

PENGARUH JENIS SEMEN DAN PENAMBAHAN *SILICA FUME* TERHADAP KEKUATAN DAN DURABILITAS BETON

THE EFFECT OF CEMENT TYPE AND SILICA FUME ADDITIONS ON STRENGTH AND DURABILITY ASPECT OF CONCRETE

Ariyadi Basuki dan Maulana Ikhwan Sadikin

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik,
Jl. Sangkuriang No. 14, Bandung Tlp (022) 2504088 Fax (022) 2502027
Email: ariyadib@gmail.com

Diterima : 17 April 2012

Direvisi : 14 Mei 2012

Disetujui : 14 Juni 2012

ABSTRAK

Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian pengujian untuk mengetahui sifat fisik dari material penyusun (agregat), yang kemudian dirancang komposisi rencana beton dengan mutu K250 (normal/kontrol) dan K250 dengan aditif *Silica Fume* 10% dari berat semen. Variasi campuran menggunakan tiga tipe semen yang berbeda yaitu *Ordinary Portland Cement (OPC)*/Semen Tipe I, *Portland Composite Cement (PCC)* dan Semen Tipe II. Proses dilanjutkan dengan pembuatan sampel uji silinder berukuran 15 cm x 30 cm (karakteristik kuat tekan, ketahanan sulfat), sampel uji prisma berukuran 20 cm x 20 cm x 12 cm (karakteristik permeabilitas) dan sampel uji kubus berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm (untuk penetrasi klorida). Pengamatan dilakukan untuk melihat karakteristik beton K250 dengan penambahan *silica fume* 10%, dibandingkan dengan beton normal sebagai acuan, serta aplikasinya dalam lingkungan normal maupun asam (Sulfat, Klor). Hasil kuat tekan memperlihatkan, bahwa campuran dengan menggunakan semen PCC memiliki nilai kuat tekan rata-rata diatas semen OPC. Penambahan *silica fume* pada campuran semen PCC akan menaikkan nilai kuat tekan sebesar 4,2% dibandingkan beton normal dengan produk semen yang sama, meskipun nilai rasio air-semen nya membesar menjadi 0,71 karena penambahan air. Nilai kuat tekan terbesar diperoleh untuk campuran beton dengan semen Tipe II. Campuran dengan semen PCC (2) menunjukkan nilai penetrasi yang lebih kecil dibandingkan campuran lainnya, hal ini mengindikasikan produk beton yang terbentuk memiliki kepadatan yang lebih baik dari produk campuran lainnya dan tidak porous, sehingga dapat dikatakan memiliki tingkat durabilitas yang cukup baik. Untuk ketahanan terhadap serangan sulfat, beton dengan menggunakan campuran semen tipe II mengalami tingkat pelapukan/penggerusan penampang (*scaling*) yang lebih besar dibandingkan campuran beton lainnya, meskipun begitu hal ini tidak mempengaruhi nilai kuat tekannya. Untuk produk dengan semen PCC, serangan sulfat tidak mempengaruhi nilai kuat tekannya, bahkan cenderung naik bila dibandingkan pada usia 28 hari.

Kata kunci: aspek durabilitas, tipe semen, pemanfaatan *silica fume*

ABSTRACT

In this research a series of tests to determine the physical properties of the constituent materials (aggregate) was carried out, and then was continued with design of concrete composition which meet the quality of K250 (normal / control) and K250 with Silica Fume additive 10% by weight of cement. Variations of composition use three different types of cement that are Ordinary Portland Cement (OPC) / Cement Type I, Portland Composite Cement (PCC) and Cement Type II. The process was continued with the manufacture of cylindrical test sample size of 15 cm x 30 cm (characteristic of compressive strength, endurance sulfate test), prismatic test samples measuring 20 cm x 20 cm x 12 cm (permeability characteristics) and the test sample cube measuring 15 cm x 15 cm x 15 cm (for chloride penetration). Observations were carried out to see the characteristics of concrete with the addition of silica fume K250 10%, compared with normal concrete as a reference, as well as its application in a normal and acid environment (sulphate, chloride). The result of compressive strength showed that the use of PCC cement in concrete has an average value of compressive strength above OPC cement. The addition of silica fume in PCC cement concrete will increase the value of compressive strength by 4,2% compared to normal concrete with the same cement product, although the

value of w/c ratio was enlarged to 0.71 due to the addition of water. The greatest compressive strength values obtained for the mixture of concrete with Type II Cement. Concrete mixture with PCC (code 2) shows the penetration value smaller than the other mixtures. This is indicating that concrete product formed has a density better than the other mix products and does not porous, so it can be said to have a pretty good level of durability. For resistance to sulfate attack, concrete mixture use type II cement is having the level of weathering / erosion of cross-section (scaling) larger than the other concrete mixes, however this does not affect the value of compressive strength. For products with PCC cement, sulfate attack does not affect the value of compressive strength, and even tended to increase when compared to the age of 28 days.

Keywords: aspects of durability, the type of cement, silica fume utilization

PENDAHULUAN

Komponen beton dapat rusak dipermukaan atau mengalami kegagalan struktural yang menandakan batasan nilai keamanan struktur telah terlampaui sebagai akibat dari degradasi dari material beton atau pembebanan telah melampaui batasan beban desain. Degradasi material dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang ekstrem selama usia layan atau masa pakai, misal ; kondisi cuaca, efek lingkungan kimia, atau efek benturan/tekanan. Terkait dengan hal tersebut, faktor pemilihan material penyusun beton yang tepat dan pemilihan komposisi yang sesuai amat memegang peran penting dalam memberikan kemampuan layan dan performa yang optimum. Dalam perencanaan konstruksi beton, salah satu faktor yang sangat berpengaruh adalah material penyusunnya. Sifat fisik dari agregat halus (pasir), agregat kasar (split), matriks pengikat (semen) dan bahan aditif akan berpengaruh pada performa akhir setiap elemen struktur pada bangunan konstruksi beton bertulang.

Produk semen pada saat ini telah berkembang/beralih dari tipe I (OPC) ke tipe PCC, hal ini untuk mengurangi emisi CO₂ dan diklaim memiliki ketahanan yang lebih baik dilingkungan asam/agesif.

Dari beberapa penelitian, diketahui bahwa perkembangan kekuatan beton untuk beton dengan *silica fume*, lebih lambat dari beton kontrol untuk nilai kuat tekan rencana yang sama pada usia 28 hari. Perbedaan ini akan meningkat seiring peningkatan dosis *silika fume* dan penurunan suhu. Kontribusi *silika fume* berperan pada peningkatan kekuatan tekan pada rentang 3 hingga 28 hari setelah proses pencampuran [4].

Dalam penelitian ini akan diamati produk beton yang menggunakan tiga macam tipe semen, yaitu : semen OPC, semen PCC, semen tipe II yang dipadukan dengan aditif *silica fume* yang akan disimulasikan pada

lingkungan agresif (simulasi dilaboratorium). Penambahan *silica fume* tersebut untuk meningkatkan karakteristik permeabilitas (pengurangan daya intrusi zat cair pada beton) serta mengurangi laju degradasi (penguraian) dari produk beton yang akan terpasang pada lingkungan yang agresif.

Tingkat degradasi pada produk beton, yang diamati adalah kikisan pada beton (kehilangan berat) pada waktu pengerasan serta penurunan kuat tekan seiring perubahan bentuk/permukaan beton

Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini, yaitu tercapainya nilai kuat tekan rencana beton baik produk beton normal maupun beton dengan penambahan *silica fume* pada kuat tekan rencana K250 (207,5 kg/cm²) untuk semua jenis yang diaplikasikan serta kriteria keawetan tercapai untuk beton dengan penambahan *silica fume* yaitu memiliki nilai penetrasi/intrusi zat cair yang rendah (dibawah 5 cm) dan persentase kehilangan berat yang rendah dan memiliki penurunan nilai kuat tekan paling rendah.

Material yang akan dipergunakan berasal dari daerah merak (pesisir) dekat dengan lokasi pantai.

Kriteria Fisik Material Penyusun Beton

Sifat fisik dari agregat halus (pasir), agregat kasar (split), matriks pengikat (semen) dan bahan aditif akan berpengaruh pada performa akhir setiap elemen struktur pada bangunan konstruksi beton bertulang.

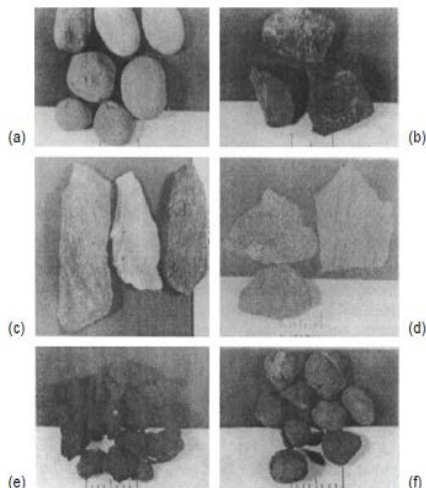
a. Agregat halus (pasir)

Bentuk partikel pasir yang bundar dan tekstur yang halus diindikasikan akan memerlukan jumlah air dalam campuran beton yang minimum dan untuk alasan inilah dipergunakan untuk aplikasi beton mutu tinggi. Pasir dengan modulus kehalusan dibawah 2,5 akan menghasilkan beton dengan konsistensi yang lengket/liat sehingga membuat sulit

untuk memadat. Pasir dengan modulus kehalusan dalam kisaran 3 akan memberikan kelecakan (*workability*) dan kekuatan tekan produk beton yang baik [2], [6]. Jumlah pasir yang melewati saringan no. 50 dan no. 100 haruslah rendah, tapi tetap sesuai dengan persyaratan ASTM C33 serta kandungan mica/clay harus ditiadakan. Gradasi pasir tidak memberikan efek pada kekuatan awal akan tetapi berperan pada usia akhir dan berpotensi meningkatkan tingkat kekuatan produk beton [2].

b. Agregat Kasar (Split)

Dari beberapa studi menunjukkan bahwa untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang optimum dengan kandungan semen tinggi dan rasio air semen yang rendah, jumlah maksimum kerikil harus dibuat minimum pada ukuran 12,7 mm atau 9,5 mm, maksimum pada ukuran 19 mm dan 25.4 mm [7]. Batu pecah akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dibanding batu bundar, hal ini karena ikatan mekanis yang lebih besar akan dihasilkan bila menggunakan partikel yang angular (bersudut). Akan tetapi bentuk bersudut yang pipih harus dihindari karena bertendensi meningkatkan jumlah air serta mengurangi kelecakan beton. Agregat yang ideal, haruslah bersih, kubikal, bersudut, 100% batuan pecah yang minim bentuk partikel pipih dan memanjang [2].



(a). gravel, rounded, smooth, (b). batu pecah, equidimensional, (c). batu pecah, elongated, (d). batu pecah, flat, (e). agregat ringan, angular, rough. (f). agregat ringan, rounded, smooth

Gambar 1. Bentuk dan Tekstur Permukaan dari Agregat Kasar

c. Tipe Semen

Pada awal perkembangan dunia konstruksi di Indonesia dikenal beberapa tipe semen sesuai dengan ASTM C150 dan PBI-71, yaitu :

- *Tipe I*, untuk penggunaan beton pada umumnya (beton yang tidak memerlukan karakteristik khusus)
- *Tipe II*, untuk penggunaan beton umum dan memiliki ketahanan terhadap sulfat tingkat sedang, memiliki panas hidrasi tingkat sedang (kandungan C3A dalam semen dibatasi maksimum 8%)
- *Tipe III*, untuk penggunaan beton yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi pada usia awal
- *Tipe IV*, untuk penggunaan beton yang memerlukan panas hidrasi yang rendah
- *Tipe V*, untuk penggunaan beton yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat tingkat berat (kandungan C3A dalam semen dibatasi maksimum 5%). Produk hidrasi semen dengan kandungan C3A lebih dari 5% akan menghasilkan monosulfate hidrate yang tidak stabil ketika terekspos dalam larutan sulfat. Ettringite adalah produk yang stabil dalam lingkungan sulfat, sehingga konversi dari monosulfate ke ettringite akan berkaitan dengan ekspansi dan tumbuhnya retakan dalam beton sehingga mempengaruhi penampakan visual dari permukaan produk beton dan integritasnya.

Perkembangan terakhir, produsen semen di Indonesia telah melakukan inovasi dengan diperkenalkannya produk semen PCC (*Portland Composite Cement*) yang mana proses produksinya lebih ramah lingkungan serta diklaim memiliki karakteristik mekanik dan durability yang lebih baik dibanding produk semen di awal (OPC, dll). Menurut SNI 17064-2004, Semen Portland Campur adalah Bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama sama terak (clinker) semen portland dan gibs dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (blastfurnace slag),

pozzoland, senyawa silika, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 – 35 % dari massa semen portland composite. Menurut Standard Eropa EN 197-1 Portland Composite Cement atau Semen Portland Campur dibagi menjadi 2 type berdasarkan jumlah aditif material aktif, yaitu :

- Type II/A-M mengandung 6 – 20 % aditif
- Type II/B-M mengandung 21 – 35 % aditif

d. Aditif Silica Fume

Silica fume dan admixtures yang mengandung *silica fume* telah lama dipergunakan untuk beton berkekuatan tekan tinggi yang diperuntukkan untuk beton struktur dan lapis permukaan (material perbaikan) dimana ketahanan terhadap abrasi dan tingkat permeabilitas yang rendah amat diperlukan [4,5]. *Silica fume* merupakan produk samping yang dihasilkan dari reduksi kwarsa murni dan batu bara melalui pembakaran di tungku elektrik (*electric arc furnaces*) dalam proses produksi *silicon* dan *ferro silicon alloys*. Bubuk silika ini mengandung silikon dioksida yang tak berbentuk serta partikel-partikel halus berbentuk bulat yang dikumpulkan dari gas-gas yang keluar dari tungku [4].

Proses Perawatan Beton (Curing)

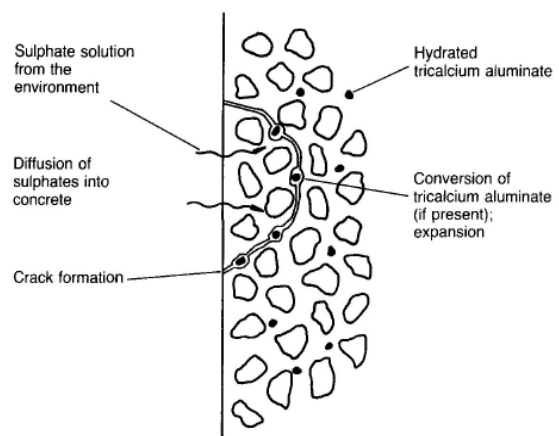
Curing merupakan hal yang sangat penting dalam proses produksi beton mutu tinggi. Untuk menghasilkan pasta semen dengan kandungan padat yang tinggi, beton harus mengandung jumlah air yang minimum, dimana setelah beton dicor/ditempatkan dan struktur pasta semen telah terbentuk, air haruslah tersedia selama tahap awal dari proses hidrasi. Selama periode ini, sejumlah besar air akan bereaksi dengan semen. Jumlah air yang tersedia ini akan hilang sebanyak 1/4 dari volumenya setelah reaksi kimia selesai [5]. Hal ini akan menghasilkan ruang hampa kecil yang mampu menarik air dalam jarak dekat ke dalam beton, yang mana pada tahap ini, beton masih bersifat permeabel. Air ekstra yang memasuki struktur pori akan meningkatkan proses hidrasi juga menambah persentase kandungan solid dalam volume

beton, sehingga meningkatkan kekuatan beton. Jika agregat mampu untuk mengabsorpsi sejumlah air, maka agregat akan berlaku sebagai "reservoir mini" penyumbang air selama proses hidrasi terjadi dalam beton.

Kriteria keawetan (durabilitas) beton

Aspek durabilitas dari beton yang mengandung *silica fume* terkait dengan karakteristik permeabilitas yang dihasilkan. Hal ini menjadi indikator keawetan dari serangan fisik dan kimia. Terminologi permeabilitas digunakan untuk perpindahan cairan, gas, uap air melalui material yang porous, meskipun terminologi difusi pada umumnya digunakan untuk mendeskripsikan gas dan uap air. Difusi oksigen dan klorida dalam beton jenuh air juga dapat diukur dalam kaitannya dengan potensi korosi pada tulangan dalam beton.

Sedangkan untuk beton di lingkungan agresif (asam), berfokus pada pengamatan kehilangan berat dengan waktu pengerasan serta penurunan kuat tekan seiring dengan perubahan bentuk penampang sebagai akibat terjadinya kikisan/pelapukan lapisan permukaan beton. Dari beberapa penelitian beton dengan silika fume di Eropa, dijelaskan bahwa ketahanan terhadap sulfat meningkat ketika 10-15% dari semen diganti oleh silika fume [4,5]. Performa yang baik ini dikarenakan struktur pori beton yang terbentuk lebih halus sehingga mereduksi tingkat perpindahan ion-ion yang berbahaya (dipadu dengan semen tahan sulfat).



Gambar 2 Efek serangan Sulfat

BAHAN DAN METODE

Bahan utama seperti semen OPC/tipe I (Tiga Roda), semen PCC (Tiga Roda), semen Tipe II (Holcim), pasir ex Merak, batu pecah 5 mm, 10/20 mm ex Merak, *silica fume* 10%.

Bahan bantu seperti air, cetakan Silinder 15 x 30 cm, cetakan Prisma 20 x 20 x 12 cm, cairan sulfat 95%, cairan Natrium Sulfat/Sodium Sulfat, bubuk NaCl.

Peralatan utama seperti saringan/mesh untuk agregat, *abrasion Machine* (Los Angeles Abrasion), mesin kuat tekan kapasitas 300 ton, mesin kedap air dengan tekanan rata-rata 5 bar, ruang *Curing/Moist Room*.

Peralatan bantu seperti jangka sorong, ember rendaman, sarung tangan, termometer

Metode Percobaan

Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian pengujian untuk mengetahui sifat fisik dari material penyusun (agregat), yang kemudian dirancang komposisi rencana beton dengan mutu K250 (normal/kontrol) dan K250 dengan aditif *Silica Fume* 10% dari berat semen. Variasi campuran menggunakan tiga tipe semen yang berbeda yaitu *Ordinary Portland Cement* (OPC)/Semen Tipe I, *Portland Composite Cement* (PCC) dan Semen Tipe II. Hasil rancangan diuji dengan membuat sampel uji berupa silinder beton 15 x 30 cm, kubus beton 15 x 15 x 15 cm, prisma beton 20 x 20 x 12 cm untuk masing-masing parameter yang akan ditinjau baik aspek fisik maupun durabilitasnya. Pengamatan dilakukan untuk melihat karakteristik beton K250 dengan penambahan *silica fume* 10%, dibandingkan dengan beton normal sebagai acuan, serta aplikasinya dalam lingkungan normal maupun asam (Sulfat, Klorida).

Rancangan Campuran : pada percobaan digunakan mutu beton K - 250 atau setara $f_c = 207,5 \text{ kg/cm}^2$ (benda uji silinder) dengan berbagai kombinasi campuran yaitu :

- Beton Normal K 250, (acuan), Semen Tipe OPC, Kode 1
- Beton Normal K 250, (acuan), Semen Tipe PCC, Kode 2
- Beton Normal K 250, Semen Tipe II, Kode 3

- Beton Normal K 250, Semen Tipe OPC+Silica Fume 10%, Kode 4
- Beton Normal K 250, Semen Tipe PCC+Silica Fume 10%, Kode 5

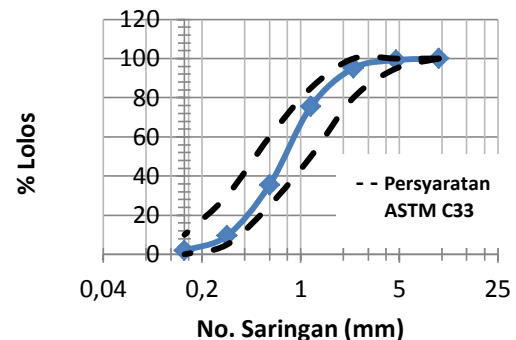
Percobaan dilakukan pada ruang kelembaban nisbi 78% dan suhu ruang 25° C

Pengujian Mekanik dan Durabilitas sesuai dengan : pengujian sifat fisik agregat (ASTM C33, C136, C29, C127, C128, C117, C40, C131, C535, C88), pengujian kuat tekan silinder beton (ASTM C39), pengujian kedap air (DIN 1048), uji rendaman sulfat (ACI), uji rendaman NaCl (Klorida).

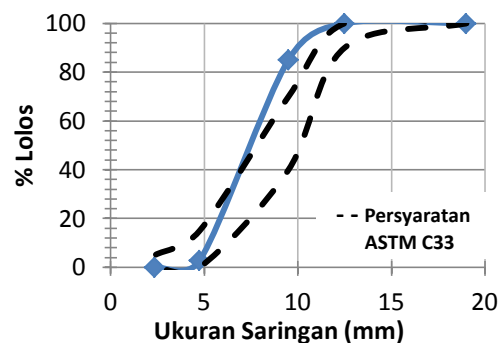
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Fisik

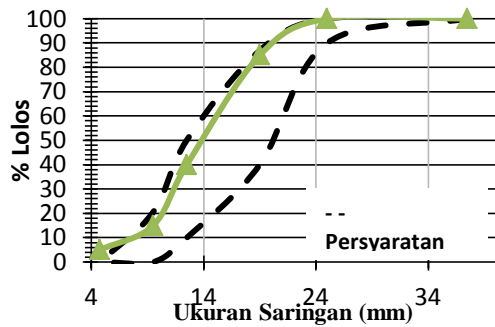
Hasil analisa ayak untuk material pasir memenuhi persyaratan ASTM C33, sedangkan untuk agregat kasar ukuran 5-10 mm banyak butiran diatas 5 mm. Agregat tetap dapat digunakan dalam campuran dengan komposisi rancangan, penggunaan butiran 10-20 dalam jumlah yang maksimum, sedangkan butiran 5-10 dalam jumlah yang minimum.



Gambar 3 Analisa Ayak Pasir Ex Merak



Gambar 4 Analisa Ayak Split 5-10 mm Ex Merak



Gambar 5 Analisa Ayak Split 10-20 mm Ex Merak

Tabel 1 . Data Fisik Agregat

Persyaratan	Pasir ex merak	Split ex merak	
		5-10 mm	10-20 mm
Angka kehalusan			
Agregat halus (1,5-3,8)	2,834		
Agregat kasar (6-7,1)		6,121	6,925
Berat Jenis	2,7	2,82	2,78
Kadar lumpur			
Agregat halus < 5%	1,2		
Agregat kasar < 1%		1,9	4,25
Indeks Kekerasan			
Agregat halus < 2,2	1,3		
Agregat kasar < 50%		30,6	22,8
Kekekalan			
Agregat halus < 10%	3,15		
Agregat kasar < 12%		4,36	3,96

Nilai modulus kehalusan pasir 2,8 hampir mendekati 3, diprediksi campuran beton akan memiliki kelecakan yang cukup baik. Sedangkan kandungan lumpur pada agregat kasar berada diatas persyaratan. Kadar lumpur yang melebihi ambang batas akan mengikat jumlah air yang lebih banyak pada saat proses trial mix sehingga dapat mempengaruhi konsistensi campuran (rasio air-semen) untuk mengantisipasi hal tersebut dalam perancangan campuran jumlah kadar semen dinaikkan dari jumlah normal sehingga nilai rasio air-semen tetap stabil.

Tabel 2. Rancangan Campuran Beton Normal Per 1 m³

Bahan	(1)	(2)	(3)
Semen (kg)	336	336	336
Air (kg)	186,5	191,1	191,1
Pasir (kg)	673,4	673,4	673,4
Split 5 mm (kg)	96,2	96,2	96,2
Split 10-20 mm (kg)	1154,4	1154,4	1154,4
Rasio air-semen	0,56	0,57	0,57

(1).K250, Semen OPC, (2).K250, Semen PCC, (3).K250, Semen Tipe II

Tabel 3 . Rancangan Campuran Beton + Silica Fume per 1 m³

Bahan	(4)	(5)
Semen (kg)	302,3	302,3
Air (kg)	219,6	213,9
Pasir (kg)	673,4	673,4
Split 5 mm (kg)	96,2	96,2
Split 10-20 mm (kg)	1154,4	1154,4
Silica Fume (kg)	33,6	33,6
Rasio air-semen	0,73	0,71

(4).K250, Semen OPC + SF 10%,
(5).K250, Semen PCC + SF 10%

Hasil Trial Mix

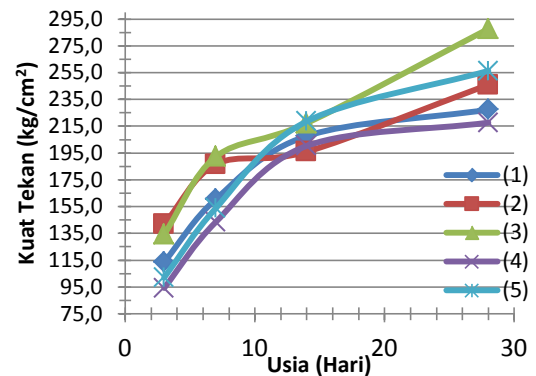
Slump yang diperoleh pada kisaran 7–8 cm hal ini menandakan campuran memiliki kelecakan yang cukup baik. Berat jenis yang besar diperoleh untuk tipe semen PCC dan Tipe 2, hasil terindikasi dari nilai berat jenis campuran (2), (3), (5) yang berkisar 2.400 – 2.500 kg/dm³.

Tabel 4 . Kondisi Beton Segar

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Slump (cm)	8	7,5	7,5	7	7
Berat jenis (kg/dm ³)	2,344	2,412	2,412	2,304	2,524

Kekuatan Tekan Campuran Beton

Sampel benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm. Dari hasil kuat tekan terlihat, bahwa campuran dengan menggunakan semen PCC memiliki nilai kuat tekan rata-rata diatas semen OPC. Penambahan *silica fume* pada campuran semen PCC akan menaikkan nilai kuat tekan sebesar 4,2% dibandingkan beton normal dengan produk semen yang sama, meskipun nilai rasio air-semen nya membesar menjadi 0,71 karena penambahan air. Nilai kuat tekan terbesar diperoleh untuk campuran beton dengan semen Tipe II.



Kode Variasi Campuran

- (1) K250, Semen OPC
- (2) K250, Semen PCC
- (3) K250, Semen Tipe II
- (4) K250, Semen OPC + SF 10%
- (5) K250, Semen PCC + SF 10%

Gambar 6 Kekuatan Tekan Variasi Campuran (1), (2), (3), (4), (5)

Tabel 5 . Kekuatan Tekan Variasi Campuran (1), (2), (3), (4), (5)

Usia (hari)	Kode Variasi Campuran				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3	113,7	142,0	134,3	94,3	102,0
7	160,7	186,7	192,3	143,7	154,0
14	207,7	196,0	217,3	200,3	218,7
28	227,3	246,0	287,7	217,7	256,3

Keterangan :

*Nilai kuat tekan dalam kg/cm²

**Nilai kuat tekan rencana = 207,5 kg/cm²

***Kode Variasi Campuran

- (1) K250, Semen OPC
- (2) K250, Semen PCC
- (3) K250, Semen Tipe II
- (4) K250, Semen OPC + SF 10%
- (5) K250, Semen PCC + SF 10%

Durabilitas Campuran Beton

• **Permeabilitas**

Penetrasi air yang dipersyaratkan untuk kriteria durabilitas tidak melebihi dari 5 cm untuk sampel uji berukuran 20 x 20 x 12 cm. Campuran dengan semen PCC (2) menunjukkan nilai penetrasi yang lebih kecil dibandingkan campuran lainnya, hal ini mengindikasikan produk beton yang terbentuk memiliki kepadatan yang lebih baik dari produk campuran lainnya dan tidak porous, sehingga dapat dikatakan memiliki tingkat durabilitas yang cukup baik.

Tabel 6. Ketahanan terhadap penetrasi air

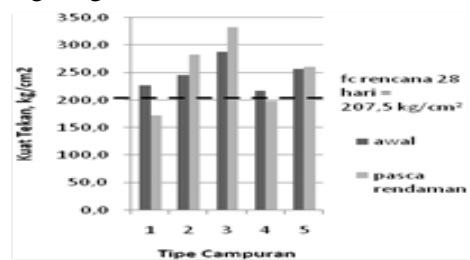
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Kuat tekan 28 hari (kg/cm ²)	227,3	246,0	287,7	217,7	256,3
penetrasi (cm)	9,5	2,3	3,1	4,3	3,2

*Kode Variasi Campuran

- (1) K250, Semen OPC
- (2) K250, Semen PCC
- (3) K250, Semen Tipe II
- (4) K250, Semen OPC + SF 10%
- (5) K250, Semen PCC + SF 10%

• **Ketahanan Sulfat**

Untuk ketahanan terhadap serangan sulfat, beton dengan menggunakan campuran semen tipe II mengalami tingkat pelapukan/penggerusan penampang (scaling) yang lebih besar dibandingkan campuran beton lainnya, meskipun begitu hal ini tidak mempengaruhi nilai kuat tekannya. Untuk produk dengan semen PCC, serangan sulfat tidak mempengaruhi nilai kuat tekannya, bahkan cenderung naik bila dibandingkan pada usia 28 hari. Hal ini membuktikan produk beton memiliki tingkat durabilitas yang baik di lingkungan asam.



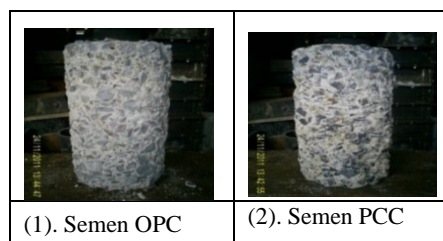
Kode Variasi Campuran

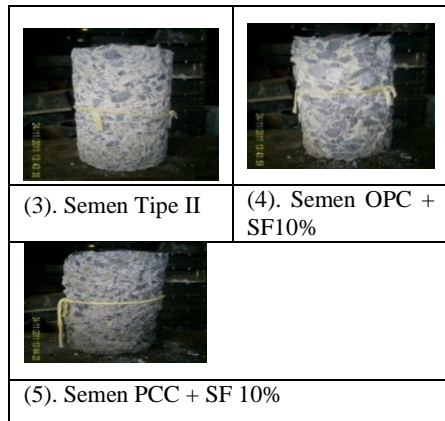
- (1) K250, Semen OPC
- (2) K250, Semen PCC
- (3) K250, Semen Tipe II
- (4) K250, Semen OPC + SF 10%
- (5) K250, Semen PCC + SF 10%

Gambar 7 Kekuatan Tekan variasi campuran (1), (2), (3), (4), (5) Pasca Rendaman Sulfat 5% selama 90 hari

Tabel 7. Kekuatan Tekan variasi campuran (1), (2), (3), (4), (5) Pasca Rendaman Sulfat 5% selama 90 hari

Kriteria	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
% Loss by Weight	7.81	6.64	10.55	3.31	6.26
% Loss by Volume	6.77	5.39	13.69	8.66	11.55
kuat tekan umur 28+90 hari, kg/cm ²	173.1	282.8	332.2	199.1	260.8

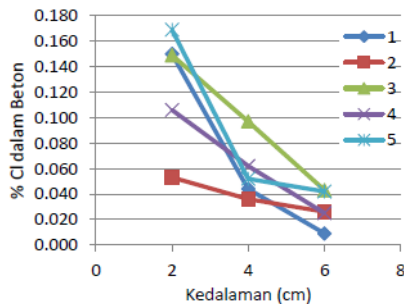




Gambar 8 Kondisi Visual Sampel Beton Pasca Rendaman Cairan Sulfat 5%

• **Ketahanan Penetrasi Klorida**

Dari hasil perendaman dengan larutan NaCl selama 90 hari (uji *ponding*), terlihat untuk struktur beton dengan selimut beton yang dirancang terekspos oleh pengaruh lingkungan (ketebalan selimut beton ± 7 cm), pada tinjauan kedalaman 6 cm, beton dengan semen OPC memiliki nilai penetrasi yang paling rendah. Sedangkan untuk beton dengan semen PCC juga menunjukkan trend yang relatif lebih stabil dibandingkan semen tipe OPC. Batasan nilai klorida sesuai dengan standar ACI adalah 0,10% per berat semen pada lapisan yang ditinjau.



Kode Variasi Campuran

- (1) K250, Semen OPC
- (2) K250, Semen PCC
- (3) K250, Semen Tipe II
- (4) K250, Semen OPC + SF 10%
- (5) K250, Semen PCC + SF 10%

Gambar 9 Grafik penetrasi klorida dalam beton

KESIMPULAN

1. Campuran dengan penambahan *silica fume* sebesar 10% dari bobot semen, pada pelaksanaannya menghasilkan campuran yang kaku/tidak flowable ditandai dengan nilai slump yang kecil.

Untuk tetap menjaga konsistensi campuran agar tetap dapat mengalir pada saat pengecoran dilakukan penambahan air dengan berpatokan pada nilai slump kondisi beton acuan yaitu kisaran 7-8 cm. Hal ini merubah nilai faktor air semen (rasio air-semen) pada kisaran = 0,71-0,73 untuk beton + *silica fume*.

2. Beton normal dengan menggunakan semen OPC memiliki ketahanan terhadap penetrasi air yang rendah (9,5 cm) bila dibandingkan dengan komposisi lainnya. Batas persyaratan nilai penetrasi air maksimum 5 cm.
3. Nilai kuat tekan dari semua komposisi (1 s/d 5) memenuhi nilai persyaratan minimum kuat tekan beton (benda uji silinder) untuk mutu K250 yaitu 207,5 kg/cm². Nilai kuat tekan terbesar dicapai oleh komposisi dengan menggunakan tipe semen II. Dari hasil pengujian ketahanan sulfat diperoleh informasi : nilai kehilangan (% *loss*) terbesar terjadi pada komposisi campuran beton dengan menggunakan semen tipe II (13%), akan tetapi hal ini tidak menurunkan nilai kuat tekannya. Penurunan nilai kuat tekan paling besar terjadi pada campuran dengan menggunakan semen OPC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada rekan-rekan laboratorium beton atas semua bantuan dan saran selama proses penelitian ini berlangsung, serta PT. Bumi Rama Nusantara, atas kesediaannya untuk mendanai kegiatan penelitian ini hingga dapat berlangsung lancar dan sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, "Laporan Penelitian & Pengujian a.n PT. Bumi Rama Nusantara", Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, 2011.
- [2] Alexander, Mark, Mindess, Sidney, "Aggregates In Concrete, Taylor & Francis Group", New York, 2005.

- [3] Neville, A. M, Brooks, J.J, “Concrete Technology”, Second Edition, Prentice Hall, Pearson Education Limited, England, 1987.
- [4] Federation Internationale de la Precontrainte (FPI Commission on Concrete), “Condensed Silica Fume In Concrete”, Thomas Telford Ltd, London, 1988.
- [5] Comite Euro-International Du Beton (CEB), “Durable Concrete Structures - Design Guide”, Second Edition, Thomas Telford Services Ltd, London, 1989.
- [6] Mehta, Kumar P, Monteiro, Paulo, “Concrete Microstructure, Properties and Materials”, Third Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc, USA, 2006.
- [7] ACI Committe 363, *State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete* ACI 363R-92, Manual Of Concrete Practices 2009, USA 2009

