

## Pengaruh Kadar *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan ( $f_c$ ) Material pada *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) Usia 28 Hari

Karina Puspa Amalia<sup>1)</sup>, Agus Setiya Budi<sup>2)</sup>, Sunarmasto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

<sup>2),3)</sup> Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

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

Email : [karinapuspaamalia@gmail.com](mailto:karinapuspaamalia@gmail.com)

### Abstract

*Fly ash is a coal combustion waste, having chemical content that is 80% silica and alumina. These compounds react with  $Ca(OH)_2$  from cement hydration process forming  $C_3S_2H_3$  or *tubermorite* that can increase concrete compressive strength. Physically, fly ash has a nearly spherical shape that has a ball bearing effect on the plane of mortar. Fly ash as a cement substituent often used in large proportion (>50%). These concept called High Volume Fly Ash Concrete (HVFA-SCC). Overcoming problem from forming hole in reinforced concrete, HVFA-SCC is combined with Self Compacting Concrete (SCC). This research will be studied about the effect of fly ash content to compressive strength on HVFA-SCC. This study using experimental method, which used 3 variation of fly ash content in HVFA-SCC 50%, 60%, 70% and normal concrete as comparator. Each variation consist of 3 75 mm x 150 mm sample. These sample will be equated based on grade that is 40 MPa. Fresh concrete were characteristics by 3 methods: flow table test, L-box test, and V-funnel test. The result of the test showed that workability of concrete increasing with the increasing of fly ash replacement ratio. Testing of hardened concrete was conducted to get value of concrete's stress. The result for HVFA.28.50, HVFA.28.60, HVFA.28.70, and NC.28 are 49,86 MPa, 39,16 MPa, 23,71 MPa, dan 47,78 MPa. From the result of this researches can be concluded that the higher fly ash content decrease the value of compressive strength. That can be happened because not only main bonding material decreased but also fly ash hasn't been reacted optimally at 28 days.*

**Keyword :** *compressive strength, fly ash, HVFA-SCC*

### Abstrak

*Fly ash* merupakan limbah pembakaran batu bara yang memiliki kandungan kimia berupa silika dan alumina mencapai 80%. Senyawa tersebut bereaksi dengan  $Ca(OH)_2$  hasil proses hidrasi semen dan membentuk  $C_3S_2H_3$  atau *tubermorite* yang dapat menambah kekuatan beton. Secara fisik *fly ash* memiliki bentuk yang hampir bulat sempurna sehingga memiliki *ball bearing effect* pada bidang gelincir adukan mortar atau semen. *Fly ash* sebagai substituen semen sering digunakan dalam jumlah besar (>50%). Konsep tersebut dikenal dengan *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFA-SCC). Untuk mengatasi permasalahan terbentuknya rongga pada beton bertulang, konsep HVFA-SCC dipadukan dengan *Self Compacting Concrete* (SCC). Penelitian ini mengkaji pengaruh persentase *fly ash* terhadap kuat tekan pada beton HVFA-SCC. Metode penelitian ini adalah eksperimen, dimana digunakan 3 variasi kadar *fly ash* pada beton HVFA-SCC yaitu 50%, 60%, 70% serta beton normal. Tiap variasi terdiri dari 3 sampel berukuran 75 mm x 150 mm. Pengujian beton segar HVFA-SCC dilakukan dengan 3 metode yaitu : *flow table test*, *L-box test*, dan *V-funnel test*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar *fly ash* maka *workability* dari beton segar tersebut semakin baik. Pengujian beton keras dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton. Kuat tekan yang dihasilkan HVFA.28.50, HVFA.28.60, HVFA.28.70, dan NC.28 berturut turut adalah 49,86 MPa, 39,16 MPa, 23,71 MPa, dan 47,78 MPa. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan kadar *fly ash* maka kuat tekan semakin menurun. Hal tersebut diakibatkan karena tidak hanya menurunnya bahan ikat utama beton tetapi juga *fly ash* belum bereaksi secara optimal pada usia 28 hari.

**Kata Kunci :** kuat tekan, *fly ash*, HVFA-SCC

### PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia saat ini semakin pesat, baik dalam hal inovasi metode pelaksanaan, material, maupun ilmu pengetahuan yang berkontribusi terhadap perbaikan kinerja serta produktivitas di industri konstruksi. Beton menjadi hal yang tidak dapat dipisahkan dari dunia konstruksi. Meningkatnya produksi semen Portland berkontribusi terhadap timbulnya efek rumah kaca (*green house effect*) dan memicu terjadinya pemanasan global (*global warming*), mengingat proses produksi satu ton semen menghasilkan  $CO_2$  setara dengan 0,55 ton dan memerlukan bahan bakar karbon yang akan menghasilkan emisi  $CO_2$  sebanyak 0,45 ton (Davidovits, 1994). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat suatu campuran yang ramah lingkungan. Salah satunya adalah dengan cara mengurangi dan mengganti penggunaan semen yang notabene merupakan polutan terbesar. Material yang umum digunakan sebagai pengganti semen adalah *fly ash*. Dalam beberapa penelitian, *fly ash* digunakan sebagai substituen semen dengan kadar yang cukup besar (>50%) dari

berat semen. Konsep tersebut dikenal dengan *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFA). Untuk mengatasi permasalahan terbentuknya rongga pada beton bertulang, konsep HVFA dipadukan dengan *Self Compacting Concrete* (SCC). Penelitian ini menggunakan variasi persentase *fly ash* untuk mengetahui kuat tekan pada *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) benda uji silinder D 7,5cm x 15 cm usia 28 hari.

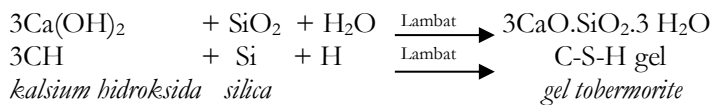
## DASAR TEORI

### Reaksi Kimia

Reaksi kimia utama yang terjadi di dalam beton yaitu hidrasi  $C_3S$  dan  $C_2S$  ditunjukkan dengan reaksi kimia di bawah ini :



Keberadaan  $Ca(OH)_2$  di dalam mortar/beton akan bersifat merugikan dan menurunkan kuat tekan. Hal ini karena  $Ca(OH)_2$  dalam beton mudah sekali bereaksi dengan asam membentuk garam yang berdampak pada pengerosan beton. Dengan penambahan *fly ash* yang mengandung senyawa *silika* ( $SiO_2$ ) dapat mengeliminir  $Ca(OH)_2$ .  $SiO_2$  bereaksi dengan  $Ca(OH)_2$  membentuk CSH ( $3CaO.SiO_2.3H_2O$ ) yaitu senyawa utama pembangun kekuatan beton. Reaksi tersebut tersebar merata pada seluruh tempat di dalam beton termasuk pada ruang-ruang kosong pada lapisan agregat-pasta semen, sehingga menambah kekuatan lekatan antara agregat-pasta semen. Hal ini akan menambah kuat tekan beton, tetapi reaksi antara *silika* dengan kapur berlangsung sangat lambat, sehingga diperlukan waktu umur yang cukup lama untuk mencapai hasil kuat tekan yang optimal. Berikut adalah reaksi kimia  $Ca(OH)_2$  dengan  $SiO_2$  :



### Tegangan Beton

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

- $\sigma$  = tegangan beton benda uji silinder (MPa)
- F = gaya desak maksimum (N)
- A = luas permukaan benda uji silinder ( $mm^2$ )

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam penelitian ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan, Laboratorium Struktur, dan Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder berukuran 7,5 cm x 15 cm dengan variasi jumlah kadar *fly ash* 50%, 60%, 70%, dan 0% (beton normal). Tiap variasi terdiri dari 3 sampel. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat desak menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Selanjutnya data hasil pengujian tersebut akan diolah menggunakan *Microsoft Excel*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Material

Agregat kasar dan halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Kulon Progo. Sedangkan *Fly Ash* berasal dari PLTU Paiton. Pengujian agregat dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Universitas Sebelas Maret. Pada agregat halus pengujian yang dilakukan adalah kandungan lumpur dalam pasir, kandungan zat organik dalam pasir, *specific gravity* agregat halus (SNI 1970 2008) dan gradasi agregat halus (ASTM C136 ). Pada agregat kasar pengujian yang dilakukan adalah *specific gravity* agregat kasar (SNI-1969-2008), abrasi agregat kasar (SNI-2417-2008), gradasi agregat kasar (ASTM C136). Sedangkan material *fly ash* dilakukan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret. Hasil pengujian masing-masing material dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	<i>Absorbtion</i>	0,83%	-	-
2	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,6690 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
3	<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,6109 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
4	<i>Bulk Specific SSD</i>	2,6327 gr/cm <sup>3</sup>	2,5 – 2,7 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi syarat
5	Modulus Halus Butir	8,3640	5 – 8	Memenuhi syarat

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	<i>Absorbtion</i>	1%	-	-
2	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,6050 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
3	<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,5380 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
4	<i>Bulk Specific SSD</i>	2,5640 gr/cm <sup>3</sup>	2,5 – 2,7 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi syarat
5	Modulus Halus Butir	2,61	2,5 – 2,7	Memenuhi syarat
6.	Kandungan Zat Organik	Kuning Muda	Kuning Muda	Memenuhi syarat
7.	Kandungan Lumpur	2%	Maksimal 5%	Memenuhi syarat

Tabel 3. Komposisi Kimia *Fly Ash*

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO
39,69	13,23	23,43	1,60	10,91	3,93	2,72	1,13	1,81	0,28

Dari hasil pengujian didapat *Bulk Specific SSD* dari agregat kasar dan halus berturut-turut 2,6327 gr/cm<sup>3</sup> dan 2,5640 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 1970 2008 yaitu 2,5-2,7 gr/cm<sup>3</sup>. *Bulk Specific SSD* ini akan digunakan untuk perencanaan rancang campuran. Selain *Bulk Specific SSD*, parameter lainnya pada pengujian agregat telah memenuhi standar yang ada. Pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) pada komposisi *fly ash* menunjukkan bahwa kandungan terbesar yang dimiliki adalah SiO<sub>2</sub> sebesar 39,69%.

### Rancang Campur

Perencanaan rancang campur disesuaikan dengan SNI-03-2384-2000 untuk beton normal dan EFNARC 2002 untuk beton HVFA-SCC (*High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete*). Kadar *cementitious* yang digunakan untuk beton HVFA-SCC adalah 500 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan untuk beton normal adalah 400 kg/m<sup>3</sup>. Perbedaan ini dimaksudkan untuk mencapai mutu yang sama antara beton normal dan HVFA-SCC. Rekapitulasi rancang campur masing-masing variasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Rancang Campur Beton *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete* dan Beton Normal

Kode	Presentase Fly Ash	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	Kerikil (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	Air (lt/m <sup>3</sup> )	Sp (lt/m <sup>3</sup> )
HVFA28.50	50%	250	250	889,33	865,79	135	10
HVFA28.60	60%	200	300	886,79	863,19	135	10
HVFA28.70	70%	150	350	884,18	860,65	135	10
NC28	-	400	0	1156,7	750,61	120	4

### Hasil Pengujian Berat Volume

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Volume

No.	Benda Uji	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (gr)	Berat volume (kg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )
1	HVFA28.50.A	662,68	1585	2391,8	2396,83
2	HVFA28.50.B	662,68	1580	2384,26	
3	HVFA28.50.C	662,68	1600	2414,44	
4	HVFA28.60.A	662,68	1590	2399,35	2421,98
5	HVFA28.60.B	662,68	1615	2437,07	
6	HVFA28.60.C	662,68	1610	2429,53	
7	HVFA28.70.A	662,68	1595	2406,89	

8	HVFA28.70.B	662,68	1580	2384,26	
9	HVFA28.70.C	662,68	1605	2421,98	
10	NC28.A	662,68	1629	2458,20	
11	NC28.B	662,68	1632	2462,73	2458,20
12	NC28.C	662,68	1626	2453,67	

Pengujian berat volume dilakukan untuk mengetahui kepadatan dari campuran tersebut. Dari keempat variasi diatas didapat bahwa nilai berat volume dari masing-masing variasi berkisar  $\pm 2400 \text{ kg/m}^3$ . Hal ini sesuai dengan SNI-03-2834-2000 bahwa beton memiliki berat volume (2200-2500)  $\text{kg/m}^3$ .

### Hasil Pengujian Beton Segar

Tabel 6. Hasil Pengujian Beton Segar HVFA-SCC

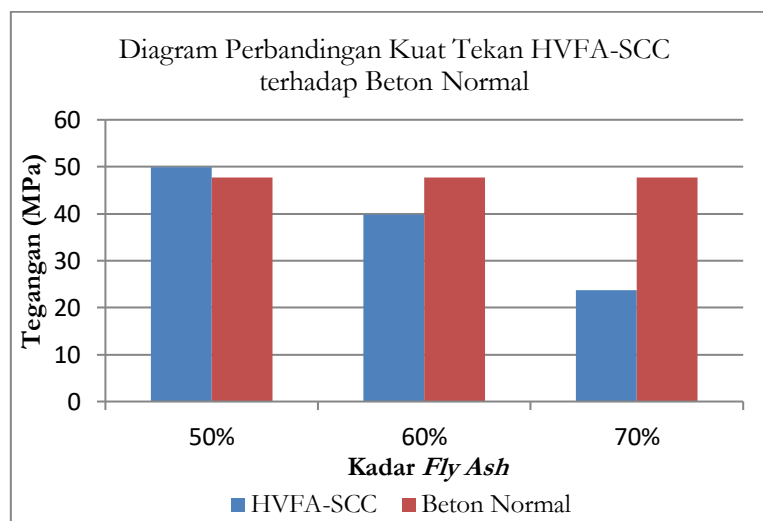
Jenis Pengujian	Parameter	Hasil Pengujian			Persyaratan Beton SCC (EFNARC 2002)
		50%	60%	70%	
Flow Table	Diameter (mm)	658,5	674	733,5	600 - 700 mm
	$t_{50}$ (detik)	4,6	4,2	3,2	2 - 5 detik
L-Box	h2/h1	0,83	0,91	0,98	0,8 - 1,0
	t (detik)	10,3	8,7	7,2	6 - 12 detik
V-funnel	$T_{5 \text{ menit}}$ (detik)	11,7	10,2	9,8	
	$\Delta t$ (detik)	1,4	1,5	2,6	0 - 3 detik

Pada pengujian *flow table*, penambahan fly ash 50%, 60% dan 70% telah memenuhi persyaratan yaitu persebaran diameter 600-700 mm. Parameter lain yang didapat dari pengujian *flow table* untuk mengetahui *filling ability* adalah kecepatan pengaliran, yaitu waktu yang diperlukan beton segar untuk mencapai diameter 50 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa HVFA-SCC dengan kadar 70% memiliki waktu yang lebih singkat untuk mencapai diameter sebaran 50 cm dibandingkan dengan 50% dan 60%. Hal tersebut terkait dengan semakin banyak penambahan *fly ash* maka akan meningkatkan *ball bearing effect* yang berguna untuk mempercepat aliran beton segar. Pengujian L-Box dilakukan untuk mengetahui *passing ability* pada beton segar. Dari ketiga variasi tersebut didapat hasil bahwa perbandingan ketinggian (h2/h1) ketiganya telah memenuhi standar EFNARC 2002 yaitu 0,8-1,0. Jenis pengujian lainnya yang dilakukan adalah *V-funnel* untuk mengetahui *filling ability* dan *segregation resistance*. Dapat dilihat dari hasil pengujian *V-funnel* bahwa beton segar HVFA SCC 50%, 60%, dan 70% telah memenuhi persyaratan EFNARC 2002.

### Kuat Tekan

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Parameter	Nama Benda Uji			
	HVFA.28.50	HVFA.28.60	HVFA.28.70	NC.28
Kuat Tekan (MPa)	49,86	39,16	23,71	47,78



Gambar 1 Perbandingan Kuat Tekan HVFA-SCC terhadap Beton Normal

Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) di Laboratorium Mesin Universitas Sebelas Maret. Gambar 1 menunjukkan hubungan variasi kadar *fly ash* terhadap tegangan yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton HVFA.28.50 memiliki kuat tekan yang paling tinggi yaitu 49,86 MPa dibanding dengan HVFA.28.60 dan HVFA.28.70 berturut-turut 39,16 MPa dan 23,71 MPa. Sebagai pembandingan, kuat tekan beton normal yang dihasilkan adalah 47,78 MPa. Menurunnya kuat tekan diakibatkan semakin banyak penambahan *fly ash* sebagai substituen semen maka terjadi penurunan persentase semen sebagai bahan ikat utama dalam beton. Selain itu pada usia 28 hari, reaksi antara *fly ash* dengan hasil sekunder reaksi hidrasi semen yaitu  $\text{Ca(OH)}_2$  untuk membentuk C-S-H yang merupakan daya lekat beton belum terjadi secara optimal sehingga membuat kuat tekan beton belum maksimal. *Fly ash* memiliki *dormant period* yang cukup lama dan memerlukan pH diatas 13.3 untuk dapat bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$ . Oleh karena itu, *fly ash* tidak dapat berkontribusi banyak pada *Early Strength Development*.

## SIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Workability* beton segar akan meningkat seiring dengan penambahan persentase *fly ash*.
2. Kuat tekan beton menurun seiring bertambahnya persentase *fly ash*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Sunarmasto M.T., selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Rasa terima kasih penulis sampaikan khusus untuk tim Beton Sabar selaku tim kerja yang pantang menyerah.

## REFERENSI

- Andreas Nur Hadi. 2017."The Effect of Fly Ash Content for Stress-Strain Behavior of High Volume Fly ash – Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)". Universitas Sebelas Maret.
- Anonim. 2000. "SN1 03-2834-2000, "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim. 2004. "SNI 15-2049-2004 Semen Portland". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta." Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim. "Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring", *American Society for Testing of Concrete's*?. ASTM C 1621M. 1991.
- Anonim. "Standard Standard Specification for Concrete Aggregates". ASTM C33. 1991.
- Anonim. "Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete" , *American Society for Testing of Concrete's*. ASTM C39/C39M. 1991.
- Anonim. "Standard Test Method for Fly Ash and Row or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portland Cement Concrete", *American Society for Testing of Concrete's*?. ASTM C 618-93. 1991.
- Anonim. "Specification and Guidelines for Self – Compacting Concrete". EFNARC. 2002.
- Avri Priatma. 2012."Pengaruh Kadar Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tarik Belah dan Modulus of Rupture pada High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete".Universitas Sebelas Maret.
- Davidovits k. 1994b. "Properties of Geopolymer Cements", *Proceeding First International Conference on Alkaline Cements and Concrete, Scientific Research Institute on Binders And Materials*". Kiev state technical university, kiev, ukraina, hal 131-149.
- Dedi Septian. 2011."Effect of Fly Ash Content as Cement Substitution On Elastic Modulus of High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete".Universitas Sebelas Maret.
- Galang Nur Aji Pamungkas. 2017." Influence of Specimen Height to Diameter Ratio (h/d) on The Stress-Strain Response of High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete under Uniaxial Compressive Loading". Universitas Sebelas Maret.
- Gere and Timoshenko. "Mekanika Bahan". Erlangga : Jilid II Edisi 4. Jakarta.
- Kardiyono Tjokrodimuljo. 1996."Teknologi Beton".Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.