

PERILAKU GESER BALOK BERTULANG HVFA-SCC (STUDI KASUS BALOK DENGAN RASIO BENTANG GESER TERHADAP TINGGI EFEKTIF 2.5)

Alfian Muhammad Rosyid Ridho, Fendy Prayogo Wicaksono, Halwan Alfisa Saifullah
Agus Setiya Budi, Agus Supriyadi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan Surakarta 57126; Telp 0271-634524.

*Email: halwan@ft.uns.ac.id

Abstract

High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) is one of the most recent technological advances in concrete technology. In addition to making construction work more manageable, this type of concrete is also more environmentally friendly because it can reduce the rate of CO₂ emissions and reduce the amount of waste. HVFA-SCC concrete has different material characteristics compared to ordinary concrete. This obviously will affect the behaviour at the structural level. Shear failure is one of the structural failure modes that can occur in reinforced concrete structures. This failure mode is generally avoided because of its brittle nature. Research on the shear behaviour of HVFA-SCC reinforced concrete structures is still minimal. Therefore, this study was conducted to study further the shear behaviour of HVFA-SCC reinforced concrete beams with a shear span to an effective height ratio of 2.5. The loading test was carried out on the HVFA-SCC beam with a size of 150x325x1850 mm. The beam's flexural strength is designed to be greater than its shear strength to ensure shear failure. Crack development, beam deflection, and strain values in the longitudinal reinforcement were observed during the loading test.

Keyword: concrete, HVFA-SCC, shear

Abstrak

High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) merupakan salah satu inovasi terbaru dalam perkembangan teknologi beton. Selain mempermudah pekerjaan konstruksi, jenis beton ini juga lebih ramah lingkungan karena dapat menekan laju emisi CO₂ serta mengurangi jumlah limbah. Beton HVFA-SCC memiliki karakteristik material yang berbeda dibandingkan dengan beton biasa. Hal ini tentu saja akan berpengaruh pada perilaku pada level struktur. Salah satu modus kegagalan struktur yang dapat terjadi pada struktur beton bertulang adalah modus kegagalan geser. Modus kegagalan ini pada umumnya dihindari karena sifatnya yang getas dan terjadi secara tiba-tiba. Penelitian terkait dengan perilaku geser struktur beton bertulang HVFA-SCC masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji lebih jauh perilaku geser balok beton bertulang HVFA-SCC dengan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif 2.5. Uji pembebanan dilakukan terhadap balok HVFA-SCC ukuran 150 x 325 x 1850 mm. Balok direncanakan dengan kuat lentur yang lebih besar daripada kuat geser nya untuk menjamin terjadinya keruntuhan geser. Perkembangan retak, defleksi balok, dan nilai regangan pada tulangan longitudinal dimonitor selama uji pembebanan.

Kata Kunci: beton, geser, HVFA-SCC

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Perkembangan dan inovasi dalam teknologi beton terus dilakukan hingga saat ini. *High Volume Fly Ash* (HVFA) dan *Self Compacting Concrete* (SCC) atau beton memadat sendiri merupakan contoh hasil inovasi dalam teknologi beton. Beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) merupakan jenis beton dengan kadar campuran *fly ash* yang cukup tinggi (pada umumnya lebih dari 30% atau 50% dari bahan semen). *Fly Ash* berperan sebagai binder pada campuran beton menggantikan sebagian bahan semen. *Fly Ash* sendiri merupakan bahan buangan hasil dari pembakaran batu bara. Oleh karena itu, penggunaan beton HVFA secara tidak langsung dapat mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan dalam proses produksi bahan semen, sekaligus dapat mengurangi jumlah limbah di lingkungan. Adapun SCC merupakan beton yang memiliki kemampuan memadat tanpa bantuan penggunaan *vibrator*, dan dapat mengalir memenuhi bekisting yang ada dengan beratnya sendiri. Penggunaan SCC dapat mengefisiensikan biaya dan waktu karena beton dapat memadat sendiri dan tidak menimbulkan polusi suara dari *vibrator*. HVFA-SCC merupakan bentuk perpaduan antara beton HVFA dan SCC yang diharapkan memiliki semua keunggulan yang juga dimiliki oleh kedua jenis beton tersebut (R. Siddique, 2004; P. Dinakar dkk, 2008; A.D. Herrera dkk, 2011; C. H. Huang dkk, 2013; T. Hemalatha & A. Ramaswamy, 2017).

Kegagalan geser (*shear failure*) pada umumnya dihindari dalam perencanaan struktur beton bertulang karena perilaku keruntuhan alamiahnya yang sifatnya getas dan tiba-tiba. Jenis kegagalan ini dapat dihindari dengan cara meningkatkan kapasitas geser dari elemen struktur beton bertulang yang didesain melebihi kapasitas lenturnya. Peningkatan kapasitas geser ini dapat dilakukan dengan cara memperbesar dimensi elemen struktur, meningkatkan kuat material, dan menambahkan sengkang (tulangan geser). Meskipun begitu, perubahan modulus kegagalan geser menjadi modulus kegagalan lentur yang lebih daktail sulit untuk dilakukan untuk jenis struktur tertentu yang memang didominasi oleh perilaku geser (misalnya *transfer beam*, *pile cap*, dan dinding terowongan) (Collins dkk, 2008)

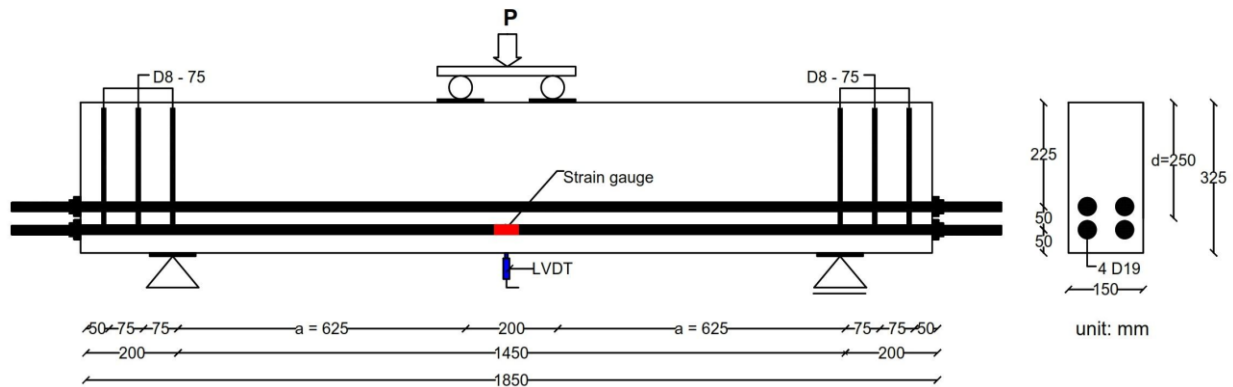
Mekanisme transfer geser pada struktur balok beton bertulang sangat dipengaruhi oleh rasio bentang geser terhadap tinggi efektif. Mekanisme ini terdiri dari *arching action* (aksi pelengkung) dan *beam shear-carrying action* (aksi balok). *Arching action* menjadi semakin dominan dengan semakin pendeknya bentang geser balok. *Strut* tekan akan terbentuk (menghubungkan titik pembebanan dan titik tumpuan) membawa seluruh kontribusi beton dalam menahan geser, sedangkan tulangan longitudinal akan berfungsi sebagai komponen pengikat yang mengambil seluruh tegangan tarik yang terjadi. Di sisi lain, mekanisme *beam shear-carrying action* menjadi dominan pada kasus balok dengan bentang geser yang cukup besar. *Beam shear-carrying action* terdiri dari: (1) *uncracked concrete in the compression zone* (perlawanan geser oleh beton yang belum retak); (2) *aggregate interlock* (gaya ikat antar agregat); (3) *Dowel action* (aksi pasak) pada tulangan-tulangan longitudinal atau; (4) kuat tarik residual; dan (5) aksi tulangan geser. Proporsi dari masing-masing mekanisme tersebut bervariasi dalam setiap kasus tergantung pada sifat material, kedalaman zona tekan, kemiringan dan kekasaran retakan diagonal, serta kuat lekat antara tulangan dan beton (M.F. Ruiz dkk, 2015).

Kuat geser suatu elemen struktur beton bertulang dapat diperkirakan menggunakan persamaan atau formula yang tercantum dalam peraturan perancangan struktur beton yang saat ini berlaku (*code of practices*). Akan tetapi, persamaan ini diturunkan secara empiris dari data hasil pengujian di laboratorium menggunakan material beton biasa (C. Lin & J. Chen, 2012; C.A. Ortega, 2012; M. Arezoumandi dkk, 2013; H.H. Alghazali & J.J. Myers, 2017). Modifikasi terhadap rumus kuat geser tersebut mungkin diperlukan mengingat beton HVFA-SCC memiliki karakteristik material yang berbeda dibandingkan dengan beton biasa. Oleh karena itu penelitian ini diusulkan untuk menginvestigasi perilaku geser balok beton bertulang HVFA-SCC dengan mengambil studi kasus balok dengan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif sebesar 2.5.

METODE

Pengujian Beton Segar, Pengujian Sifat Mekanik Material, dan Pengujian Balok

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dengan melibatkan serangkaian pengujian yaitu pengujian beton segar, pengujian sifat mekanik material, dan pengujian balok. Pengujian beton segar dilakukan bersamaan dengan proses pengecoran beton meliputi pengujian Slump-Test dan L-Box test yang dilakukan dengan mengacu pada standar EFNARC untuk kriteria penerimaan beton memadat sendiri. Pengujian sifat mekanik material dilakukan pada umur 28 hari meliputi pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah ini dilakukan menggunakan spesimen silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Adapun spesimen uji balok memiliki lebar 150 mm, tinggi efektif 250 mm, dan panjang balok total 1850 mm. Rasio bentang geser terhadap tinggi efektif balok diambil sebesar 2.5. Oleh karena itu, balok masih termasuk dalam jenis balok langsing (*slender beam*). Untuk menjamin terjadinya modulus keruntuhan geser, digunakan rasio tulangan lentur yang besar yaitu sebesar 3.02%. Selain itu, pada bentang geser balok tidak dipasang tulangan geser (sengkang). Tulangan geser tetap dipasang pada kedua ujung balok untuk meningkatkan efek kekangan di daerah pengankuran sehingga tulangan lentur dapat mengembangkan kapasitas penuhnya. Seperti halnya uji mekanik material, pengujian balok juga dilakukan pada umur beton 28 hari. *Strain gauge* dipasang pada bagian bawah tulangan longitudinal tarik pada posisi yang bertepatan dengan tengah bentang balok untuk memonitor nilai regangan yang terjadi seiring dengan bertambahnya beban yang diaplikasikan. Gambar 1 menunjukkan *outline* pengujian balok. Selama uji pembebanan, lendutan maksimum balok di tengah bentang diukur menggunakan *Linear Variable Differential Transducer* (LVDT). Pembebanan dilakukan menggunakan *hydraulic jack* dengan interval beban sebesar 2 kN dari awal pembebanan sampai dengan beban mencapai 50 kN. Pembebanan kemudian dilanjutkan dengan interval beban 5 kN hingga balok mengalami keruntuhan.



Gambar 1. Outline pengujian balok

Mix Design

Rancang campur atau *mix design* beton *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1. Rancang campur ini hasil uji coba (*trial*) beberapa kali sampai dengan memenuhi kriteria EFNARC untuk sifat beton segar memadat sendiri. Kadar fly ash yang digunakan dalam campuran sebesar 50% dari total binder. *Superplasticizer* ditambahkan dalam campuran beton untuk meningkatkan kelecakan campuran beton.

Tabel 1. Rekapitulasi *Mix Design* per 1 m³

Kebutuhan Bahan					
Aggregat halus (kg)	Aggregat kasar (kg)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Superplasticizer (L)	Air (L)
742.82	888.07	250	250	9	174

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Beton Segar

Seperti dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3, hasil pengujian beton segar menunjukkan nilai *slump flow test* rata-rata sebesar 690 mm, nilai T₅₀ sebesar 4.57 detik, dan nilai h₂/h₁ sebesar 1.0. Oleh karena itu, beton yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan EFNARC untuk beton memadat sendiri.

Tabel 2. Hasil *Slump Test*

Pengujian	Diameter			T ₅₀ (s)	Standar EFNARC		
	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _{rata-rata} (mm)		d _{rata-rata} (mm)	T ₅₀ (s)	Kesimpulan
1	680	700	690	4.57	550-850	2-5	Memenuhi

Tabel 3. Hasil *L-box Test* (Jenis Beton SCC)

Pengujian	Ketinggian			Standar EFNARC	
	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₂ /h ₁	h ₂ /h ₁	Kesimpulan
1	80	80	1	0.8-1	Memenuhi

Pengujian Sifat Mekanik Material

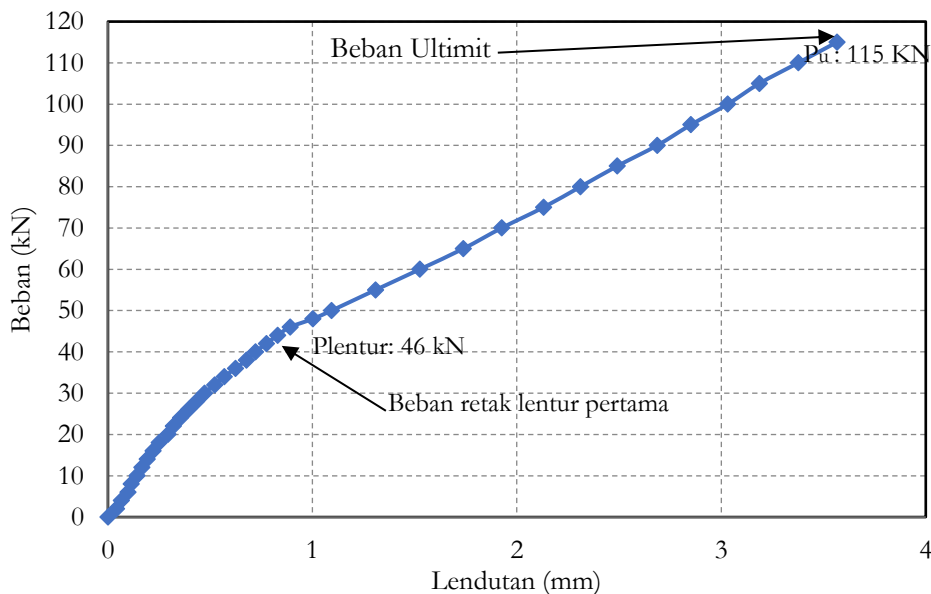
Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian sifat mekanik material yang meliputi kuat tekan, kuat tarik, dan nilai modulus elastisitas beton yang diperkirakan dari nilai kuat tekan nya.

Tabel 4. Hasil pengujian sifat mekanik material

Berat (kg)	Berat jenis (kg/m ³)	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Modulus Elastisitas Beton (Mpa)	Kuat Tarik Belah (Mpa)
12.14	2289	39.61	29580.85	12.67

Pengujian Balok

Pada pengujian balok didapatkan riwayat beban, defleksi balok, lebar retakan, dan besar regangan yang terjadi pada baja tulangan. Gambar 2 menunjukkan riwayat beban dan lendutan tengah bentang dari awal pembebanan sampai dengan keruntuhan balok. Hubungan linear elastik ditunjukkan sampai dengan beban mencapai nilai 46 kN. Pada rentang beban ini belum ada retak lentur yang terbentuk. Kenaikan nilai lendutan seiring pertambahan beban juga masih relatif kecil. Retak lentur pertama terjadi di tengah bentang balok pada beban 46 kN dan nilai lendutan 0.89 mm. Nilai retak lentur pertama ini mendekati nilai estimasi menggunakan rumusan SNI-2847-2019, sebagaimana Persamaan [1], yaitu sebesar 43.8 kN. Terjadinya retak lentur menunjukkan terlewatnya kapasitas tarik beton pada serat bawah balok yang mengalami tegangan lentur-tarik. Jumlah, panjang, dan lebar retak lentur semakin bertambah seiring dengan pertambahan beban. Kemiringan kurva beban-lendutan pada Gambar 3 mengalami penurunan setelah retak lentur pertama. Hal ini juga menunjukkan berkurangnya kekakuan balok seiring dengan pertambahan retak. Lebih lanjut, retak lentur pada daerah dekat dengan tumpuan mulai menginisiasi terjadinya retak diagonal geser. Retak diagonal berkembang menuju ke arah titik pembebanan dan juga tumpuan balok. Meskipun sudah terjadi retak diagonal, balok masih dapat memikul beban sampai dengan beban ultimit 115 kN dan deformasi sebesar 3.57 mm. Riwayat beban setelah beban ultimit tidak dapat lagi tercatat karena pengujian balok menggunakan sistem kontrol beban.



Gambar 2. Hubungan beban dan lendutan di tengah bentang balok

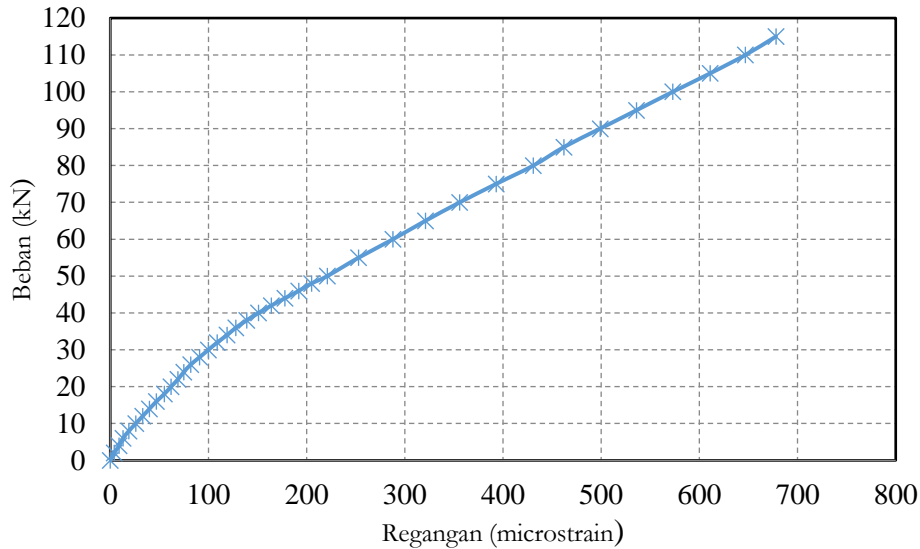
$$P_{cr} = \frac{2 \left\{ 0.7 \sqrt{f_c} \right\} \left\{ \frac{1}{6} b h^2 \right\}}{a} \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan :

- P_{cr} = beban retak lentur pertama (kN)
- b = lebar balok (mm)
- h = tinggi balok (mm)
- a = panjang bentang geser (mm)
- f_c = kuat tekan beton (N/mm²).

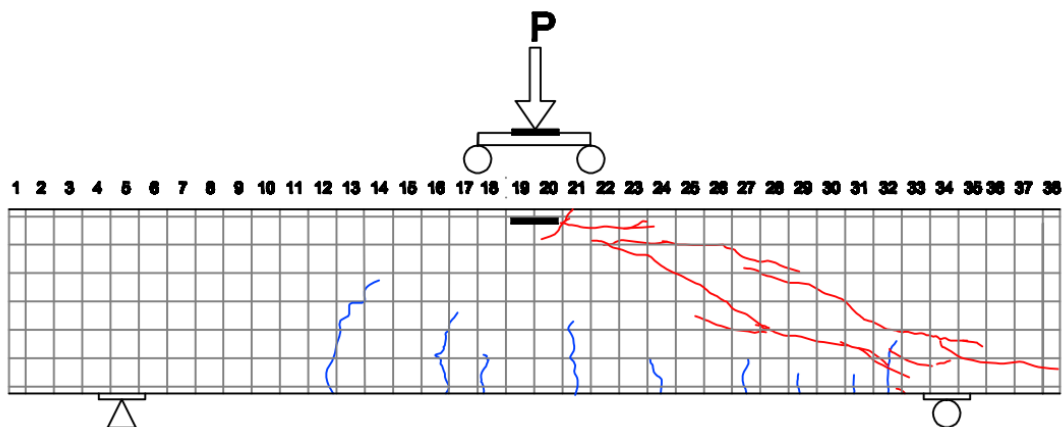
Seperti halnya riwayat beban-lendutan balok, hubungan beban-regangan tulangan pada lokasi tengah bentang balok menunjukkan kurva bilinear. Kurva linear pertama menunjukkan daerah elastik balok sebelum mengalami keretakan. Kurva linear yang kedua menunjukkan hubungan beban-regangan tulangan ketika retak lentur mulai berkembang, terjadinya retak diagonal geser, dan keruntuhan balok. Balok mengalami keruntuhan geser tanpa disertai dengan pelelehan baja tulangan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai regangan pada saat beban ultimit yaitu

sebesar 678 mikron. Nilai ini jauh lebih kecil daripada regangan leleh baja tulangan sebesar 2085 mikron. Detail hubungan beban-regangan tulangan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan beban-regangan

Gambar 4 menunjukkan pola retak yang terjadi pada balok uji. Retak lentur pertama terjadi pada daerah tengah bentang dan berkembang merata hampir sepanjang balok. Retak lentur dekat tumpuan menginisiasi terjadinya retak diagonal geser. Akan tetapi, hanya retak diagonal geser pada salah satu sisi balok saja yang berkembang dan menyebabkan keruntuhan balok. Dalam hal ini, sifat tidak homogen beton menyebabkan sisi kiri lebih kuat daripada sisi kanan balok. Retak diagonal pada sisi kanan balok berkembang menuju ke kedua arah yaitu arah titik pembebanan dan arah tumpuan. Adanya retak yang horisontal pada daerah dekat tumpuan yang bertepatan dengan elevasi pemasangan tulangan longitudinal lentur menunjukkan bahwa modus keruntuhan balok yang terjadi adalah *shear-tension failure*. Jenis kegagalan ini disebabkan karena hilangnya lekatan antara tulangan dengan beton yang mengelilinginya.



Gambar 4. Sketsa pola retak balok

Kuat geser balok HVFA-SCC yang diperoleh dalam penelitian ini lebih lanjut dibandingkan dengan kuat geser balok beton normal dengan konfigurasi dan kuat tekan beton yang sama. Estimasi kuat geser balok beton normal diperoleh melalui perhitungan menggunakan rumus Niwa (1986). Rumusan ini dipilih karena tingkat akurasi nya yang relatif tinggi dibandingkan dengan rumus sejenis seperti SNI 2847 atau ACI (*American Concrete Institute*) 318 yang memang menggunakan pendekatan *lower bound* untuk penentuan kuat geser balok beton bertulang. Niwa (1986) mengusulkan rumusan untuk memperhitungkan kuat geser balok beton bertulang dengan rasio bentang

geser terhadap tinggi efektif balok antara 2.5 dan 6.5, sebagaimana Persamaan [2].

$$V_c = 0.2(100\rho_w f_c')^{1/3} \left(\frac{1000}{d}\right)^{1/4} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d}\right) b_w d \dots [2]$$

Keterangan :

- V_c = kuat geser (kN)
- b = lebar balok (mm)
- d = tinggi efektif balok (mm)
- a = panjang bentang geser (mm)
- f_c' = kuat tekan beton (N/mm²)
- ρ = rasio tulangan lentur longitudinal.

Tabel 5. Perbandingan beban retak lentur pertama dan beban ultimit balok beton HVFA-SCC dan balok beton normal (NC)

Beban retak lentur pertama (kN)			Beban ultimit (kN)		
$P_{cr_HVFA-SCC}$ (experimen)	P_{cr_NC} (estimasi)	$P_{cr_HVFA-SCC}/$ P_{cr_NC}	$P_{u_HVFA-SCC}$ (experimen)	P_{u_NC} (estimasi)	$P_{u_HVFA-SCC}/$ P_{u_NC}
46	43.8	1.05	115	136.9	0.84

Dengan memasukkan parameter rasio tulangan lentur, kuat tekan beton, dimensi penampang, dan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif yang sama seperti yang digunakan dalam uji eksperimental ke dalam Persamaan [2], didapatkan estimasi kuat geser balok beton normal adalah 136.9 kN. Nilai kuat geser balok beton normal hasil estimasi menggunakan rumusan empiris lebih tinggi daripada kuat geser balok beton bertulang HVFA-SCC yang diuji secara eksperimental. Detail perbandingan beban retak lentur pertama dan beban ultimit balok beton HVFA-SCC dan balok beton normal (NC) disajikan dalam Tabel 5. Secara teoritis, kontribusi mekanisme *aggregate interlocking* dalam menyumbang kuat geser total akan lebih kecil pada kasus balok HVFA-SCC jika dibandingkan dengan balok beton normal karena penggunaan ukuran agregat yang jauh lebih kecil. Di sisi lain, penelitian sebelumnya (C.D. Pambudi dkk, 2019; A. Prasetyo dkk, 2019; I. Aryono, 2020) menunjukkan bahwa ternyata kuat lekat (*bonding*) beton HVFA-SCC lebih besar dibandingkan dengan beton normal. Hal ini akan meningkatkan kontribusi mekanisme *dowel action* dalam menyumbang kuat geser balok HVFA-SCC. Proporsi kontribusi dari masing-masing mekanisme transfer geser (*uncracked concrete in the compression zone, aggregate interlocking, dowel action, dan residual tensile of concrete*) dalam menyumbang total tahanan geser balok sulit untuk diperkirakan, hanya nilai total tahanan geser nya yang dapat dengan mudah diukur. Melihat hasil perbandingan kuat geser balok HVFA-SCC yang diperoleh melalui pengujian eksperimental dan kuat geser balok normal yang diperoleh dari rumusan empiris, maka dapat dinyatakan bahwa peningkatan kuat geser yang diperoleh dari peningkatan *dowel action* tidak lebih besar daripada penurunan kuat geser yang disebabkan oleh penurunan kontribusi *aggregate interlocking* pada balok HVFA-SCC.

SIMPULAN

Penelitian ini mengkaji perilaku geser balok beton bertulang HVFA-SCC dengan mengambil studi kasus rasio bentang geser terhadap tinggi efektif balok 2.5. Serangkaian pengujian eksperimental dilakukan meliputi pengujian beton segar, pengujian sifat mekanik material (kuat tekan dan kuat tarik belah), dan pengujian balok. Balok direncanakan dengan kapasitas lentur yang lebih besar daripada kuat geser-nya untuk menjamin terjadinya modus keruntuhan geser. Kuat geser balok HVFA-SCC kemudian dibandingkan dengan nilai kuat geser balok beton normal yang diturunkan berdasarkan suatu rumusan empiris. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Beton yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan sebagai beton memadat sendiri berdasarkan kriteria EFNARC.
2. Balok uji mengalami retak lentur pertama pada beban sekitar 46 kN dengan nilai lendutan sebesar 0.89 mm. Adapun keruntuhan balok terjadi pada beban ultimit 115 kN dengan nilai lendutan maksimum mencapai 3.57 mm.
3. Retak lentur pertama terjadi pada daerah tengah bentang, dan berkembang ke arah kedua tumpuan balok.

Terjadinya retak lentur dekat dengan tumpuan pada akhirnya menginisiasi terbentuknya retak diagonal geser. Seiring dengan bertambahnya beban, retak diagonal geser berkembang ke arah titik pembebanan. Balok masih dapat memikul sejumlah beban setelah terbentuknya retak diagonal geser. Modus keruntuhan balok adalah *shear-tension failure* yang ditandai dengan terjadinya retak belah (*splitting crack*) horisontal yang bertepatan dengan posisi tulangan longitudinal. Kegagalan geser balok tidak disertai dengan pelepasan baja tulangan, sebagaimana terkonfirmasi dari hasil pembacaan regangan tulangan longitudinal di tengah bentang.

4. Kuat geser balok HVFA-SCC memiliki nilai yang relatif lebih kecil daripada balok beton normal (hasil perhitungan menggunakan suatu rumusan empiris). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh berkurangnya kontribusi *aggregate interlocking* dalam menyumbang tahanan total geser balok karena penggunaan ukuran agregat yang relatif kecil pada campuran HVFA-SCC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat dalam proses pembuatan dan pengujian spesimen di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Penelitian ini didanai oleh RKAT PTNBH Universitas Sebelas Maret Tahun Anggaran 2021 melalui skema penelitian hibah grup riset (penelitian hgr-uns) dengan Nomor Kontrak: 260/UN27.22/HK.07.00/2021

REFRENSI

- Alghazali H.H., Myers J.J., 2017, "Shear Behaviour of Full-scale High Volume Fly Ash-Self Consolidating Concrete (HVFA-SCC) Beams", *Construction and Building Materials*. Vol. 157 pp. 161-171
- Arezoumandi M., Volz J.S., Myers J.J., 2013, "Shear Behaviour of High-Volume Fly Ash Concrete Versus Conventional Concrete", *Am. Soc. Civ. Eng. J. Struct. Eng.* Vol. 25 No. 10 pp. 1506-1513
- Aryono I., Budi A.S., Saifullah H.A., 2020, "Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang HVFA Memadat Sendiri Dengan Kadar Fly Ash 50% Terhadap Beton Normal", *Matriks Teknik Sipil*. Vol 8 No 1: Maret
- Collins, Bentz E.C., Sherwood E.G., 2008, "Where is Shear Reinforcement Required? Review of Research Results and Design Procedures", *ACI Structural Journal*. Vol 105-5, 591-600
- Dinakar P., Babu K.G., and Santhanam M., 2008, "Durability Properties of High Volume Fly Ash Self Compacting Concretes," *Cem. Concr. Compos.* Vol. 30 No. 10 pp. 880-886
- Durán-Herrera A., Juárez C.A., Valdez P., and Bentz D.P., 2011, "Evaluation of Sustainable High-Volume Fly Ash Concretes," *Cem. Concr. Compos.* Vol. 33 No. 1, pp. 39-45
- Hemalatha T. and Ramaswamy A., 2017, "A Review On Fly Ash Characteristics – Towards Promoting High Volume Utilization In Developing Sustainable Concrete," *Journal of Cleaner Production*. Vol 147 pp. 546-559.
- Huang C.H., Lin S.K., Chang C.S., and Chen H.J., 2013, "Mix Proportions and Mechanical Properties Of Concrete Containing Very High-Volume Of Class F Fly Ash," *Constr. Build. Mater* Vol 46 pp. 71-78.
- Indonesian National Standard, 2019, "SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung". *Badan Standarisasi Nasional*
- Lin C., Chen J., 2012, "Shear Behavior Of Self-Consolidating Concrete Beams," *ACI Struct. J.* Vol. 109 No. 3, pp. 307-315.
- Niwa J., Yamada K., Yokozawa K., and Okamura H., 1986, "Revaluation Of The Equation For Shear Strength Of Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforcement", *Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements*, Japan Society of Civil Engineers, No.372/V-5, pp.167-176. (dalam bahasa Jepang)
- Ortega C.A., 2012, "Shear And Fracture Behaviour Of High-Volume Fly Ash Reinforced Concrete For Sustainable Construction," (Doctoral Dissertations) *Missouri University of Science and Technology*, Paper 2259.
- Pambudi C.D, Budi A.S., Kristiawan S.A., 2019, "Kajian Uji Geser Murni Beton HVFA Memadat Sendiri teradap Beton Normal", *Matriks Teknik Sipil* Vol 7. No. 4 Desember
- Prasetyo A., Budi A.S., Kristiawan S.A., 2019, "Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang HVFA Memadat Sendiri Dengan Kadar Fly Ash 60% terhadap Beton Normal", *Matriks Teknik Sipil*, Vol 7 No 4 Desember
- Ruiz M.F., Muttoni A., Sagasetta J., 2015, "Shear Strength of Concrete Members without Transverse Reinforcement: A Mechanical Approach to Consistently Account for Size and Strain Effects", *Engineering Structures*, Vol. 99 pp. 360-372
- Siddique R., 2004, "Performance Characteristics of High-Volume Class F Fly Ash Concrete," *Cem. Concr. Res.*, Vol. 34 No. 3.