

KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG *HIGH VOLUME FLY ASH SELF COMPACTING CONCRETE* (HVFA-SCC) USIA 28 HARI.

Putut Sugianto¹⁾, 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, Kentingan Surakarta 57126; Telp. (0271) 634524, Fax 662118

Email : pututsugik720@gmail.com

Abstrack

*Fly ash is a coal combustion waste that has a chemical content of silica and alumina reaches 80%. The compound reacts with Ca(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 in large quantities of 50% cement substitution and superplasticizer addition can produce ductile concrete structure and can be self compacting or called High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete (HVFA-SCC). In the application can also be used for the manufacture of reinforce concrete beam. This study examined bending beam behavior with the addition of 50% flay ash in reinforced concrete beams and compared with normal concrete beam bending. The method used is an experiment where 3 beams of reinforced concrete HVFA-SCC and 3 reinforced concrete normal beams with 2000 mm, 150 mm wide, and 300 mm height. The samples were uniform based on the quality of 40 MPa. 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. While for beam testing use a frame loading tool that will be loaded with 2 pieces of loading point on 1/3 span looking for strong bending of the beam. From the results of the research it is found that in reinforced concrete beams HVFA-SCC has a larger deflection than normal reinforced concrete beams but normal reinforced concrete beams can receive larger loads than HVFA-SCC reinforced concrete blocks. In the ductility value of reinforced concrete beams HVFA-SCC has a value greater than normal reinforced concrete beams that are 10.95 for HVFA-SCC beams and 10.76 for normal beams.*

Keyword : *fly ash, hvfa-ssc, strong bending*

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 $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ atau *tubermorite* yang dapat menambah kekuatan beton. Penggunaan *fly ash* dalam jumlah besar yaitu 50% substitusi semen dan penambahan *superplasticizer* mampu menghasilkan struktur beton yang daktail dan dapan mengalir sendiri atau disebut *High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC). Pada pengaplikasiannya dapat digunakan juga untuk pembuatan balok beton bertulan. Penelitian ini mengkaji perilaku lentur balok dengan penambahan 50% *flay ash* pada balok beton bertulang dan dibandingkan dengan lentur balok beton normal. Metode yang digunakan adalah eksperimen dimana digunakan 3 balok beton bertulang HVFA-SCC dan 3 balok beton bertulang normal dengan dimensi panjang 2000 mm, lebar 150 mm, dan tinggi 300 mm. Sampel tersebut diseragamkan berdasarkan mutu yaitu 40 MPa. 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*. Sedangkan untuk pengujian balok menggunakan alat *loading frame* yang akan dibebani dengan 2 buah titik pembebanan pada 1/3 untuk mencari kuat lentur balok tersebut. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pada 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 yang lebih besar dari pada balok beton bertulang HVFA-SCC. Pada nilai daktilitas balok beton bertulang HVFA-SCC memiliki nilai yang lebih besar dari balok beton bertulang normal yaitu 10,95 untuk balok HVFA-SCC dan 10,76 untuk balok normal.

Kata kunci : *fly ash, HVFA-SCC, kuat lentur*

PENDAHULUAN

Seiring dengan pesatnya perkembangan pembangunan infrastruktur di Indonesia, semakin banyak pula kebutuhan akan bahan konstruksi yang dibutuhkan. Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam berbagai pembangunan. Selain kuat desaknya yang tinggi, beton juga mudah untuk di buat dan mempunyai harga yang ekonomis karena material yang digunakan dari sekitar kita. Hal yang mendasari pemilihan beton sebagai bahan konstruksi karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya, diantaranya kekuatannya yang sangat baik, harganya relatif murah, bahan baku yang mudah untuk didapatkan, serta tahan terhadap api dan lain-lain

Dalam proses pembuatannya, campuran beton terdiri dari pasir, kerikil, semen dan air. Penggunaan semen dalam pembuatan beton normal merupakan salah satu hal pemicu terjadinya *Global Warming*. Hal ini disebabkan proses produksi satu ton semen menghasilkan CO_2 setara dengan 0,55 ton dan memerlukan bahan bakar *carbon* yang akan pula menghasilkan emisi CO_2 sebanyak 0,45 ton (Davidovits, 1994).

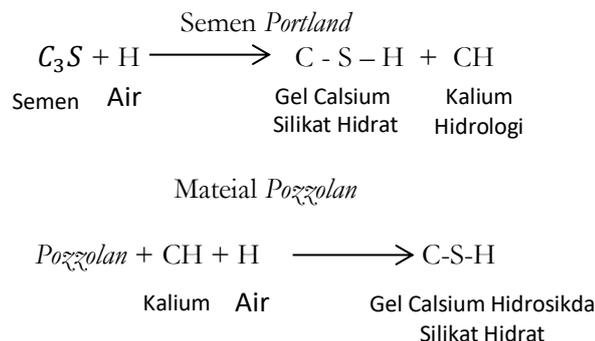
Dalam penanganan masalah pencemaran emisi gas CO₂ oleh semen ini dapat dilakukan dengan menggunakan substitusi *fly ash* dalam pembuatan beton. *Fly ash* adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel yang halus. *Fly Ash* mempunyai partikel yang sangat halus dengan diameter antara 1 – 150 µm dan berbentuk butiran bulat (Siddique, 2004). *Fly Ash* merupakan produk sampingan yang memiliki kandungan silika (SiO₂) yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan *pozzolan* pengganti sebagian semen yang merupakan bahan pengikat dalam pembuatan beton. Penggunaan *fly ash* dengan kadar lebih dari 50% serta penambahan *superplasticizer* mampu menghasilkan struktur beton yang daktail dan dapat mengalir sendiri. Dalam pengaplikasiannya dapat dilakukan dengan pembuatan balok beton bertulang *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC).

Beton memiliki ciri khas kuat tekan yang sangat baik sedangkan untuk kuat tarik sendiri bisa dibilang kurang baik. Untuk mengatasi hal ini maka dalam pembuatan balok beton sering diberikan tulangan yang berfungsi untuk meningkatkan kuat lentur pada beton tersebut. Dengan penambahan *fly ash* dapat meningkatkan kerjasama kekuatan antara tulangan dan juga HVFA-SCC. Penelitian ini akan dikaji perilaku lentur balok beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) dengan kadar *fly ash* 50% dari berat semen dan kemudian akan dibandingkan dengan balok beton normal. Balok beton HVFA-SCC akan diuji pada umur 28 hari dan balok normal akan diuji pada umur 28 hari.

LANDASAN TEORI

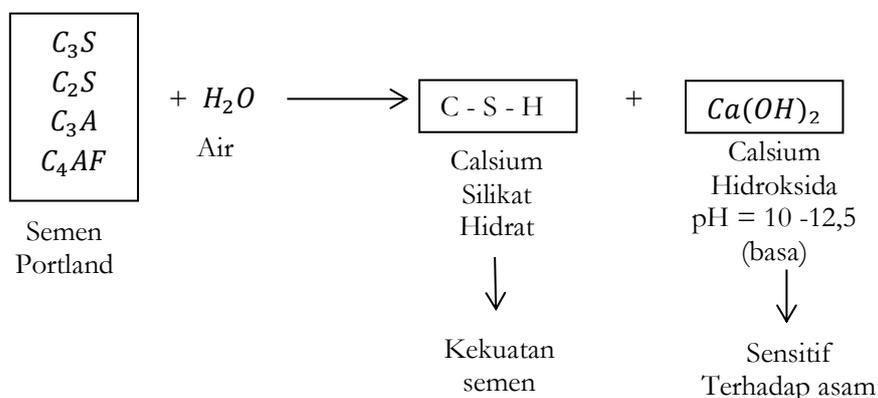
Reaksi Pozzolanic

Sebagian besar beton SCC menggunakan *filler* atau bahan *pozzolan* untuk meningkatkan material halusnya. Penggunaan *filler* dan bahan *pozzolan* akan mempengaruhi porositas dari beton itu sendiri, sehingga didapatkan komponen yang padat. *Fly ash* banyak digunakan sebagai *filler* pada beton SCC 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 ditambahkan kedalam 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.

Menurut M.Solikin (2012) pemakaian *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen berguna terutama untuk meningkatkan durabilitas beton, karena kandungan silika (SiO_2) di dalam *fly ash* yang tinggi akan mengikat $Ca(OH)_2$ untuk menghasilkan CSH (*Calcium Silicat Hydrate*), senyawa utama yang membangun kekuatan beton. $Ca(OH)_2$ sendiri adalah produk hidrasi reaksi dari semen dengan air namun memiliki sifat rapuh dan larut di dalam air.

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

Setiap beton yang mengandung *fly ash* dengan persentase lebih dari 50% dari berat semen dapat digolongkan sebagai beton *High Volume Fly Ash* (HVFA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton HVFA lebih tahan retak dibanding beton konvensional karena penurunan penyusutan. Penggunaan HVFA mendapatkan popularitas sebagai sumber daya yang efisien, tahan lama, hemat biaya dan menjadi material yang dapat dikembangkan bagi banyak tipe semen *portland*. (Crouch, Ryan, dan Ben, 2007). *Fly ash* dikenal sebagai material dengan sifat *pozzolan* yang berfungsi sebagai *filler* untuk mendapatkan beton dengan sifat – sifat tertentu seperti durabilitas yang lebih baik dibandingkan beton konvensional. Durabilitas tinggi dapat dicapai beton antara lain dengan menambahkan abu terbang (*fly ash*) sekitar 25-60% ke dalam semen, yang dikenal dengan sebutan *High Volume Fly Ash Concrete* atau HVFAC (Retno dan Kusno, 2011:64). Material penyusun *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) meliputi bahan perekat (semen dan *fly ash*), agregat halus, agregat kasar, air, dan *chemical admixture* dengan komposisi tertentu untuk mendapatkan beton yang *flowable* dan *compactable*.

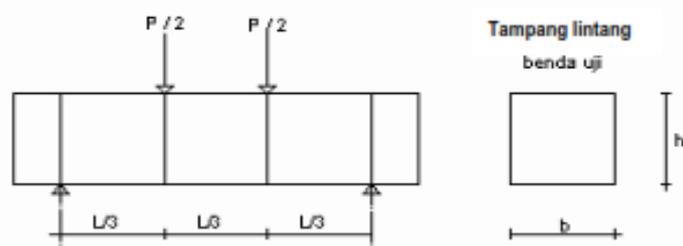
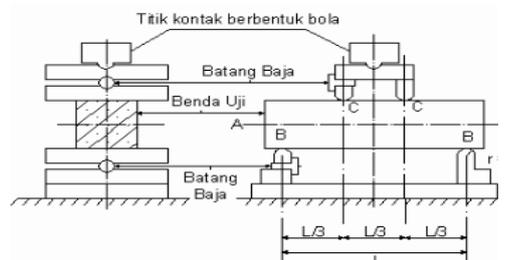
Kuat Lentur

Pengujian 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 Prismatik berupa balok sebagai uji lentur (SNI 2493-2011:6).

Pengujian dilakukan secara masinal dimana benda uji yang diletakkan pada dua tumpuan, dibebani secara terpusat pada bagian tengah dari panjang benda uji, kecepatan pembebanan harus dilakukan secara kontinu tanpa menimbulkan efek kejut. Metode pengujian ini dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut :

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

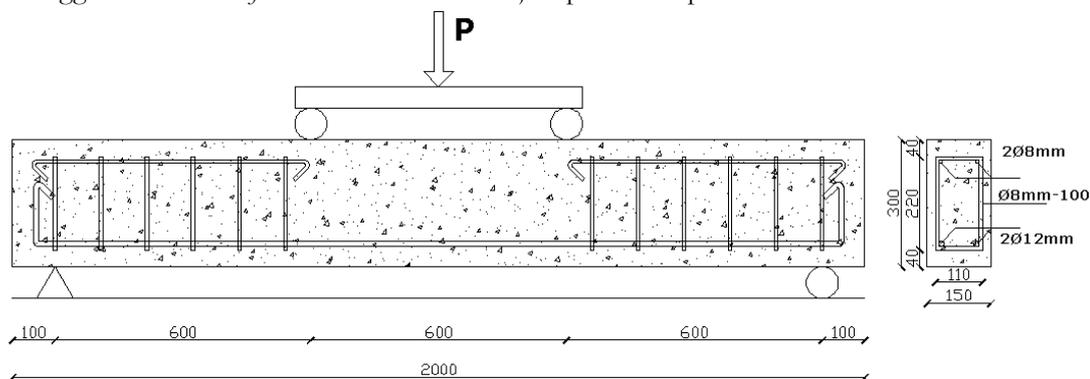


Keterangan gambar :
 L = Jarak antara dua garis perletakan
 b = Lebar tampak lintang benda uji
 h = Tinggi tampak lintang benda uji
 P = adalah beban tertinggi yang ditunjukkan mesin uji

Gambar 3. Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan

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 3.



Gambar 4. 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>	0,83%	-	-
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
5	Modulus Halus Butir	8,3640	5 – 8	Memenuhi syarat

Pengujian terhadap agregat kasar meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (*abrasi*) 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>	0,83%	-	-
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
5	Modulus Halus Butir	8,3640	5 – 8	Memenuhi syarat

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Paiton. Pengujian *fly ash* sendiri dilakukan di dua tempat yaitu di Laboratorium Tanah Universitas Sebelas Maret untuk mengetahui berat jenis dan di Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret untuk mengetahui kandungan kimia. Setelah dilakukan pengujian didapatkan bahwa berat jenis *fly ash* sebesar 2,8 gr/cm³ dan dari hasil uji kandungan kimia, *fly ash* dari PLTU Paiton tergolong dalam tipe F. 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 Laboratorium 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 Ø12mm untuk tulangan lentur dan Ø8mm untuk sengkang. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Ø 12 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)
A	12	12	113.1429	44500	641600	393.31	567.07
B	12			45000	64850	397.73	573.17
C	12			44000	63910	388.89	564.86
Rerata						393.31	568.367

Tabel 5. 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	50,2857	19300	24600	383.81	489.21
2	8			16800	21800	334.09	433.52
3	8			18500	24110	367.9	479.46
Rerata						326,93	467.4

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	50%	250	250	889,33	886,79	135	10
NC28	-	450	0	970,99	773,30	150	5,2

Hasil Pengujian Beton Segar

Pengujian HVFA-SCC terdiri dari *Flow Table Test*, *L-Box Test*, dan *V-funnel Test*, sedangkan beton normal dilakukan pengujian *slump*. Hasil pengujian tersebut 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)	658,5	600 - 700 mm
	t ₅₀ (detik)	4,6	2 – 5 detik
<i>L-Box</i>	h ₂ /h ₁	0,83	0,8 - 1,0

V_{funnel}	t (detik)	10,3	6 - 12 detik
	$T_{5\text{ menit}}$ (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

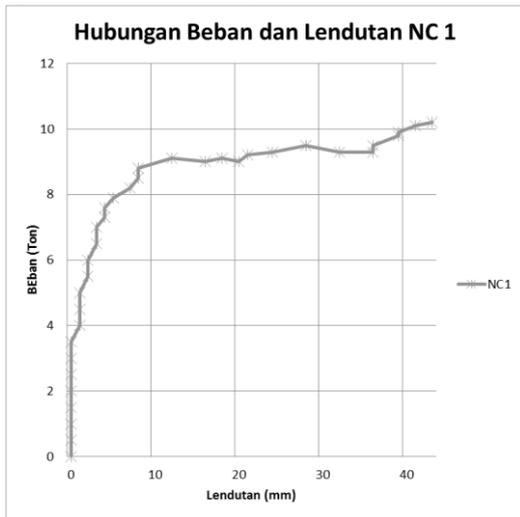
Data beban dan lendutan hasil pengujian kapasitas lentur balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang HVFA-SCC 50% dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 sebagai berikut :

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

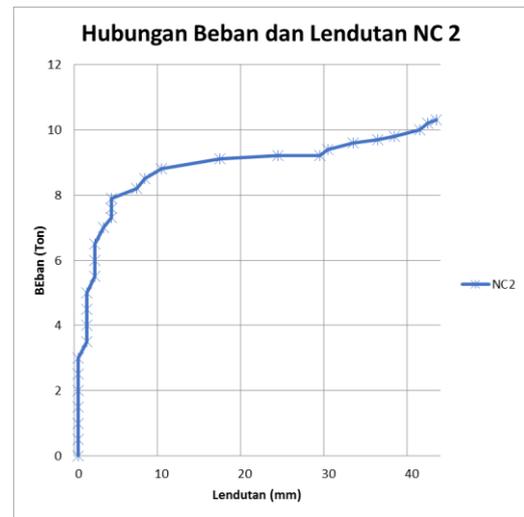
Beban (kN)	Lendutan (mm)			Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	NC1	NC2	NC3		HVFA1	HVFA2	HVFA3
0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.12	0.25	0.26	5	0.12	0.11	0.08
10	0.21	0.38	0.31	10	0.22	0.23	0.15
15	0.35	0.49	0.45	15	0.46	0.32	0.02
20	0.46	0.61	0.59	20	0.58	0.44	0.36
25	0.62	0.73	0.72	25	0.68	0.55	0.46
30	0.78	0.84	0.83	30	0.8	0.65	0.58
35	0.94	1	0.95	35	0.95	0.76	0.68
40	1.19	1.21	1.02	40	1.13	0.87	0.81
45	1.36	1.53	1.29	45	1.46	1.04	0.98
50	1.67	1.93	1.55	50	1.79	1.44	1.39
55	2.32	2.3	2.04	55	2.14	1.7	1.77
60	2.94	2.67	2.6	60	2.48	2.13	2.14
65	3.3	2.93	2.92	65	3.04	2.41	2.63
70	3.92	3.66	3.2	70	3.4	2.7	2.97
73	4.04	4.01	3.45	73	3.81	2.97	3.17
76	4.23	4.21	3.82	76	4.05	3.24	4.3
79	5.4	4.39	4.09	79	4.35	3.97	7.1
82	7.1	7.39	4.33	81	5.31	-	-
85	8.14	8.79	4.76	82	5.87	5.66	8.69
88	8.73	10.89	6.25	84	7.92	-	-
90	20.14	-	-	85	12.45	19.04	10.78
91	18.8	17.54	7.74	86	-	-	25.27
92	21.93	29.54	-	87	-	-	27.75
93	36.2	-	-	88	25.83	21.39	31.26
94	-	30.67	8.9	89	-	24.91	-
95	36.4	-	-	90	-	-	32.72
96	-	33.54	-	91	-	27.23	37.68
97	-	36.59	10.73	92	30.52	-	34.8
98	39.5	38.94	15.2	93	-	31.24	-
99	39.55	-	-	94	-	35.45	41.7
100	-	41.09	20.15	95	-	37.84	-
101	41.39	-	22.54	96	-	41.17	-
102	43.68	42.74	-	98	-	43.35	-
103	-	43.49	34.8	100	-	46.8	-

104	-	-	37.5	102	-	49.66	-
105	-	-	39.1				
106	-	-	40.2				
109	-	-	42.14				

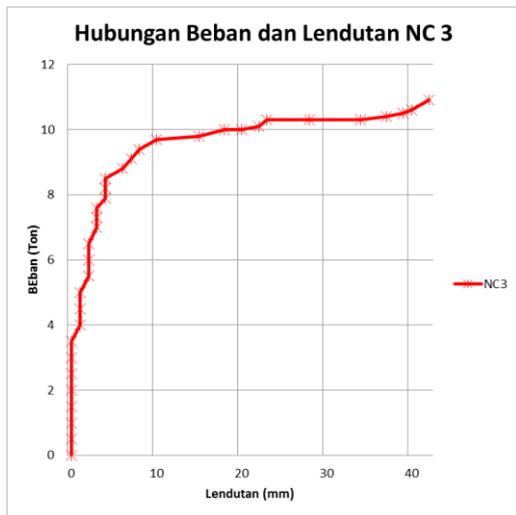
Dari tabel dapat dilihat bahwa balok beton bertulang HVFA-SCC memiliki lendutan yang lebih besar dari pada balok beton bertulang normal, akan tetapi balok beton bertulang normal dapat menerima beban lebih dari balok beton bertulang HVFA-SCC. Data pembacaan *dial load* dapat diolah menjadi grafik yang menggambarkan hubungan beban terhadap lendutan dari pengujian lentur balok beton bertulang yang dapat dilihat pada Gambar 5 sampai Gambar 10 sebagai berikut :



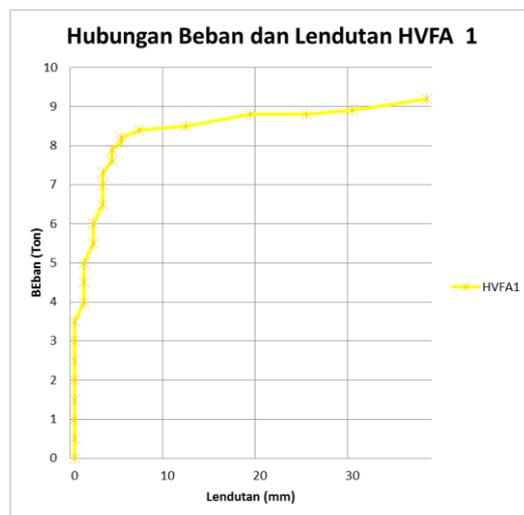
Gambar 5. Hubungan Beban dan Lendutan Balok Normal 1



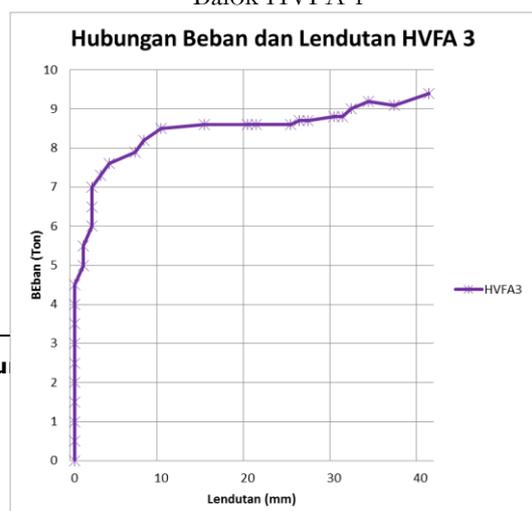
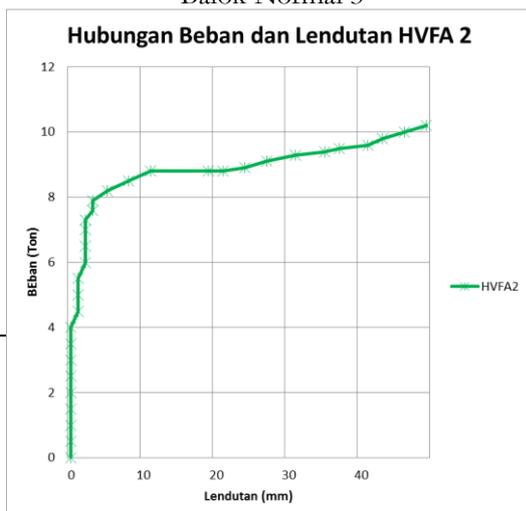
Gambar 6. Hubungan Beban dan Lendutan Balok Normal 2



Gambar 7. Hubungan Beban dan Lendutan Balok Normal 3



Gambar 8. Hubungan Beban dan Lendutan Balok HVFA 1



Gambar 9. Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok HVFA 2

Berdiagram bahwa nilai lendutan akan meningkat seiring dengan penambahan beban. 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 pertama, sehingga nilai lendutan akan semakin besar seiring bertambahnya beban hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan.

Gambar 10. Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok HVFA 3

50% diagram bahwa nilai lendutan akan meningkat seiring dengan penambahan beban. 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 pertama, sehingga nilai lendutan akan semakin besar seiring bertambahnya beban hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan.

Setelah tulangan mengalami leleh pertama terjadi perbedaan bentuk grafik lendutan antara beton normal dan beton HVFA-SCC 50%. Beton HVFA-SCC 50% 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 50%.

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. Pada balok bertulang beton normal dapat dilihat bahwa lendutan lebih kecil dibandingkan dengan balok bertulang beton HVFA-SCC.
2. Balok beton bertulang normal dapat menerima beban yang lebih besar beban dari pada balok beton bertulang beton HVFA-SCC.

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 Beton Sabar selaku tim kerja yang pantang menyerah.

REFERENSI

- 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.

- 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.
- 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 Tjokrodimaljo. 1996. "Teknologi Beton". Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Susuilorini, M.I. Retno dan Kusno Adi Sambowo. 2011. *Teknologi Beton Lanjutan Durabilitas Beton*. Surya Perdana Semesta (SPS). Semarang.
- Tito Adhi Yansyah. 2017. *Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)*, Skripsi, Progam Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.