

# Kajian Tegangan-Regangan dan Kuat Tekan Beton HVFA Memadat Sendiri terhadap Beton Normal dengan Kekangan Topi Baja

Maulida Luthfiana<sup>1)</sup>, Agus Setiya Budi<sup>2)</sup>, Endah Safitri<sup>3)</sup>

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

2),3) Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

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

Email : [maulidaluthfiana1@gmail.com](mailto:maulidaluthfiana1@gmail.com)

## Abstract

HVFA-SCC (*High Volume Fly ash Self Compacting Concrete*) is an advance innovation from SCC with fly ash as the additive for substituting cement. Fly ash has pozzolanic characteristics and high content of  $SiO_2$  that can bind the  $Ca(OH)_2$  in cement's hydration process. Besides, the small particle of fly ash can fill the empty space inside the concrete to reduce the pore formation. This research will analyze the comparison between stress-strain behaviour of HVFA-SCC and normal concrete and the comparison between the compressive strength testing result. The methods used in this research is experimental which was conducted in Material and Structure Laboratory of Sebelas Maret University. The sample used are cylindrical concretes with 15 cm diameter's length and 30 cm height. The content of fly ash used is 50% from the total binder needed. The stress strength testing process of concrete was conducted at the age of 28 days with UTM (*Universal Testing Machine*). In this testing process capping steel restraint was placed on every edges of the samples to reduce the friction and flatten its surfaces. The results from the experiment showed that HVFA-SCC with 50% fly ash content had 47% higher average compression strength than normal concrete at the age of 28 days.

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

## Abstrak

Beton HVFA-SCC (*High Volume Fly ash Self Compacting Concrete*) merupakan suatu inovasi pengembangan dari beton SCC dengan penambahan bahan tambah fly-ash sebagai substituen semen. Fly-ash bersifat pozzolanic dan mempunyai kadar ( $SiO_2$ ) yang tinggi yang dapat mengikat  $Ca(OH)_2$  pada proses hidrasi semen. Selain itu ukuran partikelnya yang kecil dapat mengisi ruang kosong pada beton sehingga mengurangi terbentuknya pori di dalamnya. Pada penelitian ini akan dikaji mengenai perbandingan kurva tegangan-regangan beton HVFA-SCC terhadap beton normal dan perbandingan kuat tekan yang dihasilkan. Metode yang digunakan pada penelitian ini eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Universitas Sebelas Maret. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Kadar fly ash yang digunakan sejumlah 50% dari total kebutuhan binder. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada saat umur beton mencapai 28 hari dengan UTM (*Universal Testing Machine*). Pada pengujian tekan dipasang pengekang pada kedua ujung benda uji berupa kaping topi baja yang bertujuan untuk mengurangi friksi dan meratakan permukaan benda uji. Hasil yang didapatkan dari penelitian menunjukkan bahwa HVFA-SCC kadar fly ash 50% memiliki nilai kuat tekan rata-rata 47% lebih tinggi dari beton normal pada usia 28 hari.

Kata kunci: fly ash, kuat tekan, HVFA-SCC

## PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya berbagai penelitian, muncul inovasi beton yang memiliki kemampuan untuk memadat sendiri dengan workabilitas tinggi yang kita kenal sebagai *Self Compacting Concrete* (SCC). Akan tetapi, dalam pembuatan beton SCC kadar semen yang diperlukan lebih banyak dibandingkan dengan beton konvensional. Menurut Davidovits, dalam proses produksi satu ton semen akan menghasilkan  $CO_2$  sebanyak 0,55 ton dan memerlukan bahan bakar carbon yang akan menghasilkan emisi  $CO_2$  sebesar 0,45 ton. Sehingga untuk menangani hal tersebut diperlukan inovasi beton SCC yang lebih ramah lingkungan namun dengan kualitas tinggi. Gagasan beton *High Volume Fly ash - Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) muncul sebagai salah satu bentuk solusi permasalahan tersebut. Penelitian ini mengkaji perilaku tegangan-regangan dan kuat tekan beton normal dan *High Volume Fly ash - Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) kadar fly ash 50% berumur 28 hari berupa benda uji silinder D 15 cm x 30 cm yang dipasang kekangan topi baja pada saat dilaksanakan pembebanan uniaksial tekan.

## DASAR TEORI

### Fly ash

Fly ash mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanic. Komposisi fly ash sebagian besar terdiri dari silikat dioksida ( $SiO_2$ ), aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ), besi ( $Fe_2O_3$ ), dan kalsium ( $CaO$ ), serta magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit. Sebagian besar komposisi kimia dari fly ash

tergantung dari tipe batu bara. Secara mekanis *fly ash* ini akan mengisi ruang kosong (rongga) diantara butiran-butiran dan secara kimiawi pemanfaatan *fly ash* yang memiliki kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) yang tinggi memberikan kontribusi positif terhadap proses hidrasi semen, karena Silika akan mengikat Ca(OH)<sub>2</sub> untuk membentuk C-S-H gel yang membantu meningkatkan kekuatan beton (Solikin, 2012).

### Kekangan Topi Baja

Hasil pengujian kuat tekan sangat diutamakan keakurasiannya. Salah satu cara agar mendapatkan keakurasian pengujian kuat tekan tersebut adalah dengan penerapan sistem pemegangan pada ujung benda uji (sistem kaping) menggunakan topi baja. Topi baja ini merupakan suatu pad elastomer yang dimasukkan ke dalam topi logam kaku dengan fungsi untuk menahan dan mereduksi beban.

### Kuat Desak Beton

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dengan:

$f'c$  = kuat desak beton (N/mm<sup>2</sup>)

P = beban (N)

A = luas permukaan benda uji (mm<sup>2</sup>)

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Universitas Sebelas Maret. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Kadar *fly ash* yang digunakan sejumlah 50% dari total kebutuhan *binder*. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada saat umur beton mencapai 28 hari menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*). Pada pengujian tekan dipasang pengegang pada kedua ujung benda uji berupa kaping topi baja yang bertujuan untuk mengurangi friksi dan meratakan permukaan benda uji. Data yang didapat dari pengujian selanjutnya akan diolah dengan Microsoft Excel untuk mendapatkan output data grafik tegangan-regangan dan kuat tekan beton.

### HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian Material

Agregat kasar dan halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Yogyakarta, sedangkan *Fly ash* yang digunakan merupakan limbah yang berasal dari PLTU. 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, dan *specific gravity* agregat halus (SNI 1970 2008). Pada agregat kasar pengujian yang dilakukan adalah *specific gravity* agregat kasar (SNI-1969-2008) dan abrasi agregat kasar (SNI-2417-2008). Sementara itu, untuk 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 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

| Jenis Pengujian                  | Hasil Pengujian         | Standar                      | Kesimpulan      |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|
| <i>Absorbition</i>               | 2,1%                    | -                            | -               |
| <i>Apparent Specific Gravity</i> | 2,65 gr/cm <sup>3</sup> | -                            | -               |
| <i>Bulk Specific Gravity</i>     | 2,56 gr/cm <sup>3</sup> | -                            | -               |
| <i>Bulk Specific SSD</i>         | 2,51 gr/cm <sup>3</sup> | 2,5 – 2,7 gr/cm <sup>3</sup> | Memenuhi syarat |
| Keausan Material                 | 26,92 %                 | < 50 %                       | Memenuhi syarat |

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

| Jenis Pengujian                  | Hasil Pengujian         | Standar                      | Kesimpulan      |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|
| <i>Absorbtion</i>                | 1,94 %                  | -                            | -               |
| <i>Apparent Specific Gravity</i> | 2,63 gr/cm <sup>3</sup> | -                            | -               |
| <i>Bulk Specific Gravity</i>     | 2,50 gr/cm <sup>3</sup> | -                            | -               |
| Kandungan Zat Organik            | Kuning Muda             | Kuning Muda                  | Memenuhi syarat |
| Kandungan Lumpur                 | 4,5 %                   | Maksimal 5%                  | Memenuhi syarat |
| <i>Bulk Specific SSD</i>         | 2,55 gr/cm <sup>3</sup> | 2,5 – 2,7 gr/cm <sup>3</sup> | Memenuhi syarat |

Hasil pengujian material penyusun beton berupa agregat halus dan agregat kasar menunjukkan bahwa material yang digunakan telah memenuhi standar. Sementara itu berdasarkan hasil pengujian XRF, *fly ash* yang digunakan termasuk dalam kelas C menurut standar ASTM C618-03.

### 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 450 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 3.

Tabel 3. Rancang Campur Beton High Volume *Fly ash*-Self Compacting Concrete dan Beton Normal

| Kode | Presentase <i>Fly ash</i> | Semen (kg/m <sup>3</sup> ) | <i>Fly ash</i> (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> ) |
|------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| HVFA | 50%                       | 250                        | 250                                 | 773,70                       | 870,30                     | 145                      | 8                       |
| NC28 | -                         | 450                        | 0                                   | 944,69                       | 660,31                     | 220                      | 0                       |

### Hasil Pengujian Beton Segar

Tabel 4. Hasil Pengujian Beton Segar HVFA-SCC

| Jenis Pengujian   | Parameter     | Hasil Pengujian | Persyaratan Beton SCC (EFNARC 2005) |
|-------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|
| <i>Flow Table</i> | Diameter (mm) | 700             | 650-800 mm                          |
|                   | t50 (detik)   | 3,16            | 2 – 5 detik                         |
| <i>L-Box</i>      | h2/h1         | 0,91            | 0,8 – 1,0                           |
| <i>V-funnel</i>   | t (detik)     | 8,7             | 8 - 12 detik                        |

Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan, sample beton segar HVFA-SCC kadar *fly ash* 50% memenuhi persyaratan beton SCC menurut standar EFNARC 2005.

### Hasil Pengujian Berat Volume

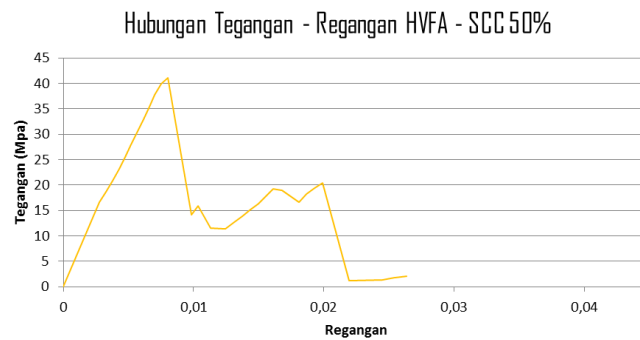
Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata

| No. | Benda Uji | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Berat (gr) | Berat volume (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----|-----------|---------------------------|------------|-----------------------------------|
| 1   | HVFA      | 5301,44                   | 12465      | 2351,24                           |
| 2   | NC        | 5301,44                   | 12215      | 2304,09                           |

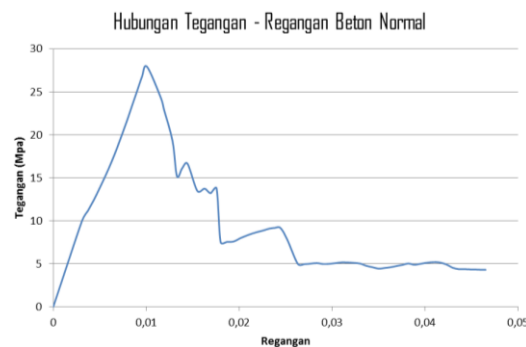
Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa berat volume beton HVFA-SCC lebih besar dari beton normal sering dengan lebih besarnya berat beton HVFA-SCC. Kedua jenis beton memiliki hasil penghitungan berat volume rata-rata diatas 2300 kg/m<sup>3</sup>, hal ini sesuai dengan SNI-03-2834-2000 bahwa beton memiliki berat volume (2200-2500) kg/m<sup>3</sup>.

### Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan

Grafik hubungan tegangan-regangan didapatkan dari hasil pengujian benda uji berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Mengacu pada peraturan ASTM C-39M, kecepatan *stress rate* disyaratkan sebesar 0,25 MPa/s. Pada pengujian ini digunakan strain rate sebesar 1 mm/menit menggunakan metode trial and error. Berikut adalah grafik tegangan-regangan yang didapatkan dari hasil pengujian beton normal dan beton HVFA-SCC kadar *fly ash* 50%.



Gambar 1. Kurva Tegangan-Regangan Beton HVFA-SCC Rata-Rata



Gambar 2. Kurva Tegangan-Regangan Beton Normal Rata-Rata

Dari grafik tegangan regangan yang didapatkan, dapat dilihat bahwa sample HVFA-SCC maupun beton normal memiliki bentuk grafik yang relatif sama dimana menunjukkan adanya perilaku yang sama pada pengujian kuat tekan dengan kekangan topi baja. Grafik *post-peak* menunjukkan adanya bentuk yang fluktuatif sebagai respon terhadap kekangan pada sample uji beton. Berdasarkan grafik tegangan-regangan rata-rata tersebut dapat dilihat nilai kuat tekan pada beton HVFA-SCC kadar *fly ash* 50% menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan beton normal. Hasil pembacaan kuat tekan maksimum rata-rata pada sampel HVFA-SCC kadar *fly ash* 50% dan beton normal disajikan pada Tabel 6.

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal dan Beton HVFA-SCC

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Rata-Rata

| No. | Benda Uji | Luas (mm <sup>2</sup> ) | Beban Maks (kN) | Kuat Desak (MPa) |
|-----|-----------|-------------------------|-----------------|------------------|
| 1   | HVFA.A    | 17671,46                | 726,77          | 41,13            |
| 2   | NC.A      | 17671,46                | 493,81          | 27,94            |

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata nilai kuat tekan beton HVFA-SCC kadar 50% lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton normal pada umur 28 hari. Rata-rata kuat tekan beton HVFA-SCC kadar 50% umur 28 hari sebesar 41,13 MPa, sedangkan untuk beton normal umur 28 hari sebesar 27,94 MPa. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan tersebut dapat dilihat bahwa penambahan *fly ash* dapat menaikkan kuat tekan pada beton. Hal ini dikarenakan pada beton HVFA-SCC kadar *fly ash* 50% terdapat adanya reaksi silika dalam *fly ash* dengan

hasil sampingan reaksi hidrasi semen berupa  $\text{Ca(OH)}_2$  yang mampu menghasilkan C-S-H gel sehingga mampu membantu meningkatkan kekuatan beton itu sendiri.

## SIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton HVFA-SCC kadar *fly ash* 50% lebih besar dari beton normal pada usia 28 hari.
2. Kekangan topi baja pada sample beton menimbulkan adanya bentuk yang fluktuatif pada daerah *post-peak* sebagai respon adanya kekangan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Agus Setiwa Budi, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Endah Safitri, S.T., M.T., selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan dalam penyusunan. Rasa terima kasih penulis sampaikan khusus untuk tim Gabungan Super 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. Surakarta
- Ariawan, Bayu dan Johan P. Sirait. 2010. "Dampak Sistem Kaping terhadap Pola Pecah dan Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton". Universitas Diponegoro. Semarang.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. "SN1 03-2834-2000, "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. "SNI 15-2049-2004 Semen Portland". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta." Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- 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.
- EFNARC. 2002."Specification and Guidelines for Self– Compacting Concrete".
- EFNARC.2005." The European Guidelines for Self-Compacting Concrete".
- 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. Surakarta.
- Gere dan Timoshenko. "Mekanika Bahan". Erlangga : Jilid II Edisi 4. Jakarta.
- Kardiyono Tjokrodinuljo. 1996."Teknologi Beton".Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Karina Puspa Amalia. 2018."The Effect of fly ash content for Material's Characteristics of High Volume Fly ash- Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)". Universitas Sebelas Maret. Surakarta.