

**STUDI KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR *SELF
COMPACTING CONCRETE* (SCC) DENGAN
PENGUNAAN AIR LAUT**

***A STUDY OF THE CHARACTERISTICS AND
MICROSTRUCTURE OF THE SELF COMPACTING
CONCRETE (SCC) WITH USE OF THE SEA WATER***

HARTINI



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**STUDI KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR *SELF
COMPACTING CONCRETE* (SCC) DENGAN
PENGUNAAN AIR LAUT**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

HARTINI

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

TESIS

**STUDI KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR SELF
COMPACTING CONCRETE (SCC) DENGAN
PENGUNAAN AIR LAUT**

Disusun dan diajukan oleh

HARTINI

Nomor Pokok P2303211002

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 01 Agustus 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Prof.Dr.M. Wihardi Tjaronge,ST.,M.Eng

Ketua

Dr.Eng. A. Arwin Amiruddin, ST.,MT

Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Sipil,

Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Ir. Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Hartini
Nomor mahasiswa : P2303211002
Program studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat di buktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2013

Yang menyatakan

Hartini

PRAKATA

Puji dan syukur atas Kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR *SELF COMPACTING CONCRETE (SCC)* DENGAN PENGGUNAAN AIR LAUT”**. yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya Tugas Akhir ini adalah berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga dan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada :

1. Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng selaku ketua komisi penasehat dan Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT selaku anggota komisi penasehat atas segala bantuan berupa sumbangan pemikiran, arahan dan saran yang telah Bapak berikan kepada penulis.
2. Prof. Dr.-Ing. Herman Parung, M. Eng; Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng dan Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, MT selaku tim penguji yang telah memberikan masukan dalam perbaikan penulisan tesis ini.
3. Suami Zulkifli Jumadi, ST., anak tercinta Fadly Muh. Zikri dan Orangtua atas pengorbanan, doa dan dukungan untuk penulis.
4. Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil yang telah membantu penulis selama pendidikan.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS. M. Eng, selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

6. Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Sudirman Sitang, selaku staf Laboratorium Struktur dan Bahan yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian.
8. Teman-teman seperjuangan khususnya Teknik Sipil Struktur 2011 (Mansyur, Pian, Teguh, P'sandy, P'hendrik, P'Sapar, Hamsyah, Takim, Adi, Raun, Muharar) dan teman-teman Pascasarjana Sipil UNHAS angkatan 2011 umumnya, atas bantuannya selama ini kepada penulis.
9. Tak lupa adik-adik S1 Sipil UH khususnya Hamka, Rahmat, Pendi dkk yang sangat membantu dalam penelitian ini.

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan dan LPPM Uniersitas Hasanuddin dengan skema penelitian MP3EI, untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuannya sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

Akhirnya, semoga ALLAH SWT melimpahkan Rahmat dan Taufik-Nya kepada kita semua, dan Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi kita terutama dalam bidang Teknik Sipil.

Makassar, 2013

Penulis

ABSTRAK

HARTINI. *Studi Karakteristik dan Mikrostruktur Self Compacting Concrete (SCC) Dengan Penggunaan Air Laut* (dibimbing oleh Muh. Wihardi Tjaronge dan A. Arwin Amiruddin)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik mekanik beton, serta menganalisa pengikatan klorida dan sulfat dari air laut pada *self compacting concrete (SCC)* dengan penggunaan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman.

Penelitian ini berupa uji eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar. Benda uji berbentuk silinder ukuran 15cm x 30 cm dibuat untuk pengujian mekanik beton berupa kuat tekan dan modulus elastisitas. Selain itu, untuk pengujian mikrostruktur yang dilaksanakan di laboratorium Mikrostruktur Fisika UNM Makassar berupa *X-Ray diffraction (XRD)* dan *scanning electron microscope (SEM)* untuk menganalisa kandungan unsur dan senyawa pada beton air laut yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan faktor air semen yang sama sebesar 0,37, beton air laut mencapai kuat tekan dan modulus elastisitas yang tidak begitu berbeda dengan beton air tawar, dimana beton air laut mencapai kuat tekan sebesar 45,77 MPa dan beton air tawar mencapai kuat tekan sebesar 45,01 MPa. Uji *X-Ray diffraction (XRD)* dan *scanning electron microscope (SEM)* menunjukkan perbedaan dimana pada beton air laut mengandung klorida serta adanya pembentukan garam *Friedel* dan *Aft (ettringite)*, sedangkan pada beton air tawar tidak teramati.

kata kunci : air laut, beton scc, garam *Friedel*, dan klorida



ABSTRACT

HARTINI. *A Study of the Characteristics and Microstructure Of the Self Compacting Concrete (SCC) with Use Of the Sea Water* (supervised by Muh. Wihardi Tjaronge dan A. Arwin Amiruddin)

This study aimed to analyze the mechanical characteristics of the concrete, and to analyze the binding level of the sea water chloride and sulfate on self compacting concrete (SCC) using the sea water as the mixing and water immersion.

The study was an experimental research conducted in the Material and Structure Laboratory of the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Makassar. A Cylindrical specimen measures 15cm x 30cm was made for mechanical testing of concrete such as compressive strength and modulus of elasticity. Besides this, for microstructure testing conducted in the laboratory of Microstructure Physics UNM Makassar such as X-Ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM) to analyze the content of elements and compounds content of the sea water concrete produced.

The results of the research indicated that with the same water-cement ratio of 0.37, the sea water concrete had achieved the compressive strength and modulus of elasticity which were not so different from the freshwater concrete, where the sea water concrete had achieved the compressive strength of 45.77 MPa while the fresh water concrete had achieved the compressive strength of 45.01 MPa. X-Ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM) test indicate a difference of which the sea water concrete contained chloride and the existence of Friedel salt and Aft (ettringite) formation, meanwhile in freshwater concrete it was unobserved.

keywords : sea water, self compacting concrete, Friedel salt and chloride



DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xvii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Penelitian Sebelumnya	6
B. Kerangka Pikir	10
C. Material Penyusun <i>Self Compacting Concrete</i>	11

1. Semen <i>Portland</i> komposit	11
a. Senyawa utama semen <i>Portland</i>	12
b. Reaksi hidrasi	14
2. Agregat	17
a. Agregat kasar	18
b. Agregat halus	20
3. Air	21
4. Bahan tambah	22
a. <i>Superplasticizer</i>	22
b. <i>Retarder</i>	23
D. Karakteristik Mekanik Beton	23
1. Kuat tekan	23
2. Modulus elastisitas	24
E. <i>Self Compacting Concrete</i>	26
1. <i>Slump flow</i>	29
2. Viskositas	31
3. <i>Segregasi</i> material	32
F. Air Laut	33
G. Pengikatan Klorida dan Sulfat pada Beton	34
H. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	37
I. <i>Scanning Electron Mikroscope</i> (SEM)	40
III. METODE PENELITIAN	43
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	43

B. Jenis Penelitian	43
1. Pengujian beton segar SCC	43
2. Pengujian beton keras	44
3. Analisa mikrostruktur beton	44
a. Analisa beton dengan <i>x-ray diffraction</i> (XRD)	44
b. Analisa beton dengan <i>scanning electron microscope</i> (SEM)	45
C. Alat dan Bahan Penelitian	46
1. Alat penelitian	46
2. Bahan penelitian	46
D. Prosedur Penelitian	47
1. Pembuatan benda uji	47
2. Uji fisik dan uji mikrostruktur material beton	48
E. Bagan Alir Penelitian	49
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	50
A. Hasil pengujian bahan campuran beton	50
1. Karakteristik agregat kasar	50
2. Karakteristik agregat halus	51
B. Komposisi <i>Mix Design</i>	52
C. Karakteristik Mekanik Beton	53
1. Hasil pengujian <i>slump flow</i> dan T_{50}	53
2. Hasil pengujian kuat tekan	54
3. Hasil pengujian modulus elastisitas	56
D. Pengujian Mikrostruktur Beton	58

E. Hubungan Hasil Uji Mikrostruktur dengan Waktu Perendaman	60
1. Hubungan uji mikrostruktur dan waktu perendaman pada beton air laut	61
a. Hubungan <i>tobermorite</i> ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) dengan waktu perendaman	61
b. Hubungan <i>portlandite</i> ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan waktu perendaman	63
c. Hubungan <i>garam Friedel</i> ($3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dengan waktu perendaman	65
d. Hubungan <i>ettringite</i> ($3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$) dengan waktu perendaman	66
2. Hubungan uji mikrostruktur dan waktu perendaman pada beton air tawar	68
a. Hubungan <i>tobermorite</i> ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) dengan waktu perendaman	68
b. Hubungan <i>portlandite</i> ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan waktu perendaman	70
V. KESIMPULAN DAN SARAN	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran	73

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Syarat fisika semen <i>Portland</i> komposit	11
2.	Karakteristik semen <i>Portland</i> komposit	12
3.	Mineral utama dalam klinker semen <i>Portland</i>	13
4.	Hidrasi alumina (C_3A dan C_4AF)	17
5.	Proporsi jumlah material pembentuk beton SCC	28
6.	Klas SCC berdasarkan nilai <i>slump flow</i>	30
7.	Kelas viskositas SCC	31
8.	Klas <i>segregasi resistansi</i> SCC	32
9.	Persentase kandungan senyawa pada mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut	39
10.	Komposisi atom dan senyawa kimia pada mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut	41
11.	Jenis pengujian beton segar SCC	43
12.	Jenis pengujian beton keras SCC	44
13.	Komposisi kimia air laut	47
14.	Jenis pengujian dan jumlah benda uji	48
15.	Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar asal sungai Bili-bili	50
16.	Hasil pemeriksaan karakteristik pasir sungai Bili-bili dan pasir pantai Barombong	51
17.	Komposisi bahan campuran beton SCC untuk 1 m^3	52
18.	Hasil pengujian <i>slump flow</i> dan T_{50}	53

19.	Hasil pengujian kuat tekan beton air laut dan beton air tawar	54
20.	Hasil pengujian modulus elastisitas beton air laut dan beton air tawar	56
21.	Hasil pengujian mikrostruktur beton air laut	58
22.	Hasil pengujian mikrostruktur beton air tawar	59
23.	Hasil analisa hubungan <i>tobermorite</i> dengan waktu perendaman pada beton air laut	61
24.	Hasil analisa hubungan <i>portlandite</i> (Ca(OH)_2) dengan waktu perendaman pada beton air laut	63
25.	Hasil analisa hubungan <i>garam Friedel</i> dengan waktu perendaman pada beton air laut	65
26.	Hasil analisa hubungan <i>ettringite</i> dengan waktu perendaman pada beton air laut	67
27.	Hasil analisa hubungan <i>tobermorite</i> dengan waktu perendaman pada beton air tawar	68
28.	Hasil analisa hubungan <i>portlandite</i> dengan waktu perendaman pada beton air tawar	70

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Grafik pengaruh penggunaan air laut sebagai air pencampur pada semen BFS	6
2.	Kerangka Pikir	10
3.	Pengujian <i>slump flow</i> (EFNARC 2002)	30
4.	Skema dasar percobaan XRD	38
5.	Grafik hasil pengujian XRD mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut	39
6.	Grafik hasil pengujian SEM untuk mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut	41
7.	Hasil foto SEM pada mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut	42
8.	Bagan Alir Penelitian	49
9.	Grafik pengujian kuat tekan untuk beton air laut dan beton air tawar	54
10.	Persentase kenaikan nilai kuat tekan untuk beton air laut dan beton air tawar umur 1, 3, 7, 28 hari	55
11.	Grafik pengujian modulus elastisitas untuk beton air laut dan beton air tawar	56
12.	Persentase kenaikan modulus elastisitas untuk beton air laut dan beton air tawar umur 1, 3, 7, 28 hari	57
13.	Grafik hubungan korelasi kandungan <i>tobermorite</i> (CSH) dengan waktu perendaman pada beton air laut	62
14.	Grafik hubungan korelasi kandungan <i>portlandite</i> (Ca(OH) ₂) dengan waktu perendaman pada beton air laut	64

15. Grafik hubungan korelasi kandungan *garam Friedel* dengan waktu perendaman pada beton air laut 66
16. Grafik hubungan korelasi kandungan *ettringite* dengan waktu perendaman pada beton air laut 67
17. Grafik hubungan korelasi kandungan *tobermorite* (CSH) dengan waktu perendaman pada beton air tawar 69
18. Grafik hubungan korelasi kandungan *portlandite* (Ca(OH)_2) dengan waktu perendaman pada beton air tawar 71

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
A	Luas penampang yang menerima beban
AFm	Aluminoferit monosulfat
ASTM	American Standard Test Material
a_1, b_2	Koefisien regresi
Ca(OH) ₂	Kalsium Hidroksida
C-S-H	Tobermorite
C ₂ S	Dicalcium Silikat
C ₃ A	Tricalcium Aluminat
C ₄ AF	Tetrakalsium Alumino Ferrit
C ₃ A 3CaSO ₄ .10H ₂ O	AFm
C ₃ S	Tricalcium Silikat
E	Modulus elastisitas (MPa)
f'_c	Kuat tekan beton
MPa	Mega pascal, satuan kuat tekan
MgSO ₄	Magnesium sulfat
N	Jumlah sampel
NaCl	Natrium Klorida
P	Beban maksimum
R ²	Koefisien determinasi
R	Koefisien korelasi

Y	Variabel terikat
X	Variabel bebas
S ₁	Tegangan pada 40 % beban runtuh
S ₂	Tegangan pada regangan awal
□ ₁	Regangan pada S ₂
□ ₂	Regangan awal
Σ	Kuat tekan beton (kg/cm ²)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi dibidang teknik sipil melahirkan berbagai penemuan-penemuan yang bertujuan untuk menciptakan sebuah struktur yang kuat, awet dan hemat dari segi biaya.

Untuk mendapatkan beton yang memiliki kualitas tinggi maka diperlukan pengetahuan yang mendasar mengenai sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan penyusun beton itu sendiri. Suatu campuran beton dikatakan memiliki kualitas yang bagus jika memenuhi beberapa syarat antara lain *strength* (kekuatan), *durability* (daya tahan), dan *workability* (kelecekan). Semakin baik kualitas bahan-bahan yang digunakan, maka semakin tinggi pula kualitas beton yang akan dihasilkan.

Agregat dan air merupakan faktor penting dalam pembuatan beton. Dimana agregat yang menempati volume besar turut berperan dalam kekuatan beton. Air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri.

Umumnya air yang digunakan dalam pembuatan beton adalah air yang dapat diminum atau air tawar. Namun, dewasa ini, di negara-negara maju ketersediaan air tawar semakin berkurang yang kemudian lambat

laun akan berpengaruh pada penggunaannya dalam produksi beton terutama dalam jumlah besar. Dikatakan bahwa pada tahun 2025 setengah dari umat manusia akan tinggal di daerah di mana air tawar tidak lagi mencukupi untuk kebutuhan lain selain untuk kebutuhan primer. (Otsuki dkk., 2011). Disamping itu, untuk negara kepulauan seperti di Indonesia ini, terdapat daerah-daerah yang sama sekali tidak memiliki sumber air tawar. Kendala ini kemudian menjadi tantangan tersendiri dalam dunia teknik sipil untuk dapat membuat beton dengan kualitas dan ketahanan tinggi (durabilitas) dengan menggunakan material penyusun yang ada. Misalnya dengan penggunaan air laut sebagai salah satu material penyusun beton.

Selain pemanfaatan air laut, dapat pula dipertimbangkan penggunaan pasir laut pada campuran beton mengingat banyaknya pasir laut yang tersedia di alam. Diharapkan dengan pemanfaatan bahan yang ada dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat lebih ekonomis dari segi biaya.

Disamping perlunya memperhatikan kualitas bahan penyusun beton, perlu pula memperhatikan teknologi pembuatan beton. Untuk memperoleh struktur beton yang memiliki ketahanan membutuhkan pemadatan yang baik. Pemadatan yang kurang sempurna akan menyebabkan rongga-rongga udara akan terjebak didalam beton sehingga kekuatan dan daya tahan beton menjadi rendah. *Self compacting concrete* atau yang umum disingkat dengan istilah SCC

adalah beton segar yang sangat plastis dan mudah mengalir karena berat sendirinya mengisi keseluruhan cetakan yang dikarenakan beton tersebut memiliki sifat-sifat untuk memadatkan sendiri, tanpa adanya bantuan alat penggetar untuk pemadatan.

Terkait dengan hal tersebut diatas, penulis tertarik melakukan penelitian terhadap karakteristik dan mikrostruktur *self compacting concrete* (SCC) dengan penggunaan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik *self compacting concrete* (SCC) dengan penggunaan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman,
2. Bagaimana perbandingan karakteristik *self compacting concrete* (SCC) dengan penggunaan air laut dan air tawar.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisa kandungan mikrostruktur pada *self compacting concrete* (SCC) dengan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman,

2. Menganalisa kandungan mikrostruktur pada *self compacting concrete (SCC)* dengan air tawar sebagai air pencampur dan air perendaman.
3. Untuk mendapatkan parameter kandungan mikrostruktur yang sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini secara umum diharapkan dapat memberikan masukan sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai rancangan campuran beton *self compacting concrete (SCC)* dengan penggunaan air laut,
2. Sebagai referensi mengenai perilaku mekanik beton *self compacting concrete (SCC)* dengan penggunaan air laut,
3. Dapat digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai *self compacting concrete (SCC)* yang menggunakan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman.

E. Batasan Masalah

Mengingat banyaknya hal yang dapat mempengaruhi dalam suatu penelitian, maka permasalahan penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut :

1. Semen yang digunakan yaitu semen *Portland* komposit (PCC) merk Tonasa,

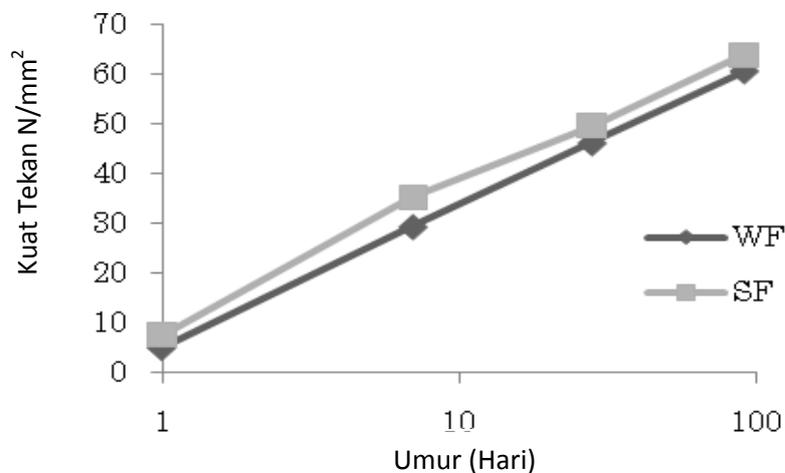
2. Bahan material yang digunakan yaitu agregat halus berupa pasir pantai Barombong dan pasir asal sungai Bili-bili serta agregat kasar (batu pecah) berasal dari sungai Bili-bili,
3. Menggunakan air laut asal pantai Barombong dan air tawar berasal dari PDAM pada laboratorium teknologi bahan teknik sipil UNHAS sebagai air pencampur dan air perawatan (*curing*).
4. Penelitian dilakukan terhadap dua variasi benda uji yaitu beton air laut yang menggunakan batu pecah asal sungai Bili-bili, pasir pantai Barombong dan air laut sebagai air pencampur dan air perawatan serta beton air tawar yang menggunakan batu pecah dan pasir asal sungai Bili-bili dan air tawar sebagai air pencampur dan air perendaman,
5. Pengujian karakteristik beton berupa uji kuat tekan dan modulus elastisitas serta pengamatan kandungan mikrostruktur menggunakan *x-ray diffraction (XRD)* dan *scanning electron microscope (SEM)*,
6. Pengujian karakteristik dan pengujian mikrostruktur beton dilakukan pada umur 28 hari,
7. Parameter penelitian untuk pengujian mikrostruktur adalah hidrat utama semen *Portland* yaitu gel C-S-H (*tobermorite*), Ca(OH)_2 (*portlandite*), *Aft/ettringite* ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$), dan *garam Friedel* ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Sebelumnya

Otsuki dkk., (2011) melakukan penelitian tentang kemungkinan penggunaan air laut sebagai air pencampur pada beton. Dalam penelitian ini, penulis membandingkan durabilitas beton dengan menggunakan *Ordinary Portland Cement (OPC)* dan semen *Blast furnace slag (BFS)* yang dicampur dengan air tawar dan air laut. Spesimen dibuat dengan pasta semen BFS yang memiliki rasio penggantian BFS terhadap OPC adalah 70% dan rasio air semen adalah 0,5. Ukuran spesimen adalah 10x10x40 mm. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1, menunjukkan perbedaan daya tahan antara beton dicampur dengan air tawar dan dicampur dengan air laut tidak begitu banyak.



Gambar 1. Grafik pengaruh penggunaan air laut sebagai air pencampur pada semen BFS

Selain itu, pada penelitian ini diperoleh bahwa pencampuran dengan air laut menurunkan jumlah pori-pori, dimana kemudian meningkatkan kekuatan semen BFS terhadap kuat tekan dari semen BFS dengan menggunakan air tawar. Selanjutnya penulis menyimpulkan bahwa aman menggunakan air laut sebagai air pencampuran, dengan penanggulangan menggunakan air laut sebagai air pencampuran adalah sebagai berikut : gunakan semen BFS atau semen dicampur lainnya bukan OPC, gunakan inhibitor korosi atau diperkuat dengan stainless steel atau penguatan tahan korosi.

Mohammed dkk., (2002) melakukan penyelidikan difusi klorida, mikrosruktur dan komposisi spesimen beton silinder setelah 15 tahun diekspose dilingkungan pasang surut. Jenis semen yang digunakan adalah semen *Portland* biasa (OPC), terak semen tipe A (SCA), tipe B (SCB) dan tipe C (SCC) serta semen *fly ash* tipe B (FCAB). Kuat tekan beton meningkat pada umur 28 hari sampai 15 tahun terkecuali untuk jenis FACB yang diduga akibat pembentukan *ettringite*. Dalam penelitian ditemukan bahwa pemanfaatan semen campuran (SCA, SCB, SCC, dan FCAB) menunda timbulnya korosi. Untuk batang baja yang tertanam dalam benda uji silinder pada kedalam 70 mm dari selimut beton, waktu dimulainya korosi untuk semen terak tipe C (SCC) adalah sekitar 150 tahun, sedangkan untuk OPC dan FACB adalah masing-masing 22 tahun dan 65 tahun. Selain itu, masuknya klorida dibeton diurutkan mulai dari OPC>FACB>SCA>SCB>SCC, hal ini disebabkan penggunaan semen

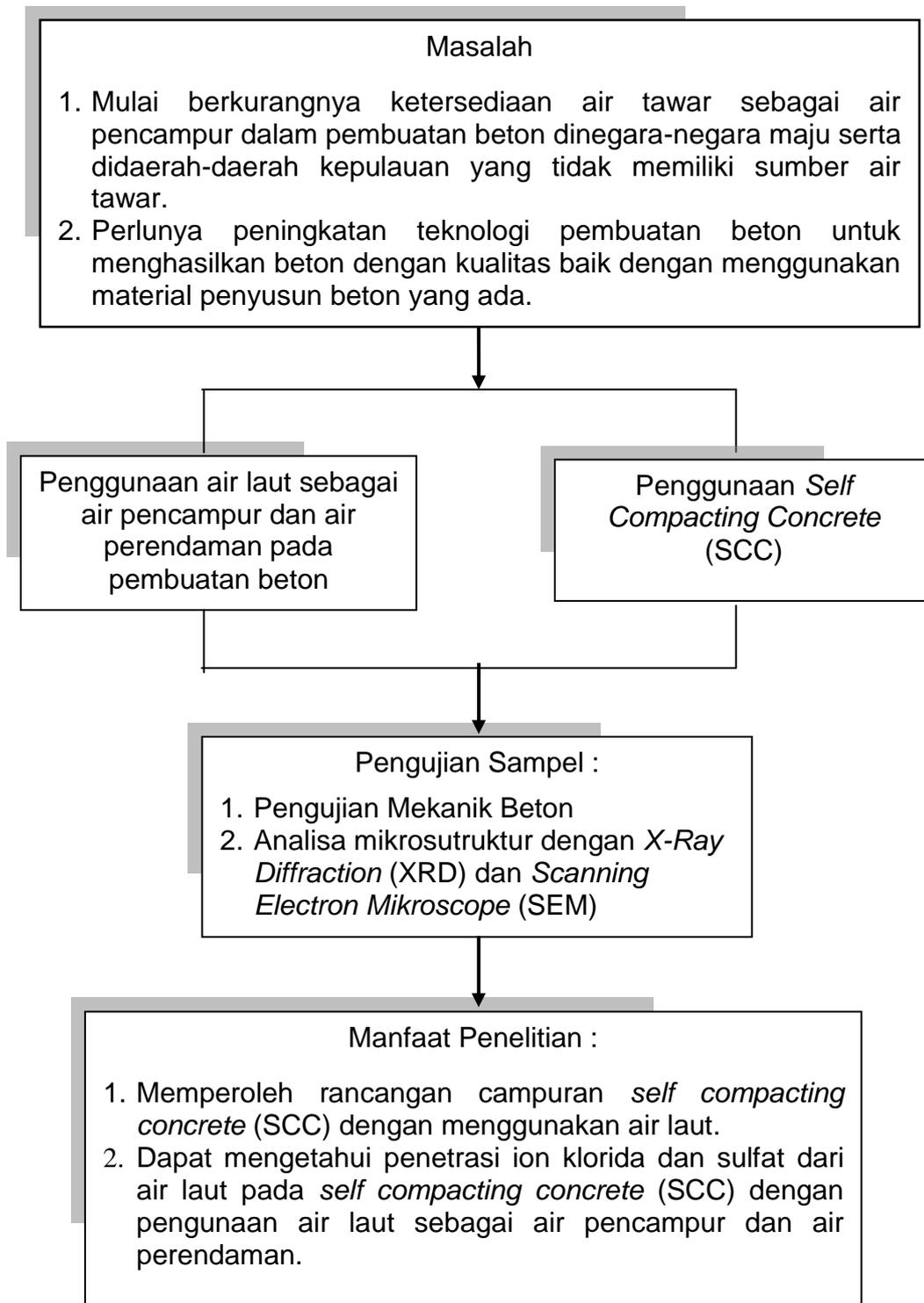
terak menyebabkan penurunan volume pori pada daerah luar benda uji yang menyebabkan berkurangnya konektivitas saluran pori kapiler.

Mohammed dkk., (2003), melakukan penelitian terhadap kuat tekan, mineralogi, masuknya klorida, dan korosi baja tulangan yang tertanam dalam beton yang dibuat dengan air laut dan air keran. Penelitian dilakukan dalam 2 seri. Pada seri pertama, jenis semen yang digunakan yaitu semen *Portland* biasa, semen terak, dan semen *fly ash*. Tiga batang baja bulat diameter 9 mm ditanam pada 20, 40, dan 70 mm dari selimut benda uji silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm). Beton polos untuk benda uji silinder juga dibuat. Pada benda uji prisma (100 x 100 x 600 mm), satu batang baja bulat diameter 9 mm dan panjang 500 mm ditanam ditengah bagian. Sebelum pemaparan, celah lentur dibuat di tengah spesimen prisma. Penyelidikan pada seri ini dilakukan pada umur 28 hari dan 15 tahun.

Dalam seri kedua, jenis semen adalah semen *Portland* biasa, semen *Portland* dengan kekuatan awal tinggi, semen *Portland* dengan panas hidrasi sedang, dan semen *blast furnace slag*. Benda uji silinder polos dan bertulang dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm diselidiki. Baja tulangan ditanam pada 20, 40, dan 70 mm dari selimut beton. Penyelidikan dilakukan pada 28 hari, 1,5 tahun dan 20 tahun dari paparan. Beton campuran air laut menunjukkan kekuatan awal yang tinggi. Setelah 20 tahun dari paparan, tidak ada perbedaan yang signifikan dalam kekuatan tekan beton yang diamati untuk campuran beton dengan

air laut dan air tawar. Jumlah awal klorida (akibat penggunaan air laut) dapat menyebabkan inisiasi korosi pada lokasi dari batang baja yang memiliki rongga/celah pada *interface* baja-beton segera setelah pengecoran beton. Penggunaan air laut menghasilkan pembentukan lubang korosi yang lebih dalam dibandingkan dengan air keran.

B. Kerangka Pikir



Gambar 2. Kerangka pikir

C. Material Penyusun *Self Compacting Concrete*

1. Semen *Portland* komposit

Semen *Portland* komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *Portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen *Portland* komposit. (SNI 15-7064-2002).

Syarat kimia untuk semen *Portland* komposit yaitu SO₃ maksimum 4% dengan syarat fisika diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat fisika semen *Portland* komposit

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

Sumber : SNI Semen *Portland* Komposit (SNI 15-7064-2002).

Tabel 2. Karakteristik semen *Portland* komposit

No.	Deskripsi	SNI 15-7064-2004	Hasil Pengujian
I	Propertis Kimia		
	<i>Magnesium Oxida (MgO %)</i>	-	0,88
	<i>Sulfur Trioxida (SO₃)</i>	Maks 4	2,28
	<i>C₃A < 8 (%)</i>	Maks 4	-
	<i>C₃A > 8 (%)</i>		
II	Propertis Fisik		
	Kehalusan butir		
	Blaine meter (m ² /kg)	min 280	382
	Kekekalan bentuk dengan		
	<i>Autoclave % (maks)</i>	maks 0.8	0,18
	Kuat tekan		
	a. 3 hari (kg /cm ²)	min 125	-
	b. 7 hari (kg /cm ²)	min 200	-
	c. 28 hari (kg /cm ²)	min 250	-
	Waktu ikat (Vicat test) :		
	a. ikatan awal, menit	min 45	132,5
	b. ikatan akhir, menit	maks 375	198
	Ikatan semu (menit)		-
	> Penetrasi akhir (%)	min 50	64,29
	Kandungan udara dalam mortar		
	(% volume)	maks 12	11,5
	Berat jenis		3,13

Sumber : PT.Semen Tonasa

Adapun pada Tabel 2 dapat dilihat karakteristik fisika dan kimia semen *Portland* komposit.

a. Senyawa utama semen *Portland*.

Klinker semen *Portland* mengandung empat senyawa kimia utama, yang disebut sebagai mineral klinker. Komposisi kimia potensial dari semen *Portland* dapat dianalisa menggunakan komposisi Bogue berikut :

$$C_3S = 4,071(\text{total CaO, kapur bebas}) - 7,600SiO_2 - 6,718Al_2O_3 - 1,430Fe_2O_3$$

$$C_2S = 2,867SiO_2 - 0,7544C_3S$$



Kedua mineral kalsium silikat, C_3S dan C_2S (dalam bentuk β - C_2S) merupakan unsur utama dalam pengembangan kekuatan dan memiliki pengaruh yang besar terhadap ketahanan dan sifat struktural jangka panjang dari semen *Portland*. Namun, reaksi antara CaO (kapur dari batu kapur) dan SiO_2 (silika dari pasir) sangat sulit dicapai, bahkan pada suhu pembakaran yang tinggi. Untuk itu perlu ditambahkan sejumlah alumina (Al_2O_3) sebesar 5% dan oksida besi (Fe_2O_3) sebesar 3% untuk membentuk *fluks* cair yang membantu kapur dan silika dapat larut, dan kemudian bereaksi untuk menghasilkan C_3S dan C_2S . Mineral utama semen *Portland* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Mineral utama dalam klinker semen *Portland*

Rumus Kimia	Nama Mineral	Singkatan	Jumlah (%)	Batas (% berat)
$3CaOSiO_2$ atau, Ca_3SiO_5	<i>Alite</i>	C_3S	57	45-65
$2CaOSiO_2$ atau, Ca_2SiO_4	<i>Belite</i>	C_2S	16	10-30
$3CaOAl_2O_3$ atau, $Ca_3Al_2O_6$	<i>Aluminate</i>	C_3A	9	5-12
$4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$ atau, $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$	<i>Ferrite</i>	C_4AF	10	6-12

Sumber : Tjaronge, 2012

C_3S (*alite*) dan C_2S (*belite*) adalah senyawa yang memiliki sifat perekat. C_3A adalah senyawa yang paling reaktif. C_4AF dan lainnya (dari oksida alumina dan besi) berfungsi sebagai katalisator (*fluxing agents*) yang menurunkan temperatur pembakaran dalam klin untuk pembentukan kalsium silikat.

Ada korelasi yang baik antara kecepatan hidrasi dan panas hidrasi. Hidrasi C_3S lebih cepat dari C_2S sehingga kontribusi kekuatan pada umur awal lebih ditentukan oleh hidrasi C_3S . Hidrasi C_2S lebih memberikan andil atas perkembangan beton setelah umur 28 hari. C_3A mempunyai reaksi hidrasi yang sangat cepat dan panas hidrasi yang sangat tinggi sehingga dapat menyebabkan pengikatan awal pada kondisi beton segar. Hal ini dapat menurunkan kelecakan maupun menyebabkan terjadinya *flash set*. Untuk mengatasi hal ini, maka ditambahkan gypsum dalam jumlah yang cukup.

Panas hidrasi untuk masing-masing komponen semen yaitu :

Trikalsium silikat = 120 cal/g

Dikalsium silikat = 62 cal/g

Trikalsium aluminat = 207 cal/g

Tetrakalsium aluminoferrit = 100 cal/g

b. Reaksi hidrasi.

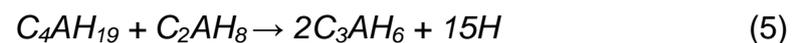
Kedua silikat C_3S dan C_2S bereaksi dengan air untuk menghasilkan hidrat kalsium silikat *amorf* yang dikenal sebagai gel C-S-H (gel *tobermorite*) yang merupakan 'perekat' utama yang mengikat partikel

pasir dan agregat bersama-sama dalam beton. C_3S jauh lebih reaktif dari C_2S dan pada kondisi suhu standar, sekitar 20°C , sekitar separuh dari C_3S dalam semen akan terhidrasi dalam 3 hari dan 80% dalam 28 hari. Sebaliknya, hidrasi C_2S biasanya tidak berlangsung normal hingga 14 hari. Kelebihan Ca diendapkan sebagai kristal kalsium hidroksida, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau *portlandite* (CH). Hidrasi C_2S juga menghasilkan beberapa formasi CH.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang terbebaskan oleh hidrolisis kalsium silikat membentuk pelat-pelat tipis heksagonal. Persamaan reaksi hidrasinya adalah persamaan *stoichiometric* yang disederhanakan sebagai berikut :



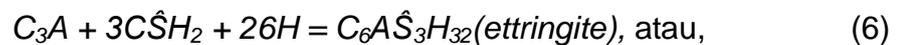
Komposisi aluminat fase dalam klinker dan dalam hidrasi semen sangat dipengaruhi oleh kuantitas yang besar dari reaksi silikat dan juga oleh adanya basa. Dengan tidak adanya larutan kalsium sulfat, C_3A bereaksi dengan cepat untuk membentuk fase C_2AH_8 dan C_4AH_{19} , yang kemudian mengkonversi ke C_2AH_6 .



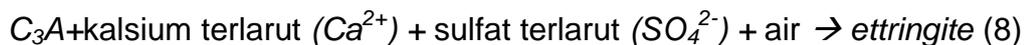
Reaksi ini adalah cepat dan sangat eksotermis (*flash set*) dan tidak dapat dikendalikan secara kinetik. Untuk mengendalikan hidrasi C_3A agar

tidak terjadi *flash set*, maka pada saat pembuatan klinker ditambahkan gypsum.

Jika gypsum yang telah ditumbuk halus ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) atau dalam bentuk *hemihydrate* ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) dicampur dengan C_3A sebelum pencampuran dengan air maka reaksi awal dapat dikendalikan oleh *ettringite* ($\text{C}_6\text{A}\hat{\text{S}}_3\text{H}_{32}$), suatu lapisan pelindung yang terbentuk pada permukaan kristal C_3A . Reaksi dapat diringkas sebagai:



Dimana $\hat{\text{S}}$ adalah SO_3 dan H menunjukkan H_2O yaitu,



Ettringite biasa juga disebut Aft-fase. Ketika sulfat yang tersedia telah habis, *ettringite* bereaksi dengan C_3A untuk membentuk fase dengan kandungan SO_3 rendah dikenal sebagai *monosulfate*. Reaksi dapat diringkas sebagai:



Dan bersama dengan CH dari hidrasi C_3S dan C_2S terjadi pula



Proses hidrasi C_4AF (atau yang lebih pasti, larutan padat $\text{C}_2\text{A}-\text{C}_2\text{F}$) hampir sama dengan hidrasi C_3A namun berlangsung lebih lambat. Besi masuk ke dalam larutan padat pada struktur kristal *ettringite* dan *monosulfate* menggantikan aluminium. Komposisi variabel *ettringite* dan *monosulfate* yang dibentuk oleh campuran C_3A dan C_4AF adalah disebut

masing-masing sebagai AFt (*alumino-ferit hidrat trisulfate*) dan AFm (*alumino-ferit hidrat monosulfate*) fase. Reaksi hidrasi dari C₃A dan C₄AF dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hidrasi alumina (C₃A dan C₄AF)

Mineral	Ada larutan kalsium sulfat	Tingkat reaksi	Hasil reaksi
C ₃ A	Tidak	Sangat cepat dan melepaskan panas	Hidrasi C ₂ AH ₈ dan C ₂ AH ₁₉ dimana sebagian menjadi C ₂ AH ₆
C ₃ A	Ya	Pada awalnya cepat	<i>Ettringite</i> , C ₆ AC ₃ H ₃₂ dimana sebagian bereaksi membentuk <i>monosulfate</i> 3(C ₃ A.CS̄.12H)
C ₄ AF	Tidak	Bervariasi (tergantung perbandingan Al/Fe)	Hidrasi dari C ₂ (A,F)H ₈ dan C ₄ (A,F) ₈ dimana sebagian berubah menjadi C ₃ (A,F)H ₆ (<i>hydrogarnet</i>)
C ₄ AF	Ya	Bervariasi tapi secara umum lambat	Besi menggantikan <i>ettringite</i> (Aft) dan sebagian besi menggantikan <i>monosulfate</i> (AFm)

Sumber : Tjaronge, 2012

2. Agregat

Agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Pada beton konvensional, agregat menempati 70 – 75% dari total volume beton. Sedangkan pada beton SCC agregat kasar dibatasi jumlahnya sekitar kurang lebih 50 % dari total volume beton supaya bisa mengalir dan memadat sendiri tanpa alat pemadat. (Tjaronge dkk., 2010).

a. Agregat kasar.

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. (SNI 03-2874-2002). Syarat-syarat agregat kasar antara lain:

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai bila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat keseluruhan. Butir-butir agregat kasar ini harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui saringan No. 200 (saringan ASTM) atau saringan 0,063 mm. Bila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat kasar harus dicuci sebelum digunakan.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat reaktif alkali yang dapat memecahkan beton jika zat tersebut beraksi dengan Na_2O dan K_2O dalam semen *Portland*.
- d. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir beraneka ragam besarnya dan bergradasi baik. Apabila diayak dengan susunan ayakan ISO, harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a) Sisa diatas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat
 - b) Sisa diatas ayakan 4 mm, harus harus berkisar antara 90% - 98% berat
 - c) Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan berurutan, maksimum 60% dan minimum 10%.
- e. Kekerasan butiran agregat kasar dapat diperiksa dengan menggunakan mesin Los Angeles dimana tidak lolos 50% saringan No. 12 (ASTM) atau dengan pengujian bejana Rudellof dengan beban uji seberat 20 ton dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
- a) Tidak terjadi pembekuan sampai fraksi 9,5 – 1,9 mm lebih dari 24% terhadap berat,
 - b) Tidak terjadi pembekuan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22% terhadap berat,
 - c) Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada $\frac{1}{5}$ (seperlima) jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ (sepertiga) dari tebal pelat atau $\frac{3}{4}$ (tiga perempat) dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

b. Agregat halus.

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm, (SNI 03-2874-2002). Selanjutnya agregat halus harus memenuhi satu, beberapa atau semua syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Butiran-butirannya tajam dan tidak dapat dihancurkan dengan tangan.
- b. Tidak mudah dihancurkan oleh pengaruh cuaca
- c. Kandungan lumpur maksimum 5% terhadap berat kering, jika kandungan lumpurnya lebih besar dari 5% maka pasir harus dicuci.
- d. Agregat halus tidak boleh terlalu banyak mengandung bahan organik, hal ini dapat diketahui dengan percobaan *Abrame Harder* (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga digunakan asal kekuatan tekan adukan pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan dari pasir yang sama tetapi dicuci dengan larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
- e. Agregat halus harus memenuhi gradasi :
 - a) Sisa diatas ayakan 4 mm, minimal 2% dari berat kering
 - b) Sisa diatas ayakan 1 mm, minimal 10% dari berat kering

- c) Sisa diatas ayakan 0,25 mm, minimal 80 - 95% dari berat kering
- f. Agregat halus tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali.
- g. Apabila dicuci dengan larutan natrium sulfat, bagian yang hancur harus lebih kecil dari 10%.

3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton serta dalam perawatan beton.

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

- a. Sifat *workability* adukan beton.
- b. Besar kecilnya nilai susut beton
- c. Kelangsungan reaksi dengan semen *Portland*, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu.
- d. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini :

- a. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.

- c. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

4. Bahan Tambah

a. *Superplasticizer.*

Penggunaan *superplasticizer* untuk menaikkan *workability* campuran beton dan mempengaruhi *slump*, *bleeding*, *air content* dan kekuatan beton. Jenis *superplasticizer* berdasarkan bahan dasarnya antara lain : *nephtaline*, *melamine*, *polycarboxylate*.

Secara umum penggunaan *superplasticizer* dari jenis *nephtaline* akan menghasilkan penurunan kandungan udara dan menaikkan *bleeding* dan kekuatan, hal tersebut dapat tercapai jika air dalam campuran beton dikurangi. Sedangkan jenis *melamine* sangat sedikit pengaruhnya terhadap kandungan udara, kekuatan beton, dan menghasilkan pengurangan *bleeding*.

Superplasticizer yang diproduksi terdapat berbagai macam antara lain: *viscocrete* yang menggunakan bahan dasar *polycarboxylates*. *Superplasticizer* ini merupakan teknologi baru dari beton *aditif* menghasilkan beton yang sangat cair, beton tanpa pemadatan (*self compacted*) , mutu sangat tinggi dengan pengurangan air hingga 30%.

b. Retarder.

Penggunaan bahan kimia *retarder* adalah untuk memperlambat waktu pengikatan (*setting time*) sehingga campuran akan tetap mudah untuk dikerjakan (*workable*) untuk waktu yang lama.

D. Karakteristik Mekanik Beton

Karakteristik mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku yang lebih daktail, kekedapan air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

1. Kuat tekan

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton per satuan luas. Kuat tekan beton normal antara 20 – 40 MPa. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh : faktor air semen (*water cement ratio = w/c*), sifat dan jenis agregat, jenis campuran, kelecakan (*workability*), perawatan (*curing*) beton dan umur beton. Faktor air semen (*water cement ratio = w/c*) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil nilai *w/c* nya maka jumlah airnya sedikit yang akan menghasilkan kuat tekan beton yang besar.

Kuat tekan beton dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (11)$$

Dimana :

f'_c = kuat tekan beton (kg/cm²)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang yang menerima beban (cm²)

Dalam penelitian ini, kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/mm² atau MPa (mega pascal). Yang dimaksud dengan kuat tekan beton adalah tegangan maksimum pada saat regangan beton (ϵ_b) mencapai 0,002.

2. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas suatu bahan menggambarkan besarnya tegangan pada satu satuan regangan. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembaban benda uji beton, faktor air semen, umur beton dan temperaturnya.

Pengujian elastisitas beton, menggunakan benda uji silinder sebanyak 3 buah (beton SCC) dengan menggunakan alat yang sama di atas dan memasang *dial compressometer* dan *dial extensometer* dipasang pada benda uji. Kemudian dibebani perlahan-lahan, hasil dari dua dial tersebut dicatat setiap penambahan beban 25 KN.

Modulus elastisitas dihitung dengan persamaan :

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (12)$$

Dimana :

- E = Modulus elastisitas (MPa)
- S_2 = Tegangan pada 40 % beban runtuh
- S_1 = Tegangan pada regangan awal
- ε_2 = Regangan pada S_2
- ε_1 = Regangan awal

Berdasarkan SK SNI 03-2847 (2002) Pasal 12.2.3 regangan kerja maksimum yang diperhitungkan diserat tepi beton tekan terluar adalah 0,003 sebagai batas hancur. Kemiringan kurva awal pada beton sangat seragam dan umumnya agak melengkung. Pada penerapannya, untuk menentukan modulus elastisitas beton digunakan rumus-rumus empiris yang menyertakan besaran besar disamping kuat tekannya. Menurut pasal 10.5 SNI-03-2847 (2002) untuk beton dengan berat isi (W_c) antara 1500 – 2500 kg/mm², nilai modulus elastisitasnya dapat diambil sebesar :

$$E_c = 0,043W_c^{1,5}\sqrt{f'_c} \quad (13)$$

Sedangkan untuk beton normal dengan berat isi 23kN/m³, maka dapat digunakan nilai modulus elastis sebesar :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (14)$$

E. Self Compacting Concrete

Self compacting concrete atau yang umum disingkat dengan istilah SCC adalah beton segar yang sangat *plastis* dan mudah mengalir karena berat sendirinya mengisi keseluruhan cetakan yang dikarenakan beton tersebut memiliki sifat-sifat untuk memadatkan sendiri, tanpa adanya bantuan alat penggetar untuk pemadatan. *Self compacting concrete* yang baik harus tetap homogen, kohesif, tidak *segregasi*, tidak terjadi *blocking*, dan tidak *bleeding*.

Secara umum, *self compacting concrete* yang diproduksi dengan bahan tambahan *superplasticizer* berbasis *polimer*, *mikrosilika*. Beton jenis ini semakin banyak dipakai karena selain memiliki kekuatan yang sangat tinggi, tetapi tetap lecah dalam pelaksanaannya. Kinerja kelecakan ini tercapai berkat bahan tambah yang dimasukkan dimana *aditif* ini seolah-olah akan menyelimuti partikel-partikel semen sehingga dalam interval waktu tertentu antar partikel semen tidak terjadi reaksi “tarik menarik” seperti yang terjadi dalam campuran tanpa *aditif*. Tambahan *superplasticizer*, *aditif* mineral dan *aditif* lain ini selain membuat beton tetap lecah/encer, tetapi juga akan menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi. Kekuatan tekan yang tinggi dari *self compacting concrete* ini berkaitan dengan nilai f.a.s (faktor air semen) yang digunakan. Dimana pada *self compacting concrete* dengan penggunaan nilai f.a.s yang kecil tetap memiliki *workability* yang bagus.

Kelebihan *self compacting concrete* (SCC) :

- a. Sangat encer, bahkan dengan bahan aditif tertentu bisa menahan slump tinggi dalam jangka waktu lama (*slump keeping admixture*).
- b. Tidak memerlukan pemadatan manual
- c. Lebih homogen dan stabil.
- d. Kuat tekan beton bisa dibuat untuk mutu tinggi atau sangat tinggi.
- e. Lebih kedap, porositas lebih kecil
- f. Susut lebih rendah.
- g. Dalam jangka panjang struktur lebih awet (*durable*).
- h. Tampilan permukaan beton lebih baik dan halus karena agregatnya biasanya berukuran kecil sehingga nilai estetis bangunan menjadi lebih tinggi.
- i. Karena tidak menggunakan penggetaran manual, lebih rendah polusi suara saat pelaksanaan pengecoran.
- j. Tenaga kerja yang dibutuhkan juga lebih sedikit karena beton dapat mengalir dengan sendirinya sehingga dapat menghemat biaya sekitar 50% dari upah buruh.

Berdasarkan spesifikasi *self compacting concrete* dari *The European Federation of Specialist Constructions Chemicals and Concrete Systems (EFNARC)*, workabilitas atau kelecakan campuran beton segar

dapat dikatakan sebagai *self compacting concrete* apabila memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a. *Filling ability*, adalah kemampuan *self compacting concrete* untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan melalui berat sendirinya.
- b. *Passing ability*, adalah kemampuan *self compacting concrete* untuk mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan tanpa terjadi adanya *segregasi* atau *blocking*.
- c. *Segregation resistance*, adalah kemampuan *self compacting concrete* untuk menjaga tetap dalam keadaan komposisi yang homogen selama waktu transportasi sampai pada saat pengecoran.

Adapun proporsi campuran bahan penyusun *self compacting concrete* berdasarkan *The European Federation of Specialist Constructions Chemicals and Concrete Systems (EFNARC)* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Proporsi jumlah material pembentuk beton SCC

Material	Batas dalam Berat (kg/m ³)
Powder	380 – 600
Air	150 – 210
Agregat kasar	750 – 1000
Agregat Halus	48 – 55% dari berat agregat

Sumber : *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*

Menurut Okamura and Ouchi (2003), satu solusi untuk mendapatkan suatu struktur beton tahan lama yang terikat pada kemampuan pekerjaan konstruksi adalah kemampuan sendiri beton untuk memadat, yang dapat mengalir ke dalam tiap-tiap sudut suatu cetakan, karena berat sendiri dan tanpa kebutuhan akan alat penggetar, dengan komposisi campuran agregat kasar 50% dari volume beton, agregat halus 40% dari volume mortar dan faktor air semen antara 0,25 – 0,40.

Pada penelitian Ahmadi dkk., (2007) dengan menggunakan campuran 460 kg semen, 770 kg kerikil, 1000 kg pasir, w/c 0,35 dan *superplasticizer Visco* 1%, didapatkan kuat tekan 57 MPa. Dimana penggunaan beton SCC ini meningkatkan kuat tekan sebesar 31 – 41% dan kuat lentur sebesar 12 – 20%. Sementara modulus elastisitasnya berkurang 9 – 17% dari beton normal.

1. *Slump flow*

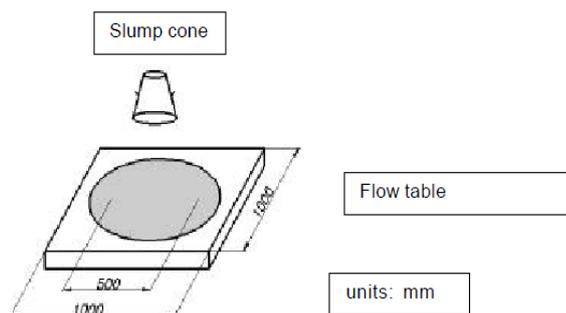
Slump flow dapat diartikan sebagai diameter rata-rata penyebaran beton segar menggunakan kerucut *slump* biasa. SCC adalah suatu beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir dan mengisi ruang-ruang di dalam cetakan tanpa proses pemadatan atau hanya sedikit sekali memerlukan pemadatan. Salah satu bahan kimia yang mempengaruhi kemampuan SCC untuk mengalir adalah *superplasticizer*. Klas SCC berdasarkan nilai *slump flow* diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Klas SCC berdasarkan nilai *slump flow*

Klas	Slump flow (mm)
SF 1	550 – 650
SF 2	660 – 750
SF 3	760 – 850

Sumber : *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*

Pengujian *slump flow self compacting concrete* menggunakan *slump cone* berdasarkan *The European Guidelines for Self Compacting Concrete* (EFNARC, 2002) dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Pengujian *slump flow* (EFNARC 2002)

Tjaronge dkk., (2006) melakukan penelitian *slump flow* dan kuat lentur *self compacting concrete* (SCC) dengan kandungan *superplasticizer* yang bervariasi. Penelitian menggunakan semen *Portland* jenis 1 (OPC) dengan *superplasticizer* berbasis *polycarboxylate*. Kandungan 0,4% *superplasticizer* menghasilkan diameter slump 555 mm, untuk 0,6% diperoleh diameter slump 655 mm dan 0,8% dari berat semen diperoleh diameter 735 mm. Hasil penelitian menunjukkan penambahan

superplasticizer meningkatkan *slump flow*, dimana setiap penambahan 0,2% *superplasticizer* akan memperbesar *slump flow* sekitar 100 mm.

2. Viskositas

Viskositas dapat dinilai pada saat T_{500} selama uji *slump flow* atau dinilai berdasarkan waktu alir corong-V. Nilai waktu yang diperoleh tidak mengukur viskositas SCC tetapi berkaitan dengan kecepatan aliran. Beton dengan viskositas rendah akan memiliki aliran awal yang sangat cepat dan kemudian berhenti. Beton dengan viskositas tinggi dapat terus merambat melewati perpanjangan waktu. Untuk kelas viskositas *self compacting concrete* diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kelas viskositas SCC

Klas	T_{500} , S
VS1	≤ 2
VS2	>2

Sumber : *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*

Tipikal kelas viskositas menurut *The European Guidelines for Self Compacting Concrete* :

- a. VS1/VF1 memiliki kemampuan mengisi yang baik bahkan dengan tulangan padat dan umumnya memiliki permukaan akhir terbaik. Namun, campuran beton ini lebih mungkin menderita *bleeding* dan *segregasi*.

b. VS2/VF2 tidak memiliki batas kelas atas tapi dengan meningkatnya waktu aliran, lebih memungkinkan untuk menunjukkan efek *thixotropic*, yang mungkin dapat membantu dalam membatasi tekanan bekisting atau meningkatkan ketahanan terhadap *segregasi*. Efek negatif mungkin dialami mengenai permukaan akhir yang berlubang.

3. *Segregasi material*

Ketahanan *segregasi* adalah dasar untuk keseragaman dan kualitas SCC. SCC dapat mengalami *segregasi* selama penempatan dan juga setelah penempatan tetapi sebelum pengerasan. *Segregasi* yang terjadi setelah penempatan akan paling merugikan dalam elemen tinggi dan bahkan di lembaran tipis, dapat menyebabkan cacat permukaan seperti retak atau permukaan yang lemah.

Ketahanan *segregasi* menjadi parameter penting pada klas *slump flow* yang lebih tinggi dan/atau kelas viskositas rendah, atau jika kondisi penempatan mendorong terjadinya *segregasi*. Adapun klas *segregasi* diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Klas *segregasi resistansi* SCC

Klas	<i>Segregasi Resistansi (%)</i>
SR 1	≤ 20
SR 2	≤ 15

Sumber : *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*

SR1 umumnya berlaku untuk lantai tipis dan untuk aplikasi vertikal dengan jarak aliran kurang dari 5 meter dan celah kekangan lebih besar dari 80 mm. Sedangkan SR2 adalah pilihan dalam aplikasi vertikal jika jarak aliran lebih dari 5 meter dengan celah kekangan lebih besar dari 80 mm untuk menjaga pemisahan material selama pengaliran.

F. Air Laut

Air memegang peranan penting dalam pembuatan beton karena diperlukan dalam proses hidrasi semen. Selain itu, juga digunakan dalam perawatan beton. Umumnya air yang digunakan adalah air yang dapat diminum dan tidak mengandung bahan-bahan lain yang dapat merusak kualitas beton.

Air laut sendiri tidak disarankan dalam penggunaannya pada beton karena mengandung garam yang tinggi yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan klorida (Cl) yang terdapat pada air laut merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain termasuk beton.

Kerusakan beton di air laut disebabkan klorida yang terkandung di air laut, yaitu NaCl dan MgCl. Senyawa ini bila bertemu senyawa semen menyebabkan gypsum dan kalsium sulfoaluminat (*ettringite*) dalam semen mudah larut. Air laut umumnya mengandung 35.000 ppm (3,5%) larutan garam, sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium sulfat.

Namun bila air bersih tidak tersedia, air laut dapat digunakan meskipun sangat tidak dianjurkan. Meskipun kekuatan awal dengan penggunaan air laut ini lebih tinggi daripada beton biasa, setelah 28 hari, kekuatannya akan lebih rendah. Pengurangan kekuatan ini dapat dihindari dengan mengurangi faktor air semen. (Antoni dan Nugraha, 2007).

G. Pengikatan Klorida dan Sulfat pada Beton

Serangan klorida adalah penyebab utama dari kerusakan struktural pada bangunan beton bertulang yang terkena lingkungan laut. Ketika konsentrasi ambang tertentu klorida dicapai pada *interface* beton-tulangan, korosi tulangan baja dimulai. Bagian dari gangguan ion klorida akan disimpan oleh produk hidrasi dari pengikat dalam beton, baik melalui pengikatan kimia atau penyerapan fisik. Pengikatan klorida dapat menunda tercapainya ambang konsentrasi klorida pada penulangan dengan menghilangkan ion klorida dari larutan pori. Oleh karena itu, kemampuan struktur beton untuk menahan serangan klorida tergantung antara lain pada kapasitasnya untuk mengikat ion klorida.

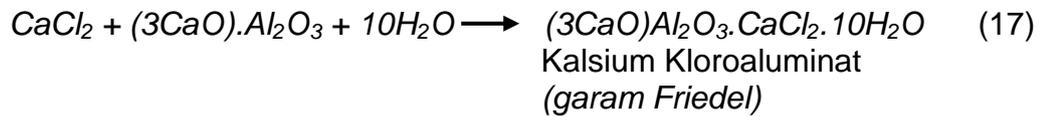
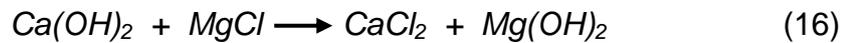
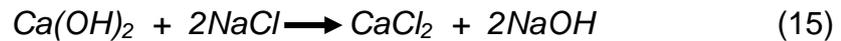
Mengukur proses pengikatan klorida membantu memprediksi usia struktur beton bertulang yang terkena serangan klorida, dan memungkinkan untuk perencanaan yang lebih baik pada pemeliharaan dan metode perbaikan. Tujuan penting lainnya dari mempelajari pengikatan klorida adalah perencanaan campuran semen baru yang

mampu memperlambat intrusi klorida, sehingga meningkatkan daya tahan struktur laut di masa depan.

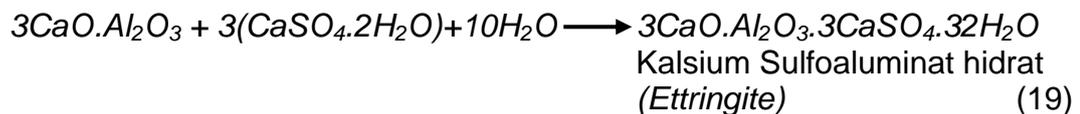
Hidrat utama dari pasta semen adalah C-S-H gel (*tobermorite*), Ca(OH)_2 , Aft ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), dan AFm ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Dari hidrat, Aft dan Ca(OH)_2 memiliki kapasitas kecil untuk mengikat klorida, C-S-H memiliki permukaan yang sangat besar dan mampu mengikat berbagai macam ion termasuk ion klorida. Selanjutnya, kapasitas pengikatan klorida C-S-H tergantung pada komposisi kimia dan luas permukaan serta jenis larutan klorida dan kondisi eksperimental. (Mien dkk., 2008).

Masuknya ion klorida dalam pasta semen mengeras dapat dibagi menjadi dua kelompok besar : ion klorida bebas, yang ada dalam larutan pori, dan ion klorida terikat yang melekat pada berbagai produk hidrasi. Jumlah keduanya merupakan kandungan klorida total dari pasta semen yang mengeras. Semua konsentrasi dapat dikaitkan dengan konsentrasi klorida bebas dalam larutan pori, disebut "c", dan dinyatakan dalam mol Cl /liter larutan pori. Kandungan ion klorida terikat ditentukan oleh berkurangnya kandungan ion klorida bebas dari kandungan total ion klorida. (Marinescu and Brouwers, 2010).

Proses serangan klorida pada beton dapat dijelaskan dengan reaksi kimia berikut : NaCl dan MgCl setelah bereaksi dengan Ca(OH)_2 hasil hidrasi semen dari kalsium klorida, akan menjadi larut dimana akan menyebabkan kerugian dan perlemahan pada beton. (Islam dkk., 2010).



Adapun proses serangan sulfat yang berasal dari air laut dapat dijelaskan dengan reaksi berikut. Reaksi dari magnesium sulfat dengan kalsium hidroksida diharapkan dapat membentuk *ettringite*.



Pada lingkungan laut, penetrasi ion klorida dan sulfat dari air laut kedalam beton membentuk *garam Friedel* dan *ettringite*. *Garam Friedel* dan *ettringite* ini menempati volume yang besar setelah kristalisasi pada pori-pori beton daripada senyawa yang ia gantikan.

Mien dkk., (2008) melakukan penelitian terhadap pengikatan klorida berbagai jenis semen yang biasa digunakan serta kontribusi dari hidrat semen seperti gel C-S-H dan AFm untuk mengikat seluruh klorida. Spesimen pasta semen menggunakan berbagai jenis semen termasuk OPC, MC, RHC, dan LHC, dan W/C sebesar 0,3; 0,4; 0,5 dan 0,6. Percobaan untuk menentukan jumlah klorida dilakukan dengan menggunakan ASTM C1152 dan klorida bebas ditentukan dengan ASTM C1218. Selain itu, analisa *x-ray diffraction rietveld* (XRD *Rietveld*) digunakan untuk menentukan derajat hidrasi dan kandungan hidrat dari

pasta semen, terutama C-S-H, AFm dan *garam Friedel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa OPC memiliki kapasitas pengikatan klorida tertinggi, dan LHC memiliki kapasitas pengikatan ion klorida terendah. MC dan RHC memiliki kapasitas yang sangat mirip dalam mengikat ion klorida.

H. X-ray Diffraction (XRD)

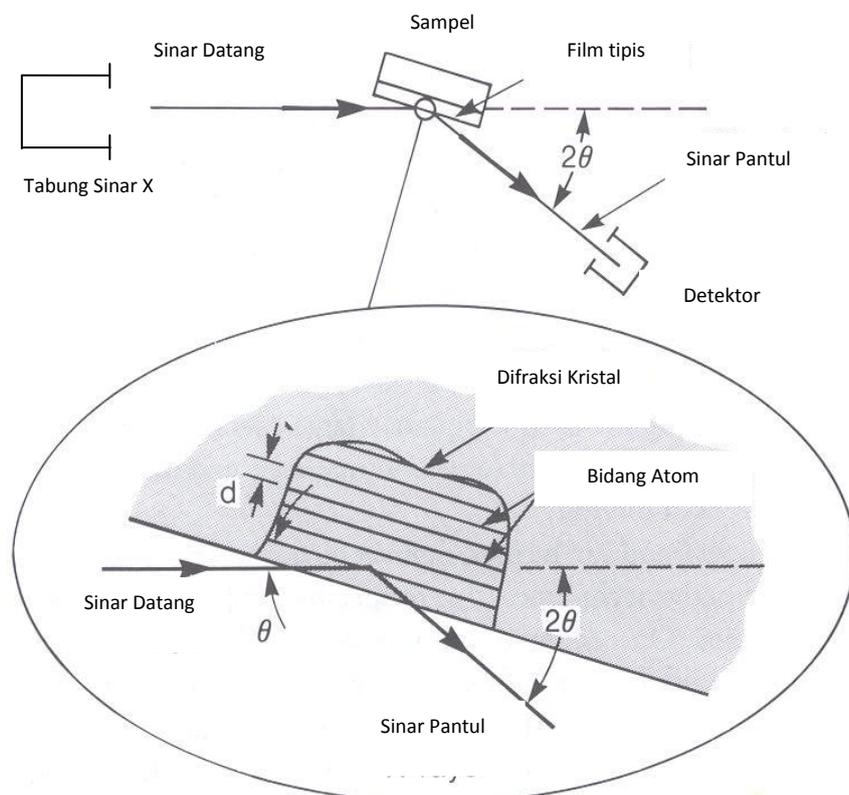
Pemeriksaan mikrostruktur bahan mempunyai peranan penting dalam pengujian bahan karena bentuk struktur pada dasarnya membentuk sifat fisik, mekanik dan termal dari bahan. Dengan demikian dari pengamatan terhadap struktur bahan dapat ditentukan sifat mampu pengerjaan suatu bahan.

X-ray Diffraction (XRD) merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik.

X-ray Diffraction (XRD) adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang pendek sekitar 0,5 – 2,5 *Amstrong* dan mendekati jarak antara atom kristal serta mempunyai energi yang besar. Berkas sinar X yang sejajar dan monokromatik ditembakkan pada permukaan material, maka atom-atom dalam kristal akan menyerap energi dan menghamburkan kembali sinar X ke segala arah.

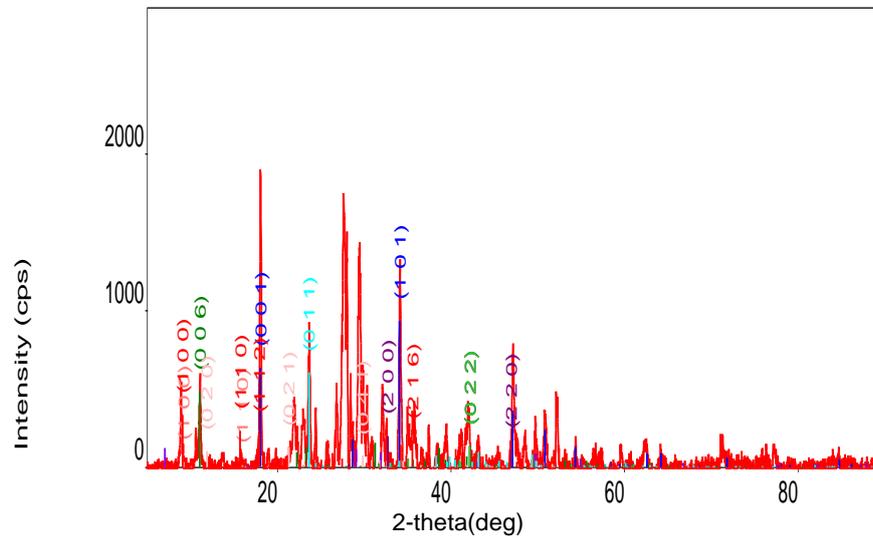
Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang

kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS. Fitur dasar percobaan XRD dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema dasar percobaan XRD

Contoh hasil pengujian XRD untuk sampel mortar menggunakan air laut dan pasir laut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hasil pengujian XRD mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut

Tabel 9. Persentase kandungan senyawa pada mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut

Nama Fasa	Kadar (%)
<i>Ettingite</i> , $\text{Ca}_6 (\text{Al} (\text{O} (\text{D}0.962\text{H}0.038))6)_2 (\text{SO}_4)_3 ((\text{D}0.962 \text{H}0.038)_2 \text{O}$	0,77(5)
<i>Portlandite</i> , $\text{Ca}(\text{OH})_2$	17(11)
<i>Calcium Aluminum Oxide Chloride Hydrate</i> , $(\text{CaO})_3 (\text{Al}_2\text{O}_3) (\text{CaCl}_2)$	0,83(3)
<i>C-S-H (I)</i> , $\text{CaO}.\text{SiO}_2$	59(5)
<i>Calcium Aluminum Oxide Sulfite Hydrate</i> , $\text{Ca}_6\text{Al}_2\text{O}_6(\text{SO}_3)_3. 32\text{H}_2\text{O}$	0.12(2)
<i>Gypsum</i> , $\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$	7(3)
<i>Calcium Chloride</i> , CaCl_2	11(4)
<i>Halite HP, syn</i> , NaCl	4.06(8)
<i>Sodium Hydroxide</i> , NaOH	0.22(2)

Pada Tabel 9 dapat dilihat persentase kandungan senyawa yang terbentuk pada benda uji mortar dengan menggunakan air laut

sebagai air perendaman dan air perawatan serta menggunakan pasir pantai Barombong sebagai agregat halus.

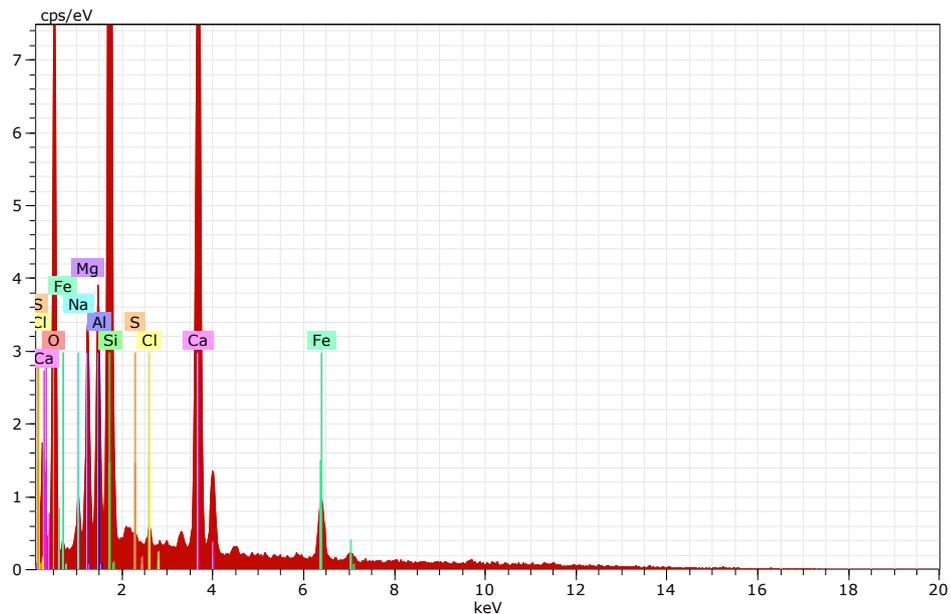
I. Scanning Electron Mikroscope (SEM)

Scanning electron microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalografi.

Scanning electron microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Pada prinsip kerja SEM, dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan yang lainnya CRT (*Cathode Ray Tube*) memberikan tampilan gambar.

SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang ada pada suatu daerah objek merupakan gerakan membaca. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, *electron column* dan *dispaly console*.

Grafik hasil pengujian SEM untuk benda uji mortar dengan menggunakan air laut dan pasir laut dapat dilihat pada Gambar 6.

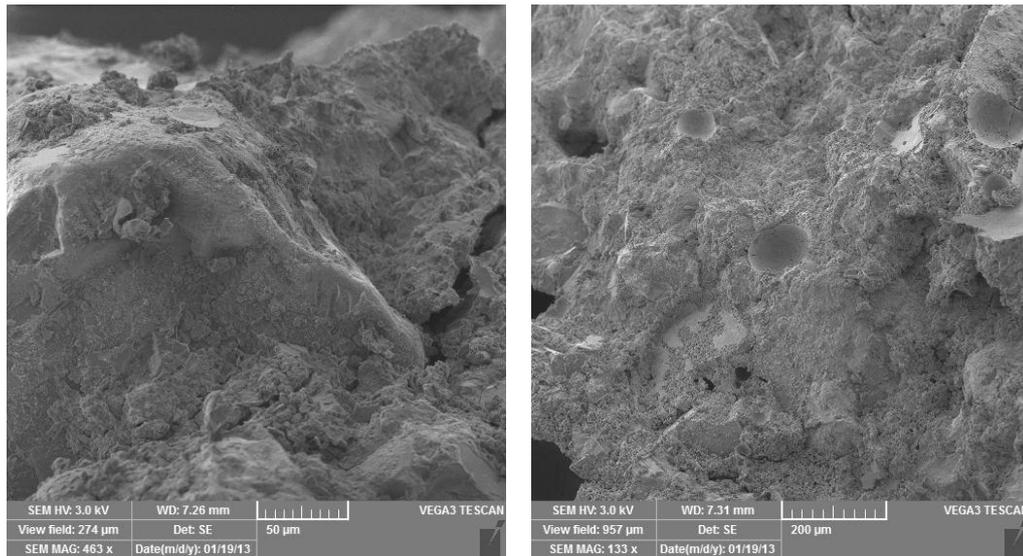


Gambar 6. Grafik hasil pengujian SEM untuk mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut

Tabel 10. Komposisi atom dan senyawa kimia pada mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut

<i>Element</i>	Unn. C (wt. %)	Norm. C (wt. %)	Atom. C (at. %)	Comp. norm.	Comp.C (wt. %)	Error (3 Sigma) (wt. %)
<i>Oxygen</i>	18.74	40.45	58.32		0.00	7.65
<i>Silicon</i>	8.56	18.46	15.17	SiO ₂	39.50	1.19
<i>Aluminium</i>	2.29	4.95	4.23	Al ₂ O ₃	9.35	0.43
<i>Calcium</i>	11.01	23.77	13.68	CaO	33.25	1.07
<i>Chlorine</i>	0.16	0.35	0.23		0.35	0.11
<i>Sulfur</i>	0.05	0.10	0.07	SO ₃	0.25	0.09
<i>Sodium</i>	0.52	1.13	1.13	Na ₂ O	1.52	0.21
<i>Iron</i>	2.66	5.73	2.37	FeO	7.38	0.35
<i>Magnesium</i>	2.35	5.07	4.81	MgO	8.41	0.49
Total	46.34	100.00	100.00			

Pada Tabel 10 dapat dilihat kandungan unsur dan senyawa oksida yang terdapat pada mortar yang menggunakan air laut dan pasir laut pada umur perendaman 7 hari.



Gambar 7. Hasil foto SEM pada mortar dengan penggunaan air laut dan pasir laut

Pada Gambar 7 dapat dilihat hasil foto *scanning electron microscope* (SEM) untuk benda uji mortar dengan penggunaan pasir laut dan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman pada umur 7 hari.