

PENGARUH KADAR FLY ASH TERHADAP KEBUTUHAN AIR DAN KUAT TEKAN HIGH VOLUME FLY ASH - SELF COMPACTING CONCRETE (HVFA – SCC)

Aisyiyah Fitria Ekasanti¹⁾, Stefanus A Kristiawan²⁾, Sunarmasto³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret

^{2),3)}Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret

Jl. Ir Sutami 36 A, Kientingan Surakarta 57126. Telp (0271) 647069, Fax 662118

Email : vekashanty@yahoo.com

Abstract

The conventional concrete casting for a solid reinforcement using vibrator tool has not ensured the achievement of optimal compactness. In order to achieve the maximum compactness, a fresh concrete should be produced high-flowable and self-compactable. The use of fly ash with soft round particle grains caused a very small friction between the grains, therefore it can increase the flowability of concrete mix. It can reduce the water volume in concrete mix, it makes the concrete potency produced will have a high compressive strength as the structural concrete application demand. The purpose of this research is to analyze the effect of fly ash content at respected water demand on fresh properties and compressive strength of HVFA-SCC. The method employed in this research was the experimental one, by means of developing concrete mix composition using fly ash to substitute a fraction of cement at minimum water content to produce HVFA-SCC. The fresh concrete were characterized by 5 (five) methods: flow table test, j-ring flow table test, l-box test, box type test and v-funnel test. Testing of hardened concrete was conducted by crushing the cylinder specimens on compression testing machine at the age of 7, 28, 56 and 90 days. The result of research showed that the higher fly ash can decrease the water content, which affects the fresh properties of concrete. In this research, the higher fly ash and lower water content, results in several mix concrete comply with the fresh properties requirement of SCC. The higher fly ash can increase or decrease the value of compressive strength. This research indicated that the use of fly ash to substitute a fraction of cement can consequently reduce the water, the 132 kg water volume on 70% fly ash HVFA-SCC produced the highest compressive strength (at the age of more than 28 days).

Keyword : *fly ash, High Volume Fly Ash, compressive strength, Self Compacting Concrete, fresh property.*

Abstrak

Pengecoran beton konvensional yang padat tulangan dengan alat vibrator belum menjamin tercapainya kepadatan secara optimal. Untuk mencapai kepadatan yang maksimal maka perlu dihasilkan beton segar yang memiliki sifat daya alir tinggi dan dapat memadat dengan sendirinya. Penggunaan *fly ash* dengan butiran partikel yang lembut dan bulat menyebabkan gesekan antar butir sangat kecil, maka dapat meningkatkan *flowability* campuran beton. Hal ini dapat mengurangi jumlah air dalam campuran beton, sehingga potensi beton yang dihasilkan akan memiliki kuat tekan yang tinggi sebagaimana tuntutan untuk aplikasi beton struktural. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar *fly ash* dengan jumlah air yang dibutuhkan terhadap sifat segar dan kuat tekan HVFA-SCC. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu membuat komposisi campuran beton dengan penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dan jumlah air yang seminimal mungkin pada campuran HVFA-SCC. Pengujian beton segar dilakukan dengan 5 (lima) metode, yaitu: *flow table test*, *j-ring flow table test*, *l-box test*, *box type test* dan *v-funnel test*. Pengujian beton keras dilakukan terhadap kuat tekan silinder beton pada umur 7 hari, 28 hari, 56 hari serta 90 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar kadar *fly ash* maka semakin kecil kebutuhan air, sehingga dapat mempengaruhi sifat segar dari campuran beton. Pada penelitian ini, dengan kadar *fly ash* yang semakin besar dan jumlah air yang semakin kecil, terdapat beberapa campuran beton yang memenuhi syarat sifat segar. Semakin besar kadar *fly ash* maka nilai kuat tekannya dapat semakin besar ataupun semakin kecil. Pada pengujian ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dapat mengakibatkan pengurangan jumlah air, pada jumlah air 132 kg dengan kadar *fly ash* 70% pada campuran HVFA-SCC memiliki nilai kuat tekan yang paling tinggi (untuk umur pengujian lebih dari 28 hari).

Kata Kunci : *fly ash, High Volume Fly Ash, kuat tekan, Self Compacting Concrete, sifat segar.*

PENDAHULUAN

Pengecoran beton pada daerah yang rapat dengan tulangan, penggunaan vibrator tidak efektif karena beton yang digunakan haruslah yang bersifat *high workability*. Pada beton dalam keadaan segar yang bersifat *high workability* ini, penggunaan vibrator justru akan merusak kohesivitas campuran beton yang pada akhirnya berdampak pada terjadinya segregasi campuran. Solusi yang ditawarkan untuk mengatasi masalah ini adalah dikembangkannya beton yang bersifat *flowable*. Beton yang memiliki sifat ini dikenal sebagai *Self Compacting Concrete* (SCC) atau beton memadat mandiri, yang diperkenalkan oleh Okamura tahun 1986. Beton memadat mandiri yaitu beton yang mampu mengalir sendiri dan mengisi ruang-ruang kosong serta memadat tanpa alat pemadat atau bantuan energi dari luar pada saat proses pencetakan di bekisting, tetapi hanya menggunakan energi gravitasi. Beton ini akan mengalir ke semua celah di tempat pengecoran dengan memanfaatkan berat sendiri campuran beton (Ludwig et al, 2001).

Material yang digunakan mempunyai karakteristik yang sedikit berbeda dari beton konvensional, yaitu pengurangan jumlah dan diameter maksimum agregat kasar, penambahan jumlah agregat halus, penambahan bahan halus (*finer*) yang berfungsi untuk meningkatkan dan memelihara kohesi, mengurangi panas hidrasi dan sebagai pelumas sehingga dapat meningkatkan *flowability* dan *workability* campuran beton, serta *admixture* yang digunakan berjenis *high range water reducer* (HRWR) yang bersifat mengurangi air. Adapun spesifikasi beton memadat mandiri menurut Okamura dan Ozawa (1995) antara lain, agregat kasar yang digunakan adalah 50% dari volume total, volume agregat halus ditetapkan 40% dari volume total mortar, rasio volume untuk air dan bahan pengikat ditetapkan antara 0,9 hingga 1 tergantung pada sifat bahan pengikatnya, serta dosis *superplasticizer* dan faktor air-bahan pengikat ditentukan setelahnya untuk mendapatkan pemadatan secara mandiri.

Pada penelitian ini, *fly ash* yang memiliki ukuran butiran halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan beton memadat mandiri. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengisi dalam campuran beton dapat meningkatkan homogenitas dan viskositas beton segar (Persson, 2000). *Fly ash* lebih ringan daripada semen, sehingga pada penggantian semen dengan *fly ash* pada berat yang sama, maka akan diperoleh volume *fly ash* yang lebih besar. Jumlah *fly ash* (komponen halus) yang lebih besar dapat mempengaruhi viskositas pada campuran beton. Tangtermsirikul dan Khayat (2000), juga menyatakan bahwa semakin tinggi jumlah bahan pengisi yang ditambahkan dalam campuran beton, maka viskositas campuran beton akan meningkat. Viskositas beton yang tinggi akan memperlambat pengaliran beton tersebut, sehingga dibutuhkan energi yang besar untuk mendorong agar campuran beton dapat mengalir melewati tulangan. Sebaliknya, semakin rendah jumlah bahan pengisi yang dimasukkan dalam campuran beton, maka akan membuat nilai viskositas cenderung menurun yang akan mengakibatkan agregat kasar tertahan di muka tulangan, sehingga dapat menghalangi pengaliran beton. Viskositas yang moderat diperlukan oleh beton segar untuk mengalir melewati halangan/tulangan. Ouchi et al (1998), juga menyatakan bahwa fungsi bahan pengisi selain mengisi ruang-ruang kosong antar agregat, juga meningkatkan viskositas campuran. Viskositas perlu dijaga agar beton tidak mengalami segregasi. Segregasi terjadi bila distribusi beton tidak homogen. Butir komponen halus akan menambah sifat deformasi pada campuran beton. *Fly ash* juga berfungsi sebagai pelumas, yaitu dapat meningkatkan *workability* campuran beton (Haque et al, 1984). *Workability* yang meningkat memungkinkan penggunaan air menjadi berkurang, sehingga beton akan memiliki kuat tekan yang tinggi seperti yang disyaratkan untuk aplikasi beton struktural (Ravina dan Mehta, 1986).

Penambahan *fly ash* hingga kadar volume tinggi pada rancang campur beton memadat mandiri membuat kemampuan mengalir dari campuran semakin meningkat. Kadar air yang digunakan menjadi berkurang dari kadar air awal yang telah direncanakan pada keadaan sebelum ditambahkan *fly ash*. Sehingga jika kadar air awal tersebut digunakan sepenuhnya dalam campuran pada keadaan setelah ditambahkan *fly ash* hingga kadar volume tinggi, maka campuran tersebut akan mengalami *bleeding*. Modifikasi kadar air pada rancang campur perlu dilakukan untuk mendapatkan kemampuan mengalir (*flowability*) yang setara saat sebelum dilakukan penambahan *fly ash* dengan kadar volume tinggi dan tidak terjadi *bleeding* pada campuran. Pada prinsipnya diusahakan suatu campuran dengan air yang akan digunakan seminimal mungkin. Kebanyakan air pada pembuatan beton akan menurunkan kualitas beton, ini disebabkan faktor air semen yang tinggi dalam beton menyebabkan banyak rongga setelah airnya mengering. Air dalam jumlah tertentu diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan (mudahnya beton untuk dicor) akan tetapi menurunkan kekuatan (Wang dan Salmon, 1990). Butiran *fly ash* akan mengisi ruang kosong antar agregat sehingga kepadatan beton akan menjadi lebih baik, maka dapat menambah kuat tekan beton. Hal ini sesuai pernyataan dari Limantara dan Sugiarto (2010), menyatakan bahwa berdasarkan dari pengalaman di lapangan dan tes di laboratorium, penggunaan *fly ash* dengan volume lebih dari 50% dari berat binder mengalami peningkatan kekuatannya antara umur 7 hari sampai 90 hari bahkan mampu melebihi 100% dari kekuatannya.

Pengaruh *fly ash* dengan volume tinggi (*High Volume Fly Ash*) akan dikombinasi dengan sifat segar beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*). Dua jenis beton tersebut hendak dikembangkan dalam penelitian ini menjadi satu jenis beton, yaitu HVFA-SCC. HVFA-SCC merupakan campuran beton yang menggunakan *fly ash* dimana prosentase *fly ash* yang digunakan lebih dari 50% dari berat binder, *fly ash* yang digunakan sebagai pengganti sebagian penggunaan semen pada beton yang dapat dituang, mengalir dan menjadi padat dengan memanfaatkan berat sendiri, tanpa memerlukan proses pemadatan dengan getaran atau metode lainnya.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Proporsi Campuran

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat campuran HVFA- SCC antara lain :

1. Bahan pengikat
 - a. Semen : semen yang digunakan adalah semen *type 1* (OPC Holcim). Jumlah semen yang diperoleh dalam perancangan campuran ini sebagian diganti dengan *fly ash*.

- b. *Fly ash* : *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang diperoleh dari PLTU Cilacap. Besarnya *fly ash* yang digunakan untuk mengganti sebagian semen adalah dalam rentang 50-70%.
2. Agregat kasar
Volume agregat kasar sebesar 30% dari total volume beton. Diameter agregat kasar maksimum 10 mm. *Specific gravity* sebesar 2,703 gr/cm³.
 3. Agregat halus
Volume agregat halus sebesar 35% dari total volume mortar. Ukuran butiran maksimum sebesar 0,125 mm. *Specific gravity* sebesar 2,781 gr/cm³.
 4. Air
Jumlah air yang digunakan seminimal mungkin agar beton tetap bersifat SCC.
 5. Bahan campuran (*admixture*)
Bahan campuran (*admixture*) yang digunakan adalah *superplasticizer* dengan nama dagang *Sika Viscocrete-10*.

Hasil akhir proporsi campuran secara lengkap ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Proporsi Campuran HVFA-SCC Setiap 1 m³

Kode	Kadar Fly Ash	Semen	Fly Ash	Pasir	Kerikil	Air	Superplasticizer
B50%-216	50%	368.55	368.55	578.641	703.2	216	7.371
B55%-190	55%	331.695	405.405	578.641	703.2	190	7.371
B60%-172	60%	294.84	442.26	578.641	703.2	172	7.371
B65%-152	65%	257.985	479.115	578.641	703.2	152	7.371
B70%-132	70%	221.13	515.97	578.641	703.2	132	7.371

Pengujian Parameter Memadat Mandiri

Pengujian parameter memadat mandiri menggunakan 5 jenis metode dan mengikuti prosedur sebagaimana dikatakan oleh Kumar (2006) dan Takada and Tangtermsirikul (2000), antara lain : *flow table test*, *j-ring flow table test*, *l-box test*, *box type test* dan *v-funnel test*.

Pengujian Kuat Tekan HVFA-SCC

Pengujian beton keras dilakukan terhadap kuat tekan silinder beton pada umur 7 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Segar Beton HVFA-SCC

Hasil pengujian beton segar dari masing-masing campuran HVFA-SCC dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Beton Segar HVFA-SCC

Jenis Pengujian	Parameter	Hasil uji pada beton dengan kadar <i>fly ash</i> dan jumlah air :					Persyaratan Beton SCC
		B50%-216	B55%-190	B60%-172	B65%-152	B70%-132	
<i>Flow Table</i>	diameter (mm)	700	710	640	685	650	700 mm (Siddique,2001)
	t500 (detik)	2,25	3,68	6,06	3,37	2,83	2-5 detik (Siddique,2001)
	kecepatan (mm/detik)	111,111	67,935	41,254	74,184	88,339	-
<i>J-Ring FlowTable</i>	diameter (mm)	545	585	535	515	540	600 mm (Siddique,2001)
	t500 (detik)	8,19	9,28	12,59	9,52	5,02	2-5 detik (Siddique,2001)
	kecepatan (mm/detik)	30,525	26,940	19,857	26,261	49,801	-
<i>L-Box</i>	t200 (detik)	20,37	8,12	3,12	2,33	52,32	3-4 detik (As'ad, 2006)
	t400 (detik)	58,11	23,00	9,21	8,24	83,36	6 detik (As'ad, 2006)
	h2/h1	0,779	0,765	0,875	0,737	0,571	≥ 0,8 (Kumar, 2006)
<i>Box Type</i>	h2 (mm)	340	250	340	340	165	> 300 mm (Ouchi, 2000)
	h2/h1	1	0,581	1	1	0,320	mendekati 1 (Kumar, 2006)
<i>V-funnel</i>	t (detik)	100,00	18,67	20,90	17,05	12,46	6-12 detik (As'ad, 2006)

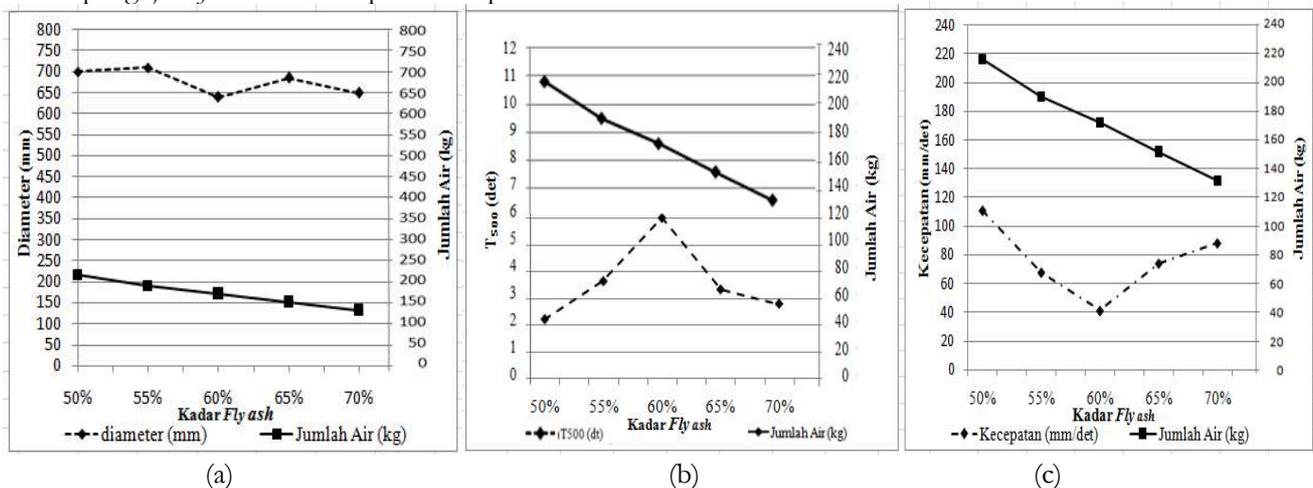
Pada pengujian *flow table*, dari lima variasi kadar penambahan *fly ash* dan pengurangan jumlah air yang digunakan pada campuran beton menunjukkan bahwa ada dua variasi yang memenuhi persyaratan diameter sebaran maksimal (memenuhi syarat sebagai beton SCC), yaitu B50%-216 dan B55%-190. Parameter lain yang diukur dalam pengujian *flow table* adalah kecepatan aliran, yang dapat ditunjukkan dari seberapa cepat waktu yang diperlukan beton untuk mencapai diameter sebaran 500 mm (t500). Pada lima variasi ini menunjukkan bahwa ada empat variasi yang memenuhi persyaratan waktu yang diperlukan beton untuk mencapai diameter sebaran sebesar 500 mm (t500), yaitu B50%-216, B55%-190, B65%-152 dan B70%-132. Pada pengujian *l-box*, dari lima variasi kadar penambahan *fly ash* dan pengurangan jumlah air yang digunakan pada campuran beton menunjukkan bahwa ada dua

variasi yang memenuhi persyaratan waktu yang diperlukan beton untuk mencapai panjang sebaran sebesar 200 mm (t_{200}), yaitu B60%-172 dan B65%-152. Pada pengujian *l-box* selain dapat mengetahui parameter kecepatan aliran yang ditunjukkan dari seberapa cepat waktu yang diperlukan beton untuk mencapai panjang sebaran sebesar 200 mm (t_{200}), juga dapat mengetahui waktu yang diperlukan beton untuk mencapai panjang sebaran sebesar 400 mm (t_{400}). Dari hasil pengujian dapat dinyatakan bahwa dari kelima variasi kadar *fly ash* tidak ada yang memenuhi persyaratan waktu yang diperlukan beton untuk mencapai panjang sebaran sebesar 400 mm (t_{400}). Parameter lain yang diukur dalam pengujian *l-box* adalah kemampuan campuran beton untuk mengisi ruangan dan perataan permukaan campuran beton yang dapat ditunjukkan dari perbandingan ketinggian antara h_2/h_1 . Pada lima variasi kadar *fly ash* menunjukkan bahwa ada tiga variasi yang memenuhi persyaratan perbandingan ketinggian antara h_2/h_1 , yaitu B50%-216, B55%-190 dan B60%-172. Pada pengujian *box-type*, dari lima variasi ini menunjukkan bahwa ada tiga variasi yang memenuhi persyaratan untuk mampu melewati halangan dan dapat mengisi prisma kedua lebih dari 30 cm, serta h_2/h_1 mencapai nilai 1, yaitu B50%-216, B60%-172 dan B65%-152. Untuk parameter yang diukur dalam pengujian *j-ring flow table* dan *v-funnel*, dari kelima variasi kadar penambahan *fly ash* dan pengurangan jumlah air yang digunakan pada campuran beton tidak ada yang memenuhi persyaratan beton SCC.

Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Sifat Segar Beton HVFA-SCC

Flow Table Test

Hasil pengujian *flow table test* dapat dilihat pada Gambar 1.



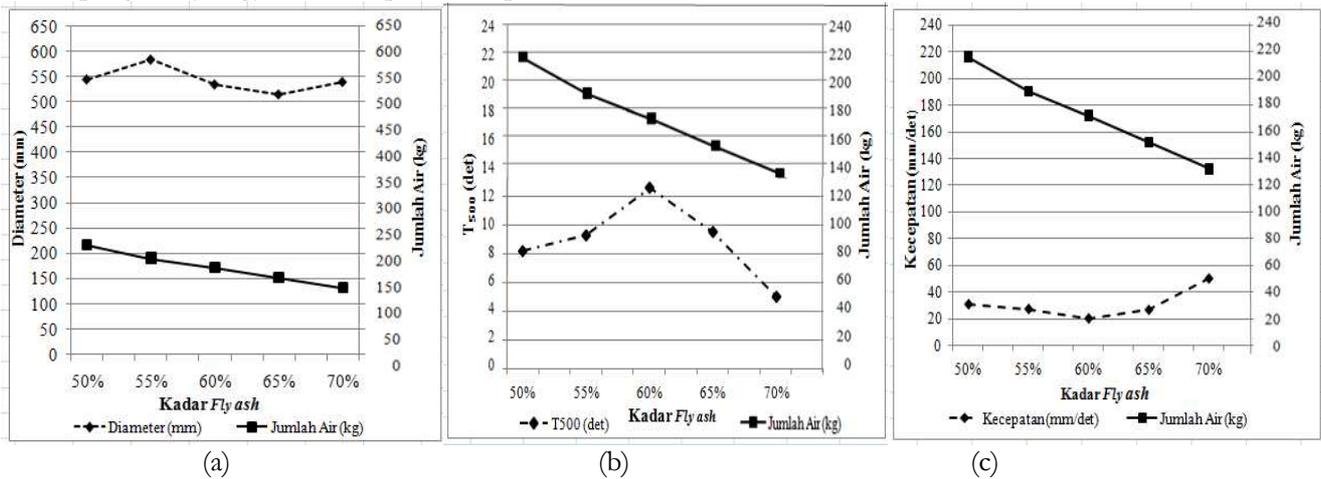
Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Fly ash* dan Jumlah Air Yang Dibutuhkan Pada Sampel Pencampuran Dengan Diameter Maksimal Rerata Yang Dicapai (a), Waktu T500 Yang Dicapai (b) dan Kecepatan Yang Dicapai (c) Pada Pengujian *Flow Table*

Gambar 1 (a) menunjukkan pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang pada campuran beton, maka nilai diameter sebaran cenderung menurun, dimana pada B60%-172 menunjukkan nilai minimum. Hal ini dikarenakan campuran beton segar memiliki viskositas yang tinggi. *Fly ash* lebih ringan daripada semen, sehingga pada penggantian semen dengan *fly ash* pada berat yang sama, maka akan diperoleh volume *fly ash* yang lebih besar. Jumlah *fly ash* yang lebih besar dapat mempengaruhi viskositas pada campuran. Hal ini sesuai dengan pernyataan Persson (2000), mengatakan bahwa untuk meningkatkan homogenitas dan viskositas beton segar yang dibutuhkan dalam pelaksanaan *underwater concreting*, perlu ditambahkan *filler* yang berupa *fly ash* maupun *limestone*. Penurunan diameter sebaran juga dikarenakan penggunaan air yang seminimal mungkin agar beton tetap bersifat SCC. Hal ini menyebabkan campuran beton cenderung kental maka dapat memperlambat pengaliran beton. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tangtermsirikul dan Khayat (2000) berpendapat bahwa terlalu tinggi viskositas beton akan memperlambat pengalirannya, semakin rendah viskositas mengakibatkan agregat *blocking*.

Gambar 1 (b) menunjukkan pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang pada campuran beton, maka waktu yang diperlukan beton untuk mencapai diameter sebaran 500 mm (T_{500}) cenderung meningkat, dimana pada B60%-172 menunjukkan nilai maksimum. Gambar 1 (c) menunjukkan kecepatan aliran campuran cenderung menurun, dimana pada B60%-172 menunjukkan nilai minimum. Hal ini dikarenakan semakin bertambah kadar *fly ash*, maka jumlah air semakin berkurang, sehingga campuran beton akan lebih kental yang mengakibatkan beton mengalir lebih lambat, maka waktu yang dibutuhkan beton untuk mengalir semakin besar dan kecepatan aliran semakin kecil.

J-Ring Flow Table Test

Hasil pengujian *j-ring flow table* dapat dilihat pada Gambar 2.



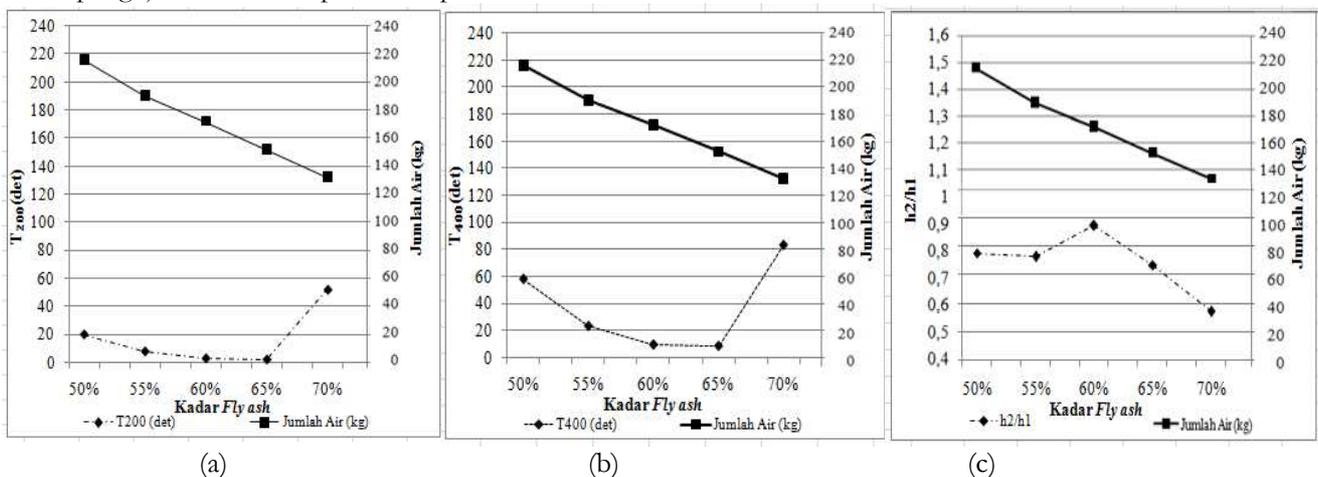
Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Fly ash* dan Jumlah Air Yang Dibutuhkan Pada Sampel Pencampuran Dengan Diameter Maksimal Rerata Yang Dicapai (a), Waktu T₅₀₀ Yang Dicapai (b) dan Kecepatan Yang Dicapai (c) Pada Pengujian *J-Ring Flow Table*

Gambar 2 (a) menunjukkan pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang pada campuran beton, maka nilai diameter sebaran cenderung menurun. Hal ini disebabkan dengan penambahan kadar *fly ash* juga mengurangi jumlah air yang digunakan, maka campuran beton cenderung lebih kental yang mengakibatkan campuran beton akan cenderung lambat dalam pengaliran, sehingga campuran beton tersebut akan membutuhkan energi yang besar untuk dapat melewati tulangan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tangstermsirikul dan Khayat (2000), yang menyatakan kemampuan beton segar dalam melewati tulangan memerlukan beton yang dapat mengalir serta viskositas yang moderat.

Gambar 2 (b) menunjukkan pengaruh pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang pada campuran beton, maka waktu yang diperlukan beton untuk mencapai diameter sebaran 500 mm (T₅₀₀) cenderung meningkat, dimana pada B60%-172 menunjukkan nilai maksimum. Gambar 2 (c) menunjukkan kecepatan aliran cenderung menurun, dimana pada B60%-172 menunjukkan nilai minimum. Hal ini dikarenakan kadar *fly ash* yang semakin tinggi, maka jumlah agregat halus (*filler*) semakin besar sehingga membuat campuran beton memiliki viskositas yang tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ouchi et al (1998), mengatakan bahwa fungsi *filler* selain mengisi ruang-ruang kosong antar agregat, juga meningkatkan viskositas campuran agar terhindar dari segregasi. Jumlah air yang semakin berkurang juga dapat meningkatkan viskositas campuran beton. Viskositas yang tinggi menyebabkan campuran beton akan cenderung lambat dalam pengalirannya. Selain itu dipengaruhi oleh adanya hambatan pada alat uji *j-ring flow table* yang berupa tulangan, sehingga dapat mengurangi kemampuan campuran beton untuk mengalir.

L-Box Test

Hasil pengujian *l-box test* dapat dilihat pada Gambar 3.



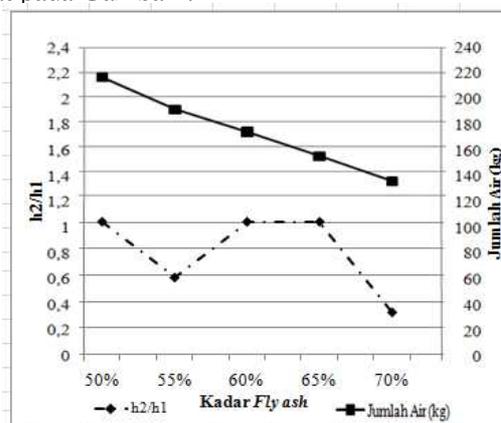
Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Fly ash* dan Jumlah Air Yang Dibutuhkan Pada Sampel Pencampuran Dengan Waktu Aliran Sepanjang 200mm (T₂₀₀) Yang Dicapai (a), Waktu Aliran Sepanjang 400mm (T₄₀₀) Yang Dicapai (b) dan Nilai h₂/h₁ (c) Pada Pengujian *L-Box*

Gambar 3 (a) dan 3 (b) menunjukkan pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang, maka waktu yang diperlukan beton untuk mencapai panjang sebaran 200 mm (T₂₀₀) dan 400 mm (T₄₀₀) cenderung menurun. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beton ini mampu mengalir dari prisma tegak menuju prisma mendatar dengan baik. Kecepatan alir juga dipengaruhi oleh energi yang diberikan dari beton yang berada di prisma tegaknya yang cukup mampu untuk melawan friksi yang terjadi antar agregat, semen, *fly ash* dengan tulangan pada alat uji *l-box*. Butiran *fly ash* yang bulat memungkinkan melakukan dorongan dari berat sendiri beton segar di dalam prisma tegak tersebut, sehingga memudahkan campuran beton untuk mengalir. *Fly ash* berfungsi sebagai pelumasan, dapat meningkatkan *workability* campuran beton (Haque et al, 1984). Material *fly ash* pada HVFAC juga berperan sebagai *water reducer* pada SCC, sehingga faktor air semen akan menjadi lebih kecil tanpa mengurangi kemampuan beton untuk dapat mengalir dan memadat sendiri, sehingga pada akhirnya campuran beton tersebut dapat mengalir semakin cepat dan waktu tempuh menjadi pendek.

Gambar 3 (c) menunjukkan pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang pada campuran beton, maka nilai h₂/h₁ cenderung menurun. Hal ini disebabkan kadar *fly ash* yang semakin meningkat dengan jumlah air yang semakin sedikit menyebabkan campuran beton semakin kental sehingga dapat mengurangi energi pada beton yang berada dalam prisma tegak untuk melawan gesekan yang terjadi, sehingga campuran beton mengalir dengan kecepatan yang rendah. Hal tersebut menyebabkan campuran beton pada prisma mendatar (h₂) mencapai ketinggian yang rendah, sehingga nilai perbandingan ketinggian antara h₂/h₁ semakin kecil. Campuran beton pada B60%-172, nilai h₂/h₁ meningkat. Hal ini menunjukkan campuran pada B60%-172 memiliki kemampuan untuk mengisi ruangan serta kemampuan perataan permukaan yang paling baik. Hal ini disebabkan ukuran butir *fly ash* yang cenderung berbentuk bulat dan halus maka friksi antar butir yang dihasilkan sangat kecil, sehingga memungkinkan untuk melakukan pendorongan pada berat sendiri beton di dalam prisma tegak. Penggunaan *fly ash* sebagai *filler* dalam volume tinggi sangat diperlukan untuk menghasilkan mortar yang *deformable*. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Okamura dan Ozawa (1995) menyarankan untuk menggunakan bahan dengan ukuran kecil dengan volume tinggi, karena pengurangan jumlah agregat kasar dapat meningkatkan jumlah pasta dan mortar, sehingga gesekan atau friksi antar agregat menjadi berkurang dan mengakibatkan beton segar mudah berdeformasi.

Box-Type Test

Hasil pengujian *box-type* dapat dilihat pada Gambar 4.

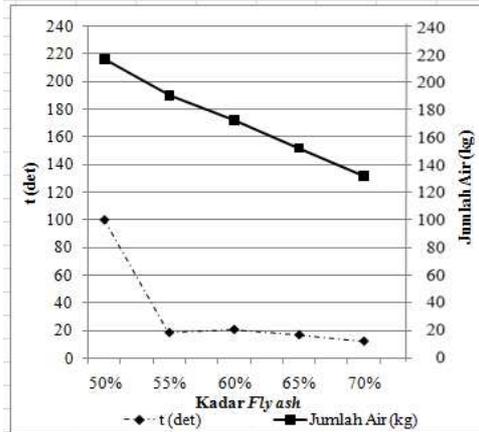


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Fly ash* dan Jumlah Air Yang Dibutuhkan Pada Sampel Pencampuran Dengan Nilai h₂/h₁ Pada Pengujian *Box Type*

Gambar 4 menunjukkan pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang, maka nilai h₂/h₁ menunjukkan kecenderungan yang sama atau tidak mengubah nilai h₂/h₁ yang dapat mencapai nilai 1. Hasil tersebut menunjukkan campuran beton memiliki sifat *fillingability* yang baik. Hal ini disebabkan penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengisi yang tinggi akan menyebabkan campuran bahan pengisi ini cenderung berperilaku sebagai pasta yang dapat meningkatkan sifat pengaliran dari campuran beton. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Hela dan Hubertova (2006), menyarankan untuk menggunakan bahan pengisi kurang lebih 40% dari volume total campuran beton. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan sifat pengaliran dari campuran beton. Campuran beton pada B55%-190 dan B70%-132 mengalami penurunan nilai h₂/h₁. Hal ini disebabkan kadar *fly ash* yang semakin besar dengan penggunaan jumlah air yang semakin sedikit menyebabkan campuran menjadi kental, sehingga dapat mengurangi kemampuan campuran beton tersebut untuk mengalir. Campuran beton yang kental dapat mengurangi energi dari berat beton yang berada pada prisma utama untuk melawan friksi yang terjadi, sehingga campuran beton mengalir dari prisma utama ke prisma kedua dengan kecepatan yang rendah.

V-Funnel Test

Hasil pengujian *v-funnel* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Fly ash* dan Jumlah Air Yang Dibutuhkan Pada Sampel Pencampuran Dengan Waktu Aliran Pada Alat *V-Funnel*

Gambar 5 menunjukkan pengaruh kadar *fly ash* yang semakin tinggi dengan jumlah air yang semakin berkurang, maka waktu aliran cenderung menurun. Hal ini disebabkan penggunaan *fly ash* yang dengan butiran yang semakin lembut dapat meningkatkan *flowability* campuran beton. Energi dari berat beton yang berada di alat uji *v-funnel* cukup mampu untuk melawan gaya friksi yang terjadi, sehingga campuran beton mengalir semakin cepat. Waktu alir pada pengujian ini juga dipengaruhi gaya gravitasi yang menyebabkan beton dapat mengalir menuju tempat yang lebih rendah dengan melewati celah pada bagian bawah alat uji *v-funnel*.

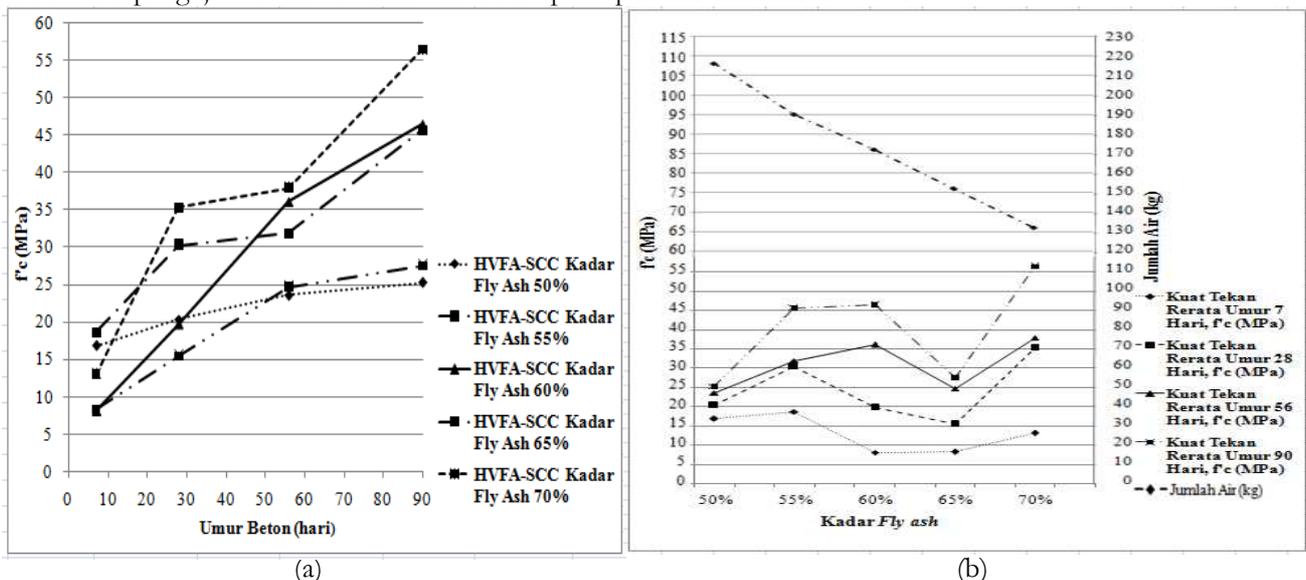
Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan HVFA-SCC disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan HVFA-SCC

Kode	Kadar Fly Ash (%)	Jumlah Air (kg)	Kuat Tekan Umur (f_c)			
			7 hari (Mpa)	28 hari (Mpa)	56 hari (Mpa)	90 hari (Mpa)
B50%-216	50%	216	16.788	20.372	23.579	25.276
B55%-190	55%	190	18.674	30.275	31.878	45.648
B60%-172	60%	172	8.111	19.712	36.122	46.403
B65%-152	65%	152	8.300	15.467	24.710	27.540
B70%-132	70%	132	13.015	35.274	37.914	56.400

Dari hasil pengujian kuat tekan HVFA-SCC dapat diperoleh Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Umur Beton Dengan Kuat Tekan (f_c) Pada Campuran HVFA-SCC (a) dan Grafik Hubungan Antara Variasi Kadar *Fly ash* dan Jumlah Air Yang Dibutuhkan Pada Sampel Pencampuran Dengan Kuat Tekan Rerata (f_c) Beton Umur 7 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari (b)

Gambar 6 (a) menunjukkan hubungan antara umur beton dengan nilai kuat tekan HVFA-SCC, semakin lama umur beton semakin tinggi pula kuat tekan beton yang dihasilkan. Gambar 6 (b) menunjukkan penambahan *fly ash* dengan pengurangan jumlah air pada kadar tertentu dapat menaikkan ataupun menurunkan kuat tekannya. Nilai kuat tekan yang paling tinggi, yaitu pada kadar *fly ash* 70% dengan jumlah air 132 kg, untuk umur pengujian 28 hari, 56 hari serta 90 hari dan pada kadar *fly ash* 55% dengan jumlah air 190 kg, untuk umur pengujian 7 hari. Nilai kuat tekan beton yang meningkat disebabkan penambahan kadar *fly ash* dalam jumlah yang banyak dapat mempertahankan faktor air semen (fas) dalam kondisi yang rendah maka kuat tekan beton yang dihasilkan akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wang dan Salmon (1990), mengatakan bahwa air dalam jumlah tertentu diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air dapat meningkatkan kemampuan pengerjaan akan tetapi dapat menurunkan kekuatannya. Penggunaan kadar *fly ash* lebih dari 50% dari berat binder dapat meningkatkan ketahanan dan keawetan beton. Butiran *fly ash* akan mengisi ruang kosong antar agregat sehingga kepadatan beton akan menjadi lebih baik, maka dapat meningkatkan kuat tekan beton. Penambahan *fly ash* dengan pengurangan jumlah air pada kadar tertentu juga dapat menurunkan kuat tekannya. Semakin rendah jumlah air yang digunakan pada campuran beton, maka semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun pada kenyataannya pada suatu kadar air tertentu semakin rendah jumlah air yang digunakan dalam campuran beton, maka kuat tekan beton yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini karena jika jumlah air semakin rendah, maka beton semakin sulit dipadatkan, dengan demikian ada suatu jumlah air yang optimal yang menghasilkan kuat tekan yang maksimum.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian, analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar kadar *fly ash* maka semakin kecil kebutuhan air, sehingga dapat mempengaruhi sifat segar dari campuran beton. Pada penelitian ini dengan kadar *fly ash* yang semakin besar dan jumlah air yang semakin kecil, terdapat beberapa campuran beton yang memenuhi syarat sifat segar.
2. Semakin besar kadar *fly ash* maka nilai kuat tekannya dapat semakin besar ataupun semakin kecil. Pada pengujian ini nilai kuat tekan yang paling tinggi yaitu pada kadar *fly ash* 70% dengan jumlah air 132 kg, untuk umur pengujian 28 hari, 56 hari serta 90 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan dana sehingga penelitian ini dapat terlaksana melalui skema hibah desentralisasi (Hibah Unggulan Madya Perguruan Tinggi) pada tahun 2013, dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan membagikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis, serta seluruh rekan yang telah membantu penelitian di laboratorium.

REFERENSI

- As'ad, Sholihin. (2009). *Pengembangan Kanal Fleksibel Berbahan Beton Memadat Mandiri Berserat Limbah Kaleng dan Limbah Plastik*. Usulan Penelitian Hibah Bersaing. Surakarta.
- Haque, M., Langan, B. And Ward, M.(1984).“High fly ash concrete”, *ACI Materials Journal*. Jan-Peb, pp.54-60.
- Hela, R. And Hubertova, M. (2006). “Selbverdichtender Beton (SVB), Teil 2 : Bestandteile, Methoden, und Grundsatze des Entwurfs”, *Beton Fertigteil (BFT)*, No.3, March 2006.pp.10-19
- Kumar, P. (2006). “Self Compacting Concrete : Methods of Testing and Design”, *I E (I) Journal-CV*, Vol 86, February 2006, pp. 145-150.
- Limantara, S. dan Sugiarto, H. 2010. *Penelitian Awal Pada High Volume Fly Ash Concrete*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Mehta, Kumar (2006). *High Performance, high volume fly ash concrete for sustainable development*. USA, Berkeley:University of California.
- Okamura, H. and Ozawa, K., 1994, *Self-Compacting high-Performance Concrete in Japan*, ACI SP-159 : International Workshop on High Performance Concrete, Michigan.
- Ouchi, M. (2000). “Self-Compacting Concrete-Development, Applications and Investigations”, Nordic Concrete Rearch Publication 23, 29-34.
- Siddique, R., Khatib, J.M., Yüksel, I. and Aggarwal, P. 2009. *Strength properties of high-volume fly ash (HVFA) concrete incorporating steel fibres*, *Excellence In Concrete Conctruction Through Inovation*, 149-157, September 2008, Kingston University-London.
- Tangtermsirikul, S and Khayat, K. (2000). “Part III-Fresh concrete properties”, in: *A. Skarendahl, O. Patersson (Eds.), Self-Compacting Concrete, State of the-Art Report of RILEM Technical Commillee*, 17-22.