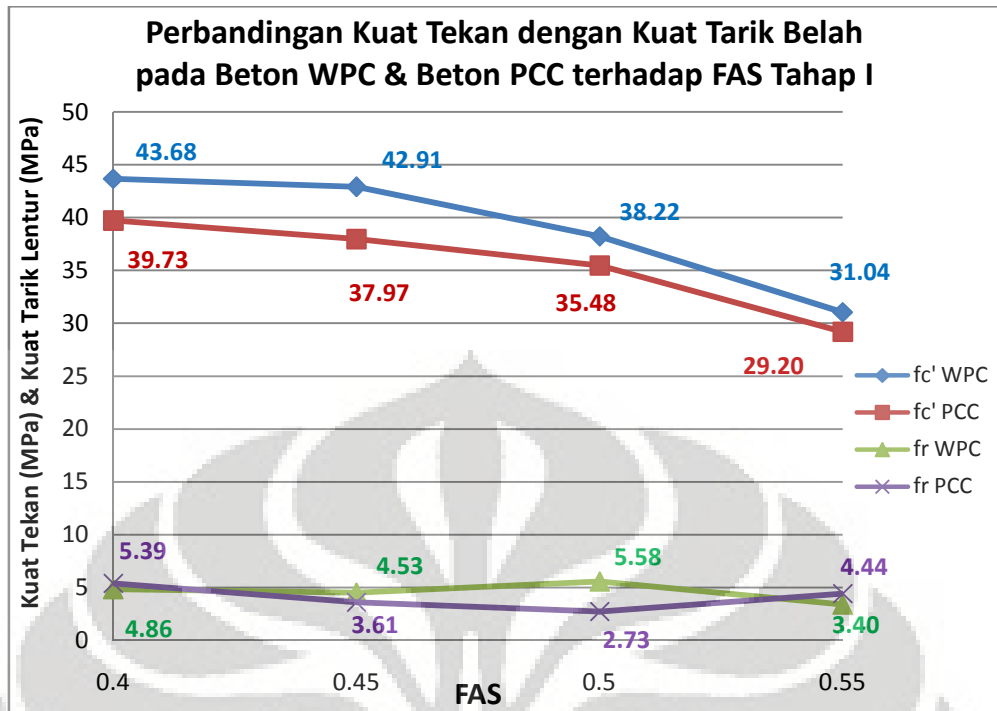
$$f_r = 0,62 \sqrt{f_c'} \quad (4.2)$$

Hasil perbandingan kuat tarik lentur beton dengan kuat tekan beton pada hari ke 28 untuk tahap I dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 46 Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap I

Jenis Beton	Variasi W/C	f_c' (MPa)	f_r (MPa)	Koef.	Rata-rata Koef.	Median	Standar Deviasi
WPC	0.4	43.6822	4.8578	0.73	0.7325	0.7100	12.23%
	0.45	42.9061	4.5297	0.69			
	0.5	38.2219	5.5761	0.90			
	0.55	31.0432	3.4049	0.61			
PCC	0.4	39.7279	5.3926	0.86	0.6825	0.7050	19.02%
	0.45	37.9725	3.6125	0.59			
	0.5	35.478	2.7257	0.46			
	0.55	29.1954	4.4402	0.82			

Untuk memperjelas perbandingan kuat tarik lentur dengan kuat tekan pada beton WPC dan beton PCC pada tahap I berikut ini adalah grafik perbandingannya.



Gambar 4.17 Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap I

Hasil yang diperoleh pada perbandingan diatas, kuat tarik lentur beton PCC di variasi 0,4 dan 0,45 memiliki koefisien yang mendekati koefisien rumus empiris nilai kuat tarik lentur menurut SNI 03-1726-2002 yaitu nilai *modulus of rupture* $f_r = 0,7 \sqrt{f_c'}$ untuk beton normal. Kegagalan dalam pengujian kuat tarik lentur jelas terlihat dalam standar deviasi yang sangat besar, dimana nilai deviasi melebihi nilai 10% untuk beton WPC dan beton PCC.

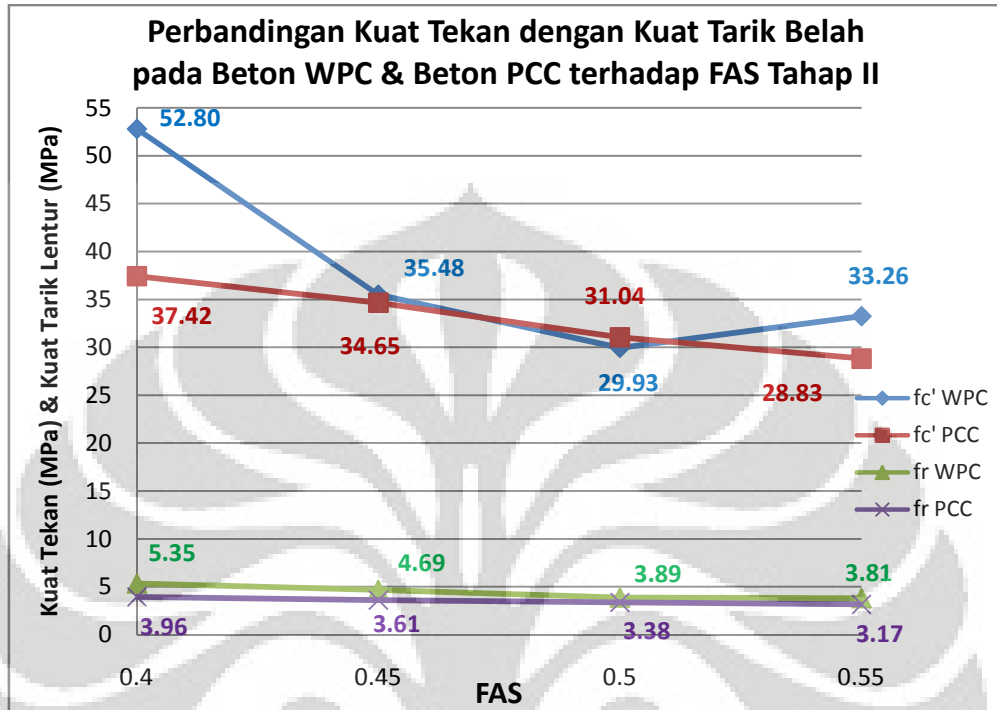
Hasil perbandingan kuat tarik lentur dengan kuat tekan beton pada hari ke 28 untuk tahap II dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.47 Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC di umur hari ke-28 untuk tahap II

Jenis Beton	Variasi W/C	f_c' (MPa)	f_r (MPa)	Koef.	Rata-rata Koef.	Median	Standar Deviasi
WPC	0.4	52.80	5.3540	0.7368	0.7241	0.7241	5.28%
	0.45	35.48	4.6905	0.7875			
	0.5	29.93	3.8924	0.7114			
	0.55	33.26	3.8107	0.6607			
PCC	0.4	37.42	3.9576	0.6470	0.6147	0.6105	2.37%
	0.45	34.65	3.6145	0.6141			
	0.5	31.04	3.3816	0.6069			
	0.55	28.83	3.1712	0.5907			

Keterangan: kuat tekan pada tabel diatas digunakan sebagai kontrol saja terhadap kuat tarik lentur, karena sampel yang digunakan hanya berjumlah satu sampel pada masing-masing FAS

Untuk memperjelas perbandingan kuat tarik lentur dengan kuat tekan pada beton WPC dan beton PCC pada tahap II berikut ini adalah grafik perbandingannya.



Gambar 4. 18 Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan pada Beton WPC dan Beton PCC terhadap FAS di umur hari ke-28 untuk tahap II

Hasil yang diperoleh pada perbandingan di halaman sebelumnya, kuat tarik lentur beton WPC memiliki koefisien berkisar $0,66 - 0,79 \sqrt{f_c'}$ yang hampir mendekati koefisien rumus empiris nilai kuat tarik lentur menurut SNI 03-1726-2002 yaitu nilai $f_r = 0,7 \sqrt{f_c'}$ untuk beton normal. Sedangkan kuat tarik lentur beton PCC memiliki koefisien berkisar $0,59 - 0,65 \sqrt{f_c'}$ yang lebih rendah dibandingkan koefisien rumus empiris nilai kuat tarik lentur menurut SNI 03-1726-2002 yaitu nilai $f_r = 0,7 \sqrt{f_c'}$ namun mendekati nilai koefisien empiris nilai kuat tarik lentur menurut ACI 318 - 83 yaitu $f_r = 0,62 \sqrt{f_c'}$. Jika nilai koefisien pada variasi FAS dirata-ratakan untuk masing-masing beton, maka akan terlihat jelas bahwa nilai rata-rata koefisien beton WPC sebesar $0,72 \sqrt{f_c'}$ yang nilainya hampir mendekati konstanta nilai kuat tarik lentur menurut SNI 03-1726-2002. Demikian juga pada nilai rata-rata koefisien beton PCC sebesar $0,61 \sqrt{f_c'}$ yang nilainya hampir mendekati konstanta nilai kuat tarik lentur menurut ACI 318-83.

Untuk mengetahui nilai kontanta kuat tarik belah dan kuat tarik lentur terhadap kuat tekan yang lebih baik lagi pada beton WPC dan PCC sebaiknya dilakukan yang berulang-ulang dengan jumlah sampel yang lebih banyak sehingga diperoleh nilai koefisien konstanta pembanding yang dianggap valid.

4.8. TEKNIS PENGUJIAN

4.8.1. Teknis Pengujian Kuat Tarik Belah

Pada pengujian tarik belah silinder, untuk mendapat pola belah yang baik pada sampel silinder dilakukan pengukuran untuk mengetahui keadaan dimensi yang sebenarnya. Ukuran yang presisi sangat mempengaruhi hasil uji yang akan diperoleh. Pada saat dilakukan pengukuran diberikan suatu tanda berupa garis tengah yang membelah silinder. Tanda garis tersebut berfungsi untuk mempermudah kedudukan posisi sampel pada pelat dasar (*bearing strip*) dan alat untuk menahan benda uji (*Supplementary bearing plate*) agar tepat tegak lurus terhadap mesin uji tekan. Berikut ini adalah gambar sampel silinder yang telah diberikan tanda garis.



Gambar 4. 19 Sampel silinder yang telah diberikan tanda garis untuk Uji Tarik Belah

Dengan pemberian tanda garis pada sampel tarik belah seperti yang terlihat pada gambar di atas dapat diperoleh hasil belah yang tepat ditengah-tengah sehingga data nilai kuat tarik belah menjadi akurat. Berikut ini adalah gambar sampel silinder yang telah di uji.



Gambar 4. 20 Sampel silinder Tarik Belah yang telah di uji

Jenis pola belah yang baik terjadi apabila silinder terbelah rata ditengah-tengah. Pada bagian tengah yang terbelah terlihat jelas bahwa agregat yang terikat pasta semen ikut terbelah dengan baik. Pengikatan antara pasta semen dan agregat sangat mempengaruhi nilai dari kuat tarik belah. Selain itu, posisi agregat yang terdapat didalam silinder juga sangat mempengaruhi hasil dari pengujian. Oleh karena itu, proses pemadatan sampel juga harus diperhatikan agar hasil yang diperoleh pada saat pengujian lebih akurat.

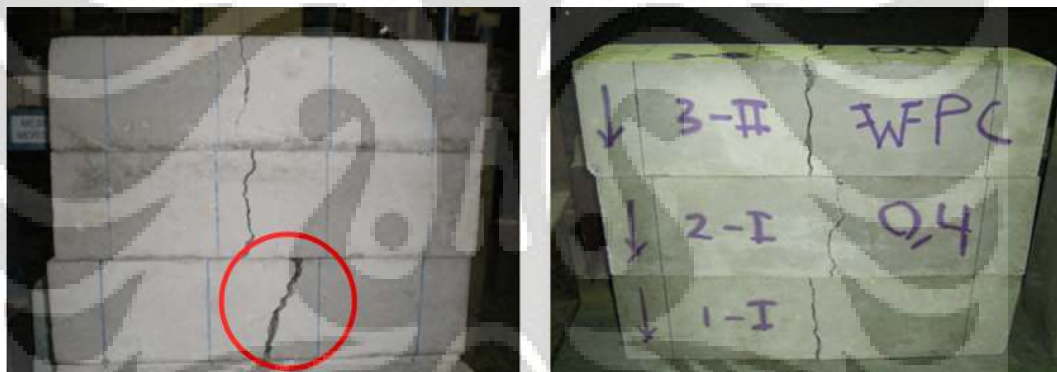
4.8.2. Teknis Pengujian Kuat Tarik Lentur

Pada pengujian balok tarik lentur, balok yang akan di uji sebaiknya dilakukan pengukuran kembali terhadap dimensi balok sebelum dilakukan pengujian. Dimensi yang diukur adalah bagian penampang dan panjang balok. Hal ini dilakukan untuk mengetahui ukuran sebenarnya yang akan digunakan sebagai data untuk perhitungan nilai *modulus of rupture* dari balok. Untuk mempermudah penentuan posisi bentang L dari balok yang berjarak 45 cm pada saat pengujian sebaiknya balok diberikan tanda garis pada bagian bawah dan samping balok untuk posisi perletakan, dengan pemberian tanda garis ini maka penentuan posisi balok terhadap perletakan dapat menjadi tepat dan mudah. Serta pemberian tanda garis untuk posisi pembagian daerah sepertiga bentang tengah dan samping untuk mengetahui pola dan juga posisi patahan yang terjadi. Balok yang telah diberikan tanda garis dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 21 Sampel Balok yang telah diberikan tanda garis

Untuk mendapatkan patahan yang sesuai sebaiknya permukaan dan bentuk presisi balok perlu diperhatikan pada saat proses rancang campur beton. Agar diperoleh permukaan yang rata dan bentuk presisi yang tepat dari balok maka diperlukan cetakan dengan kondisi yang baik. Berikut ini adalah gambar sampel balok yang telah di uji dengan pola patahan yang terjadi.



Gambar 4. 22 Pola patahan yang terjadi pada sampel balok uji tarik lentur

Dapat dilihat pada gambar 4.22 bahwa pola patahan yang baik adalah dengan garis patahan yang lurus. Sedangkan pola patahan yang tidak ideal terdapat pada sampel balok yang dilingkari dengan pola patahan miring dibentang tengah. Hal ini terjadi karena pengaruh beberapa hal, yaitu akibat dimensi sampel kurang/tidak rata dan tidak presisi sehingga menyebabkan posisi pembebanan menjadi agak bergeser menjadi tidak tepat di sepertiga bentang tengah. Selain itu, posisi sampel yang miring pada perletakan yang dapat menyebabkan pola patahan yang tidak sesuai dan menyebabkan hasil yang tidak akurat.

Seharusnya pola patahan yang terjadi dibentang tengah adalah pola garis patahan yang lurus, sebab pada sepertiga bentang tengah tidak terdapat pengaruh gaya

lintang hanya bekerja gaya momen saja. Sehingga pada patahan sepertiga bentang tengah diperoleh nilai kuat tarik lentur murni. Sedangkan untuk patahan yang terjadi di sepertiga bentang samping diperoleh nilai kuat tarik lentur geser yang memiliki pola garis patahan miring. Patahan yang terjadi tidak hanya dipengaruhi oleh presisinya bentuk sampel dan posisi balok terhadap perletakan tetapi akibat posisi agregat yang terdapat didalam balok. Apabila agregat tidak tersebar secara merata dapat mempengaruhi hasil kuat tarik lentur yang didapat. Oleh karena itu, proses pemadatan sampel juga harus diperhatikan agar hasil yang diperoleh pada saat pengujian dapat akurat.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan dalam pengaruh faktor air semen terhadap kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada beton yang menggunakan semen putih yang dibandingkan dengan beton biasa, maka dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar nilai faktor air semen yang digunakan maka semakin kecil kuat tarik belah dan kuat tarik lentur yang dihasilkan baik untuk beton WPC maupun beton PCC.
2. Apabila ditinjau dari segi kuat tarik belah dan kuat tarik lentur, maka beton WPC lebih baik dibandingkan terhadap beton PCC di masing-masing nilai FAS, hal ini terjadi karena semen WPC memiliki presentase kapur (CaO) yang lebih banyak 6,02 % daripada semen PCC. Peranan unsur kapur (CaO) dalam semen adalah sebagai pembentuk ikatan senyawa utama yang berikatan dengan bersama unsur lainnya, menghasilkan komposisi senyawa terutama C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF .
3. Semakin lama umur beton, maka kuat tarik belah pada beton juga semakin tinggi walaupun kenaikannya tidak terlalu besar dibandingkan hubungan kenaikan kuat tekan pada beton terhadap umur beton.
4. Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh pori dan rongga udara yang terdapat di dalam beton terutama untuk karakteristik kuat tarik belah dan kuat tarik lentur.
5. Perbedaan nilai terbesar pada kuat tarik belah yang terjadi antara beton PCC dengan beton WPC adalah pada variasi FAS 0,55 yaitu sebesar 17,83 %. Sedangkan untuk perbedaan nilai terbesar kuat tarik lentur antara beton PCC dengan beton WPC adalah pada variasi FAS 0,4 yaitu sebesar 35,28 %.

6. Kuat tarik belah pada beton WPC memiliki nilai koefisien terhadap nilai kuat tekannya sebesar 9 % - 11 %. Hal ini sesuai dengan nilai kuat tarik belah beton normal hanya berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya menurut Dipohusodo.
7. Nilai koefisien kuat tarik belah yang diperoleh melalui perbandingan terhadap nilai $\sqrt{f_c'}$ diperoleh nilai koefisien rata-rata sebesar $0,61 \sqrt{f_c'}$ dari variasi FAS untuk beton WPC sedangkan untuk beton PCC sebesar $0,54 \sqrt{f_c'}$. Nilai koefisien beton WPC ternyata lebih besar dibandingkan nilai koefisien menurut Dipohusodo yaitu $0,57 \sqrt{f_c'}$.
8. Hasil pengujian lentur pada tahap I (gambar 4.10 dan gambar 4.12) tidak dapat di analisis dengan pendekatan studi literatur yang ada. Sehingga hasil yang diperoleh dinyatakan gagal dan tidak dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.
9. Nilai koefisien kuat tarik lentur yang diperoleh melalui perbandingan terhadap nilai $\sqrt{f_c'}$ diperoleh nilai koefisien rata-rata $0,72 \sqrt{f_c'}$ dari variasi FAS untuk beton WPC hampir mendekati koefisien rumus empiris nilai kuat tarik lentur menurut SNI 03-1726-2002 yaitu nilai $f_r = 0,7 \sqrt{f_c'}$. Sedangkan nilai koefisien rata-rata $0,61 \sqrt{f_c'}$ dari variasi FAS untuk beton PCC hampir mendekati nilai koefisien empiris nilai kuat tarik lentur menurut ACI 318 – 83 yaitu $f_r = 0,62 \sqrt{f_c'}$.
10. Dimensi yang tidak presisi atau permukaan yang tidak rata pada sampel balok uji tarik lentur sangat mempengaruhi posisi patahan yang terjadi dan nilai *modulus of rupture* pada saat pengujian.
11. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa kuat tarik belah memiliki nilai lebih rendah dibandingkan nilai kuat tarik lentur (*modulus of rupture*).
12. Dengan dilakukan pencucian terhadap agregat kasar dan halus maka kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dan memiliki kualitas warna putih yang lebih baik.

5.2. SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan pencucian terhadap agregat kasar dan halus untuk menghilangkan kadar lumpur yang dapat mempengaruhi warna dalam beton WPC agar *expose* warna putih yang diperoleh dapat maksimal.
2. Sampel silinder untuk uji tarik belah sebaiknya diberikan tanda garis tengah yang membelah silinder agar posisi benda uji pada saat pengujian dapat presisi sehingga menghasilkan posisi belah yang tepat.
3. Sampel balok untuk pengujian tarik lentur sebaiknya diberikan tanda garis pada bagian balok untuk posisi perletakan serta posisi sepertiga bentang tengah serta samping untuk mengetahui pola patahan yang terjadi. Selain itu, untuk mendapatkan patahan yang sesuai sebaiknya permukaan dan bentuk presisi balok perlu diperhatikan pada saat proses rancang campur beton. Agar diperoleh permukaan yang rata dan bentuk presisi yang tepat dari balok.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui lebih akurat pengaruh faktor air semen terhadap beton WPC dengan jumlah sampel yang lebih banyak.
5. Perlu dilakukan penelitian kandungan kimia terhadap semen PCC untuk mengetahui secara mendetail pengikatan unsur-unsur pembentuk semen terutama komposisi senyawa utama (C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF) agar dapat dibandingkan langsung dengan semen WPC.
6. Perlu dilakukan iterasi ulang pada pengujian tarik belah yaitu pengujian tarik belah pada umur beton 3, 7, 14, 21 dan 28 untuk mengetahui hubungan kuat tarik belah terhadap umur beton.
7. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik beton WPC lebih mendalam seperti pengujian terhadap rangkai, permeabilitas, thermal dan lain-lain.

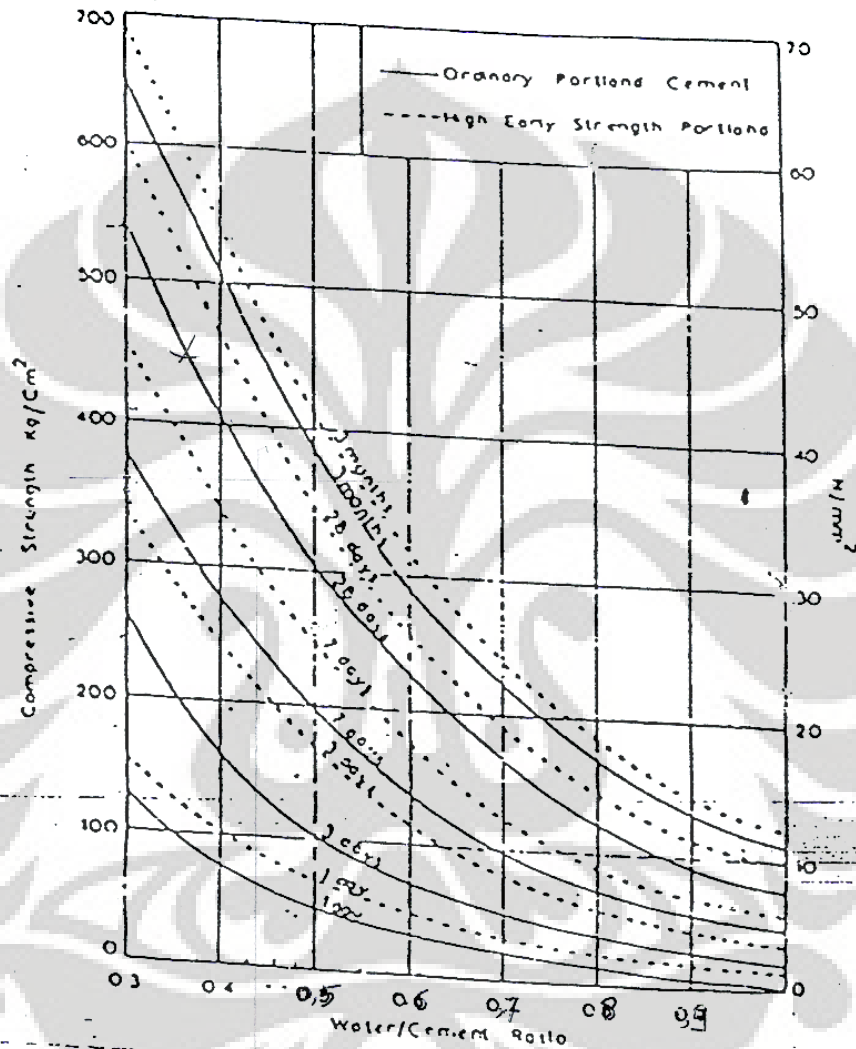
Demikianlah saran yang didapat dari penelitian ini. Semoga dengan saran yang disampaikan dapat meningkatkan keakuratan terhadap hasil-hasil pengujian selanjutnya.

DAFTAR REFERENSI

- Buku Panduan Pedoman Praktikum. *Pemeriksaan Bahan Beton Dan Mutu Beton* (Depok: Laboratorium Struktur Dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008)
- Duma, Heidi. “*Studi Perilaku Kuat Lentur dan Susut Beton Agregat daur Ulang*” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok: 2008.
- Dipohusodo, I. 1999. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI-T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- I.B. Dharma Giri, I Ketut Sudarsana dan N.L.P. Eka Agustiniingsih. 2008. *Kuat Tarik Belah Dan Lentur Beton Dengan Penambahan Strofoam (Styrocon)*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Kardiyono, “*Teknologi Beton*” Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta: 2007
- Madsuri. *Rancangan Proporsi Campuran Beton*. (Depok: Bahan Kuliah Properti Material Departemen Teknik Sipil FTUI, 2003).
- Mulyono, Tri. “*Teknologi Beton*” Penerbit ANDI, Yogyakarta: 2004.
- Neville, Adam M., “*Properties of Concrete*”, 4th Edition, Longman Group Limited, London: 1995.
- US Bureau of Reclamation. “*Concrete Manual*”. 8th edition. 1975
- What is White Cement, *Concrete Technology Today*, PL991, Portland Cement Association, April 1999.



LAMPIRAN A-1.
GRAFIK HUBUNGAN KUAT TEKAN TERHADAP FAKTOR AIR
SEMEN PADA METODE RANCANG CAMPUR *US BUREAU*





LAMPIRAN B-1. DIARY PRAKTIKUM TAHAP I

Pengecoran	Tanggal				Umur Beton (hari)	FAS	Uji	Sampel				Kondisi Bahan				Slump (cm)	Kondisi Lingkungan		Cuaca	Keterangan		
	Hari	Pengerangan	Hari	Pengetesan				Hari	Jenis	No. Cor	Jml	Bentuk	Semen	Pasir	Split		Air	Temperatur			Kelembaban	
25/04/09	Sabtu	21/05/09	Senin	23/05/09	Sabtu	28	0.4	Lentur	PCC	I	2	Balok	Baik	SSD	Kering	sisa 303 gr	10.67	-	-	Cerah	menggunakan cetakan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi baik	
25/04/09	Sabtu	21/05/09	Senin	23/05/09	Sabtu	28		Lentur		II	1						sisa 201 gr					10
23/04/09	Kamis	19/05/09	Selasa	21/05/09	Kamis	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		sisa 260 gr					13.67
28/04/09	Selasa	24/05/09	Minggu	26/05/09	Selasa	28	0.45	Lentur	PCC	I	2	Balok	Baik	Basah	SSD	sisa 1190 gr	12.33	-	-	Cerah	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi buruk, dimensi tidak presisi	
28/04/09	Selasa	24/05/09	Minggu	26/05/09	Selasa	28		Lentur		II	1						sisa 103 gr					12.33
17/04/09	Jum'at	13/05/09	Rabu	15/05/09	Jum'at	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		Pas					13.33
30/04/09	Kamis	26/05/09	Selasa	28/05/09	Kamis	28	0.5	Lentur	PCC	I	2	Balok	Baik	Basah	SSD	sisa 20 gr	12.67	-	-	Cerah	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi buruk, dimensi tidak presisi	
30/04/09	Kamis	26/05/09	Selasa	28/05/09	Kamis	28		Lentur		II	1						sisa 103 gr					14
18/04/09	Sabtu	14/05/09	Kamis	16/05/09	Sabtu	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	Basah		sisa 1080 gr					12.33
01/05/09	Selasa	27/05/09	Minggu	29/05/09	Selasa	28	0.55	Lentur	PCC	I	1	Balok	Baik	SSD	Basah	sisa 450 gr	12	-	-	Cerah	menggunakan cetakan ukuran 55 cm x 15 cm x 15 cm (cetakan baja) kondisi buruk, dimensi tidak presisi	
01/05/09	Selasa	27/05/09	Minggu	29/05/09	Selasa	28		Lentur		II	2											sisa 950 gr
18/04/09	Sabtu	14/05/09	Kamis	16/05/09	Sabtu	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	Kering	Basah		sisa 150 gr					10.17
22/04/09	Rabu	18/05/09	Senin	20/05/09	Rabu	28	0.4	Lentur	WPC	I	1	Balok	Baik	Kering	SSD	+390 ml	13	-	-	Cerah	-	
22/04/09	Rabu	18/05/09	Senin	20/05/09	Rabu	28		Lentur		II	2						+330 ml					11.67
02/04/09	Kamis	09/04/09	Kamis	10/04/09	Jum'at	8		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		Pas					11.67
02/04/09	Kamis	28/04/09	Selasa	30/04/09	Kamis	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		pas					11.67
18/03/09	Rabu	13/04/09	Senin	15/04/09	Rabu	28	0.45	Lentur	WPC	I	2	Balok	Baik	SSD	Kering	+300 ml	11.67	27.8 °C	63%	Cerah	-	
18/03/09	Rabu	13/04/09	Senin	15/04/09	Rabu	28		Lentur		II	1						Pas					11.67
03/04/09	Jum'at	09/04/09	Kamis	10/04/09	Jum'at	7		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		+1050 ml	11.67				
03/04/09	Jum'at	29/04/09	Rabu	01/05/09	Jum'at	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		+1050 ml	11.67				
24/04/09	Jum'at	20/05/09	Rabu	22/05/09	Jum'at	28	0.5	Lentur	WPC	I	1	Balok	Baik	Basah	SSD	sisa 300 gr	11.5	-	-	Cerah	-	
24/04/09	Jum'at	20/05/09	Rabu	22/05/09	Jum'at	28		Lentur		II	2						sisa 517 gr					12.5
11/04/09	Sabtu	17/04/09	Jum'at	18/04/09	Sabtu	7		Tarik		-	3	Silinder	Baik	Kering	SSD		+100 ml					13.17
08/04/09	Rabu	04/05/09	Senin	06/05/09	Rabu	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	Basah	Basah		+1470 ml					10.17
25/03/09	Rabu	20/04/09	Senin	22/04/09	Rabu	28	0.55	Lentur	WPC	I	2	Balok	Baik	Basah	SSD	Pas	11	28.5 °C	63%	Cerah	-	
25/03/09	Rabu	20/04/09	Senin	22/04/09	Rabu	28		Lentur		II	1						Pas					12
10/04/09	Jum'at	17/04/09	Jum'at	18/04/09	Sabtu	8		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		sisa 50 gr	13.33				
10/04/09	Jum'at	06/05/09	Rabu	08/05/09	Jum'at	28		Tarik		-	3	Silinder	Baik	SSD	SSD		sisa 50 gr	13.33				



LAMPIRAN B-2. DIARY PRAKTIKUM TAHAP II

Tanggal						Umur Beton(hari)	FAS	Uji	Sampel				Kondisi Bahan				Slump (cm)	Kondisi Lingkungan		Cuaca	Keterangan
Pengecoran	Hari	Pengeringan	Hari	Pengetesan	Hari				Jenis	No.Cor	Jml	Bentuk	Semen	Pasir	Split	Air		Temperatur	Kelembaban		
10/11/09	Selasa	06/12/09	Minggu	08/12/09	Selasa	28	0.4	Lentur	PCC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	Agak basah (SSD)	pas	12.33	Temperatur : 28.7 °C	Mendung	-	
10/11/09	Selasa	06/12/09	Minggu	08/12/09	Selasa	28		Lentur		1	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	Agak basah (SSD)	pas	12.17	Kelembaban : 73%			-	
						28		Tekan		1	Silinder							II		2	Silinder
10/11/09	Selasa	06/12/09	Minggu	08/12/09	Selasa	28		Tarik													
11/11/09	Rabu	07/12/09	Senin	09/12/09	Rabu	28	0.45	Lentur	PCC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	Agak basah (SSD)	pas	12.83	Temperatur : 29 °C	Mendung	-	
11/11/09	Rabu	07/12/09	Senin	09/12/09	Rabu	28		Lentur		1	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	Agak basah (SSD)	pas	13.33	Kelembaban : 71%			-	
						28		Tekan		1	Silinder							II		2	Silinder
11/11/09	Rabu	07/12/09	Senin	09/12/09	Rabu	28		Tarik													
12/11/09	Kamis	08/12/09	Selasa	10/12/09	Kamis	28	0.5	Lentur	PCC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	Agak basah (SSD)	pas	11.67	Temperatur : 28 °C	Hujan	-	
12/11/09	Kamis	08/12/09	Selasa	10/12/09	Kamis	28		Lentur		1	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	Agak basah (SSD)	pas	12.17	Kelembaban : 76%			-	
						28		Tekan		1	Silinder							II		2	Silinder
12/11/09	Kamis	08/12/09	Selasa	10/12/09	Kamis	28		Tarik													
13/11/09	Jumat	09/12/09	Rabu	11/12/09	Jumat	28	0.55	Lentur	PCC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	Agak basah (SSD)	sisa 1512 gr	11.00	Temperatur : 28.2 °C	Hujan	-	
13/11/09	Jumat	09/12/09	Rabu	11/12/09	Jumat	28		Lentur		1	Balok	Baik	basah	Agak basah (SSD)	sisa 1744 gr	13.17	Kelembaban : 76%			-	
						28		Tekan		1	Silinder							II		2	Silinder
13/11/09	Jumat	09/12/09	Rabu	11/12/09	Jumat	28		Tarik												ditambah 5 % (semen, pasir, split) karena slump terlalu encer	



LAMPIRAN B-2. DIARY PRAKTIKUM TAHAP II (LANJUTAN)

Tanggal						Umur Beton (hari)	FAS	Uji	Sampel			Kondisi Bahan				Slump (cm)	Kondisi Lingkungan		Cuaca	Keterangan	
Pengecoran	Hari	Pengeringan	Hari	Pengetesan	Hari				Jenis	No. Cor	Jml	Bentuk	Semen	Pasir	Split		Air	Temperatur :			
17/11/09	Selasa	13/12/09	Minggu	15/12/09	Selasa	28	0.55	Lentur	WPC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	basah	pas	11.50	Temperatur :	29.7 °C	Cerah	ditambah 5 % (semen, pasir, split) karena slump terlalu encer
17/11/09	Selasa	13/12/09	Minggu	15/12/09	Selasa	28		Lentur		II	1	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	basah	pas	10.67				
						28		Tekan		1	Silinder										
17/11/09	Selasa	13/12/09	Minggu	15/12/09	Selasa	28		Tarik		II	2	Silinder									
18/11/09	Rabu	14/12/09	Senin	16/12/09	Rabu	28	0.5	Lentur	WPC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	SSD	+100 ml	12.00	Temperatur :	27.3 °C	Mendung	ditambah 5 % (semen, pasir, split) karena slump terlalu encer
18/11/09	Rabu	14/12/09	Senin	16/12/09	Rabu	28		Lentur		II	1	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	basah	pas	13.67				
						28		Tekan		1	Silinder										
18/11/09	Rabu	14/12/09	Senin	16/12/09	Rabu	28		Tarik		II	2	Silinder									
19/11/09	Kamis	15/12/09	Selasa	17/12/09	Kamis	28	0.45	Lentur	WPC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	SSD	pas	12.33	Temperatur :	24.1 °C	Hujan	-
19/11/09	Kamis	15/12/09	Selasa	17/12/09	Kamis	28		Lentur		II	1	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	basah	sisa 1637 gr	11.50				
						28		Tekan		1	Silinder										
19/11/09	Kamis	15/12/09	Selasa	17/12/09	Kamis	28		Tarik		II	2	Silinder									
20/11/09	Jumat	16/12/09	Rabu	18/12/09	Jumat	28	0.4	Lentur	WPC	I	2	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	SSD	+100 ml	10.33	Temperatur :	28.1 °C	Cerah	-
20/11/09	Jumat	16/12/09	Rabu	18/12/09	Jumat	28		Lentur		II	1	Balok	Baik	2/3 basah + 1/3 kering	basah	sisa 624 gr	11.83				
						28		Tekan		1	Silinder										
20/11/09	Jumat	16/12/09	Rabu	18/12/09	Jumat	28		Tarik		II	2	Silinder									



LAMPIRAN C-1.

Berikut ini adalah ASTM C 496/ C 496M-04 yang memuat standar tentang pengujian tarik belah (*Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*) dengan sampel beton silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm:





Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation C 496/C 496M; 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.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, such as molded cylinders and drilled cores.

1.2 The values stated in either inch-pound or SI units are to be regarded separately as standard. The SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with 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.*

1.4 The text of this standard references notes that provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

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

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

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

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

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 Concrete for Strength.

Current edition approved Feb. 1, 2004. Published March 2004. Originally approved in 1962. Last previous edition approved in 1996 as C 496 – 96.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3. Summary of Test Method

3.1 This test method consists of applying a diametral compressive force along the length of a cylindrical concrete specimen at a rate that is within a prescribed range until failure occurs. This loading induces tensile stresses on the plane containing the applied load and relatively high compressive stresses in the area immediately around the applied load. Tensile failure occurs rather than compressive failure because the areas of load application are in a state of triaxial compression, thereby allowing them to withstand much higher compressive stresses than would be indicated by a uniaxial compressive strength test result.

3.2 Thin, plywood bearing strips are used to distribute the load applied along the length of the cylinder.

3.3 The maximum load sustained by the specimen is divided by appropriate geometrical factors to obtain the splitting tensile strength.

4. Significance and Use

4.1 Splitting tensile strength is generally greater than direct tensile strength and lower than flexural strength (modulus of rupture).

4.2 Splitting tensile strength is used in the design of structural lightweight concrete members to evaluate the shear resistance provided by concrete and to determine the development length of reinforcement.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—The testing machine shall conform to the requirements of Test Method C 39/C 39M and be of a type with sufficient capacity that will provide the rate of loading prescribed in 7.5.

5.2 *Supplementary Bearing Bar or Plate*—If the diameter or the largest dimension of the upper bearing face or the lower bearing block is less than the length of the cylinder to be tested, a supplementary bearing bar or plate of machined steel shall be used. The surfaces of the bar or plate shall be machined to within ± 0.001 in. [0.025 mm] of planeness, as measured on any line of contact of the bearing area. It shall have a width of at least 2 in. [50 mm], and a thickness not less than the distance

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

from the edge of the spherical or rectangular bearing block to the end of the cylinder. The bar or plate shall be used in such manner that the load will be applied over the entire length of the specimen.

5.3 *Bearing Strips*—Two bearing strips of nominal 1/8 in. [3.2 mm] thick plywood, free of imperfections, approximately 1 in. [25 mm] wide, and of a length equal to, or slightly longer than, that of the specimen shall be provided for each specimen. The bearing strips shall be placed between the specimen and both the upper and lower bearing blocks of the testing machine or between the specimen and supplemental bars or plates, when used (see 5.2). Bearing strips shall not be reused.

6. Test Specimens

6.1 The test specimens shall conform to the size, molding, and curing requirements set forth in either Practice C 31/C 31M (field specimens) or Practice C 192/C 192M (laboratory specimens). Drilled cores shall conform to the size and moisture-conditioning requirements set forth in Test Method C 42/C 42M. Moist-cured specimens, during the period between their removal from the curing environment and testing, shall be kept moist by a wet burlap or blanket covering, and shall be tested in a moist condition as soon as practicable.

6.2 The following curing procedure shall be used for evaluations of light-weight concrete: specimens tested at 28 days shall be in an air-dry condition after 7 days moist curing followed by 21 days drying at 73.5 ± 3.5°F [23.0 ± 2.0°C] and 50 ± 5 % relative humidity.

7. Procedure

7.1 *Marking*—Draw diametral lines on each end of the specimen using a suitable device that will ensure that they are in the same axial plane (see Fig. 1, Fig. 2 and Note 1), or as an alternative, use the aligning jig shown in Fig. 3 (Note 2).

NOTE 1—Figs. 1 and 2 show a suitable device for drawing diametral lines on each end of a 6 in. by 12 in. [150 mm by 300 mm] cylinder in the same axial plane. The device consists of three parts as follows:

- (1) A length of 4-in. [100-mm] steel channel, the flanges of which have been machined flat,
- (2) A section, part a, that is grooved to fit smoothly over the flanges of the channel and that includes cap screws for positioning the vertical member of the assembly, and
- (3) A vertical bar, part b, for guiding a pencil or marker,

The assembly (part a and part b) is not fastened to the channel and is positioned at either end of the cylinder without disturbing the position of the specimen when marking the diametral lines.

NOTE 2—Fig. 4 is a detailed drawing of the aligning jig shown in Fig. 3 for achieving the same purpose as marking the diametral lines. The device consists of:

- (1) A base for holding the lower bearing strip and cylinder,
- (2) A supplementary bearing bar conforming to the requirements in Section 5 as to critical dimensions and planeness, and
- (3) Two uprights to serve for positioning the test cylinder, bearing strips, and supplementary bearing bar.

7.2 *Measurements*—Determine the diameter of the test specimen to the nearest 0.01 in. [0.25 mm] by averaging three diameters measured near the ends and the middle of the specimen and lying in the plane containing the lines marked on the two ends. Determine the length of the specimen to the nearest 0.1 in. [2 mm] by averaging at least two length measurements taken in the plane containing the lines marked on the two ends.

7.3 *Positioning Using Marked Diametral Lines*—Center one of the plywood strips along the center of the lower bearing block. Place the specimen on the plywood strip and align so that the lines marked on the ends of the specimen are vertical and centered over the plywood strip. Place a second plywood strip lengthwise on the cylinder, centered on the lines marked on the ends of the cylinder. Position the assembly to ensure the following conditions:

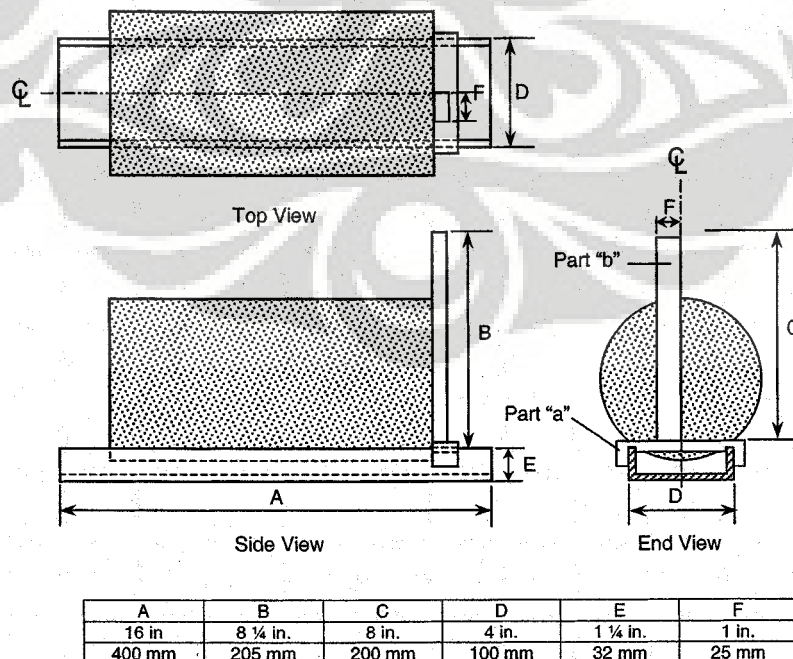


FIG. 1 General Views of a Suitable Apparatus for Marking End Diameters Used for Alignment of Specimen in Testing Machine

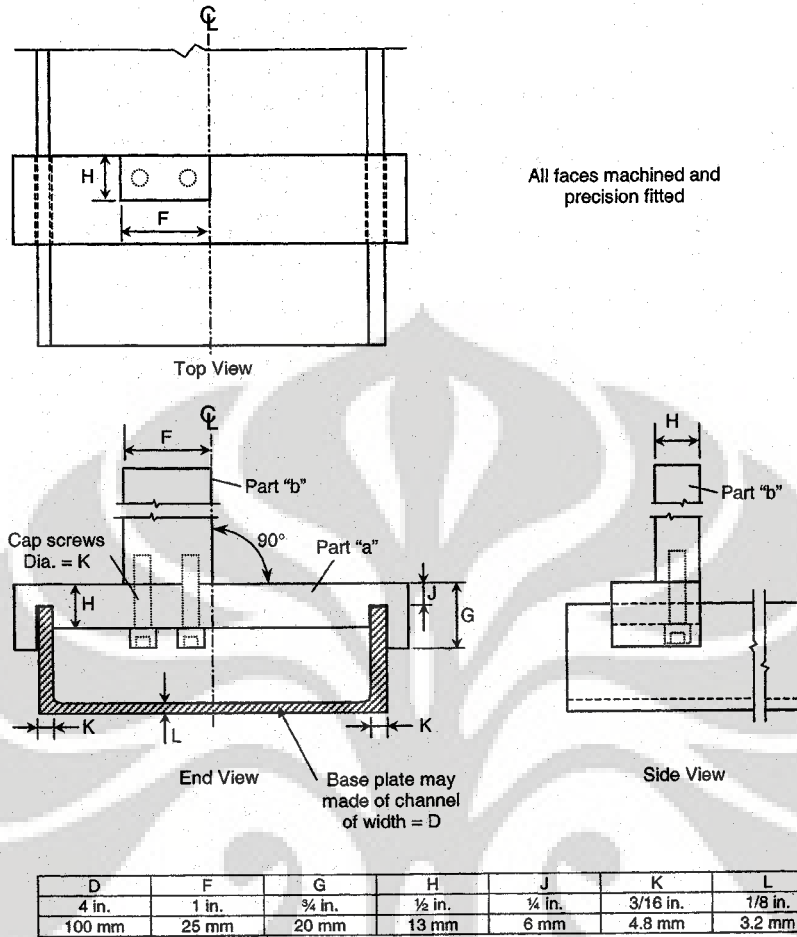


FIG. 2 Detailed Plans for a Suitable Apparatus for Marking End Diameters Used for Aligning the Specimen

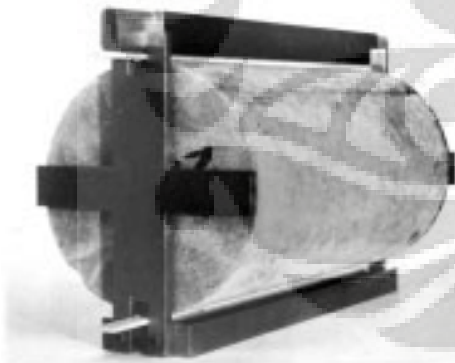


FIG. 3 Jig for Aligning Concrete Cylinder and Bearing Strips

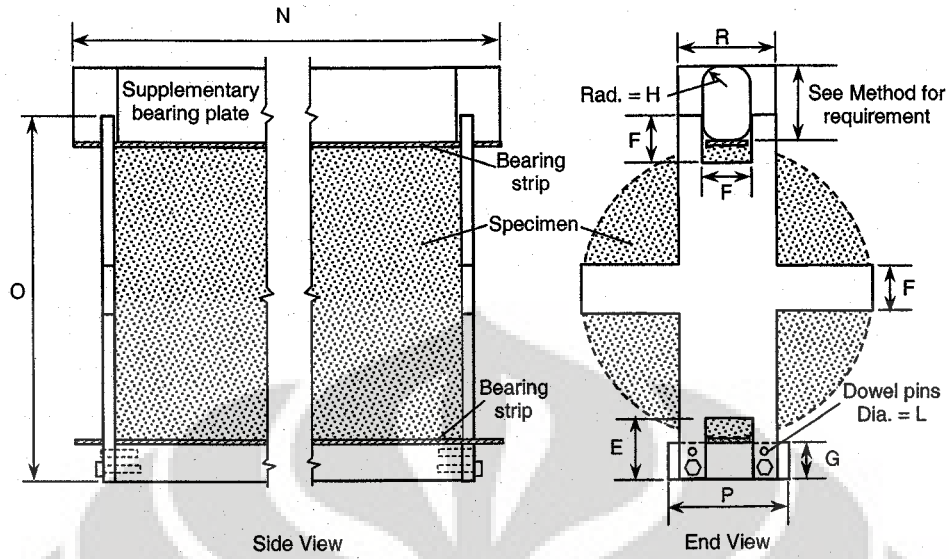
7.3.1 The projection of the plane of the two lines marked on the ends of the specimen intersects the center of the upper bearing plate, and

7.3.2 The supplementary bearing bar or plate, when used, and the center of the specimen are directly beneath the center of thrust of the spherical bearing block (see Fig. 5).

7.4 *Positioning by Use of Aligning Jig*—Position the bearing strips, test cylinder, and supplementary bearing bar by means of the aligning jig as illustrated in Fig. 3 and center the jig so that the supplementary bearing bar and the center of the specimen are directly beneath the center of thrust of the spherical bearing block.

7.5 *Rate of Loading*—Apply the load continuously and without shock, at a constant rate within the range 100 to 200 psi/min [0.7 to 1.4 MPa/min] splitting tensile stress until failure of the specimen (Note 3). Record the maximum applied load indicated by the testing machine at failure. Note the type of failure and the appearance of the concrete.

NOTE 3—The relationship between splitting tensile stress and applied load is shown in Section 8. The required loading range in splitting tensile stress corresponds to applied total load in the range of 11 300 to 22 600 lbf [50 to 100 kN]/min for 6 by 12-in. [150 by 300-mm] cylinders.



N	O	P	R	E	F	G	H	L
15 in.	7 1/2 in.	2 1/2 in.	2 in.	1 1/4 in.	1 in.	3/4 in.	1/2 in.	1/8 in.
375 mm	190 mm	65 mm	50 mm	32 mm	25 mm	20 mm	13 mm	3 mm

FIG. 4 Detailed Plans for a Suitable Aligning Jig for 6 by 12 in. [150 by 300 mm] Specimen

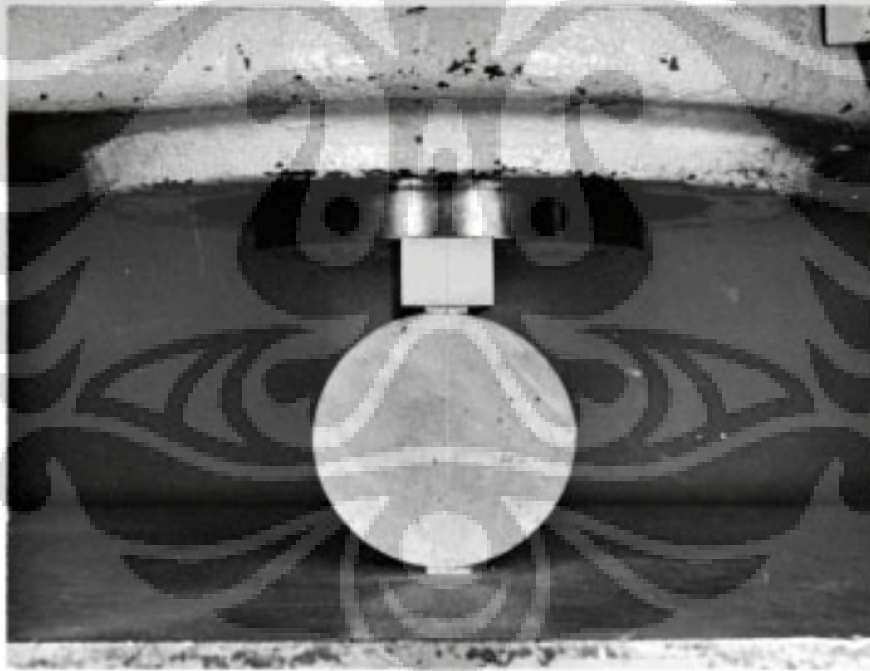


FIG. 5 Specimen Positioned in a Testing Machine for Determination of Splitting Tensile Strength

8. Calculation

8.1 Calculate the splitting tensile strength of the specimen as follows:

$$T = 2P/\pi ld \quad (1)$$

where:

T = splitting tensile strength, psi [MPa],

P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf [N],

l = length, in. [mm], and

d = diameter, in. [mm].

9. Report

9.1 Report the following information:

9.1.1 Identification number,

9.1.2 Diameter and length, in. [mm],

9.1.3 Maximum load, lbf [N],

9.1.4 Splitting tensile strength calculated to the nearest 5 psi [0.05 MPa],

9.1.5 Estimated proportion of coarse aggregate fractured during test,

9.1.6 Age of specimen,

9.1.7 Curing history,

9.1.8 Defects in specimen,

9.1.9 Type of fracture, and

9.1.10 Type of specimen.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—An interlaboratory study of this test method has not been performed. Available research data,³

however, suggests that the within batch coefficient of variation is 5 % (see Note 4) for 6 × 12-in. [150 × 300-mm] cylindrical specimens with an average splitting tensile strength of 405 psi [2.8 MPa]. Results of two properly conducted tests on the same material, therefore, should not differ by more than 14 % (see Note 4) of their average for splitting tensile strengths of about 400 psi [2.8 MPa].

NOTE 4—These numbers represent, respectively, the (1s %) and (d2s %) limits as defined in Practice C 670.

10.2 *Bias*—The test method has no bias because the splitting tensile strength can be defined only in terms of this test method.

11. Keywords

11.1 cylindrical concrete specimens; splitting tension; tensile strength

SUMMARY OF CHANGES

Committee C09 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C 496 – 96, that may impact the use of this test method. (Approved February 1, 2004)

(1) Revised 1.2.

(2) Added 1.4.

(3) Revised 5.1, 6.1, Section 2, and Note 1 to correct references.

(4) Revised 5.2, 6.2, 7.2, 7.5, 10.1, and Note 4 by metrication rules.

(5) Revised Section 4.

(6) Revised 3.2 and 5.3.

(7) Revised Note 2.

(8) Figs. 1, 2, and 4 were revised and redrawn.

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 C-2.

Berikut ini adalah ASTM C 78-02 yang memuat standar tentang pengujian tarik lentur (*Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third-Point Loading*) dengan sampel beton balok yang berdimensi 150 mm × 150 mm × 600 mm:





Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)¹

This standard is issued under the fixed designation C 78; 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.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the flexural strength of concrete by the use of a simple beam with third-point loading.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalent of inch-pound units has been rounded where necessary for practical application.

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 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

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

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

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

3. Significance and Use

3.1 This test method is used to determine the flexural strength of specimens prepared and cured in accordance with Test Methods C 42 or Practices C 31 or C 192. Results are calculated and reported as the modulus of rupture. The strength determined will vary where there are differences in specimen size, preparation, moisture condition, curing, or where the

beam has been molded or sawed to size.

3.2 The results of this test method may be used to determine compliance with specifications or as a basis for proportioning, mixing and placement operations. It is used in testing concrete for the construction of slabs and pavements (Note 1).

4. Apparatus

4.1 The testing machine shall conform to the requirements of the sections on Basis of Verification, Corrections, and Time Interval Between Verifications of Practices E 4. Hand operated testing machines having pumps that do not provide a continuous loading in one stroke are not permitted. Motorized pumps or hand operated positive displacement pumps having sufficient volume in one continuous stroke to complete a test without requiring replenishment are permitted and shall be capable of applying loads at a uniform rate without shock or interruption.

4.2 *Loading Apparatus*—The third point loading method shall be used in making flexure tests of concrete employing bearing blocks which will ensure that forces applied to the beam will be perpendicular to the face of the specimen and applied without eccentricity. A diagram of an apparatus that accomplishes this purpose is shown in Fig. 1.

4.2.1 All apparatus for making flexure tests of concrete shall be capable of maintaining the specified span length and distances between load-applying blocks and support blocks constant within ± 0.05 in. (± 1.3 mm).

4.2.2 The ratio of the horizontal distance between the point of application of the load and the point of application of the nearest reaction to the depth of the beam shall be 1.0 ± 0.03 .

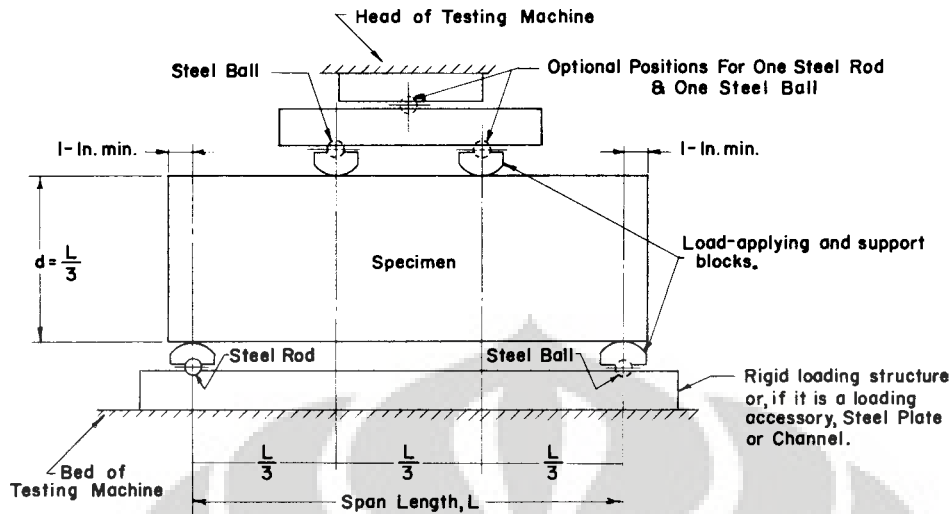
4.2.3 If an apparatus similar to that illustrated in Fig. 1 is used: the load-applying and support blocks should not be more than $2\frac{1}{2}$ in. (64 mm) high, measured from the center or the axis of pivot, and should extend entirely across or beyond the full width of the specimen. Each case-hardened bearing surface in contact with the specimen shall not depart from a plane by more than 0.002 in. (0.05 mm) and shall be a portion of a cylinder, the axis of which is coincidental with either the axis of the rod or center of the ball, whichever the block is pivoted upon. The angle subtended by the curved surface of each block should be at least 45° (0.79 rad). The load-applying and support blocks shall be maintained in a vertical position and in

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 Jan. 10, 2002. Published March 2002. Originally published as C 78 – 30T. Last previous edition C 78 – 00.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.



NOTE 1—This apparatus may be used inverted. If the testing machine applies force through a spherically seated head, the center pivot may be omitted, provided one load-applying block pivots on a rod and the other on a ball.

NOTE 2—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 1 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

contact with the rod or ball by means of spring-loaded screws that hold them in contact with the pivot rod or ball. The uppermost bearing plate and center point ball in Fig. 1 may be omitted when a spherically seated bearing block is used, provided one rod and one ball are used as pivots for the upper load-applying blocks.

5. Testing

5.1 The test specimen shall conform to all requirements of Test Method C 42 or Practices C 31 or C 192 applicable to beam and prism specimens and shall have a test span within 2 % of being three times its depth as tested. The sides of the specimen shall be at right angles with the top and bottom. All surfaces shall be smooth and free of scars, indentations, holes, or inscribed identification marks.

5.2 The technician performing the flexural strength test should be certified as an ACI Technician—Grade II, or by an equivalent written and performance test program.

NOTE 1—The testing laboratory performing this test method may be evaluated in accordance with Practice C 1077.

6. Procedure

6.1 Flexural tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practical after removal from moist storage. Surface drying of the specimen results in a reduction in the measured flexural strength.

6.2 When using molded specimens, turn the test specimen on its side with respect to its position as molded and center it on the support blocks. When using sawed specimens, position the specimen so that the tension face corresponds to the top or bottom of the specimen as cut from the parent material. Center the loading system in relation to the applied force. Bring the load-applying blocks in contact with the surface of the specimen at the third points and apply a load of between 3 and 6 % of the estimated ultimate load. Using 0.004 in. (0.10 mm) and 0.015 in. (0.38 mm) leaf-type feeler gages, determine whether

any gap between the specimen and the load-applying or support blocks is greater or less than each of the gages over a length of 1 in. (25 mm) or more. Grind, cap, or use leather shims on the specimen contact surface to eliminate any gap in excess of 0.004 in. (0.10 mm) in width. Leather shims shall be of uniform 1/4 in. (6.4 mm) thickness, 1 to 2 in. (25 to 50 mm) width, and shall extend across the full width of the specimen. Gaps in excess of 0.015 in. (0.38 mm) shall be eliminated only by capping or grinding. Grinding of lateral surfaces should be minimized inasmuch as grinding may change the physical characteristics of the specimens. Capping shall be in accordance with the applicable sections of Practice C 617.

6.3 Load the specimen continuously and without shock. The load shall be applied at a constant rate to the breaking point. Apply the load at a rate that constantly increases the extreme fiber stress between 125 and 175 psi/min (0.86 and 1.21 MPa/min) until rupture occurs. The loading rate is calculated using the following equation:

$$r = Sbd^2/L \quad (1)$$

where:

r = loading rate, lb/min (MN/min),

S = rate of increase in extreme fiber stress, psi/min (MPa/min),

b = average width of the specimen, in. (mm),

d = average depth of the specimen, in. (mm), and

L = span length, in. (mm).

7. Measurement of Specimens After Test

7.1 To determine the dimensions of the specimen cross section for use in calculating modulus of rupture, take measurements across one of the fractured faces after testing. For each dimension, take one measurement at each edge and one at the center of the cross section. Use the three measurements for each direction to determine the average width and the average depth. Take all measurements to the nearest 0.05 in. (1 mm). If

the fracture occurs at a capped section, include the cap thickness in the measurement.

8. Calculation

8.1 If the fracture initiates in the tension surface within the middle third of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = PL/bd^2 \quad (2)$$

where:

R = modulus of rupture, psi, or MPa,

P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf, or N,

L = span length, in., or mm,

b = average width of specimen, in., or mm, at the fracture, and

d = average depth of specimen, in., or mm, at the fracture.

NOTE 2—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.2 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by not more than 5 % of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = 3Pa/bd^2 \quad (3)$$

where:

a = average distance between line of fracture and the nearest support measured on the tension surface of the beam, in., (or mm).

NOTE 3—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.3 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by more than 5 % of the span length, discard the results of the test.

9. Report

9.1 Report the following information:

9.1.1 Identification number,

- 9.1.2 Average width to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.3 Average depth to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.4 Span length in inches (or millimeters),
- 9.1.5 Maximum applied load in pound-force (or newtons),
- 9.1.6 Modulus of rupture calculated to the nearest 5 psi (0.05 MPa),
- 9.1.7 Curing history and apparent moisture condition of the specimens at the time of test,
- 9.1.8 If specimens were capped, ground, or if leather shims were used,
- 9.1.9 Whether sawed or molded and defects in specimens, and
- 9.1.10 Age of specimens.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—The coefficient of variation of test results has been observed to be dependent on the strength level of the beams.⁴ The single operator coefficient of variation has been found to be 5.7 %. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 16 %. The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 7.0 %. Therefore, results of two different laboratories on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 19 %.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted standard for determining bias in this test method, no statement on bias is made.

11. Keywords

11.1 beams; concrete; flexural strength testing; modulus of rupture

⁴ See "Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading" by P. M. Carrasquillo and R. L. Carrasquillo, Research Report 119-1F, Project 3-9-87-1119, Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin, November 1987, for possible guidance as to the relationship of strength and variability.

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 D-1.DOKUMENTASI PENELITIAN



Semen Portland Putih



Agregat Halus



Agregat Kasar



Pencucian Agregat Kasar



Pencucian Agregat Halus



LAMPIRAN D-1.DOKUMENTASI PENELITIAN (LANJUTAN)



Pemeriksaan Berat Jenis Semen



Pemeriksaan Waktu Ikut Semen



Pengujian Berat Isi Agregat Halus



Sieve Analysis Agregat Halus



Pemeriksaan *Specific Gravity*



Oven



LAMPIRAN D-1.DOKUMENTASI PENELITIAN (LANJUTAN)



Pengujian Kadar Organik Tahap I



Pengujian Kadar Organik Tahap II



Pengujian Berat Isi Agregat Kasar



Pemeriksaan *Specific Gravity* Agregat Kasar



LAMPIRAN D-1.DOKUMENTASI PENELITIAN (LANJUTAN)



Mold Silinder Tarik Belah



Mold Balok Tarik Lentur



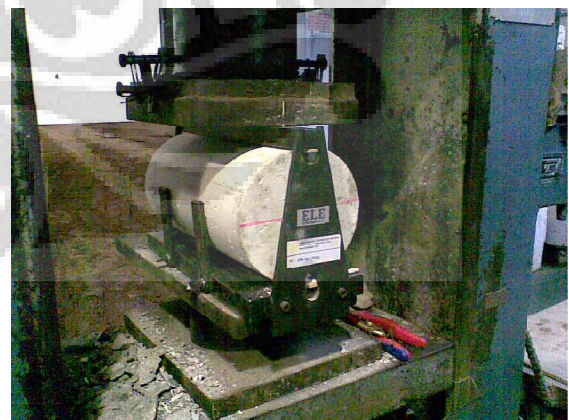
Sampel Silinder Uji Tarik Belah



Sampel Balok Uji Tarik Lentur



Mesin Crushing Test & Splitting Test



Supplementary bearing plate & sampel silinder uji tarik belah



LAMPIRAN D-1.DOKUMENTASI PENELITIAN (LANJUTAN)



Mesin *Flexural Test* tahap I



Mesin *Flexural Test* tahap II



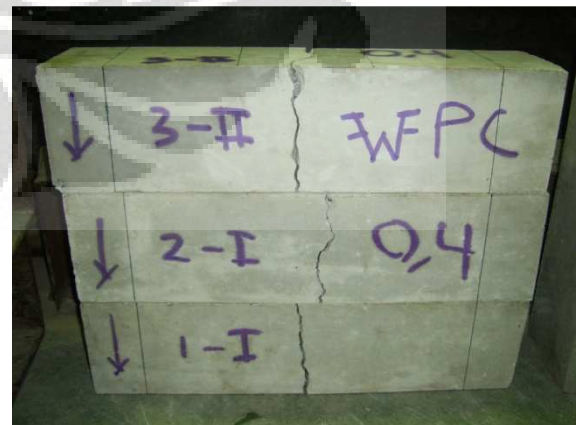
Posisi sampel balok pada Mesin *Flexural Test* tahap I



Posisi sampel balok pada Mesin *Flexural Test* tahap II



Sampel Silinder Hasil Pengujian Tarik Belah



Sampel Balok Hasil Pengujian Tarik Lentur



LAMPIRAN D-2.DOKUMENTASI PENELITIAN PROSES RANCANG CAMPUR/MIX DESIGN



1. Persiapan Material dan Alat



2. Mixer Campuran Beton (Pengadukan)



3. Pengujian Slump



4. Pengisian cetakan (Pemadatan)



5. *Curing*/Perawatan sampel



6. Pengangkatan sampel Uji