

KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG HVFA MEMADAT SENDIRI TERHADAP BETON NORMAL DENGAN KADAR FLY ASH 50%.

Gilang Dwi Aji¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Halwan Alfisa Saifullah³⁾

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 : gilangda43@gmail.com

Abstract

Fly ash is a micron-sized coal burning waste that has a high content of silica (SiO₂). The compound functions as a pozzolan which functions to bind the results of the remaining hydration reaction in the form of Ca (OH)₂ crystals to CSH, which serves to increase the strength of the concrete. With the level of fly ash greater than or equal to 50% of the total powder, and the addition of super plasticizers so that the concrete has its own compacting properties, the concrete can be called High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete (HVFA-SCC). To see the behavior of HVFA-SCC concrete on structural components this study has the aim to see the beam flexural behavior by adding 50% fly ash to reinforced concrete beams and compared to the bending of normal concrete beams. The experimental research method used a 50% HVFA-SCC reinforced concrete beam and normal concrete beams with 3 beams each, with dimensions of 1500 mm in length, 100 mm in width, and 150 mm in height. The beam samples are limited by 30 Mpa concrete quality uniformity. Tests are carried out with a four point loading method at a distance of 1/3 span. From the results of the study it was found that 50% HVFA-SCC beams get greater deflection and load values than normal concrete beams. With the stiffness index value of 10.256 at the time of cracking and 4.072 at the time of yield for 50% HVFA-SCC beams and 7.831 when cracking and 3.757 at yield for normal concrete beams.

Keywords: *fly ash, HVFA-SCC, flexural strength*

Abstrak

Fly ash merupakan limbah pembakaran batu bara berukuran mikron yang memiliki kandungan silika (SiO₂) tinggi. Senyawa tersebut berfungsi sebagai pozolan untuk mengikat hasil sisa reaksi hidrasi berupa kristal Ca(OH)₂ menjadi CSH untuk meningkatkan kekuatan beton. Dengan kadar fly ash lebih besar sama dengan 50% dari total powder, serta penambahan super plasticizer agar beton mampu memadat sendiri, beton tersebut dapat disebut High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete (HVFA-SCC). Untuk melihat perilaku beton HVFA-SCC pada komponen struktur penelitian ini mengkaji perilaku lentur balok dengan penambahan 50% fly ash pada balok beton bertulang dan dibandingkan dengan lentur balok beton normal. Metode penelitian eksperimen menggunakan benda uji balok beton bertulang HVFA-SCC 50% dan balok beton normal dengan jumlah masing-masing 3 balok, dengan dimensi panjang 1500 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 150 mm. Sampel balok dibatasi dengan penyeragaman mutu beton 30 Mpa. Pengujian dilakukan dengan metode four point loading pada jarak 1/3 bentang. Dari hasil penelitian didapatkan balok HVFA-SCC 50% mendapatkan nilai lendutan dan beban yang lebih besar dibandingkan balok beton normal. Dengan nilai indeks kekakuan sebesar 10,256 pada saat retak dan 4,072 pada saat leleh untuk balok HVFA-SCC 50% serta 7,831 saat retak dan 3,757 pada saat leleh untuk balok beton normal.

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

PENDAHULUAN

Dunia konstruksi modern merupakan pembahasan yang akan terus berkembang di era globalisasi seperti sekarang ini. Dimana banyak hal baru yang akan dikembangkan atau modifikasi komposisi seperti pemanfaatan zat sisa/buangan sebagai zat additif pada material konstruksi. Khususnya pengembangan pada beton, adalah salah satu bagian konstruksi yang banyak dipelajari dan dikembangkan oleh beberapa ilmuwan. Berbagai permasalahan yang muncul merupakan dasar dari tumbuhnya inovasi-inovasi baru yang dikembangkan. Beberapa permasalahan yang timbul di dunia konstruksi adalah masalah biaya alat atau tenaga kerja, serta waktu pengerjaan. Oleh karena itu beton SCC (*Self Compacting Concrete*) merupakan salah satu penemuan yang dianggap dapat memecahkan masalah yang timbul.

Pada beton yang mempunyai *workability* tinggi seperti beton SCC penambahan zat additif berupa *superplasticizer* sangat diperlukan, penggunaan agregat kasar yang berukuran kecil, dan komposisi *powder* yang lebih besar dari pada beton konvensional, dengan tujuan untuk menambah homogenitas dan campuran yang kohesif pada beton. Jagadish et.al (2003) mengungkapkan bahwa beton SCC memerlukan *powder* dengan komposisi antara 450-600 kg/m³ dari campuran beton.

Pemakaian *powder* dengan komposisi besar tidaklah semuanya menggunakan semen karena akan memberikan panas hidrasi yang cukup tinggi. Dampak negatif dari penggunaan semen juga mendapat perhatian khusus antara lain dapat meningkatkan efek rumah kaca yang memicu terjadinya *Global Warming*. Hal ini disebabkan proses produksi satu ton semen menghasilkan CO₂ setara dengan 0,55 ton dan memerlukan bahan bakar carbon yang akan pula

menghasilkan emisi CO₂ sebanyak 0,45 ton (Davidovits, 1994). Pada tahun 2018 diperkirakan produksi semen menyumbang sekitar 7 % dari emisi CO₂ global (Energies, 2019).

Untuk menggantikan fungsi semen dalam *powder*, digunakan *fly ash* dalam campuran beton. penggunaan *fly ash* juga mempunyai banyak manfaat pada beton seperti pengurangan w/c ratio dengan tetap menjaga *workability* serta menambah kekuatan seiring bertambahnya usia beton, yang mana hal tersebut tidak dapat didapatkan hanya menggunakan *Portland Cement* (Sukumar, 2008). Kandungan (SiO₂) yang tinggi pada *fly ash* merupakan bahan pozolan yang dapat bereaksi dengan (Ca(OH)₂) membentuk senyawa kalsium hidrat (CSH), sehingga mengurangi kandungan (Ca(OH)₂) dalam beton, membuat beton tahan terhadap air laut dan sulfat.

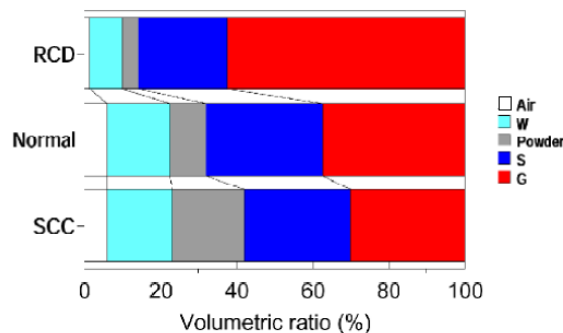
Berdasarkan latar belakang diatas, memanfaatkan kekuatan yang dihasilkan dari campuran semen dengan *fly ash* bervolume besar pada *cementitious*, serta *workability* yang didapatkan dari beton SCC. Pada penelitian ini fokus masalah akan dilakukan pada pengujian besar kapasitas lentur HVFA-SCC pada balok beton bertulang dengan kandungan kadar fly ash sebesar 50%. Dengan sampel pembandingan berupa balok beton normal.

LANDASAN TEORI

Self Compacting Concrete (SCC)

SCC adalah suatu beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir melalui tulangan dan memenuhi seluruh ruang yang ada didalam cetakan secara padat tanpa ada bantuan pemadatan manual atau getaran mekanik. (Tjaronge et.al 2006 dan Hartono, et.al 2007).

Beton ini akan mengalir sendiri, mengisi semua ruang, termasuk pada pengecoran beton dengan tulangan pembesian yang sangat rapat. Untuk memperoleh beton yang mampu mengalir tanpa terjadi pemisahan material, maka digunakan *high range water reducer* atau "*Superplasticizer*". *Superplasticizer* diperlukan untuk mendispersikan (menyebarkan) partikel semen menjadi merata dan memisahkan menjadi partikel-partikel yang halus sehingga reaksi pembentukan C-S-H (tobermorite) akan lebih merata dan lebih aktif (Angelina, 2012).



Gambar 1. Perbandingan Proporsi Campuran SCC, RCD, dan Beton Konvensional

Namun beton SCC pun memiliki beberapa kelemahan, seperti yang dijelaskan oleh EFNARC *Specification and Guidelines for Self – Compacting Concrete*, 2002, Karena tingginya kandungan *powder*, beton SCC dapat menunjukkan lebih banyak susut plastis atau *creep*, dari pada campuran beton biasanya. Karena itu aspek tersebut harus dipertimbangkan selama merancang dan menetapkan beton SCC.

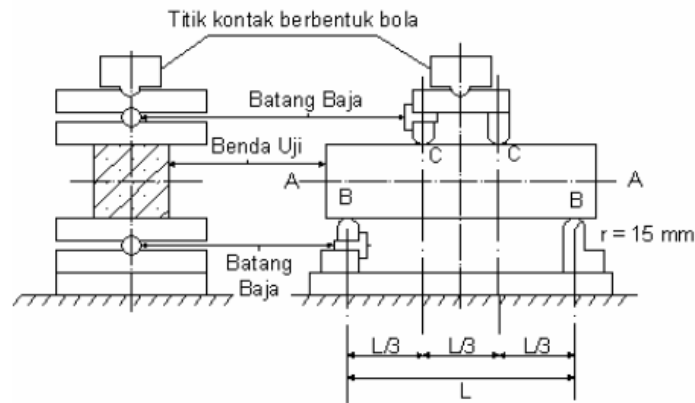
High Volume Fly Ash (HVFA)

Salah satu teknologi pemanfaatan abu terbang yang mengurangi secara signifikan pemakaian semen dalam pembuatan beton dan menggunakan cara produksi yang identik dengan pembuatan beton normal adalah *high volume fly ash concrete (HVFA)*. HVFA adalah beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly ash* baik berupa kelas F *fly ash* maupun kelas C *fly ash* (Malhotra and Mehta, 2005). Meskipun pemakaian *fly ash* tidak memberikan kekuatan awal beton, namun dengan masih berlangsungnya reaksi *pozzolanic* maka kekuatan beton akan meningkat dalam jangka waktu yang lama (Bilodeau and Malhotra, 2000, Nawy, 1996).

Kuat Lentur Balok

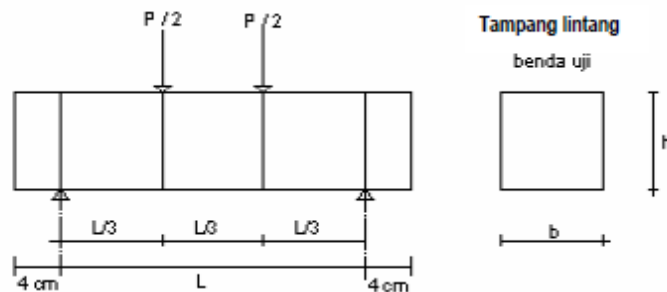
Pengujian kuat lentur dilakukan dengan *four points loading*. Pengujian dilakukan mengacu standar SNI 4431-2011 dengan meletakkan balok uji pada dua perletakan dan dibebani oleh dua titik beban yang berada di 1/3 bentang. Pembebanan dilakukan secara kontinu hingga beton mengalami fraktur, namun saat mendekati fraktur kurangi kecepatan pembebanan sehingga tidak terjadi kejat.

Kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai beda uji patah, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (SNI 4431-2011). Metode pengujian ini dapat dilihat pada gambar 2. dan gambar 3. sebagai berikut :



Gambar 2. Perletakan dan Pembebanan

Keterangan gambar :
 A – A adalah sumbu memanjang
 B adalah titik – titik perletakan
 C adalah titik – titik pembebanan



Gambar 3. Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan

Keterangan gambar :
 L adalah jarak antara dua garis perletakan
 b adalah lebar tampak lintang benda uji
 h adalah tinggi tampak lintang benda uji
 P adalah beban tertinggi yang ditunjukkan mesin uji

Kekakuan

Kekakuan merupakan gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan. Indeks kekakuan adalah nilai yang menunjukkan besarnya kekakuan itu sendiri seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$K = \frac{P}{\delta} \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- K = kekakuan lentur (N/mm)
- P = beban (N)
- δ = lendutan pada balok (mm)

Momen Nominal

Momen nominal dihitung dengan berdasarkan distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton.

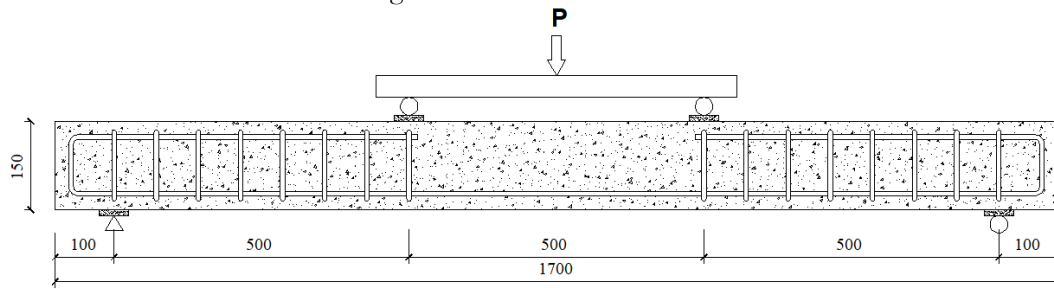
$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

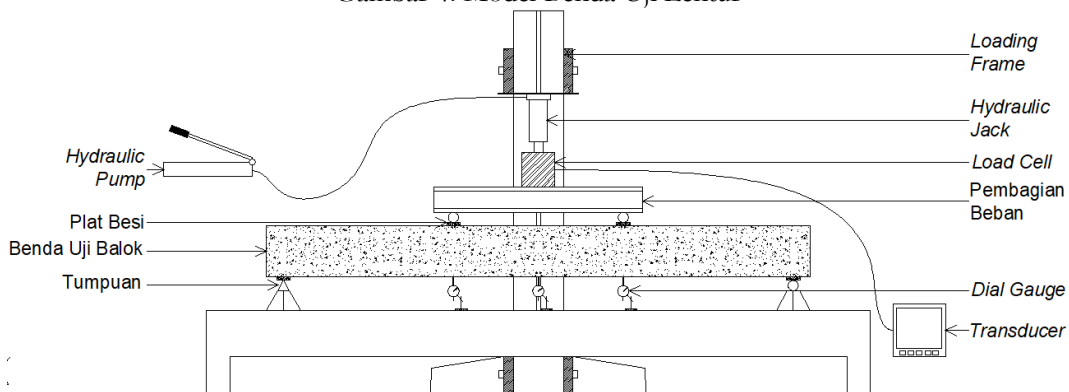
- M_n = momen nominal (kNm)
- T = gaya tarik (kN)
- d = jarak titik berat tulangan ke selimut atas (m)
- a = jarak selimut atas ke garis netral/ tinggi blok tekan (m)

METODE

Pada penelitian ini benda uji yang digunakan adalah balok beton bertulang dengan luas penampang 10 cm x 15 cm x 150 cm yang memiliki tulangan baja polos fy 280 diameter 8 mm. Benda uji terdiri dari 3 buah beton normal dan 3 buah beton tipe *HVFA-SCC* dengan kadar *fly ash* 50 %. Pengujian dilakukan dengan pembebanan secara bertahap, dan diukur *displacement*-nya dengan menggunakan *dial gauge*. Model benda uji dan *set up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 4. dan Gambar 5. sebagai berikut :



Gambar 4. Model Benda Uji Lentur



Gambar 5. *Setting Up* Alat Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Pengujian terhadap agregat kasar dilakukan pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (*abrasion*) dan gradasi agregat kasar. Hasil pengujian agregat kasar dipaparkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	<i>Absorbtion</i>	2,1 %	-	-
2	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,648 gr/cm ³	-	-
3	<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,508 gr/cm ³	-	-
4	<i>Bulk Specific SSD</i>	2,561 gr/cm ³	2,5 – 2,7 gr/cm ³	Memenuhi syarat
5	Keausan Agregat	26,920 %	< 50 %	Memenuhi syarat

Pengujian agregat halus dilakukan pengujian kadar lumpur, kandungan zat organik, *specific gravity*, gradasi agregat dan berat jenis. Hasil pengujian tersebut dipaparkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	<i>Absorbtion</i>	1,937 %	-	-
2	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,627 gr/cm ³	-	-
3	<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,500 gr/cm ³	-	-
4	<i>Bulk Specific SSD</i>	2,548 gr/cm ³	2,5 – 2,7 gr/cm ³	Memenuhi syarat
5	Kandungan Lumpur	4,5 %	Maksimal 5 %	Memenuhi syarat

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU. Pengujian *fly ash* dilakukan di Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret untuk mengetahui kandungan kimia. Setelah dilakukan pengujian Jumlah kandungan Al₂O₃ + SiO₂ + Fe₂O₃ adalah sebesar 64.17 % dengan kandungan Al₂O₃ sebesar 11.29 %, SiO₂ sebesar

31.76 %, Fe₂O₃ sebesar 21.12 %. Sedangkan kadar SO₃ sebesar 1.67% dan CaO sebesar 15.02 %. Sehingga menurut ASTM C-618 fly ash yang digunakan termasuk kedalam fly ash kelas C sedangkan menurut CSA A3001 termasuk fly ash tipe Cl.

Pengujian kuat tarik baja 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 spesifikasi potongan sesuai SNI 07-2529-1991 dengan dimensi tulangan Ø8mm untuk tulangan lentur dan geser. Hasil dari pengujian dilakukan analisis menggunakan *offset* 0,2% dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. 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	28,274	16753,119	22220	592,523	785,881
2	8			16674,798	22050	589,751	779,860
Rerata						591,137	782,871

Rancang Campur (*Mix Design*)

Rancang campur (*mix design*) pada penelitian HVFA-SCC 50% dan beton normal dibuat untuk volume sebesar 1m³. Rancang campur (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut :

Tabel 4. 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	778,70	870,30	145	8
NC28	-	450	0	944,69	660,31	220	0

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 5 sebagai berikut :

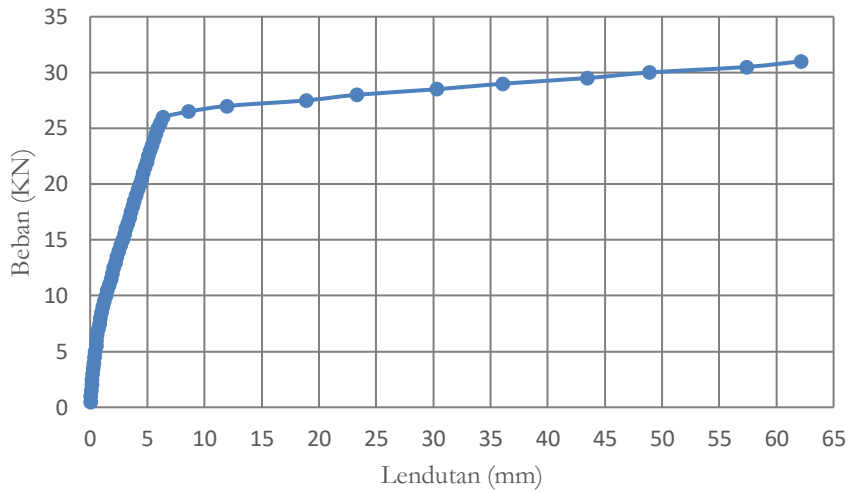
Tabel 5. Hasil Pengujian Beton Segar HVFA-SCC

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	600 - 700 mm
	t ₅₀ (detik)	3,16	2 – 5 detik
<i>L-Box</i>	h ₂ /h ₁	0,94	0,8 - 1,0
<i>V-Funnel</i>	T (detik)	9,34	8-12 dt

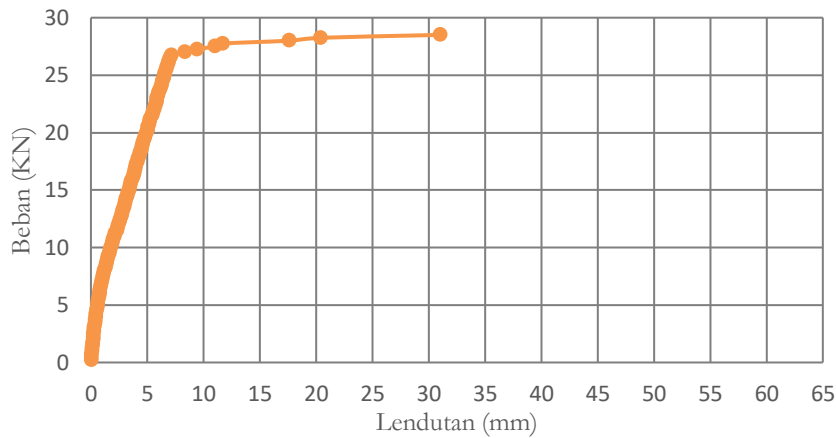
Sedangkan pada beton normal dilakukan pengujian *slump* dan didapat hasil adalah 11 cm.

Hasil Pengujian Lentur Balok

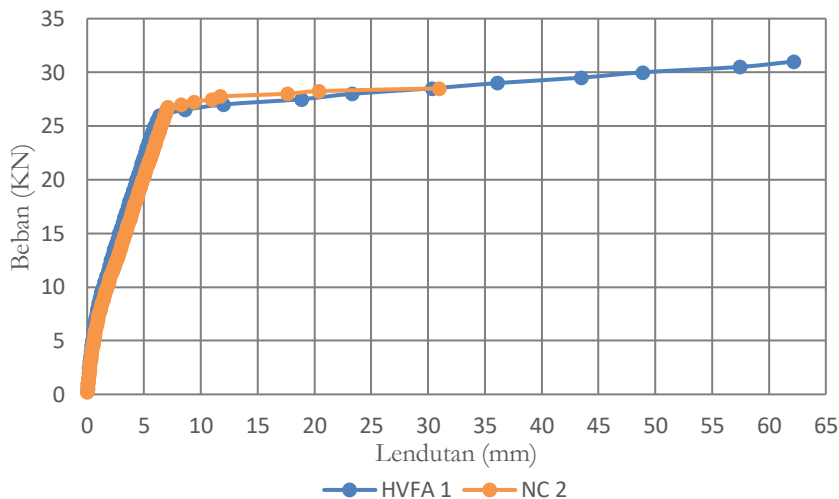
Data – data yang diambil pada pengujian lentur balok beton bertulang meliputi data lendutan yang diperoleh dari pembacaan *dial load* yang dipasang pada tengah bentang dan dibawah beban untuk setiap interval pembebanan 0,5 kN. Dan di plot menjadi grafik hubungan beban dengan lendutan rata-rata seperti dibawah.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban Lendutan Beton HVFA-SCC 50%



Gambar 7. Grafik Hubungan Beban Lendutan Beton Normal



Gambar 8. Grafik Perbandingan Beban Lendutan Balok Beton HVFA-SCC 50% dan NC

Berdasarkan grafik hubungan beban dan lendutan secara garis besar pada balok beton normal dan balok beton HVFA-SCC 50% 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. Hingga pada saat mengalami crack pertama balok mengalami sedikit perubahan penambahan lendutan yang sedikit lebih besar namun tetap dalam kondisi linier hingga pada beban tertentu grafik mengalami perubahan. Pertambahan nilai lendutan tidak lagi

proporsional untuk setiap penambahan beban sehingga grafik menjadi tidak linier dan landai. 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.

Dari hasil pengujian tersebut balok beton bertulang HVFA-SCC 50% yang diuji pada umur 28 hari memiliki nilai lendutan maksimum dan beban maksimum yang lebih besar dibandingkan balok normal. Dengan nilai rata-rata 30,75 kN untuk beban maksimum dan 60,69 mm untuk lendutan maksimum balok HVFA-SCC 50%, serta nilai rata-rata 29,75 kN untuk beban maksimum dan 35,36 mm untuk lendutan maksimum balok NC.

Indeks Kekakuan Balok

Hasil perhitungan nilai indek kekakuan balok dapat dilihat pada tabel 6. berikut :

Tabel 6. Perbandingan Indek Kekakuan Balok Beton Bertulang

Sampel	Saat Retak Pertama	Saat Leleh
NC	7,831	3,757
HVFA	10,256	4,072

Dari nilai indek kekakuan diatas dapat dilihat balok HVFA-SCC 50% memiliki kekakuan lebih besar dibandingkan balok beton normal.

Momen Ultimit

Momen Ultimit hasil perhitungan dihitung dengan asumsi $M_u = M_n$, akan dibandingkan dengan momen ultimit hasil pengujian, dapat dilihat pada tabel 7. berikut ini :

Tabel 7. Hasil Momen Ultimit Rata-rata Analitis dan Pengujian

Sampel	Analitis (kNm)	Pengujian (kNm)
NC	7,114	7,224
HVFA	7,159	7,847

Dari hasil momen ultimit rata-rata tersebut dapat dilihat balok HVFA-SCC 50% memiliki nilai sedikit lebih tinggi dibandingkan beton normal. Kedua jenis balok memiliki nilai hasil pengujian yang lebih besar dibandingkan perhitungan analitis.

SIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Balok beton bertulang HVFA-SCC 50% yang diuji pada umur 28 hari memiliki nilai lendutan maksimum dan beban maksimum yang lebih besar dibandingkan balok normal.
2. Balok beton bertulang HVFA-SCC 50% memiliki nilai kekakuan yang lebih besar pada kondisi retak pertama dan leleh dibandingkan balok beton normal.
3. Momen ultimit balok beton bertulang HVFA-SCC 50% memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan balok beton normal, dan kedua jenis balok memiliki nilai momen ultimit hasil pengujian yang lebih besar dibandingkan momen ultimit analitis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Dr. Eng. Halwan Alfisa Saifullah, S.T., M.T. selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan keikhlasan telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan hasil karya tulis penyusunan. Rasa terima kasih penulis sampaikan kepada tim skripsi Gabungan Super yang telah menyerahkan keringatnya untuk menggapai kelulusan bersama.

REFERENSI

- Anonim. 2002. "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete". The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC).
- Anonim. 2005. "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use". The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC).

- ASTM, C. 127(2007) “*Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.*”
- ASTM, C. 131 “*Test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine*”. In American Society for Testing and Materials (Vol. 100, pp. 19428-2959).
- ASTM, C. 2001. 128-01. “*Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate*”. United States: ASTM International.
- ASTM, C. 2002. “*136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*”. Annual Book of Standards, 4(02).
- ASTM, C. 2003. 117. “*Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*”. Annual Book of ASTM Standards, 4.
- ASTM, C. 2014. 1611. “*Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete*”, ASTM Int, 1-6.
- Davidovits, J. 1994. “*Global warming impact on the cement and aggregates industries*”. World resource review, 6(2), 263-278.
- PBI NI-2. 1997. “*Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*”, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
- Putut Sugianto. 2018. *Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) Umur 28 Hari, Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret*. Surakarta.
- Siddique, R. .2004. “*Performance Characteristics of High-Volume Class F Fly Ash Concrete*”. Cement and Concrete Research, 34, 487-493
- Sukumar, B., Nagamani, K., & Raghavan, R. S. 2008. “*Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume fly ash*”. Construction and Building Materials, 22(7), 1394-1401.