

Pengaruh Air Laut Terhadap Kekuatan Tekan Beton Terbuat dari Berbagai Tipe Semen yang Dijual di Toko Bangunan di Kota Malang

Sonny Wedhanto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang (UM).
Alamat.email: s_wedhanto@yahoo.co.id

Abstrak

Secara teoritis pembuatan beton yang terkena pengaruh air laut disyaratkan menggunakan semen Tipe V. Di daerah Malang jenis semen ini tidak dijual di toko-toko bahan bangunan setempat. Dalam prakteknya orang menggunakan semen apapun yang dibeli di toko bahan bangunan; jenisnya ada tiga, yaitu semen Tipe II; setara dengan Tipe I; dan semen Tipe I.

Tujuan penelitian, untuk mengetahui hasil penggunaan jenis-jenis semen yang dijual di toko bangunan di Malang untuk membuat beton yang terkena pengaruh air laut, dan jenis semen yang paling kuat terhadap pengaruh air laut. Sampel menggunakan silinder beton ukuran standar, mutu $f_c' = 17$; tiap perlakuan menggunakan lima buah benda uji. Beton dibuat dari merk dan jenis semen yang dibeli di toko bangunan setempat, pencampuran menggunakan air tawar, perlakuan benda uji dengan merendam dalam air laut selama 7; 14; dan 28 hari. Pengujian ; menggunakan Universal Testing Machine kapasitas 100 ton, yang dilakukan setelah benda uji mencapai masing-masing umur perlakuan. Hasil kekuatan tekan beton digambar dalam bentuk grafik, sehingga kekuatan tekan beton pada masing-masing perlakuan dapat di evaluasi.

Hasil penelitian: (1) selama tujuh hari direndam air laut, kekuatan tekan beton meningkat dengan cepat, tetapi jika direndam lebih lama kekuatannya cenderung turun; (2) beton yang relatif tahan terendam dalam air laut selama 28 hari adalah yang dibuat menggunakan jenis semen Tipe I.

Kata Kunci: Beton; air laut; kekuatan; semen

1. Pendahuluan

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan didasarkan pada kenyataan, bahwa biaya pembuatannya relatif lebih murah, bahannya mudah diperoleh, biaya perawatan relatif rendah, dapat digunakan dalam berbagai kondisi cuaca, dapat dibuat secara *in situ*, dan untuk mengangkat elemen-elemen struktur dapat dilakukan dengan berbagai cara [Thomaz, 2012]. Bahan utama beton terdiri dari campuran pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), Semen Portland (PC) dan air dengan komposisi perbandingan serta persyaratan tertentu, yang berfungsi sebagai perekat (lem) material pembentuk beton itu.

Jenis Semen PC membutuhkan air untuk melakukan reaksi kimia saat terjadi hidrasi, yaitu proses semen mulai mengikat bahan penyusun beton, lalu mengeras dan membentuk masa yang padat. Menurut persyaratan, beton tidak boleh dibuat dari: air yang mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, maupun zat organik, atau bahan lain yang bersifat merusak beton dan tulangan; sebaiknya dipakai air tawar bersih, yang dapat diminum. [Istimawan, 1994].

Dalam kenyataan tidak selamanya bangunan dari beton terletak didarat dan yang terbebas dari

pengaruh laut. Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki sangat banyak bangunan beton yang selalu terendam atau terkena pengaruh air laut. Jika dibandingkan dengan beton biasa, sebenarnya penggunaan material beton yang terkena pengaruh air laut memiliki persyaratan bahan yang berbeda. Beton yang kena pengaruh/ berhubungan dengan air laut disyaratkan menggunakan jenis Semen Tipe V, yang memang khusus untuk pembuatan beton yang terpengaruh air laut. [Neville dan Brooks, 1987]. Permasalahannya semen tersebut tidak dijual di toko-toko bahan bangunan di daerah Malang, pembelian dilakukan berdasarkan pemesanan ke pabrik, jadi baru menguntungkan jika dibeli dalam jumlah besar. Sepanjang bangunan yang dikerjakan itu volumenya besar dan dengan anggaran biaya mencukupi, penggunaan Semen Tipe V tidak masalah, sebab pekerjaan beton dengan volume besar dipastikan membutuhkan semen dalam jumlah besar pula; namun jika volume pekerjaan itu hanya kecil saja, jatuhnya harga semen menjadi sangat mahal.

Tidak selamanya bangunan beton yang terkena pengaruh air laut merupakan proyek-proyek besar, sebab masih banyak bangunan

beton berupa proyek-proyek kecil milik perseorangan/ swasta, dengan volume pekerjaan dan anggaran biaya jauh lebih kecil dari proyek-proyek pemerintah; untuk membuat beton, tentunya tidak mungkin menggunakan jenis Semen Tipe V. Kenyataan di lapangan menunjukkan, bahwa sekalipun untuk pembuatan beton di daerah lingkungan agresif, seperti di sekitar pantai, orang awam tetap menggunakan jenis semen PC Tipe I [Utama 2010], yang sebenarnya tidak direkomendasi untuk pembuatan beton yang kontak/ terpengaruh air laut, namun tetap dipakai karena tidak ada pilihan lain.

Di sekitar Kota Malang, ada beberapa tipe semen yang beredar di pasaran, yaitu: Tipe II; “setara” dengan Tipe I; dan Semen Tipe I; tentang apa dan bagaimana kelebihan/kekurangan masing-masing tipe semen itu jika digunakan untuk membuat beton yang senantiasa kontak/ terpengaruh oleh air laut, sejauh ini belum diketahui.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui pengaruh kontak air laut terhadap kekuatan beton yang dibuat dari jenis tipe semen yang dijual di pasaran sekitar Kota Malang, dan (2) mengetahui jenis semen di pasaran yang paling toleran terhadap pengaruh air laut.

1.1 Komponen utama semen

Secara umum bahan utama pembuatan semen terdiri dari: kapur; silica; alumina; dan oksida besi yang dicampur menjadi satu, lalu dibakar dalam tungku, sehingga menghasilkan material baru dengan rumus kimia sangat rumit, serta sedikit sisa pembakaran kapur yang tidak sempat bereaksi menjadi bentuk kimia yang setimbang. Kecepatan pendinginan dalam tungku, menentukan berapa jumlah kristal semen yang dihasilkan, dan jumlah residu material yang tidak dapat mengkristal terkandung dalam kerak sisa pembakaran. Material residu bentuknya seperti kaca, tetapi dengan komposisi kimia yang sangat berbeda, sebab hanya sedikit memiliki kesamaan dengan kristal semen.

Kesulitan dalam pembuatan semen adalah, memisahkan antara kristal-kristal semen yang sudah terbentuk, karena pada saat di dalam tungku kondisinya masih bercampur dengan cairan kerak sisa pembakaran. Semen baru dianggap sebagai hasil akhir produksi yang siap jual, jika sudah dalam bentuk beku dan dalam kondisi seimbang pada temperatur kerak yang telah dingin. Hasil akhir produk semen yang demikian ini dibuat sebagai dasar perhitungan untuk menentukan komposisi material yang terkandung dalam semen-semen yang diperdagangkan di pasaran.

Perhitungan komposisi material semen didasarkan pada hasil pengukuran kadar

kandungan oksida dalam kerak sebagai bentuk kristal-kristal yang telah seimbang. Empat komponen utama yang terkandung dalam semen ditulis pada Tabel 1 [Neville dan Brooks, 1987].

Tabel 1 Komponen Utama Semen

Nama Campuran	Komposisi Oksida	Singkatan
Trikalsium Silikat	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Dikalsium Silikat	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Trikalsium Aluminat	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsium Aluminoforit	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

[Sumber, Neville dan Brooks, 1987 h: 10]

Perhitungan komposisi campuran semen didasarkan pada rumus R.H Bogue dan kawan-kawan, yang dikenal sebagai komposisi Bouge. Menurut Bouge persentase komponen utama pada semen dapat ditulis dalam bentuk Persamaan 1. Lambang kimia di dalam kurung menunjukkan persentase kandungan oksida yang terdapat pada masa semen total. [Neville & Brooks, 1987].

$$\begin{aligned}
 C_3S &= 4,07(\text{CaO}) - 7,60(\text{SiO}_2) - 6,72(\text{Al}_2\text{O}_3) \\
 &\quad - 1,43(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2,85(\text{SiO}_3) \dots\dots\dots (1a) \\
 C_2S &= 2,87(\text{SiO}_2) - 0,754(3\text{CaO.SiO}_2) \dots\dots\dots (1b) \\
 C_3A &= 2,65(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1,69(\text{Fe}_2\text{O}_3) \dots\dots\dots (1c) \\
 C_4AF &= 3,04(\text{Fe}_2\text{O}_3) \dots\dots\dots (1d)
 \end{aligned}$$

Silikat, C₃S, dan C₂S merupakan senyawa paling penting, sebab ke tiga bahan itu menentukan kekuatan dari pasta semen. Kandungan silikat pada semen bukan merupakan campuran yang murni, melainkan terkandung sedikit oksida padat yang secara signifikan akan mempengaruhi susunan atom; bentuk kristal; dan perilaku hidrolis semen.

Kandungan C₃A pada semen sebenarnya tidak dikehendaki, sebab hanya sedikit atau bahkan sama sekali tidak memberikan nilai tambah pada kekuatan semen, terkecuali saat umur-umur awal saja. Ketika pengerasan pasta semen mengalami kontak dengan sulfat, pembentukan kalsium sulphoaluminat (*ettringite*) justru akan mengganggu proses pengerasan pasta semen, namun demikian kehadiran C₃A tetap dibutuhkan dalam pembuatan semen, karena berfungsi memudahkan bercampurnya kapur dengan silica.

Jika dibandingkan dengan komponen-komponen lain yang terkandung dalam semen, kadar kandungan C₄AF jumlahnya paling sedikit, sehingga tidak memberikan pengaruh terhadap semen secara signifikan, namun demikian reaksi antara C₄AF dengan gypsum membentuk kalsium sulphoferit; keberadaan C₄AF akan mempercepat terjadinya reaksi pada silikat itu.

Jumlah penambahan gypsum pada kerak merupakan hal yang sangat penting, sebab banyaknya penambahan tergantung pada berapa besar kadar C₃A dan alkali yang terkandung dalam semen. Peningkatan kehalusan semen adalah hasil dari penambahan jumlah C₃A yang diberikan pada usia-usia muda. Penambahan ini akan menaikkan kebutuhan gypsum pada semen, namun jika ditambah dalam jumlah berlebihan justru memicu semen untuk mengembang dan kemudian mengakibatkan pasta semen pecah. Sebagai bahan tambahan dari ke empat komponen utama semen pada Tabel 1, diberikan pula campuran material gabungan dengan tujuan untuk meningkatkan mutu pada masing-masing merk semen.

Tiap pabrik memberikan tambahan campuran berbeda yang jumlahnya dirahasiakan oleh masing-masing produsen. Campuran material yang ditambahkan antara lain: MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O, dan Na₂O; banyaknya hanya beberapa persen dari masa semen. Dua dari bahan material tambahan yang sangat menjadi perhatian adalah yodium oksida (Na₂O), dan potassium (K₂O), ke dua senyawa ini dikenal sebagai alkalis (walaupun sebenarnya semen telah memiliki alkalis-alkalis lain), pengaruhnya terhadap kecepatan dan kekuatan tekan semen menjadi obyek pengamatan dalam pembuatan semen. Secara umum komposisi kimia semen seperti terdapat pada Tabel 2; khusus untuk Semen PC diberi tambahan sedikit komposisi oksida.

Tabel 2. Perkiraan komposisi terkecil dari Semen PC

Oksida	Persentase Kandungan
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0,5 - 6,0
MgO	0,1 – 4,0
Alkalis	0,2 – 1,3
SiO ₃	1 – 3

[Sumber, Neville dan Brooks, 1987 h: 11]

1.2 Komposisi Kimia Air Laut

Kadar garam pada air laut (salinitas), diukur dari jumlah material yang terlarut dalam tiap kilogram air laut; atau setara dengan *part per thousand* (1/1000). Salinitas menggambarkan jumlah material yang terlarut dalam air laut; menurut Vicat (dalam Emmanuel dkk, 2012) umumnya berkisar antara 3,4-3,5%.

Tabel 3 merupakan perkiraan salinitas beberapa laut terkenal di dunia. Kemampuan air untuk melarutkan garam cenderung beragam dan tergantung di mana laut itu berada, namun perbandingan komponen utama yang terkandung didalamnya relatif konstan. Komponen utama itu dihitung untuk mengetahui kelemahan dan kemungkinan runtuhnya bangunan di daerah

yang terpengaruh air laut. Tabel 4 merupakan data ciri fisik dan komposisi kimia air laut secara umum.

Tabel 3 Perkiraan salinitas di beberapa Laut

Nama Laut	Konsentrasi Garam (%)
Laut Mediteran	3,8
Laut Baltik	0,7
Laut Utara dan Atlantik	3,5
Laut Hitam	1,8
Laut mati	5,3
Laut India	3,55

[Islam dkk, 2010]

Tabel 4. Ciri fisik dan komposisi kimia air laut

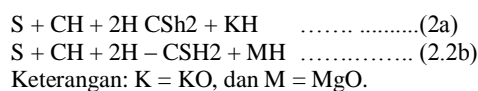
<i>Spesific Gravity</i>	1,022
pH	7,77
Na	9,290 <i>part per thousand</i>
K	0,346 <i>part per thousand</i>
Ca	0,356 <i>part per thousand</i>
Mg	1,167 <i>part per thousand</i>
Cl	17,087 <i>part per thousand</i>
SO ₄	2,378 <i>part per thousand</i>
CO ₃	0,11 <i>part per thousand</i>

[Mohammed. T.U dkk, 2004]

1.3 Pengaruh kimia air laut terhadap beton

Pengaruh kimia air laut terhadap beton, terutama disebabkan oleh serangan magnesium sulfat (MgSO₄), yang diperburuk dengan adanya kandungan clorida didalamnya, reaksinya akan menghambat perkembangan beton. Biasanya digolongkan sebagai bagian dari serangan sulfat oleh air laut yang mengakibatkan beton tampak menjadi keputih-putihan; selain itu beton akan mengembang; sebelumnya didahului oleh terjadinya *spalling* (jawa = *protol*) dan retak. Akhirnya pada bagian beton yang terserang oleh sulfat akan menjadi lunak membentuk lapisan seperti lumpur.

Saat pertama kali mengalami serangan sulfat, kekuatan tekan beton akan naik, lalu secara berangsur-angsur mengalami kehilangan kekuatan, dan akhirnya beton mengembang. Serangan ini dipandang sebagai akibat dari kehadiran potassium (KS) dan magnesium sulfat (MgS) pada air laut yang dapat menyebabkan timbulnya serangan sulfat pada beton. Serangan dimulai semenjak beton siap bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) yang muncul pada semen. Prosesnya terjadi seperti reaksi kimia yang terdapat pada Rumus 2 (Bryan, M. 1964, dalam Emmanuel dkk, 2012).



Keterangan: K = KO, dan M = MgO.

Sebenarnya serangan magnesium sulfat (MgS) perlu mendapat perhatian, sebab jika

bereaksi dengan calcium sulfat (CSH) akan bersifat ambivalen; di satu pihak kekuatan reaksinya menghasilkan gypsum yang bersifat menguntungkan semen, tapi di lain pihak reaksi MgS dengan calcium hidroksida yang bercampur dengan hidrat silica (S[^]M) hasil dari reaksi dengan gel semen, suatu material yang sifatnya memiliki daya rekat, akan membentuk material baru yang berbeda, yaitu (M₄SH₈). Material ini sifatnya tidak memiliki kemampuan rekat seperti halnya material semen. [Akinsola, A.O. Oladipo, F.A, dan Olabode, O.E., 2012.]. Tabel 5 merupakan perkiraan komposisi kadar ion yang terkandung dalam air laut pada umumnya.

Tabel 5. Komposisi Ion pada Air Laut

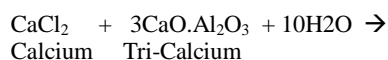
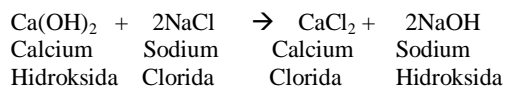
Nama Umum	Ion	(g)
Sodium	Na	10360
Magnesium	Mg ⁺⁺	1,294
Calcium,	Ca ⁺⁺	0,413
Potassium	K ⁺	0,387
Strontium	Sr ⁺⁺	0,008
Clorida	CL ⁻	19,353
Sulfat	SO ₄ ²⁻	2,712
Bromide	Br ⁻	0,008
Boron	N ₃ B ₃	0,001
Bikarbonat	HCO ³⁻	0,142
Fluor	F ⁻	0,001

[Emmanuel dkk, 2012]

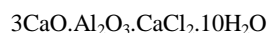
Pada lingkungan yang terpengaruh air laut, ion-ion clorida dan sulfat meresap masuk ke dalam lapisan beton, sehingga terjadi reaksi kimia sangat kompleks, yang merupakan awal dari perubahan sifat fisika dan kimia beton. Perubahan sifat tersebut menyebabkan kemerosotan mutu beton yang diawali dengan timbul retak-retak di permukaan, kemudian beton mengalami *spalling (protol)* dan tulangnya mulai berkarat. Permeabilitas merupakan sifat penting lain yang berkaitan dengan kekuatan beton. Kurangnya perbandingan campuran beton dari yang direncanakan, merupakan awal memburuknya kekuatan beton akibat dari penurunan permeabilitas beton di lingkungan yang terpengaruh laut. Hal ini didasarkan pada sifat fisika material yang sifatnya permeabel, bahwa turunnya permeabilitas beton mengakibatkan ion garam agresif yang terkandung dalam air laut masuk ke dalam lapisan beton, yang kemudian mengakibatkan hasil semen PC menjadi tidak stabil. [Beaudoin, dkk. 1999].

Ion clorida sebagai penyebab yang merugikan kekuatan beton, dapat menyerang dengan berbagai bentuk yang berbeda, tetapi umumnya serangan tersebut berasal dari hasil reaksi kimia yang bersifat ekspansif (mengembang) dari sejenis garam, yang bernama garam *friedls* (Calcium cloroaluminate); dalam rumus kimia garam *friedls* ditulis sebagai

(3CaO. Al₂O₃.CaCl₂.10H₂O). Garam ini punya kemampuan mengembang mulai dari tingkat rendah sampai sedang. Garam *friedls* terbentuk dari rembesar larutan calcium clorida yang masuk ke dalam beton sebagai akibat dari naiknya kemampuan penyerapan air oleh beton. Proses serangan clorida pada beton dituliskan dalam reaksi kimia sebagai berikut: [Moinul Islam dkk, 2010].



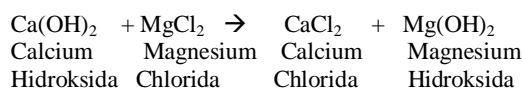
Calcium Tri-Calcium



(Calcium chloroaluminate)

Garam *Friedls*

MgCl₂ setelah bereaksi dengan Ca(OH)₂ dari hidrat semen, membentuk calcium clorida yang akan larut lalu merembes dalam beton sebagai awal terjadinya kemunduran material menjadi lebih lunak; reaksi kimianya ditulis seperti di bawah ini. [Mehta, 1986].



Penampilan dari *ettringite* (calcium aluminat sulfat) yang mengembang biasanya dianggap sebagai serangan sulfat. *Ettringite* dan gypsum, keduanya menempati 20% dari besar volume kristal pori-pori beton, sehingga kristal tersebut akan menimbulkan tegangan di dalam beton, yang kemudian mengakibatkan timbulnya retak-retak di permukaan beton, dan dikenal sebagai serangan sulfat yang lunak, biasanya retakan itu berasal dari bentukan merekahnya *ettringite*.

2. Metode

Disain menggunakan penelitian deskriptif yang tidak perlu adanya hipotesis. Sampel berbentuk silinder beton ukuran standard, mutu fc' 17 MPa, pada masing-masing perlakuan menggunakan lima buah benda uji.

Bahan beton yang digunakan: (1) semen dari tiga jenis tipe, dibeli di toko bahan bangunan yang dipilih secara acak; (2) agregat halus, menggunakan pasir sungai gradasi butiran zone 2; (3) agregat kasar dari batu pecah, masuk analisis saringan BS 882 mm; (4) air menggunakan dari saluran PDAM setempat, dan (5) air laut untuk merendam diambil dari Pantai Balai Kambang di Kabupaten Malang.

Perencanaan campuran menggunakan metode DOE, dengan dasar perhitungan perbandingan campuran menggunakan semen Tipe II. Penakaran bahan berdasarkan perbandingan

berat. Perlakuan benda uji dengan perendaman dalam air laut selama 7; 14; dan 28 hari. Pengujian tekan setelah benda uji mencapai umur perlakuan. Ringkasan sampel dan perlakuan benda uji terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6 Sampel dan Perlakuan Benda Uji

Perendaman (hari)	Jumlah Sampel (buah)		
	X1	X2	X3
7	5	5	5
14	5	5	5
28	5	5	5
Jumlah	15	15	15

Keterangan:

X1 = menggunakan semen Tipe II

X2 = menggunakan semen sekualitas Tipe I

X3 = menggunakan semen Tipe I

Dari hasil uji kekuatan tekan pada masing-masing benda uji, diperoleh data besarnya beban tekan maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Tegangan tekan maksimum dihitung menggunakan rumus $\sigma = P/A$ dimana, P = besar beban tekan maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji, dan A = luas penampang silinder beton.

Hasil pengujian dan perhitungan tegangan tekan maksimum benda uji untuk masing-masing perlakuan dicari nilai reratanya. Berdasarkan data pada tabel tersebut dapat dibuat grafik rerata kekuatan tekan masing perlakuan benda uji yang dibuat dari berbagai macam merk semen. Dari grafik yang dihasilkan tersebut dapat diketahui, beton menggunakan semen jenis mana yang memiliki kekuatan tekan paling besar setelah terendam selama 7, 14 dan 28 hari di dalam air laut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil uji kekuatan tekan

Pengujian dilakukan setelah silinder beton umur 7; 14; dan 28 hari; hasil kekuatan tekan silinder beton menggunakan jenis semen yang berbeda seperti pada Tabel 7.

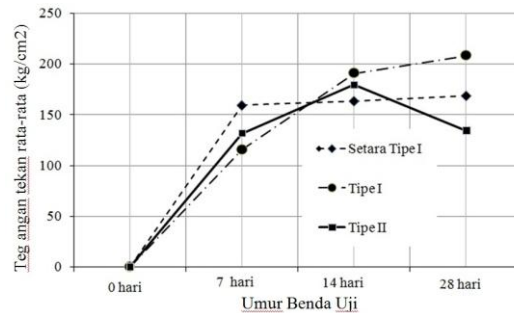
Jika digambarkan dalam bentuk grafik hasilnya seperti pada Gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut, tampak bahwa semen yang setara Tipe I, dan Semen Tipe I, pada usia 14 hari telah melampaui target kekuatan yang direncanakan yaitu di atas 17,5 Mpa (175 kg/cm²), sedangkan Semen Tipe II menghasilkan kekuatan tekan beton dibawah target. Ini wajar, sebab Semen Tipe II memang sifatnya memiliki kekuatan awal yang rendah.

Untuk mengetahui apakah sampel memang benar-benar ada yang tidak melampaui target mutu beton yang direncanakan, perlu dilakukan konversi dari usia benda uji yang asli (7 dan 14 hari) menjadi usia beton standar yaitu 28 hari. Koefisien menggunakan ketentuan yang terdapat

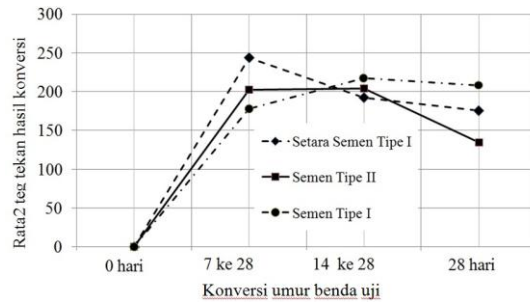
pada Peraturan Beton Indonesia (PBI)1971; dari 7 hari menjadi 28 hari dibagi dengan koefisien 0,65; dan dari 14 hari menjadi 28 hari dibagi dengan koefisien 0,88 [YDNI NI-2. 1979.]. Tegangan tekan hasil tegangan konversi digambarkan seperti pada grafik Gambar 2.

Tabel 7 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan

Umur (hari)	Tipe semen	Teg tekan rata2 (kg/cm ²)	SD (kg/cm ²)	CV (%)
7		131,69	14,32	10,88
14	Tipe II	178,88	11,10	6,21
28		135,35	20,55	15,18
7	Setara	158,27	15,51	9,80
14	Tipe I	163,75	22,33	13,64
28		166,90	29,64	17,76
7		115,54	5,21	4,51
14	Tipe I	194,17	20,88	10,75
28		211,44	15,91	7,52



Gambar 1. Grafik Tegangan Uji Tekan Rata-rata Benda Uji



Gambar 2. Grafik Tegangan Uji Tekan Rata-rata Benda Uji setelah di Konversi

Berdasarkan Gambar 2 diketahui, bahwa sebenarnya pada usia 14 hari semua sampel benda uji telah mencapai target mutu yang direncanakan; sedangkan penurunan kekuatan tekan semua benda uji pada umur 28 hari adalah disebabkan karena faktor lain. Jadi target mutu beton yang digunakan dalam sampel penelitian ini sudah sesuai dengan yang direncanakan.

3.2 Pengaruh air laut pada kekuatan beton

Dari hasil pengujian kekuatan tekan benda uji (Gambar 1), pada saat beton baru dicor sampai umur 7 hari, kekuatan tekan meningkat dengan cepat, kendati pada umur selanjutnya

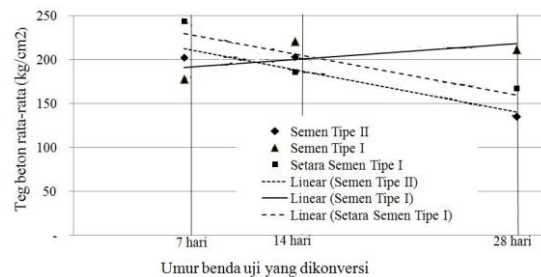
kekuatan tekan itu masih bertambah, tetapi kenaikan itu dalam besaran yang makin kecil. Perilaku ini membuktikan bahwa kandungan C₃A (trikalsium aluminat) dalam semen PC memang menyebabkan kenaikan kekuatan tekan beton hanya saat umur-umur awal saja, dan selanjutnya pengaruh C₃A tidak terlalu signifikan terhadap bertambahnya kekuatan tekan.

Dari Gambar 1 terlihat pula, bahwa dua dari tiga kelompok sampel yang dibuat dari tipe semen berbeda, mulai umur tujuh sampai 14 hari, kekuatan beton masih naik. Naiknya kekuatan tekan beton yang terbuat dari semen Tipe II, hampir menyamai kekuatan beton yang dibuat dari semen Tipe I; tetapi jika dikonversi menjadi kekuatan beton 28 hari, (Gambar 2), terlihat bahwa sebenarnya beton tidak mengalami kenaikan yang signifikan, bahkan pada perendaman yang lebih lama terdapat kecenderungan bahwa kekuatan tekan beton semakin turun; ada kemungkinan penyebabnya adalah jenis semen Tipe II memiliki kekuatan tekan awal yang rendah, dan sebelum mencapai kekuatannya yang optimal telah terkena serangan sulfat, sehingga kekuatannya makin lama cenderung makin turun.

Menurut (Ping dkk, 1999) permeabilitas (ketahanan material dalam menyerap air) berkaitan dengan kekuatan tekan beton, sebab berkurangnya ketahanan penyerapan beton mengakibatkan ion garam agresif yang terkandung dalam air laut akan masuk ke dalam beton, sehingga semen PC yang berfungsi sebagai perekat menjadi tidak stabil dan bereaksi kimia sangat kompleks. Ada kemungkinan, turunnya kekuatan tekan beton yang direndam air laut lebih lama disebabkan karena mutu beton yang tergolong rendah, pada mutu beton yang lebih tinggi akan memiliki permeabilitas yang lebih baik, sehingga kekuatan tekan beton tidak turun terlalu besar.

Pada saat pertama kali direndam air laut, dengan sendirinya air laut mulai meresap masuk ke dalam pori-pori beton; dan pada saat itulah beton mulai terkena serangan sulfat. Menurut Bryan, M. 1964 (dalam Emmanuel dkk, 2012) beton mulai terserang garam sulfat ditandai dengan naiknya kekuatan tekan. Ini bisa saja terjadi, sebab umumnya serangan berasal dari Calcium cloroaluminat (garam *friedls*) yang mempunyai kemampuan mengembang. Pada saat masuk ke dalam pori-pori beton, garam *friedls* masih dalam kondisi awal mengembang, sehingga rongga-rongga yang ada pada beton akan terdesak menjadi lebih padat. Akibatnya jika dilakukan pengujian tekan, kekuatannya akan meningkat; akan tetapi jika direndam lebih lama, garam *friedls* akan terus membesar mengembang, sampai menekan rongga-rongga

pada beton secara berlebihan. Akibatnya rongga-rongga dalam beton mengalami tekanan yang lebih besar, sehingga jika dilakukan pengujian tekan kekuatan tekannya akan menurun; kejadian ini dapat diamati pada Gambar 2. Berdasarkan konversi kekuatan beton pada umur 14 menjadi 28 hari, tampak bahwa secara umum kekuatan tekan beton akan menurun. Gambar 3 berikut ini merupakan perkiraan kecenderungan penurunan kekuatan tekan beton jika direndam lebih lama. Menurut gambar tersebut kekuatan tekan beton yang dibuat dari semen Tipe I punya kecenderungan makin naik, sedangkan beton yang terbuat dari Semen Tipe II dan sekualitas Tipe I cenderung makin turun.



Gambar 3. Kecenderungan Perilaku Tegangan Tekan Benda Uji Jika Direndam Air Laut Lebih Lama

3.3 Semen yang Toleran pada Air Laut

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3, diketahui bahwa beton yang relatif paling toleran terhadap air laut adalah yang dibuat dari Semen Tipe I. Kendati terendam air laut selama 28 hari masih ada kecenderungan kekuatan tekannya bertambah besar. Ini wajar, sebab jenis semen tersebut memang lebih unggul dari semen Tipe II, dan atau yang “setara” dengan Tipe I (bukan benar-benar sebagai Semen Tipe I). Untuk perendaman yang lebih lama akibatnya belum diketahui; menurut (Mohammed dkk. 2004), sampai 5 tahun terendam air laut, kekuatan tekan beton belum banyak berubah, tetapi pada perendaman yang lebih lama kekuatan tekannya merosot.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: (1) Beton yang dibuat dari jenis semen yang dijual di toko-toko bahan bangunan di Kota Malang, jika direndam air laut selama 7 hari akan meningkatkan kekuatan tekan secara cepat, namun jika direndam terus selama 28 hari, kekuatan tekannya akan turun. (2) Jenis semen yang relatif paling tahan terhadap air laut selama perendaman 28 hari adalah Semen Tipe I

Hasil penelitian ini tidak dapat untuk mewakili seluruh merk semen yang beredar di sekitar Malang; namun demikian melihat kecenderungan benda uji jika lebih lama direndam dalam air laut makin turun kekuatan

tekannya, ada kemungkinan sekalipun dibuat dari jenis Semen Tipe I, belum tentu tetap lebih baik dari dua jenis semen yang dipakai dalam penelitian ini. Untuk itu perlu penelitian lain yang sejenis dengan memberi perlakuan perendaman pada air laut dalam waktu lebih lama.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Octavianus Putra, mahasiswa S1 Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FT-UM yang telah memberikan kontribusi dalam pengumpulan data pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Emmanuel, A.O; Oladipor, F.A; dan Olabode, O. (2012). Investigation of Salinity Effect on Compressive Strength of Reinforced Concrete. *Journal of Sustainable Development; Vol. 5, No. 6; 2012. ISSN 1913-9063 E-ISSN 1913-9071 pp: 74-82.* Published by Canadian Center of Science and Education.
- Islam Moinul, Md dkk. (2010). Strength Behavior of Concrete Using Slag with Cement in Sea Water Environment. *Journal of Civil Engineering (IEB), 38 (2) (2010)pp: 129-140.* Department of Civil Engineering, Chittagong University of Engineering and Technology, Chittagong-4349, Bangladesh.
- Istimawan Dipohusodo. (1994). *Struktur Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03.* Departemen Pekerjaan Umum RI. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 1994.
- Mehta, P.K. (1986). *Durability, Chapter-5, Concrete structure, Properties and Materials,* Printice-Hall , Eaglewood Cliffs , New Jersey.
- Mohammed. T.U dkk. (2004). Performance of Seawater-Mixed Concrete in The Tidal Environment. *Cement and Concrete Research 34 (2004)h: 593-601.* [Online]. Diakses di [:www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) Diakes, [18 Juli 2015; 09.04 WIB]
- Neville, A.M dan Brooks, J.J. (1987). *Concrete Technology.* Longman Scientific & Technical. Longman Group UK Limited.
- Ping, G., Beaudoin, J.J., Min, H. Z., and Malhotra, V.M., Performance of Steel Reinforcement in Portland Cement and High-Volume Fly Ash Concretes Exposed to Chloride Solution, *ACI Materials Journal, V. 96, No.5, pp. 551-558, September-October,(1999).*
- Tomasz GORZELAŃCZYK1, Jerzy HOŁA1, Łukasz SADOWSKI1, Krzysztof SCHABOWICZ1, 2012. *Evaluation of Concrete Homogeneity in Massive Structural Element of Hydroelectric Power Plant by Means of Non Destructive Impulse Responnse Method.* Czech Society for Nondestructive Testing NDE for Safety / DEFEKTOSKOPIE 2012. October 30 - November 1, 2012 - Seč u Chrudimi - Czech Republic (pp: 71-76).
- Utama, A.P. (2010). *Pengaruh Perendaman Beton PC I PT Semen Padang dalam Air Laut dan Air Tawar Terhadap Kuat Tekan.* Skripsi Sarjana Kimia, tidak dipublikasikan. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang 2010.
- Yayasan Dana Normalisasi Indonesia. (1977). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, N.I.-2.* Penerbitan kelima. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Direktorat Jendral Cipta Karya, Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Jakarta, Juli 1977.