

ANALISA MIKROSTRUKTUR BETON DENGAN AIR LAUT SEBAGAI AIR PENCAMPUR DAN AIR PERENDAMAN

Hartini

(Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unidayan)

Email : thyni_kodim@yahoo.com

ABSTRAK

Kemajuan teknologi dibidang teknik sipil melahirkan berbagai penemuan-penemuan yang bertujuan untuk menciptakan sebuah struktur yang kuat, awet dan hemat dari segi biaya. Sehubungan dengan hal tersebut, maka dilakukan penelitian dengan menggunakan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengikatan klorida dan sulfat dari air laut pada *Self Compacting Concrete (SCC)*.

Pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder ukuran diameter 150mm dan tinggi 300mm. Pengujian mikrostruktur yang dilakukan berupa *x-ray diffraction (XRD)* dan *scanning electron microscope (SEM)* untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa yang terdapat pada beton air laut.

Dari hasil penelitian menunjukkan pada beton air laut terbentuk *tobermorite* dan *portlandite*. Disamping itu, terbentuk pula *garam friedel* dan *ettringite* yang merupakan hasil reaksi hidrasi semen dengan klorida dan sulfat.

Kata kunci : air laut, *garam Friedel*, klorida, *XRD*, *SEM*

A. PENDAHULUAN

Beton adalah bahan konstruksi yang muda dibentuk dan mutunya dapat ditentukan sesuai keinginan pemakai. Secara umum beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh, mudah diolah (*workability*), dan mempunyai keawetan (*durability*) serta kekuatan (*strength*) yang sangat diperlukan dalam suatu konstruksi. Dari sifat-sifat inilah yang menjadikan beton sebagai bahan alternatif untuk dikembangkan baik bentuk fisik maupun metode pelaksanaannya.

Salah satu pengembangan dalam metode pelaksanaan beton yaitu *Self compacting concrete (SCC)*.

Self compacting concrete (SCC) adalah campuran beton yang mempunyai karakteristik dapat memadat dengan sendirinya tanpa menggunakan alat pemadat (*vibrator*). *SCC* dapat memadat ke setiap sudut dari struktur bangunan dan dapat mengisi tinggi permukaan yang diinginkan dengan rata (*self leveling*) tanpa mengalami *bleeding* dan *segregasi*.

Selain metode pelaksanaan, dikembangkan pula teknologi bahan penyusun beton. Diantaranya yaitu penggunaan air laut sebagai air pencampur pada beton mengganti penggunaan air tawar selama ini.

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.

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).

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kandungan klorida serta kandungan senyawa yang terbentuk pada beton air laut melalui pengujian mikrostruktur berupa *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Mikroscope* (SEM) *self compacting concrete* (SCC) yang menggunakan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman.

B. KAJIAN PUSTAKA

1. *Self Compacting Concrete*

Self compacting concrete (SCC) merupakan suatu konsep inovatif untuk menghasilkan beton yang dapat mengalir namun tetap kohesif dan bermutu tinggi.

Pada dasarnya, *self compacting concrete* diproduksi dengan menggunakan bahan tambahan *superplasticizer* berbasis polimer, *silicafume* dan bahan tambahan lain yang spesifik serta menggunakan ukuran agregat yang terbatas (biasanya lebih kecil dari 20 mm), memiliki beberapa keuntungan.

Pada beton segar (*fresh concrete*), tingkatan kelecakan (*workability*) yang tinggi, akan melewati tulangan yang rapat dan memenuhi semua tempat di dalam cetakan, dan padat secara mandiri (minim getaran). Juga, kemudahan dalam pengecoran, khususnya pemompaan ke posisi yang tinggi. Sedangkan pada beton keras (*hardener concrete*), keuntungannya antara lain : diperoleh beton yang padat dan cenderung kedap air, kekuatan yang tinggi dan susut yang rendah bila menggunakan w/c yang rendah, keawetan jangka panjang yang lebih baik dan penghematan energi untuk pemompaan dan penggetaran. Selain itu, pengurangan tingkat kebisingan sehingga dapat meningkatkan kenyamanan para pekerja ataupun lingkungan sekitarnya.

Menurut Dehn dan kawan-kawan (2000), *Self Compacting Concrete* mensyaratkan kemampuan mengalir yang baik pada beton segar dengan nilai *slump-flow* minimal sebesar 60 cm memiliki dan pada umumnya nilai *slump* yang dicapai sangat tinggi (lebih dari 20 cm).

SCC dapat diproduksi jika menggunakan *superplasticizer* yang diperlukan untuk mendispersikan (menyebarkan) partikel semen menjadi merata dan memisahkan menjadi partikel-partikel yang halus sehingga reaksi pembentukan C-S-H (*tobermorite*) akan lebih merata dan lebih aktif.

Konsep dasar yang diterapkan dalam proses produksi SCC ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep Dasar Proses Produksi *Self Compacting Concrete* (Dehn, dkk, 2000).

Adapun proporsi campuran bahan penyusun *self compacting concrete* berdasarkan *The European Federation of Specialist Constructions Chemicals and Concrete Systems (EFNARC)* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. 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*

2. Pengikatan Klorida dan Sulfat pada Beton

Serangan klorida adalah penyebab utama dari kerusakan struktural pada

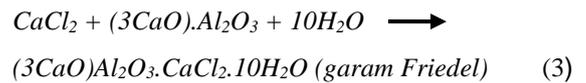
bangunan beton bertulang yang terkena lingkungan laut. Ketika konsentrasi ambang tertentu klorida dicapai pada *interface* beton-tulangan, korosi tulangan baja dimulai. Pengikatan klorida dapat menunda tercapainya ambang konsentrasi klorida pada penulangan dengan menghilangkan ion klorida dari larutan pori.

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.

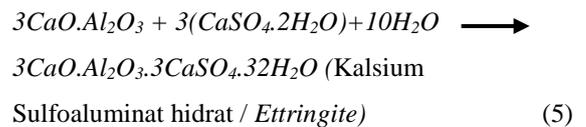
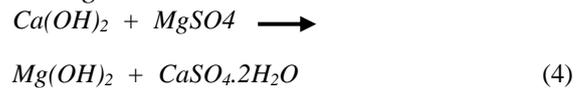
Hidrat utama dari pasta semen adalah C-S-H gel (*tobermorite*), Ca(OH)_2 , Aft ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), dan AFm ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Dari hidrat, Aft dan Ca(OH)_2 memiliki kapasitas kecil untuk mengikat 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. 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.

3. 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) 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 dibiarkan 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.

4. *Scanning Electron Mikroskop (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 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 *disply console*.

C. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah pengujian mikrostruktur beton SCC dengan *X-ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning electron microscope* (SEM). Penelitian dilaksanakan di laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar.

Bahan-bahan dasar pembuat beton yang digunakan adalah semen Portland komposit (PCC) merek Tonasa (40 kg per zak), agregat kasar dari sungai jeneberang, Makasar, serta agregat halus berupa pasir pasir pantai barombang. Setelah pengecoran dan pembuatan benda uji silinder 15cm x 30cm, benda uji direndam dan diuji pada tiap-tiap umur 1, 3, 7 dan 28 hari.

1. Analisa beton dengan X-ray *Diffraction* (XRD)

Struktur kristal atau fasa yang terbentuk dari beton dapat diidentifikasi berdasarkan data yang diperoleh dari alat *x-ray diffraction* (XRD). Hasil yang diperoleh adalah berupa pola difraksi yang menyatakan hubungan antara intensitas (*I*) terhadap sudut difraksi (2θ), kemudian pola ini dicocokkan nilai jarak kisi (*d*) dengan data dari JCPDS *card* untuk mengetahui fasa yang terbentuk.

Hasil yang diharapkan dari pengujian ini adalah dapat menganalisis proses hidrasi dengan mengukur kadar CSH (*tobermorite*) dan Ca(OH)_2 (*portlandite*), *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* ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) pada beton dengan perendaman 1, 3, 7 dan 28 hari.

2. Analisa beton dengan *Scanning electron microscope* (SEM)

Bentuk dan ukuran partikel dari beton dapat diidentifikasi berdasarkan data yang diperoleh dari alat *scanning electron microscope* (SEM).

Mekanisme alat ukur SEM dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Sampel diletakkan didalam cawan, kemudian sampel dilapisi emas.
- Sampel disinari dengan pancaran elektron bertenaga kurang lebih 20kV sehingga sampel memancarkan elektron turunan (*secondary electron*) dan elektron terpantul (*back scattered electron*) yang dapat dideteksi dengan *detector scintillator* yang diperkuat sehingga timbul gambar pada layar CRT.
- Pemotretan dilakukan setelah dilakukan pengesetan pada bagian tertentu, dari objek dan perbesaran yang diinginkan sehingga diperoleh foto yang dapat diidentifikasi.

Hasil yang diharapkan dari pengujian ini adalah mengetahui kandungan unsur dan senyawa oksida yang terdapat pada beton SCC dengan penggunaan air laut dan pasir laut. Unsur tersebut adalah klorida (Cl), natrium (Na), sulfur (S), magnesium (Mg) dan senyawa utama pembentuk semen yaitu kalsium oksida (CaO), silikat (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan ferit oksida (Fe₂O₃).

D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Komposisi Mix Desain SCC

Berdasarkan hasil perhitungan dan uji coba *mix design self compacting concrete*, maka diperoleh komposisi agregat dan faktor air semen per m³ beton segar untuk beton air laut dan beton air tawar, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi bahan campuran beton SCC untuk 1 m³

Bahan	Komposisi Campuran Beton (kg)
Air	204,44
Semen	567,57
Pasir	760,44
Batu Pecah	843,56
Superplasticizer	4,54
Retarder	1,02

Sumber : olahan data

2. Pengujian Mikrostruktur Beton

Hasil pengujian mikrostruktur menggunakan alat XRD dan SEM untuk beton air laut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Mikrostruktur beton air laut

Parameter	Umur Beton (Hari)			
	1	3	7	28
Dikalsium silikat (2CaOSiO ₂)	35,91	33,98	28,72	18,89
Trikalsium silikat (3CaOSiO ₂)	19,38	16,17	8,08	-
Trikalsium Aluminat (3CaOAl ₂ O ₃)	-	-	-	-
Tetrakalsium Aluminoferrit (4CaOAl ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃)	-	-	-	-
Portlandite Ca(OH) ₂	9,92	8,10	6,87	5,15
Tobermorite (3CaO·2SiO ₂ ·3H ₂ O)	32,93	35,48	46,13	59,36
Garam Friedel (3CaO·Al ₂ O ₃ ·CaCl ₂ ·10H ₂ O)	0,71	2,17	4,9	9,18
Etringite (3CaO·Al ₂ O ₃ ·3CaSO ₄ ·32H ₂ O)	1,15	4,1	5,3	7,36
Klorida (Cl ⁻)	1,98	1,48	0,54	0,10

Sumber : olahan data

Pada tabel dapat dilihat adanya penurunan kandungan dikalsium silikat (2CaOSiO₂) dan trikalsium silikat (3CaOSiO₂) akibat bereaksi dengan air membentuk gel C-S-H atau *tobermorite* (3CaO·2SiO₂·3H₂O) dan *portlandite* Ca(OH)₂. Oleh karena itu pada tabel dapat dilihat peningkatan kandungan *tobermorite* (3CaO·2SiO₂·3H₂O). Namun, kandungan *portlandite* Ca(OH)₂ mengalami penurunan karena *portlandite* Ca(OH)₂ bereaksi kembali dengan NaCl dan MgSO₄ dari air laut membentuk *garam Friedel* dan *ettringite*. *Garam Friedel* dan *ettringite* ini selanjutnya mengisi pori-pori pada beton setelah kristalisasinya, namun tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Selain itu pada tabel juga terlihat bahwa beton air laut mengandung unsur klorida.

3. Hubungan Hasil Uji Mikrostruktur dengan Waktu Perendaman

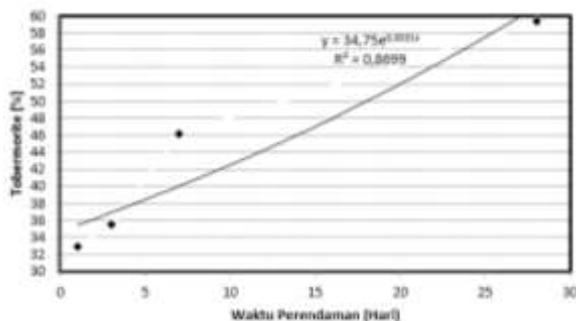
Selanjutnya hubungan hasil pengujian mikrostruktur dan waktu perendaman beton ini digambarkan dalam

suatu hubungan analisa regresi untuk mengetahui sejauh mana kandungan mikrostruktur pada beton terbentuk akibat lamanya waktu perendaman/perawatan beton.

Dalam penelitian ini analisis regresi eksponensial dipergunakan untuk mengetahui pengaruh antara satu buah variabel bebas terhadap satu buah variabel terikat, dimana yang menjadi variabel bebas (X) adalah waktu perendaman beton, sedangkan variabel terikat (Y) adalah kandungan mikrostruktur beton.

3.1. Hubungan *tobermorite* ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$) dengan waktu perendaman.

Berdasarkan hasil analisis diperoleh persamaan hubungan kandungan *tobermorite* (gel CSH) dengan waktu perendaman beton yaitu $y = 34,75e^{0,020x}$ dengan nilai korelasi $r = 0,932$ dan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,869$.

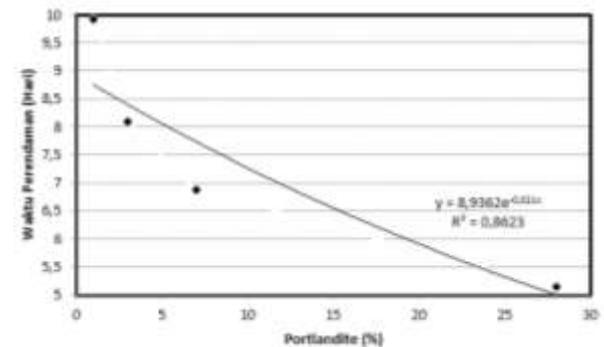


Gambar 2. Grafik hubungan korelasi kandungan *tobermorite* (CSH) dengan waktu perendaman

Pada Gambar dapat dilihat bahwa kandungan *tobermorite* (gel CSH) berbanding lurus dengan waktu perendaman beton, dimana semakin lama waktu perendaman beton, maka semakin tinggi pula kandungan *tobermorite* (gel CSH) dalam beton. Hidrasi komponen utama semen yaitu dikalsium silikat dan trikalsium silikat dengan air membentuk *tobermorite* (gel CSH) ini yang merupakan perekat utama agregat (pasir dan batu pecah) akan mengisi ruang antar partikel beton, yang menyebabkan beton menjadi lebih padat. Pembentukan lebih lanjut dari

tobermorite (gel CSH) akan mengisi pori-pori kapiler sehingga porositas berkurang dan kekuatan bertambah. Senyawa kimia *tobermorite* (gel CSH) mengisi sekitar 70% pada beton yang berfungsi sebagai pembentuk kuat tekan beton.

3.2. Hubungan *portlandite* ($Ca(OH)_2$) dengan waktu perendaman.



Gambar 3. Grafik hubungan korelasi kandungan *portlandite* ($Ca(OH)_2$) dengan waktu perendaman

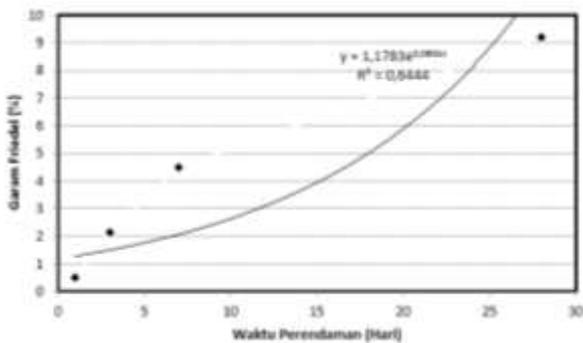
Berdasarkan hasil analisis regresi eksponensial diperoleh persamaan hubungan kandungan *portlandite* ($Ca(OH)_2$) dengan lamanya waktu perendaman yaitu $y = 8,936e^{-0,02x}$ dengan nilai korelasi $r = -0,928$ dan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,862$. Hal ini berarti bahwa *portlandite* ($Ca(OH)_2$) memiliki hubungan korelasi negatif dengan lamanya waktu perendaman dimana semakin lama waktu perendaman beton, maka semakin menurun kadar *portlandite* ($Ca(OH)_2$) pada beton. Berdasarkan nilai koefisien determinasi berarti bahwa lamanya waktu perendaman berpengaruh 86,2% terhadap kadar *portlandite* ($Ca(OH)_2$) pada beton yang dihasilkan.

Penurunan tersebut dikarenakan *portlandite* ($Ca(OH)_2$) bereaksi kembali dengan natrium klorida ($NaCl$) dan magnesium klorida ($MgCl$) dari air laut membentuk kalsium klorida ($CaCl_2$) yang kemudian bereaksi dengan komponen utama semen lainnya yaitu trikalsium alumina ($3CaO \cdot Al_2O_3$) untuk membentuk *garam Friedel* ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$). *Portlandite* ($Ca(OH)_2$) memiliki sifat yang mudah larut dan mudah bereaksi

dengan senyawa lain, dimana dengan jumlah yang sedikit pada beton akan semakin meningkatkan kuat tekan beton yang dihasilkan.

3.3. Hubungan *garam Friedel* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dengan waktu perendaman.

Berdasarkan hasil analisis regresi eksponensial sederhana diperoleh persamaan hubungan kandungan *garam Friedel* pada beton ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dengan lamanya waktu perendaman/perawatan beton yaitu $y = 1,17e^{0,080x}$ dengan nilai koefisien korelasi $r = 0,802$.



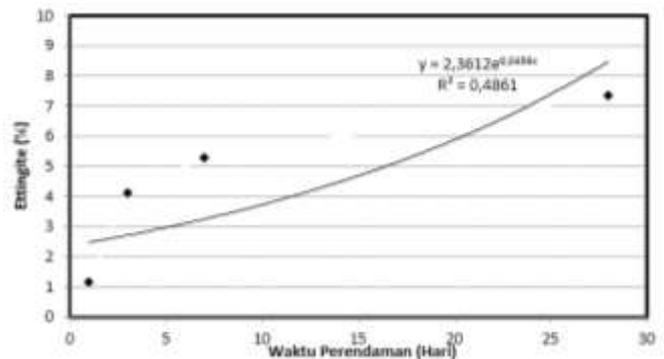
Gambar 4. Grafik hubungan korelasi kandungan *garam Friedel* dengan waktu perendaman

Pada Gambar dapat dilihat bahwa semakin lama waktu perendaman beton, maka semakin tinggi pula kandungan *garam Friedel* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Hal ini disebabkan seiring meningkatnya waktu perendaman beton, akan terus terjadi reaksi antara C_3A yang merupakan komponen utama semen dengan *portlandite* dari proses hidrasi semen dan dengan NaCl dan MgCl dari air laut untuk membentuk *garam Friedel*. *Garam Friedel* yang terbentuk ini selanjutnya akan menempati pori-pori pada beton setelah kristalisasi.

3.4. Hubungan *ettringite* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) dengan waktu perendaman.

Dari analisa diperoleh persamaan hubungan analisa regresinya yaitu $y =$

$2,361e^{0,045x}$ dengan nilai korelasi $r = 0,697$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,486$.



Gambar 4. Grafik hubungan korelasi kandungan *garam Friedel* dengan waktu perendaman

Pada Gambar 16 dapat dilihat bahwa kandungan *ettringite* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) dalam beton meningkat seiring dengan peningkatan lamanya waktu perendaman (curing) beton. Sama halnya dengan *garam Friedel*, *ettringite* yang terbentuk ini akan menempati pori-pori pada beton setelah kristalisasi.

E. KESIMPULAN

Dari pengujian dan pembahasan diatas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada beton air laut akibat reaksi komponen utama semen yaitu dikalsium silikat dan trikalsium silikat dengan air laut membentuk *tobermorite* dan *portlandite*.
2. Terbentuk *garam Friedel* dan *ettringite* yang merupakan hasil reaksi hidrasi semen dengan klorida dan sulfat dari air laut yang selanjutnya akan mengisi pori-pori pada beton setelah kristalisasinya. Walaupun hal tersebut tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dehn, F., Holschemacher, K. and Weiße, D., 2000, *Self-Compacting Concrete (SCC) Time Development of the Material Properties and the Bond Behaviour*, LACER No.5., Leipzig.
- EFNARC (2005), *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, Efnarc, UK (www.efnarc.org).
- Marinescu, M.V.A. and Brouwers, H.J.H., 2010, *Free and bound chloride contents in cementitious materials*, 8th fib PhD Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark June 20 – 23, 2010
- Mien, T.V., Nawa, T., Kurumisawa, K., and Chanh, V. N., 2008, *Contributions of C-S-H and AFm hydrates To chloride binding isotherms of various cements*, The 3rdACF International Conference-ACF/VCA,2008.
- Okamura, H. and Ouchi, M, 2003, *Self Compacting Concrete*, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol.1, No.5 – 15.
- Tjaronge, M. W., Irmawaty, R., Chandra, E., and Limpo, A., 2006, *Slump Flow dan Kuat Lentur Self Compacting Concrete (SCC) dengan Kandungan Superplasticizer yang Bervariasi*, Media Teknik Sipil, Januari 2006.