

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *SILICA FUME* TERHADAP DAYA TAHAN PENETRASI AIR BETON NORMAL

THE EFFECT OF FLY ASH AND SILICA FUME ADDITIONS ON WATER PERMEABILITY ASPECT OF NORMAL CONCRETE

Ariyadi Basuki

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135

Email: ariyadib@gmail.com

Diterima: 22 April 2015

Direvisi: 21 Mei 2015

Disetujui: 19 Juni 2015

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan serangkaian pengujian untuk mengetahui karakteristik komposisi rencana beton dengan mutu f_c 30 MPa (normal/kontrol) yang dipadukan dengan aditif *fly ash* 10-15% dan *Silica Fume* 5% dari berat semen. Variasi campuran menggunakan tiga tipe *admixtures* yang berbeda yaitu tipe F+tipe G (*trial mix 1*) dan tipe D+tipe G (*Trial mix 2*). Proses dilanjutkan dengan pembuatan sampel uji silinder berukuran 15 cm x 30 cm (karakteristik kuat tekan), sampel uji prisma berukuran 20 cm x 20 cm x 12 cm (karakteristik permeabilitas, *setting time*). Pengamatan dilakukan untuk melihat karakteristik beton f_c 30 MPa dengan penambahan aditif *fly ash* ataupun *silica fume*, dibandingkan dengan beton normal sebagai acuan, serta aplikasinya dalam lingkungan panas. Hasil kuat tekan memperlihatkan bahwa campuran dengan menggunakan *admixtures* tipe D+ tipe G memiliki nilai kuat tekan rata-rata diatas kriteria rencana f_c 30 MPa. Penambahan *fly ash* pada campuran beton akan menaikkan nilai kuat tekan sebesar 1,1% dibandingkan beton normal dengan nilai rasio air-semen nya mengecil menjadi 0,3–0,4 karena pengurangan air. Campuran dengan penambahan aditif *fly ash* atau *silica fume* menunjukkan nilai penetrasi yang relatif sama bila dibandingkan campuran beton normal, hal ini mengindikasikan produk beton yang terbentuk memiliki kepadatan yang relatif sama dan dapat dikatakan memiliki tingkat durabilitas yang cukup baik (nilai penetrasi < 5 cm).

Kata kunci: penetrasi air, *admixtures*, pemanfaatan *silica fume*, *fly ash*

ABSTRACT

In this research a series of tests to determine the characteristics of the composition of concrete with grade f_c 30 MPa (normal/control) combined with fly ash additive (10-15%) or silica fume (5%) of cement weight was conducted. Variation of mixtures are using three different types of admixtures such as type F combined with type G (in trial mix 1) and type D combined with type G (in trial mix 2). The process was continued with the making of cylindrical samples of 15 cm diameter by 30 cm height (compressive strength characteristic), prism samples with the size of 20 cm x 20 cm x 12 cm (permeability characteristic). Observations were made to know the characteristics of the concrete grade 30 MPa with the addition of additives fly ash or silica fume, compared with normal concrete as a reference, and their application in hot environment. Result of compressive strength value show that mixture with admixtures type D combined with type G has the value of average compressive strength above grade 30 MPa (plan criteria). The addition of fly ash in concrete mix will increase the compressive strength value up to 1.1% compared to the normal value with water-cement ratio decreases to 0.3 until 0.4 due to the reduction of water content. Mixtures with addition of fly ash or silica fume shows the water penetration value relatively equal compared to normal mixtures, this indicated that concrete products have relatively the same density and can be said to have a fairly good level of durability (penetration value < 5 cm).

Keywords: water penetration, *admixtures*, *silica fume* utilization, *fly ash*

PENDAHULUAN

Aspek keawetan (durability) pada material beton memegang peranan dalam penentuan lama usia layan suatu konstruksi beton. Kerusakan lapisan permukaan atau kegagalan strukturural

menunjukkan adanya degradasi dari material beton akibat pengaruh cuaca, efek lingkungan kimia, atau efek benturan/tekanan.

Konstruksi bangunan yang berada di lingkungan basah, lembab dan terendam air mengharuskan kriteria beton yang kedap air. Hal ini akan menjamin tidak terjadinya resiko korosi pada tulangan baja dalam beton. Kerusakan pada permukaan beton seperti retakan, pengelupasan lapisan selimut beton (*spalling, delamination*), pada umumnya diawali dengan terjadinya korosi pada tulangan baja dalam beton.

Dari beberapa penelitian, diketahui bahwa penambahan bahan-bahan aditif yang bersifat pozzolan pada beton, seperti *silica fume* dan *fly ash*, akan mampu meningkatkan sifat kedap terhadap penetrasi air. Penggunaan *fly ash* akan mampu memodifikasi karakteristik dari beton segar maupun beton keras melalui perbaikan tingkat kecacakannya, kekuatan dan ketahanan aus/ abrasi [1]. *Fly ash* sebagai bahan pengganti semen mampu meningkatkan kuat tekan dan modulus elastisitas dari beton serta tingkat porositas berkurang pada usia pengamatan hingga 130 hari [2]. Karakteristik dari *fly ash* berkontribusi pada peningkatan kekuatan tekan dan keawetan ketika digunakan bersama-sama dengan semen Portland [3]. Penggunaan *silica fume* pada *self compacting concrete* menunjukkan nilai kekuatan tekan yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *fly ash* [4].

Silica fume merupakan produk samping (*by product*) dari *silicon metal* atau *ferro-silicon alloys*. Penggunaannya dalam campuran beton mampu meningkatkan manfaat lebih, hal ini disebabkan karena secara sifat fisika dan kimia, aditif ini bersifat pozzolan reaktif. Beton yang mengandung *silica fume* dapat memiliki kuat tekan yang tinggi dan sangat awet (*durable*). *Silica fume* mengandung unsur utama yaitu *silicon dioxide* (SiO_2), partikel individunya sangat kecil, kurang lebih 1/100 kali dari ukuran partikel semen rata-rata. Karena kehalusannya tersebut, area permukaan lebih luas dan kandungan SiO_2 yang tinggi, maka bersifat pozzolan reaktif. Beton dengan kandungan *silica fume* serta kadar air rendah, tahan terhadap penetrasi ion klorida, sehingga mampu mengurangi resiko korosi pada tulangan baja dalam beton.

Fly ash merupakan residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang kemudian terbawa oleh gas buang.

Dalam penelitian ini akan diamati produk beton yang menggunakan dua macam bahan aditif, yaitu: *fly ash* dan *silica fume* yang

dipadukan dengan *admixture super plasticizer* dan *retarder* yang akan disimulasikan pada lingkungan yang berisiko terintrusi oleh air (simulasi dilaboratorium). Penambahan *silica fume* ataupun *fly ash* tersebut untuk meningkatkan karakteristik permeabilitas (daya tahan terhadap intrusi air pada beton), juga guna memastikan karakteristik dari beton segar tetap memiliki kecacakan yang baik serta memiliki waktu pengerasan yang relatif lebih lama agar pada saat pengecoran di area yang luas. Beton segar dapat menyatu dengan baik sehingga tetap didapat kondisi yang homogen.

Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini, yaitu tercapainya nilai kuat tekan rencana beton baik produk beton acuan maupun beton dengan penambahan aditif dan *admixture* pada kuat tekan rencana f_c 30MPa, tercapai nilai penetrasi/intrusi air yang rendah (sesuai standar DIN 1045, dibawah 5 cm) serta tetap mudah diaplikasikan dilapangan (tingkat kecacakan diatas 8 cm dan waktu pengerasan beton diatas 5 jam).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan: semen, agregat, *fly ash* dan *silica fume, admixtures* (bahan-bahan kimia aditif). Bahan-bahan ini dicampur dalam komposisi yang direncanakan.

Semen

Produk semen PCC (*Portland Composite Cement*) yang proses produksinya lebih ramah lingkungan serta diklaim memiliki karakteristik mekanik dan keawetan yang lebih baik dibanding produk semen OPC, sesuai dengan 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 (*blast furnace slag*), pozzolan, 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 tipe berdasarkan jumlah aditif material aktif, yaitu: Tipe II/A-M yang

mengandung 6–20% aditif dan Tipe II/B-M yang mengandung 21–35% aditif. Dalam penelitian ini digunakan semen PCC ex Gresik.

Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini ada dua yaitu: (1) agregat halus dengan bentuk partikel pasir yang bundar dan tekstur yang halus. Pasir dengan modulus kehalusan dalam kisaran 3 akan memberikan kelecakan (workability) dan kekuatan tekan produk beton yang baik [6,10]. 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. Dalam penelitian ini digunakan pasir ex Lumajang. (2) agregat kasar dengan jumlah maksimum kerikil harus dibuat minimum pada ukuran 12,7 mm atau 9,5 mm, maksimum pada ukuran 19 mm dan 25,4 mm [11]. 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 [6], dalam penelitian ini digunakan batu pecah 9,5-19,5 mm, 20-30 mm ex Mojokerto.

Fly Ash dan Silica Fume

Sesuai dengan ketentuan dalam ASTM C1240, *silica fume* dipersyaratkan memiliki kandungan SiO₂ minimal 85%, kadar kelembaban maksimum 3% dan abu pijar (*loss of ignition*) maksimum 6%. Sedangkan sesuai dengan ASTM C618, *fly ash* terdapat 3 klasifikasi yaitu: (1) class N (pozzolan alami), (2) class F (mengandung karakteristik pozzolan), dan (3) Class C (Pozzolan + karakteristik *cementitious*). Dalam penelitian ini digunakan *silica fume* 5% dan *fly ash* ex Paiton 10% atau 15%.

Admixtures Tipe D, F dan G

Dalam penelitian ini digunakan *admixtures* untuk menghasilkan beton dengan karakteristik antara lain: mudah mengalir dan tahan lama, dapat memberikan pengurangan air dalam jumlah besar (hingga 30%), pemadatan beton dengan sendirinya (*self-compacting concrete/SCC*),

beton berkekuatan tinggi, serta beton kedap air (*watertight concrete*), memperpanjang waktu pengikatan di cuaca yang panas, meningkatkan kelecakan beton tanpa meningkatkan jumlah air, meningkatkan perkembangan kekuatan beton, mengurangi resiko susut dan rangkai, mengontrol kehilangan *slump* lebih lama, serta menjadikan permukaan beton yang lebih rata/bagus. Dalam penelitian ini digunakan *admixtures*: tipe D ex SIKA Visco Crete 3115 N, tipe F ex SIKAMENT LN, dan tipe G, ex SIKA Plastiment AR-07.

Metode

Dalam penelitian ini, beton dibuat dari dua macam komposisi campuran bahan-bahan (*mix design*), dan dinamai *trial-1* dan *trial-2*. Hasil beton diuji kekuatan mekanik dan keawetannya.

Mix Design

Pengujian material agregat dilakukan untuk mengetahui sifat fisiknya yang harus mengikuti SNI atau ASTM. Komposisi rencana beton dirancang dengan target mutu f_c 30 MPa (beton normal/ acuan), serta variasi beton dengan penambahan *fly ash* 10% atau 15% dan *silica fume* 5%.

Campuran *trial-1* dibuat dengan *admixtures* tipe F dan G, sedangkan *trial-2* dibuat dengan *admixtures* tipe D dan G. Sifat kelecakan beton diharapkan sesuai dengan yang direncanakan, yaitu nilai *slump* pada kisaran 10–18 cm. Hasil rancangan dibuat sampel uji: beton silinder dan beton prisma. Uji sifat beton mencakup kuat tekan, sifat kekedapan terhadap air, dan lama pengerasan beton segar (*setting time*). Kombinasi campuran adalah seperti berikut (lihat Tabel 1 dan Tabel 2).

- Beton Normal f_c 30 MPa, (acuan, tanpa *fly ash* dan *silica fume*), semen Tipe PCC, *admixtures* tipe F dan tipe G (*trial 1*), dan *admixtures* tipe D dan tipe G (*trial 2*)
- Beton f_c 30 MPa + *Fly Ash* 10%, *admixtures* tipe F dan tipe G (*trial 1*), dan *admixtures* tipe D dan tipe G (*trial 2*)
- Beton f_c 30 MPa + *Fly Ash* 15%, *admixtures* tipe F dan tipe G (*trial 1*), dan *admixtures* tipe D dan tipe G (*trial 2*)
- Beton f_c 30 MPa + *Silica Fume* 5%, *admixtures* tipe F dan tipe G (*trial 1*), dan *admixtures* tipe D dan tipe G (*trial 2*)

Percobaan dilakukan di lokasi *batching plant* dan suhu lingkungan 27-33°C.

Tabel 1. Komposisi Rencana *Trial Mix 1*

No	Komposisi <i>Trial Mix 1</i>	Tipe Campuran, Jumlah				Keterangan
		Normal	+ FA 10%	+ FA 15%	+SF 5%	
1	Semen (kg/m ³)	367	354	342	349	Tipe 1 ex Gresik
2a	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	0	36	52		ex Paiton BJ SSD : 2,8
2b	<i>Silica Fume</i> (kg/m ³)				18	ex SIKA, BJ SSD : 2,8
3	Pasir (kg/m ³)	802,7	758,1	761,3	781,6	Ex Lumajang, BJ SSD : 2,7
4	Batu pecah 10-20 mm (kg/m ³)	792	793	791	802	Ex Mojokerto, BJ SSD : 2,59
5	Batu pecah 20-30 mm (kg/m ³)	264	264	264	267	Ex Mojokerto, BJ SSD : 2,62
6	<i>Admixture</i> Tipe G, ASTM C494 (L/m ³)	2,18	2,31	2,34	2,34	SIKA <i>Plastiment</i> AR-07 (<i>Retarder</i>)
7	<i>Admixture</i> Tipe F, ASTM C494 (L/m ³)	2,3	2	1,5	1,5	SIKAment LN (<i>Superplasticizer</i>)
8	Air (kg/m ³)	175	195	190	180	
9	<i>Slump</i> (cm)	14	16	18	18	Sesuai rencana

Tabel 2. Komposisi Rencana *Trial Mix 2*

No	Komposisi <i>Trial Mix 2</i>	Tipe Campuran, Jumlah				Keterangan
		Normal	+ FA 10%	+ FA 15%	+SF 5%	
1	Semen (kg/m ³)	395	375	360	375	Tipe 1 ex Gresik
2a	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	0	42	62		ex Paiton BJ SSD : 2,8
2b	<i>Silica Fume</i> (kg/m ³)				20	ex SIKA, BJ SSD : 2,8
3	Pasir (kg/m ³)	805,1	769	766	793	Ex Lumajang, BJ SSD : 2,7
4	Batu pecah 10-20 mm (kg/m ³)	789	790	787	788	Ex Mojokerto, BJ SSD : 2,59
5	Batu pecah 20-30 mm (kg/m ³)	263	263	262	263	Ex Mojokerto, BJ SSD : 2,62
6	<i>Admixture</i> Tipe G, ASTM C494 (L/m ³)	2,01	2,12	2,15	2,01	SIKA <i>Plastiment</i> AR-07 (<i>Retarder</i>)
7	<i>Admixture</i> Tipe D, ASTM C494 (L/m ³)	2	1,77	1,7	1,77	SIKA VISCOCRETE 3115N (<i>Superplasticizer</i> + <i>Retarder</i>)
8	Air (kg/m ³)	186	154	113	154	
9	<i>Slump</i> (cm)	16	18	18	18	<i>Slump</i> Rencana 10±2 cm

Pengujian Mekanik dan Durabilitas

Pengujian kuat tekan silinder beton (ASTM C39) dilakukan dengan menggunakan cetakan silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30

cm). Sedangkan cetakan prisma (dasar 20x20 cm² dan tinggi 12 cm) digunakan untuk pengujian kedap air (DIN 1048) dan uji waktu pengikatan (ASTM C403).

Pengujian menggunakan mesin kuat tekan kapasitas 200 ton, mesin kedap air dengan tekanan rata-rata 5 bar, ruang *Curing/Moist Room*, *mixer*, alat uji waktu pengikatan (*setting time*), molen+*batching plant* PT. AJG.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *trial* pertama (Tabel 3) menunjukkan bahwa rata-rata waktu pengikatan diatas 5 jam untuk beton normal, sedangkan penambahan *admixtures* mampu memperpanjang waktu pengikatan hingga 6-7 jam.

Sifat kedap pada produk beton ini masih belum memenuhi persyaratan (< 5 cm), hal ini diperkirakan karena seiring dengan penggunaan *admixture*, tidak disertai dengan pengurangan jumlah air (seperti terlihat pada Tabel 1, butir 8): beton tanpa *admixture* memiliki jumlah air 175 kg/m³, dan seharusnya beton dengan *admixture* jumlah airnya kurang dari 175 kg/m³). Beton bentuk akhir diperkirakan berpori banyak.

Hasil percobaan *trial* kedua memperlihatkan bahwa rata-rata waktu pengikatan 7 jam untuk beton normal, dan penambahan *admixtures* mampu memperpanjang waktu

pengikatan hingga 7-10 jam. Sifat kedap pada produk beton ini dapat memenuhi persyaratan (< 5 cm). Hal ini mungkin dihasilkan akibat pengurangan jumlah air 17-40% dari kondisi awal (lihat Tabel 2, butir 8): beton tanpa *admixture* dengan jumlah air 186 kg/m³, sedangkan beton dengan *admixture* jumlah airnya kurang dari 186 kg/m³. Jadi beton akhir diperkirakan cukup padat.

Penggunaan aditif *silica fume* ataupun *fly ash* dapat mereduksi jumlah semen 5-9% dibandingkan dengan beton normal. Hasil kekuatan tekan produk beton pada usia 28 hari, rata-rata menunjukkan nilai diatas kuat tekan rencana (> 30 MPa). Hasil pengujian *trial* kedua terlihat pada Tabel 4.

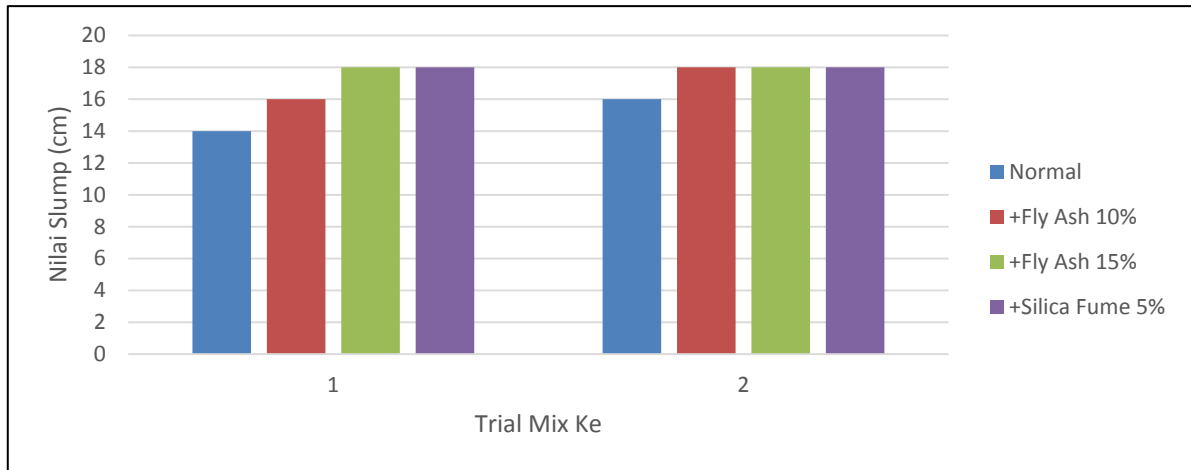
Perbandingan hasil-hasil penting antara *trial* 1 dan *trial* 2 disajikan pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3 berturut-turut untuk sifat kelecakan, perbandingan air semen dan nilai penetrasi air. Kondisi kelecakan *trial* 2 lebih seragam daripada hasil *trial* 1. Ketercapaian nilai penetrasi air (Gambar 3) dapat diperoleh pada *trial* 2 dengan mengatur perbandingan air terhadap semen (Gambar 2).

Tabel 3. Hasil *Trial Mix* Pertama

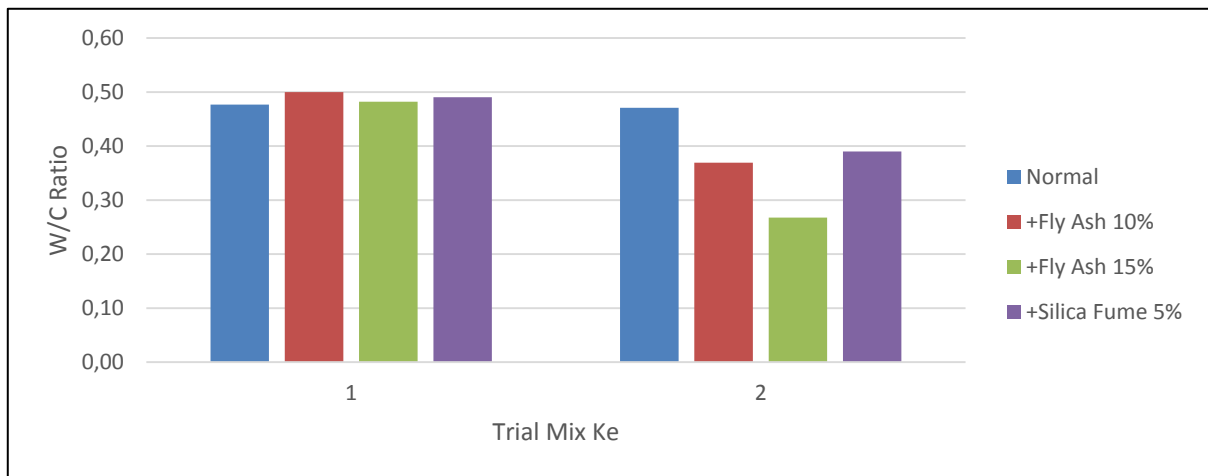
No.	Parameter Uji	Nilai Hasil Uji (rata-rata)			
		Normal	+ FA 10%	+ FA 15%	+SF 5%
1a	<i>Setting</i> Awal	3:22:00	3:25:00	5:07:00	5:12:00
1b	<i>Setting</i> Akhir	5:36:00	5:54:00	6:24:00	6:55:00
2	Penetrasi Air (cm)	5,5	6	12	7,2

Tabel 4. Hasil *Trial Mix* Kedua

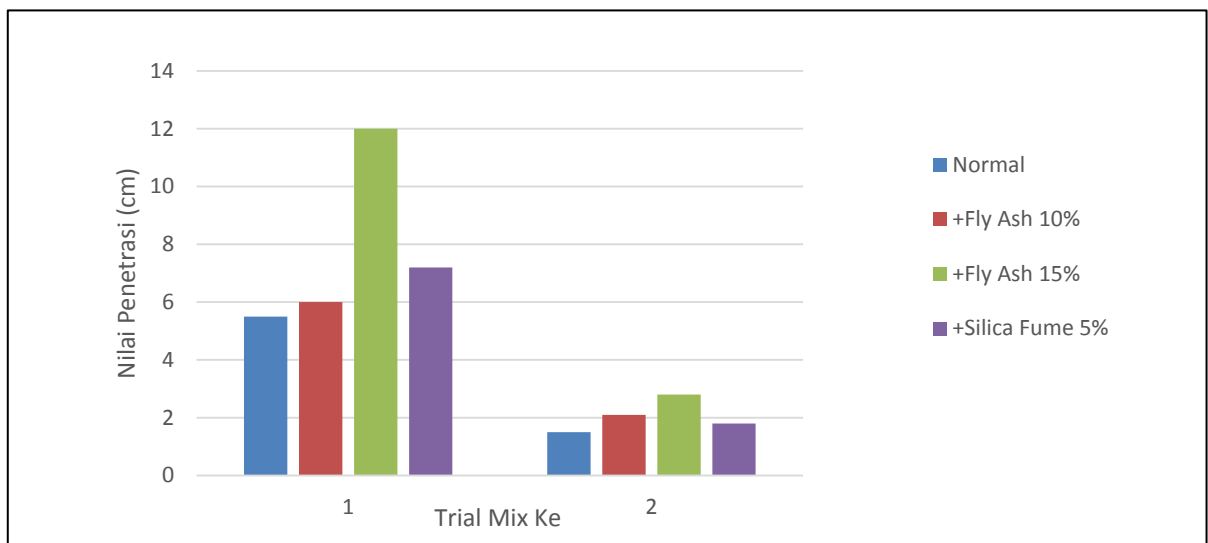
No.	Parameter Uji	Nilai Hasil Uji (rata-rata)				Keterangan
		Normal	+ FA 10%	+ FA 15%	+SF 5%	
1a	<i>Setting</i> Awal	6:00:00	6:06:00	7:05:00	8:30:00	
1b	<i>Setting</i> Akhir	7:15:00	7:30:00	8:40:00	9:55:00	
2	Penetrasi Air (cm)	1,5	2,1	2,8	1,8	Persyaratan DIN 1045, < 5 cm
3	Kuat tekan 28 hari (MPa)	62,94	69,49	65,74	61,90	



Gambar 1. Kondisi Keleccakan Campuran



Gambar 2. Nilai Rasio Air Semen



Gambar 3. Nilai Penetrasi Air

KESIMPULAN

Perubahan jenis aditif dari tipe F ke D campuran beton efektif memperpanjang waktu pengerasan beton, sehingga memudahkan proses pengecoran dalam volume yang besar. Rata-rata waktu *setting time* bertambah 1-2 jam untuk beton dengan *fly ash*, dan lebih lama lagi untuk beton dengan *silica fume*.

Pada *trial 1*, jumlah air pada beton dengan *fly ash* atau *silica fume* bertambah, hal ini untuk menjaga konsistensi kelecakan campuran di lapangan agar tetap memenuhi nilai *slump* rencana (10 ± 2 cm). Pada *trial 2*, jumlah air pada beton dengan *fly ash* atau *silica fume* diturunkan terhadap acuan, sehingga perbandingan air terhadap semen menjadi lebih kecil. Walaupun demikian, pengaruh aditif tipe D dan G cukup efektif dalam menjaga kelecakan campuran dengan *fly ash* atau *silica fume* agar mudah dialirkan.

Penambahan *fly ash* hingga 10% memberikan nilai kuat tekan yang paling optimum. Tetapi penambahan *fly ash* atau *silica fume* belum memberikan pengaruh terhadap sifat kedap air yang lebih baik dibandingkan beton normalnya.

Penggunaan *admixtures* berkisar pada 1-1,42% berat semen. Tipe F berfungsi sebagai *plasticizer*, sedangkan tipe D menambah fungsi *retarding* pada campuran beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

- Rekan-rekan laboratorium beton atas semua bantuan dan saran selama proses penelitian ini berlangsung.
- PT. Petrokimia Gresik, PT. AJG, atas kesediaannya untuk mendanai kegiatan penelitian ini hingga dapat berlangsung lancar dan sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Uygunoglu, Tayfun, Topcu, Gencil, Osman, Brostow, Witold, 2012, "The Effect of Fly Ash Content and Types of Aggregates on the Properties of Prefabricated Concrete Interlocking Blocks (PCIBs)", *Journal of Construction and Building Materials* **30**, hal 180-187, Elsevier.

- [2] Chousidis, Rakanta, Ioannou, Batis, 2015, "Mechanical Properties and Durability Performance of Reinforced Concrete Containing Fly Ash", *Journal of Construction and Building Materials* **101**, hal 810-817, Elsevier.
- [3] Marthong, Agrawal, 2012, "Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties", *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 2 Issue 4, July-August 2012, hal 1986-1991, ISSN : 2248-9622.
- [4] Mohamed, Heba, 2011, "Effect of Fly Ash and Silica Fume on Compressive Strength of Self Compacting Concrete under Different curing conditions", *Ain Shams Engineering Journal*, hal 79-86.
- [5] Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, "Laporan Hasil Penelitian & Pengujian a.n PT. Petrokimia Gresik – Proyek UPRATING – Gunung Sari", Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, 2014-2015.
- [6] Alexander, Mark, Mindess, Sidney, 2005 "Aggregates In Concrete", Taylor & Francis Group, New York.
- [7] Neville, A. M, Brooks, J.J, 1987, *Concrete Technology*, Second Edition, Prentice Hall, Pearson Education Limited, England,.
- [8] Federation Internationale de la Precontrainte (FPI Commission on Concrete), 1988, *Condensed Silica Fume In Concrete*, Thomas Telford Ltd, London.
- [9] Comite Euro-International Du Beton (CEB), 1989, *Durable Concrete Structures-Design Guide*, Second Edition, Thomas Telford Services Ltd, London.
- [10] Mehta, Kumar P, Monteiro, Paulo, 2006, *Concrete Microstructure, Properties and Materials, Third Edition*, The McGraw-Hill Companies, Inc, USA.
- [11] ACI Committe 363, 2009, *State of the Art Report on High-Strength Concrete*, ACI 363R-92, Manual of Concrete Practices 2009, USA.

