

# PENGARUH DIAMETER TULANGAN TERHADAP KUAT LEKAT PADA *HIGH VOLUME FLY ASH SELF COMPACTING CONCRETE* (HVFA-SCC) DENGAN SAMBUNGAN LEWATAN

Achmad Basuki<sup>1</sup>, Muhammad Daffa Auliarahman<sup>1</sup>, Halwan Alfisa Saifullah<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami No. 36, Kentingan Surakarta, Jawa Tengah 57126

\*Email: [halwan@ft.uns.ac.id](mailto:halwan@ft.uns.ac.id)

## Abstract

Cement is the second most used product after water in this world. According to the Indonesian Cement Association, the consumption of cement in Indonesia in 2021 reach 66.21 million tons. The negative effect of that is environmental pollution because the combustion of cement produces CO<sub>2</sub> (Trisnoyuwono, 2015). The improvement of infrastructure increases the demand of cement. Because of the increasing demand for cement, it is necessary to make innovative concrete that reduce the cement use in order to reduce environmental pollution. One of the innovations currently being developed is High Volume Fly Ash (HVFA) and Self Compacting Concrete (SCC). High Volume Fly Ash Concrete (HVFA-SCC) is a concrete that contains fly ash as a cement substituent with the minimum of replacement is 50% of the total weight of the binder. The purpose of this study is to analyze the effect of reinforcement diameter to bond strength on High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete with lap splices. This research using experimental method that tested at the laboratory. The specimen is a reinforced concrete beam with 15 cm width, 25 cm height, and 200 cm length. The quality of the concrete has a compressive strength with  $f_c$  30 MPa and 300 mm splice length and reinforcement in the tension area using screw reinforcement with diameter of 16 mm and 19 mm while in the compression area using plain reinforcement with a diameter of 8 mm. The recorded data is the maximum load, deflection, strain of the reinforcement, and failure mode. The results of the study indicate that the bond strength of HVFA-SCC is greater than the normal concrete so that further studies are needed on the through-life length of HVFA-SCC.

**Keywords:** Bond Strength, High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete, Reinforcement diameter, Splice length

## Abstrak

Semen merupakan produk yang paling banyak digunakan kedua setelah air di dunia. Menurut Asosiasi Semen Indonesia (ASI) konsumsi semen di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 66,21 juta ton. Konsumsi semen yang banyak berpengaruh kepada pencemaran lingkungan karena pembakaran dari semen menghasilkan CO<sub>2</sub> (Trisnoyuwono, 2015). Meningkatnya infrastruktur membuat kebutuhan semen semakin meningkat. Meningkatnya permintaan akan semen, maka diperlukan inovasi beton yang dapat mengurangi kebutuhan semen agar mengurangi pencemaran lingkungan. Dewasa ini marak dikembangkan inovasi beton High Volume Fly Ash (HVFA) dan beton Self Compacting Concrete (SCC). Beton High Volume Fly Ash (HVFA) adalah beton yang mengandung fly ash sebagai substituent semen dengan minimal kadar yang tergantikan adalah 50% dari berat total binder. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh diameter tulangan terhadap kuat lekat rata-rata sambungan lewatan balok HVFA-SCC. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tempat pengujian di Laboratorium. Sampel benda uji yang digunakan berupa balok beton bertulang dengan dimensi sebesar 15 cm x 25 cm x 200 cm. Beton yang digunakan memiliki kuat tekan  $f_c$  sebesar 30 MPa dengan panjang lewatan sepanjang 300 mm dan tulangan pada daerah tarik menggunakan tulangan ulir dengan diameter 16 mm dan 19 mm sedangkan pada daerah tekan menggunakan tulangan polos dengan diameter 8 mm. Data hasil pengujian berupa beban maksimum, lendutan, regangan tulangan, dan modus keruntuhan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kuat lekat HVFA-SCC lebih besar dibandingkan dengan beton konvensional sehingga perlu adanya kajian lebih lanjut mengenai panjang lewatan HVFA-SCC.

**Kata Kunci :** Diameter tulangan, High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete, Kuat lekat, Sambungan lewatan

## PENDAHULUAN

Meningkatnya infrastruktur membuat kebutuhan semen semakin meningkat. Konsumsi semen yang banyak berpengaruh kepada pencemaran lingkungan karena pembakaran dari semen menghasilkan CO<sub>2</sub> (Trisnoyuwono, 2015). Meningkatnya permintaan akan beton, maka diperlukan inovasi yang dapat mengurangi kebutuhan semen agar mengurangi pencemaran lingkungan. Inovasi beton yang marak dikembangkan dewasa ini adalah beton High Volume Fly Ash (HVFA) dan beton Self Compacting Concrete (SCC).

High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) adalah inovasi beton yang memanfaatkan Fly Ash sebagai substituent semen dalam jumlah besar yaitu minimal 50% dan memiliki *workability* yang tinggi akibat dari penambahan *superplasticizer* sehingga beton dapat mengalir sendiri. (Astuti dkk., 2018) Inovasi HVFA-SCC marak dikembangkan karena menjadi solusi atas pencemaran lingkungan akibat penggunaan semen. Selain itu dengan *workability* yang tinggi dan pemanfaatan limbah batu bara membuat HVFA-SCC menjadi beton yang ekonomis.

Beton adalah material dengan kuat tekan yang tinggi dan baja tulangan adalah material dengan kuat tarik yang tinggi. Kedua sifat material tersebut digabungkan menjadi beton bertulang yang mampu menahan gaya tekan dan gaya tarik yang dibebankan pada balok. Pada praktiknya panjang baja tulangan yang tersedia tidak memenuhi panjang baja tulangan yang dibutuhkan terutama pada struktur menerus. Hal ini disebabkan karena panjang baja tulangan yang beredar di pasaran hanya 12 m. Oleh karena itu harus dilakukan penyambungan baja tulangan dengan panjang lewatan (*splice length*) yang sesuai. (Ferdyan, 2020)

*Splice length* pada balok harus dapat menahan beban lentur yang terjadi pada struktur tersebut. Pada beton bertulang, kekuatan struktur dapat bekerja maksimal saat beton mampu mengikat tulangan secara kuat agar tulangan tidak tercabut saat menahan beban. Kekuatan lekat ini nantinya akan menentukan panjang minimal tulangan yang harus tertanam (*development length*) agar tulangan dapat mencapai kekuatan batas lelehnya saat menahan beban.

Transfer beban atau tekanan pada beton bertulang berdasarkan pada ikatan antara besi tulangan dan beton yang menyelimutinya. Transfer ini terjadi akibat dari perlawanan terhadap gelincir antara beton dengan permukaan besi tulangan yang tertanam pada beton. Perlawanan terhadap gelincir didefinisikan sebagai kuat lekat. Lekatan antara besi tulangan dengan beton yang menyelimutinya bergantung pada tiga hal yaitu adhesi, friksi, dan *mechanical interaction* antara permukaan besi tulangan dengan beton yang menyelimutinya.

### **Self Compacting Concrete (SCC)**

Pengertian dari SCC sendiri adalah beton yang dapat mengalir karena berat sendiri sehingga mampu mengisi ruang-ruang kosong dalam bekisting maupun melewati celah tulangan tanpa memerlukan alat bantu pemadat, serta mampu mempertahankan dari terjadinya segregasi pada beton (EFNARC, 2005). Penyebab dari beton memadat sendiri yang memiliki kemampuan untuk mengalir tanpa pemadat dengan tetap mempertahankan ketahanan terhadap segregasi terjadi karena dua faktor. Faktor yang pertama adalah penggunaan *superplasticizer* yang memadai sehingga komposisi agregat dapat tercampur merata. Faktor yang kedua adalah pengaruh perbandingan rasio air-semen yang rendah yang dapat dikendalikan dengan cara mengkombinasikan volume agregat dengan agregat pengisi 0,125 mm. (Hela dkk., 2006)

### **High Volume Fly Ash (HVFA)**

Kandungan *fly ash* pada beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) berfungsi sebagai *substituent* semen dengan minimal kadar yang tergantikan adalah 50% dari berat total binder. Dengan penambahan *fly ash* akan meningkatkan durabilitas pada beton karena di dalam *fly ash* terdapat kandungan silicanya akan bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  yaitu hasil hidrasi semen membentuk *Calcium Silicat Hidrat* yaitu senyawa kekuatan beton. Beton HVFA memiliki daya tahan terhadap korosi tulangan yang baik, dan juga stabilitas terhadap retak dari susut termal yang baik (Malhotra dkk., 2005). Kelebihan lainnya dari beton HVFA adalah penggunaan faktor air semen (fas) pada beton HVFA kecil akibatnya akan menaikkan kekuatan beton, biaya yang digunakan relatif sedikit dibandingkan dengan beton konvensional karena mengurangi pemakaian semen, pemanfaatan beton HVFA dianggap lebih ramah lingkungan atau *eco friendly* karena memanfaatkan limbah beracun sehingga limbah tersebut dapat dimanfaatkan kembali, kuat tekan beton HVFA akan terus meningkat setelah 28 hari hingga melebihi kekuatan maksimalnya, dan waktu curing dari beton HVFA berkisar antara tiga sampai enam bulan agar dapat lebih tahan terhadap *chloride* dan *electrical ion penetration* sesuai dengan ASTM C 1202-12 (Wibowo, 2017).

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

HVFA- SCC merupakan inovasi terbaru dari teknologi HVFA dan SCC. HVFA-SCC bisa didefinisikan sebagai tipe baru dari SCC yang terdiri dari proporsi material yang digunakan secara cermat termasuk banyaknya *fly ash* yaitu minimal 50% dari total semen untuk membentuk beton yang tahan lama, kuat, dan ramah lingkungan. Dari perspektif keberlanjutan, menggabungkan beton dengan menggunakan *fly ash* yang tinggi dan perilaku reologi dari SCC dapat menghasilkan beton yang lebih *eco friendly*. Sebagaimana yang telah disinggung sebelumnya HVFA-SCC merupakan teknologi beton baru, oleh karena itu belum ada data yang tersedia atau studi mengenai HVFA-SCC tentang kinerja HVFA-SCC. (Alghazali dkk., 2019)

### **Kuat Lekat Tulangan**

Persyaratan pokok dari struktur beton bertulang adalah adanya lekatan (*bond*) antara tulangan baja dan beton. Kekuatan lekatan berfungsi untuk menghindari keruntuhan total dari balok karena dapat memberikan kekuatan antara tulangan baja dengan beton sekelilingnya. Meskipun terjadi pemisahan hampir diseluruh titik antara tulangan

dengan beton tetapi pada ujung tulangan tidak terlepas, beton masih dapat menahan beban di atasnya. Integrasi antar tulangan dapat dilakukan dengan cara pengangkuran mekanis yaitu tulangan harus disambungkan dengan panjang lewatan tertentu agar melewati titik beban maksimum terjadi. Dengan begitu struktur beton dapat meningkatkan kapasitas tariknya secara optimal (Wang dkk., 1993).

Kekuatan lekatan antara tulangan dan beton tersebut terjadi karena beberapa faktor (Nawy, 1996) yaitu :

1. Adhesi yang terjadi antara tulangan dan beton
2. *Gripping* (memegang) dan saling geser antara kedua material akibat dari susut pengeringan.
3. Terjadinya tegangan tarik yang dialami oleh tulangan saat terjadi gesekan dan saling *interlocking*
4. Kuat tarik dan kuat tekan menentukan kualitas beton
5. Efek mekanis dari pengangkuran tulangan
6. Pertambahan retak dipengaruhi oleh diameter, jarak, dan bentuk tulangan.

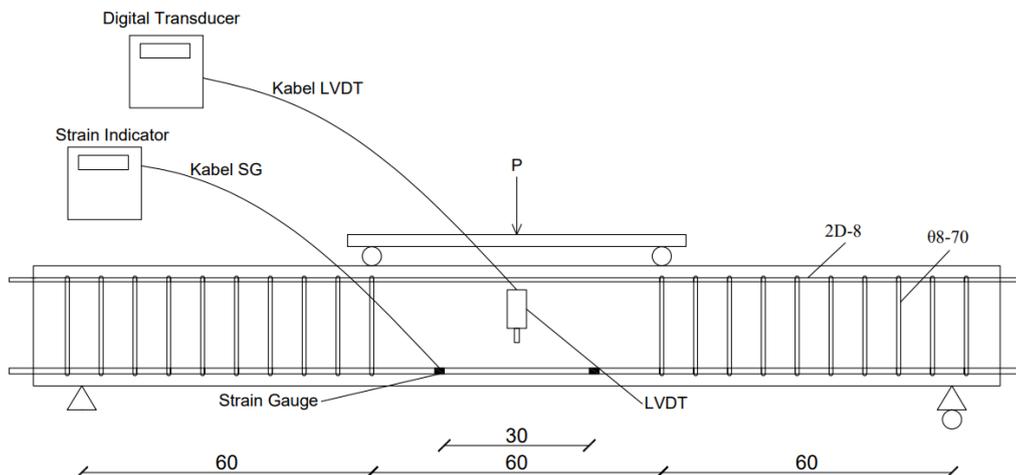
## METODE

Pengujian dilakukan di Laboratorium dengan metode penelitian eksperimental. Sampel benda uji yang digunakan berupa balok beton bertulang berjumlah dua balok dengan dimensi 15 cm x 25 cm x 200 cm. Beton yang digunakan memiliki kuat tekan  $f'_c$  sebesar 30 MPa dan spesifikasi tulangan ulir dengan kuat leleh  $f_y$  405 MPa dengan panjang lewatan sepanjang 300 mm. Variasi benda uji terletak pada diameter tulangan pada daerah tarik yaitu menggunakan diameter 16 mm dan 19 mm. Data benda uji balok dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesimen Balok

No.	Kode Benda Uji	Ukuran (PxLxT) (mm)	Diameter Tulangan	Panjang Sambungan
1	B-16	2000x150x250	16 mm	300 mm
2	B-19	2000x150x250	19 mm	300 mm

Data yang diambil dari pengujian ini berupa besar beban  $P$ , defleksi balok yang didapat dari pembacaan LVDT, dan regangan pada tulangan tarik yang didapat dari pembacaan *strain gauge*. LVDT diletakkan pada tengah bentang balok karena pada titik tersebut terjadi defleksi maksimal. *Strain gauge* diletakkan pada ujung sambungan lewatan karena pada titik tersebut terjadi tegangan baja maksimal.



Gambar 1 Model spesimen balok

Gambar 1 menunjukkan potongan memanjang spesimen yang akan digunakan. Balok yang akan diuji tidak memiliki sengkang pada bagian lapangan. *Strain gauge* dipasang pada ujung sambungan lewatan dan LVDT dipasang pada tengah bentang agar didapat regangan dan lendutan maksimal. Tulangan pada sisi atas dipasang tulangan polos berjumlah dua dengan diameter 8 mm sedangkan pada bagian bawah dipasang tulangan ulir dengan diameter bervariasi yaitu 16 dan 19 mm.

### Mix Design

Penelitian kali ini menggunakan HVFA-SCC dengan mutu kuat tekan rencana ( $f_c$ ) sebesar 30 MPa. Perhitungan *mix design* mengikuti EFNARC 2005. Hasil *mix design* pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Mix design HVFA-SCC

Kebutuhan Bahan					
Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Semen (Kg)	Fly Ash (Kg)	Superplasticizer (L)	Air (L)
876,76	634,89	275	275	5,5	176

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian beton segar meliputi *slump flow*, *L-Box*, dan *V-funnel* dengan persyaratan mengikuti EFNARC 2005. Hasil pengujian beton segar dapat dilihat pada Tabel 3 dimana dari hasil pengujian menunjukkan bahwa beton segar telah memenuhi syarat menurut EFNARC 2005.

Tabel 3. Hasil pengujian beton segar

Jenis Pengujian	Parameter	Hasil Pengujian Beton Segar	Persyaratan Beton SCC (EFNARC 2005)
<i>Slump Flow</i>	Diameter (mm)	670 mm	600 - 700 mm
	$T_{50}$ (detik)	4,65 detik	2 - 5 detik
<i>L-Box</i>	$h_2/h_1$	0,86	0,8 - 1,0
<i>V-funnel</i>	t (detik)	9,10 detik	6 - 12 detik

Pengujian kuat tarik baja menggunakan UMT (*Universal Testing Machine*). Besi yang digunakan merupakan besi ulir dan besi polos. Sifat mekanis dari baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Diameter Tulangan (mm)	Diameter Test (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Gaya Leleh (kgf)	Gaya Maks (kgf)	Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Maks (MPa)
Ø 8	7,64	45,88	1590	2200	339,64	469,94
D 16	15,63	191,78	8125	11385	415,49	582,08
D 19	15,95	199,81	7820	10990	390,42	549,05

### Pola Retak Balok HVFA-SCC

Perilaku balok terhadap beban yang diterima ditunjukkan pada pola keretakan pada balok. Modus keruntuhan pada struktur balok antara lain *splitting*, *slippage*, atau *flexure*. Berikut adalah pola retak dari spesimen balok HVFA-SCC.



Gambar 2 Gambar Pola Retak Spesimen B 16



Gambar 3 Gambar Pola Retak Spesimen B 19

Gambar 2 dan Gambar 3 memperlihatkan pola retak balok dengan modulus keruntuhan *splitting*. Keruntuhan *splitting* ditandai dengan retak horizontal. Retak diawali dengan retak lentur yang terjadi pada bagian tengah bentang akibat dari momen maksimal. Seiring bertambahnya beban retak lentur terus bertambah hingga terjadi pada luar area momen konstan dan menunjukkan retak geser. Retak horizontal terjadi pada saat terjadi peningkatan lendutan yang tinggi meskipun peningkatan beban tidak terlalu besar. Retakan terus bertambah dari bagian tarik beton hingga menembus pada bagian tekan beton dan sesaat setelah retak menembus daerah tekan beton terjadilah kegagalan. Hal tersebut menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi adalah *splitting*.

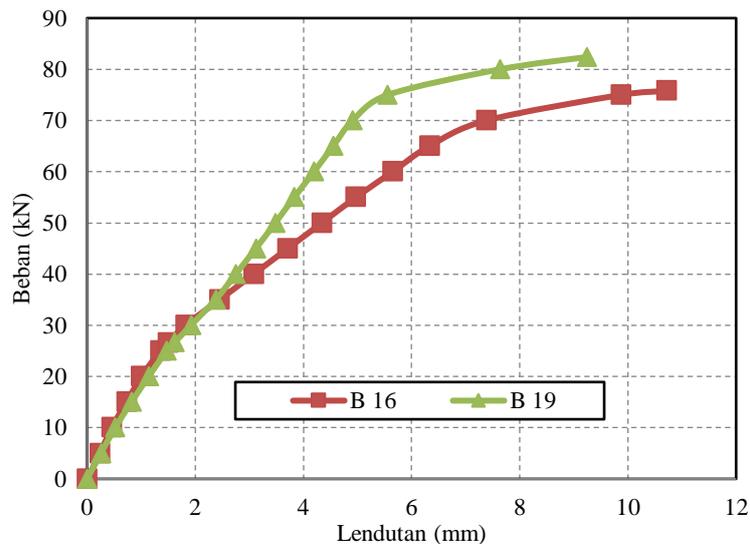
Nilai rata-rata hasil pengujian balok dapat dilihat pada Tabel 5. Data yang tercantum meliputi kuat tekan beton ( $f_c$ ), beban saat retak pertama (P retak), beban maksimal (P maks), lendutan, regangan, tegangan ( $f_s$ ), dan kuat lekat ( $u$ )

Tabel 5 Hasil pengujian balok HVFA-SCC

Benda Uji	$f_c$ (MPa)	P retak (kN)	P maks (kN)	Lendutan (mm)	Regangan ( $10^{-6}$ mm)	$f_s$ (Mpa)	$u$ (Mpa)
B-16	33,12	26,57	75,80	10,72	1866	373,2	4,98
B-19		26,68	82,40	9,24	1476	295,2	4,68

### Beban Lendutan

Lendutan didapat dari data hasil pengujian berupa beban dan defleksi yang didapat dari pembacaan LVDT (*linear variable displacement transducer*) yang dibaca melalui data logger. Hasil dari data beban lendutan dibuat grafik dan dapat dilihat pada Gambar 4

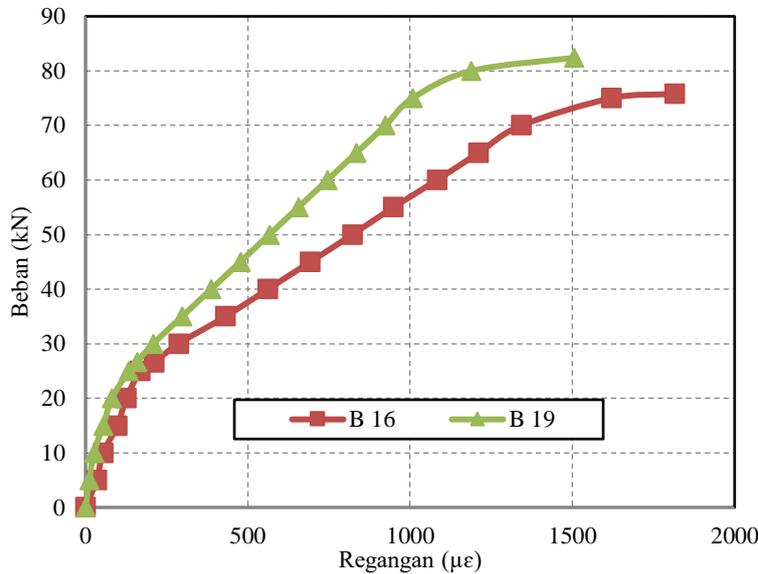


Gambar 4 Grafik beban lendutan

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara beban dan lendutan dari awal ketika balok mengalami pembebanan hingga tepat saat terjadi keruntuhan. Pada grafik tersebut menunjukkan terjadi tren yang curam pada awal pembebanan. Hal tersebut menandakan bahwa kekakuan balok masih relatif tinggi. Kemudian kurva mulai melandai saat terjadi retak pertama yang merupakan *flexural cracking load*. Kurva yang melandai menandakan bahwa kekakuan balok sudah mulai menurun sehingga terjadi peningkatan defleksi yang lebih besar dari sebelumnya. Keadaan selanjutnya adalah ketika terjadi retak horizontal. Keadaan tersebut mengakibatkan penambahan defleksi yang semakin besar sehingga membentuk kurva yang lebih landai. Lendutan akan mencapai nilai maksimal ketika balok mengalami keruntuhan. Pada saat kondisi tersebut balok sudah tidak mampu menerima beban tambahan. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin besar diameter tulangan maka balok dapat menahan beban ultimit lebih besar tetapi regangan yang dihasilkan semakin kecil.

**Beban-Regangan**

Regangan pada tulangan balok dibaca melalui *strain gauge* tipe. *Strain gauge* dipasang pada ujung dari sambungan lewatan dan pada sisi bawah tulangan secara melintang. Hasil dari pembacaan regangan dibuat grafik beban-regangan yang ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5 Grafik beban regangan

Gambar 5 menunjukkan hasil dari pembacaan beban dan regangan dari tulangan pada lokasi ujung sambungan lewatan. Grafik tersebut memperlihatkan perbedaan regangan antara kedua spesimen balok. Grafik tersebut menunjukkan hubungan trilinear pada semua balok yang berarti mengalami tiga keadaan. Keadaan pertama saat balok diberi beban hingga terjadi retak pertama. Kemudian keadaan antara balok mengalami retak pertama hingga balok mengalami retak horizontal. Keadaan terakhir adalah Ketika terjadi retak horizontal hingga balok mengalami keruntuhan.

**Perbandingan HVFA-SCC dengan Data Beton Konvensional**

Data kuat lekat dari hasil pengujian balok HVFA-SCC diilustrasikan pada Tabel 6, dimana  $f_c$  adalah kuat tekan beton,  $d_b$  adalah diameter tulangan,  $u$  adalah kuat ikat, dan  $u/\sqrt{f_c}$  adalah kuat lekat ternormalisasi.

Tabel 6 Kuat lekat HVFA-SCC

Benda Uji	$f_c$ (MPa)	Diameter (mm)	$u$ (Mpa)	$1/d_b$	$u/\sqrt{f_c}$
B-16	33,12	16	4,98	0,063	0,865
B-19		19	4,68	0,053	0,813

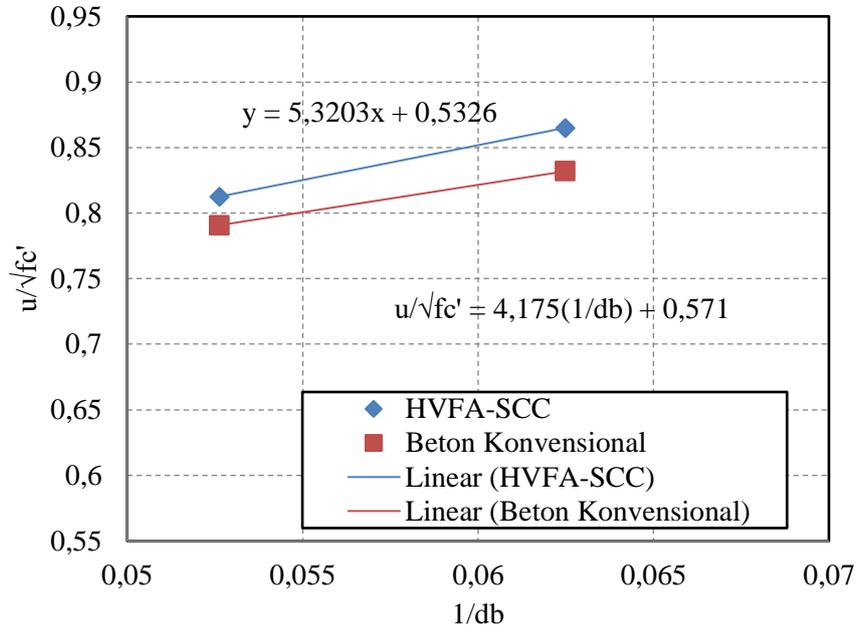
Tabel 6 menunjukkan hasil tes pengaruh diameter tulangan terhadap kuat lekat balok HVFA-SCC. Semua benda uji memiliki *variable* yang konstan kecuali pada diameter tulangan. Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa kuat lekat balok HVFA-SCC ( $u$ ) menurun seiring meningkatnya diameter tulangan. Hasil dari pengujian didapatkan persamaan antara  $\frac{u}{\sqrt{f_c}}$  dengan  $1/d_b$  seperti berikut

$$\frac{u}{\sqrt{f_c}} = 0,533 + \frac{5,320}{d_b} \dots\dots\dots [1]$$

Hasil pengujian kuat lekat HVFA-SCC tersebut dibandingkan dengan beton normal. Data beton normal diambil dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Kazim Turk. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan persamaan kuat lekat ternormalisasi untuk beton normal yaitu

$$\frac{u}{\sqrt{f_c}} = 0,571 + \frac{4,175}{d_b} \dots\dots\dots [2]$$

Perbandingan antara kuat lekat HVFA-SCC dengan beton konvensional dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan distribusi kuat lekat HVFA-SCC dan beton konvensional yang disajikan dalam bentuk grafik antara  $u/\sqrt{f'c}$  dengan  $1/db$ .



Gambar 6 Perbandingan kuat lekat beton HVFA-SCC dengan Beton Normal

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara kuat lekat ternormalisasi dan  $1/db$  pada HVFA-SCC (warna biru) dan beton konvensional (warna merah). Grafik kuat lekat HVFA-SCC menunjukkan grafik HVFA-SCC berada di atas grafik beton konvensional. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penggunaan HVFA-SCC menghasilkan kuat lekat yang lebih baik dibandingkan beton konvensional. Oleh karena itu formula panjang lewatan pada beton HVFA-SCC perlu dibedakan agar material lebih efisien untuk kebutuhan panjang lewatan. Perbedaan kuat lekat beton HVFA-SCC dan beton konvensional akan membuat kebutuhan panjang lewatan pada beton HVFA-SCC lebih pendek, sehingga lebih efisien dalam penggunaan material baja tulangan

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan dari modulus keruntuhan, beban maksimal, lendutan, regangan, perilaku defleksi beban, dan kuat lekat beton pada benda uji balok HVFA-SCC dengan tulangan tersambung pada daerah tengah bentang momen konstan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa diameter tulangan pada balok beton memiliki pengaruh yang sangat penting terhadap kuat lekat balok, karena kuat lekat beton akan meningkat seiring berkurangnya diameter tulangan. Hal tersebut diakibatkan semakin besar diameter maka jarak antar tulangan semakin kecil sehingga kuat lekat akan semakin menurun.
2. Pola retak yang terjadi pada spesimen balok menunjukkan kegagalan yang berbeda tergantung dari besar diameter tulangan. Balok dengan diameter 16 mm dan 19 mm menunjukkan kegagalan *splitting* yang terjadi akibat kegagalan sambungan.
3. Grafik beban-lendutan menunjukkan kurva trilinear atau balok mengalami tiga keadaan saat diberi beban. Keadaan pertama saat balok mulai diberi beban hingga terjadi retak pertama. Keadaan kedua adalah antara retak pertama hingga balok mengalami retak horizontal sehingga terjadi pelimpahan beban ke tulangan baja seluruhnya. Keadaan terakhir adalah ketika terjadi retak horizontal hingga balok mengalami keruntuhan.
4. HVFA-SCC menghasilkan kuat lekat yang lebih tinggi daripada beton normal, maka sambungan lewatan yang diperlukan untuk HVFA-SCC akan lebih pendek daripada beton konvensional.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada segenap tim *Structural Research* yang telah bekerja keras dengan penuh kesabaran dalam terlaksananya penelitian kuat lekat HVFA-SCC. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada bapak dan ibu

dosen beserta staff Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret khususnya bagian peminatan struktur yang sudah membantu kelancaran penelitian di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Struktur program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

## REFERENSI

- Alghazali, H. H., dan Myers, J. J., 2019, "Bond Performance of High-Volume Fly Ash Self-Consolidating Concrete In Full-Scale Beams" *ACI Structural Journal*, 116(1), 161–170.
- Astuti, R. K., Budi, A. S., dan Sangadji, S. 2018, "Pengaruh Perbedaan Bentuk Penampang Spesimen Terhadap Hubungan Tegangan dan Regangan pada Beton High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)", *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 71–78.
- EFNARC, 2005, "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use", Norfolk UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- Ferdyan, E. F., 2020, "Pengaruh Splice Length Terhadap Perilaku Lentur Balok Beton High Volume Fly Ash Self-Compacting Concrete (HVFA-SCC)", Universitas Sebelas Maret.
- Hela, R., dan Hubertova, M., 2006, "Selbverdichtender Beton (SVB), Teil 2 : Bestandteile, Methoden, und Grundsatze des Entwurfs", *Beton Fertigteil (BFT)*, No.3, March 2006, 10–19.
- Malhotra, V., dan Kumar, P. M., 2005, "High Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories", Ottawa, Canada, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.
- Nawy, E. G., 1996, "Prestressed Concrete – A Fundamental Approach", 5th edition, Prentice Hall. New Jersey.
- Trisnoyuwono, D., 2015, "Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Sifat Workability Dan Sifat Fisik - Mekanik Beton Non Pasir Dengan Agregat Alwa Asal Cilacap", *Jurnal Rekayasa Sipil*, 29–36. <https://rekayasasipil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/295>
- Turk, K., dan Yildirim, M. S., 2003, "Bond Strength Of Reinforcement In Splices In Beams", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol 16 No. 4, pp. 469–478. <https://doi.org/10.12989/sem.2003.16.4.469>
- Wang, C. K., dan Salmon, C. G., 1993, "Desain Beton Bertulang (4 ed.), Erlangga.