

KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG *HIGH VOLUME FLY ASH* (HVFA) MEMADAT SEBDIRI DENGAN KADAR FLY ASH 60% TERHADAP BETON NORMAL

Elfizar Nurfaizi¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Stefanus Adi Kristiawan³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Kientingan Surakarta 57126; Telp. (0271) 634524, Fax 662118

Email : elfizarnurfaizi@gmail.com

Abstrack

Fly ash is coal waste that can be used to substitute cement because it has pozzolanic properties. The compound reacts with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ of the cement hydration process and forms $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ or tubermorite which can increase the strength of the concrete. The use of fly ash with levels of at least 50% of the amount of cement and the addition of superplasticizers can produce concrete structures that are ductile and can flow by themselves or are called. High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete (HVFA-SCC). This research the flexural capacity of reinforced concrete beams with 60% fly ash and compared to the flexural capacity of normal concrete beams. This research used 3 beams of reinforced concrete HVFA-SCC and 3 reinforced concrete normal beams with 1500 mm, 100 mm wide, and 150 mm height. The samples were uniform based on the quality of 30 MPa at 28 days. HVFA-SCC fresh concrete test was performed with 3 methods: flow table test, L-box test, and V-funnel test. While on the normal concrete slump testing. For beam testing using a frame loading tool that will be tested using a four point loading method, ie loading is carried out on 2 loading points in 1/3 span to find the beam's flexural capacity. From the results of the study it was found that in reinforced concrete blocks HVFA-SCC had a greater load and deflection than normal reinforced concrete beams.

Keyword : fly ash, hvfa-scc, bending capacity

Abstrak

Fly ash merupakan limbah pembakaran batu bara yang dapat digunakan untuk mensubstitusi semen karena memiliki sifat pozzolan. Penggunaan *fly ash* dengan kadar setidaknya 50% jumlah semen dan penambahan *superplasticizer* mampu menghasilkan struktur beton yang daktail dan dapat mengalir sendiri atau disebut *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC). Penelitian ini mengkaji kapasitas lentur balok beton bertulang dengan 60% *fly ash* dan dibandingkan dengan kpsitas lentur balok beton normal. Penelitian ini menggunakan 3 balok beton bertulang HVFA-SCC dan 3 balok beton bertulang normal dengan dimensi panjang 1500 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 150 mm. Sampel tersebut diseragamkan berdasarkan mutu yaitu 30 MPa pada umur 28 hari. Pengujian beton segar HVFA-SCC dilakukan dengan 3 metode yaitu : *flow table test*, *L-box test*, dan *V-funnel test*. Sedangkan pada beton normal dilakukan pengujian *slump*. Untuk pengujian balok menggunakan alat *loading frame* yang akan diuji menggunakan metode four point loading yaitu pembebanan dilakukan pada 2 buah titik pembebanan di 1/3 bentang untuk mencari kapasitas lentur balok tersebut. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pada balok beton bertulang HVFA-SCC memiliki beban dan lendutan yang lebih besar dari pada balok beton bertulang normal.

Kata kunci : fly ash, HVFA-SCC, kapasitas lentur

PENDAHULUAN

Pada saat ini pembangunan infrastruktur merupakan salah satu program yang menjadi prioritas pemerintah Indonesia. Pembangunan yang dilakukan secara berkelanjutan dan dalam skala besar tersebut menyebabkan kebutuhan akan bahan material konstruksi menjadi meningkat. Beton merupakan bahan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan. Hal yang mendasari pemilihan beton sebagai bahan kontruksi karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya, diantaranya kekuatan, harga, bahan baku yang mudah untuk didapatkan, serta tahan terhadap api.

Beton terdiri dari beberapa bahan campuran seperti pasir, kerikil, semen dan air. Semen menjadi salah satu faktor penting dalam kekuatan beton karena ikatan yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen. Namun penggunaan semen juga berdampak kepada lingkungan karena dalam produksi semen menghasilkan emisi gas CO_2 yang cukup signifikan. Pada tahun 2007 industri produksi semen menyumbang 4,5% emisi gas CO_2 yang memicu terjadinya *Global Warming*. Dapat dihitung untuk setiap 1 kilogram semen yang dihasilkan dari produksi semen, menghasilkan emisi gas CO_2 sebanyak 1 kilogram (M. Arezoumandi, C.A. Ortega, and J.S. Volz, 2014). Untuk itu diperlukannya solusi untuk mengurangi penggunaan semen dalam campuran beton tanpa mengurangi kualitas dan kekuatan beton itu sendiri.

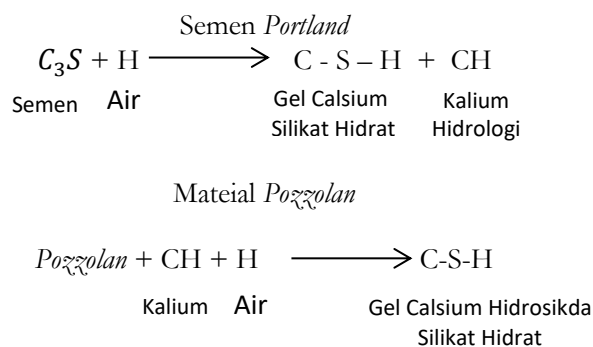
Ada beberapa cara untuk mengurangi dampak dari emisi gas CO₂ salah satunya yaitu dengan mengurangi penggunaan semen dan mensubstitusi dengan fly ash. Fly ash merupakan limbah pembakaran batu bara yang dapat digunakan untuk mensubstitusi semen karena memiliki sifat pozzolan. Penggunaan fly ash dengan kadar setidaknya 50% jumlah semen dapat menghasilkan beton yang bersifat daktail dan jika dilakukan penambahan superplasticizer maka akan menghasilkan struktur beton yang dapat mengalir sendiri. Sebagai pengaplikasiannya dengan pembuatan balok beton bertulang *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)*.

Ciri khas dari beton adalah memiliki kuat tekan yang sangat baik namun kuat tarik yang kurang baik. Untuk mengatasi hal tersebut maka dalam pembuatan balok beton sering diberikan tulangan yang berfungsi untuk meningkatkan kuat lentur pada beton tersebut. Penelitian ini akan mengkaji kapasitas lentur balok beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)* dengan kadar fly ash 60% dari berat semen dan kemudian akan dibandingkan dengan balok beton normal yang diuji pada umur 28 hari.

LANDASAN TEORI

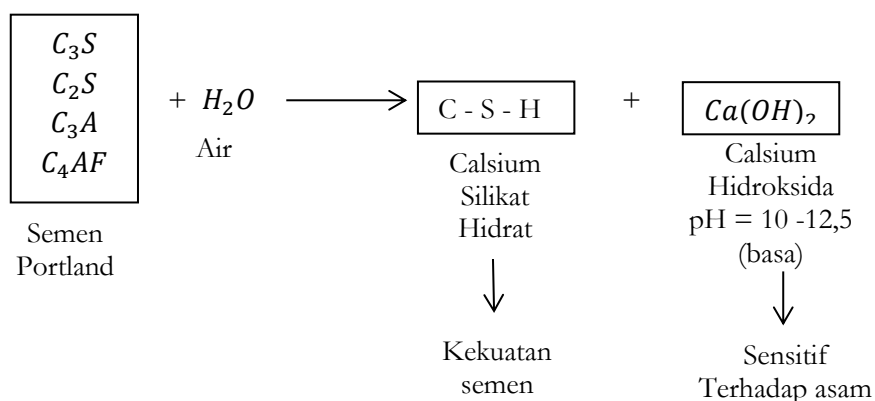
Reaksi Pozzolanic

Fly ash dalam HVFA juga berfungsi sebagai filler karena memiliki sifat pozzolan. Material *pozzolan* dapat bereaksi dengan kapur bebas (kalsium hidroksida) yang dilepaskan semen pada proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Perbedaan reaksi hidrasi dan reaksi *pozzolanic* dapat dilihat pada Gambar 1. berikut ini :



Gambar 1. Perbedaan Reaksi Hidrasi dan Reaksi Pozzolanik

Ketika air dimasukkan ke dalam campuran semen, proses kimiawi yang disebut hidrasi akan berlangsung. Senyawa kimia dalam semen akan bereaksi dengan air dan membentuk komponen baru dapat dilihat pada Gambar 2. sebagai berikut :



Gambar 2. Reaksi Kimia Senyawa Semen dengan Air dan Hasil Reaksi Hidrasi

Gel kalsium silikat hidrat yang sering disingkat C-S-H, memiliki komposisi yang bervariasi berbentuk rongga sebanyak 70% dari semen. Kalsium hidroksida yang dihasilkan akan membuat sifat basa kuat (pH = 12,5). Ini menyebabkan semen sensitif terhadap asam dan akan mencegah timbulnya karat pada besi (Nugraha dan Antoni, 2007:35). Hal ini karena Ca(OH)₂ dalam beton mudah sekali bereaksi dengan asam membentuk garam yang berdampak pada pengerosan beton.

High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)

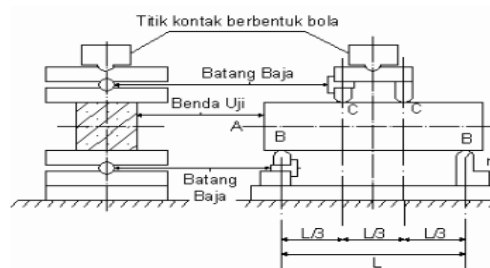
Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton dengan persentase lebih dari 50% dari berat semen dapat digolongkan sebagai beton *High Volume Fly Ash* (HVFA). Penggunaan HVFA dapat meningkatkan ketahanan dan keawetan beton (Priatma, 2012). HVFA-SCC adalah perpaduan antara teknologi HVFA dan SCC dimana campuran beton dibuat dengan kadar fly ash minimal 50% dari berat binder dan memiliki sifat-sifat beton segar seperti SCC. Penggunaan fly ash bertujuan untuk meningkatkan workability beton segar dan juga mengisi rongga-rongga yang ada pada beton. HVFA-SCC dapat mengalir dan memadat dengan memanfaatkan berat sendiri, sehingga tidak diperlukan proses pemadatan dengan menggunakan alat.

Kuat Lentur

Kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang balok uji. Pengujian kuat lentur pada beton dilakukan dengan cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan, mengacu pada SNI 4431:2011. Pengujian ini dilakukan dengan benda uji berupa balok uji, yakni balok beton berpenampang bujur sangkar dengan panjang total balok empat kali lebar penampangnya (SNI 03-4154-1996:1).

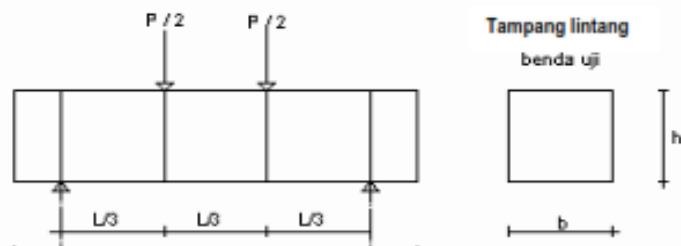
Balok uji dibuat dengan mengacu pada SNI 2493 : 2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium, yakni dengan bentuk benda uji Prismatic berupa balok sebagai uji lentur (SNI 2493-2011:6).

Pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan benda uji pada dua tumpuan, dibebani secara terpusat pada dua titik di 1/3 bagian dari tumpuan kanan dan kiri. Pembebanan harus dilakukan secara kontinu tanpa menimbulkan efek kejut. Metode pengujian ini dapat dilihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar 3. Perletakan dan Pembebanan

Keterangan gambar :
A – A = Sumbu memanjang
B = Titik – titik perletakan
C = Titik – titik pembebanan

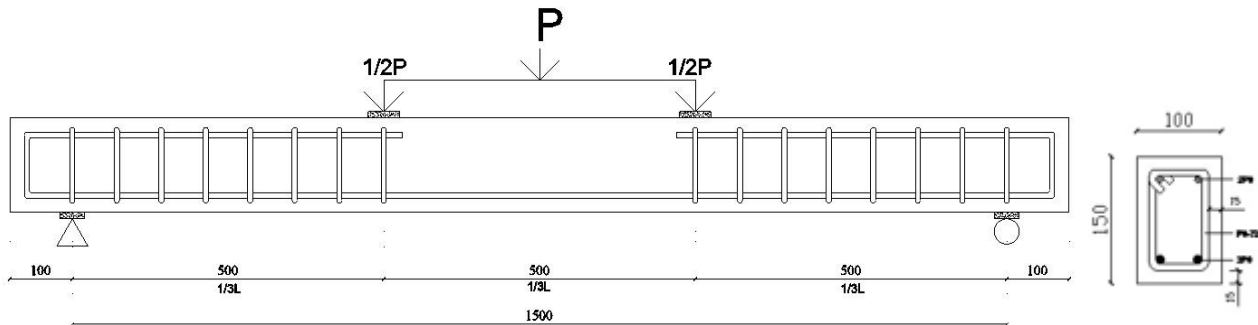


Gambar 4. Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan

Keterangan gambar :
L = Jarak antara dua garis perletakan
b = Lebar tampak lintang benda uji
h = Tinggi tampak lintang benda uji
P = adalah beban tertinggi yang ditunjukkan mesin uji

METODE

Metode penelitian dalam penelitian ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Laboratorium Struktur Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk balok dengan dimensi panjang 2000 mm, lebar 150 mm, dan 300 mm dengan kadar *fly ash* 50% dan 0% (normal). Tiap variasi terdiri dari 3 buah balok yang akan diuji pada umur 90 hari untuk balok HVFA-SCC dan 28 hari untuk beton normal. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat lentur dengan menggunakan alat *loading frame* dan lentur balok dibaca menggunakan *dial gauge*. Selanjutnya data hasil pengujian akan diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Model benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Model Benda Uji Lentur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Pengujian agregat halus meliputi pengujian kadar lumpur, kandungan zat organik, *specific gravity*, gradasi agregat dan berat jenis. Hasil-hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	<i>Absorbtion</i>	1,93%	-	-
2	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,6690 gr/cm ³	-	-
3	<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,5109 gr/cm ³	-	-
4	<i>Bulk Specific SSD</i>	2,5327 gr/cm ³	2,5 – 2,7 gr/cm ³	Memenuhi syarat

Pengujian terhadap agregat kasar meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (*abrasion*) dan gradasi agregat kasar dan halus. Hasil pengujian agregat kasar disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

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

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU. Pengujian *fly ash* sendiri dilakukan di Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret untuk mengetahui kandungan kimia. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil uji kandungan kimia, *fly ash* dari PLTU Paiton tergolong dalam tipe C. Hasil pengujian *fly ash* berdasarkan parameter yang diteliti dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Kimia *Fly Ash*

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

Pengujian kuat tarik baja pada penelitian ini dilakukan di Laboratrium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*). Benda uji yang digunakan merupakan potongan tulangan baja yang digunakan pada pembuatan benda uji balok beton bertuang dengan dimensi tulangan Ø8mm. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Ø 8 mm

Kode Benda Uji	Diameter Baja (mm)	Rerata (mm)	Luas penampang (mm ²)	P _{leleh} (N)	P _{maks} (N)	Kuat Tarik Leleh (MPa)	Kuat Tarik Maksimum (MPa)
1	8	8	28,2743	16753	22220	592,52	758,87
2	8			16674	22050	598,75	779,86
Rerata						591,14	782,87

Rancang Campur (*Mix Design*)

Rancang campur (*mix design*) pada penelitian HVFA-SCC dan beton normal dibuat untuk volume sebesar 1m³. Rancang campur (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut :

Tabel 6. Rancang Campur Beton *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete* dan Beton Normal

Kode	Presentase Fly Ash	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Air (lt/m ³)	Sp (lt/m ³)
HVFA28.50	60%	200	300	750,32	878,62	125	8
NC28	-	450	0	945,69	650,13	215	-

Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil pengujian beton segar disajikan dalam Tabel 7 sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil Pengujian Beton Segar HVFA-SCC

Jenis Pengujian	Parameter	Hasil Pengujian Beton Segar Kadar <i>Fly Ash</i> 50%	Persyaratan Beton SCC (EFNARC 2002)
<i>Flow Table</i>	Diameter (mm)	700	650 - 800 mm
	t ₅₀ (detik)	3,13	2 – 5 detik
<i>L-Box</i>	h ₂ /h ₁	0,94	0,8 - 1,0
	t (detik)	9,57	8 - 12 detik
<i>V-funnel</i>	T _{5 menit} (detik)	11,7	
	Δt (detik)	1,4	0 – 3 detik

Pada beton normal dilakukan pengujian *slump* dan didapat hasil adalah 11 cm.

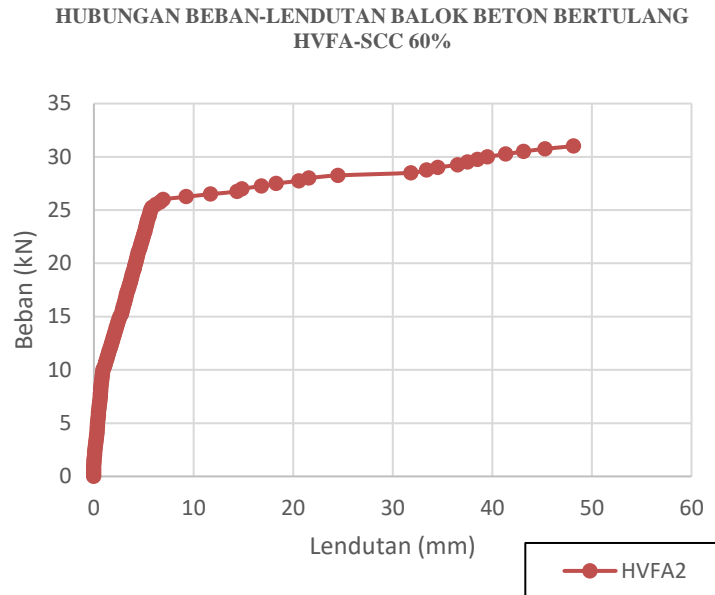
Hasil Pengujian Lentur Balok

Data beban dan lendutan hasil dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 sebagai berikut :

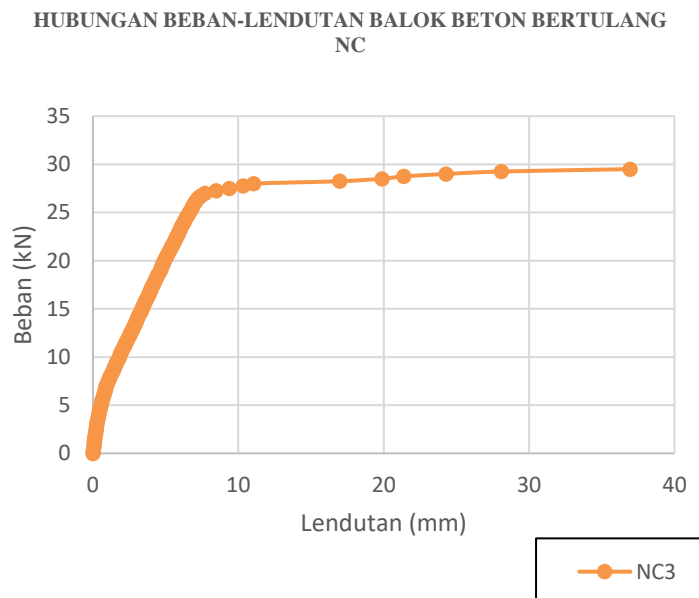
Tabel 8. Hasil Pembacaan *Dial Load* Beton Normal dan HVFA-SCC

Beban (kN)	Lendutan (mm) HVFA	Beban (kN)	Lendutan (mm) HVFA	Beban (kN)	Lendutan (mm) NC	Beban (kN)	Lendutan (mm) NC
0	0,0000	16	2,9700	0	0,0000	16	3,5100
1	0,0000	17	3,2750	1	0,0600	17	3,7900
2	0,0700	18	3,5750	2	0,1400	18	4,0700
3	0,1800	19	3,8850	3	0,2300	19	4,4200
4	0,3000	20	4,1850	4	0,3400	20	4,7400
5	0,3900	21	4,4600	5	0,4600	21	5,0300
6	0,4800	22	4,7950	6	0,6100	22	5,3500
7	0,5900	23	5,1150	7	0,8400	23	5,6700
8	0,6900	24	5,4000	8	1,0800	24	6,0000
9	0,7900	25	5,7250	9	1,4000	25	6,2800
10	0,9250	26	6,9750	10	1,7100	26	6,6200
11	1,2950	27	14,8750	11	2,0000	27	7,6900
12	1,6150	28	21,6000	12	2,3000	28	11,0500
13	1,9550	29	34,5250	13	2,6400	29	24,2800
14	2,2650	30	39,5250	14	2,9100	30	-

Dari tabel dapat dilihat bahwa balok beton bertulang HVFA-SCC memiliki lendutan yang lebih besar dari pada balok beton bertulang normal, akan tetapi balok beton bertulang normal dapat menerima beban lebih dari balok beton bertulang HVFA-SCC. Data pembacaan *dial load* dapat diolah menjadi grafik yang menggambarkan hubungan beban terhadap lendutan dari pengujian lentur balok beton bertulang yang dapat dilihat pada Gambar 6 sampai Gambar 7 sebagai berikut :



Gambar 6. Hubungan Beban dan Lendutan Balok Normal 1



Gambar 7. Hubungan Beban dan Lendutan Balok Normal 2

Berdasarkan grafik hubungan beban dan lendutan pada balok beton normal dan balok beton HVFA-SCC 60% diatas terlihat bahwa nilai lendutan akan meningkat seiring dengan penambahan beban. Pada awal pembebanan grafik menunjukkan hubungan linier antara beban dan lendutan, artinya besarnya nilai pertambahan lendutan selalu proporsional untuk setiap penambahan beban. Pada beban tertentu grafik mengalami perubahan, pertambahan nilai lendutan tidak lagi proporsional untuk setiap penambahan beban maka penambahan sehingga grafik menjadi tidak linier lagi. Perubahan hubungan ini terjadi karena tulangan baja pada balok mulai mengalami leleh, sehingga nilai lendutan akan semakin besar seiring bertambahnya beban hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan.

Setelah tulangan mengalami leleh terjadi perbedaan bentuk grafik lendutan antara beton normal dan beton HVFA-SCC 60%. Beton HVFA-SCC 60% yang diuji pada umur 28 hari memiliki nilai lendutan maksimum yang besar dibandingkan beton normal yang diuji pada umur 28 hari. Hal ini disebabkan oleh penambahan *fly ash* yang berfungsi sebagai *filler* mampu meningkatkan nilai daktilitas pada beton. Perilaku tersebut tentunya akan menyebabkan perubahan pada kurva tegangan-regangan pada beton. Perubahan kurva tegangan-regangan pada balok beton akan menyebabkan perubahan bentuk blok tegangan ekuivalen, sehingga perlu dilakukan analisis modifikasi perhitungan momen ultimate balok beton HVFA-SCC 60%.

Pada pengujian ini juga dilakukan pencatatan terhadap keretakan yang terjadi pada penampang balok, sehingga dari grafik ini terdapat tiga perilaku struktur penting yang menjadi pembahasan nilai kapasitas lenturnya. Perilaku tersebut meliputi kondisi beton saat mengalami retak pertama, saat mengalami leleh pertama, serta kondisi ultimate.

SIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Blok beton HVFA memiliki nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton normal
2. Balok beton HVFA mampu menerima beban lebih besar dibandingkan dengan balok beton normal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Stefanus Adi Kristiawan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Rasa terima kasih penulis sampaikan khusus untuk tim Gabungan Super yang sudah berjuang bersama.

REFERENSI

- Anonim. 2000. "SN1 03-2834-2000, "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim. 2002. "*Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*". The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC).
- Anonim. 2004. "SNI 15-2049-2004 Semen Portland". Badan Standarisasi Nasional, Jakarta." Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim. 2005. "*The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*". The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC).
- 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 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.
- Arezoumandi, M., Ortega, C. A., & Volz, J. S. 2014. *Flexural Behavior Of High-Volume Fly Ash Concrete Beams - Experimental Study*. Paper presentation at the TRB 94th Annual Meeting and for publication in TRB's Journal.
- 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.
- Baji, Hassan and Hamid R. Ronagh. 2013. *Statistical analysis of the concrete rectangular stress block parameters*. The 2013 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13). Jeju, Korea.
- Desi Candra Kurniawati. 2016. *Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Jenis High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA – SCC)*, Skripsi, Progam Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Gere and Timoshenko. "Mekanika Bahan". Erlangga : Jilid II Edisi 4. Jakarta.

- G. Venkatesan, S. Reghu R., and M. Chandra S., 2013. *Flexural behaviour of reinforced concrete beams using high volume fly ash concrete confinement in compression zone*. Journal of Civil Engineering (IEB), 41 (2) (2013) 87-97. India.
- Kardiyono Tjokrodimuljo. 1996. "Teknologi Beton". Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Reyhan Prastha Wijaya. 2018. Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) Usia 90 Hari, Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Sihombing, Lintong Putra Jaya. 2012. *Aplikasi Teori Hoshikuma Pada Hubungan Tegangan-Regangan Balok Beton Under Reinforced Dibandingkan Dengan Sni 03-2847-2002*. Jurnal Teknik Sipil Usu Vol.1 No.2 Tahun 2012.
- Umum, D. P. 2011. "Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan SNI 4431-2011". Badan Standarisasi Nasional.