



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PEMAKAIAN SEMEN PORTLAND TIPE II
TERHADAP KETAHANAN SULFAT PADA *SELF
COMPACTING CONCRETE* (SCC)**

SKRIPSI

**WISNU ADY PRASETIYO
0706266746**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2011**

1051/FT.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PEMAKAIAN SEMEN PORTLAND TIPE II
TERHADAP KETAHANAN SULFAT PADA *SELF
COMPACTING CONCRETE* (SCC)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**WISNU ADY PRASETIYO
0706266746**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Wisnu Ady Prasetyo

NPM : 0706266746

Tanda Tangan : 

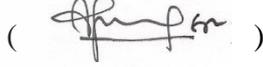
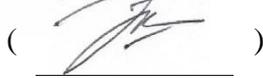
Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Wisnu Ady Prasetyo
NPM : 0706266746
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II
Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting
Concrete* (SCC)

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, DEA. ()
Pembimbing II : Ir. Riana Herlina, M.T. ()
Penguji I : Dr.-Ing. Josia Irwan Rastandi, S.T., M.T. ()
Penguji II : Ir. Essy Ariyuni, M.Sc., Ph.D. ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada yang terhormat:

- (1) Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA., selaku pembimbing utama yang banyak memberikan bantuan dan meluangkan waktu untuk mengarahkan penelitian skripsi ini.
- (2) Ibu Ir. Riana Herlina, MT., selaku pembimbing kedua yang banyak memberikan bantuan, saran serta nasehat baik dalam konsep serta penulisan skripsi ini.
- (3) Bapak Dr-Ing. Josia Irwan Rastandi, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang memberikan masukan dan arahan kepada penulis.
- (4) Ibu Ir. Essy Ariyuni, M.Sc., Ph.D., selaku dosen penguji yang memberikan masukan dan arahan kepada penulis.
- (5) Bapak Ir. Madsuri, M.T., selaku dosen penguji yang memberikan masukan dan arahan kepada penulis.
- (6) Seluruh Staf Departemen Teknik Sipil serta Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah banyak membantu dalam memperoleh data untuk penelitian ini.
- (7) PT. Indocement Tunggal Prakasa yang telah memberikan bantuan material penelitian yaitu semen.
- (8) PT. Adhimix yang telah memberikan bantuan material penelitian yaitu agregat kasar.

- (9) Ibu Niken yang telah memberikan bantuan material penelitian yaitu *visconcrete 10*.
- (10) Orang tua yang tiada hentinya memberikan dukungan doa baik moral maupun materiil.
- (11) Kedua rekan saya, David Silitonga dan Monika Kristiana Putri.
- (12) Mba Dian yang telah banyak direpotkan.
- (13) Teman-teman Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan angkatan 2007.
- (14) Semua pihak lain yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, besar harapan penulis agar skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak. Dalam penulisan skripsi ini tentunya masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari para pembaca untuk hasil yang lebih baik.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Wisnu Ady Prasetyo
NPM : 0706266746
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**PENGARUH PEMAKAIAN SEMEN PORTLAND TIPE II TERHADAP
KETAHANAN SULFAT PADA *SELF COMPACTING CONCRETE* (SCC)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 : 30 Juni 2011

Yang menyatakan



(Wisnu Ady Prasetyo)

ABSTRAK

Nama : Wisnu Ady Prasetyo
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat pada *Self Compacting Concrete* (SCC)

Ketika beton berada dalam lingkungan air laut, tanah, dan kawasan industri dimana banyak terkandung sulfat, beton akan menjadi rentan terhadap serangan sulfat yang dapat mengurangi durabilitas beton akibat adanya disintegrasi material-material penyusun beton oleh sulfat. Berbagai macam teknologi dikembangkan untuk mencegah serangan sulfat ini. Salah satunya adalah dengan pengembangan semen portland tipe II. Selain itu, dewasa ini dikembangkan juga beton pemadatan sendiri (*self compacting concrete*/SCC) yang memiliki *flow ability* yang tinggi yang dapat mengurangi permeabilitas beton yang merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan kerusakan beton oleh sulfat. Namun demikian, seberapa besar ketahanan beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Penelitian ini dilakukan dengan cara membedakan metode perendaman beton. Setelah direndam dalam air suling selama 28 hari, beton akan direndam dalam empat kondisi, yaitu dalam air suling, dalam air laut, dalam larutan magnesium sulfat 5%, dan dalam larutan magnesium sulfat 5% dengan metode perendaman rendam angkat yang mengikuti perilaku pasang surut air laut selama 14 dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan permeabilitas.

Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa benda uji yang direndam dalam lingkungan yang mengandung sulfat menyebabkan penurunan kuat tekan sebesar 0,77%, kuat tarik belah sebesar 5,92%, dan kuat tarik lentur sebesar 8,26% untuk beton yang direndam dalam air laut, serta kuat tekan sebesar 16,93%, kuat tarik belah sebesar 11,58%, dan kuat tarik lentur sebesar 19,66% untuk benda uji yang direndam dalam magnesium sulfat. Pengondisian rendam angkat memperbesar efek dari serangan sulfat sebesar 1,22% untuk kuat tekan, 0,6% untuk kuat tarik belah dan 5,3% untuk kuat tarik lentur. Selain itu, didapatkan pula bahwa tingkat kelolosan air bertambah sebesar 54,33% untuk beton yang direndam dalam air laut, 76,78% untuk beton yang direndam dalam magnesium sulfat, dan 107,46% untuk beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat dengan metode perendaman rendam angkat.

Kata Kunci:

Serangan Sulfat, Semen Portland Tipe II, Beton SCC

ABSTRACT

Name : Wisnu Ady Prasetyo
Study Program : Civil Engineering
Title : The Effect of Using Type II Portland Cement to the Sulfate Resistance of Self Compacting Concrete (SCC)

When the concrete is subjected to sea water, soil, and industrial area where high amount of sulfate is contained, concrete will be susceptible to sulfate attack that will reduce its durability due to disintegration of the materials by sulfate. Various technologies are developed to prevent this sulfate attack. One of them is the development of Portland cement type II. In addition, nowadays self compacting concrete (SCC) was also developed. SCC has high flow ability which can reduce the permeability of concrete, which is one of the factors that affect the rate of deterioration of concrete by sulfate attack. However, how much this SCC that use portland cement type II can resist sulfate attack need a further research.

This research performed by differentiating the condition of immersion. After being immersed in tap water for 28 days, concrete will be immersed in four conditions: in tap water, sea water, 5% magnesium sulfate solution with full-immersion, and 5% magnesium sulfate solution with drying-immersion cycle. The tests done on this research consist of compressive strength test, splitting tensile strength test, flexural strength test, and permeability test.

The result of this research indicated that the specimens immersed in an sulfate-containing environment causes the decrease of compressive strength about 0,77%, splitting tensile strength about 5,92%, and flexural strength about 8,26% for concrete immersed in sea water and compressive strength about 16,93%, splitting tensile strength about 11,58%, and flexural strength about 19,66% for concrete immersed in magnesium sulfate. Drying-immersion cycle enlarge the effect of sulfate attack about 1,22% for compressive strength, 0,6% for splitting tensile strength, and 5,3% for flexural strength. In addition, it was also found that the permeability increased by 54,33% for concrete immersed in sea water, 76,78% for concrete immersed in magnesium sulfate, and 107,46% for concrete immersed in magnesium sulfate with drying-immersion cycle.

Keywords:

Sulfate Attack, Portland Cement Type II, Self Compacting Concrete

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN PENELITIAN.....	3
1.5 HIPOTESIS	4
1.6 METODE PENELITIAN.....	4
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 BETON	6
2.2 BETON PEMADATAN SENDIRI (SCC)	7
2.2.1 Umum	7
2.2.2 Persyaratan.....	9
2.2.3 Metode Pengujian.....	10
2.3 BAHAN PENYUSUN BETON	12
2.3.1 Semen Portland Tipe II.....	12
2.3.1.1 Proses Pembuatan Semen Portland.....	13
2.3.1.2 Komposisi Kimia Dalam Semen	15
2.3.1.3 Hidrasi Pada Semen.....	17

2.3.1.4	Jenis-Jenis Semen Portland	23
2.3.2	Agregat	24
2.3.2.1	Jenis-Jenis Agregat	25
2.3.2.2	Karakteristik Agregat.....	28
2.3.3	Air.....	31
2.3.4.1	Superplasticizer	32
2.4	SERANGAN SULFAT PADA BETON	33
2.4.1	Umum	33
2.4.2	Mekanisme Serangan Sulfat	33
2.4.3	Interaksi Sulfat dan Klorida dalam Air Laut	37
2.4.4	Pengaruh Perilaku Pasang Surut Air Laut	37
2.4.5	Pencegahan Terhadap Serangan Sulfat	38
2.5	SIFAT DAN KARAKTERISTIK BETON.....	38
2.5.1	Kuat Tekan Beton.....	38
2.5.2	Kuat Tarik Beton.....	43
2.5.3	Kuat Lentur Beton.....	43
2.5.4	Rongga Udara Dan Permeabilitas Beton.....	44
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	46
3.1	RENCANA PENELITIAN	46
3.1.1	Alur Penelitian	46
3.1.2	Jenis Perendaman dan Pengujian	47
3.1.3	Perencanaan Jumlah Benda Uji.....	47
3.2	STANDAR PENGUJIAN.....	48
3.3	PENGUJIAN MATETIAL PEMBENTUK CAMPURAN BETON .	48
3.3.1	Pengujian Agregat Halus	48
3.3.1.1	Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus	48
3.3.1.2	Pengujian Berat Jenis Dan Absorpsi Agregat Halus	51
3.3.1.3	Analisa Saringan.....	52
3.3.1.4	Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200	53
3.3.1.5	Pemeriksaan Kotoran Organik	55
3.3.2	Pengujian Agregat Kasar	55
3.3.2.1	Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar	55
3.3.2.2	Pengujian Berat Jenis Dan Absorpsi Agregat Kasar	57

3.3.2.3	Analisa Saringan.....	58
3.4	PERANCANGAN CAMPURAN BETON	60
3.5	PEMBUATAN BENDA UJI	62
3.6	PENGUJIAN BENDA UJI	64
3.6.1	Slump Flow	64
3.6.2	Pengujian Kuat Tekan	65
3.6.3	Pengujian Kuat Tarik Belah.....	66
3.6.4	Pengujian Kuat Tarik Lentur	69
3.6.5	Pengujian Permeabilitas	72
3.6	PENKODEAN BENDA UJI	73
3.7	JADWAL PELAKSANAAN PENELITIAN.....	74
 BAB 4 HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN		75
4.1	HASIL DAN ANALISIS PENGUJIAN BAHAN BAKU PENELITIAN.....	75
4.1.1	Hasil dan Analisis Pengujian Agregat Halus.....	75
4.1.2	Hasil dan Analisis Pengujian Agregat Kasar	77
4.1.2	Hasil dan Analisis Pengujian Semen Portland Tipe II	78
4.2	ANALISIS PERANCANGAN CAMPURAN BETON	79
4.3	HASIL DAN ANALISIS PENGUJIAN BETON SEGAR.....	79
4.4	ANALISIS PENGARUH SULFAT SECARA VISUAL	80
4.5	MASSA JENIS BETON PEMADATAN SENDIRI.....	81
4.6	PENGARUH SULFAT TERHADAP PENURUNAN MASSA BENDA UJI	82
4.7	PENGARUH SULFAT TERHADAP KUAT TEKAN BETON PEMADATAN SENDIRI YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE II.....	85
4.9	PENGARUH SULFAT TERHADAP KUAT TARIK LENTUR BETON PEMADATAN SENDIRI YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE II	104
4.10	PENGARUH SULFAT TERHADAP PERMEABILITAS BETON PEMADATAN SENDIRI YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE II.....	112
4.11	HUBUNGAN ANTARA KUAT TEKAN DENGAN KUAT TARIK BELAH DAN KUAT TEKAN DENGAN KUAT TARIK LENTUR	113
4.12	PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN SEBELUMNYA	115

BAB 5 PENUTUP	117
5.1 KESIMPULAN	117
5.2 SARAN	118
DAFTAR REFERENSI	120



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Perbandingan Campuran Beton SCC Dengan Beton Pada Umumnya	8
Gambar 2.2.	Baseplate Untuk Slump Flow	11
Gambar 2.3.	Dimensi Cetakan L-Shape Box	12
Gambar 2.4.	Dimensi V-Funnel	12
Gambar 2.5.	Skema Pembuatan Semen Portland	14
Gambar 2.6.	Skematik Reaksi Tipikal Klink Semen	15
Gambar 2.7.	Skematik Kehadiran Senyawa Dalam Klinker	17
Gambar 2.8.	Pembebasan Panas Hidrasi.....	18
Gambar 2.9.	Perkembangan Kekuatan Dari Senyawa Dalam Semen Portland	20
Gambar 2.10.	Bentuk Agregat.....	27
Gambar 2.11.	Kondisi Kadar Air Agregat	29
Gambar 2.12.	Grafik Perilaku Ekspansi Dari Mortar Semen Portland dalam Larutan Sodium dan Magnesium Sulfat.....	35
Gambar 2.13.	Grafik Pengaruh Rasio Air semen Terhadap Kuat Tekan.....	39
Gambar 2.14.	Grafik Pengaruh Kondisi Perawatan Terhadap Kuat Tekan	40
Gambar 2.15.	Pengaruh Temperatur Saat Pengecoran Dan Perawatan Terhadap Kuat Tekan	41
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 3.2.	Penandaan Benda Uji	67
Gambar 3.3.	Detail Penandaan Benda Uji.....	67
Gambar 3.4.	Detail Pelat Besi Untuk Pengujian Kuat Tarik Belah.....	68
Gambar 3.5.	Penempadatan Benda Uji	69
Gambar 3.6.	Pengujian Kuat Lentur	70
Gambar 3.7.	Kondisi Patahan Terjadi Pada 1/3 Dari Bagian Tengah Bentang Balok	71
Gambar 3.8.	Kondisi Patahan Terjadi Di Luar 1/3 Dari Bagian Tengah Bentang Balok	72
Gambar 4.1.	Pengujian Slump Flow	79
Gambar 4.2.	Tampak Visual Benda Uji	80
Gambar 4.3.	Pengaruh Metode Perendaman dengan Massa Benda Uji Umur 42 Hari	83
Gambar 4.4.	Pengaruh Metode Perendaman dengan Massa Benda Uji Umur 56 Hari	84

Gambar 4.5.	Massa vs Umur Benda Uji	84
Gambar 4.6.	Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tekan Benda Uji Umur 42 Hari.....	86
Gambar 4.7.	Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tekan Benda Uji Umur 56 Hari.....	87
Gambar 4.8.	Penurunan Kekuatan Tekan Beton vs Umur Beton	88
Gambar 4.9.	Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Suling	89
Gambar 4.10.	Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Laut	90
Gambar 4.11.	Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan magnesium sulfat 5 %	90
Gambar 4.12.	Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan magnesium sulfat 5 % dengan Metode Perendaman Rendam Angkat	91
Gambar 4.13.	Kuat Tekan vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda	91
Gambar 4.14.	Kuat Tekan Rata-Rata vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda	94
Gambar 4.15.	Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Belah Benda Uji Umur 42 Hari.....	96
Gambar 4.16.	Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Belah Benda Uji Umur 56 Hari.....	98
Gambar 4.17.	Penurunan Kuat Tarik Belah vs Umur Beton.....	99
Gambar 4.18.	Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Suling	100
Gambar 4.19.	Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Laut.....	100
Gambar 4.20.	Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 %	101
Gambar 4.21.	Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 % dengan Metode Perendaman Rendam Angkat	101
Gambar 4.22.	Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda	102
Gambar 4.23.	Kuat Tarik Belah Rata-Rata vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda	103
Gambar 4.24.	Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Lentur Benda Uji Umur 42 Hari.....	105

Gambar 4.25.	Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Lentur Benda Uji Umur 56 Hari	106
Gambar 4.26.	Penurunan Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton	106
Gambar 4.27.	Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Suling	108
Gambar 4.28.	Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Laut.....	109
Gambar 4.29.	Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan magnesium sulfat 5 %	109
Gambar 4.30.	Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan magnesium sulfat 5 % dengan Metode Perendaman Rendam Angkat	110
Gambar 4.31.	Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda	110
Gambar 4.32.	Kuat Tarik Lentur Rata-Rata vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Persyaratan Workabilitas Beton SCC	10
Tabel 2.2.	Oksida Penyusun Semen Portland	16
Tabel 2.3.	Senyawa Dalam Semen Portland	16
Tabel 2.4.	Pengaruh Senyawa Hasil Hidrasi Semen Terhadap Properti Beton	22
Tabel 2.5.	Komposisi Senyawa Berdasarkan Tipe Semen	24
Tabel 2.6.	Properti Dari Beberapa Agregat Berat	26
Tabel 2.7.	Presentase Kuat Lentur terhadap Kuat Tekan	44
Tabel 3.1.	Matriks Pengujian	47
Tabel 3.2.	Kapasitas Wadah.....	49
Tabel 3.3.	Berat Contoh Agregat Kering Minimum.....	54
Tabel 3.4.	Penentuan Jumlah Air Campuran dan Kandungan Udara.....	60
Tabel 3.5.	Hubungan antara Rasio Air Semen dan Kuat Tekan Beton	61
Tabel 3.6.	Volume Agregat Kasar per Unit Volume untuk Modulus Kekakuan yang Berbeda	62
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus.....	75
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	77
Tabel 4.3.	Massa Jenis Benda Uji	81
Tabel 4.6.	Tabel Massa Sampel Pada Benda Uji Umur 56 Hari	83
Tabel 4.7.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Benda Uji Umur 42 Hari	86
Tabel 4.8.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Benda Uji Umur 56 Hari	87
Tabel 4.9.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Benda Uji Umur 42 Hari	95
Tabel 4.10.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Benda Uji Umur 56 Hari	97
Tabel 4.11.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Benda Uji Umur 42 Hari	104
Tabel 4.12.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Pada Benda Uji Umur 56 Hari	105
Tabel 4.13.	Hasil Pengujian Permeabilitas Pada Benda Uji Umur 42 Hari....	112
Tabel 4.14.	Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah.....	114
Tabel 4.15.	Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Lentur.....	114

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Pengujian Material Dan Air Laut
Lampiran A-1	Pengujian Agregat Halus
Lampiran A-2	Pengujian Agregat Kasar
Lampiran A-3	Pengujian Semen Portland Tipe Ii
Lampiran A-4	Hasil Pengujian Air Laut
Lampiran A-4	Hasil Pengujian Air Laut (Lanjutan)
Lampiran B	Perancangan Campuran Beton
Lampiran C	Data Pengujian
Lampiran C-1	Data Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari
Lampiran C-2	Data Pengujian Kuat Tekan Umur 42 Hari
Lampiran C-3	Data Pengujian Kuat Tekan Umur 56 Hari
Lampiran C-4	Data Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari
Lampiran C-5	Data Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 42 Hari
Lampiran C-6	Data Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 56 Hari
Lampiran C-7	Data Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari
Lampiran C-8	Data Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 42 Hari
Lampiran C-9	Data Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 56 Hari
Lampiran C-10	Data Pengujian Permeabilitas Umur 42 Hari
Lampiran D	Perhitungan Kekuatan Rata-Rata
Lampiran D-1	Kuat Tekan Rata-Rata Umur 28 Hari
Lampiran D-2	Kuat Tekan Rata-Rata Umur 42 Hari
Lampiran D-3	Kuat Tekan Rata-Rata Umur 56 Hari
Lampiran D-4	Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 28 Hari
Lampiran D-5	Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 42 Hari
Lampiran D-6	Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 56 Hari
Lampiran D-7	Kuat Tarik Lentur Rata-Rata Umur 28 Hari
Lampiran D-8	Kuat Tarik Lentur Rata-Rata Umur 42 Hari
Lampiran D-9	Kuat Tarik Lentur Rata-Rata Umur 56 Hari
Lampiran E	Hasil Pengujian Kadar Klorida Pada Beton
Lampiran F	Jadwal Pengecoran Rencana
Lampiran G	Pengecoran
Lampiran H	Dokumentasi

Lampiran H-1	Foto Pengambilan Air Laut
Lampiran H-2	Foto Pengujian Material
Lampiran H-3	Foto Pembuatan Benda Uji
Lampiran H-4	Foto Benda Uji
Lampiran H-5	Pengujian Benda Uji



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam perkembangan bidang rekayasa konstruksi di Indonesia, beton masih menjadi bahan alternatif yang sering digunakan. Hal ini karena bahan dasar beton mudah untuk didapatkan di Indonesia, dan harganya yang relatif murah. Selain itu, beton memiliki beberapa keunggulan lainnya, yaitu memiliki ketahanan terhadap tekan, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, mempunyai kekakuan yang tinggi, dan memiliki ketahanan terhadap suhu yang tinggi.

Salah satu penggunaan beton sebagai material konstruksi adalah untuk bangunan-bangunan tepi pantai dan struktur bawah tanah pada bangunan. Struktur beton yang berhubungan langsung dengan lingkungan air laut dan tanah, yang memiliki kadar garam sulfat yang tinggi, sangat rentan mengalami kerusakan akibat adanya serangan sulfat. Kerusakan tersebut diakibatkan oleh adanya disintegrasi dari material-material penyusun beton akibat reaksi sulfat dengan senyawa hasil hidrasi semen, yaitu *calcium hidroxide* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan *calcium aluminate hydrate* ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$). Disintegrasi tersebut menyebabkan pengembangan volume pada beton yang kemudian menimbulkan retak. Tingkat kecepatan kerusakan pada beton akibat sulfat ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain (1) jenis dan kadar sulfat yang terdapat dilingkungannya, (2) tekanan dan kecepatan aliran air yang mengandung sulfat, untuk beton yang berada dilingkungan air laut atau muka air tanah yang tinggi, dan (3) mutu dan permeabilitas beton, yang umumnya ditentukan oleh tipe dan proporsi semen yang digunakan dalam campuran beton (FX. Supartono, 1999).

Karena serangan sulfat ini mengurangi umur bangunan dan mengingot biaya yang diperlukan untuk membangun suatu bangunan cukup besar, maka banyak peneliti dunia yang melakukan penelitian-penelitian guna mempelajari mekanisme serangan sulfat pada beton hingga akhirnya ditemukan teknologi-teknologi untuk mencegah serangan sulfat pada beton. Pada tahun 1756, seorang berkebangsaan Inggris bernama John Smeaton, menemukan semen baru yang lebih tahan terhadap sulfat dibandingkan dengan semen lain yang umumnya dipakai saat itu.

Semen baru itu dia kembangkan pada saat dia ditugaskan untuk membangun Mercusuar Eddystone. Pada masa itu, umumnya semen terbuat dari campuran tradisional antara *slaked lime* (hasil pembakaran batu kapur) dan pozzolan yang memang sudah digunakan semenjak zaman Romawi. Dari berbagai percobaan, ia menemukan bahwa batuan yang menghasilkan mortar terbaik berasal dari batu kapur (*limestone*) yang mengandung material lempung dalam jumlah tertentu. Inilah pertama kalinya dunia mengenal semen hidrolis (*hydraulic cement*), yang merupakan cikal bakal dari teknologi berikutnya, yaitu semen portland. Pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, Candlot (1890), Le Chatelier (1905), dan Michaelis (1909) melakukan penelitian untuk mempelajari mekanisme serangan sulfat pada semen portland. Dan sejak saat itu, penelitian secara ekstensif dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengembangkan metode untuk mencegah serangan sulfat pada beton.

Salah satu produk yang dihasilkan adalah semen portland tipe II atau sering disebut juga *modified cement*. Semen portland tipe II ini merupakan hasil modifikasi dari semen portland tipe I untuk menaikkan ketahanan terhadap serangan sulfat tingkat menengah. Identya adalah dengan mengurangi jumlah C_3S dan menambah C_2S untuk mengurangi jumlah *calcium hidroxide* ($Ca(OH)_2$) pada semen terhidrasi. Selain itu, jumlah C_3A juga dikurangi menjadi kurang dari 8%. Hal ini untuk mengurangi terbentuknya *calcium aluminate hydrate* ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$) pada semen terhidrasi. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, kedua senyawa hasil hidrasi tersebut yang akan bereaksi dengan sulfat.

Selain itu, pada awal tahun 1980, di Jepang dikembangkan beton pepadatan sendiri atau *self compacting concrete* (SCC) yang mempunyai sifat *fluidity* yang tinggi yang menyebabkan porositas dari beton menjadi lebih kecil. Porositas yang kecil ini, secara teoritis, dapat menjadikan beton lebih tahan terhadap serangan sulfat.

Hal yang cukup menarik adalah sampai sejauh mana beton pepadatan sendiri yang menggunakan semen portland tipe II ini mampu bertahan terhadap serangan sulfat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian-penelitian untuk mempelajari bagaimana pengaruh sulfat terhadap sifat mekanis beton yang

menggunakan semen portland tipe II. Sifat mekanis beton tersebut meliputi kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, serta tingkat kelolosan terhadap air (permeabilitas).

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan utama yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

- Se jauh mana pengaruh sulfat terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan permeabilitas pada beton pematatan sendiri yang menggunakan semen portland tipe II?
- Se jauh mana pengaruh perendaman beton dengan metode rendam angkat yang mengikuti perilaku pasang surut air laut terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan permeabilitas pada beton pematatan sendiri yang menggunakan semen portland tipe II?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui pengaruh sulfat terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan permeabilitas pada beton pematatan sendiri yang menggunakan semen portland tipe II.
- Mengetahui pengaruh perendaman beton dengan metode rendam angkat yang mengikuti perilaku pasang surut air laut terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan permeabilitas pada beton pematatan sendiri yang menggunakan semen portland tipe II.

1.4 BATASAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki beberapa batasan, antara lain:

- Mutu beton yang direncanakan (f_c') = 40 MPa.
- Beton yang digunakan adalah beton pematatan sendiri (SCC).
- Semen Portland yang digunakan merupakan semen Portland Tipe II.
- Air yang digunakan merupakan air Perusahaan Air Minum (PAM) yang terdapat di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

- Faktor air semen yang digunakan adalah 0,45.
- Penelitian yang dilakukan dibatasi pada pengujian tekan, tarik, lentur, dan permeabilitas pada beton.
- Pada penelitian ini, beton akan direndam pada air suling, air laut, dan larutan magnesium sulfat.
- Pengujian benda uji dilakukan sesuai dengan *American Society for Testing Material* (ASTM) dan EFNARC.
- Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

1.5 HIPOTESIS

Sulfat yang terkandung dalam air laut dan larutan magnesium sulfat akan mengurangi kuat tekan, tarik, dan lentur pada beton pemadatan sendiri yang menggunakan semen Portland Tipe II, bila dibandingkan dengan beton yang *di-curing* pada air biasa dengan mutu yang sama. Hal ini dikarenakan reaksi sulfat dengan *calcium hidroxide* dan *calcium aluminate hydrate*, yang merupakan salah satu produk dari proses hidrasi semen portland, akan menyebabkan mengembangnya beton, dan kemudian menimbulkan retak yang diikuti oleh hilangnya properti kekuatan dari beton. Disamping itu, karena pengembangan beton tersebut, tingkat kelolosan air pada beton yang direndam pada sulfat akan lebih besar bila dibandingkan dengan beton yang direndam di air biasa.

1.6 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dan studi literatur sebagai dasar penelitian. Tahapan penelitian yang akan dilakukan secara sistematis adalah:

- Pengkajian pustaka
- Mempersiapkan material penyusun beton
- Melakukan pengujian terhadap material yang digunakan dalam campuran beton
- Perancangan komposisi campuran beton

- Membuat benda uji
- Melakukan pengujian terhadap benda uji
- Mungumpulkan data pengujian
- Analisa
- Kesimpulan

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan adalah

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan penjelasan secara umum tentang latar belakang, perumusan masal, tujuan penelitian, batasan penelitian, hipotesis, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan literatur tentang beton, karakteristik beton, dan bahan penyusun beton, serta literatur khusus tentang semen portland tipe II dan serangan sulfat pada beton.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan penjelasan tentang metode penelitian dan prosedur penelitian yang akan dilakukan penulis.

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Berisikan penjelasan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan disertai dengan analisa terhadap hasil yang diperoleh dalam penelitian.

BAB 5 PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya yang terkait.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BETON

Beton terbentuk dari campuran antara agregat halus dan agregat kasar atau bahan sejenis lainnya dengan tambahan semen dan air sebagai bahan perekat. Selain itu, campuran beton juga dapat ditambahkan bahan tambahan lainnya (*admixtures*) sebelum ataupun selama pengadukan, seperti abu terbang, dan mikrosilika.

Dibandingkan dengan material lainnya, beton memiliki beberapa kelebihan, antara lain adalah:

- Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
- Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan. Cetakan dapat pula dipakai berulang kali sehingga lebih ekonomis.
- Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
- Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
- Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Namun, beton juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain adalah:

- Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu di beri baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.
- Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu.
- Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
- Beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa

Berdasarkan unit beratnya, beton dapat diklasifikasikan ke dalam 3 kategori. Pertama beton yang tersusun dari pasir dan kerikil alami, umumnya dengan berat 2400 kg/m^3 , yang disebut sebagai beton berat normal (*normal-weight concrete*). Kategori beton ini adalah yang paling sering digunakan dalam proses konstruksi. Untuk pengaplikasian dimana dibutuhkan rasio kekuatan dengan berat yang lebih besar, dimungkinkan untuk mengurangi unit berat dari beton dengan menggunakan agregat alami dengan nilai *bulk density* yang lebih rendah. Beton kategori kedua ini disebut juga beton ringan (*lightweight concrete*) dengan berat lebih kecil dari 1800 kg/m^3 . Kategori ketiga adalah beton dengan berat yang besar (*heavyweight concrete*) yang tersusun dari agregat dengan densitas yang tinggi dan umumnya memiliki berat yang lebih besar dari 3200 kg/m^3 .

Sedangkan berdasarkan kuat tekannya, beton dikategorikan ke dalam tiga kategori umum, yaitu beton mutu rendah (*low-strength concrete*) dengan kuat tekan lebih kecil dari 20 MPa, beton normal (*moderate-strength concrete*) dengan kuat tekan antara 20 sampai 40 MPa, dan beton mutu tinggi (*high-strength concrete*) dengan kuat tekan lebih besar dari 40 MPa. Beton normal adalah yang paling sering digunakan pada pekerjaan struktur. Sedangkan beton mutu tinggi digunakan untuk aplikasi-aplikasi khusus. Di luar ketiga kategori umum tersebut, terdapat pula beberapa kategori beton lainnya yang merupakan hasil modifikasi dari beton pada umumnya. Contohnya *fiber-reinforced concrete*, *expansive-cement concrete*, dan *latex-modified concrete*.

2.2 BETON PEMADATAN SENDIRI (SCC)

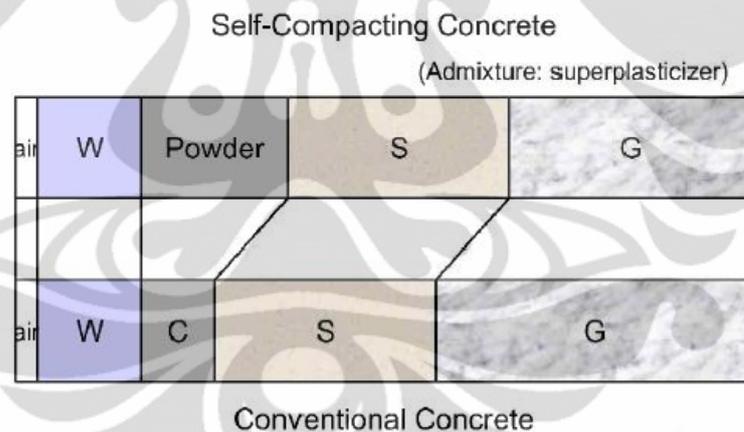
2.2.1 Umum

Beton pemadatan sendiri atau *self compacting concrete* (SCC) pertama kali dikembangkan di Jepang pada pertengahan tahun 1980 dan mulai dipergunakan pada awal tahun 1990. Latar belakang dikembangkannya beton ini adalah karena semakin berkurangnya tenaga-tenaga terampil di Jepang yang mengakibatkan beton kadang tidak terpadatkan dengan baik saat pengecoran sehingga menurunkan mutu pekerjaan konstruksi.

SCC merupakan suatu beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi, sehingga mampu mengalir dan mengisi keseluruhan ruang-ruang dalam

cetakan akibat berat sendirinya tanpa melalui proses pemadatan. Beton ini juga sering disebut sebagai beton alir (*flowing concrete*). SCC umumnya digunakan untuk struktur-struktur dimana pemadatan secara manual sulit untuk dilakukan, misalnya akibat jarak antar tulangan yang terlalu rapat. SCC ini biasa diaplikasikan untuk pelat lantai, bendungan, dinding penahan tanah, beton precast, dan bangunan lainnya yang memerlukan tingkat kepadatan beton yang tinggi.

Komposisi SCC hampir sama dengan komposisi yang digunakan dalam pembuatan beton pada umumnya. Untuk mendapatkan sifat kecairan yang tinggi, SCC menggunakan agregat halus yang lebih banyak dari agregat kasar, serta menambahkan bahan tambah superplasticizer dalam campuran beton. Untuk campuran beton mutu tinggi seringkali juga digunakan bahan tambahan dari jenis aditif mineral seperti *silica fume*, *copper slag*, dan abu terbang serta bahan-bahan aditif lain yang lebih khusus.



Gambar 2.1. Perbandingan Campuran Beton SCC Dengan Beton Pada Umumnya

(Sumber : Hajime Okamura dan Masahiro Ouchi, *Self-Compacting Concrete*, 2003)

SCC memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan beton pada umumnya. Kelebihan itu antara lain:

- Sangat encer, bahkan dengan admixture tertentu bisa menahan slump tinggi dalam jangka waktu lama (*slump keeping admixture*).
- Tidak memerlukan pemadatan manual.
- Lebih homogen dan stabil.

- Kuat tekan beton bisa dibuat untuk mutu tinggi atau sangat tinggi.
- Lebih kedap, porositas lebih kecil, serta meningkatkan durabilitas.
- Tampilan permukaan beton lebih baik dan halus karena agregatnya biasanya berukuran kecil sehingga nilai estetis bangunan menjadi lebih tinggi.

2.2.2 Persyaratan

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam campuran beton agar dapat dikategorikan sebagai SCC antara lain:

a. Pemilihan material yang sesuai

Untuk mendapatkan campuran beton SCC dengan tingkat workabilitas yang tinggi perlu juga dipertimbangkan hal-hal berikut ini:

- Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan umumnya dibatasi antara 12 sampai 20 mm.
 - Agregat kasar dibatasi jumlahnya sampai 30% sampai 34% dari volume beton.
 - Volume pasta antara 34% sampai 40% dari volume beton.
 - Volume agregat halus kurang lebih 40% sampai 50% dari volume mortar.
 - *Water powder ratio* dalam saluan volume (liter/m^3) di antara 0,8 sampai dengan 1,2.
 - Jumlah air dibatasi antara 155 sampai 175 kg/m^3 bila tanpa penggunaan *viscosity agent* atau sampai 200 kg/m^3 bila *viscosity agent* digunakan.
- b. Berdasarkan spesifikasi beton SCC menurut EFNARC, workabilitas campuran beton yang dapat dikatakan sebagai beton SCC bila memenuhi kriteria *filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance*.
- *Filling ability*
Filling ability adalah kemampuan dari beton SCC cair untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan dengan berat sendirinya tanpa bantuan alat vibrator.

- *Passing ability*
Passing ability adalah kemampuan beton SCC cair untuk mengalir melalui celah antar tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan tanpa adanya segregasi dan *blocking*.
- *Segregation resistance*
Segregation resistance adalah kemampuan beton SCC untuk menjaga keadaan campuran untuk tetap homogen.

Tabel 2.1. Persyaratan Workabilitas Beton SCC

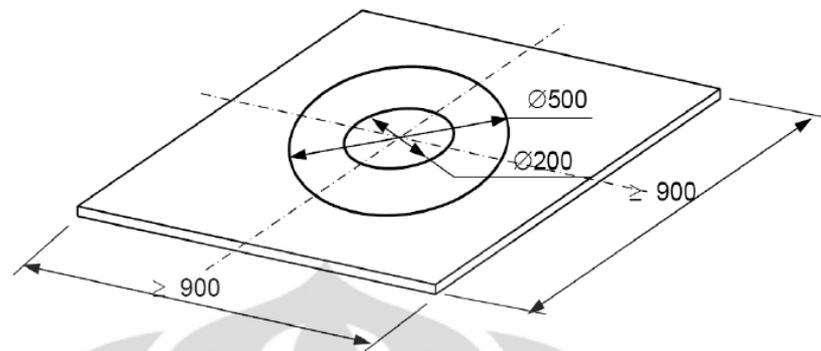
Properti	Batasan
Diameter slump flow	650-800 mm
T50cm	2-5 detik
J-Ring	0-10 mm
V-funnel	8-12 detik
L-Box H2/H1	0,8-1

(Sumber : EFNARC *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, 2005)

2.2.3 Metode Pengujian

Metode pengujian yang dikembangkan untuk pengukuran workabilitas untuk beton SCC sampai saat ini belum dapat mewakili ketiga kriteria yang telah disebutkan sebelumnya. Terdapat tiga macam metode pengetesan yang sering digunakan untuk pengukuran workabilitas beton SCC, yaitu *slump flow*, *L-shape box*, dan *V-funnel*.

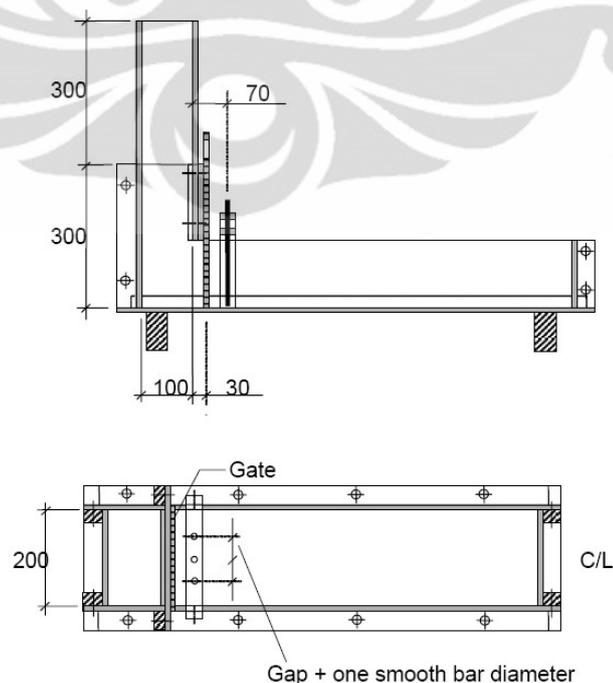
- *Slump flow*
Metode pengujian ini dapat dipakai untuk menentukan *fling ability* dari campuran beton SCC. Prosedur pengujian ini hampir sama seperti *slump test*. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini berupa tingkat workabilitas beton cair berdasarkan kemampuan menyebarnya yang dinyatakan dalam besaran diameter.

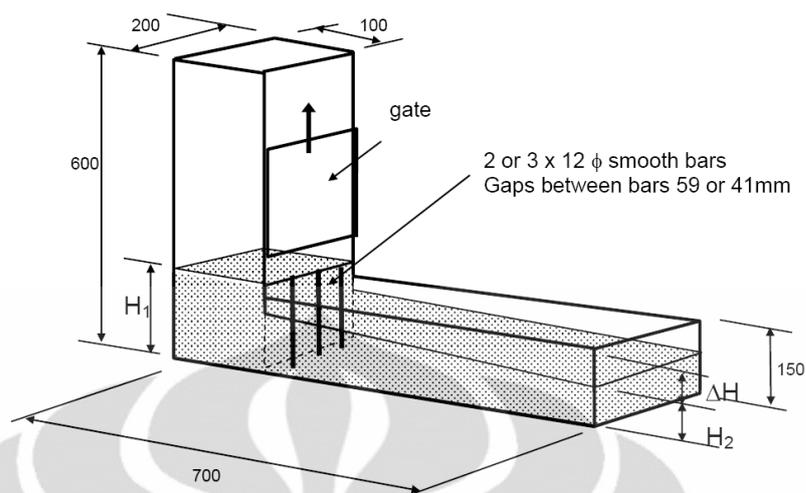


Gambar 2.2. Baseplate Untuk Slump Flow

- *L-shape box*

Metode pengujian ini dapat menggambarkan kriteria *passing ability* dari beton SCC cair. Dengan L-shape box dapat diketahui kemungkinan terjadinya blocking pada beton cair yang mengalir yang dinyatakan dalam nilai *blocking ratio* yaitu nilai yang merupakan perbandingan antara H1/H2. Nilai *blocking ratio* yang semakin besar menunjukkan bahwa beton cair dapat mengalir lebih baik. Selain itu, dari pengujian ini juga diperoleh viskositas dari beton cair.

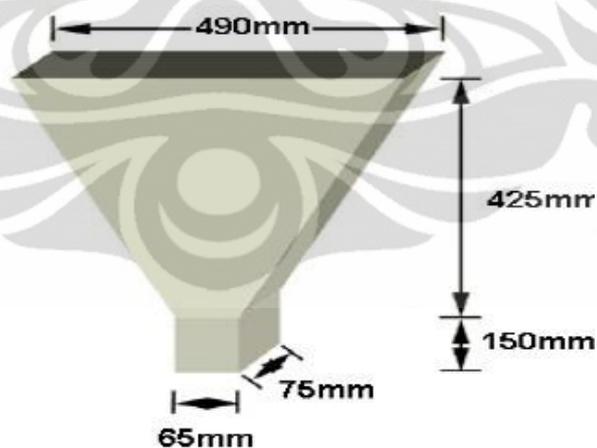




Gambar 2.3. Dimensi Cetakan L-Shape Box

- *V-funnel*

Metode ini dipakai untuk mengetahui kriteria *segregation resistance* dari beton SCC cair. Selain itu, dapat dilihat juga viskositas beton SCC cair. Kemampuan beton cair untuk melalui ujung bawah diukur dalam besaran waktu.



Gambar 2.4. Dimensi V-Funnel

2.3 BAHAN PENYUSUN BETON

2.3.1 Semen Portland Tipe II

Semen merupakan bahan campuran beton yang berfungsi sebagai perekat. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam semen dapat bereaksi dengan air dan

membentuk zat baru yang bersifat sebagai perakat antar agregat. Semen dapat dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu semen hidrolik dan semen non-hidrolik.

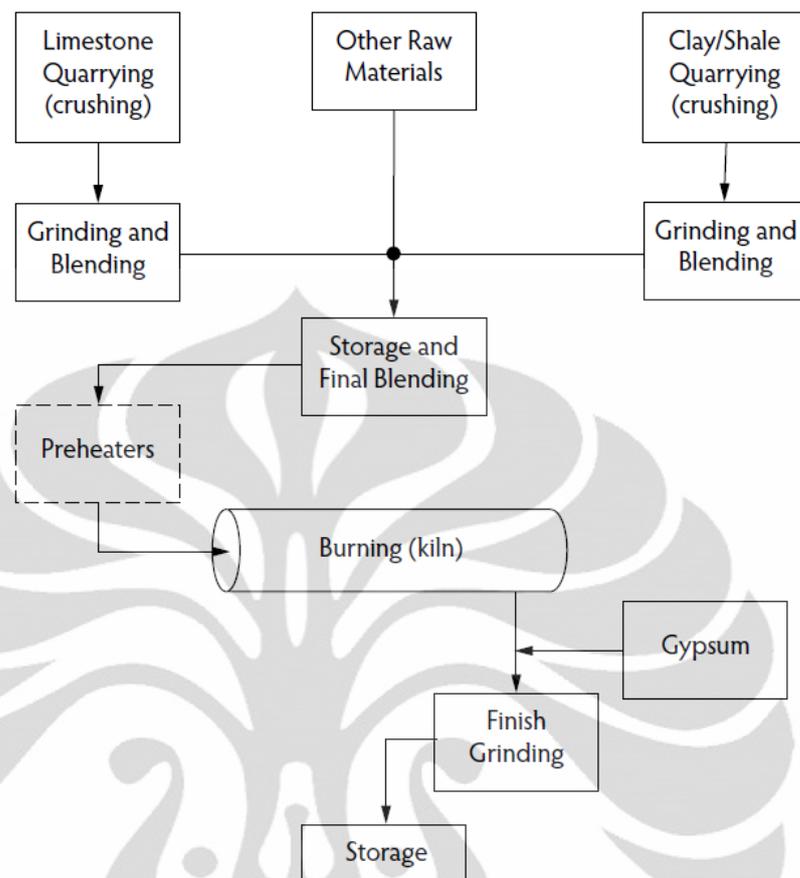
Semen hidrolik memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh dari semen hidrolik adalah semen portland, semen pozzolan, semen alumina, semen terak, dan semen alam. Sedangkan semen non hidrolik memiliki kemampuan untuk mengikat di dalam udara. Contoh dari semen non-hidrolik adalah kapur.

Salah satu jenis semen hidrolik dan paling sering digunakan adalah semen portland. Semen portland merupakan semen hidrolik yang dihasilkan dengan menghaluskan klinker yang utamanya terdiri dari kalsium silikat hidrolis dan sedikit kalsium sulfat (*gypsum*) sebagai bahan tambahan (ASTM C 150). Semen portland pertama kali dikembangkan di Inggris pada tahun 1824 oleh Joseph Aspdin.

2.3.1.1 Proses Pembuatan Semen Portland

Pembuatan semen portland, pada prinsipnya, adalah sebuah proses yang sederhana yang mengandalkan penggunaan bahan baku murah dan melimpah. Material mentah yang diperlukan dalam proses produksi semen portland adalah material-material yang mengandung zat kapur, seperti *limestone* (batu gamping) atau kapur, dan material yang mengandung tanah liat, seperti *shale* atau tanah liat.

Proses produksi semen portland ini dimulai dengan penggilingan material-material penyusun, pencampuran material-material tersebut dengan proporsi tertentu tergantung dari komposisi dari material tersebut, dan kemudian dilakukan pemanasan pada klink dengan temperatur antara 1400 sampai 1600°C. Pada suhu tersebut material menyatu untuk membentuk klinker berbentuk nodular berwarna gelap dengan ukuran 6 sampai 50 mm. Klinker kemudian didinginkan untuk menjadi bubuk halus dengan menambahkan *gypsum* sebanyak 3 sampai 5% untuk mengontrol hidrasi awal dari semen.



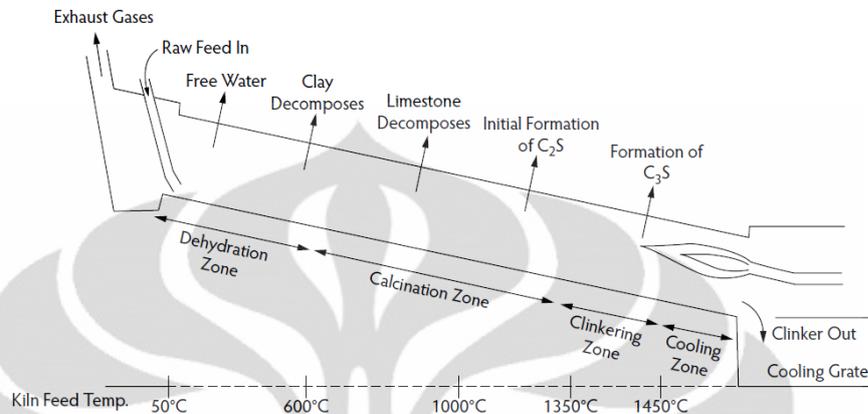
Gambar 2.5. Skema Pembuatan Semen Portland

(Sumber: Edward G. Nawy, *Concrete Construction Engineering Handbook 2th edition*, 2008)

Reaksi dalam temperatur tinggi untuk membentuk klinker semen dijabarkan sebagai berikut (Edward G. Nawy, 2002):

- Dekomposisi material lempung (500 sampai 800°C)
- Dekompisi kalsit (700 sampai 900°C)
- Reaksi antara kalsit (atau kapur yang dibentuk), SiO_2 , dan clay yang terdekomposisi membentuk $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (1000 sampai 1300°C)
- Reaksi klinker pada temperatur sekitar 1300-1450°C untuk membentuk $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, lelehan dari alumina dan ferit dibentuk untuk bertindak sebagai fluks untuk memfasilitasi pembentukan $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ oleh reaksi antara CaO dan $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$

- Pendinginan kembali ke suhu ruangan, selama waktu tersebut kristal mencair untuk membentuk fase ferit dan alumina



Gambar 2.6. Skematik Reaksi Tipikal Klink Semen

(Sumber: Edward G. Nawy, *Concrete Construction Engineering Handbook 2th edition*, 2008)

Terdapat dua proses dalam produksi semen portland yang dikenal sebagai proses basah dan proses kering bergantung pada apakah proses penggilingan dan pencampuran dari material mentah dilakukan dalam kondisi basah atau kering.

2.3.1.2 Komposisi Kimia Dalam Semen

Material mentah yang digunakan dalam produksi semen utamanya mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Oksida ini berinteraksi satu sama lainnya dalam klink pada temperatur tinggi untuk membentuk komposisi yang lebih kompleks. Proporsi relatif dari komposisi oksida ini akan mempengaruhi properti dari semen yang dihasilkan. Tabel di bawah menunjukkan komposisi oksida dalam *ordinary portland cement*.

Tabel 2.2. Oksida Penyusun Semen Portland

Oksida	Persen, berat
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
FeO ₃	0,5-6
MgO	0,1-4
Alkali (K ₂ O, Na ₂ O)	0,4-1,3
SO ₃	1,3-3

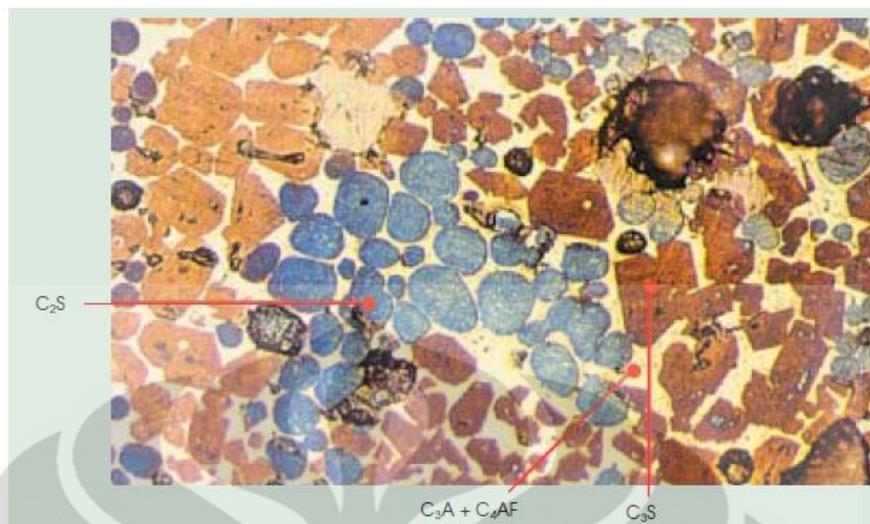
(Sumber: MS. Shetty, *Concrete Technology*, 2005)

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dalam pembuatannya, oksida-oksida tersebut akan bereaksi satu sama lain dan membentuk komposisi yang kompleks. R.H. Bogues mengidentifikasi empat komposisi/senyawa utama yang terbentuk yang menjadi senyawa utama dari semen portland, yaitu *tricalcium silicate* (C₃S), *dicalcium silicate* (C₂S), *tricalcium aluminate* (C₃A), dan *tetracalcium aluminoferrite* (C₄AF).

Tabel 2.3. Senyawa Dalam Semen Portland

Nama Komposisi	Formula
<i>tricalcium silicate</i> (C ₃ S)	3CaO.SiO ₂
<i>dicalcium silicate</i> (C ₂ S)	2CaO.SiO ₂
<i>tricalcium aluminate</i> (C ₃ A)	3CaO.Al ₂ O ₃
<i>tetracalcium aluminoferrite</i> (C ₄ AF)	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃

(Sumber: MS. Shetty, *Concrete Technology*, 2005)



Gambar 2.7. Skematik Kehadiran Senyawa Dalam Klinker

(Sumber: MS. Shetty, *Concrete Technology*, 2005)

Selain keempat senyawa tersebut terdapat senyawa-senyawa kecil lain yang terbentuk dalam klinker. Namun, pengaruhnya sangat kecil terhadap properti ataupun dalam proses hidrasi. *Tricalcium silicate* dan *dicalcium silicate* merupakan senyawa yang paling penting sebagai penyumbang kekuatan beton. Keduanya terkandung sebanyak 70 sampai 80 persen dari semen.

2.3.1.3 Hidrasi Pada Semen

Hidrasi adalah reaksi kimia yang terjadi antara semen dan air dalam campuran beton. Hidrasi ini akan menghasilkan suatu senyawa baru, yaitu senyawa hidrat dengan kelarutan yang rendah. Senyawa ini penting karena mempunyai fungsi sebagai perekat antara agregat halus dengan agregat kasar.

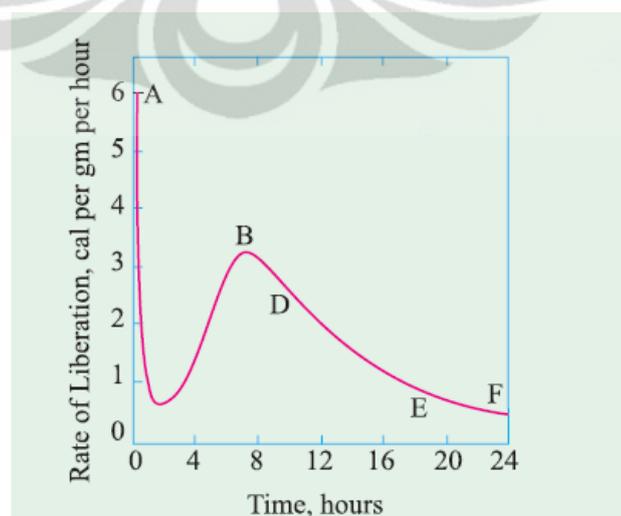
Hidrasi pada semen dapat digambarkan melalui dua mekanisme. Pertama adalah mekanisme "*through solution*". Pada mekanisme ini semen larut untuk menghasilkan solusi yang jenuh dimana produk hasil hidrasi lainnya diendapkan. Mekanisme kedua adalah air bereaksi dengan senyawa pada semen pada fase padat membentuk produk hidrasi yang dimulai dari permukaan hingga bagian dalam semen. Mekanisme pertama dapat lebih dominan terjadi pada fase awal dengan kuantitas air yang besar. Sedangkan mekanisme kedua dapat terjadi pada fase akhir hidrasi.

Karakteristik dasar dari proses hidrasi pada semen portland adalah sebagai berikut (Edward G. Nawy, 2008):

- Selama butiran semen tetap terpisah satu dengan yang lainnya oleh air, maka pasta semen akan tetap berbentuk fluida
- Produk dari proses hidrasi menempati volume yang lebih besar dibandingkan dengan butiran semen aslinya
- Saat produk hidrasi mulai meningkat, maka *setting* terjadi
- Selama proses hidrasi terus berlanjut, pengikat tambahan akan terbentuk antara butiran semen yang akan menyebabkan penguatan sistem.

a. Panas Hidrasi

Reaksi antara semen dan air bersifat eksotermik. Hal ini berarti panas dihasilkan selama reaksi berlangsung. Panas yang dihasilkan ini disebut sebagai panas hidrasi. Jumlah panas yang terjadi ini dipengaruhi oleh jenis semen yang digunakan dan kehalusan penggilingan. Dalam pelaksanaannya, panas ini berpengaruh pada timbulnya keretakan yang terjadi pada proses pendinginan. Panas hidrasi yang besar umumnya terjadi pada beton mutu tinggi. Studi dan kontrol terhadap panas hidrasi ini menjadi sangat penting pada konstruksi-konstruksi *mass concrete* berkaitan dengan pencegahan keretakan yang ditimbulkan akibat panas hidrasi yang terlalu besar.



Gambar 2.8. Pembebasan Panas Hidrasi

(Sumber: MS. Shetty, *Concrete Technology*, 2005)

Pada pencampuran semen dan air, perubahan panas yang cepat mulai terjadi pada menit-menit awal seperti yang diperlihatkan pada grafik di atas. Perubahan panas ini disebabkan oleh reaksi dari solusi aluminat dan sulfat (naik ke puncak A). Kemudian panas akan mulai turun secara cepat ketika kejenuhan dari aluminat berkurang akibat dari *gypsum* (turun dari puncak A). Setelah itu, panas akan meningkat lagi akibat pembentukan ettringite dan dapat juga disebabkan oleh reaksi dari C_3S (naik ke puncak B).

b. Hidrasi *Calcium Silicate*

Selama proses reaksi antara C_3S dan C_2S dengan air, *calcium silicate hydrate* (C-S-H) dan *calcium hidroxide* ($Ca(OH)_2$) terbentuk. *Calcium silicate hydrate* adalah produk paling penting yang menunjukkan properti dari beton. *Calcium silicate hydrate* terkandung sebanyak 50-60% dari volume padat dari hidrasi pasta semen. Berikut ini adalah reaksi kimia yang terjadi antara C_3S dengan air.



atau dapat ditulis sebagai



dimana reaksi ini melibatkan berat sebesar



Hampir sama seperti reaksi C_3S dengan air, reaksi kimia yang terjadi antara C_2S dengan air dituliskan sebagai berikut.



atau dapat ditulis sebagai



dimana reaksi ini melibatkan berat sebesar

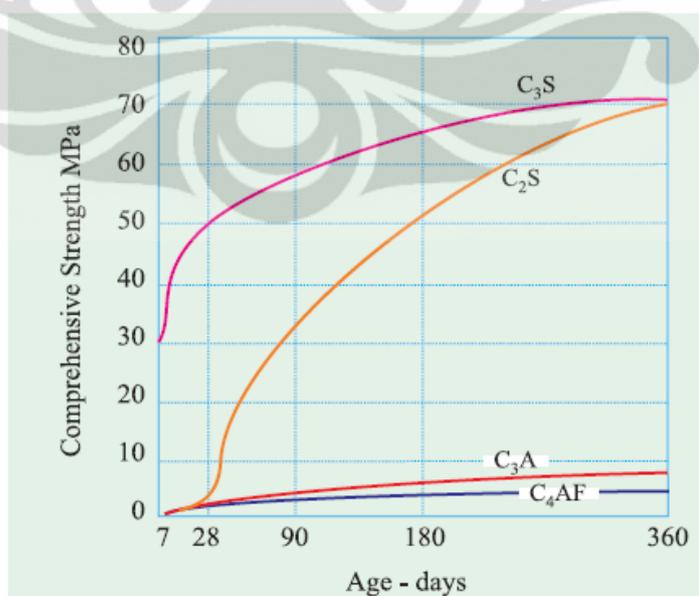


Dari persamaan kimia di atas dapat dilihat bahwa reaksi antara C_3S dengan air menghasilkan jumlah *calcium silicate hydrate* yang lebih sedikit dan $Ca(OH)_2$ yang lebih banyak dibandingkan dengan yang dihasilkan pada hidrasi C_2S . $Ca(OH)_2$ merupakan produk yang tidak diinginkan dalam beton karena sifatnya yang larut dalam air dan menyebabkan beton porous sehingga

mengurangi durabilitas dari beton. Selain itu, *calcium hidroxide* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ juga dapat bereaksi dengan sulfat yang terdapat pada tanah dan air membentuk *calcium sulfate* yang kemudian akan bereaksi dengan C_3A dan menyebabkan kerusakan pada beton. berdasarkan kondisi tersebut, maka semen akan lebih baik jika mengandung C_2S yang lebih banyak.

C_3S bereaksi dengan cepat dengan air dan menimbulkan panas hidrasi yang tinggi. Hal ini menimbulkan kekuatan awal yang tinggi. Kekutan awal ini akan semakin tinggi bila presentase C_3S semakin banyak. Semen dengan kandungan C_3S cocok untuk digunakan untuk beton yang berada di lingkungan bertemperatur rendah. Kualitas dan kepadatan dari *calcium silicate hydrate* yang dihasilkan oleh C_3S lebih kecil dari yang dihasilkan oleh C_2S .

Hidrasi C_2S berlangsung lebih lambat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah. Perkembangan kekuatan berlangsung lebih lambat hingga kemudian mencapai tingkat kekuatan yang hampir menyamai C_3S . Namun kualitas dan tingkat kepadatan *calcium silicate hydrate* yang dihasilkan lebih baik dari C_3S . Disamping itu semen yang mempunyai proporis C_2S yang banyak akan lebih tahan terhadap agresi kimia, dan memiliki penyusutan kering yang relatif rendah, sehingga akan lebih awet.



Gambar 2.9. Perkembangan Kekuatan Dari Senyawa Dalam Semen Portland

(Sumber: MS. Shetty, *Concrete Technology*, 2005)

c. Hidrasi Aluminate Hydrates

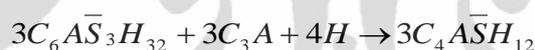
Dalam hidrasi C_3H terbentuk *calcium aluminate hydrate* $CaO-Al_2O_3-H_2O$. Senyawa C_3AH_6 adalah senyawa yang paling stabil yang dibentuk dan akan tetap stabil hingga temperatur $225^\circ C$.

Reaksi antara C_3A dan air berlangsung sangat cepat dan menyebabkan *flash net*. Untuk mencegahnya, dilakukan penambahan gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ atau $C\bar{S}H_2$) pada saat proses penggilingan klinker semen. Jumlah gypsum yang ditambahkan bergantung pada jumlah kandung C_3A . Reaksi kimia yang terjadi adalah:



tricalcium aluminate + gypsum + air \rightarrow *calcium aluminate trisulfate hydrate (ettringite)*

Ketika C_3A masih tersisa, maka C_3A akan bereaksi kembali dengan *ettringite* dan air:



ettringite + *tricalcium aluminate* + air \rightarrow *calcium aluminate monosulfate hydrate*

Aluminate hydrate tidak berkontribusi apapun terhadap kekuatan beton. Sebaliknya, kehadirannya sangat berbahaya terhadap durabilitas beton terutama jika beton berada di lingkungan yang rawan terhadap serangan sulfat. Selain itu, *ettringite* akan menyebabkan pengembangan volume yang dapat menimbulkan keretakan pada beton.

Dalam proses hidrasi, C_4AF akan membentuk $CaO-Fe_2O_3-H_2O$. *Calcium ferrit* yang terhidrasi dalam bentuk C_3FH_6 relatif lebih stabil. Sama seperti hasil hidrasi C_3A , hasil hidrasi C_4AF juga tak memberikan kontribusi terhadap kekuatan beton. Namun, hasil hidrasi C_4AF memiliki ketahanan terhadap sulfat yang relatif lebih baik.

Berikut ini merupakan pengaruh dari senyawa-senyawa hasil hidrasi semen terhadap properti beton.

Tabel 2.4. Pengaruh Senyawa Hasil Hidrasi Semen Terhadap Properti Beton Keras

Senyawa Hasil Hidrasi	Pengaruh
<i>Calcium Silicate Hydrate</i> (C-S-H)	Produk hidrasi paling penting dalam menentukan properti beton yang baik, termasuk penyumbang kekuatan beton
<i>Calcium Hidroxide</i> (Ca(OH) ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Larut dalam air sehingga menyebabkan beton menjadi porous dan mengurangi durabilitas - Dapat bereaksi dengan sulfat membentuk kalsium sulfat yang nantinya bereaksi dengan C₃A dan menyebabkan beton mengembang - Dapat bereaksi dengan material tambahan seperti fly ash, silica fume, dan material pozzolanic lainnya untuk menghasilkan beton yang lebih kuat - Memberikan pH beton ± 13 yang mencegah korosi tulangan pada beton bertulang
<i>Aluminate Hydrate</i> (<i>Calcium Aluminate Trisulfate Hydrate</i> (<i>Etringite</i>) dan <i>Calcium Aluminate Monosulfate Hydrate</i>)	Kehadirannya berbahaya karena bila bereaksi dengan sulfat, maka beton akan mengembang dan menimbulkan retak
<i>Calcium Ferrit Hidrate</i>	Tidak berkontribusi, namun lebih tahan terhadap serangan sulfat dibandingkan dengan <i>aluminate hydrate</i>

2.3.1.4 Jenis-Jenis Semen Portland

Semen Portland diklasifikasikan berdasarkan standar ASTM (*American Society for Testing Materials*). Menurut ASTM, semen portland diklasifikasikan menjadi semen portland Tipe I, Tipe II, Tipe III, Tipe IV, Tipe V, dan tipe-tipe minor yang lainnya, seperti Tipe IS, Tipe IP, dan Tipe IA IIA dan IIQ.

a. Semen Portland Tipe I

Semen portland Tipe I atau disebut juga *ordinary portland cement*, adalah semen yang sering digunakan ketika properti spesifik yang dimiliki dari keempat tipe semen portland lainnya tidak diperlukan. Contoh penggunaannya antara lain sebagai blok beton, lantai, frame bertulang, balok, dan pelat.

b. Semen Portland Tipe II

Semen portland tipe I (*ordinary portland cement*) sangat rentan terhadap serangan sulfat, terutama serangan *magnesium sulfat* ($MgSO_4$). Sulfat bereaksi dengan *calcium hidroxide* untuk membentuk *calcium sulfate* dan dengan *calcium aluminat hidrate* untuk membentuk *calcium sulfoaluminat*. Dengan volume yang diperkirakan 277% dari volume *aluminat* sebelumnya. Pengembangan volume aluminat ini akan menyebabkan menimbulkan retak pada beton keras dan selanjutnya akan menghancurkan beton.

Semen portland tipe II dibuat untuk mencegah serangan sulfat dalam skala menengah. Semen portland tipe II (*modified portland cement*) diproduksi dengan mengurangi kandungan C_3A . Kandungan C_3A pada semen portland tipe II adalah sebesar 5-7% dari total berat semen portland atau lebih kecil 5% dari kandungan C_3A pada semen portland tipe I. Karena hampir tidak mungkin untuk mengurangi aluminat (Al_2O_3) dari material mentah, maka Fe_2O_3 ditambahkan dalam campuran semen, sehingga kandungan C_4AF akan bertambah menjadi sekitar 6-12% dari berat semen, sedangkan kandungan C_3A akan berkurang. Dalam standar IS kandungan total dari C_4AF dan C_3A tidak boleh melebihi 25%.

Umumnya semen portland tipe II digunakan pada pipa beton, perkerasan jalan, dan pondasi. Selain itu, semen portland tipe II ini juga sering digunakan dalam produksi *high-strength concrete*.

c. Semen Portland Tipe III

Semen portland tipe III (*high early strength cement*) digunakan ketika dibutuhkan kekuatan awal struktur yang tinggi, seperti untuk beton precast atau pada saat pengecoran pada suhu yang rendah.

d. Semen Portland Tipe IV

Semen portland tipe IV (*low heat cement*) digunakan untuk struktur yang memerlukan panas hidrasi yang rendah (*setting time* yang lama), seperti pada pengecoran bentungan besar dan struktur-struktur beton masif lainnya untuk memperkecil terjadinya retak yang disebabkan dari akumulasi panas hidrasi yang dihasilkan.

e. Semen Portland Tipe V

Semen portland tipe V (*sulfate resisting cement*) digunakan untuk struktur dimana beton mengalami kontak langsung dengan tanah dan air tanah yang mengandung sulfat dalam jumlah yang besar. Contoh penggunaannya antara lain pada pipa bawah tanah, dan pondasi.

Komposisi kimia yang dimiliki untuk masing-masing tipe semen portland ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 2.5. Komposisi Senyawa Berdasarkan Tipe Semen

Tipe Semen Portland		Persen Berat			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Tipe I	<i>ordinary</i>	50-55	15-20	5-12	6-8
Tipe II	<i>modified</i>	50-55	15-20	5-7	6-12
Tipe III	<i>high early strength</i>	50-60	10-15	8-12	6-10
Tipe V	<i>sulfate resisting</i>	40-50	25-35	0-4	10-15

(Sumber: P.K. Metha dan Paulo J.M. Monteiro, *Concrete Microstructure, Properties, and Materials 3th edition*, 2006)

2.3.2 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran beton. Agregat menempati sekitar 70 sampai 80%

dari total volume beton. Berdasarkan pada hal tersebut, agregat sangat berpengaruh terhadap karakteristik dan sifat dari beton, sehingga pemilihan agregat yang baik menjadi sangat penting dalam pembuatan beton. Salah satu peran agregat adalah memberikan kestabilan volume pada beton dan ketahanan terhadap aus dimana pada dasarnya pasta semen akan mengalami penghancuran sendiri dalam kondisi kering. Selain itu, karena agregat relatif lebih murah dari semen portland.

2.3.2.1 Jenis-Jenis Agregat

Jenis-jenis dapat diklasifikasikan berdasarkan pada beberapa hal, antara lain berdasarkan asal diperolehnya, berat isi agregat, berdasarkan ukuran butirannya, dan berdasarkan bentuk butirannya.

a. Berdasarkan asal diperolehnya

Berdasarkan asal diperolehnya, agregat dibedakan menjadi agregat alam dan agregat buatan.

- Agregat alam

Agregat alam adalah agregat yang bahan baku berasal dari batuan alam, baik langsung ataupun melalui proses penghancuran. Contoh dari agregat alam ini adalah kerikil, pasir alam, agregat batu pecah, dan agregat batu apung.

- Agregat buatan

Agregat buatan adalah agregat yang dibuat untuk kebutuhan yang khusus. Umumnya agregat buatan dibuat karena kekurangan dari agregat alam.

b. Berdasarkan berat isi

Berdasarkan berat isi, agregat dibedakan menjadi agregat berat (*heavyweight aggregates*), agregat normal (*normal aggregates*), dan agregat ringan (*lightweight aggregates*).

- Agregat berat

Agregat berat memiliki berat isi lebih besar dari 2400 kg/m^3 . Agregat ini sering digunakan untuk konstruksi reaktor. Beberapa contoh agregat berat dan propertinya dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2.6. Properti Dari Beberapa Agregat Berat

Agregat	Komposisi Kimia	Berat Jenis	Berat Isi (kg/m ³)
<i>Limonote</i>	Fe ₂ O ₃ tak murni	3,4-4	2100-2400
<i>Barytes</i>	BaSO ₄	4-4,6	2300-2550
<i>Illmenite</i>	FeTiO ₃	4,3-4,8	2550-2700
<i>Magnetite</i>	Fe ₂ O ₄	4,2-5,2	2400-3050
<i>Hematite</i>	Fe ₂ O ₃	4,9-5,3	2900-3200
<i>Ferro Phosphorus</i>	Fe ₂ O ₃ .P ₂ O ₃	5,8-6,8	3200-4150
<i>Steel</i>	Fe	7,8	3700-4650

(Sumber: MS. Shetty, *Concrete Technology*, 2005)

- Agregat normal

Agregat normal adalah agregat dengan berat isi antara 1800 sampai 2400 kg/m³. Agregat jenis ini adalah yang secara umum sering digunakan untuk keperluan konstruksi, seperti bangunan gedung, jalan, jembatan dan lain sebagainya. Contoh dari agregat normal adalah batuan beku dan batuan endapan dengan berat jenis antara 2,6 sampai 2,7.

- Agregat ringan

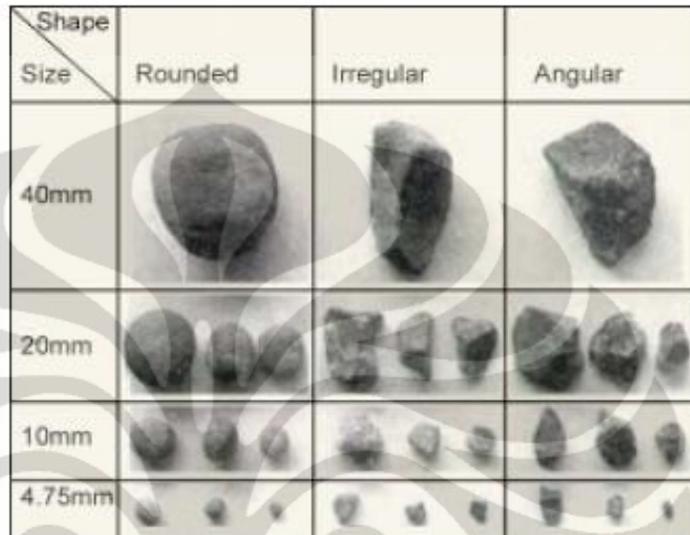
Agregat ringan dapat berasal dari alam, namun sebagian besar merupakan agregat buatan. Agregat ringan memiliki berat isi antara 300 sampai 1800 kg/m³, contohnya adalah batu apung dan lempung berkali. Penggunaan agregat ringan ini antara lain sebagai bahan pembentuk beton ringan, dan bata ringan. Salah satu karekteristik dari beton ringan adalah tingkat porositas internalnya yang tinggi.

c. Berdasarkan besar butiran

Berdasarkan ukurannya, agregat dapat diklasifikasikan atas 2 jenis, yaitu agregat kasar (seperti gravel, batu pecah, *biast fumace slag*), dan agregat halus (pasir alam, buatan (*slag*)). Agregat berukuran lebih dari 4,75 mm diklasifikasikan sebagai agregat kasar, sedangkan agregat yang berukuran 4,75 mm atau lebih kecil diklasifikasikan sebagai agregat halus.

d. Berdasarkan bentuk butiran

Berdasarkan bentuk butirannya agregat dibedakan menjadi tiga, yaitu *angular*, *rounded*, dan *irregular*.



Gambar 2.10. Bentuk Agregat

Sumber: Edward G. Nawy, *Concrete Construction Engineering Handbook 2th edition*, (2008)

- *Rounded*

Agregat ini berbentuk bulat halus dan bentuk aslinya hampir tidak terlihat. Agregat dengan bentuk ini umumnya memiliki kekuatan yang tinggi. Namun, karena permukaannya yang halus ikatan antara agregat dengan pasta semen dalam campuran beton menjadi kurang.

- *Irregular*

Bentuk *irregular* ini meliputi bentuk pipih, memanjang, dan pipih memanjang. Agregat bentuk ini tidak terlalu baik untuk digunakan dalam campuran beton karena sulit untuk dipadatkan.

- *Angular*

Agregat bentuk ini adalah agregat yang sangat baik untuk campuran beton. Hal ini karena bentuk agregat ini memiliki efek *interlocking* yang baik dalam beton.

2.3.2.2 Karakteristik Agregat

Karakteristik agregat meliputi berat isi, berat jenis, kadar air agregat, dan gradasi agregat.

a. Berat Isi

Berat isi (*bulk density*) adalah berat satuan agregat dalam satu satuan volume. Secara formulasi, berat isi merupakan rasio antara massa agregat terhadap volume total yang ditempati agregat tersebut seperti yang dituliskan dalam persamaan berikut:

$$B = \frac{W}{V}$$

dimana : B = berat isi (kg/dm³)

W = berat benda uji (kg)

V = volume benda uji (dm³)

Volume total benda uji yang dimaksudkan meliputi juga ruang udara yang terbentuk antar butiran agregat. Dengan demikian besarnya rongga udara berpengaruh pada besarnya nilai berat isi. Besarnya rongga udara sendiri dipengaruhi oleh gradasi agregat, bentuk partikel agregat, tingkat kerapatan dan pemadatan agregat.

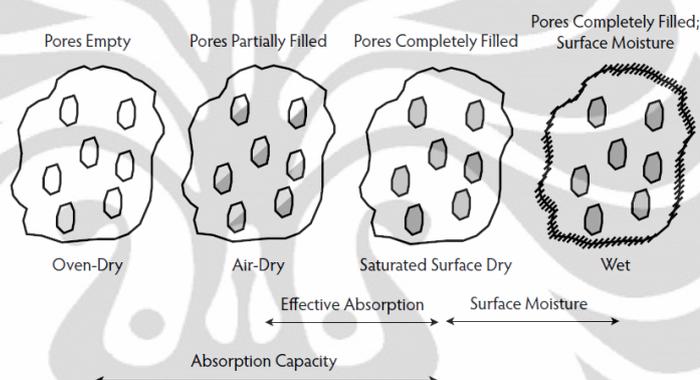
b. Berat Jenis

Berat jenis (*specific gravity*) merupakan perbandingan antara berat massa dalam udara dengan volume dan temperatur tertentu terhadap berat air suling dalam udara dengan volume yang sama besar. Terdapat tiga macam berat jenis, yaitu berat jenis curah (*bulk specific gravity*), berat jenis kondisi jenuh kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*).

Berat jenis curah (*bulk specific gravity*) merupakan perbandingan antara berat jenis agregat kering dengan air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) merupakan perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) merupakan perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

c. Kadar Air Agregat

Agregat dapat menahan air dalam dua cara, yaitu diserap dalam porositas agregat dan ditahan pada permukaan agregat sebagai lapisan kelembaban. Dengan demikian, tergantung pada kelembaban udara, kondisi cuaca, dan lokasi persediaan agregat, partikel agregat dapat memiliki kadar air yang beragam. Untuk keperluan campuran perlu diketahui seberapa banyak air campuran yang dapat terserap oleh agregat dan seberapa banyak air dalam agregat yang ikut berkontribusi dalam campuran. Gambar berikut mengilustrasikan empat kondisi kadar air yang berbeda.



Gambar 2.11. Kondisi Kadar Air Agregat

(Sumber: Edward G. Nawy, *Concrete Construction Engineering Handbook 2th edition*, 2008)

- Kering oven (*oven dry*/OD): kadar air dihilangkan dengan memanaskan agregat dalam oven pada 105 ° C sampai berat yang konstan.
- *Air-dry* (AD): tidak ada kelembaban pada permukaan, tetapi pori-pori sebagian penuh.
- Jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*/SSD): semua pori-pori yang penuh, namun permukaan benar-benar kering.
- Jenuh (*wet*): semua pori-pori yang penuh, dan terdapat lapisan air pada permukaan.

Dari keempat kondisi tersebut, hanya dua kondisi, yaitu *oven dry* (OD) dan SSD, yang paling menggambarkan kondisi kadar air. Untuk mengetahui berapa banyak air yang ditambahkan atau diambil oleh agregat dalam air

campuran, terdapat tiga hal yang harus diketahui, yaitu kapasitas absorpsi, absorpsi efektif, dan *surface moisture*.

- Kapasitas absorpsi menunjukkan jumlah air maksimal yang dapat diserap oleh agregat yang dituliskan dalam persamaan berikut:

$$AC = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100\%$$

dimana W menunjukkan berat. Umumnya besarnya kapasitas absorpsi agregat adalah 0,5 sampai 2%. Kapasitas absorpsi agregat yang melebihi 2% mengindikasikan bahwa agregat kemungkinan dapat menyebabkan masalah pada durabilitas.

- Absorpsi efektif menunjukkan air yang diperlukan agregat dari kondisi air-dry (AD) ke kondisi jenuh kering permukaan (AD):

$$EA = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{AD}} \times 100\%$$

Untuk menghitung berat air yang diserap oleh agregat (W_{abs}) dalam campuran beton, dituliskan dalam persamaan:

$$W_{abs} = (EA) \times W_{agg}$$

- *Surface moisture* menunjukkan air yang ditahan oleh permukaan agregat:

$$SM = \frac{W_{wet} - W_{SSD}}{W_{SSD}} \times 100\%$$

Untuk menghitung air yang ditambahkan oleh agregat dalam campuran beton dituliskan dalam persamaan:

$$W_{add} = (SM) \times W_{agg}$$

d. Gradasi Butiran

Gradasi merupakan distribusi ukuran butiran agregat. Gradasi agregat ini adalah salah satu faktor utama dalam *workability* campuran beton karena gradasi agregat berpengaruh pada kemampuan agregat kecil berukuran kecil dalam mengisi rongga-rongga pada agregat yang lebih besar. Gradasi yang terlalu seragam akan mengurangi sifat *workability* dari campuran beton.

Sifat *workability* campuran beton ini akan mempengaruhi nilai faktor air semen (w/c) dimana faktor air semen ini berpengaruh pada sifat-sifat beton keras, yaitu kuat tekan dan durabilitas. Untuk menghasilkan beton yang

baik, rongga-rongga antara butiran agregat kasar harus terisi oleh agregat halus. Dengan demikian agregat kasar dan agregat halus harus dikombinasikan secara baik, sehingga dihasilkan gradasi agregat yang baik. Distribusi gradasi agregat diperoleh dengan analisa saringan menurut ASTM C 136-04 (*Standards Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Agregat*).

2.3.3 Air

Air merupakan bahan yang penting pada campuran beton karena diperlukan untuk proses hidrasi pada semen. Selain itu, air juga dipergunakan untuk proses *curing* beton. Air bersama dengan semen akan membentuk pasta semen yang berperan sebagai pengikat agregat dalam campuran beton. Karena air berperan dalam pembentukan kekuatan yang diberikan oleh pasta semen, maka kuantitas dan kualitas air yang diperlukan dalam campuran harus dipertimbangkan.

Jumlah air yang terlalu banyak dalam campuran beton akan menyebabkan penurunan nilai kekuatan dari beton dan beton akan menjadi porous. Kelebihan air ini juga akan mengakibatkan air bersama-sama dengan semen muncul ke permukaan campuran beton (*bleeding*) dan membentuk buih tipis berwarna putih yang akan menutupi permukaan beton yang disebut dengan *laitance*. Sedangkan jumlah air yang terlalu sedikit akan menyebabkan menurunnya sifat *workability* dari campuran beton.

Air yang baik untuk campuran beton adalah air yang memenuhi persyaratan air minum. Persyaratan-persyaratan lainnya antara lain:

- Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
- Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gram/liter.
- Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.3.4 Bahan Tambahan Beton

2.3.4.1 Superplasticizer

Superplasticizer merupakan bahan tambahan kimia cair yang ditambahkan dalam air dan dicampurkan dalam campuran beton. *Superplasticizer* ini akan mempengaruhi kinerja beton antara lain:

- Memperbaiki *workability* campuran beton
- Mengurangi kuantitas air pada *workability* yang sama (25-30%)

Dalam campuran beton *superplasticizer* akan menurunkan tegangan permukaan air dan menghalangi masuknya udara. Campuran suspensi air dan semen mempunyai bentuk polimer yang tidak beraturan. Hal ini menyebabkan air terjebak antara kumpulan partikel semen. Akibat air yang terjebak itu, sifat *flowability* dan *workability* dari campuran beton akan berkurang dan juga akan menghasilkan rongga-rongga udara yang akan mengurangi kekuatan beton. Dengan penambahan *superplasticizer*, maka *superplasticizer* akan terserap oleh partikel-partikel semen dan akan mendispersi partikel-partikel semen menjadi lebih kecil, lebih tersebar dan tidak menggumpal sehingga mampu membebaskan air yang terperangkap. Proses tersebut akan meningkatkan konsistensi pasta semen. *Superplasticizer* akan aktif selama beberapa waktu dan pengaruhnya akan semakin berkurang hingga akhirnya habis. Setelah pengaruh dari *superplasticizer* habis, maka pasta semen akan menjadi lebih kaku.

Terdapat dua mekanisme penyebaran partikel-partikel semen akibat pengaruh *superplasticizer*. Mekanisme pertama adalah gaya tolak menolak elektrostatik (*electrostatic repulsion*). Sedangkan mekanisme kedua adalah proses pencegahan bentuk (*steric hindrance*).

Berdasarkan kandungan kimiawinya, *superplasticizer* dapat dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu tipe A (*sulphonate melamine formaldehyde condensates*), tipe B (*sulphonated naphthalene formaldehyde condensates*), dan tipe C (*modified lignosulphonates*).

Jumlah *superplasticizer* yang ditambahkan dalam campuran beton harus diperhatikan. Pemberian *superplasticizer* yang berlebihan selain tidak ekonomis juga akan dapat menyebabkan penundaan *setting time* yang lama hingga beton akan mengalami kehilangan kekuatan akhir. Pemakaian dosis yang tinggi pada

superplasticizer tipe A dan B ($\geq 1,5\%$) akan menyebabkan mortar sulit mengeras dan kehilangan kekuatannya, sedangkan untuk tipe C hanya berpengaruh berpengaruh pada kekuatan awal dan tidak berpengaruh terhadap kekuatan akhir.

Terdapat beberapa kelemahan dari *superplasticizer* yang dicampurkan dalam campuran beton. Kelemahan tersebut antara lain adalah adanya resiko terjadinya segregasi (pemisahan) dan keluarnya air pada beton (*bledding*) jika mix design tidak dikontrol secara baik.

2.4 SERANGAN SULFAT PADA BETON

2.4.1 Umum

Ketika struktur beton berada dalam tanah, air tanah, lingkungan laut, dan kawasan industri, maka beton akan sangat rentan terhadap serangan sulfat. Karena lingkungan tersebut mengandung garam sulfat dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Serangan sulfat ini akan mengakibatkan beton kehilangan kekuatannya, mengembang, kehilangan massa, dan pada akhirnya terjadi disintegrasi antara material-material penyusunnya (Batty, Javed I., dan Peter C. Taylor, 2006).

Degradasi pada beton ini merupakan hasil dari reaksi kimia antara semen portland terhidrasi dengan ion sulfat dari lingkungan luar. Sulfat ini akan menyebabkan konversi produk hidrasi semen menjadi ettringite, gypsum, ataupun fase lainnya, dan juga menyebabkan distabilisasi dari kekuatan beton yang disumbangkan *calcium silicate hydrate* (Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, Jan Olek, 2001). Selain terjadi akibat lingkungan luar, serangan sulfat juga dapat terjadi akibat material penyusun beton itu sendiri, seperti air pencampur yang mengandung sulfat, material mentah pembentuk semen, mineral dalam agregat, ataupun dari bahan tambahan (*admixtures*).

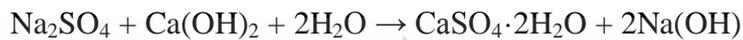
2.4.2 Mekanisme Serangan Sulfat

Mekanisme serangan sulfat yang sering dibahas adalah reaksi antara produk hidrasi padat dalam pasta semen, seperti *calcium hidroxide* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), dan *calcium aluminate hydrate* ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$), dengan garam sulfat yang terlarut seperti sodium sulfat (Na_2SO_4), magnesium sulfat (MgSO_4), dan calcium

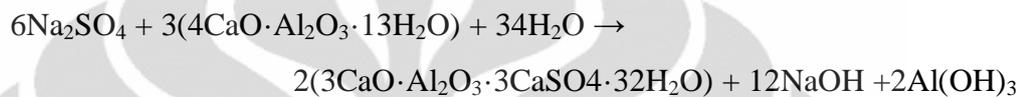
sulfate (CaSO_4). Reaksi ketiganya dengan pasta semen padat adalah sebagai berikut:

a. Natrium sulfat (Na_2SO_4)

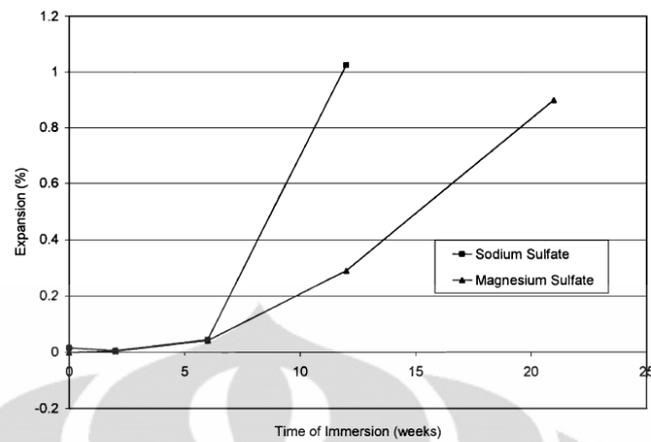
Natrium sulfat akan bereaksi dengan *calcium hidroxide* untuk membentuk *gypsum* dan $\text{Na}(\text{OH})$:



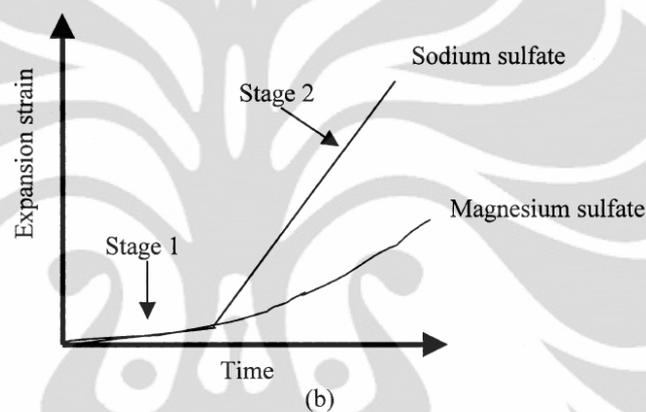
Natrium sulfat juga akan bereaksi dengan *calcium aluminate hydrate* dan membentuk *ettringite*:



Dalam penelitian yang dilakukan Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, dan Jan Olek, pada mortar semen portland yang direndam dalam natrium sulfat didapatkan bahwa terdapat dua tahapan ekspansi sampel mortar dalam natrium sulfat dimana terjadi tahapan awal (*initial stage*) dengan tingkat ekspansi yang rendah yang diikuti oleh ekspansi yang tiba-tiba meningkat secara drastis (*second stage*) akibat meningkatnya jumlah *gypsum* dan *ettringite* lebih dari yang dapat diakomodir oleh struktur mortar. Pada tahapan kedua ini laju ekspansi berjalan relatif konstan hingga terjadi keruntuhan.



(a)



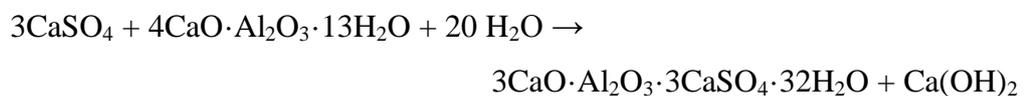
(b)

Gambar 2.12. Grafik Perilaku Ekspansi Dari Mortar Semen Portland dalam Larutan Sodium dan Magnesium Sulfat

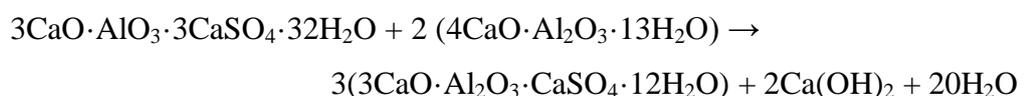
(Sumber: Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, dan Jan Olek, *Mechanism Of Sulfate Attack: A Fresh Look Part 1: Summary Of Experimental Results*, 2001)

b. Kalsium Sulfat (CaSO_4)

Dalam kondisi jenuh, kalsium sulfat bereaksi dengan *calcium aluminate hydrate* untuk membentuk *ettringite*:

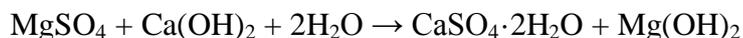


Ketika kalsium sulfat tidak cukup banyak untuk membentuk *ettringite*, maka *calcium aluminate hydrate* akan bereaksi dengan *ettringite* yang telah terbentuk sebelumnya dan menghasilkan *calcium aluminate monosulfate*:

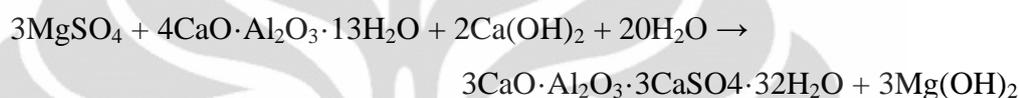


c. Magnesium sulfat (MgSO_4)

Magnesium sulfat menyerang *calcium silicate hydrate* dan *calcium hydrate* untuk membentuk gypsum:



Magnesium sulfat juga bereaksi dengan *calcium aluminate hydrate* untuk membentuk *ettringite*:



Dalam reaksi antara magnesium sulfat dengan hasil hidrasi semen akan terbentuk *brucite* ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). *Brucite* ini menciptakan suatu lapisan penghalang pada daerah yang dekat dengan permukaan beton yang menghambat difusi sulfat ke dalam beton (Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, dan Jan Olek, 2001). Kemudian sulfat secara perlahan akan berdifusi ke dalam lapisan *brucite* hingga *brucite* retak. Setelah *brucite* retak, maka agresi sulfat ke dalam beton akan berlangsung secara cepat. Pada Gambar 2.12 diperlihatkan bahwa ekspansi mortar dalam magnesium sulfat terjadi dengan kecepatan yang relatif konstan yang menggambarkan difusi sulfat melalui lapisan *brucite*.

Produk dari reaksi ini, yaitu *gypsum* dan *ettringite* akan menyebabkan pengembangan volume dari beton sehingga mengakibatkan keretakan pada beton. Secara umum terdapat 3 faktor yang mempengaruhi tingkat kecepatan serangan sulfat pada beton (Dr. Ir. FX. Supartono, 1999), yaitu:

- Jenis dan konsentrasi sulfat yang terdapat dilingkungannya. Garam sulfat yang memiliki tingkat kelarutan yang tinggi, seperti magnesium, amonium, sodium dan potassium akan bereaksi lebih cepat dari pada kalsium sulfat (*gypsum*). Selain itu, semakin tinggi konsentrasi sulfat pada garam sulfat, maka kecepatan agresi akan semakin cepat.

- Tekanan dan kecepatan aliran air yang mengandung sulfat, untuk beton yang berada di lingkungan air laut atau muka air tanah yang tinggi.
- Mutu dan permeabilitas beton, yang umumnya ditentukan oleh tipe dan proporsi semen yang digunakan dalam campuran beton.

2.4.3 Interaksi Sulfat dan Klorida dalam Air Laut

Seperti yang diketahui bahwa air laut lebih banyak terkandung ion klorida daripada ion sulfat. Untuk itu perlu diketahui bagaimana andil dari kedua ion ini dan interaksi antara keduanya terhadap kerusakan struktur beton. Banyak penelitian dilakukan dan disimpulkan bahwa andil dari ion klorida lebih kepada perusakan pada tulangan struktur beton. Menurut Jin Zuquan, Sun Wei, Zhang Yunsheng, Jiang Jinyang, dan Lai Jianzhong (2007), umumnya kemampuan difusi dari ion klorida ke dalam beton sangatlah lambat bila bagian bagian luar dari beton tidak mengalami kerusakan. Dalam hal ini, ion sulfat yang akan menyebabkan kerusakan pada bagian luar struktur beton. Bila beton telah rusak, maka klorida akan dengan cepat masuk ke dalam beton dan menyerang tulangan beton. Dalam eksperimental yang mereka lakukan, didapatkan juga bahwa beton yang direndam dalam kombinasi sulfat dan klorida dalam siklus perendaman dan pengeringan dibandingkan dengan beton yang hanya direndam dalam larutan magnesium sulfat, beton tidak sampai mencapai fase keruntuhan. Dengan demikian mereka menyimpulkan bahwa kehadiran klorida dapat menghambat kerusakan akibat sulfat.

2.4.4 Pengaruh Perilaku Pasang Surut Air Laut

Kondisi pasang surut air laut dapat memperbesar efek dari serangan sulfat. Kondisi pasang surut tersebut dapat menyebabkan *supersaturation* dan kristalisasi garam dalam beton. Saat kondisi pasang, air dan garam yang terlarut akan masuk melalui pori beton (*supersaturation*) dan saat kondisi surut air akan menguap dan menyebabkan garam sulfat tetap berada dalam beton (kristalisasi). Kristalisasi garam ini akan menciptakan tekanan yang besar dalam beton dan menyebabkan pengembangan dan keretakan. Keretakan ini akan menyebabkan garam sulfat lebih mudah masuk ke dalam beton yang mengakibatkan serangan sulfat menjadi

lebih besar. Namun, hal tersebut tergantung pada kombinasi antara tingkat evaporasi dan tingkat masuknya solusi garam dalam lingkungannya (P.K. Metha dan Paulo J.M. Monteiro, 2006). Apabila tingkat evaporasi lebih kecil dari tingkat masuknya air dalam lingkungan, maka kristalisasi garam terjadi pada permukaan luar, tanpa menyebabkan kerusakan yang signifikan. Sebaliknya jika tingkat evaporasinya lebih besar, kristalisasi akan terjadi pada bagian dalam beton dan menyebabkan kerusakan yang lebih besar.

2.4.5 Pencegahan Terhadap Serangan Sulfat

Calcium hidroxide (Ca(OH)_2) dan *calcium aluminate hidrate* ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$) yang bereaksi dengan sulfat merupakan produk hidrasi pada semen yang kandungannya cukup besar dalam semen yang terhidrasi tersebut. *Calcium hidroxide* terbentuk dari hasil hidrasi C_3S dan C_2S , dan *calcium aluminate hydrate* adalah produk dari hidrasi C_3A . Oleh karena itu, untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap serangan sulfat, dilakukan pendekatan-pendekatan untuk meminimalisir terbentuknya *calcium hidroxide* dan *calcium aluminate hydrate*.

Terdapat tiga pendekatan untuk mitigasi serangan sulfat (Dr. Ir. FX. Supartono, 1999). Pertama adalah dengan mengurangi jumlah air (w/c yang relatif rendah) untuk meningkatkan mutu beton dan menambah kedekatan terhadap air. Dengan demikian akan mengurangi terbentuknya *calcium aluminate hydrate* dalam beton yang telah mengeras. Kedua adalah dengan menggunakan semen dengan kandungan C_3A yang rendah. Dengan demikian terbentuknya *calcium aluminate hydrate* juga akan berkurang. Ketiga adalah dengan menambahkan mineral aditif ke dalam campuran beton.

2.5 SIFAT DAN KARAKTERISTIK BETON

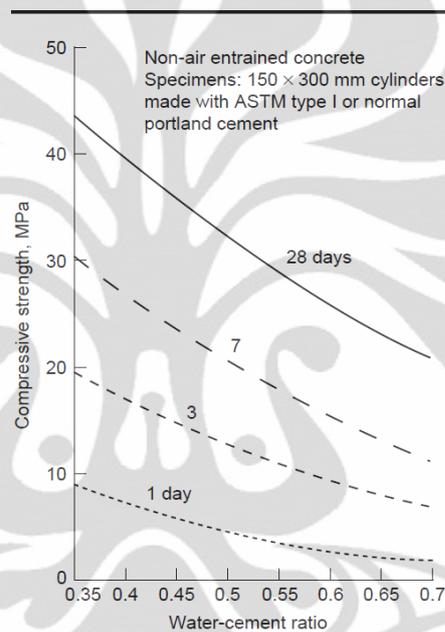
2.5.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting pada beton. Hal ini berkaitan dengan fungsi utama beton sebagai pemikul beban tekan. Secara umum, kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh beberapa dua faktor utama, yaitu karakteristik dan proporsi material campuran beton dan kondisi perawatan (*curing*).

a. Karakteristik dan Proporsi Material

- Rasio air semen (w/c)

Rasio air semen berpengaruh pada porositas pasta semen pada proses hidrasi, sehingga w/c sangat berpengaruh pada volume rongga udara pada beton. Semakin rendah w/c maka porositas beton akan menjadi semakin kecil, sehingga beton yang terbentuk akan semakin padat dan kuat tekan dan kinerja dari beton akan semakin tinggi.



Gambar 2.13. Grafik Pengaruh Rasio Air semen Terhadap Kuat Tekan

(Sumber: P.K. Metha dan Paulo J.M. Monteiro, *Concrete Microstructure, Properties, and Materials 3th edition*, 2006)

- Rongga udara

Rongga udara pada beton sebagian besar dihasilkan dari proses penguapan dari kelebihan air dalam proses hidrasi. Rongga udara ini akan menyebabkan beton menjadi porous dan akan menurunkan kekuatan dari beton.

- Kualitas agregat

Karakteristik dari agregat yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton, antara lain bentuk dan ukuran butiran, tekstur, modulus kehalusan, bersih

dari bahan organik yang dapat mengurangi kekuatan beton, tingkat porositas dan gradasi.

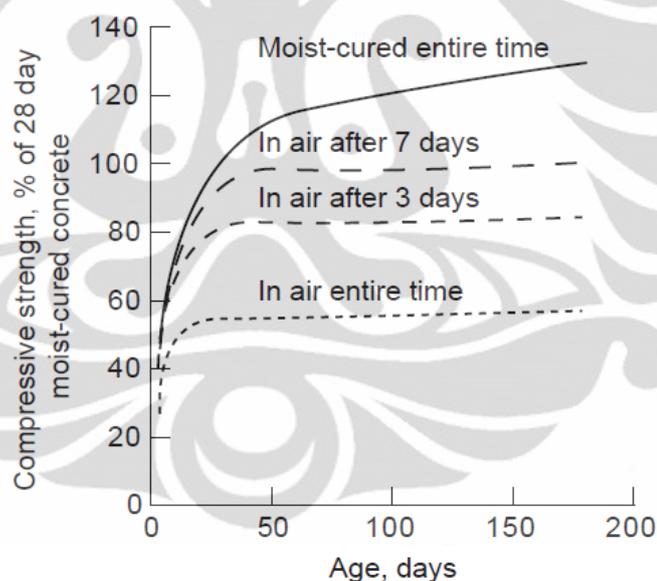
- *Admixture*

Bahan tambahan seperti *silica fume*, dan *fly ash* umumnya ditambahkan ke dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan beton. Namun, bahan yang ditambahkan dalam campuran beton tersebut harus dalam jumlah yang tepat.

b. Kondisi Perawatan (Curing)

- Umur

Kuat tekan beton akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton akan mencapai 100% bila telah mencapai umur 28 hari.



Gambar 2.14. Grafik Pengaruh Kondisi Perawatan Terhadap Kuat Tekan

(Sumber: P.K. Metha dan Paulo J.M. Monteiro, *Concrete Microstructure, Properties, and Materials 3th edition*, 2006)

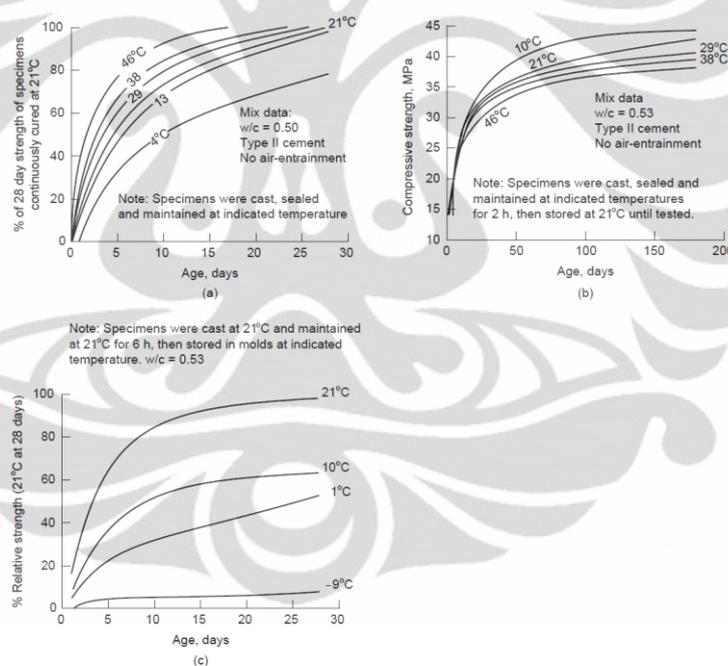
- Kelembapan

Pengaruh kelembapan perawatan terhadap kekuatan beton dapat dilihat pada Gambar 2.14 yang menunjukkan bahwa setelah 180 hari dengan rasio air semen yang sama, kuat tekan beton yang dirawat dengan kondisi

kelembaban yang tinggi (*moist-cured*) tiga kali lebih besar dibandingkan dengan beton yang dirawat pada kondisi udara.

- Temperatur

Pengaruh temperatur terhadap kekuatan beton tergantung pada *time-temperature history* saat pengecoran dan perawatan. Grafik dibawah ini menunjukkan pengaruh temperatur terhadap kekuatan beton dalam tiga kondisi, yaitu beton dengan temperatur pengecoran dan perawatan yang sama (a), beton dengan temperatur pengecoran yang berbeda namun dengan perawatan dengan temperatur normal (b), dan beton dengan temperatur pengecoran yang normal namun dirawat dalam temperatur yang berbeda.



Gambar 2.15. Pengaruh Temperatur Saat Pengecoran Dan Perawatan Terhadap Kuat Tekan

(Sumber: P.K. Metha dan Paulo J.M. Monteiro, *Concrete Microstructure, Properties, and Materials 3th edition*, 2006)

Gambar 2.15. (a) menunjukkan bahwa pada rentang temperatur 4-46°C, ketika beton dicor dan dirawat pada temperatur tertentu yang konstan, semakin tinggi temperaturnya, maka akan semakin cepat proses hidrasi

semen yang terjadi yang mengakibatkan perkembangan kekuatan beton menjadi semakin cepat. Dari gambar tersebut, dapat dilihat pula bahwa beton yang dicor dan dirawat pada temperatur 4°C pada umur 28 hari hanya mencapai kekuatan sebesar 80% dari yang dicapai oleh beton yang dicor dan dirawat pada temperatur 21-46°C.

Dalam gambar 2.15. (b) temperatur pengecoran bervariasi antara 10-46°C, setelahnya beton dirawat dalam temperatur yang sama yaitu 21°C. Grafik menunjukkan bahwa kekuatan utama, pada usia beton 180 hari, beton dengan temperatur pengecoran 10°C lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton dengan temperatur pengecoran 21, 29, 38 atau 46°C. Berdasarkan hasil penelitian dalam skala mikroskopis oleh para peneliti disimpulkan bahwa temperatur pengecoran yang kecil relatif menghasilkan *mikrostructure* pasta semen terhidrasi yang lebih seragam, khususnya untuk distribusi ukuran pori, yang akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi.

Gambar 2.15. (c) campuran beton dicor dalam temperatur 21°C, kemudian dirawat dalam temperatur yang beragam dari -9 sampai 21°C. Secara umum, semakin rendah temperatur perawatan, maka akan semakin rendah kekuatan yang dihasilkan beton pada 28 hari. Hal ini dikarenakan pada temperatur perawatan yang rendah, reaksi hidrasi dari semen portland akan berlangsung lambat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur perawatan harus sesuai, sehingga menyediakan energi aktivasi untuk reaksi hidrasi semen yang cukup.

Dalam pengujian kuat tekan, kekuatan tekan benda uji beton dihitung dengan rumus:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

dimana : f_c' = kuat tekan beton (kg/cm²)

P = beban tekan (kg)

A = luas permukaan benda uji (cm²)

2.5.2 Kuat Tarik Beton

Kekuatan tarik beton berhubungan dengan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik. Beton memiliki kekuatan tarik yang sangat kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya yaitu 10-15% dari kuat tekannya. Pengujian ketahanan tarik beton dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu pengujian tarik langsung, dan pengujian tarik belah dengan menggunakan *split cylinder test*.

Kuat tarik dari benda uji diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{2P}{\pi d}$$

dimana : T = kuat tarik beton (kPa)

P = beban tarik maksimum (kN)

l = panjang/tinggi benda uji (m)

d = diameter (m)

ACI 318M-05 memberikan hubungan antara kuat tekan dengan dengan kuat tarik belah yang dituliskan dalam persamaan:

$$\text{kuat tarik belah} = 0,556\sqrt{f_c'}$$

dimana f_c' merupakan karakteristik kuat tekan beton dalam N/mm^2 (MPa).

2.5.3 Kuat Lentur Beton

Kekuatan lentur merupakan kuat tarik tak langsung dalam keadaan lentur akibat momen (*modulus of rupture*). Dari pengujian lentur akan dapat diketahui pola retak dan lendutan yang terjadi pada balok yang memikul beban lentur. Kuat lentur juga dapat menunjukkan tingkat daktilitas beton.

Berdasarkan dari penelitian, kuat lentur yang dimiliki beton sebesar 8% hingga 11% dari kuat tekan beton untuk beton dengan kuat tekan lebih besar dari 25 MPa dan 9% hingga 12,8% untuk beton dengan kuat tekan kurang dari 25 MPa. Tabel berikut menunjukkan presentase kuat lentur terhadap kuat tekan beton berdasarkan besarnya kuat tekan dan ukuran agregat maksimum.

Tabel 2.7. Presentase Kuat Lentur terhadap Kuat Tekan

Kuat Tekan MPa	Nilai Perbandingan Kuat Lentur Dengan Kuat Tekan (%)			
	Gravel Dengan Ukuran Maksimum		Batu Hancur Dengan Ukuran Maksimum	
	20 mm	40 mm	20 mm	40 mm
49	8,7	-	7,7	-
42	9	10,8	7,9	10,2
35	9,3	10,9	8,2	10,3
28	9,9	11,1	8,6	10,2
21	10,8	11,3	9,3	10,3
14	12,5	12	10,8	10,5
Rata-rata	10	11,2	8,8	10,3

(Sumber: MS. Shetty, *Concrete Technology*, 2005)

Pengujian kuat lentur pada beton umumnya digunakan benda uji berbentuk balok beton. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode *central point loading* dan *third point loading*.

ACI 318M-05 memberikan hubungan antara kuat tekan dengan dengan kuat lentur yang dituliskan dalam persamaan:

$$\text{kuat lentur} = 0,62\sqrt{f_c'}$$

dimana f_c' merupakan karakteristik kuat tekan beton dalam N/mm^2 (MPa).

2.5.4 Rongga Udara Dan Permeabilitas Beton

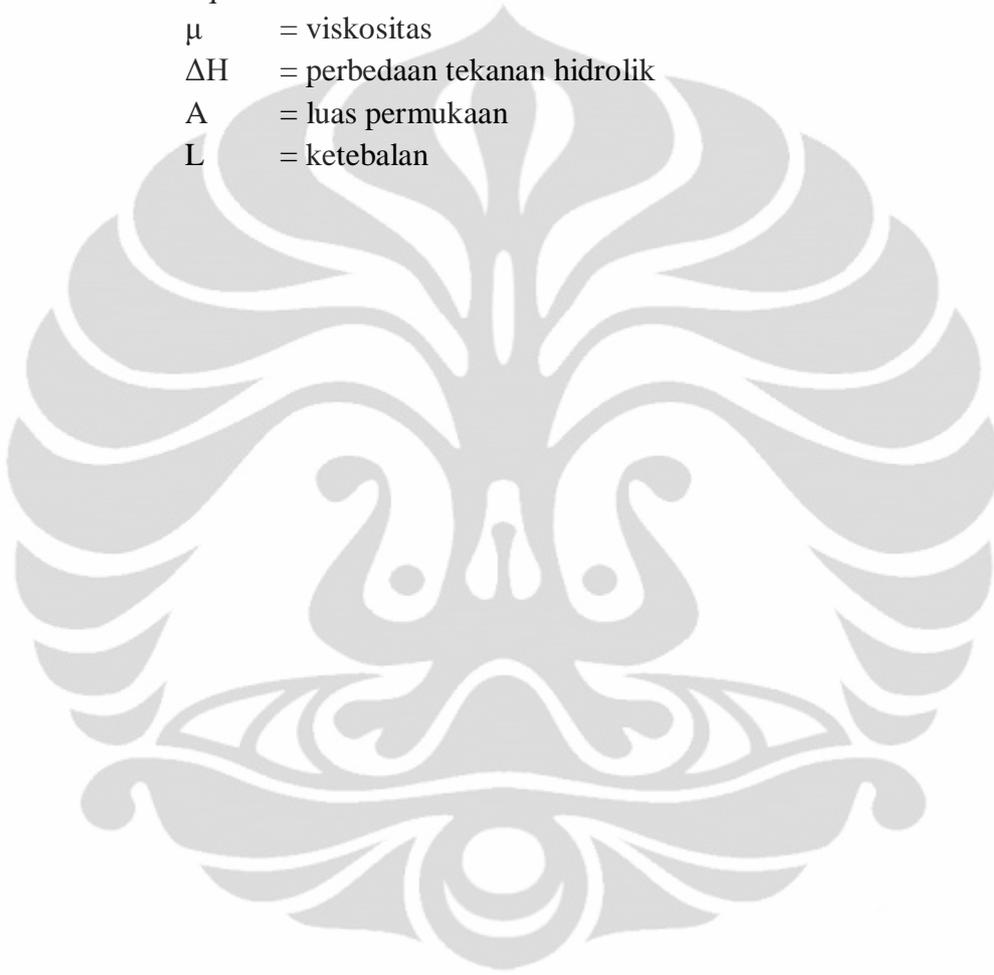
Rongga udara merupakan pori-pori yang terdapat dalam beton yang sebagian besar diakibatkan karena adanya proses penguapan dari kelebihan air dalam proses hidrasi semen. Sedangkan permeabilitas pada beton merupakan sifat kemudahan air atau zat sejenis lainnya untuk menembus permukaan beton. Salah satu faktor utama yang mempegaruhi sifat permeabilitas dari beton adalah perbandingan air semennya (w/c). Perbandingan air semen yang kecil akan menjadikan beton lebih kedap air atau tingkat permeabilitasnya kecil. Selain itu permeabilitas juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya, seperti pemadatan beton, porositas beton akibat adanya rongga udara, kapilaritas, viskositas dan tekanan dari cairan.

Ditinjau dari tingkat keawetan (durabilitas), sifat permeabilitas beton menjadi sangat penting karena dapat mengendalikan serangan kimia agresif dan

pergerakan air yang dapat merusak beton. Tingkat kemampuan beton dalam meloloskan air dinyatakan dalam koefisien permeabilitas k yang dituliskan dalam persamaan Darcy sebagai berikut:

$$\frac{dq}{dt} = k \frac{\Delta H A}{L \mu}$$

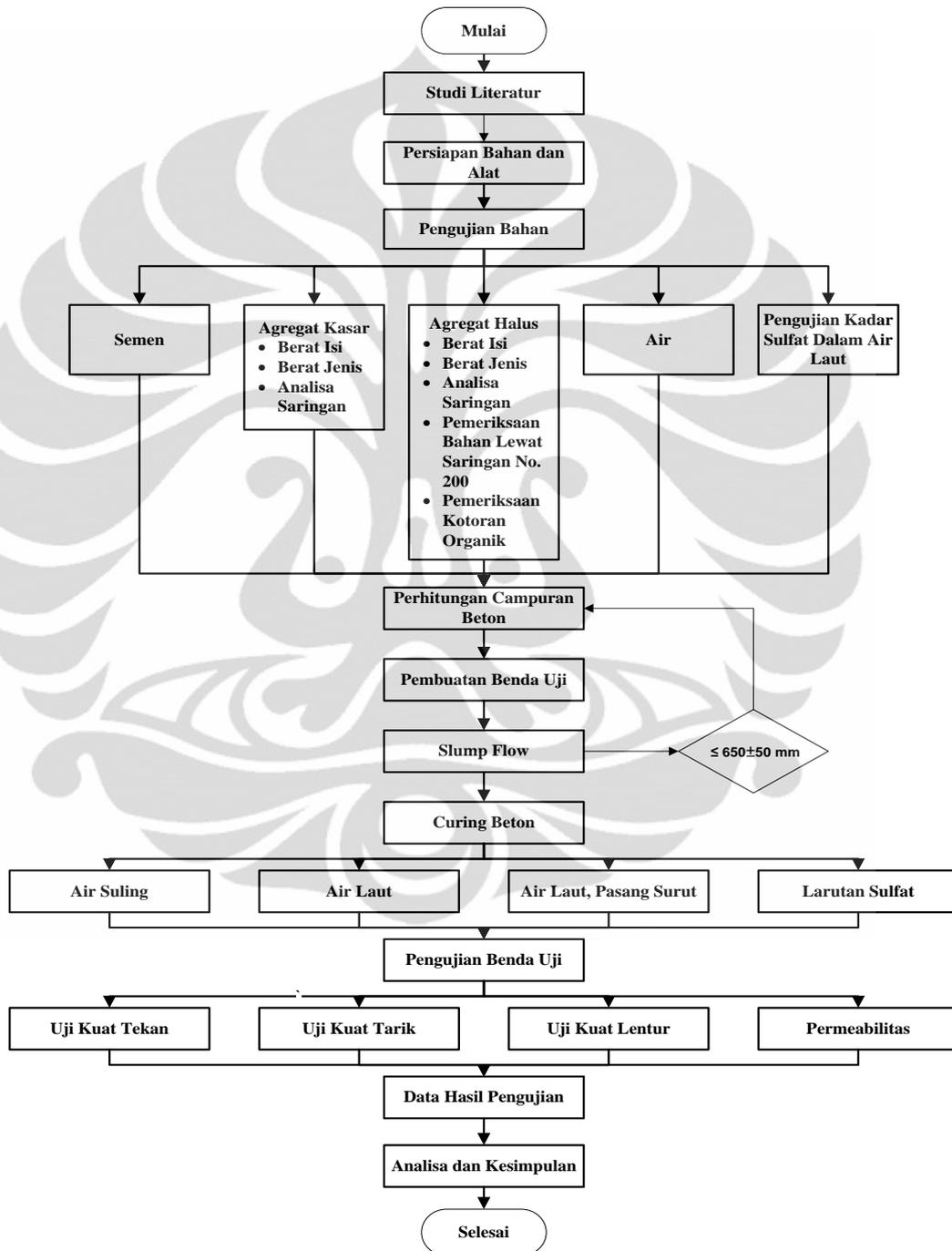
dimana: dq/dt = debit alir
 μ = viskositas
 ΔH = perbedaan tekanan hidrolik
 A = luas permukaan
 L = ketebalan



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 RENCANA PENELITIAN

3.1.1 Alur Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.1.2 Jenis Perendaman dan Pengujian

Setelah direndam dalam air suling selama 28 hari, benda uji akan direndam dalam empat kondisi, yaitu:

- dalam air suling;
- dalam air laut dimana air laut bersumber dari Pantai Ancol, Jakarta Utara yang kandungan kimianya terdapat dalam Lampiran A-4;
- dalam magnesium sulfat 5%; dan
- dalam magnesium sulfat dengan perendaman rendam angkat (*drying-immersion cycle*) dengan siklus 2 hari perendaman dan 2 hari pengeringan dalam suhu ruangan.

Sedangkan jenis pengujian yang dilakukan, meliputi pengujian:

- kuat tekan pada benda uji umur 28, 42, dan 56 hari,
- kuat tarik belah pada benda uji umur 28, 42, dan 56 hari,
- kuat tarik lentur pada benda uji umur 28, 42, dan 56 hari,
- permeabilitas pada benda uji umur 42.

3.1.3 Perencanaan Jumlah Benda Uji

Berdasarkan pengujian sampel, variasi metode perendaman dan umur pengujian, maka jumlah benda uji pada penelitian diperlihatkan pada matriks pengujian di bawah ini.

Tabel 3.1. Matriks Pengujian

Pengujian Metode Curing	Kuat Tekan			Kuat Tarik			Kuat Lentur			Permeabilitas
	Umur Benda Uji (hari)									
	28	42	56	28	42	56	28	42	56	42
Air PDAM	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3
Air Laut	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3
Larutan MgSO ₄ 5%	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3
Larutan MgSO ₄ 5% R-A	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3
Total	20	20	20	20	20	20	12	12	12	12

3.2 STANDAR PENGUJIAN

Dalam penelitian ini dilakukan pemeriksaan terhadap bahan-bahan pembentuk beton. Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM, EFNARC, dan DIN. Berikut ini adalah standar metode pengujian yang digunakan:

a. Standar Pengujian Material Penyusun Beton

- Agregat Halus
 - Pemeriksaan Berat Isi Agregat (ASTM C29/C 29M-97)
 - Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Halus (ASTM C 128-04a)
 - Analisa Saringan (ASTM C136-04)
 - Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200 (ASTM C117-04)
 - Pemeriksaan Kotoran Organik (ASTM C40-04)
- Agregat Kasar
 - Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar (ASTM C29 / C29M-97)
 - Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Kasar (ASTM C 127-04)
 - Analisa Saringan (ASTM C136-04)

b. Standar Pengujian Beton Segar

- Slump Flow (EFNARC)

c. Standar Pengujian Beton Keras

- Pengujian Kuat Tekan (ASTM C 39/C 39M – 04)
- Pengujian Kuat Tarik (ASTM C 496)
- Pengujian Kuat Lentur (ASTM C 78 – 02)
- Permeabilitas (DIN 1048)

3.3 PENGUJIAN MATERIAL PEMBENTUK CAMPURAN BETON

3.3.1 Pengujian Agregat Halus

3.3.1.1 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Pengujian ini dimaksudkan untuk untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat halus. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C29/C 29M-97.

a. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh
- Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
- Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat.
- Mistar perata (*straight edge*).
- Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, dengan kapasitas wadah sebagai berikut:

Tabel 3.2. Kapasitas Wadah

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	101,6

b. Benda uji:

agregat halus sebanyak kapasitas wadah yang telah dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ dalam waktu semalam

c. Prosedur

Berat isi lepas

- Timbang dan catat berat wadah (w_1)
- Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh
- Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
- Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
- Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

Berat Isi padat agregat dengan butir maksimum 38,1 mm (1 1/2") dengan cara Penusukan

- Timbang dan catat berat wadah (w_1)
- Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata.
- Ratakan permukaan benda uji dan catatlah berat wadah serta berat benda uji (w_2)
- Hitung berat uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38,1 mm (1 1/2") sampai 101,6 mm (4") dengan cara pengggoyangan

- Timbang dan catat berat wadah (w_1)
- Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
- Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut :
 - Letakkan wadah diatas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu isinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan
 - Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi
- Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
- Timbang dan catatlah berat wadah serta berat benda uji (w_2)
- Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

d. Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = B = \frac{W_3}{V} \text{ kg/dm}^3$$

Keterangan:

V = Isi Wadah (dm^3)

B = Berat Isi Agregat (kg/dm^3)

W_3 = Berat Isi Air (kg/dm^3)

3.3.1.2 Pengujian Berat Jenis Dan Absorpsi Agregat Halus

Pengujian ini dimaksudkan untuk mencari nilai bulk dan apparent specific gravity dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128-04a, guna menentukan volume agregat dalam beton.

a. Peralatan

- Neraca Timbangan dengan kepekaan 0,1 gram dan kapasitas maksimum 1 kg.
- Piknometer kapasitas 500 gram.
- Cetakan Kerucut Pasir.
- Tongkat Pematat (*tamper*) dari logam untuk cetakan kerucut pasir.
- Wadah penampung campuran pasir dan air ketika di oven.
- Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.

b. Bahan:

1000 gram (2 x 500 gram) agregat halus (pasir), diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.

c. Prosedur

- Agregat halus (pasir) dikeringkan [kering udara] ± 1 hari sampai diperoleh keadaan kering merata. Agregat halus disebut kering merata jika telah dapat tercurah (*Free Flowing Condition*).
- Pengujian *Free Flowing Condition* dilakukan dengan memasukkan sebagian benda uji pada metal *sand cone mold*. Kemudian benda uji dipadatkan dengan tongkat pematat 25 kali tumbukan. Kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) diperoleh jika ketika cetakan diangkat, agregat halus runtuh atau longsor.
- Timbang berat piknometer yang berisi air, catat.
- 500 gram agregat halus dalam kondisi SSD dimasukkan ke dalam piknometer, kemudian ditambahkan air sampai 90% kapasitas piknometer.
- Gelembung-gelembung udara dari benda uji campuran (pasir dan air) dihilangkan dengan cara menggoyang-goyangkan piknometer.

- Biarkan agregat halus mengendap selama ± 1 hari. Kemudian tambahkan air lagi sampai 90% kapasitas piknometer kembali terpenuhi.
- Timbang piknometer yang berisi benda uji campuran tersebut, catat. Kemudian keluarkan benda uji campuran dari piknometer ke dalam wadah penampung dan keringkan di oven pada temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ selama ± 1 hari .
- Keluarkan benda uji dari oven, timbang dan catat hasilnya.
- Bersihkan wadah penampung benda uji campuran dan timbang beratnya.

d. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Penyerapan (Absorpsi)} = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

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

3.3.1.3 Analisa Saringan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan dan untuk menentukan Fineness Modulus agregat kasar tersebut. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C136-04.

a. Peralatan

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0.2% dari berat benda uji.

- Satu set saringan: 25 mm (1"); 19.1 mm (3/4"); 12.5 mm (1/2"); 9.5 mm (1/4"); 4.76 mm (saringan no.4)
 - Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - Alat pemisah contoh (*Sample Splitter*).
 - Mesin penggetar saringan.
 - Talam-talam.
 - Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.
- b. Bahan:
- Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak:
- Ukuran maksimum nomor 4 ; Berat minimum 500 gram
 - Ukuran maksimum nomor 8 ; Berat minimum 100 gram
- c. Prosedur
- Benda uji dikeringkan didalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas, diguncangkan dengan tangan atau mesin pengguncang selam 15 (lima belas) menit.

3.3.1.4 Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan no.200 dengan cara pencucian. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C117-04.

a. Peralatan

- Saringan no.16 dan no.200.
- Wadah pencucian benda ui berkapasitas cukup besar sehingga pada waktu diguncang-guncang benda uji dan atau air pencuci tidak tumpah.
- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanaskan sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh.

- Talam berkapasitas cukup besar sebagai wadah tempat dikeringkannya contoh agregat di dalam oven.

b. Bahan:

- Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum

Persiapan benda uji

- Masukkan contoh agregat lebih kurang 1,25 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 tabel berat contoh agregat kering minimum.

Tabel 3.3. Berat Contoh Agregat Kering Minimum

Ukuran Agregat Maksimum		Berat Contoh Agregat Kering Minimum (gram)
(mm)	(inci)	
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. Prosedur

- Siapkan benda uji yang telah dipanaskan di dalam oven selama ± 1 hari sebanyak 500 gram.
- Masukkan benda uji ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
- Guncang-guncangkan wadah dan tuangkan air cucian ke dalam susunan saringan no.16 dan no.200. Pada waktu menuangkan air cucian, usahakan agar tidak ada sedikitpun benda uji yang terbuang.
- Alirkan air pada susunan saringan no.16 dan no.200 sambil membersihkannya dengan bantuan tangan sampai air cucian menjadi jernih.
- Semua bahan yang tertahan saringan no.16 dan no.200 dikembalikan ke dalam satu 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, kira-kira ± 1 hari.

- Setelah kering timbang dan catatlah beratnya (w_3).
- Hitunglah berat bahan kering tersebut ($w_4 = w_3 - w_2$).

3.3.1.5 Pemeriksaan Kotoran Organik

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang digunakan sebagai bahan campuran mortar atau beton. Kotoran organik adalah bahan-bahan organik yang terdapat di dalam pasir dan menimbulkan efek merugikan terhadap mutu mortar beton. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C40-04.

a. Peralatan

- Botol gelas tidak berwarna mempunyai tutup dari karet, gabus atau lainnya yang tidak larut dalam larutan NaOH, dengan isi sekitar 500 ml.
- Standar warna (Organic Plate).
- Larutan NaOH.

b. Bahan: pasir 500 gram (kira-kira 1/3 isi botol).

c. Prosedur

- Benda uji dimasukkan ke dalam botol.
- Tambahkan larutan NaOH 3% dari jumlah volume air, setelah dikocok isinya harus mencapai kira-kira 2/3 isi botol
- Tutuplah botol, kocok lagi kuat-kuat dan biarkan selama 24 jam.
- Setelah 24 jam bandingkan warna cairan yang terlihat di atas benda uji dengan warna standar no. 3 pada organic plate

3.3.2 Pengujian Agregat Kasar

3.3.2.1 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat kasar. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C29 / C29M-97.

a. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh

- Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
 - Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 mm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat.
 - Mistar perata [*straight edge*].
 - Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang.
- b. Benda uji: agregat halus sebanyak kapasitas wadah yang telah dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ dalam waktu semalam
- c. Prosedur

Berat isi lepas

- Timbang dan catat berat wadah (w_1)
- Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh
 - Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 - Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
 - Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

Berat Isi padat agregat dengan butir maksimum 38,1 mm (1 1/2") dengan cara

Penusukan

- Timbang dan catat berat wadah (w_1)
- Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata.
- Ratakan permukaan benda uji dan catatlah berat wadah serta berat benda uji (w_2)
- Hitung berat uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38,1 mm (1 1/2") sampai 101,6 mm (4") dengan cara pengggoyangan

- Timbang dan catat berat wadah (w_1)
- Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
- Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut :

- Letakkan wadah diatas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu isinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan
- Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi
- Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
- Timbang dan catatlah berat wadah serta berat benda uji (w_2)
- Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

d. Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = B = \frac{W_3}{V} \text{ kg / dm}^3$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100 \%$$

Keterangan:

V = Isi Wadah (dm^3)

A = Bulk Specific Gravity Agregat (kg/dm^3)

B = Berat Isi Agregat (kg/dm^3)

W = Berat Isi Air (kg/dm^3)

3.3.2.2 Pengujian Berat Jenis Dan Absorpsi Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127-04, guna menentukan volume agregat dalam beton.

a. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0,5 gram, kapasitas minimum 5 kg.
- Panjang besi 8 inci dan tinggi 2,5 inci.
- Alat Penggantung Keranjang.
- Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu (110 ± 5)°C.
- Handuk.

- b. Bahan: 10kg (2 x 5 kg) agregat kasar dalam kondisi SSD, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempatan. Bahan benda uji lewat saringan no. 4 dibuang.
- c. Prosedur
- Benda uji direndam selama 24 jam
 - Benda uji digulung dengan handuk, sampai air permukaannya habis, tetapi harus masih tetap lembab (kondisi SSD), lalu timbang benda uji.
 - Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air $(73,4 \pm 3)^{\circ}\text{F}$ dan ditimbang. Sebelum ditimbang, container diisi benda uji, lalu digoyang-goyangkan dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.
 - Benda uji dikeringkan dalam oven pada temperatur $(212-230)^{\circ}\text{F}$. Didinginkan, kemudian ditimbang.

d. Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)} &= \frac{A}{B - C} \\ \text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} &= \frac{B}{B - C} \\ \text{Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)} &= \frac{A}{A - C} \\ \text{Persentasi Absorpsi} &= \frac{B - A}{A} \times 100\% \end{aligned}$$

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

3.3.2.3 Analisa Saringan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan dan untuk menentukan Fineness Modulus agregat kasar tersebut. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C136-04.

a. Peralatan

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
- Satu set saringan: 25 mm (1"); 19,1 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); 9,5 mm (1/4"); 4,76 mm (saringan no.4)
- Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Alat pemisah contoh (*Sample Splitter*).
- Mesin penggetar saringan.
- Talam-talam.
- Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.

b. Bahan:

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak:

- Ukuran maksimum 3,5"; berat minimum 35 kg.
- Ukuran maksimum 3"; berat minimum 30 kg.
- Ukuran maksimum 2,5"; berat minimum 25 kg.
- Ukuran maksimum 2"; berat minimum 20 kg.
- Ukuran maksimum 1,5"; berat minimum 15 kg.
- Ukuran maksimum 1"; berat minimum 10 kg.
- Ukuran maksimum $\frac{3}{4}$ "; berat minimum 5 kg.
- Ukuran maksimum $\frac{1}{2}$ "; berat minimum 2.5 kg.
- Ukuran maksimum $\frac{1}{4}$ "; berat minimum 1 kg.

c. Prosedur

- Benda uji dikeringkan didalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas, diguncangkan dengan tangan atau mesin pengguncang selam 15 (lima belas) menit.

3.4 PERANCANGAN CAMPURAN BETON

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk membuat campuran beton (mix design) adalah standar ACI 211.1-91. Berikut ini adalah prosedur dari perancangan campuran:

- Menentukan kekuatan beton
Besarnya kekuatan beton yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 40 MPa.
- Menentukan ukuran butir maksimum agregat kasar
Ukuran butiran maksimum agregat kasar umumnya ditentukan berdasarkan dari jenis dan dimensi dari struktur. Untuk beton SCC disyaratkan ukuran butiran agregat kasar maksimum adalah 20 mm. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan MSA sebesar 20 mm.
- Menentukan slump beton
- Menentukan jumlah air adukan dan rongga udara
Jumlah air adukan ditentukan berdasarkan nilai slump menurut Tabel 3.4. dengan ketentuan *non air-entrained concrete*.

Tabel 3.4. Penentuan Jumlah Air Campuran dan Kandungan Udara Untuk Slump dan Ukuran Agregat Maksimum yang Berbeda

Slump	Mixing Water Quantity in kg/m ³ (lb/yd ³) for the listed Nominal Maximum Aggregate Size							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	100 mm
Non-Air-Entrained PCC								
25 – 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 – 100	228	216	205	195	181	169	145	124
150 – 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Typical entrapped air (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Air-Entrained PCC								
25 – 50	181	175	168	160	148	142	122	107
75 – 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 – 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Recommended Air Content (percent)								
Mild Exposure	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Moderate Exposure	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Severe Exposure	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

(Sumber : ACI 211.1-91, 2000)

- Menentukan rasio air semen (w/c)

Rasio air semen yang digunakan disesuaikan dengan kekuatan beton yang direncanakan menurut Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Hubungan antara Rasio Air Semen dan Kuat Tekan Beton

Average compressive strength at 28 days*		Effective water / cement ratio (by mass)	
Mpa	psi	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
45	-	0,38	-
-	6000	0,41	-
40	-	0,43	-
35	5000	0,48	0,4
30	-	0,55	0,46
-	4000	0,57	0,48
25	-	0,62	0,53
-	3000	0,68	0,59
20	-	0,7	0,61
15	-	0,8	0,71
-	2000	0,82	0,74

(Sumber : ACI 211.1-91, 2000)

- Menghitung jumlah semen

Jumlah semen yang digunakan dihitung berdasarkan jumlah air dan rasio air semen yang telah ditentukan sebelumnya.

$$\text{jumlah semen} = \frac{\text{jumlah air}}{w/c} \text{ kg/m}^3$$

- Menghitung jumlah agregat kasar

Jumlah agregat kasar yang diperlukan dihitung berdasarkan nilai modulus kehalusan agregat menurut Tabel 3.6. sehingga diperoleh volume agregat kasar per unit volume.

Tabel 3.6. Volume Agregat Kasar per Unit Volume untuk Modulus Kehalusan yang Berbeda

Nominal Maximum Aggregate Size	Fine Aggregate Fineness Modulus			
	2,4	2,6	2,8	3
9.5 mm (0.375 inches)	0,5	0,48	0,46	0,44
12.5 mm (0.5 inches)	0,59	0,57	0,55	0,53
19 mm (0.75 inches)	0,66	0,69	0,62	0,6
25 mm (1 inches)	0,71	0,69	0,67	0,65
37.5 mm (1.5 inches)	0,75	0,73	0,71	0,69
50 mm (2 inches)	0,78	0,76	0,74	0,72

(Sumber : ACI 211.1-91, 2000)

- Menghitung kandungan total agregat halus

$$= 1 - \left(\frac{\text{jumlah air}}{1000} \right) - \left(\frac{\text{jumlah semen}}{SG_{\text{semen}} \times 1000} \right) - \left(\frac{\text{jumlah agregat kasar}}{SG_{\text{aggkasar}} \times 1000} \right) - \left(\frac{\text{rongga udara}}{100} \right)$$

- Menghitung jumlah agregat halus

Jumlah agregat halus = kandungan agregat halus × berat jenis agregat halus
kg/m³

- Menentukan jumlah superplasticizer

Jumlah superplasticizer yang digunakan adalah 1% dari berat semen.

jumlah superplasticizer = 0,01 × jumlah semen

- Menghitung ulang jumlah air campuran akhir

Jumlah air campuran yang diperlukan setelah dikurangi dengan jumlah superplasticizer.

3.5 PEMBUATAN BENDA UJI

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

- a. Dimensi benda uji yang diperlukan adalah:

- Benda uji silinder 15 cm x 30 cm untuk pengujian kuat tekan
- Benda uji silinder 15 cm x 30 cm untuk pengujian kuat tarik belah

- Benda uji balok 15 cm x 15 cm x 60 cm untuk pengujian kuat tarik lentur
- Benda uji balok 20 cm x 20 cm x 20 cm untuk pengujian permeabilitas

b. Prosedur

Persiapan Cetakan:

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

Pengadukan [dengan mesin pengaduk]:

- Masukkan agregat kasar dan air pencampur sebanyak 30% sampai 40% ke dalam pengaduk. 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.
- Ambillah tutup pengaduk dan jalankan mesin pengaduk selama 2 menit. Tuangkan beton ke dalam talam dan aduklah lagi dengan sekop merata.
- 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.
- 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.
- 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.

Perawatan Benda Uji:

- Setelah 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji.
- Rendamlah benda uji dalam bak perendam dengan kondisi:

- Dalam air suling yang telah memenuhi persyaratan untuk perawatan (*curing*)
- Dalam air laut
- Dalam air laut dengan kondisi perendaman yang tidak terus menerus atau dengan kata lain disesuaikan dengan kondisi pasang surut air laut
- Dalam larutan magnesium sulfat yang kadarnya disesuaikan dengan kadar sulfat dalam air laut yang digunakan dalam penelitian
- Biarkan beton direndam dalam bak perawatan sampai satu hari sebelum waktu pengetesan.

3.6 PENGUJIAN BENDA UJI

3.6.1 Slump Flow

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*) pada campuran beton cair. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar EFNARC.

a. Peralatan

- Kerucut terpancung (*slump cone*) dari logam dengan ukuran tinggi 30 cm, diameter lingkaran bawah 20 cm, dan lingkaran atas 10 cm.
- Papan slump dengan ukuran 90 x 90 cm
- Meteran
- Sekop kecil dan perata material

b. Prosedur

- Basahi *slump cone* dan letakkan di tempat yang datar, lembab, tidak menyerap permukaan.
- Isi *cone* dengan tiga lapisan dan setiap lapisan sepertiga volume *cone*. Injak sambil berdiri pada kupingannya pada saat pengisian.
- Padatkan setiap lapisan dengan tusukan sebanyak 25 kali dengan *slump rod*. Condongkan sedikit *slump rod* supaya dapat menjangkau bagian sekeliling dulu, lalu dilanjutkan arah memutar ke bagian tengah. Dalam

pengisian lapisan atas, penuh sampai melebihi permukaan *cone* sebelum penusukan dimulai.

- Ratakan permukaan sampel dengan menggunakan *tamping rod* sambil diulirkan
- Bersihkan kelebihan sampel beton di sekitar *slump cone*.
- Angkat segera *cone* dengan arah vertikal perlahan-lahan dalam waktu ± 5 detik tanpa diputar dan biarkan beton mengalir dengan bebas.
- Ukur diameter akhir dari beton yang telah mengalir dari dua arah yang berlawanan. Catat hasil hasil ukuran slump.
- Rata-ratakan pengukuran diameter dari dua arah tersebut.

c. Perhitungan

Semakin besar nilai slump flow, semakin besar kemampuan beton untuk mengisi dengan sendirinya ke dalam perancah. Nilai *flow spread* minimal 650 mm dibutuhkan untuk mendapatkan beton SCC. Toleransi sebesar ± 50 mm diberikan.

3.6.2 Pengujian Kuat Tekan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan besarnya beban tekan maksimum dari suatu benda uji beton per satuan luas. Pengujian dilakukan sesuai ASTM C 39/C 39M – 04a. Umur benda uji yang diuji adalah umur 28, 42, dan 56 hari.

a. Peralatan dan Bahan

- Mesin uji tekan Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Pelat baja
- Benda uji silinder 10 x 20 cm dan 15 x 30 cm

b. Prosedur

- Benda uji silinder 10 x 20 cm dan 15 x 30 cm yang sudah mengalami proses perawatan dan pengeringan disiapkan dan ditimbang.
- Bagian atas permukaan benda uji yang kasar diberi lapisan belerang (*capping*) yang bertujuan meratakan permukaan beton.

- Setelah lapisan belerang mengeras, benda uji diletakkan pada mesin uji tekan dan posisinya diatur agar tepat berada di tengah-tengah bidang penekan.
 - Pembebanan dilakukan perlahan-lahan secara kontinu dengan mesin hidrolik sampai benda uji mengalami kehancuran (jarum penunjuk berhenti kemudian salah satunya berrgerak turun).
 - Catat beban maksimum yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.
- c. Perhitungan
- Kuat tekan dari benda uji diperoleh dengan menggunakan rumus gaya tekan, sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

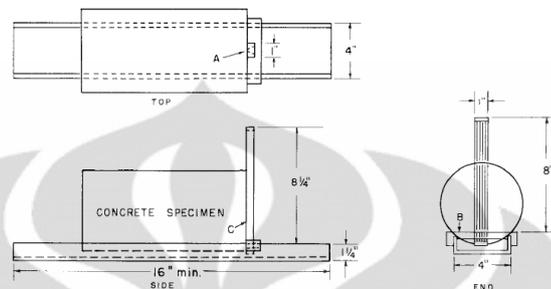
- dimana :
- f_c' = kuat tekan beton (kg/cm^2)
 - P = beban tekan (kg)
 - A = luas permukaan benda uji (cm^2)

3.6.3 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik di sepanjang tinggi dari benda uji beton silinder. Pengujian dilakukan sesuai dengan ASTM C 496 (*Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*). Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengngan dimensi 15 cm x 30 cm. Umur benda uji adalah 28, 42, dan 56 hari.

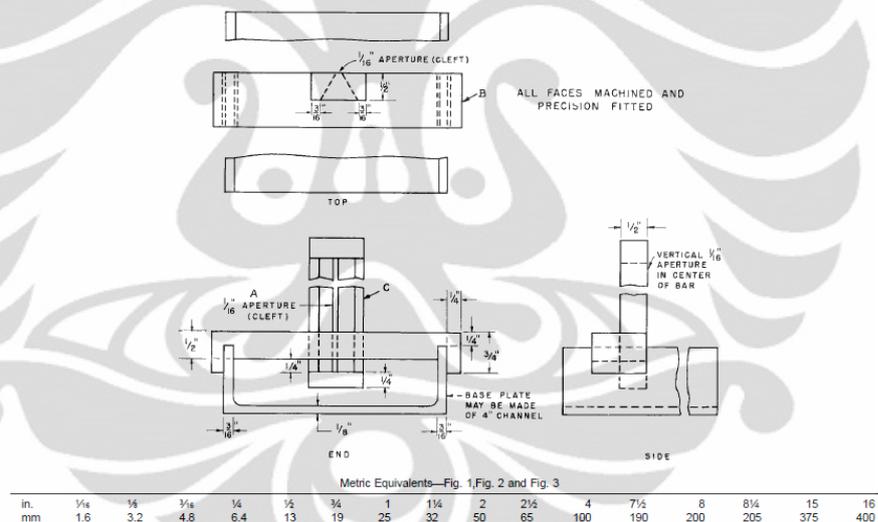
- a. Peralatan dan Bahan
- Mesin uji tekan Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
 - Pelat baja
 - *Hardboard*
 - Benda uji silinder 15 x 30 cm.
- b. Prosedur
- Penandaan

Dengan cara menggambar garis diameter pada bagian atas dan bawah silinder dengan suatu alat seperti pada gambar 3.2. pada sumbu yang sama dan berada pada diameter.



Gambar 3.2. Penandaan Benda Uji

(Sumber: Annual Book of ASTM Standards, C 496-96)



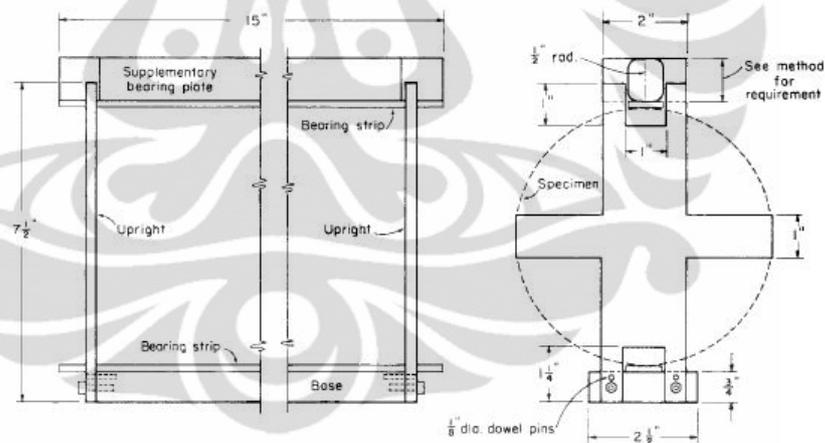
Gambar 3.3. Detail Penandaan Benda Uji

(Sumber: Annual Book of ASTM Standards, C 496-96)

- Pengukuran

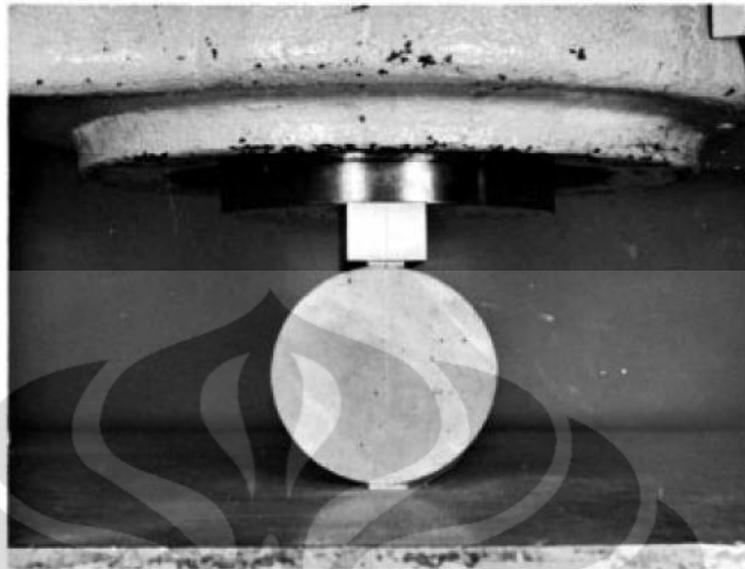
Menentukan diameter dari benda uji sampai mendekati 0,25 mm dengan cara mengukur rata-rata dari 3 kali pengukuran diameter, yaitu pada bagian yang dekat dengan kedua ujung benda uji dan pada bagian tengah benda uji. Selanjutnya menandakan bagian panjang benda uji sampai mendekati 2 mm dengan paling sedikit 2 kali pengukuran.

- Posisi penempatan pelat baja pada garis
Pelat baja ditaruh sepanjang garis yang sudah ditandai sebelumnya di tempat benda uji untuk bagian bawah. Kemudian menempatkan benda uji silinder di atas pelat baja tersebut. Yang terakhir menempatkan pelat baja di atas benda uji silinder tepat pada garis yang sudah dibuat sebelumnya.
- Posisi pada saat tes
Penempatan benda uji yang sudah di set pada alat tes tekan, dengan menaruh tepat pada pusat ke pusat. Agar beban yang diberikan tepat pada pertengahan benda uji.
- Penambahan beban
Diberikan beban dengan kecepatan konstan 0,7 MPa per menit sampai 1,4 MPa per menit sampai benda uji mengalami kegagalan struktur. Beban maksimum pada mesin tes tekan merupakan kekuatan tarik belah dari beton tersebut.



Gambar 3.4. Detail Pelat Besi Untuk Pengujian Kuat Tarik Belah

(Sumber: Annual Book of ASTM Standards, C 496-96)



Gambar 3.5. Penempadatan Benda Uji

(Sumber: Annual Book of ASTM Standards, C 496-96)

c. Perhitungan

Kuat tarik dari benda uji diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{2P}{\pi d}$$

dimana : T = kuat tarik beton (kPa)
 P = beban tarik maksimum (kN)
 l = panjang/tinggi benda uji (m)
 d = diameter (m)

3.6.4 Pengujian Kuat Tarik Lentur

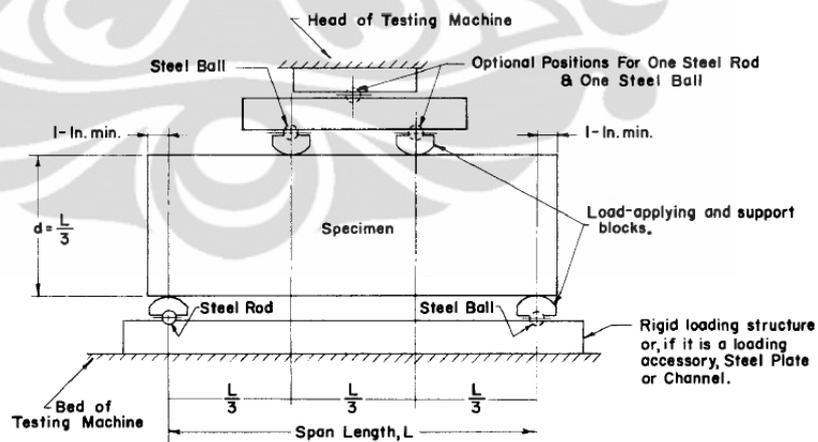
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang ditahan oleh serat tarik balok pada beton. Percobaan dilakukan sesuai dengan ASTM C 78 - 02 dengan metode *third-point loading*. Benda uji yang digunakan adalah beton ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm dengan umur benda uji 28, 42, dan 56 hari.

a. Peralatan dan Bahan

- Mesin uji lentur (*flexural strength testing machine*) beton kapasitas 100 kN Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Benda uji *beam mold* 15 cm x 15 cm x 60 cm.

b. Prosedur

- Benda uji balok yang sudah mengalami proses perawatan dan pengeringan disiapkan, diukur dimensinya (juga untuk mengetahui balok tersebut memenuhi persyaratan keseragaman sampel).
- Tentukan panjang bentang yaitu tiga kali tinggi balok pada posisi simetris memanjang dan mengatur posisi roda baja bagian bawah untuk meletakkan benda uji.
- Balok diletakkan di kedua perletakan mesin uji lentur secara simetris dan diberi beban garis sejarak $\frac{1}{3}$ bagian dari perletakan secara simetris.
- Hidupkan mesin dan berikan beban secara tetap dan berkesinambungan tanpa ada beban kejut sampai keruntuhan terjadi.
- Besar beban maksimum yang terjadi catat untuk perhitungan.



Gambar 3.6. Pengujian Kuat Lentur

(Sumber: Annual Book of ASTM Standards, C 78 - 02)

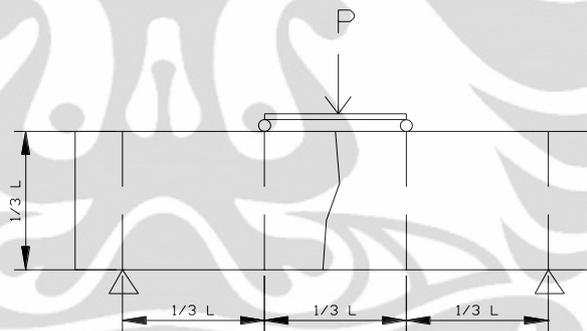
c. Perhitungan

Perhitungan *modulus of rupture* dibedakan berdasarkan tiga kondisi bergantung pada lokasi terjadinya patahan (*fracture*).

- Jika patahan terjadi pada permukaan tarik dalam 1/3 bagian tengah bentang balok, maka perhitungan *modulus of rupture*-nya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

dimana : R = *modulus of rupture* (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 L = panjang balok (mm)
 b = lebar benda uji rata-rata (mm)
 d = tinggi benda uji rata-rata (mm)



Gambar 3.7. Kondisi Patahan Terjadi Pada 1/3 Dari Bagian Tengah Bentang Balok

- Jika patahan terjadi pada permukaan tarik diluar 1/3 dari bagian tengah bentang balok, tidak lebih 5% dari panjang balok, maka perhitungan *modulus of rupture*-nya adalah sebagai berikut:

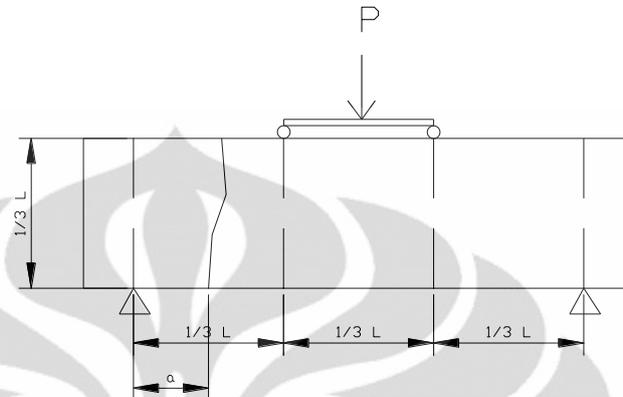
$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

dimana : R = *modulus of rupture* (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 a = jarak rata-rata antara garis patahan dan support

terdekat (mm)

b = lebar benda uji rata-rata (mm)

d = tinggi benda uji rata-rata (mm)



Gambar 3.8. Kondisi Patahan Terjadi Di Luar 1/3 Dari Bagian Tengah Bentang Balok

- Jika patahan terjadi pada permukaan tarik diluar 1/3 dari bagian tengah bentang balok, dan melebihi 5% dari panjang balok, hasil pengujian diabaikan.

3.6.5 Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar jumlah perembesan air dalam beton dan jarak penetrasi beton pada spesimen beton. pengujian ini sesuai dengan standar DIN 1048 Bagian I.

a. Alat dan Bahan

- Peralatan permeabilitas INFARTEST
- Kompresor
- Benda uji berbentuk balok dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm

b. Prosedur

- Mempersiapkan benda uji yang telah berumur 42 hari
- Kasarkan permukaan benda uji pada satu sisi
- Letakkan benda uji pada mesin permeabilitas dengan sisi yang telah dikasarkan berada pada bagian bawah

- Kencangkan alat
- Mengisi tangki air hingga 750 ml
- Atur tekanan air menjadi sebesar 3 bar dan didiamkan selama 3x24 jam.
- Air dalam tangki harus selalu dikontrol agar tidak kosong
- Benda uji yang kemudian dibelah dan diukur kedalaman penetrasi airnya.
Dalam DIN, besarnya penetrasi maksimum adalah 50 mm.

3.6 PENGKODEAN BENDA UJI

Pengkodean benda uji ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam menganalisa data benda uji. Selain itu, selama penelitian di laboratorium, pengkodean ini dapat membantu untuk mendeskripsikan benda uji.

Dalam penelitian ini, format pengkodean ditulis sebagai berikut

SP2-XX-XX-XX

dimana:

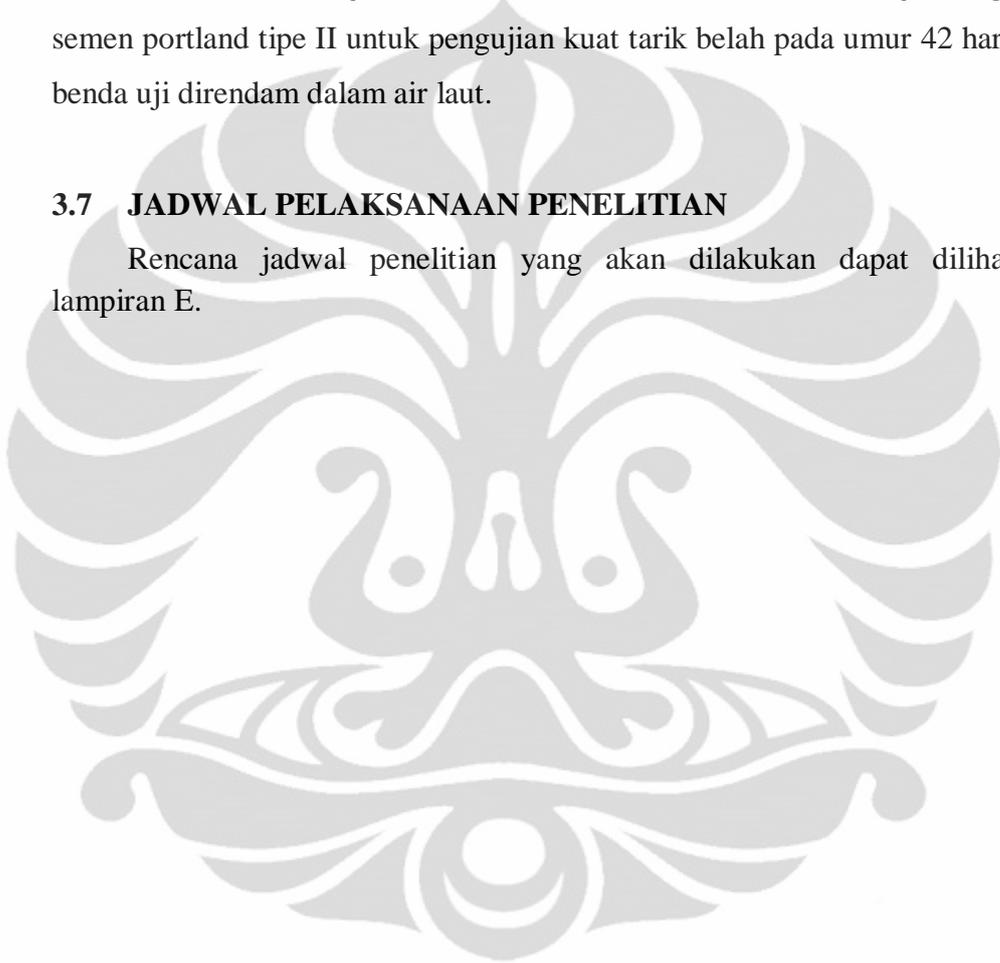
- Variabel pertama : menunjukkan bahwa benda uji menggunakan semen portland tipe II.
- Variabel kedua : menunjukkan jenis pengujian benda uji, yaitu:
 - T untuk uji tekan,
 - TB untuk uji tarik belah,
 - TL untuk uji tarik lentur, dan
 - P untuk uji permeabilitas.
- Variabel ketiga : menunjukkan umur benda uji saat dilakukan pengujian, yaitu:
 - 28 untuk umur 28 hari,
 - 42 untuk umur 42 hari, dan
 - 56 untuk umur 56 hari.
- Variabel keempat : menunjukkan metode perendaman benda uji yang digunakan.
 - AS untuk benda uji yang direndam dalam air suling,
 - AL untuk benda uji yang direndam dalam air laut,

- PS untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat dengan metode perendaman yang mengikuti pasang surut air laut, dan
- LS untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat.

Contoh: benda uji SP2-TB-42-AL, berarti benda uji menggunakan semen portland tipe II untuk pengujian kuat tarik belah pada umur 42 hari dimana benda uji direndam dalam air laut.

3.7 JADWAL PELAKSANAAN PENELITIAN

Rencana jadwal penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat dalam lampiran E.



BAB 4

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Pada bab ini akan dipaparkan tentang hasil pengujian material pembentuk beton, serta pengujian pada beton segar dan beton keras.

4.1 HASIL DAN ANALISIS PENGUJIAN BAHAN BAKU PENELITIAN

Pengujian terhadap bahan baku penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan spesifikasi dari bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Selain itu, parameter-parameter yang diperlukan untuk perancangan campuran beton juga diperoleh dari pengujian bahan baku penelitian ini. Pengujian ini meliputi pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar dengan berbagai jenis pengujian.

4.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Agregat Halus

Berdasarkan pengujian agregat halus di laboratorium diperoleh hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Nama Pengujian	Standar Pengujian	Hasil	Standar
1	Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus <ul style="list-style-type: none">• Berat Isi Lepas (kg/liter)• Berat Isi dengan Penggoyangan (kg/liter)• Berat Isi dengan Penumbukan (kg/liter)• Rongga Udara (%) * hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-1	ASTM C29/C 29M-97	1,366 1,515 1,473 40,72	30-50

No.	Nama Pengujian	Standar Pengujian	Hasil	Standar
2	Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Halus <ul style="list-style-type: none"> • <i>Bulk Specific Gravity</i> (kg/liter) • <i>SSD Specific Gravity</i> (kg/liter) • <i>Apparent Specific Gravity</i> (kg/liter) • <i>Absorption</i> (%) * hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-1	ASTM C 128-04a	2,48 2,51 2,56 1,11	0,5-2
3	Analisa Saringan <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fines Modulus</i> (FM) * hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-1	ASTM C136-04	2,36	
4	Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200 <ul style="list-style-type: none"> • Kadar Lumpur (%) * hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-1	ASTM C117-04	2,6	
5	Pemeriksaan Kotoran Organik <ul style="list-style-type: none"> • <i>Organic Impurities</i> * hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-1	ASTM C40-04	No. 1	< No. 3

Dari hasil pengujian laboratorium yang ditampilkan pada tabel 4.1. di atas, maka dapat disimpulkan :

- Besarnya rongga udara yang didapatkan dari pengujian berat isi dengan metode penumbukan sebesar 40,72% masih memenuhi batas, yaitu antara 30 – 50 %.
- Nilai *specific gravity* (SSD) sebesar 2,51 kg/m³ dan *fineness modulus* (FM) sebesar 2,36 dipergunakan dalam perhitungan campuran beton.
- Nilai kapasitas absorpsi adalah 1,11% masih berada dalam standar. Sehingga kemungkinan tidak akan menimbulkan masalah durabilitas pada beton.

- Gradasi agregat halus (pada lampiran) terdapat di dalam kurva standar gradasi (ASTM C 33-03). Hal tersebut menunjukkan bahwa gradasi agregat halus yang digunakan cukup baik dan memenuhi syarat untuk digunakan dalam campuran beton.
- Kadar lumpur dari agregat halus didapatkan sebesar 2,6 %. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa agregat halus yang digunakan baik untuk digunakan untuk campuran beton.
- Kadar kotoran organik pada agregat halus relatif rendah dan masih memenuhi standar. Berdasarkan pengujian pemeriksaan kotoran organik, diperoleh warna yang sama dengan No. 1 pada *organic plate* dan standar untuk kadar kotoran organik adalah No. 3.

4.1.2 Hasil dan Analisis Pengujian Agregat Kasar

Berdasarkan pengujian agregat kasar di laboratorium diperoleh hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Nama Pengujian	Standar Pengujian	Hasil	Standar
1	Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar <ul style="list-style-type: none"> • Berat Isi Lepas (kg/liter) • Berat Isi dengan Penggoyangan (kg/liter) • Berat Isi dengan Penumbukan (kg/liter) • Rongga Udara (%) * hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-2	ASTM C29/ C29M-97	1,365 1,451 1,437 49,03	30-50
2	Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Kasar <ul style="list-style-type: none"> • <i>Bulk Specific Gravity</i> (kg/liter) • <i>SSD Specific Gravity</i> (kg/liter) • <i>Apparent Specific Gravity</i> (kg/liter) • <i>Absorbtion</i> (%) 	ASTM C 127-04	2,82 2,92 3,13 3,48	0,5-2

No.	Nama Pengujian	Standar Pengujian	Hasil	Standar
	* hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-2			
3	Analisa Saringan * hasil pengujian selengkapnya pada lampiran A-2	ASTM C136-04	Lampiran A-2	Lampiran A-2

Dari hasil pengujian laboratorium yang ditampilkan pada tabel 4.1. di atas, maka dapat disimpulkan :

- Besarnya rongga udara yang didapatkan dari pengujian berat isi dengan metode penumbukan sebesar 49,03% masih memenuhi batas, yaitu antara 30 – 50 %.
- Nilai berat isi 1,437 dan *specific gravity* (SSD) sebesar 2,92 kg/m³ dan berat isi dipergunakan dalam perhitungan campuran beton.
- Berat isi agregat kasar adalah 1,437 kg/liter < 1,8 kg/liter tergolong dalam agregat ringan. Karakteristik beton yang akan didapatkan dengan agregat jenis ini kemungkinan adalah beton yang mempunyai tingkat porositas internal yang tinggi.
- Umumnya kapasitas absorpsi agregat adalah 0,5-2%, dalam pengujian diperoleh nilai kapasitas absorpsi yang melebihi nilai tersebut, yaitu 3,48%. Hal ini dapat menyebabkan masalah durabilitas pada beton.
- Gradasi agregat kasar (pada lampiran) terdapat di dalam kurva standar gradasi (ASTM C 33-03). Hal tersebut menunjukkan bahwa gradasi agregat kasar yang digunakan cukup baik dan memenuhi syarat untuk digunakan dalam campuran beton.

4.1.2 Hasil dan Analisis Pengujian Semen Portland Tipe II

Semen portland tipe II yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil produk dari PT. Indocement Tunggal Prakarsa. Hasil pengujian laboratorium terhadap properti fisik dan komposisi kimia terdapat dalam lampiran A-3.

Berdasarkan pada hasil pengujian tersebut, semen portland tipe II produksi PT. Indocement Tunggal Prakarsa memenuhi standar SNI 15-2049-2004 sehingga dapat digunakan dalam penelitian.

4.2 ANALISIS PERANCANGAN CAMPURAN BETON

Pada dasarnya, belum ada metode perancangan campuran yang baku untuk beton SCC sehingga dalam penelitian ini digunakan salah satu metode yang umum digunakan yaitu metode ACI 211.1-91 dengan melakukan kontrol ulang terhadap komposisi campuran sehingga persyaratan-persyaratan beton SCC dipenuhi. Kontrol tersebut meliputi pembatasan jumlah agregat kasar, agregat halus, dan air dalam campuran. Selain itu, dilakukan trial mix terlebih dahulu untuk melihat apakah persyaratan nilai *slump flow* terpenuhi dan kekuatan yang dirancang tercapai. Hasil perhitungan campuran secara lengkap terdapat dalam Lampiran B.

4.3 HASIL DAN ANALISIS PENGUJIAN BETON SEGAR

Karena beton yang digunakan adalah beton SCC, maka pengujian terhadap beton segar dilakukan menggunakan nilai slump flow beton segar yang baru selesai dicampur. Besarnya nilai slump flow yang disyaratkan untuk beton SCC dalam standar EFNARC adalah minimal 650 mm dengan toleransi ± 50 mm.



Gambar 4.1. Pengujian Slump Flow

Untuk mendapatkan beton segar yang memiliki tingkat *flowability* yang tinggi ditambahkan superplasticizer dalam campuran beton. Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan Nourma Yunita (2008), kadar *superplasticizer* optimal beton SCC adalah 1%. Namun, dikarenakan kondisi suhu dan kelembaban lingkungan saat pengecoran serta bentuk agregat kasar yang kurang baik, sulit untuk mendapatkan nilai *slump flow* sebesar 650 ± 50 mm. Oleh karena itu, dalam penelitian ini kadar *superplasticizer* yang digunakan dinaikkan menjadi 1,1%.

4.4 ANALISIS PENGARUH SULFAT SECARA VISUAL



Gambar 4.2. Tampak Visual Benda Uji

Apabila dilakukan observasi secara visual dari benda uji yang direndam dalam air laut maupun larutan magnesium sulfat selama 28 hari setelah 28 hari sebelumnya direndam dalam air suling, maka pada dasarnya tidak ditemukan suatu perbedaan yang berarti dibandingkan dengan benda uji yang direndam dalam air suling dengan rentang waktu yang sama. Hal ini dikarenakan karena lamanya perendaman dalam air laut dan larutan magnesium sulfat yang belum terlalu lama, serta tidak diberlakukannya kondisi pembebanan yang sebenarnya terjadi di lapangan, sehingga efeknya berupa kerusakan pada benda uji tidak dapat dilihat dengan jelas secara visual.

Namun, pada keempat jenis perendaman ditemui karakteristik keputih-putihan pada permukaan beton. Karakteristik keputih-putihan ini merupakan kapur hasil hidrasi semen yang normal terjadi pada beton. Akan tetapi bila terdapat sulfat pada lingkungannya, deposit kapur ini akan terbentuk lebih banyak.

Hal tersebut dikarenakan sulfat bereaksi dengan produk hidrasi semen seperti kalsium hidroksida. Dalam jangka panjang, dekomposisi kalsium hidroksida ini akan meningkatkan porositas pada beton dan mengurangi durabilitas beton.

4.5 MASSA JENIS BETON PEMADATAN SENDIRI

Perhitungan massa jenis ini dilakukan untuk membandingkan massa jenis yang dimiliki oleh beton SCC dengan massa jenis beton normal yaitu 2400 kg/m^3 . Massa jenis benda uji dihitung berdasarkan data massa benda uji untuk pengujian kuat tekan pada umur 28, 42, dan 56 hari yang direndam dalam air suling seperti pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Massa Jenis Benda Uji

No.	Umur Benda Uji (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (m^3)	Massa Jenis Benda Uji (kg/m^3)
1	28	3,794	0,00157	2416,561
2	28	3,785	0,00157	2410,828
3	28	3,810	0,00157	2426,752
4	28	3,775	0,00157	2404,459
5	28	3,755	0,00157	2391,720
6	28	12,856	0,005299	2426,233
7	28	12,465	0,005299	2352,442
8	28	12,481	0,005299	2355,461
9	42	3,823	0,00157	2435,032
10	42	3,887	0,00157	2475,796
11	42	3,833	0,00157	2441,401
12	42	3,83	0,00157	2439,490
13	42	3,884	0,00157	2473,885
14	56	3,904	0,00157	2486,624
15	56	3,962	0,00157	2523,567

No.	Umur Benda Uji (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (m ³)	Massa Jenis Benda Uji (kg/m ³)
16	56	3,961	0,00157	2522,930
17	56	3,97	0,00157	2528,662
18	56	3,996	0,00157	2545,223
Rata-Rata				2447,615

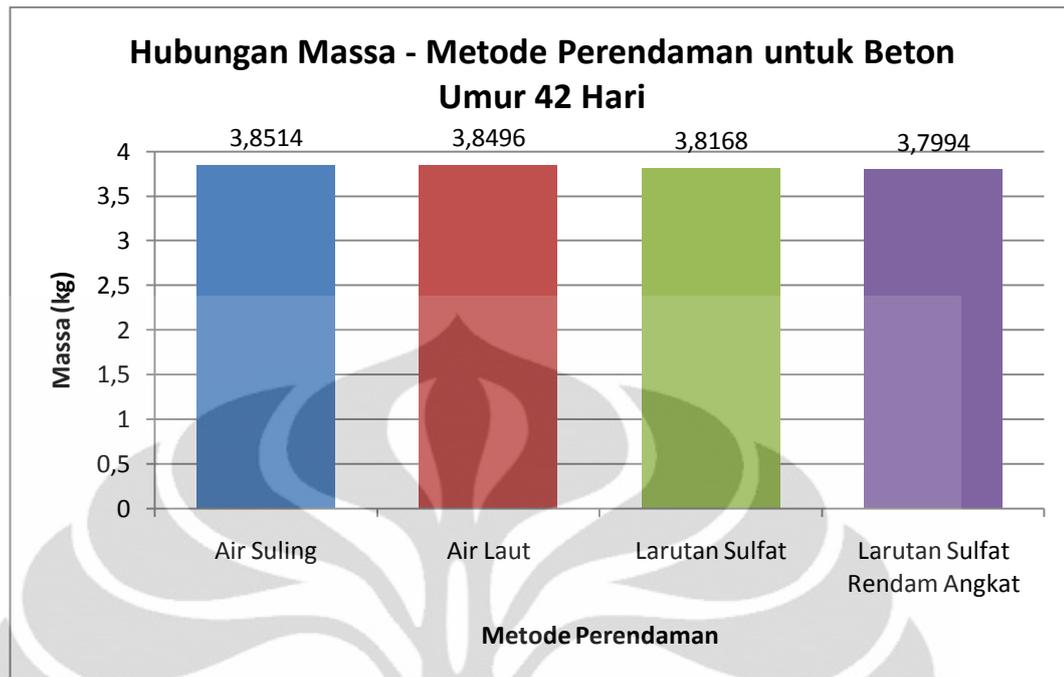
Berdasarkan pada tabel di atas maka massa jenis yang didapatkan adalah sebesar 2447,615 kg/m³. Besarnya massa jenis beton SCC ini tidak berbeda jauh dengan beton normal, yaitu 2400 kg/m³. Dengan demikian, bila ditinjau dari massa jenisnya, maka beton SCC tidak memiliki perbedaan yang berarti dengan beton normal.

4.6 PENGARUH SULFAT TERHADAP PENURUNAN MASSA BENDA UJI

Tabel 4.5 dan Tabel 4.6, serta Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 di bawah ini menunjukkan perbedaan massa pada benda uji untuk pengujian kuat tekan berdasarkan jenis perendamannya.

Tabel 4.5. Massa Benda Uji Umur 42 Hari

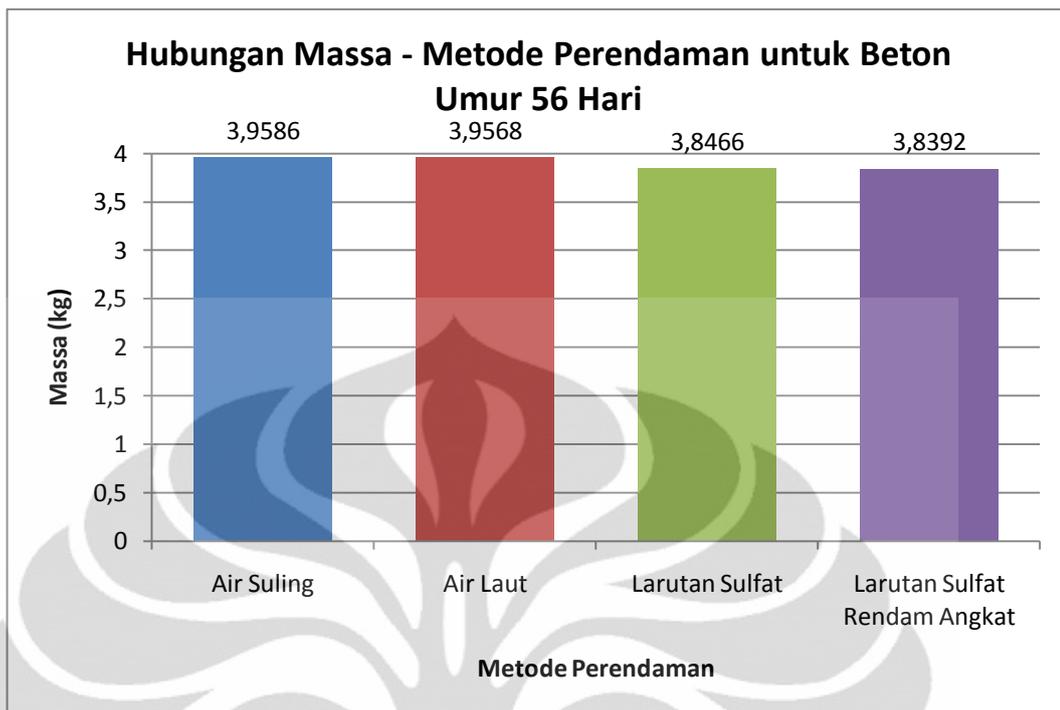
Jenis Perendaman	Massa Sampel rata-rata (kg)	Penurunan Massa Sampel (%)
Air suling	3,8514	0
Air laut	3,8496	0,05
Larutan MgSO ₄ 5%	3,8168	0,9
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	3,7994	1,35



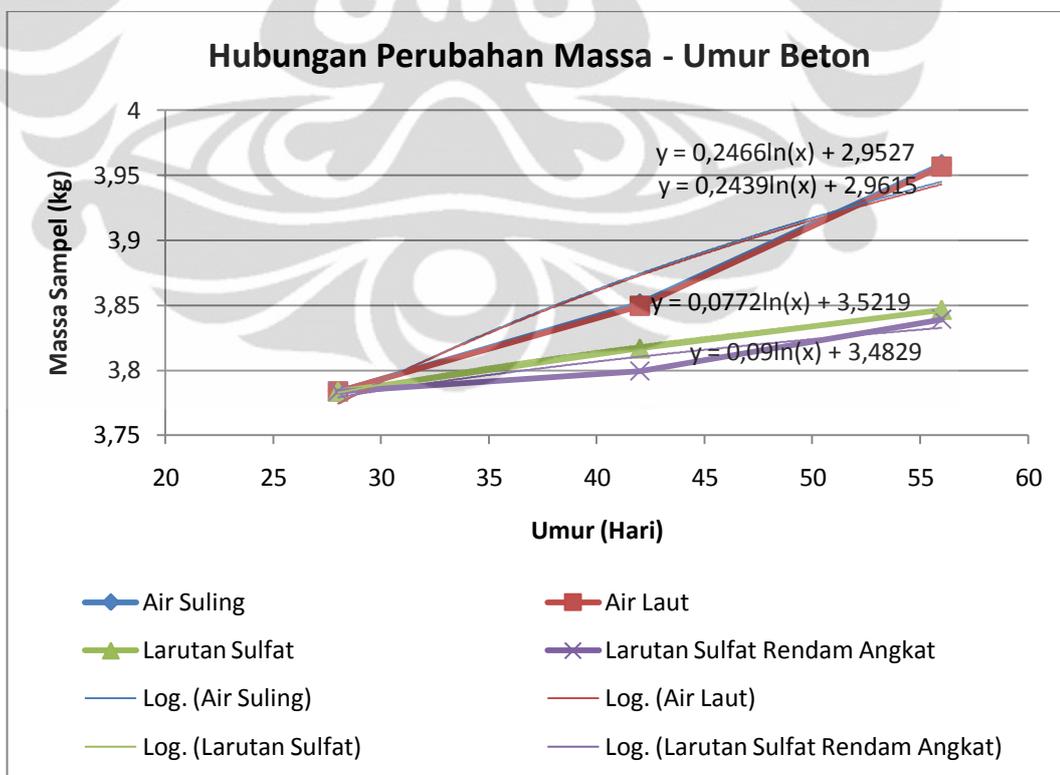
Gambar 4.3. Pengaruh Metode Perendaman dengan Massa Benda Uji Umur 42 Hari

Tabel 4.6. Tabel Massa Sampel Pada Benda Uji Umur 56 Hari

Jenis Perendaman	Massa Sampel rata-rata (kg)	Penurunan Massa Sampel (%)
Air suling	3,9586	0
Air laut	3,9586	0,05
Larutan MgSO ₄ 5%	3,8466	2,83
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	3,8392	3,02



Gambar 4.4. Pengaruh Metode Perendaman dengan Massa Benda Uji Umur 56 Hari



Gambar 4.5. Massa vs Umur Benda Uji

Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa penurunan massa sampel beton terjadi akibat perendaman dalam larutan magnesium sulfat. Untuk sampel yang direndam dalam air laut dengan kadar sulfat 0,2% penurunan massa yang terjadi tidak terlalu signifikan, yaitu sekitar 0,5% untuk sampel beton umur 42 hari dan 56 hari. Untuk sampel yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% dan larutan magnesium sulfat 5% dengan metode rendam angkat penurunan massa yang terjadi juga tidak terlalu signifikan berdasarkan Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5. Penurunan massa yang terjadi sekitar 0,9% dan 1,35% untuk sampel beton umur 42 hari, serta 2,85% dan 3,02% untuk sampel beton umur 56 hari.

Penurunan atau kehilangan massa ini dapat terjadi akibat disintegrasi antara material-material penyusun beton akibat reaksi kimia antara semen portland terhidrasi dengan ion sulfat seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Umumnya penurunan massa secara signifikan akan terjadi dalam jangka waktu yang panjang. Sedangkan dalam jangka pendek, perbedaan massa lebih diakibatkan oleh perbedaan penyerapan air pada benda uji.

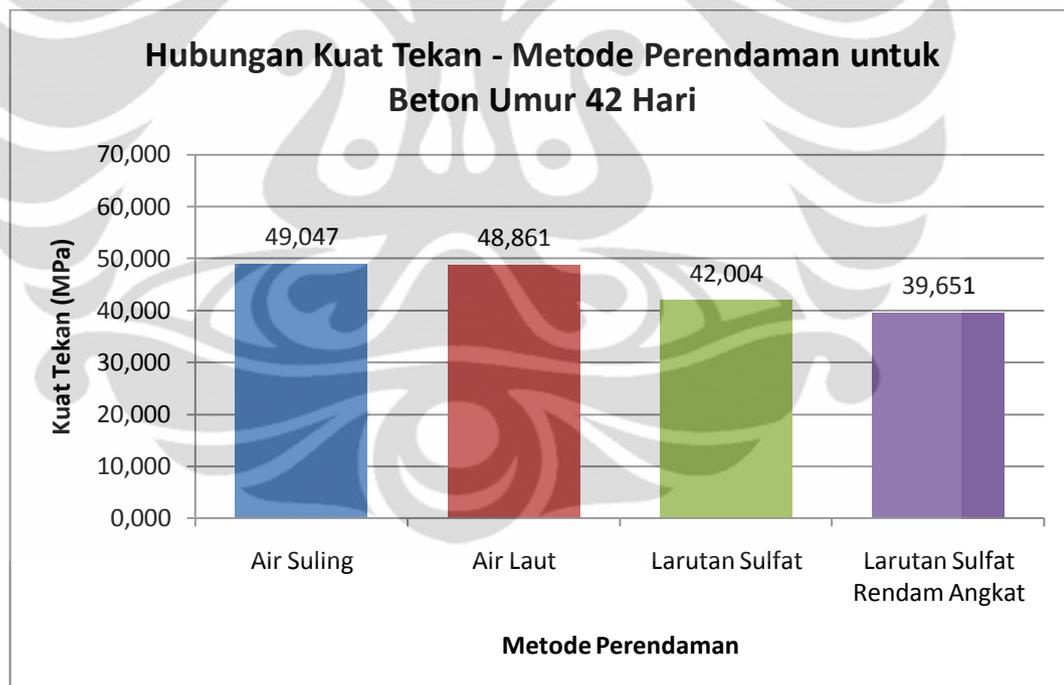
4.7 PENGARUH SULFAT TERHADAP KUAT TEKAN BETON PEMADATAN SENDIRI YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE II

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sulfat terhadap kuat tekan beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II dengan 4 jenis perendaman yang dilakukan pada beton keras setelah benda uji berumur 28 hari. Jenis perendamannya adalah direndam dalam air suling, direndam dalam air laut dengan kadar sulfat 0,2 %, larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5%, dan larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5% dengan metode rendam angkat (*drying-immersion cycle*). Benda uji yang digunakan adalah beton silinder berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm pada umur 28, 42, dan 56 hari, serta benda uji silinder berukuran diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm pada umur 28 hari untuk mendapatkan faktor konversi kuat tekan dari silinder 10 x 20 cm ke silinder 15 x 30 cm.

Hasil Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah 46,115 MPa, sedangkan pada umur 42 hari dan 56 hari ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Benda Uji Umur 42 Hari

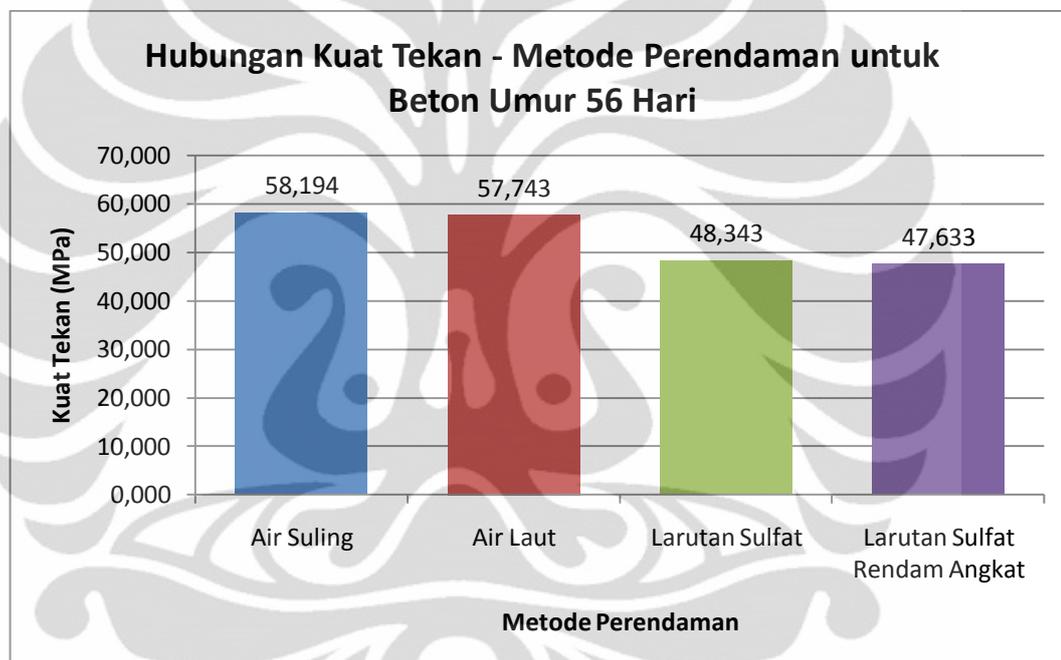
Jenis Perendaman	Kuat Tekan rata-rata (MPa)	Penurunan Kuat Tekan (%)
Air suling	49,047	0
Air laut	48,861	0,38
Larutan MgSO ₄ 5%	42,004	14,35
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	39,651	19,16

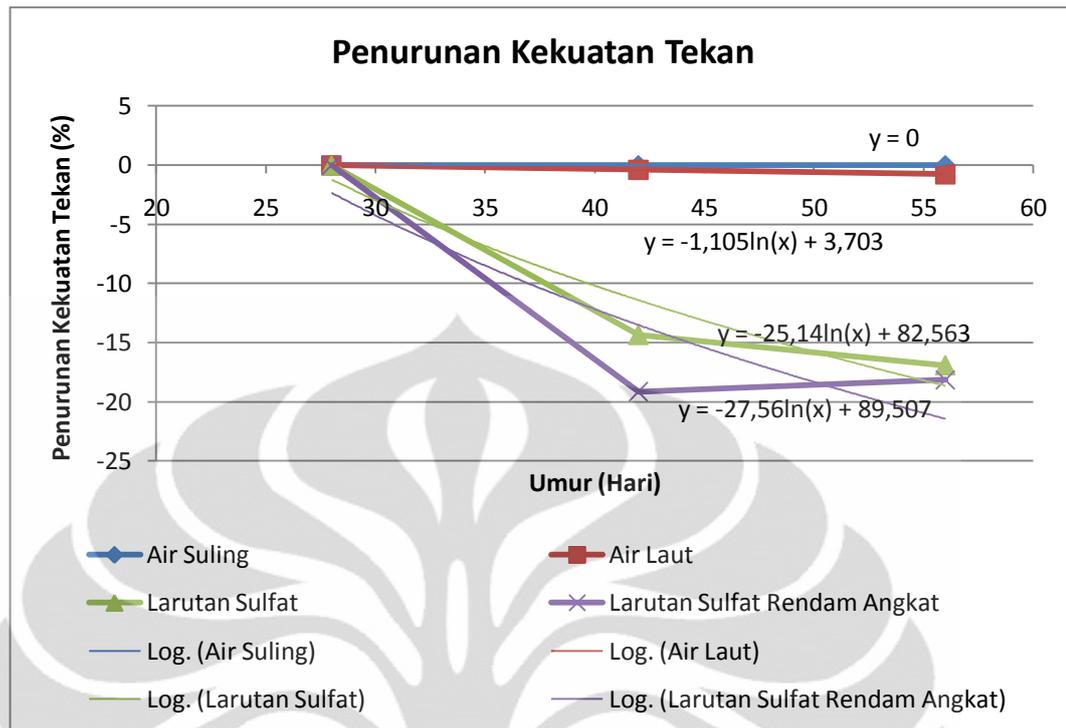


Gambar 4.6. Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tekan Benda Uji Umur 42 Hari

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Benda Uji Umur 56 Hari

Jenis Perendaman	Kuat Tekan rata-rata (MPa)	Penurunan Kuat Tekan (%)
Air suling	58,194	0
Air laut	57,743	0,77
Larutan MgSO ₄ 5%	48,343	16,93
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	47,633	18,15

**Gambar 4.7.** Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tekan Benda Uji Umur 56 Hari



Gambar 4.8. Penurunan Kekuatan Tekan Beton vs Umur Beton

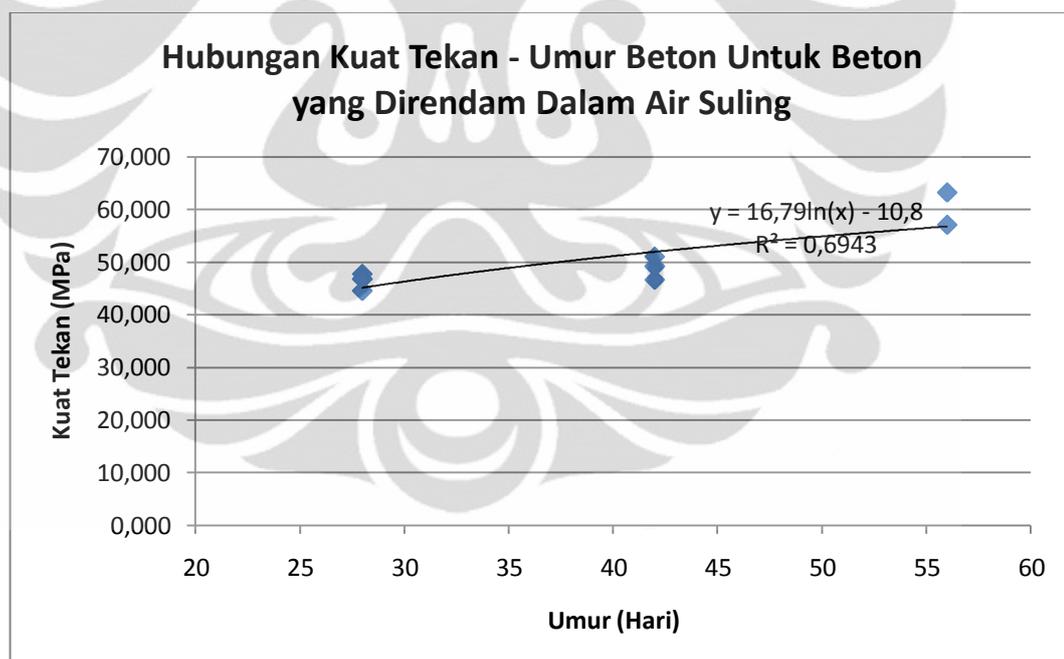
Berdasarkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.6 dapat dilihat pengaruh sulfat terhadap kuat tekan benda uji pada umur 42 hari. Untuk benda uji yang direndam dalam air laut dengan kadar sulfat 0,2% didapatkan kuat tekan beton yang lebih kecil bila dibandingkan dengan benda uji yang direndam dalam air suling. Besarnya penurunan kekuatan yang terjadi adalah 0,38%. Penurunan kekuatan juga terjadi untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5%. Besarnya penurunannya adalah 14,35%. Penurunan kekuatan terbesar terjadi pada benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% dengan metode rendam angkat dimana terjadi penurunan kekuatan sebesar 19,16%.

Pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.7 dapat dilihat pengaruh sulfat terhadap kuat tekan benda uji pada umur 56 hari dimana didapatkan suatu perilaku penurunan kekuatan yang sama seperti benda uji umur 42 hari. Benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% dengan metode rendam angkat memiliki penurunan kekuatan terbesar, yaitu 18,15%, diikuti dengan benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat yang memiliki penurunan kekuatan sebesar 16,93%. Sama seperti benda uji umur 42 hari, benda uji yang direndam

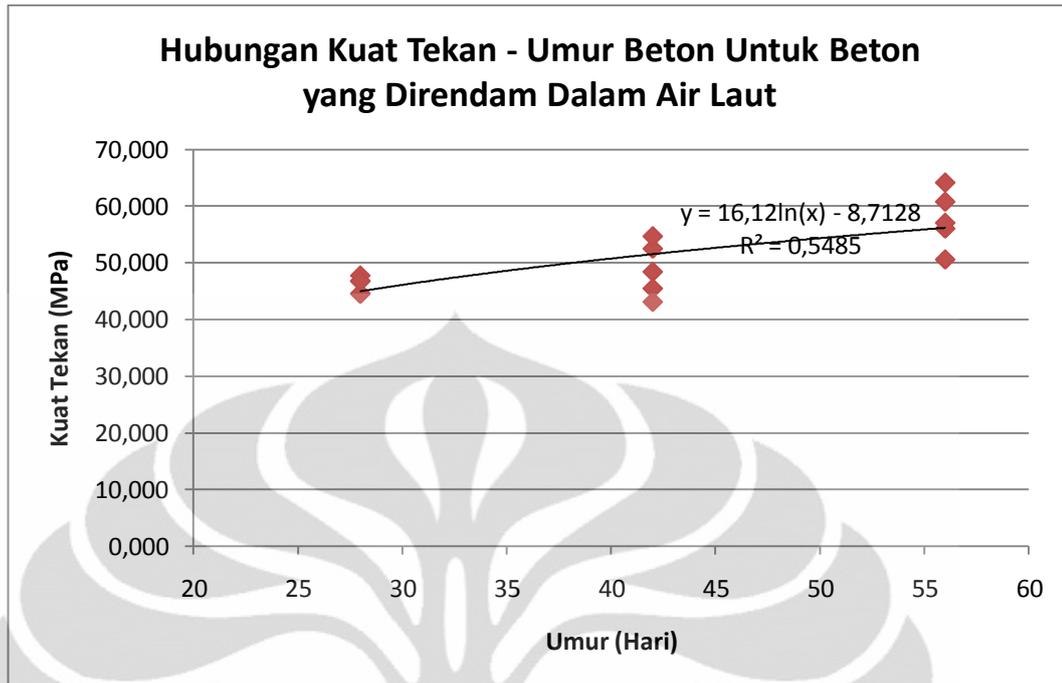
dalam air laut memiliki penurunan kekuatan yang tidak terlalu signifikan, yaitu 0,77%.

Gambar 4.8 menunjukkan tren penurunan kuat tekan yang terjadi pada beton yang direndam dalam larutan sulfat relatif terhadap kuat tekan beton yang direndam dalam air suling. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa besarnya penurunan kekuatan akan semakin besar sesuai dengan umur beton. Artinya, semakin lama beton terendam dalam sulfat, maka akan semakin besar pula efek dari serangan sulfat. Penurunan yang paling besar terjadi pada beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% dengan metode perendaman rendam angkat, kemudian diikuti dengan beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5%, dan air laut dengan kadar 0,2%.

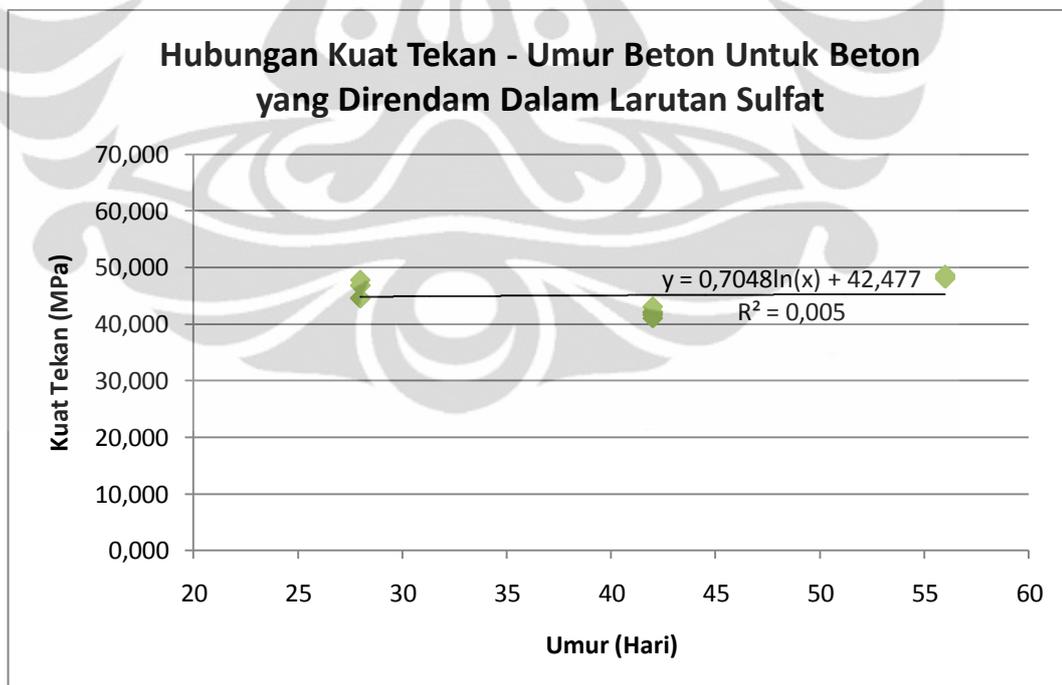
Berikut adalah grafik-grafik di bawah ini menunjukkan tren perkembangan kekuatan beton yang terjadi pada keempat jenis perendaman.



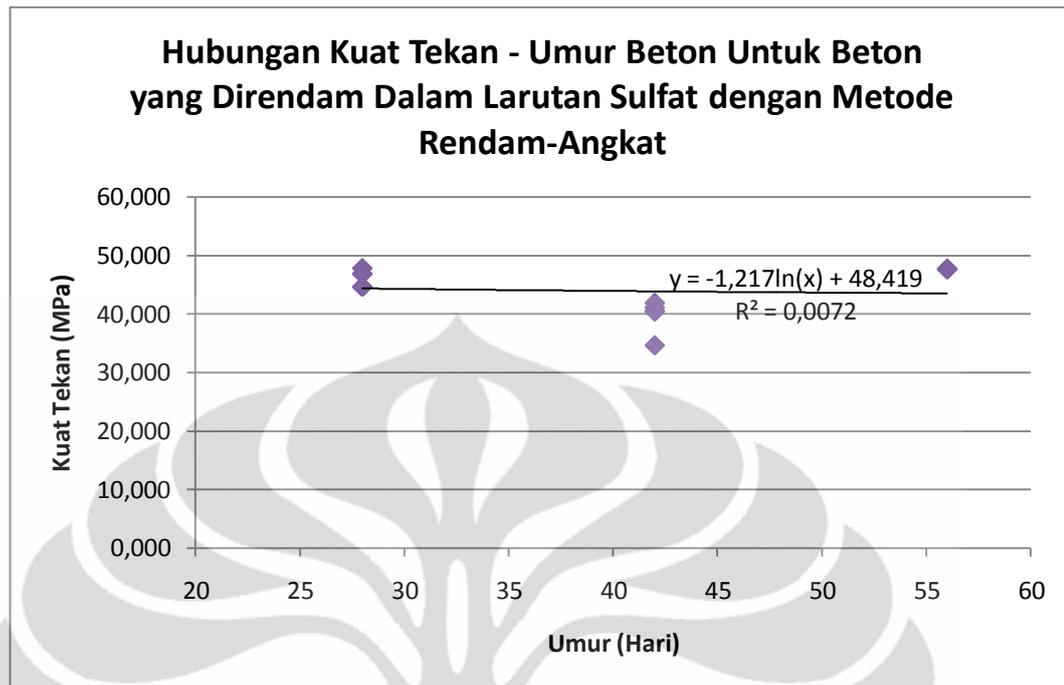
Gambar 4.9. Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Suling



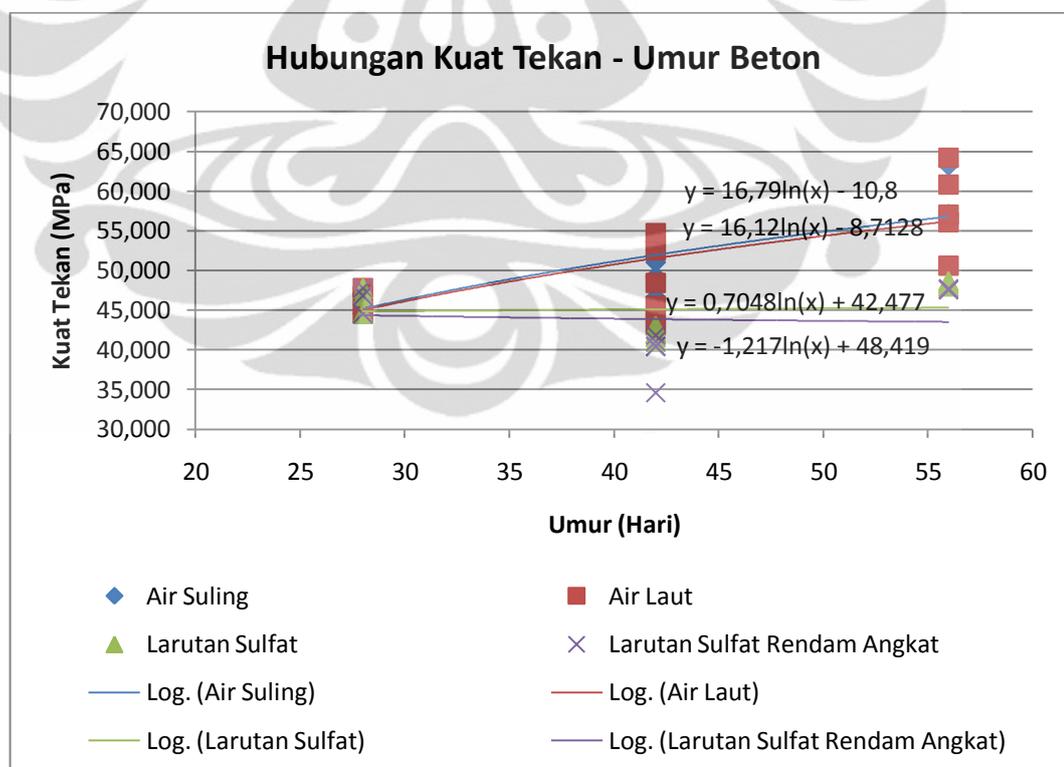
Gambar 4.10. Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Laut



Gambar 4.11. Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 %



Gambar 4.12. Kuat Tekan vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 % dengan Metode Perendaman Rendam Angkat



Gambar 4.13. Kuat Tekan vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda

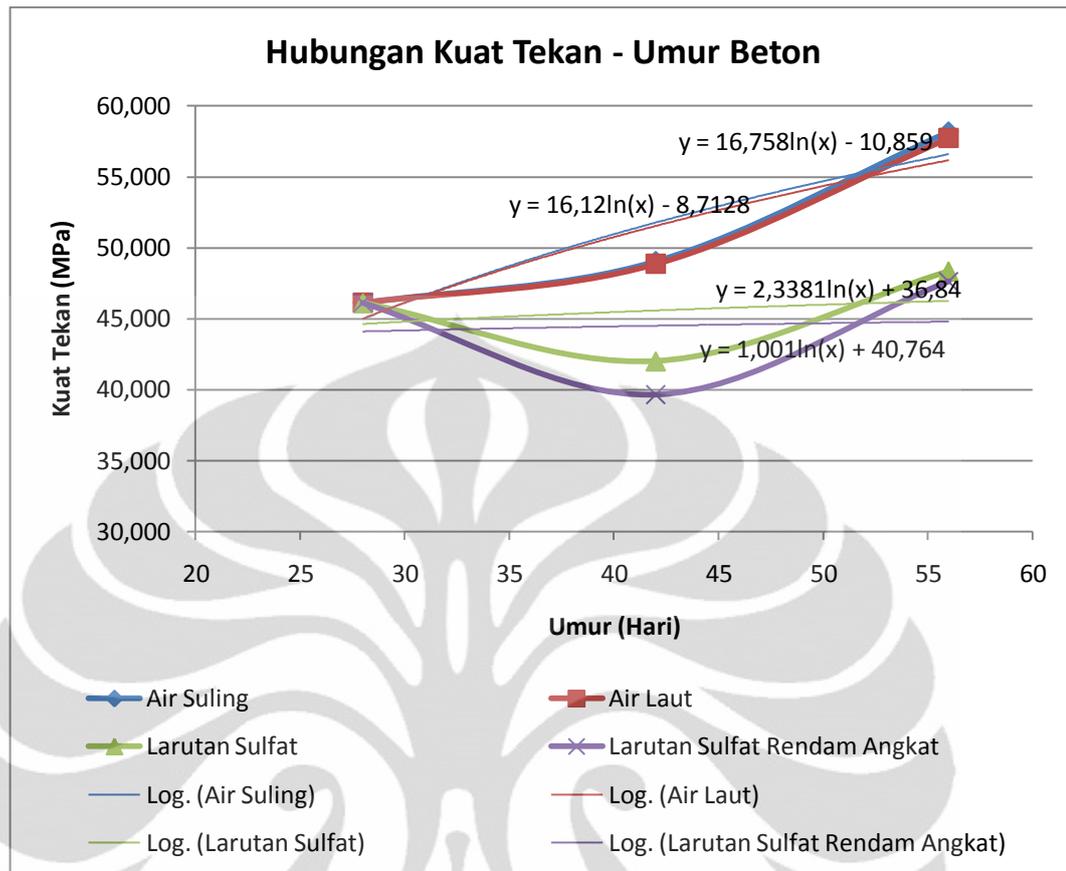
Berdasarkan pada kelima grafik di atas, dapat dilihat bahwa perilaku perkembangan kuat tekan untuk beton berbeda untuk setiap jenis perendaman. Gambar 4.9 menunjukkan bahwa untuk beton yang direndam dalam air suling kuat tekan beton meningkat sesuai dengan peningkatan umur beton. Hal ini berkesesuaian dengan teori yang menyebutkan bahwa kekuatan beton akan meningkat sesuai dengan meningkatnya umur beton diakarenakan oleh proses hidrasi yang terus berlanjut, sehingga pengikat tambahan akan terbentuk antara butiran semen yang akan menyebabkan penguatan sistem (Edward G. Nawy, 2008). Beton akan mencapai mencapai kekuatan 100% pada umur 28 hari.

Tren yang terjadi pada sampel beton yang direndam dalam air laut juga demikian. Ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 dimana kuat tekan beton masih dapat bertambah sesuai dengan peningkatan umur, namun tetap terjadi penurunan kekuatan. Akan tetapi penurunan kekuatan yang terjadi relatif kecil. Hal ini dimungkinkan karena kadar sulfat dalam air laut yang relatif kecil, yaitu 0,2%, sehingga pengaruhnya tidak terlalu signifikan untuk beton yang berumur 42 dan 56 hari. Dengan hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II, dalam jangka pendek, relatif dapat bertahan dalam lingkungan air laut dengan kadar sulfat 0,2%. Namun, hal tersebut belum memperhitungkan kombinasi antara kondisi pasang surut dengan pembebanan yang secara aktual terjadi di lapangan.

Gambar 4.11 merupakan grafik tren dari beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5%. Sama seperti benda uji yang direndam dalam air suling dan air laut, grafik tren yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa kuat tekan beton masih meningkat sesuai umur beton, namun penurunan kekuatan yang terjadi relatif lebih besar bila dibandingkan dengan penurunan kekuatan yang terjadi pada benda uji yang direndam dalam air laut dan penurunan yang terjadi semakin besar sesuai dengan lamanya perendaman. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan dari FX. Supartono, 1999, bahwa tingkat kecepatan dari serangan sulfat dipengaruhi oleh konsentrasi dari sulfat dalam lingkungannya. Bila konsentrasi sulfat lebih tinggi, maka tingkat kecepatan agresi sulfat akan semakin tinggi akibat semakin cepatnya reaksi yang terjadi antara sulfat dengan produk hidrasi semen.

Sedangkan Gambar 4.12 yang merupakan grafik tren dari beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% dengan metode perendaman rendam angkat menunjukkan tren perkembangan kuat tekan yang berbeda dengan beton yang direndam dalam air suling. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa tren yang terjadi adalah kuat tekan beton berkurang sesuai dengan bertambahnya umur beton. Penurunan kekuatan yang terjadi apabila dibandingkan dengan beton yang direndam dalam air suling juga sangat signifikan.

Bila dibandingkan antara Gambar 4.11 dengan Gambar 4.12, maka dapat dilihat bahwa kecenderungan penurunan kuat tekan pada Grafik 4.12 lebih besar. Hal ini dapat dikatakan bahwa kondisi pasang surut air laut memberikan pengaruh pada penurunan kuat tekan beton dimana kondisi pasang surut ini akan mengurangi kekuatan beton lebih besar dari kondisi tanpa pasang surut. Perbedaan yang terjadi berdasarkan penelitian adalah sekitar 1,22%. Berdasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya, hal tersebut dikarenakan akibat karena kondisi pasang surut dapat menyebabkan supersaturasi dan kristalisasi garam magnesium sulfat pada daerah yang dekat dengan permukaan beton. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, saat kondisi pasang air dan garam sulfat yang terlarut akan masuk melalui pori beton (supersaturasi) dan saat kondisi surut air akan menguap dan menyebabkan garam sulfat tetap berada dalam beton (kristalisasi). Hal tersebut akan memperbesar kemampuan sulfat melakukan intrusi ke dalam beton.



Gambar 4.14. Kuat Tekan Rata-Rata vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda

Apabila ditinjau berdasarkan titik rata-rata seperti pada Gambar 4.14, pada beton umur 42 hari terdapat suatu kesalahan. Pada kuat tekan beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% tanpa dan dengan metode rendam angkat nilai kuat tekan pada umur 42 hari lebih kecil bila dibandingkan dengan kuat tekan 28 hari, namun meningkat lagi pada umur 56 hari. Sedangkan, beton yang direndam dalam air suling dan air laut perkembangan kekuatan dari umur 28 hari ke 42 hari tidak begitu besar, namun meningkat secara signifikan pada umur 56 hari. Hal ini dimungkinkan bahwa semen yang digunakan saat pengecoran benda uji untuk umur 42 hari telah sedikit menggumpal dimana semen yang menggumpal ini akan sulit untuk bereaksi dengan air dan tidak mampu mengikat agregat dengan baik, sehingga kekuatannya akan menurun. Sedangkan, pada pengecoran benda uji umur 56 hari semen yang digunakan masih sangat baik.

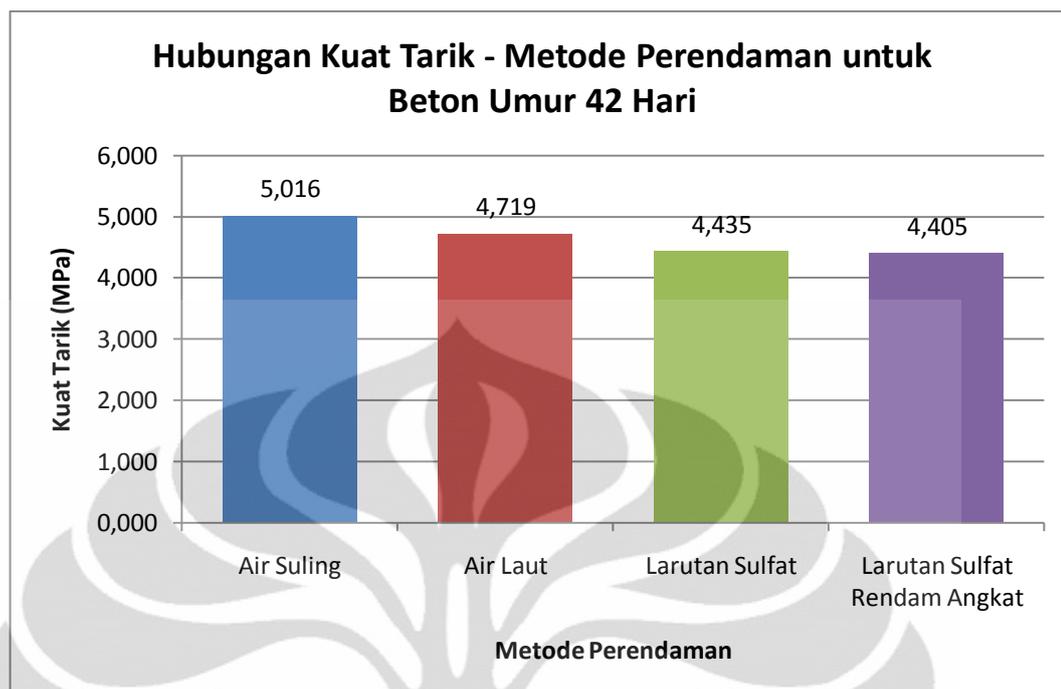
4.8 PENGARUH SULFAT TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON PEMADATAN SENDIRI YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE II

Pengujian kuat tarik beton dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sulfat terhadap kuat tarik belah beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II dengan 4 jenis perendaman yang dilakukan pada beton keras setelah 28 hari. Jenis perendamannya adalah direndam dalam air suling, direndam dalam air laut dengan kadar sulfat 0,2 %, larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5%, dan larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5% dengan metode rendam angkat (*drying-immersion cycle*). Benda uji yang digunakan adalah beton silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28, 42, dan 56 hari.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton pada umur 28 hari adalah 4,671 MPa, sedangkan pada umur 42 hari dan 56 hari ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Benda Uji Umur 42 Hari

Jenis Perendaman	Kuat Tarik Belah rata-rata (MPa)	Penurunan Kuat Tarik Belah (%)
Air suling	5,016	0
Air laut, sulfat 0,2%	4,739	5,92
Larutan MgSO ₄ 5%	4,435	11,58
Larutan MgSO ₄ dengan metode rendam angkat	4,405	12,18



Gambar 4.15. Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Belah Benda Uji Umur 42 Hari

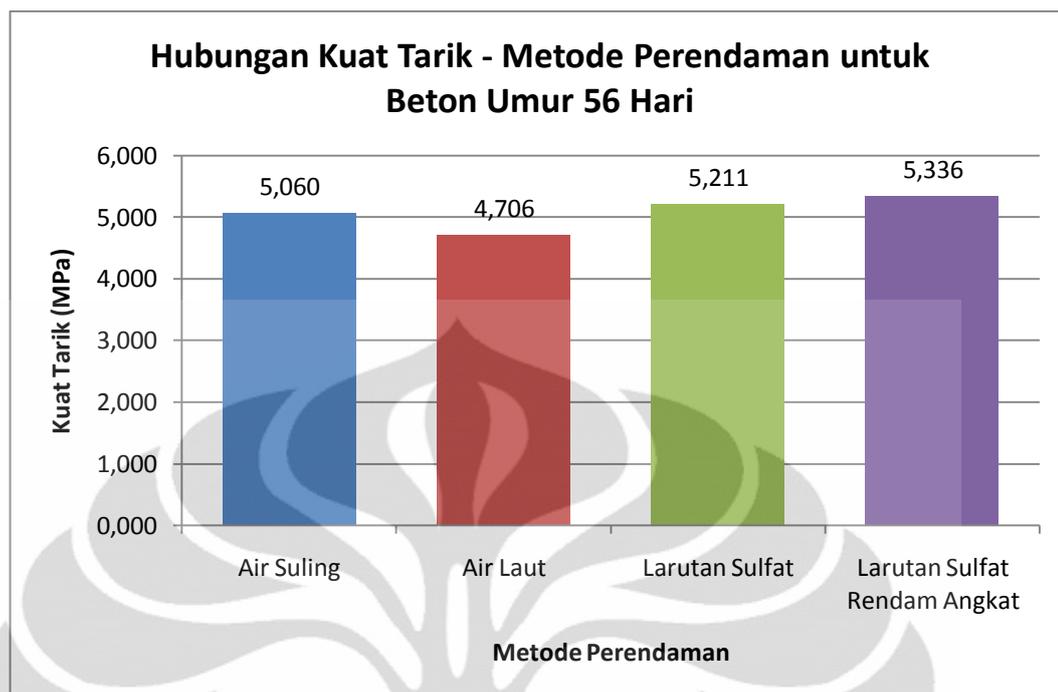
Tabel 4.9 dan Gambar 4.15 menunjukkan seberapa besar pengaruh dari sulfat terhadap kuat tarik belah pada benda uji umur 42 hari. Benda uji yang direndam dalam air laut memiliki penurunan kuat tarik belah yang cukup signifikan yaitu sebesar 5,92% bila dibandingkan dengan kuat tarik belah pada benda uji yang direndam dalam air suling. Begitu juga pada benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat tanpa dan dengan metode rendam angkat dimana kuat tarik belah beton juga mengalami penurunan. Penurunan yang terjadi adalah 11,58% untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat tanpa menggunakan metode rendam angkat dan 12,18% untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat dengan metode rendam angkat.

Berdasarkan pada penelitian Andrew J. Boyd dan Sidney Mindess pada tahun 2004 didapatkan bahwa penurunan kuat tarik pada benda uji yang direndam dalam larutan sulfat berlangsung lebih cepat bila dibandingkan penurunan kuat tekannya. Hal ini dikarenakan sensitifitas yang tinggi dari kuat tarik terhadap retak yang diakibatkan serangan sulfat. Namun, dalam penelitian ini, penurunan kekuatan tarik belah yang terjadi pada benda uji umur 42 hari untuk beton yang

direndam dalam magnesium sulfat lebih kecil bila dibandingkan dengan penurunan kuat tekan pada umur yang sama. Hal tersebut dapat dikarenakan perendaman yang masih sebentar sehingga keretakan akibat serangan sulfat tidak terlalu besar. Selain itu, hal tersebut juga dapat dikarenakan oleh pengurangan air yang cukup banyak, sekitar 550-1000 ml, pada saat pembuatan benda uji kuat tarik belah yang akan direndam dalam larutan magnesium sulfat yang mengakibatkan rasio air semen berkurang menjadi sekitar 0,39-0,42. Berkurangnya air semen ini akan mengurangi porositas dan sekaligus meningkatkan sifat mekanis dan menghambat difusi sulfat ke dalam beton sehingga efek serangan sulfat lebih kecil.

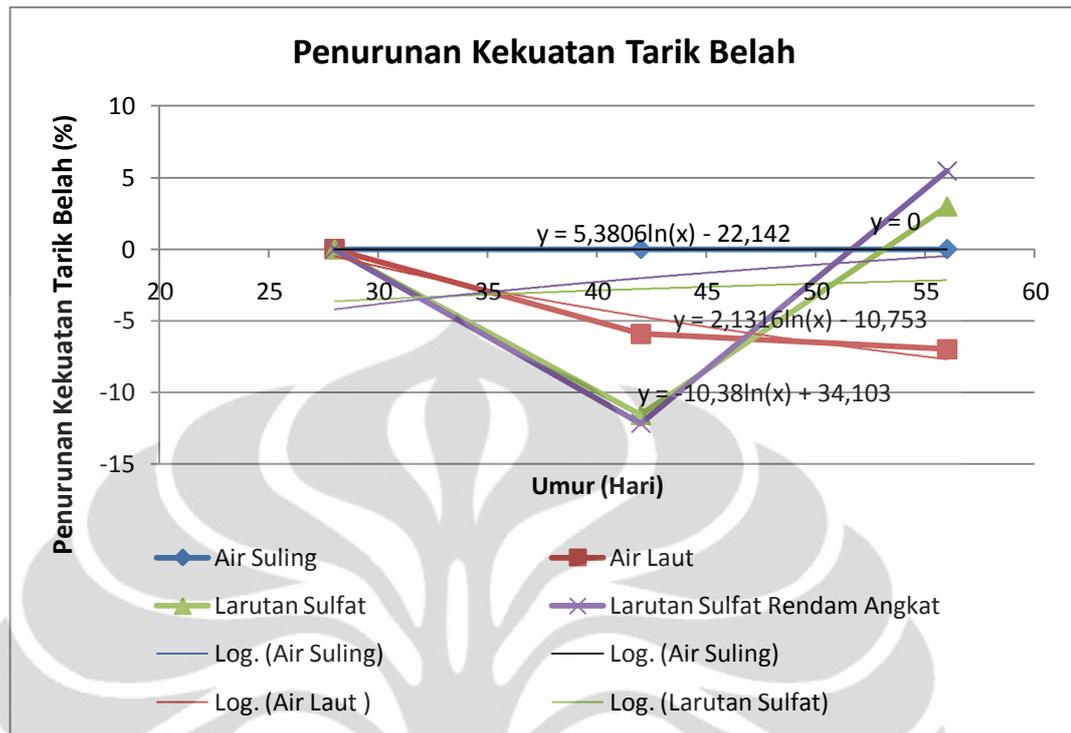
Tabel 4.10. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Benda Uji Umur 56 Hari

Jenis Perendaman	Kuat Tarik Belah rata-rata (MPa)	Penurunan Kuat Tarik Belah (%)
Air suling	5,06	0
Air laut, sulfat 0,2%	4,706	6,99
Larutan MgSO ₄ 5%	5,211	-2,97
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	5,336	-5,45



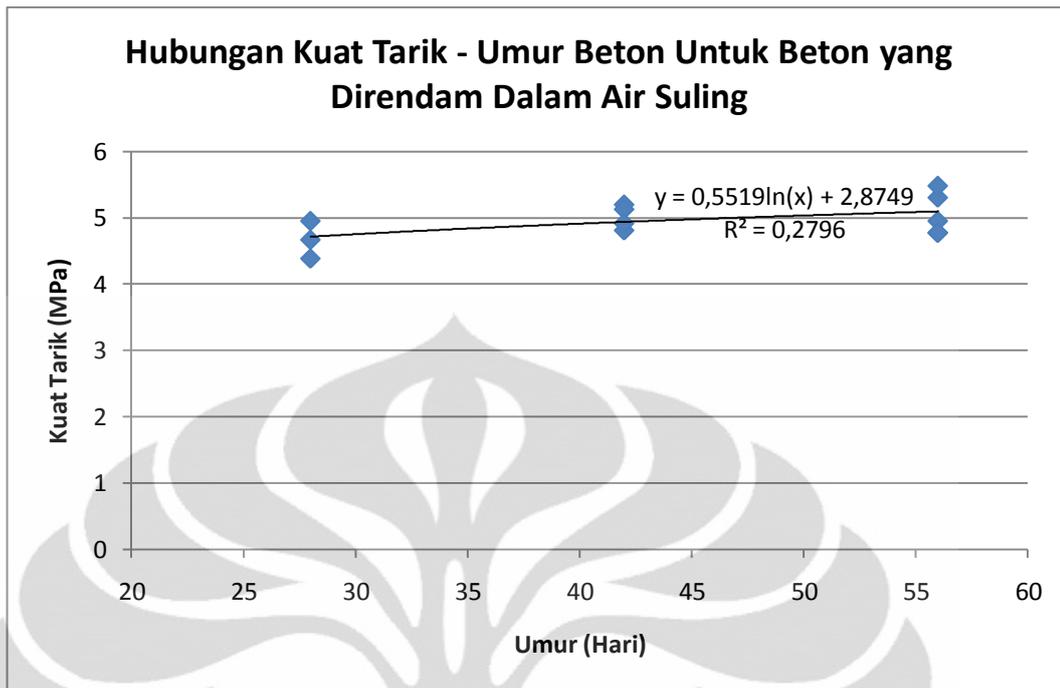
Gambar 4.16. Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Belah Benda Uji Umur 56 Hari

Berbeda dengan yang terjadi pada beton umur 42 hari, pada beton umur 56 hari kuat tarik belah yang didapatkan untuk keempat jenis perendaman berdasarkan hasil penelitian ditemui suatu kesalahan, dimana kuat tarik belah untuk beton yang direndam dalam air suling dan air laut lebih kecil bila dibandingkan dengan benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat. Hal tersebut dikarenakan oleh kesalahan saat pembuatan benda uji yang akan direndam dalam air suling dan air laut. Saat pengecoran, material-material belum teraduk secara merata, terjadi *bleeding* dan segregasi pada campuran beton segar. Hal tersebut mengakibatkan kekuatan beton tidak sesuai dengan yang dirancang dan pada akhirnya dijumpai suatu kesalahan pada data yang dihasilkan. Selain itu, saat pembuatan beberapa benda uji yang akan direndam dalam larutan magnesium sulfat dengan dan tanpa metode rendam angkat dilakukan pengurangan air sebanyak 300 ml. Hal tersebut menyebabkan rasio air semen menjadi lebih kecil yang berakibat pada peningkatan kuat tarik belah beton dari yang telah dirancang sebelumnya serta memperkecil efek serangan sulfat.

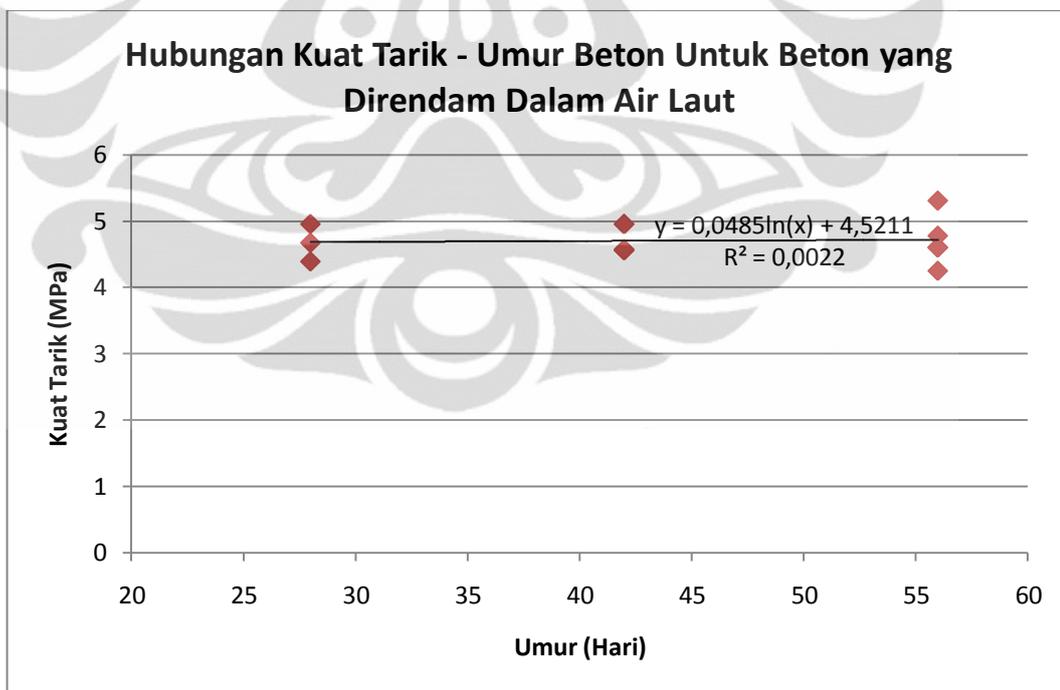


Gambar 4.17. Penurunan Kuat Tarik Belah vs Umur Beton

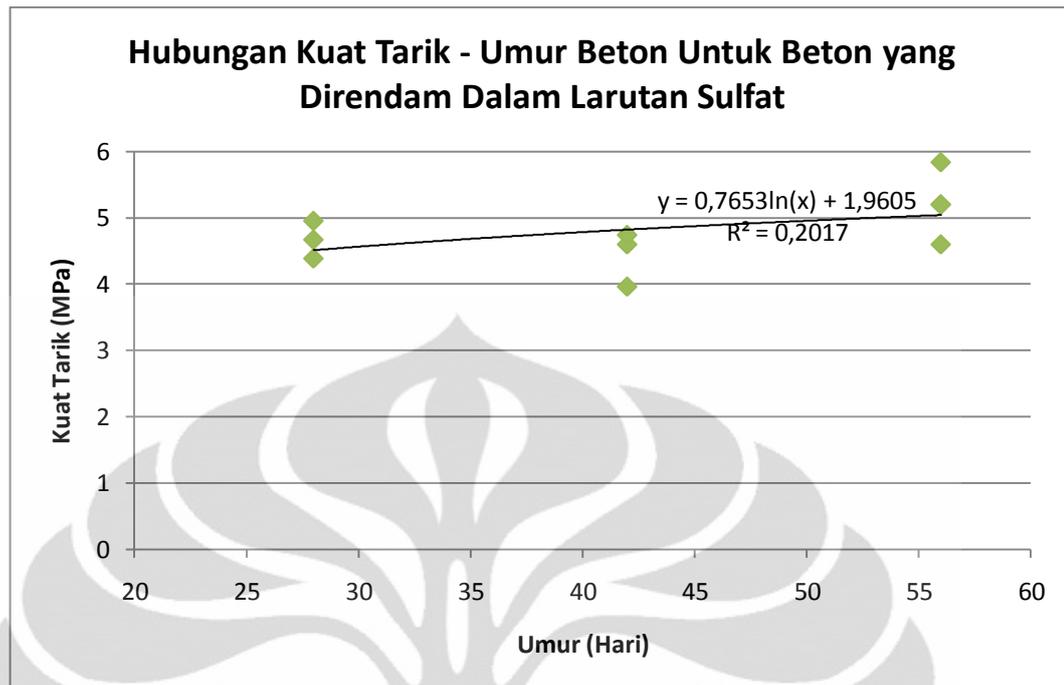
Kesalahan juga dapat terlihat dari tren penurunan kekuatan tarik belah dari benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat relatif terhadap kuat tarik belah benda uji yang direndam dalam air suling. Pada grafik dapat dilihat bahwa tren yang terjadi bukan semakin menurun melainkan semakin membesar sesuai lamanya perendaman.



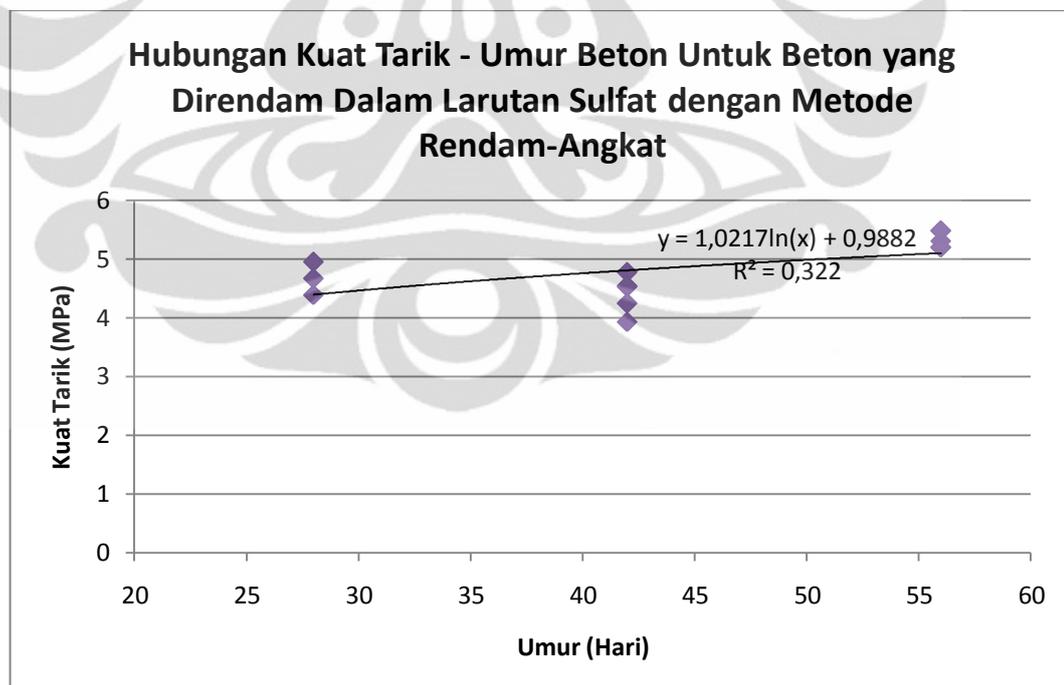
Gambar 4.18. Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Suling



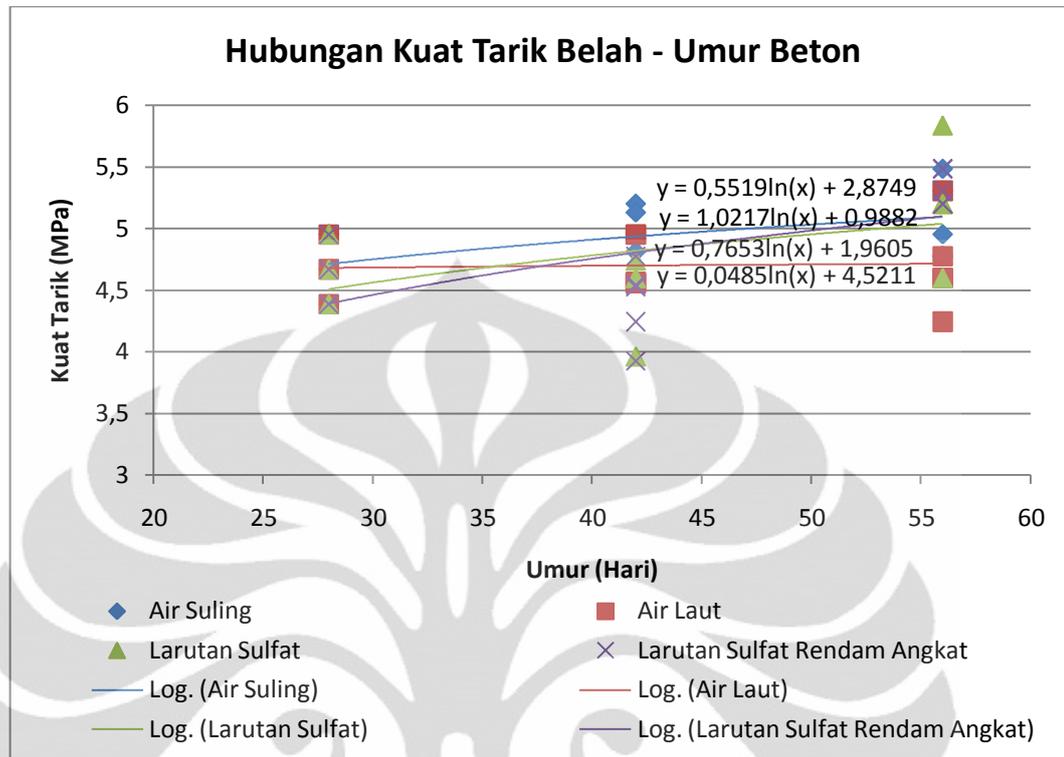
Gambar 4.19. Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Laut



Gambar 4.20. Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 %

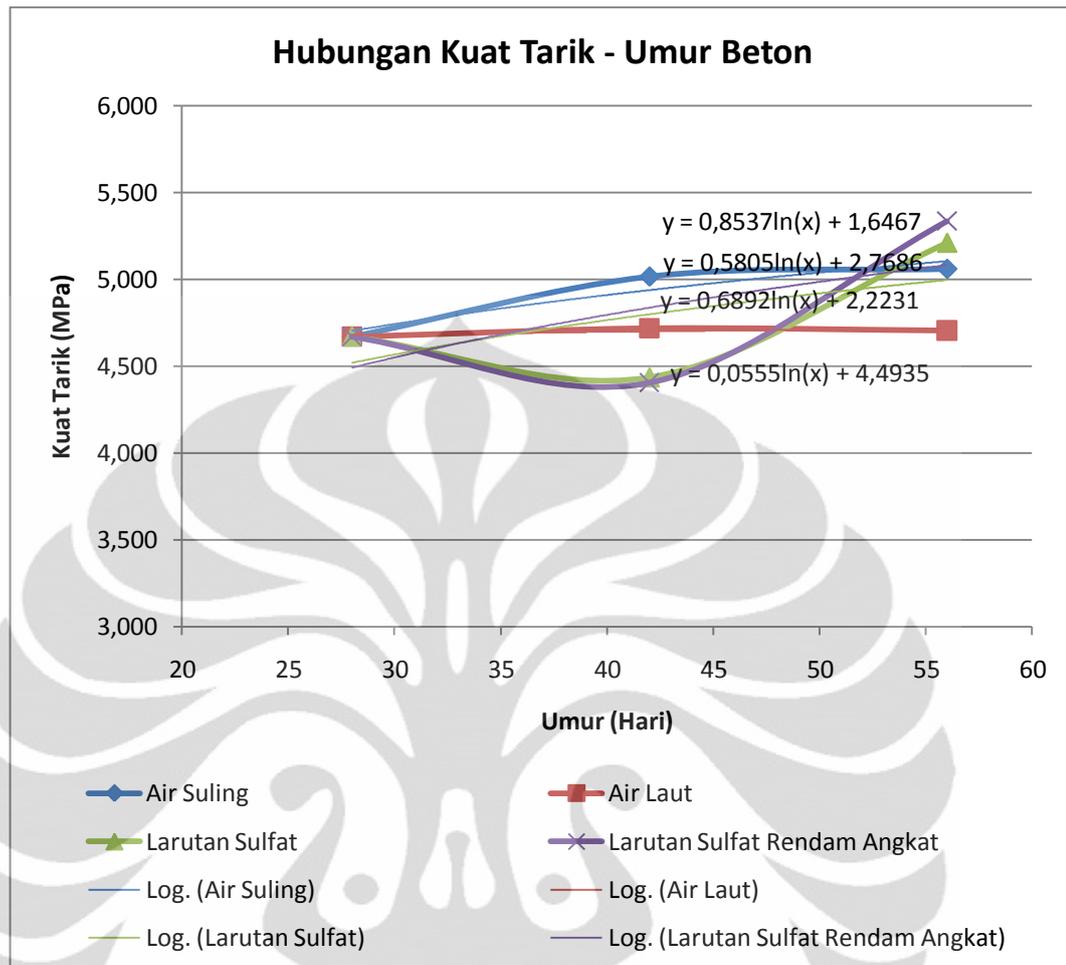


Gambar 4.21. Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 % dengan Metode Perendaman Rendam Angkat



Gambar 4.22. Kuat Tarik Belah vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda

Jika melihat tren perkembangan kuat tarik belah yang terjadi untuk keempat jenis perendaman, maka akan ditemukan kesalahan yang serupa dimana tingkat perkembangan kekuatan dari benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat lebih tinggi bila dibandingkan dengan benda uji yang direndam dalam air suling dan air laut. Hal ini dapat dilihat dari persamaan trendline logaritmik yang dibentuk berdasarkan data hasil percobaan. Pada persamaan logaritmik tersebut dapat dilihat bahwa gradien atau tingkat kemiringan grafik untuk benda uji yang direndam dalam air suling lebih kecil dari pada benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat. Hal ini dikarenakan oleh data yang didapatkan pada benda uji umur 56 hari dimana kuat tarik pada beton yang direndam dalam air suling tidak mengalami perkembangan kekuatan yang signifikan dari kuat tarik umur 42 hari, sehingga kemiringan grafik tren yang terjadi menjadi kecil.



Gambar 4.23. Kuat Tarik Belah Rata-Rata vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda

Sama seperti yang ditemui dalam data kuat tekan beton, apabila ditinjau berdasarkan titik rata-rata seperti pada Gambar 4.23, pada beton umur 42 hari terdapat suatu kesalahan. Pada kuat tarik belah beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% tanpa dan dengan metode rendam angkat nilai kuat tekan pada umur 42 hari lebih kecil bila dibandingkan dengan kuat tekan 28 hari, namun meningkat lagi pada umur 56 hari. Penyebab penurunan kuat tarik belah pada umur 42 hari ini sama seperti penyebab turunnya kuat tekan pada umur yang sama, yaitu karena semen yang digunakan untuk pembuatan campuran beton telah sedikit menggumpal.

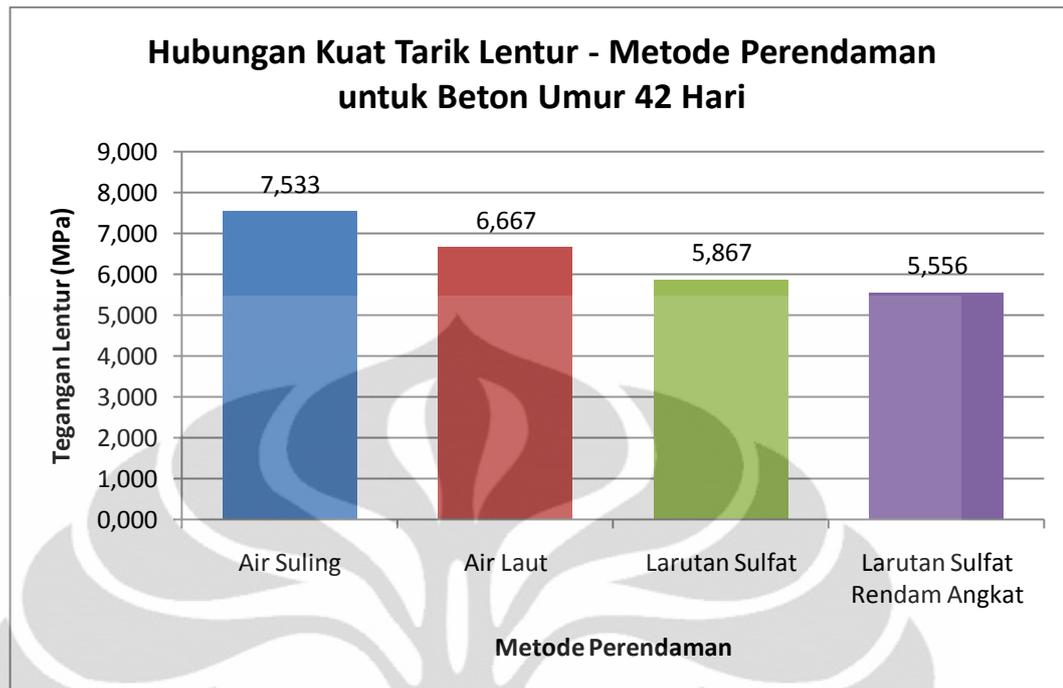
4.9 PENGARUH SULFAT TERHADAP KUAT TARIK LENTUR BETON PEMADATAN SENDIRI YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE II

Pengujian kuat tarik lentur beton dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sulfat terhadap kuat tarik lentur beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II dengan 4 jenis perendaman yang dilakukan pada beton keras setelah 28 hari. Jenis perendamannya adalah direndam dalam air suling, direndam dalam air laut dengan kadar sulfat 0,2 %, larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5%, dan larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5% dengan metode rendam angkat (*drying-immersion cycle*). Benda uji yang digunakan adalah beton silinder berukuran sisi 15 cm dan panjang 60 cm pada umur 28, 42, dan 56 hari.

Hasil Pengujian kuat tarik belah beton pada umur 28 hari adalah 5,911 MPa, sedangkan pada umur 42 hari dan 56 hari ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

Tabel 4.11. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Pada Benda Uji Umur 42 Hari

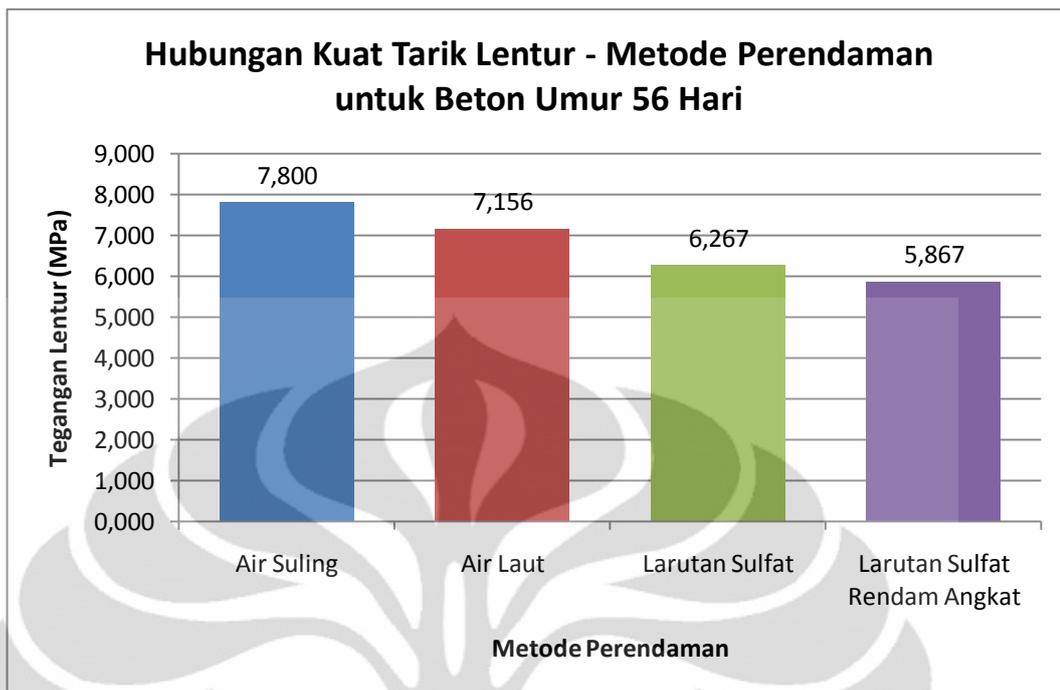
Jenis Perendaman	Kuat Tarik Lentur rata-rata (MPa)	Penurunan Kuat Tarik Lentur (%)
Air suling	7,533	0
Air laut, sulfat 0,2%	6,667	11,50
Larutan MgSO ₄ 5%	5,867	22,25
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	5,556	26,25



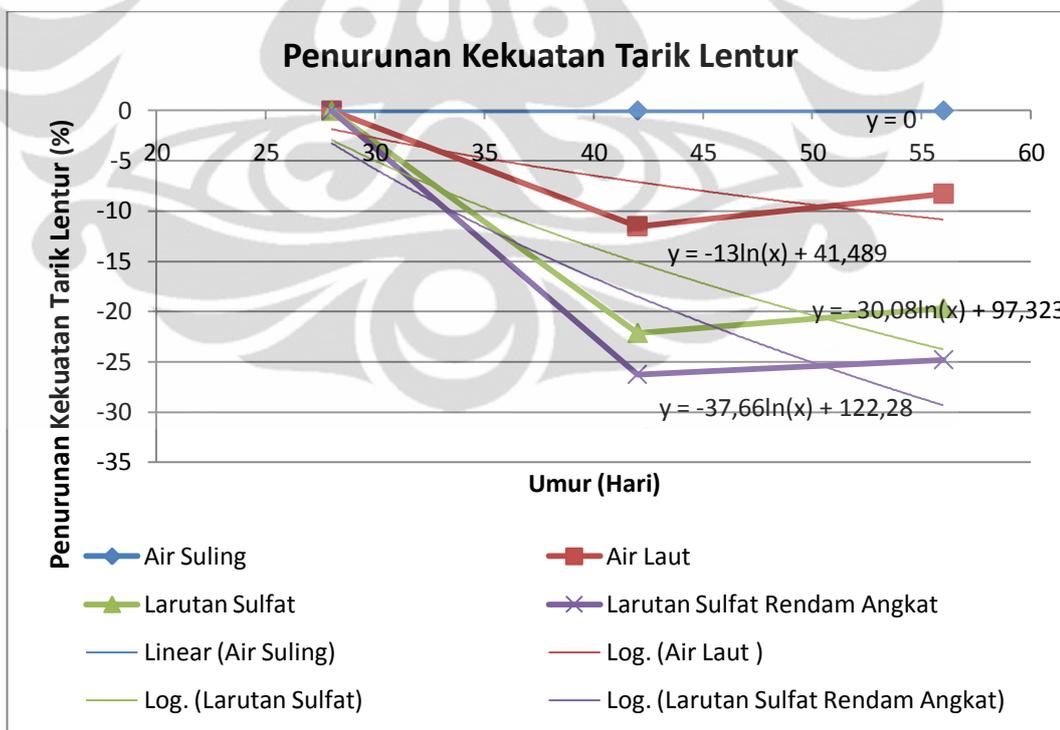
Gambar 4.24. Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Lentur Benda Uji Umur 42 Hari

Tabel 4.12. Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Pada Benda Uji Umur 56 Hari

Jenis Perendaman	Kuat Tarik Lentur rata-rata (MPa)	Penurunan Kuat Tarik Lentur (%)
Air suling	7,8	0
Air laut, sulfat 0,2%	7,156	8,26
Larutan MgSO ₄ 5%	6,267	19,66
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	5,867	24,79



Gambar 4.25. Pengaruh Metode Perendaman Terhadap Kuat Tarik Lentur Benda Uji Umur 56 Hari



Gambar 4.26. Penurunan Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton

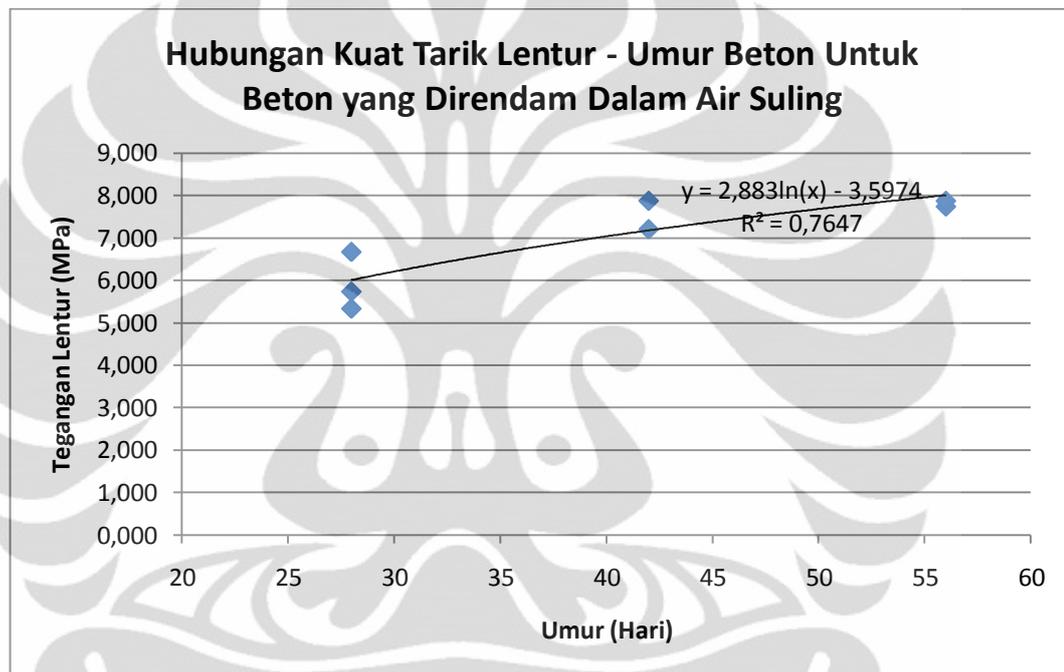
Tabel 4.11 dan Gambar 4.24 menunjukkan seberapa besar pengaruh dari sulfat terhadap kuat tarik lentur pada benda uji umur 42 hari. Untuk benda uji yang direndam dalam air laut dengan kadar 0,2% selama 14 hari didapatkan kekuatan lentur beton yang lebih kecil 11,5% bila dibandingkan dengan benda uji yang direndam dalam air suling. Penurunan juga terjadi pada benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% tanpa dan dengan metode rendam angkat dimana penurunan yang terjadi adalah 22,12% dan 26,25%. Bila dilihat dari hasil tersebut, penurunan yang terjadi pada beton umur 42 hari yang direndam dalam air laut dan larutan magnesium sulfat sangat signifikan. Hal tersebut dikarenakan oleh perbedaan kondisi semen yang digunakan dalam pembuatan campuran benda uji. Semen yang digunakan untuk pembuatan benda uji yang akan direndam dalam air suling dan sebuah benda uji yang akan direndam dalam air laut masih dalam kondisi yang cukup baik. Sebaliknya semen yang digunakan untuk pembuatan benda uji yang akan direndam dalam larutan magnesium sulfat dan dua buah benda uji yang akan direndam dalam air laut berada dalam kondisi yang lembab dan sedikit menggumpal sehingga terjadi perbedaan kekuatan yang cukup signifikan.

Pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.25 dapat dilihat seberapa besar pengaruh sulfat terhadap kuat tarik lentur benda uji umur 56 hari dimana besarnya penurunan kekuatan yang terjadi tidak berbeda jauh dengan besarnya penurunan pada benda uji umur 42 hari. Untuk benda uji yang direndam dalam air laut, penurunan kuat tarik lentur yang terjadi adalah 8,26%, sedangkan untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat terjadi penurunan sebesar 19,66%. Benda uji yang diendam dalam larutan magnesium sulfat dengan metode rendam angkat memiliki penurunan yang paling signifikan, yaitu 24,79%.

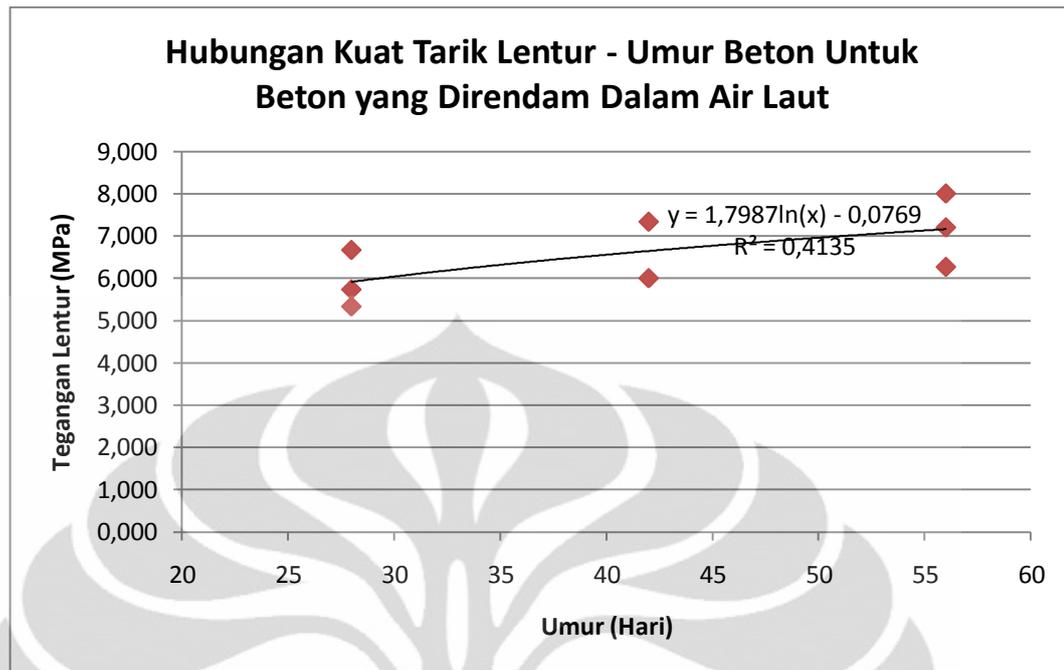
Berdasarkan pada hasil di atas dapat dijumpai bahwa penurunan kuat lentur yang terjadi ini lebih signifikan bila dibandingkan dengan penurunan kekuatan tekan maupun kekuatan tarik belah pada umur benda uji yang sama. Penurunan kuat tarik lentur yang terjadi pada beton umur 56 hari yang direndam dalam air laut sekitar 7,5% lebih besar dari penurunan kuat tekan dan 1,27% lebih besar dari penurunan kuat tarik belah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sulfat memiliki pengaruh terbesar pada kekuatan tarik lenturnya.

Pada Gambar 4.26 dapat dilihat bagaimana tren penurunan kekuatan tarik lentur yang terjadi pada beton yang direndam dalam sulfat relatif terhadap beton yang direndam dalam air suling. Tren yang terjadi juga sama seperti tren penurunan kekuatan tekan dimana besarnya penurunan bertambah sesuai dengan lamanya beton terendam dalam sulfat.

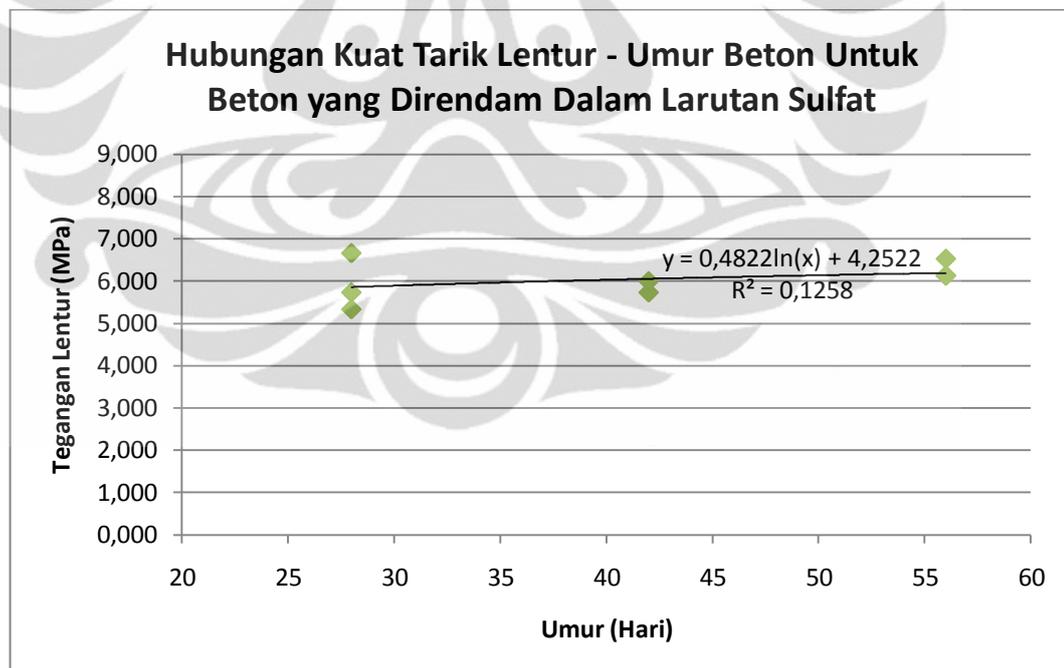
Grafik-grafik di bawah ini menunjukkan tren perkembangan kuat tarik lentur benda uji dari keempat jenis perendaman.



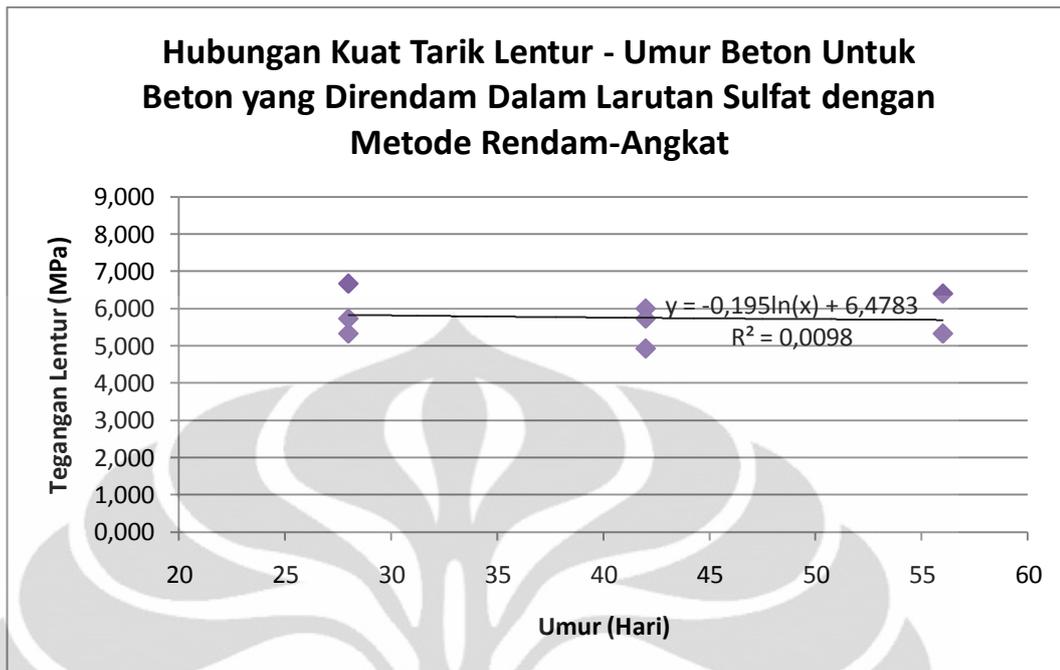
Gambar 4.27. Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Suling



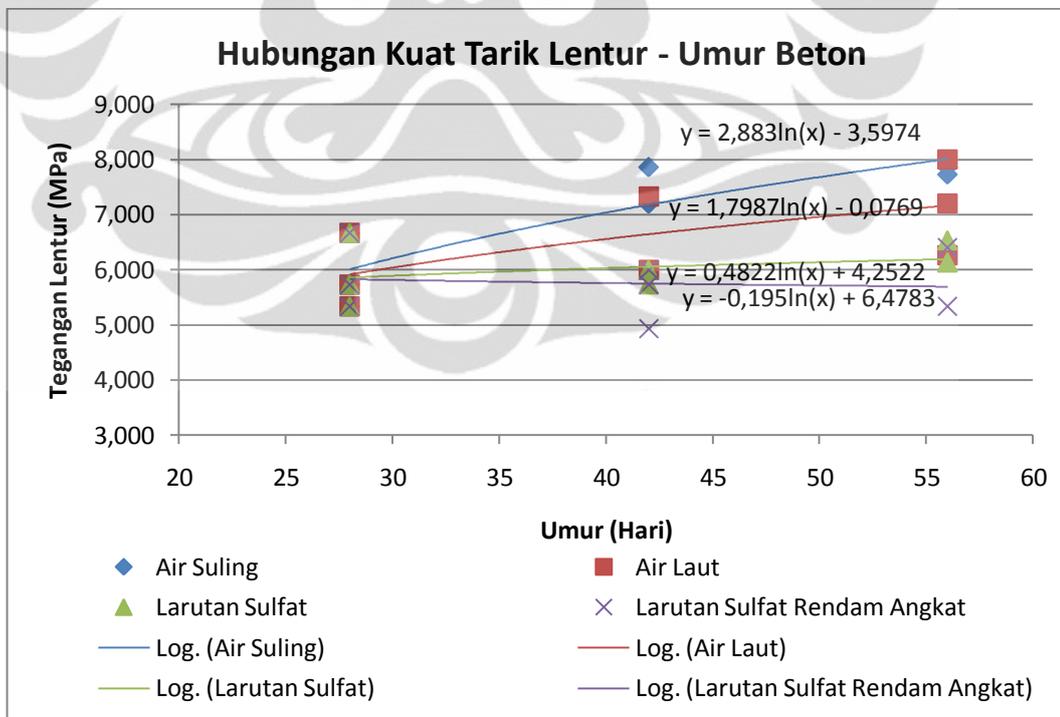
Gambar 4.28. Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Air Laut



Gambar 4.29. Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 %

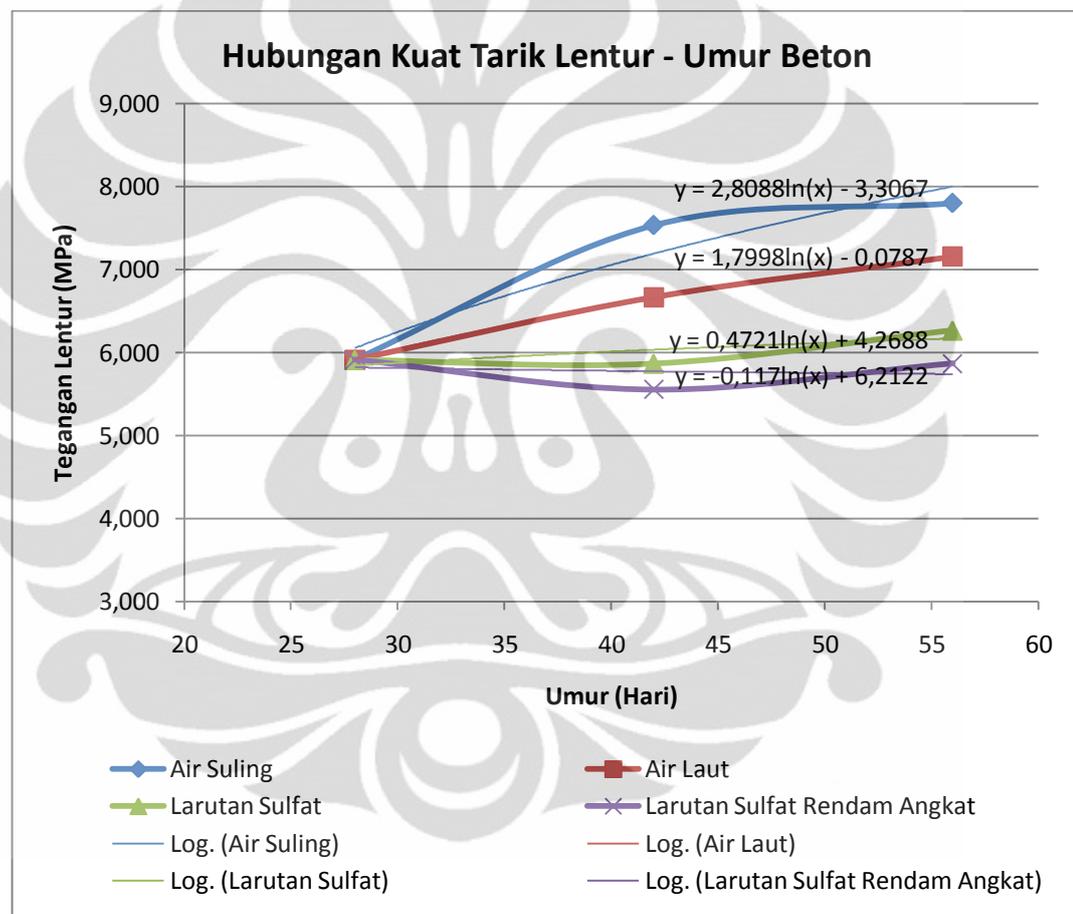


Gambar 4.30. Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Untuk Beton yang Direndam Dalam Larutan Magnesium Sulfat 5 % dengan Metode Perendaman Rendam Angkat



Gambar 4.31. Kuat Tarik Lentur vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda

Sama seperti tren perkembangan kuat tekan beton, perkembangan kuat tarik lentur juga menunjukkan tren yang serupa dimana benda uji yang direndam dalam air suling, air laut, dan larutan magnesium sulfat memiliki tren perkembangan kekuatan yang meningkat sesuai dengan umur benda uji, sedangkan benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat dengan metode rendam angkat memiliki tren perkembangan kekuatan yang cenderung turun sesuai dengan meningkatnya umur benda uji.



Gambar 4.32. Kuat Tarik Lentur Rata-Rata vs Umur Beton Dengan Metode Perendaman yang Berbeda

Ditinjau berdasarkan titik rata-rata seperti pada Gambar 4.33, pada beton umur 42 hari terdapat suatu kesalahan sama seperti apa yang terjadi pada kuat tekan dan kuat tarik belah. Pada kuat tekan beton yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5% tanpa dan dengan metode rendam angkat nilai kuat tarik

lentur pada umur 42 hari lebih kecil bila dibandingkan dengan kuat tarik lentur pada umur 28 hari, namun meningkat lagi pada umur 56 hari. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, kesalahan ini diakibatkan karena semen yang digunakan untuk pembuatan benda uji umur 42 hari telah sedikit menggumpal, sehingga kekuatan beton tidak sesuai dengan yang direncanakan. Perilaku tersebut tidak terjadi pada benda uji tidak terjadi pada benda uji yang direndam dalam air suling dan air laut. Hal ini dikarenakan saat pengecoran benda uji untuk kuat tarik lentur yang akan direndam dalam air suling dan beberapa benda uji yang akan direndam dalam air laut kondisi semen yang digunakan masih baik.

4.10 PENGARUH SULFAT TERHADAP PERMEABILITAS BETON PEMADATAN SENDIRI YANG MENGGUNAKAN SEMEN PORTLAND TIPE II

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sulfat terhadap tingkat kelolosan air beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II dengan 4 jenis perendaman yang dilakukan pada beton keras setelah 28 hari. Jenis perendamannya adalah direndam dalam air suling, direndam dalam air laut dengan kadar sulfat 0,2 %, larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5%, dan larutan magnesium sulfat dengan kadar sulfat 5% dengan metode rendam angkat (*drying-immersion cycle*). Benda uji yang digunakan adalah beton kubus berukuran sisi 15 cm x 15 cm x 15 cm pada umur 42 hari.

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Permeabilitas Pada Benda Uji Umur 42 Hari

Jenis Perendaman	Intrusi yang terjadi (cm)	Peningkatan Intrusi (%)
Air suling	1,12	0
Air laut, sulfat 0,2%	1,72	54,33
Larutan MgSO ₄ 5%	1,98	76,87
Larutan MgSO ₄ 5% dengan metode rendam angkat	2,32	107,46

Tabel 4.13 menunjukkan data yang dihasilkan untuk pengujian permeabilitas untuk beton umur 42 hari dengan 4 jenis perendaman, yaitu dalam air suling, air laut, larutan magnesium sulfat 5%, dan larutan magnesium sulfat 5% dengan metode perendaman rendam angkat. Data yang didapatkan berupa besarnya intrusi air yang terjadi ke dalam beton keras. Dalam tabel tersebut dapat dilihat bahwa besarnya intrusi yang terjadi pada benda uji yang direndam dalam sulfat lebih besar dari benda uji yang direndam dalam air suling. Hal tersebut menunjukkan tingkat kelolosan air pada benda uji yang direndam dalam sulfat lebih besar. Hal ini dikarenakan oleh ion sulfat yang terdapat dalam air laut bereaksi dengan semen terhidrasi yang menyebabkan disintegrasi material-material beton, sehingga tingkat porositasnya menjadi lebih tinggi.

4.11 HUBUNGAN ANTARA KUAT TEKAN DENGAN KUAT TARIK BELAH DAN KUAT TEKAN DENGAN KUAT TARIK LENTUR

Berdasarkan pada standar ACI 318M-05 hubungan antara kuat tekan (f_c') dan kuat tarik belah (f_t) dituliskan sebagai:

$$f_t = 0,556\sqrt{f_c'}$$

Bila dalam persamaan tersebut koefisien 0,556 yang menunjukkan hubungan antara kuat tekan dengan kuat tarik belah dimisalkan sebagai α , maka hubungan antara keduanya berdasarkan pada data hasil penelitian dapat dituliskan dalam persamaan:

$$\alpha = \frac{f_t}{\sqrt{f_c'}}$$

Tabel 4.14. Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah

Jenis Perendaman	Umur Benda Uji (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	α	α rata-rata
Air suling	28	46,115	4,671	0,688	0,689
	42	49,047	5,016	0,716	
	56	58,194	5,060	0,663	
Air laut, sulfat 0,2%	42	48,861	4,719	0,675	0,647
	56	57,743	4,706	0,619	
Larutan magnesium sulfat 5%	42	42,004	4,435	0,684	0,717
	56	48,343	5,211	0,749	
Larutan magnesium sulfat 5% R-A	42	39,651	4,405	0,700	0,736
	56	47,633	5,336	0,773	

Sedangkan hubungan antara kuat tekan (f_c') dan kuat tarik lentur (f_r) berdasarkan pada standar ACI 318M-05 dituliskan sebagai:

$$f_r = 0,62\sqrt{f_c'}$$

Bila dalam persamaan tersebut koefisien 0,62 dimisalkan sebagai β , maka hubungan kuat tarik lentur dengan kuat tekan yang didapatkan dari hasil penelitian dapat dituliskan dalam persamaan:

$$\beta = \frac{f_r}{\sqrt{f_c'}}$$

Tabel 4.15. Hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Lentur

Jenis Perendaman	Umur Benda Uji (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Lentur (MPa)	β	β rata-rata
Air suling	28	46,115	5,911	0,870	0,990
	42	49,047	7,533	1,076	
	56	58,194	7,800	1,022	
Air laut, sulfat 0,2%	42	48,861	6,667	0,954	0,948
	56	57,743	7,156	0,942	
Larutan magnesium sulfat 5%	42	42,004	5,867	0,905	0,903
	56	48,343	6,267	0,901	
Larutan magnesium sulfat 5% R-A	42	39,651	5,556	0,882	0,866
	56	47,633	5,867	0,850	

Berdasarkan pada kedua tabel di atas, baik hubungan antara kuat tekan dengan kuat tarik maupun hubungan antara kuat tekan dengan kuat tarik lentur melebihi standar ACI 318M-05. Hal ini dapat diakibatkan karena saat pengecoran tidak semua benda uji berada dalam satu adukan, karena keterbatasan dari kapasitas mesin pengaduk, sehingga sulit dipastikan homogenitas antara masing-masing adukan. Selain itu, standar ACI 318M-05 ditetapkan untuk beton normal, sedangkan beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton SCC, sehingga besarnya koefisien pada dasarnya tidak sama seperti yang distandarkan ACI 318M-05.

4.12 PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN SEBELUMNYA

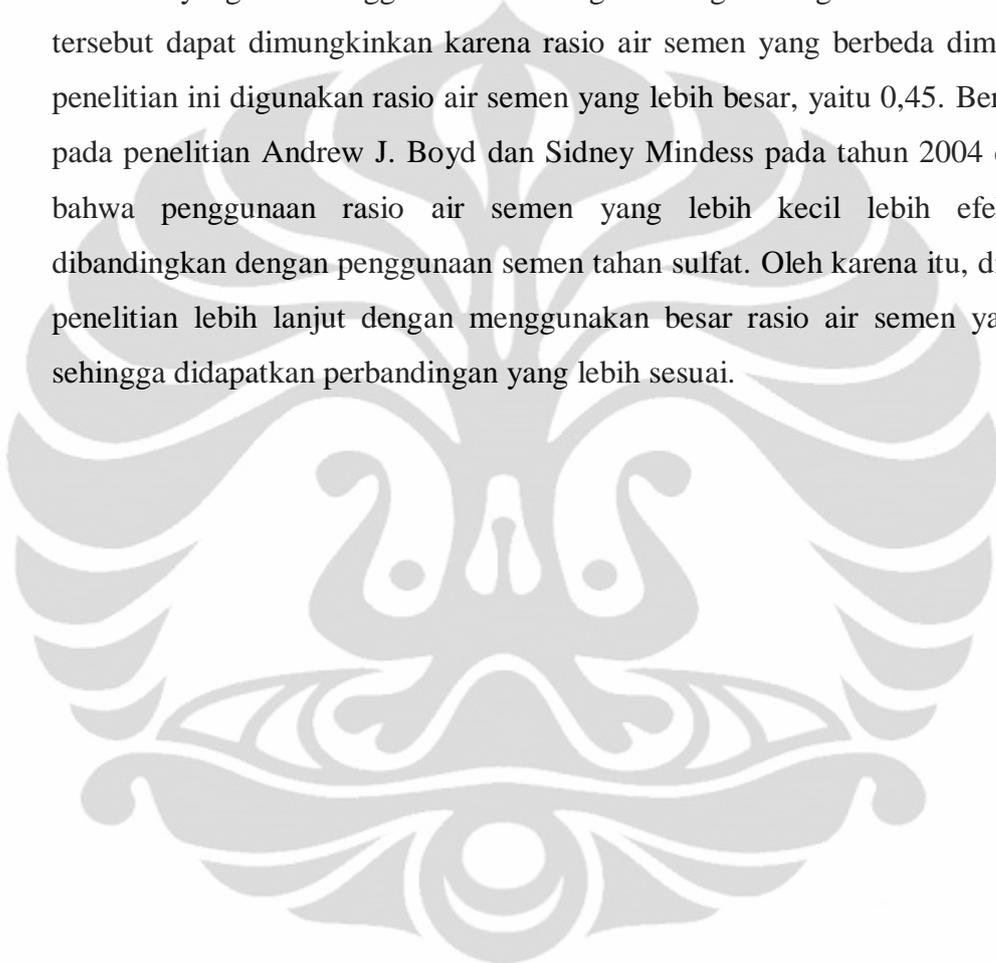
Untuk mengetahui efek dari penggunaan benton SCC yang menggunakan semen portland tipe II terhadap ketahanan sulfat, maka hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil penelitian dari FX. Supartono pada tahun 1999. Penelitian dari FX. Supartono sendiri menggunakan beton normal dan menggunakan adalah semen PCC dengan rasio air semen 0,4. Terdapat dua variasi campuran, yaitu dengan menggunakan abu terbang dengan nilai kuat tekan pada umur 28 hari yang didapatkan sebesar 42,9 MPa dan tanpa menggunakan abu terbang dengan nilai kuat tekan pada umur 28 hari yang didapatkan sebesar 48,9 MPa. Sedangkan perendaman dilakukan dalam 4 variasi, yaitu dalam air biasa, dalam larutan $MgSO_4$ 1%, 5%, dan 7%. Jenis pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan pada umur 3, 7, 14, 28, 60, dan 90 hari.

Berdasarkan pada hal tersebut, maka hasil penelitian yang akan dibandingkan adalah hasil pengujian kuat tekan pada umur 56 yang direndam dalam air suling dan larutan magnesium sulfat 5%. Pada penelitian ini kuat tekan yang didapatkan pada umur 28 hari adalah 46,11 MPa. Sedangkan pada umur 56 hari diperoleh nilai kuat tekan sebesar 58,194 MPa untuk benda uji yang direndam dalam air suling dan 48,343 MPa untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat 5%. Besarnya penurunan kekuatan yang terjadi adalah 16,93%.

Hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil penelitian FX. Supartono untuk benda uji umur 60 hari tanpa penambahan abu terbang dan direndam dalam air suling dan larutan $MgSO_4$ 5%. Nilai kuat tekan yang

didapatkan adalah 53 MPa untuk benda uji yang direndam dalam air suling dan 51,7 MPa untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat. Besarnya penurunan yang terjadi adalah 2,45%.

Bila kedua hasil tersebut dibandingkan, maka akan didapatkan bahwa beton SCC dengan menggunakan semen portland tipe II memiliki besar penurunan kekuatan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan dengan beton normal. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena rasio air semen yang berbeda dimana pada penelitian ini digunakan rasio air semen yang lebih besar, yaitu 0,45. Berdasarkan pada penelitian Andrew J. Boyd dan Sidney Mindess pada tahun 2004 diketahui bahwa penggunaan rasio air semen yang lebih kecil lebih efektif bila dibandingkan dengan penggunaan semen tahan sulfat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan besar rasio air semen yang sama sehingga didapatkan perbandingan yang lebih sesuai.



BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang ketahanan sulfat pada beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Efek dari serangan sulfat dalam jangka pendek (perendaman dalam 28 hari) tidak terlihat jelas bila ditinjau secara visual.
2. Dalam jangka pendek, serangan sulfat tidak menyebabkan kehilangan massa yang signifikan pada beton SCC dengan semen portland tipe II.
3. Serangan sulfat dalam jangka pendek menyebabkan penurunan pada kekuatan beton, yaitu sebesar 0,77% untuk kuat tekan, 5,92% untuk kuat tarik belah, dan 78,26% untuk kuat tarik lentur untuk beton yang direndam dalam air laut, serta 16,93% untuk kuat tekan, 11,58% untuk kuat tarik belah, dan 19,66% untuk kuat tarik lentur untuk beton yang direndam dalam magnesium sulfat.
4. Perilaku pasang surut ikut menyebabkan penurunan kekuatan yang semakin besar, yaitu sebesar 1,22% untuk kuat tekan, 0,6% untuk kuat tarik belah dan 5,3% untuk kuat tarik lentur.
5. Penurunan kekuatan yang terjadi akan semakin besar bila durasi perendaman semakin lama dan kadar sulfat semakin tinggi.
6. Berdasarkan pada tiga pengujian sifat mekanis beton pada penelitian ini, efek serangan sulfat paling besar terjadi pada kuat tarik lenturnya. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian kuat tarik lentur dimana penurunan kekuatan yang terjadi lebih besar 1,27% dari penurunan kuat tarik belah dan 7,5% dari penurunan kuat tekan.
7. Serangan sulfat selama 14 hari, menyebabkan tingkat kelolosan air pada beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II meningkat. Peningkatan yang terjadi adalah 54,33% untuk benda uji yang direndam dalam air laut, 76,78% untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat, dan 107,46% untuk benda uji yang direndam dalam larutan magnesium sulfat dengan pengkondisian rendam angkat.

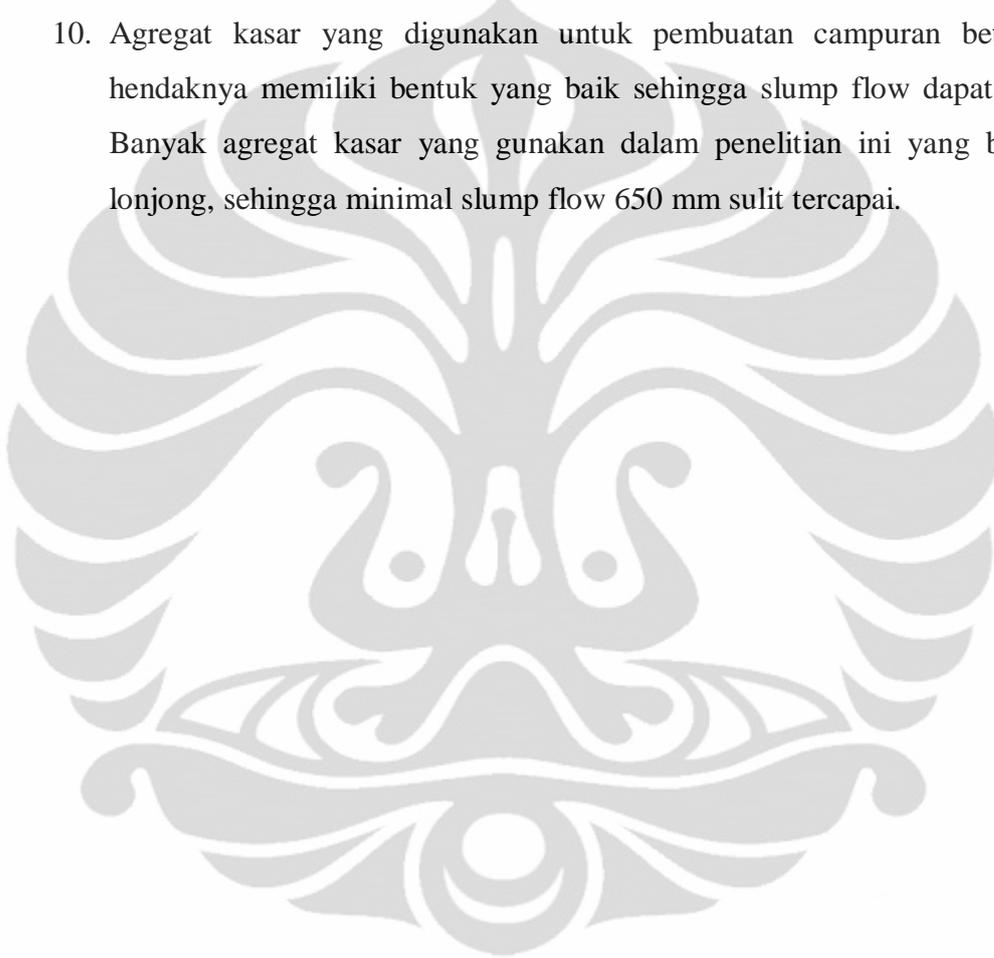
8. Kesalahan pada penelitian ini diakibatkan karena tidak konsistennya rasio air semen akibat penambahan maupun pengurangan air untuk mendapatkan *slump flow* yang disyaratkan untuk beton SCC, serta kondisi semen yang telah menggumpal.

5.2 SARAN

Dari hasil penelitian tentang ketahanan sulfat pada beton SCC yang menggunakan semen portland tipe II, saran yang dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut adalah:

1. Mengingat banyak kesalahan dalam penelitian ini, maka perlu dipertimbangkan adanya penelitian ulang.
2. Untuk penelitian selanjutnya besarnya rasio air semen dan kadar *superplasticizer* dalam pengecoran harus konsisten karena efek dari rasio air semen sangat berpengaruh pada serangan sulfat.
3. Apabila disimpan dalam jangka panjang, penyimpanan semen harus sangat diperhatikan, diusahakan agar semen tidak ditempatkan pada tempat yang tingkat kelembabannya tinggi, diberikan palet kayu pada bagian alasnya, dan setiap sak semen dibungkus dalam plastik untuk mencegah kerusakan pada semen.
4. Dalam penelitian selanjutnya perlu dilakukan permodelan untuk pengkondisian pasang surut pada penelitian sehingga sesuai dengan kondisi sebenarnya.
5. Dalam penelitian lebih lanjut perlu dilakukan perendaman yang lebih lama untuk melihat efek yang ditimbulkan sulfat dalam jangka panjang, baik terhadap bentuk visual benda uji maupun pada sifat mekanisnya.
6. Selain mempertimbangkan perilaku pasang surut, dalam penelitian selanjutnya perlu juga dipertimbangkan kombinasi dari perilaku tersebut dengan perilaku pembebanan, sehingga didapatkan hasil yang lebih mendekati kenyataan di lapangan.
7. Untuk penelitian selanjutnya perlu dipertimbangkan bagaimana pengaruh dari ion klorida dalam air laut.

8. Dalam penelitian selanjutnya perlu dibandingkan pula antara ketahanan sulfat beton SCC dengan beton normal dengan tipe semen yang sama untuk melihat bagaimana pengaruh beton SCC itu sendiri.
9. Kondisi SSD pada agregat harus lebih diperhatikan apabila dalam perhitungan campuran digunakan parameter agregat dalam kondisi SSD. Hal ini berkaitan dengan penempatan dari agregat.
10. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan campuran beton SCC hendaknya memiliki bentuk yang baik sehingga slump flow dapat tercapai. Banyak agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yang berbentuk lonjong, sehingga minimal slump flow 650 mm sulit tercapai.



DAFTAR REFERENSI

- Andrew J. Boyda, dan Sidney Mindess. (2004). The Use of Tension Testing to Investigate The Effect of W/C Ratio and Cement Type on The Resistance of Concrete to Sulfate Attack. *Cement and Concrete Research* 34 , 373-377.
- ASTM. (2003). *Concrete and Aggregates, Annual Book of ASTM Standard*. Philadelphia: ASTM.
- Bader, M. A. (2003). Performance of Concrete in a Coastal Environment. *Cement & Concrete Composites* 25 , 539-548.
- Batty, Javed I., dan Peter C. Taylor. (2006). *Sulfate Resistance of Concrete Using Blended Cements or Supplementary Cementitious Materials*. Portland Cement Association.
- Building Code Requirements For Structural Concrete And Commentary (ACI 318M-05)*.
- Jan Skalny, Jacques Marchand, and Ivan Odler. (2002). *Sulfate Attack on Concrete*. London: Spon Press.
- Jin Zuquan, Sun Wei, Zhang Yunsheng, Jiang Jinyang, Lai Jianzhong. (2007). Cement and Concrete Research 37. *Interaction Between Sulfate and Chloride Solution Attack Of Concretes With and Without Fly Ash* , 1223–1232.
- Lee, S.-T. (2007). Performance Deterioration of Portland Cement Matrix due to Magnesium Sulfate Attack. *KSCE Journal of Civil Engineering* , 157-163.
- Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, dan Jan Olek. (2001). Mechanism Of Sulfate Attack: A Fresh Look Part 1: Summary Of Experimental Results. *Cement and Concrete Research* 32 , 915-921.
- Metha, P.K., dan Paulo J.M. Monteiro. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials 3th edition*. California: McGraw-Hill.
- Nawy, E. G. (2008). *Concrete Construction Engineering Handbook 2th edition*. New Jersey: CRC Press.
- Okamura Hajime and Ouchi Masahiro. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15* , 5-15.

Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton. Depok:
Laboratorium Bahan Jurusan Sipil FTUI.

Persson, B. (2003). Sulphate Resistance of Self-Compacting Concrete. *Cement and Concrete Research* 33 , 1933-1938.

RILEM Technical Committee. (2008). Final report of RILEM TC 205-DSC: Durability of Self-Compacting Concrete. *Materials and Structures* , 225-233.

Shetty, M. (2005). *Concrete Technology*. New Delhi: S. Chand and Company LTD.

Supartono, F. (1999). *Ketahanan Beton Abu Terbang Terhadap Korosi Sulfat*.

(2005). *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*.

Yunita, N. (2008). *Rancang Campur High Strength Self Compacting Concrete (HSSCC) Dengan Menggunakan ADVA Superplasticizer*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

TEST UNIT WEIGHT IN FINE AGGREGATE
(ASTM C-29)

Sample : Agregat Halus
Size : 0,074 – 4,75 mm
Source : Cimangkok

	Metode		
	Lepas	Penggoyangan	Penusukan
a) Weight of Measure (kg)	1,041	1,041	1,041
b) Weight of Measure + Water (kg)	3,055	3,055	3,055
c) Weight of Measure + Sample (kg)	3,793	4,093	4,008
d) Weight of Sample (kg)	2,752	3,052	2,967
e) Volume of Measure (liter)	2,014	2,014	2,014
f) Unit Weight of Aggregate (kg/liter)	1,366	1,515	1,473
B) Bulk Specific Gravity of Aggregate (kg/liter)	2,48		
A) Unit Weight of Water (kg/liter)	1		
Void %	45,01	39,02	40,72

Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = B = \frac{W}{V} \text{ kg / dm}^3$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$$

Keterangan:

V = Isi Wadah (dm³)

A = Bulk Specific Gravity Agregat (kg/dm³)

B = Berat Isi Agregat (kg/dm³)

W = Berat Isi Air (kg/dm³)

Lampiran A-1 Pengujian Agregat Halus (Lanjutan)

TEST FOR SPESIFIC GAVITY AND ABSORBTION – TEST OF FINE
AGGREGATE
(ASTM C-128)

Sample : Agregat Halus
Size : 0,074 – 4,75 mm
Source : Cimangkok

	A	B
A) Weight of Oven-Dry Specimen in Air (gram)	496	493
B) Weight of Pycnometer Filled with Water (gram)	676	649
C) Weight of Pycnometer with Specimen and Water to Calibration Mark (gram)	976	951
Bulk Specific Gravity (kg/liter)	2,48	2,49
Average of Above (kg/liter)	2,48	
SSD Specific Gravity (kg/liter)	2,50	2,53
Average of Above (kg/liter)	2,51	
Apparent Specific Gravity (kg/liter)	2,53	2,58
Average of Above (kg/liter)	2,56	
Absorption (%)	0,81	1,42
Average of Above (%)	1,11	

Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)} = \frac{A}{B + A - C}$$

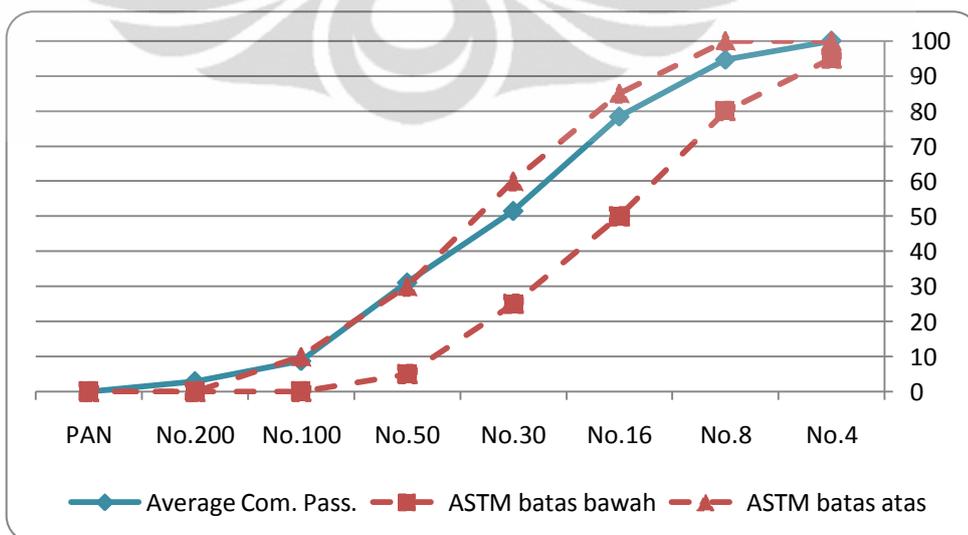
$$\text{Penyerapan (Absorbsi)} = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

Lampiran A-1 Pengujian Agregat Halus (Lanjutan)

SIEVE ANALYSIS OF FINE AGGREGAT
(ASTM C-136)

Sample : Agregat Halus
Size : 0,074 – 4,75 mm
Source : Cimangkok

Sieve Size	Sample No. 1				Sample No. 2				Average		
	Weight Ret (gr)	% Ret	% Cum Ret	% Cum Pass	Weight Ret (gr)	% Ret	% Cum Ret	% Cum Pass	% Ret	% Cum Ret	% Cum Pass
4	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	100
8	28	5,6	5,6	94,4	26	5,2	5,2	94,8	5,4	5,4	94,6
16	85	17	22,6	77,4	77	15,4	20,6	79,4	16,2	21,6	78,4
30	136	27,2	49,8	50,2	133	26,6	47,2	52,8	26,9	48,5	51,5
50	102	20,4	70,2	29,8	102	20,4	67,6	32,4	20,4	68,9	31,1
100	109	21,8	92	8	114	22,8	90,4	9,6	22,3	91,2	8,8
200	25	5	97	3	33	6,6	97	3	5,8	97	3
PAN	15	3	100	0	15	3	100	0	3	100	0
TOTAL	500	100			500	100			100		
									FM		2,56



Lampiran A-1 Pengujian Agregat Halus (Lanjutan)

TEST FOR MATERIALS FINER THAN NO. 200 SIEVE IN MINERAL
AGGREGATE BY WASHING
(ASTM C-177)

Sample : Agregat Halus
Size : 0,074 – 4,75 mm
Source : Cimangkok

	I
B) Original dry weight of sample (gr)	500
C) Dry weight of sample, after washing (gr)	487
A) Percentage of material finer than No. 200 sieve, by washing (%)	2,6

Perhitungan

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100\%$$

Lampiran A-1 Pengujian Agregat Halus (Lanjutan)

TEST FOR ORGANIC IMPURITIES IN FINE AGGREGATE
(ASTM C-40)

Sample : Agregat Halus
Size : 0,074 – 4,75 mm
Source : Cimangkok

Nearest Colour of the liquid of the test sample	Organic plate Number
Lighter/Equal/Darker Colour to	1
	2
	3 (standard)
	4
	5

Determination of Colour Value

Lighter/Equal/Darker Colour to that the reference standard (No. 3)

TEST UNIT WEIGHT IN COARSE AGGREGATE
(ASTM C-29)

Sample : Agregat Kasar
Size : Maksimum 20 mm

	Metode		
	Lepas	Penggoyangan	Penusukan
g) Weight of Measure (kg)	5,089	5,089	5,089
h) Weight of Measure + Water (kg)	14,361	14,361	14,361
i) Weight of Measure + Sample (kg)	17,745	18,541	18,416
j) Weight of Sample (kg)	12,656	13,452	13,327
k) Volume of Measure (liter)	9,272	9,272	9,272
l) Unit Weight of Aggregate (kg/liter)	1,365	1,451	1,437
C) Bulk Spesific Gravity of Aggregate (kg/liter)	2,82		
B) Unit Weight of Water (kg/liter)	1		
Void %	51,60	48,55	49,03

Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = B = \frac{W_3}{V} \text{ kg / dm}^3$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$$

Keterangan:

V = Isi Wadah (dm³)

A = Bulk Specific Gravity Agregat (kg/dm³)

B = Berat Isi Agregat (kg/dm³)

W = Berat Isi Air (kg/dm³)

Lampiran A-2 Pengujian Agregat Kasar (Lanjutan)

TEST FOR SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION – TEST OF COARSE
AGGREGATE
(ASTM C-127)

Sample : Agregat Kasar
Size : Maksimum 20 mm

D) Weight of Oven-Dry Specimen in Air (gram)	4910
E) Weight of SSD Specimen in Air (gram)	5000
F) Weight of Saturated Specimen in Water (gram)	3318
Bulk Specific Gravity (kg/liter)	2,92
SSD Specific Gravity (kg/liter)	2,97
Apparent Specific Gravity (kg/liter)	3,08
Absorption (%)	1,83

Perhitungan

Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) $= \frac{A}{B - C}$

Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) $= \frac{B}{B - C}$

Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*) $= \frac{A}{A - C}$

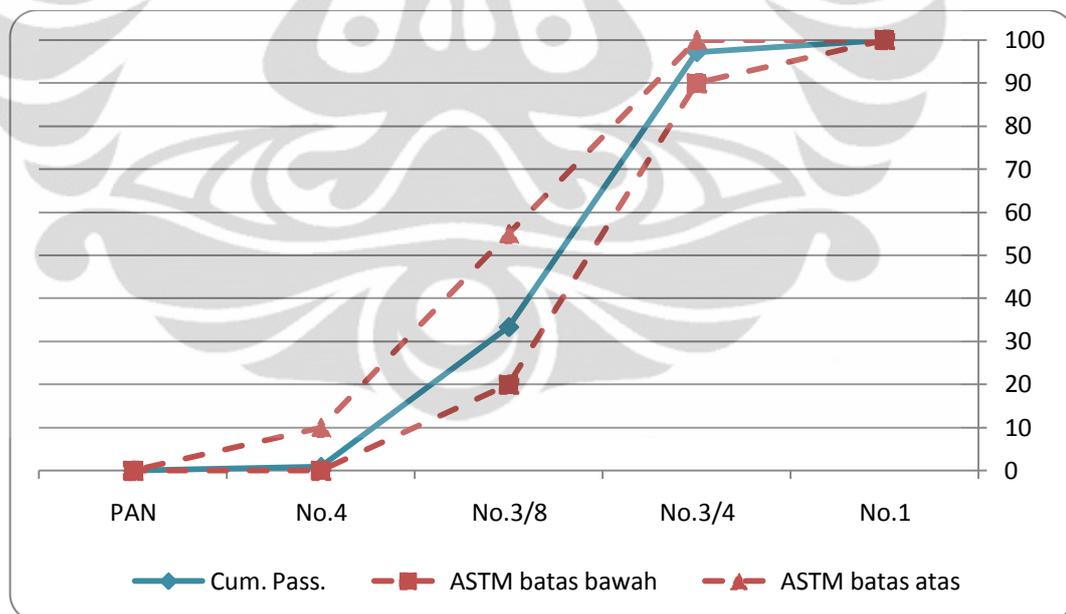
Persentasi Absorpsi $= \frac{B - A}{A} \times 100\%$

Lampiran A-2 Pengujian Agregat Kasar (Lanjutan)

SIEVE ANALYSIS OF COARSE AGGREGAT
(ASTM C-136)

Sample : Agregat Kasar
Size : Maksimum 20 mm

Sieve Size	Weight Ret (gr)	% Ret	% Cum Ret	% Cum Pass
1	0	0	0	100
3/4	43	2,867	2,867	97,13
3/8	957	63,800	66,667	33,33
4	487	32,467	99,133	0,87
PAN	13	0,867	100	0
TOTAL	1500	100		



Lampiran A-3 Pengujian Semen Portland Tipe II

Quality Assurance and Research Division Laboratory

Jl. Mayor Oking Jayaatmaja, Citeureup,
Bogor 16810, West Java - Indonesia
Tel. (+62 21) 86899945 Fax. (+62 21) 87941416



LABORATORY TEST REPORT

Cement test result

Sample/Type : Cement Type II	Received date :		
Sample Source : Plant 5	Supported to :		
Quantity :			
Kind of test	Testing Method	SNI 15-2049-2004 Specifications	Test Result
Physical Properties :			
1. Air content of mortar, volume, percent		12.0 max	7.5
2. Fineness, specific surface, Air permeability test, m ² /kg		280 min	330
3. Autoclave expansion, percent		0.80 max	0.11
4. Compressive strength,			
3 days, kg/cm ²	SNI 15-2049-2004	100 min	205
7 days, kg/cm ²		175 min	280
28 days, kg/cm ²		280 min	390
5. Time of setting, Vicat test,			
Initial set, minutes		45 min	175
Final set, minutes		375 max	340
6 False Set, percent		50 min	75
7 Heat of Hydration			
7 days	cal / g	70 max	65
Chemical Composition :			
1. Silicon Dioxide (SiO ₂), percent	XRF	-	22.0
2. Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃), percent	XRF	-	3.75
3. Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃), percent	XRF	0.4 max	3.80
4. Calcium Oxide (CaO), percent	XRF	-	62.0
5. Magnesium Oxide (MgO), percent	XRF	5.0 max	2.00
6. Sulfur Trioxide (SO ₃), percent	XRF	3.5 max	1.80
7. Loss On Ignition (LOI), percent		5.0 max	0.50
8. Insoluble Residue (IR), percent	SNI15-0129-2004	3.0 max	0.20
9. Free Lime (F-CaO), percent	ASTM STP 985	-	0.40
10. Total Alkalies, (as Na ₂ O), percent	Calculation	0.6 max	0.20
11. C ₃ S, percent	Calculation	-	58.0
12. C ₂ S, percent	Calculation	-	14.5
13. C ₃ A, percent			4.0
14. C ₄ AF, percent			12.0
Remark :			
Approved by ;		Prepared by ;	
 Vera Indrawati QARD Manager		 Saiful Bahri R & D Dept. Head	

Lampiran A-4 Hasil Pengujian Air Laut



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/19/I/2011
Nama Pengirim / Instansi : David Silitonga
Nama Contoh / Kedalaman : Air Laut
Kode Sampel : 19
Lokasi Pengambilan Sampel : Pantai Ancol, Jakarta
Tanggal Penerimaan Sampel : 07 Februari 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA			Rata-rata
			1	2	3	
1	pH		7.15	7.18	7.15	7.16
2	Kloride (Cl)	mg/L	11650	11650	11700	11666
3	Sulfat (SO ₄)	mg/L	1600	1800	1500	1666

Catatan :

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 08 Februari 2011
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusniani, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

Lampiran A-4 Hasil Pengujian Air Laut (Lanjutan)



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/02/III/2011
Nama Pengirim / Instansi : David Silitonga
Nama Contoh / Kedalaman : Air Laut
Kode Sampel : 22
Lokasi Pengambilan Sampel : Pantai Ancol, Jakarta
Tanggal Penerimaan Sampel : 22 Maret 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	pH		6.99
2	Klorida (Cl)	mg/L	9200
3	Sulfat (SO ₄)	mg/L	2000

Catatan :

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 22 Maret 2011
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusman, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

Lampiran A-4 Hasil Pengujian Air Laut (Lanjutan)



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/02/VI/2011
Nama Pengirim / Instansi : David Silitonga
Nama Contoh / Kedalaman : Air Laut
Kode Sampel : 32
Lokasi Pengambilan Sampel : Pantai Ancol, Jakarta
Tanggal Penerimaan Sampel : 09 Juni 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	pH		7.66
2	Klorida (Cl)	mg/L	23.600
3	Sulfat (SO ₄)	mg/L	2000

Catatan :

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 17 Juni 2011
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusniani, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

Lampiran B - Perancangan Campuran Beton
Standar ACI 211.1-91.

Kriteria Desain :

- Kuat tekan, f_c' : 40 MPa
- w/c rasio : 0,45
- Slump flow : 650 ± 50 mm dengan nilai slump diperkirakan 100 mm
- MSA : 20 mm
- Agregat Halus
 - Specific Gravity : 2,51 kg/liter
 - Fines Modulus : 2,36
- Agregat Kasar
 - Specific Gravity : 2,92 kg/liter
 - Berat Isi : 1437 kg/m^3
- Semen
 - Specific Gravity : 3,15 kg/liter

Lampiran B - Perancangan Campuran Beton (Lanjutan)

Tahapan perancangan campuran beton sesuai dengan standar ACI 211.1-91:

- Menentukan jumlah air adukan dan rongga udara

Jumlah Air Campuran dan Kandungan Udara Untuk Slump dan Ukuran Agregat Maksimum yang Berbeda

(ACI 211.1-91, 2000)

Slump	Mixing Water Quantity in kg/m ³ (lb/yd ³) for the listed Nominal Maximum Aggregate Size							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	100 mm
Non-Air-Entrained PCC								
25 – 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 – 100	228	216	205	195	181	169	145	124
150 – 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Typical entrapped air (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Air-Entrained PCC								
25 – 50	181	175	168	160	148	142	122	107
75 – 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 – 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Recommended Air Content (percent)								
Mild Exposure	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Moderate Exposure	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Severe Exposure	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Dari tabel dengan ukuran MSA 20 mm dan slump 100 mm, didapatkan :

Water : 203,3 kg/m³

Air content : 1,9%

- Menghitung jumlah semen

$$\text{jumlah semen} = \frac{\text{jumlah air}}{w/c} = \frac{203,3}{0,45} = 451,85 \text{ kg/m}^3$$

Lampiran B - Perancangan Campuran Beton (Lanjutan)

- Menghitung jumlah agregat kasar

Tabel Volume Agregat Kasar per Unit Volume untuk Modulus
Kehalusan yang Berbeda
(ACI 211.1-91, 2000)

Nominal Maximum Aggregate Size	Fine Aggregate Fineness Modulus			
	2,4	2,6	2,8	3
9.5 mm (0.375 inches)	0,5	0,48	0,46	0,44
12.5 mm (0.5 inches)	0,59	0,57	0,55	0,53
19 mm (0.75 inches)	0,66	0,69	0,62	0,6
25 mm (1 inches)	0,71	0,69	0,67	0,65
37.5 mm (1.5 inches)	0,75	0,73	0,71	0,69
50 mm (2 inches)	0,78	0,76	0,74	0,72

Berdasarkan tabel dengan MSA = 20 mm dan FM = 2,36 didapatkan volume agregat kasar per unit volume adalah 0,668 dan banyaknya agregat kasar = $0,668 \times 1437 = 960,395 \text{ kg/m}^3$

- Menghitung kandungan total agregat halus

$$\begin{aligned}
 &= 1 - \left(\frac{\text{jumlah air}}{1000} \right) - \left(\frac{\text{jumlah semen}}{SG_{\text{semen}} \times 1000} \right) - \left(\frac{\text{jumlah agregat kasar}}{SG_{\text{aggkasar}} \times 1000} \right) - \left(\frac{\text{rongga udara}}{100} \right) \\
 &= 1 - \left(\frac{203,3}{1000} \right) - \left(\frac{451,85}{3,15 \times 1000} \right) - \left(\frac{960,395}{2,92 \times 1000} \right) - \left(\frac{1,9}{100} \right) = 0,31
 \end{aligned}$$

- Menghitung jumlah agregat halus

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah agregat halus} &= \text{kandungan agregat halus} \times \text{berat jenis agregat halus} \\
 &= 0,31 \times 2,51 \times 1000 \\
 &= 765,93 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- Menentukan jumlah superplasticizer

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah superplasticizer yang digunakan} &\text{ adalah } 1,1\% \text{ dari berat semen.} \\
 \text{jumlah superplasticizer} &= 0,011 \times \text{jumlah semen} = 0,011 \times 451,85 \\
 &= 4,97 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Lampiran B - Perancangan Campuran Beton (Lanjutan)

- Menghitung ulang jumlah air campuran akhir
Jumlah air campuran yang diperlukan setelah dikurangi dengan jumlah superplasticizer : $203,3 - 4,79 = 198,36 \text{ kg/m}^3$
- Dari hasil perhitungan, komposisi campuran per m^3 adalah sebagai berikut:

Semen	: 451,85 kg
Air	: 198,36 kg = 198,36 liter
Agg. Kasar	: 960,395 kg
Agg. Halus	: 765,93 kg
SP	: 4,97 kg = 4,69 liter

Lampiran C-1 Data Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

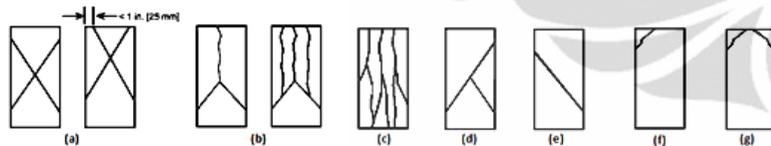
HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentuk dan Luas Penampang (cm ²)		Berat (kg)	P _{max} (kg)	Tegangan (f _c)		Model Kehancuran
	Dicor	Ditest				(kg/cm ²)	(MPa)					
1	31/03/2011	28/04/2011	III	28	SP2-T-28-AS	Silinder	78,5	3,794	37500	477,707	47,771	C
2	31/03/2011	28/04/2011	IV	28	SP2-T-28-AS	Silinder	78,5	3,785	35000	445,860	44,586	C
3	31/03/2011	28/04/2011	III	28	SP2-T-28-AS	Silinder	78,5	3,81	35000	445,860	44,586	C
4	31/03/2011	28/04/2011	III	28	SP2-T-28-AS	Silinder	78,5	3,775	36750	468,153	46,815	C
5	31/03/2011	28/04/2011	III	28	SP2-T-28-AS	Silinder	78,5	3,755	36750	468,153	46,815	C

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentuk dan Luas Penampang (cm ²)		Berat (kg)	P _{max} (kg)	Tegangan (f _c)		Model Kehancuran
	Dicor	Ditest				(kg/cm ²)	(MPa)					
1	31/03/2011	28/04/2011	IV	28	SP2-T-28-AS	Silinder	176,625	-	81310	460,354	46,035	C
2	31/03/2011	28/04/2011	IV	28	SP2-T-28-AS	Silinder	176,625	-	62260	352,498	35,250	B
3	31/03/2011	28/04/2011	IV	28	SP2-T-28-AS	Silinder	176,625	-	78760	445,916	44,592	C

Mode Kehancuran:



Ditest oleh : Sony
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 28 April 2011

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-2 Data Pengujian Kuat Tekan Umur 42 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentuk dan Luas Penampang (cm ²)		Berat (kg)	Pmax (kg)	Tegangan (fc') (kg/cm2)	fc' / Faktor Konversi		Model Kehancuran
	Dicor	Ditest				(kg/cm2)	(kg/cm2)				(MPa)		
1	29/03/2011	10/05/2011	I	42	SP2-T-42-AS	Silinder	78,5	3,823	37280	474,904	466,654	46,665	C
2	29/03/2011	10/05/2011	II	42	SP2-T-42-AS	Silinder	78,5	3,887	39380	501,656	492,941	49,294	B
3	29/03/2011	10/05/2011	III	42	SP2-T-42-AS	Silinder	78,5	3,833	29490	375,669	369,142	36,914	C
4	29/03/2011	10/05/2011	III	42	SP2-T-42-AS	Silinder	78,5	3,83	39280	500,382	491,689	49,169	C
5	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-T-42-AS	Silinder	78,5	3,884	40790	519,618	510,591	51,059	C
6	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-T-42-AL	Silinder	78,5	3,862	34460	438,981	431,355	43,135	B
7	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-T-42-AL	Silinder	78,5	3,832	41960	534,522	525,236	52,524	C
8	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-T-42-AL	Silinder	78,5	3,8	38700	492,994	484,429	48,443	C
9	29/03/2011	10/05/2011	V	42	SP2-T-42-AL	Silinder	78,5	3,939	43700	556,688	547,017	54,702	B
10	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-T-42-AL	Silinder	78,5	3,815	36350	463,057	455,013	45,501	C
11	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-T-42-PS	Silinder	78,5	3,843	32310	411,592	404,442	40,444	C
12	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-T-42-PS	Silinder	78,5	3,817	32780	417,580	410,325	41,033	C
13	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-T-42-PS	Silinder	78,5	3,757	27630	351,975	345,860	34,586	C
14	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-T-42-PS	Silinder	78,5	3,855	32240	410,701	403,566	40,357	C
15	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-T-42-PS	Silinder	78,5	3,725	33420	425,732	418,336	41,834	C
16	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-T-42-LS	Silinder	78,5	3,835	33280	423,949	416,584	41,658	C
17	31/03/2011	12/05/2011	II	42	SP2-T-42-LS	Silinder	78,5	3,846	33670	428,917	421,466	42,147	C
18	31/03/2011	12/05/2011	II	42	SP2-T-42-LS	Silinder	78,5	3,847	33600	428,025	420,590	42,059	C
19	31/03/2011	12/05/2011	II	42	SP2-T-42-LS	Silinder	78,5	3,789	32810	417,962	410,701	41,070	C
20	31/03/2011	12/05/2011	II	42	SP2-T-42-LS	Silinder	78,5	3,767	34420	438,471	430,854	43,085	C

Ditest oleh : Sony
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 12 Mei 2011
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-3 Data Pengujian Kuat Tekan Umur 56 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentuk dan Luas Penampang (cm ²)		Berat (kg)	Pmax (kg)	Tegangan (fc') (kg/cm2)	fc' / Faktor Konversi		Model Kehancuran
	Dicor	Ditest				(kg/cm2)	(kg/cm2)				(MPa)		
1	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AS	Silinder	78,5	3,904	45630	581,274	571,176	57,118	C
2	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AS	Silinder	78,5	3,962	50540	643,822	632,637	63,264	C
3	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AS	Silinder	78,5	3,961	40720	518,726	509,714	50,971	B
4	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AS	Silinder	78,5	3,97	56310	717,325	704,863	70,486	C
5	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AS	Silinder	78,5	3,996	43300	551,592	542,010	54,201	C
6	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AL	Silinder	78,5	3,938	40430	515,032	506,084	50,608	C
7	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AL	Silinder	78,5	3,933	44790	570,573	560,661	56,066	C
8	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AL	Silinder	78,5	3,965	48570	618,726	607,977	60,798	C
9	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AL	Silinder	78,5	3,973	45590	580,764	570,675	57,067	C
10	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-AL	Silinder	78,5	3,975	51270	653,121	641,775	64,177	C
11	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-PS	Silinder	78,5	3,968	38100	485,350	476,919	47,692	C
12	24/02/2011	21/04/2011		56	SP2-T-56-PS	Silinder	78,5	3,969	57300	729,936	717,255	71,726	B
13	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-PS	Silinder	78,5	3,731	38000	484,076	475,667	47,567	C
14	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-PS	Silinder	78,5	3,774	30660	390,573	383,788	38,379	B
15	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-PS	Silinder	78,5	3,754	38060	484,841	476,418	47,642	C
16	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-LS	Silinder	78,5	3,787	38880	495,287	486,682	48,668	C
17	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-LS	Silinder	78,5	3,853	38350	488,535	480,048	48,005	C
18	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-LS	Silinder	78,5	3,899	30780	392,102	385,290	38,529	C
19	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-LS	Silinder	78,5	3,799	38630	492,102	483,553	48,355	C
20	27/02/2011	25/04/2011		56	SP2-T-56-LS	Silinder	78,5	3,895	24850	316,561	311,061	31,106	B

Ditest oleh : Suprri
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 25 April 2011
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-4 Data Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TARIK BELAH
CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentuk dan Luas Penampang (cm ²)		P _{max} (kg)	Tegangan (f _t)		Keterangan
	Dicor	Ditest				(kg/cm ²)	(MPa)				
1	31/03/2011	28/04/2011	III	28	SP2-TB-28-AS	Silinder	176,625	30000	42,463	4,246	
2	31/03/2011	28/04/2011	II	28	SP2-TB-28-AS	Silinder	176,625	35000	49,540	4,954	
3	28/04/2011	26/05/2011	I	28	SP2-TB-28-AS	Silinder	176,625	33000	46,709	4,671	
4	28/04/2011	26/05/2011	I	28	SP2-TB-28-AS	Silinder	176,625	31000	43,878	4,388	
5	28/04/2011	26/05/2011	I	28	SP2-TB-28-AS	Silinder	176,625	21000	29,724	2,972	

Ditest oleh : Sony
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 26 Mei 2011
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-5 Data Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 42 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TARIK BELAH
CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentuk dan Luas Penampang (cm ²)		P _{max} (kg)	Tegangan (f)		Keterangan
	Dicor	Ditest				(kg/cm ²)	(MPa)				
1	16/03/2011	27/04/2011	I	42	SP2-TB-42-AS	Silinder	176,625	36750	52,017	5,202	
2	16/03/2011	27/04/2011	I	42	SP2-TB-42-AS	Silinder	176,625	36250	51,309	5,131	
3	16/03/2011	27/04/2011	II	42	SP2-TB-42-AS	Silinder	176,625	34000	48,125	4,812	
4	16/03/2011	27/04/2011	II	42	SP2-TB-42-AS	Silinder	176,625	26750	37,863	3,786	
5	29/03/2011	10/05/2011	I	42	SP2-TB-42-AS	Silinder	176,625	34750	49,186	4,919	
6	29/03/2011	10/05/2011	II	42	SP2-TB-42-AL	Silinder	176,625	35000	49,540	4,954	
7	29/03/2011	10/05/2011	III	42	SP2-TB-42-AL	Silinder	176,625	32200	45,577	4,558	
8	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-TB-42-AL	Silinder	176,625	35000	49,540	4,954	
9	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-TB-42-AL	Silinder	176,625	32200	45,577	4,558	
10	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-TB-42-AL	Silinder	176,625	32300	45,718	4,572	patah
11	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-TB-42-PS	Silinder	176,625	32000	45,294	4,529	
12	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-TB-42-PS	Silinder	176,625	33750	47,771	4,777	patah
13	29/03/2011	10/05/2011	IV	42	SP2-TB-42-PS	Silinder	176,625	30000	42,463	4,246	
14	29/03/2011	10/05/2011	V	42	SP2-TB-42-PS	Silinder	176,625	32100	45,435	4,544	
15	29/03/2011	10/05/2011	V	42	SP2-TB-42-PS	Silinder	176,625	27750	39,278	3,928	
16	29/03/2011	10/05/2011	V	42	SP2-TB-42-LS	Silinder	176,625	32500	46,001	4,600	
17	31/03/2011	12/05/2011	II	42	SP2-TB-42-LS	Silinder	176,625	33500	47,417	4,742	
18	31/03/2011	12/05/2011	III	42	SP2-TB-42-LS	Silinder	176,625	18900	26,752	2,675	
19	31/03/2011	12/05/2011	III	42	SP2-TB-42-LS	Silinder	176,625	27200	38,500	3,850	
20	31/03/2011	12/05/2011	III	42	SP2-TB-42-LS	Silinder	176,625	28000	39,632	3,963	

Ditest oleh : Sony
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 12 Mei 2011
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-6 Data Pengujian Kuat Tarik Belah Umur 56 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TARIK BELAH
CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentuk dan Luas Penampang (cm ²)		P _{max} (kg)	Tegangan (f _t)		Keterangan
	Dicor	Ditest							(kg/cm ²)	(MPa)	
1	24/02/2011	21/04/2011	III	56	SP2-TB-56-AS	Silinder	176,625	37500	53,079	5,308	
2	24/02/2011	21/04/2011	IV	56	SP2-TB-56-AS	Silinder	176,625	33750	47,771	4,777	
3	24/02/2011	21/04/2011	IV	56	SP2-TB-56-AS	Silinder	176,625	35000	49,540	4,954	
4	24/02/2011	21/04/2011	III	56	SP2-TB-56-AS	Silinder	176,625	38750	54,848	5,485	
5	24/02/2011	21/04/2011	IV	56	SP2-TB-56-AS	Silinder	176,625	33750	47,771	4,777	
6	24/02/2011	21/04/2011	IV	56	SP2-TB-56-AL	Silinder	176,625	37500	53,079	5,308	
7	27/02/2011	25/04/2011	I	56	SP2-TB-56-AL	Silinder	176,625	33750	47,771	4,777	patah
8	27/02/2011	25/04/2011	II	56	SP2-TB-56-AL	Silinder	176,625	32500	46,001	4,600	
9	27/02/2011	25/04/2011	III	56	SP2-TB-56-AL	Silinder	176,625	30000	42,463	4,246	
10	27/02/2011	25/04/2011	III	56	SP2-TB-56-AL	Silinder	176,625	32500	46,001	4,600	
11	27/02/2011	25/04/2011	V	56	SP2-TB-56-PS	Silinder	176,625	38750	54,848	5,485	
12	27/02/2011	25/04/2011	V	56	SP2-TB-56-PS	Silinder	176,625	37500	53,079	5,308	
13	27/02/2011	25/04/2011	III	56	SP2-TB-56-PS	Silinder	176,625	36750	52,017	5,202	
14	27/02/2011	25/04/2011	III	56	SP2-TB-56-PS	Silinder	176,625	36750	52,017	5,202	
15	27/02/2011	25/04/2011	V	56	SP2-TB-56-PS	Silinder	176,625	38750	54,848	5,485	
16	27/02/2011	25/04/2011	IV	56	SP2-TB-56-LS	Silinder	176,625	41250	58,386	5,839	
17	27/02/2011	25/04/2011	III	56	SP2-TB-56-LS	Silinder	176,625	36750	52,017	5,202	
18	27/02/2011	25/04/2011	III	56	SP2-TB-56-LS	Silinder	176,625	32500	46,001	4,600	
19	27/02/2011	25/04/2011	III	56	SP2-TB-56-LS	Silinder	176,625	36750	52,017	5,202	
20	27/02/2011	25/04/2011	V	56	SP2-TB-56-LS	Silinder	176,625	30000	42,463	4,246	

Ditest oleh : Supri
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 25 April 2011
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-7 Data Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TARIK LENTUR

CONCRETE FLEXURAL STRENGTH TEST

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentang (cm)	Dimensi		P _{max} (kg)	W (1/6.b.h ³) (cm ³)	Momen Lentur (1/6.P.L) (kg.cm)	Tegangan Lentur (f _t)	
	Dicor	Ditest					b (cm)	h (cm)				(kg/cm ²)	(MPa)
1	31/03/2011	28/04/2011	IV	28	SP2-TL-28-AS	45	15	15	5000	562,5	37500	66,667	6,667
2	31/03/2011	28/04/2011	II	28	SP2-TL-28-AS	45	15	15	4000	562,5	30000	53,333	5,333
3	31/03/2011	28/04/2011	II	28	SP2-TL-28-AS	45	15	15	4300	562,5	32250	57,333	5,733

Ditest oleh : Sony
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 28 April 2011

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-8 Data Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 42 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TARIK LENTUR

CONCRETE FLEXURAL STRENGTH TEST

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentang (cm)	Dimensi		P _{max} (kg)	W (1/6.b.h ³) (cm ³)	Momen Lentur (1/6.P.L) (kg.cm)	Tegangan Lentur (f _r)	
	Dicor	Ditest					b (cm)	h (cm)				(kg/cm ²)	(MPa)
1	16/03/2011	27/04/2011	II	42	SP2-TL-42-AS	45	15	15	4400	562,5	33000	58,667	5,867
2	16/03/2011	27/04/2011	I	42	SP2-TL-42-AS	45	15	15	5900	562,5	44250	78,667	7,867
3	16/03/2011	27/04/2011	I	42	SP2-TL-42-AS	45	15	15	5400	562,5	40500	72,000	7,200
4	16/03/2011	27/04/2011	II	42	SP2-TL-42-AL	45	15	15	5500	562,5	41250	73,333	7,333
5	29/03/2011	10/05/2011	I	42	SP2-TL-42-AL	45	15	15	4500	562,5	33750	60,000	6,000
6	29/03/2011	10/05/2011	I	42	SP2-TL-42-AL	45	15	15	3300	562,5	24750	44,000	4,400
7	29/03/2011	10/05/2011	II	42	SP2-TL-42-PS	45	15	15	4500	562,5	33750	60,000	6,000
8	29/03/2011	10/05/2011	II	42	SP2-TL-42-PS	45	15	15	3700	562,5	27750	49,333	4,933
9	29/03/2011	10/05/2011	III	42	SP2-TL-42-PS	45	15	15	4300	562,5	32250	57,333	5,733
10	29/03/2011	10/05/2011	III	42	SP2-TL-42-LS	45	15	15	3600	562,5	27000	48,000	4,800
11	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-TL-42-LS	45	15	15	4300	562,5	32250	57,333	5,733
12	31/03/2011	12/05/2011	I	42	SP2-TL-42-LS	45	15	15	4500	562,5	33750	60,000	6,000

Ditest oleh : Sony
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 12 Mei 2011
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran C-9 Data Pengujian Kuat Tarik Lentur Umur 56 Hari



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI KUAT TARIK LENTUR

CONCRETE FLEXURAL STRENGTH TEST

No.	Tanggal		Sesi	Umur (Hari)	Kode	Bentang (cm)	Dimensi		P _{max} (kg)	W (1/6.b.h ³) (cm ³)	Momen Lentur (1/6.P.L) (kg.cm)	Tegangan Lentur (f.)	
	Dicor	Ditest					b (cm)	h (cm)				(kg/cm ²)	(MPa)
1	24/02/2011	21/04/2011	I	56	SP2-TL-56-AS	45	15	15	5800	562,5	43500	77,333	7,733
2	24/02/2011	21/04/2011	I	56	SP2-TL-56-AS	45	15	15	5900	562,5	44250	78,667	7,867
3	24/02/2011	21/04/2011	II	56	SP2-TL-56-AS	45	15	15	4700	562,5	35250	62,667	6,267
4	24/02/2011	21/04/2011	II	56	SP2-TL-56-AL	45	15	15	5400	562,5	40500	72,000	7,200
5	24/02/2011	21/04/2011	III	56	SP2-TL-56-AL	45	15	15	6000	562,5	45000	80,000	8,000
6	24/02/2011	21/04/2011	III	56	SP2-TL-56-AL	45	15	15	4700	562,5	35250	62,667	6,267
7	27/02/2011	25/04/2011	I	56	SP2-TL-56-PS	45	15	15	4800	562,5	36000	64,000	6,400
8	27/02/2011	25/04/2011	I	56	SP2-TL-56-PS	45	15	15	3500	562,5	26250	46,667	4,667
9	27/02/2011	25/04/2011	II	56	SP2-TL-56-PS	45	15	15	4000	562,5	30000	53,333	5,333
10	27/02/2011	25/04/2011	II	56	SP2-TL-56-LS	45	15	15	4900	562,5	36750	65,333	6,533
11	27/02/2011	25/04/2011	IV	56	SP2-TL-56-LS	45	15	15	4600	562,5	34500	61,333	6,133
12	27/02/2011	25/04/2011	IV	56	SP2-TL-56-LS	45	15	15	4600	562,5	34500	61,333	6,133

Ditest oleh : Supri
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 25 April 2011

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat :
 Untuk :
 Penelitian : Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC)
 Alamat :

HASIL UJI PERMEABILITAS**PERMEABILITY TEST**

No.	Tanggal Cor	Tanggal Tes	Kode	Bentuk dan Dimensi Benda Uji (cm)		Umur (hari)	Penetrasi		Rata-Rata (cm)	Rata-Rata (cm)
							I (cm)	II (cm)		
1	27/02/2011	04/04/2011	SP2-TL-42-AS	Kubus	15 x 15 x 15	42	1	1,5	1,25	1,12
2	27/02/2011	04/04/2011	SP2-TL-42-AS	Kubus	15 x 15 x 15	42	1	1,2	1,1	
3	27/02/2011	04/04/2011	SP2-TL-42-AS	Kubus	15 x 15 x 15	42	1	1	1	
4	29/03/2011	10/05/2011	SP2-TL-42-AL	Kubus	15 x 15 x 15	42	1,4	1,9	1,65	1,72
5	29/03/2011	10/05/2011	SP2-TL-42-AL	Kubus	15 x 15 x 15	42	1,55	1,55	1,55	
6	29/03/2011	10/05/2011	SP2-TL-42-AL	Kubus	15 x 15 x 15	42	2,37	1,57	1,97	
7	28/04/2011	09/06/2011	SP2-TL-42-LS	Kubus	15 x 15 x 15	42	2,1	2	2,05	1,98
8	28/04/2011	09/06/2011	SP2-TL-42-LS	Kubus	15 x 15 x 15	42	2,5	2,25	2,375	
9	28/04/2011	09/06/2011	SP2-TL-42-LS	Kubus	15 x 15 x 15	42	1,5	1,5	1,5	
10	31/05/2011	12/07/2011	SP2-TL-42-PS	Kubus	15 x 15 x 15	42	2,3	2,2	2,25	2,32
11	31/05/2011	12/07/2011	SP2-TL-42-PS	Kubus	15 x 15 x 15	42	2,4	2,35	2,375	
12	31/05/2011	12/07/2011	SP2-TL-42-PS	Kubus	15 x 15 x 15	42	2,35	2,3	2,325	

Ditest oleh : Sony
 Diperiksa oleh : Wisnu Ady Prasetyo

Depok, 12 Juli 2011
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran D-1 Kuat Tekan Rata-Rata Umur 28 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_c') (MPa)	Deviasi	% Error	f_c' rata-rata (MPa)
	Dicor	Ditest						
1	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	47,771	1,449	3,03%	46,11
2	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	44,586		3,25%	
3	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	44,586		3,25%	
4	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	46,815		3,10%	
5	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	46,815		3,10%	

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_c') (MPa)	Deviasi	% Error	f_c' rata-rata (MPa)
	Dicor	Ditest						
1	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	46,035	5,855	12,72%	45,314
2	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	35,250		16,61%	
3	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-T-28-AS	44,592		13,13%	

Lampiran D-2 Kuat Tekan Rata-Rata Umur 42 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_c') (MPa)	Deviasi	% Error	f_c' rata-rata (MPa)	Penurunan
	Dicor	Ditest							
1	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AS	46,665	5,647	12,10%	49,047	0%
2	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AS	49,294		11,46%		
3	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AS	36,914		15,30%		
4	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AS	49,169		11,49%		
5	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AS	51,059		11,06%		
6	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AL	43,135	4,790	11,10%	48,861	0,38%
7	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AL	52,524		9,12%		
8	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AL	48,443		9,89%		
9	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-T-42-AL	54,702		8,76%		
10	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-AL	45,501		10,53%		
11	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-PS	40,444	2,892	7,15%	39,651	19,16%
12	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-PS	41,033		7,05%		
13	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-PS	34,586		8,36%		
14	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-PS	40,357		7,17%		
15	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-PS	41,834		6,91%		
16	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-LS	41,658	0,739	1,77%	42,004	14,36%
17	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-LS	42,147		1,75%		
18	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-LS	42,059		1,76%		
19	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-LS	41,070		1,80%		
20	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-T-42-LS	43,085		1,72%		

Lampiran D-3 Kuat Tekan Rata-Rata Umur 56 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_c') (MPa)	Deviasi	% Error	f_c' rata-rata (MPa)	Penurunan
	Dicor	Ditest							
1	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AS	57,118	7,761	13,59%	58,194	0%
2	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AS	63,264		12,27%		
3	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AS	50,971		15,23%		
4	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AS	70,486		11,01%		
5	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AS	54,201		14,32%		
6	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AL	50,608	5,121	10,12%	57,743	0,77%
7	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AL	56,066		9,13%		
8	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AL	60,798		8,42%		
9	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AL	57,067		8,97%		
10	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-AL	64,177		7,98%		
11	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-PS	47,692	12,471	26,15%	47,633	18,15%
12	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-T-56-PS	71,726		17,39%		
13	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-PS	47,567		26,22%		
14	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-PS	38,379		32,49%		
15	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-PS	47,642		26,18%		
16	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-LS	48,668	7,863	16,16%	48,343	16,93%
17	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-LS	48,005		16,38%		
18	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-LS	38,529		20,41%		
19	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-LS	48,355		16,26%		
20	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-T-56-LS	31,106		25,28%		

Lampiran D-4 Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 28 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_t) (MPa)	Deviasi	% Error	f_t rata-rata (MPa)
	Dicor	Ditest						
1	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-TB-28-AS	4,246	0,762	17,95%	3,48
2	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-TB-28-AS	4,954		15,39%	
3	28/04/2011	26/05/2011	28	SP2-TB-28-AS	4,671		16,32%	
4	28/04/2011	26/05/2011	28	SP2-TB-28-AS	4,388		17,37%	
5	28/04/2011	26/05/2011	28	SP2-TB-28-AS	2,972		25,64%	

Lampiran D-5 Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 42 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_t) (MPa)	Deviasi	% Error	f_t rata-rata (MPa)	Penurunan
	Dicor	Ditest							
1	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TB-42-AS	5,202	0,572	10,99%	5,016	0%
2	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TB-42-AS	5,131		11,15%		
3	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TB-42-AS	4,812		11,88%		
4	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TB-42-AS	3,786		15,10%		
5	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-AS	4,919		11,63%		
6	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-AL	4,954	0,215	4,33%	4,719	5,92%
7	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-AL	4,558		4,71%		
8	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-AL	4,954		4,33%		
9	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-AL	4,558		4,71%		
10	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-AL	4,572		4,69%		
11	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-PS	4,529	0,326	7,20%	4,405	12,18%
12	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-PS	4,777		6,83%		
13	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-PS	4,246		7,69%		
14	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-PS	4,544		7,18%		
15	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-PS	3,928		8,31%		
16	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TB-42-LS	4,600	0,819	17,81%	4,435	11,58%
17	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-TB-42-LS	4,742		17,27%		
18	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-TB-42-LS	2,675		30,62%		
19	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-TB-42-LS	3,850		21,27%		
20	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-TB-42-LS	3,963		20,67%		

Lampiran D-6 Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 56 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_t) (MPa)	Deviasi	% Error	f_t rata-rata (MPa)	Penurunan
	Dicor	Ditest							
1	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TB-56-AS	5,308	0,321	6,06%	5,060	0%
2	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TB-56-AS	4,777		6,73%		
3	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TB-56-AS	4,954		6,49%		
4	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TB-56-AS	5,485		5,86%		
5	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TB-56-AS	4,777		6,73%		
6	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TB-56-AL	5,308	0,388	7,30%	4,706	6,99%
7	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-AL	4,777		8,11%		
8	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-AL	4,600		8,43%		
9	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-AL	4,246		9,13%		
10	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-AL	4,600		8,43%		
11	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-PS	5,485	0,142	2,60%	5,336	-5,45%
12	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-PS	5,308		2,68%		
13	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-PS	5,202		2,74%		
14	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-PS	5,202		2,74%		
15	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-PS	5,485		2,60%		
16	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-LS	5,839	0,615	10,53%	5,211	-2,97%
17	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-LS	5,202		11,82%		
18	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-LS	4,600		13,36%		
19	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-LS	5,202		11,82%		
20	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TB-56-LS	4,246		14,47%		

Lampiran D-7 Kuat Tarik Lentur Rata-Rata Umur 28 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_r) (MPa)	Deviasi	% Error	f_r rata-rata (MPa)
	Dicor	Ditest						
1	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-TL-28-AS	6,667	0,684	10,26%	5,911
2	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-TL-28-AS	5,333		12,83%	
3	31/03/2011	28/04/2011	28	SP2-TL-28-AS	5,733		11,93%	

Lampiran D-8 Kuat Tarik Lentur Rata-Rata Umur 42 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_r) (MPa)	Deviasi	% Error	f_r rata-rata (MPa)	Penurunan
	Dicor	Ditest							
1	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TL-42-AS	5,867	1,018	17,36%	7,533	0%
2	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TL-42-AS	7,867		12,95%		
3	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TL-42-AS	7,200		14,14%		
4	16/03/2011	27/04/2011	42	SP2-TL-42-AL	7,333	1,469	20,03%	6,667	8,54%
5	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TL-42-AL	6,000		24,48%		
6	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TL-42-AL	4,400		33,38%		
7	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TL-42-PS	6,000	0,555	9,25%	5,556	23,78%
8	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TL-42-PS	4,933		11,25%		
9	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TL-42-PS	5,733		9,68%		
10	29/03/2011	10/05/2011	42	SP2-TL-42-LS	4,800	0,630	13,13%	5,867	19,51%
11	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-TL-42-LS	5,733		10,99%		
12	31/03/2011	12/05/2011	42	SP2-TL-42-LS	6,000		10,50%		

Lampiran D-9 Kuat Tarik Lentur Rata-Rata Umur 56 Hari

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Tegangan (f_r) (MPa)	Deviasi	% Error	f_r rata-rata (MPa)	Penurunan
	Dicor	Ditest							
1	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TL-56-AS	7,733	0,888	11,48%	7,800	0%
2	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TL-56-AS	7,867		11,29%		
3	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TL-56-AS	6,267		14,17%		
4	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TL-56-AL	7,200	0,868	12,05%	7,156	8,26%
5	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TL-56-AL	8,000		10,84%		
6	24/02/2011	21/04/2011	56	SP2-TL-56-AL	6,267		13,84%		
7	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TL-56-PS	6,400	0,874	13,66%	5,867	24,79%
8	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TL-56-PS	4,667		18,74%		
9	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TL-56-PS	5,333		16,39%		
10	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TL-56-LS	6,533	0,231	3,53%	6,267	19,66%
11	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TL-56-LS	6,133		3,77%		
12	27/02/2011	25/04/2011	56	SP2-TL-56-LS	6,133		3,77%		

Lampiran E – Hasil Pengujian Kadar Klorida Pada Beton yang Direndam Dalam
Air Laut



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISIS

No : PM. 01.04/4P/VI/2011
Pengirim : David Silitonga
Jenis Sampel : Beton
Tanggal Penerimaan : 09/06/2011
Tanggal Analisa : 09/06/2011 – 17/06/2011
Analisis : Analisis Kimia
Deskripsi Sampel : Sampling dilakukan oleh pengirim
Packing : Dalam plastik tidak bersegel
Identifikasi Sampel : Abu beton Kode SP2-42-AL

Parameter	Unit	Hasil Tes	Kadar Maksimum**	Nomor Metode*
Klorida (Cl)	%	0.25	0.15	C-1152/ C-1152M-04

* ASTM C 1152/C 1152M-04, "Standard test Method for Acid-Soluble Chloride In Mortar and Concrete"
** Konsentrasi maksimum mengacu ASTM D512, "Standard Test Methode for Chloride Ion in Water"

Kesimpulan

Melebihi standar yang ditentukan.

Depok, 17 Juni 2011
Kepala Laboratorium Penyehatan dan Lingkungan



[Signature]
Ir. Irma Gusniani, MSc.
NIP.195501031985032001

Tembusan : Arsip

Lampiran F – Jadwal Pengecoran Rencana

No	Pekerjaan	Bulan Minggu Ke- Tanggal	Januari				Februari				Maret															
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4 UTS												
									16	18	21	23	25	28	2	4	7	9	22	14	16	18	21	23	25	28
1	perhitungan mix design																									
2	pengadaan material																									
3	persiapan material																									
4	pembuatan sampel																									
5	test tekan 28 hari																									
6	test tekan 42 hari																									
7	test tekan 56 hari																									
8	test tarik 28 hari																									
9	test tarik 42 hari																									
10	test tarik 56 hari																									
11	test lentur 28 hari																									
12	test lentur 42 hari																									
13	test lentur 56 hari																									
17	test permeabilitas 42 hari																									

Lampiran G - Pengecoran

Tanggal	Hari ke-	Sesi	Sampel				Kondisi	Suhu	Kelembaban	Air	Material			Slump Flow
			sil 10X20	sil 15X30	balok	kubus					Agregat	Semen	SP	
24/02/2011	56	I	1		2		bleeding					1%	500-600	
	56	II	1		2		bleeding					1%	500-600	
	56	III		2	2		OK					1%	500-600	
	56	IV	10	4			segregasi					1%	500-600	
27/02/2011	56	I	1	1	2		OK					1%	500-600	
	56	II	1	1	2		OK					1%	500-600	
	56	III	1	7			OK					1%	500-600	
	56	IV	1	1	2		OK					1%	500-600	
	56, 42-P	V	4	4		3	OK			(-)300	basah		1%	500-600
16/03/2011	42	I		2	2		bleeding	31	53	(-)600		1,1%	620	
	42	II		1	2		OK	31,3	51	(+)400		1,1%	560	
29/03/2011	42	I	1	1	2		OK	28,8	68		sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	600
	42	II	1	1	2		OK	26,1	77	(-)250	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	610
	42	III	2	1	2		OK	26	79	(-)800	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	680
	42	IV	4	6			OK	26,1	81	(-)1000	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	620
	42, 42-P	V	1	3		3	OK	26,4	82	(-)700	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	600
31/03/2011	42, 28	I	7		2		OK	28,1	83	(-)550	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	600
	42, 28	II	4	1	2		OK	28,4	84	(-)450	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	600
	42, 28	III	4	5			OK	26	86	(-)200	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	600
	28	IV	1	3	1		OK	25,8	84	(-)1000	sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	610
28/04/2011	28, 42-P	I	4	3		3	OK	26	80		sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	600
31/05/2011	42-P	I				3	bleeding	29,4	78		sedikit basah	agak menggumpal	1,1%	600

Lampiran H-1 Foto Pengambilan Air Laut



Pengambilan Air Laut di Kawasan Pantai Ancol, Jakarta

Lampiran H-2 Foto Pengujian Material



Foto Pengujian Kotoran Organik



Foto Pengujian Analisa Saringan

Lampiran H-3 Foto Pembuatan Benda Uji



Pengujian Slump Flow



Pengukuran Slump Flow

Lampiran H-4 Foto Benda Uji



Perendaman Benda Uji Dalam Pengecoran



Perendaman Benda Uji Dalam Air Suling

Lampiran H-4 Foto Benda Uji (Lanjutan)



Perendaman Benda Uji Dalam Air Laut



Perendaman Benda Uji Dalam Larutan magnesium sulfat Saat Pengeringan

Lampiran H-4 Foto Benda Uji (Lanjutan)



Benda Uji Kuat Tekan



Benda Uji Kuat Tarik Belah

Lampiran H-4 Foto Benda Uji (Lanjutan)



Benda Uji Kuat Tarik Lentur



Benda Uji Permeabilitas

Lampiran H-5 Pengujian Benda Uji



Benda Uji Kuat Tekan yang Telah Di-Capping



Pengujian Kuat Tekan Benda Uji 10 x 20 cm

Lampiran H-5 Pengujian Benda Uji (Lanjutan)



Pengujian Kuat Tekan Benda Uji 15 x 30 cm

Lampiran H-5 Pengujian Benda Uji (Lanjutan)



Pengujian Kuat Tarik Belah



Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Lampiran H-5 Pengujian Benda Uji (Lanjutan)



Pengujian Kuat Tarik Lentur



Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur

Lampiran H-5 Pengujian Benda Uji (Lanjutan)



Pengujian Permeabilitas



Pembelahan Benda Uji Permeabilitas

Lampiran H-5 Pengujian Benda Uji (Lanjutan)



Pembelahan Benda Uji Permeabilitas



Pengukuran Besarnya Intrusi Air