

PENGARUH VARIASI SERBUK KACA SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK *FLOWABILITY* SCC

Rosidawani^{1*}, I. Mahani¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: rosidawani@gmail.com

ABSTRAK: Limbah kaca yang berasal dari industri dan rumah tangga, memiliki komposisi bahan penyusun yang hampir sama dengan bahan penyusun semen. Penggunaan limbah kaca yang dibuat dalam bentuk serbuk kaca mampu berperan sebagai bahan pengganti sebagian semen, memberikan kontribusi sifat mekanik yang lebih baik serta berperan dalam mengatasi isu lingkungan. Penelitian dengan menggunakan serbuk kaca sebagai bahan pengganti sebagian semen ini dilakukan pada jenis semen yang mampu memadat sendiri (*self compacting concrete, SCC*). *Self compacting concrete* atau disebut *SCC* merupakan inovasi beton untuk mengatasi solusi dari proses pengecoran dan pemadatan yang sulit terutama pada elemen struktur beton dengan tulangan yang padat dan kompleks. Komposisi *SCC* harus mencapai kemampuan mengalir (*flow*) yang disyaratkan, oleh karena itu nilai *flowability* menjadi indikator dalam penilaian *SCC*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh serbuk kaca sebagai substitusi sebagian semen terhadap karakteristik *flowability* dan nilai kuat tekan *SCC* dengan kondisi tanpa perawatan pasca pengecoran. Variasi serbuk kaca yang digunakan sebesar 0%; 2,5%; 7,5%; 12,5%; dan 17,5% terhadap berat semen. Hasil pengujian beton segar menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca membuat *flowability* *SCC* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh bentuk serbuk kaca yang bersudut. Namun demikian, pengukuran *flowability* dengan menggunakan pengujian *slump flow*, *V-Funnel*, dan *L-box*, menunjukkan bahwa semua komposisi masih memenuhi syarat sebagai *SCC*. Sedangkan, hasil pengujian kuat tekan menunjukkan peningkatan kekuatan optimum terjadi pada *SCC* 4 dengan substitusi serbuk kaca sebesar 7,5% dan kuat tekan mencapai 55,11 MPa atau mengalami peningkatan kekuatan tekan terhadap *SCC* 0 sebesar 17,66%.

Kata Kunci: *SCC*, serbuk kaca, *binder*, *flowability*, kuat tekan.

ABSTRACT: Glass waste originating from industry and households, has a composition of constituent materials which is almost the same as the ingredients of cement. The use of glass waste made in the form of glass powder can act as a substitute for part of cement, contribute to better mechanical properties and play a role in overcoming environmental issues. The research by using glass powder as a substitute material for some of this cement was carried out on the type of cement that is able to compact itself (*self compacting concrete, SCC*). *Self compacting concrete* or called *SCC* is a concrete innovation to overcome the solution of the casting and compaction process that is difficult, especially on concrete structural elements with dense and complex reinforcement. The composition of the *SCC* must achieve the required flow ability, therefore the value of *flowability* becomes an indicator in the *SCC* assessment. This research was conducted to determine the effect of glass powder as a partial substitution of cement on the *flowability* characteristics and compressive strength value of *SCC* under conditions without post casting treatment. The variation of glass powder used was 0%, 2.5%; 7.5%; 12.5%; and 17.5% by weight of cement. The results of fresh concrete testing showed that the use of glass powder made *SCC* *flowability* decreased. This is caused by the shape of the angular glass powder. However, *flowability* measurement using *slump flow*, *V-Funnel*, and *L-box* testing, shows that all compositions still qualify as *SCC*. Meanwhile, the compressive strength test results showed an increase in optimum strength occurred in *SCC* 4 with glass powder substitution of 7.5% and compressive strength reaching 55.11 MPa or experiencing an increase in compressive strength against *SCC* 0 of 17.66%.

Keywords: *SCC*, glass powder, *binder*, *flowability*, compressive strength.

PENDAHULUAN

Self Compacting Concrete yang disingkat *SCC* merupakan jenis inovasi material beton terkini yang digunakan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada proses pelaksanaan. *Self Compacting Concrete* merupakan solusi dari proses pengecoran dan pemadatan yang sulit terutama pada beton dengan tulangan yang kompleks dan diperuntukkan pada lokasi-lokasi pengecoran yang tidak memungkinkan untuk dilakukan pemadatan atau penggetaran. *SCC* dapat mempermudah proses pelaksanaan konstruksi (EFNARC,2005).

Self Compacting Concrete (SCC) pertama kali dikembangkan di Jepang pada abad ke-19 yang di pimpin oleh Prof.Okamura. Beton *SCC* dirancang sedemikian rupa agar tidak mengalami segregasi dan *bleeding* saat proses pengaliran. *SCC* dirancang dengan inovasi pengembangan beton yang memiliki *slump flow* yang cukup tinggi agar mampu mengalir memenuhi celah-celah dan dapat memadat dibawah pengaruh beratnya sendiri sehingga mempermudah proses pengecoran dan mengurangi tenaga kerja. Beton segar *SCC* memiliki fluiditas yang tinggi sehingga mampu mengalir dan menempati celah-celah yang kosong pada cetakan (bekisting) dengan sedikit atau tanpa penggetaran (Okamura et al. 2003).

(Dwivedi, R.K. 2015) dalam jurnalnya menuliskan beberapa alasan mengapa *SCC* menjadi populer, diantaranya adalah proses konstruksi yang cepat, mengurangi tenaga kerja, meningkatkan ketahanan beton (*durability*), fleksibel dalam mendesain, tidak ada proses penggetaran, sehingga dapat mengurangi kebisingan, lingkungan kerja yang lebih aman, mudah dalam pengecoran karena dapat menyesuaikan sendiri pada bekisting dan permukaan akhir beton lebih baik

Bahan penyusun *SCC* identik dengan bahan penyusun beton pada umumnya. Perbedaannya adalah pada karakteristik beton segar yang memiliki kemampuan mengalir dan memadat sendiri dalam bekisting atau cetakan beton. Hal ini berarti, sifat bahan penyusun bahan beton harus memenuhi persyaratan karakteristik beton segar dan sifat mekanik. Bahan penentunya tersebut utamanya disebabkan oleh bahan yang mampu menghasilkan beton segar yang memenuhi syarat kekentalan (*viscosity*) dan sifat mengalir (*flowability*) tanpa mengakibatkan segregasi pada beton segar. Bahan *superplastisizer* yang sesuai dengan kriteria adalah jenis aditif yang harus digunakan dan mampu menjamin *flowability SCC*.

Selain itu, bahan padat penyusun *SCC* juga dapat berperan dalam membantu kriteria *SCC* tersebut. Semen sebagai bahan utama mempengaruhi *workability SCC* sehingga jumlah semen yang lebih banyak dibandingkan pada beton normal dapat memenuhi *flowability* yang disyaratkan pada *SCC*. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan substitusi atau bahan tambahan sebagai pengganti semen dengan tujuan agar beton lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Salah satu bahan limbah yang dapat

digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen pada campuran beton adalah serbuk kaca.

Limbah kaca yang berasal dari industri dan rumah tangga, memiliki komposisi bahan penyusun yang hampir sama dengan bahan penyusun semen. Penggunaan limbah kaca yang dibuat dalam bentuk serbuk kaca mampu berperan sebagai bahan pengganti sebagian semen, memberikan kontribusi sifat mekanik yang lebih baik serta berperan dalam mengatasi isu lingkungan. Salah satu bahan utama pembentuk kaca adalah pasir silika (SiO_2) merupakan salah satu bahan yang sama, yang terkandung dalam semen.

Kaca merupakan suatu bahan anorganik yang didapat dari hasil peleburan beberapa bahan dasar dan kemudian didinginkan hingga fasa padat. Kaca memiliki bahan utama yang salah satunya adalah pasir kuarsa (Justin, J. 2015). Kaca sebagai limbah biasanya tidak merusak lingkungan karena tidak menyebabkan polusi, namun limbah kaca dapat membahayakan manusia dan juga hewan bila tidak ditangani dengan hati-hati. Namun demikian sifat kaca yang tidak mudah *terdegradasi* membuatnya menjadi kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan usaha pemanfaatan dalam bidang teknologi material (Gautam, S. et al. 2016).

Berdasarkan karakteristiknya, kaca merupakan sebuah substansi yang keras dan rapuh, serta merupakan padatan *amorf*. Hal ini dikarenakan bahan-bahan pembuat kaca bersifat *amorf*, sehingga dapat meleleh dengan mudah. Sedangkan, berdasarkan komposisi kimia yang terkandung pada serbuk kaca dan dibandingkan dengan komposisi kimia yang terkandung pada semen, terdapat kemiripan diantara keduanya.

Komposisi kimia serbuk kaca dan semen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Serbuk Kaca dan Semen (Du H. et al. 2014)

Komposisi kimia	Serbuk kaca (%)	Semen(%)
SiO_2	72,08	20,8
Al_2O_3	2,19	4,6
Fe_2O_3	0,22	2,8
CaO	10,45	65,4
MgO	0,72	1,3
SO_3	-	2,2
Na_2O	13,71	0,31
K_2O	0,16	0,44
TiO_2	0,1	-
Cr_2O_3	0,01	-

Oleh karena itu dalam banyak penelitian yang mengembangkan teknologi material beton, limbah kaca yang digunakan dalam campuran beton baik sebagai pengganti semen maupun sebagai pengganti agregat, mempengaruhi sifat mekanik dan fisik beton. Manfaat yang signifikan diperoleh apabila limbah kaca ini digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen, dengan syarat ukurannya harus memenuhi syarat

kehalusan semen. Sehingga, limbah kaca yang akan digunakan sebagai pengganti atau tambahan semen harus memiliki ukuran yang sama seperti semen dan kemudian disebut sebagai serbuk kaca.

Banyak penelitian yang telah melakukan pengujian menggunakan limbah kaca sebagai pengganti semen untuk meninjau efek yang diberikan pada beton kondisi segar dan beton kondisi keras. (Chikhalikar dan Tande 2012) melihat proses pembuatan semen yang menghasilkan karbon dioksida yang sangat tinggi dan itu menyebabkan *global warming*. Mereka mencoba untuk mengganti sebagian semen dengan serbuk kaca untuk mengurangi penggunaan semen dan mengurangi pencemaran lingkungan. Mereka menggunakan variasi bubuk kaca sebesar (0,10,20,30,40)%. Penelitian ditinjau pada *workability* dan mutu beton. Mereka menyimpulkan bahwa variasi serbuk kaca sebagai pengganti semen untuk meningkatkan mutu beton dan untuk mendapatkan *workability* yang baik serta meningkatkan *setting time* pada beton yaitu sebesar 20%.

(Kim, J. et al. 2014) melakukan penelitian terhadap kekuatan dan ketahanan beton dengan menggunakan *waste glass sludge (WGS)* sebagai pengganti semen dengan variasi (0,10,20,30,40 dan 50)% yang diuji pada kondisi lingkungan yang dapat membeku dan mencair. Hasilnya menunjukkan kuat tekan meningkat pada penggunaan 5-10% *WGS*.

(Vaitkevicius et al. 2014) mendaur ulang botol-botol kaca menjadikannya bubuk kaca untuk digunakan sebagai pengganti semen pada ultra *High Performance Concrete (UHPC)* dengan variasi (0-40)%. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan menambahkan bubuk kaca pada UHPC penyerapan menurun yang bermanfaat untuk mutu dan ketahanan beton. *Workability* beton menurun ketika persentase bubuk kaca dinaikkan dan *bulk dry density* benda uji menurun ketika persentase bubuk kaca dinaikkan.

SCC sebagian besar dipengaruhi oleh karakteristik material dan komposisi adukan, dan sebagian lagi dipengaruhi oleh proses pengecoran dan perawatan. Namun kenyataan dilapangan sering sekali terjadi kelalaian bahkan mengabaikan perawatan (*curing*) pada beton setelah pengecoran. Oleh karena itu penelitian ini meninjau bagaimana pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai bahan pengganti sebagian semen pada *Self Compacting Concrete (SCC)* dengan kondisi tanpa perawatan pasca pengecoran.

MATERIAL

Material yang digunakan pada *SCC* dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Semen

Semen yang digunakan jenis *Ordinary Portland Cement (OPC)* tipe 1 dengan standar *ASTM C 150-04a*. Semen yang digunakan yaitu semen batu raja.

2. Air

Penelitian ini menggunakan air PDAM

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berupa pasir berasal dari Tanjung Raja.

4. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan yaitu split merak yang lolos saringan 12,5 mm.

5. Serbuk Kaca

Serbuk kaca yang digunakan diperoleh dari limbah botol kaca dengan jenis bervariasi dari bentuk dan warnanya. Serbuk diperoleh dari limbah botol kaca yang dihancurkan dan dihaluskan secara manual. Serbuk yang digunakan dalam campuran *SCC* adalah yang lolos saringan No.200. Penggunaan serbuk kaca sebagai bahan substitusi semen menggunakan variasi persentase sebesar 0%, 2.5%, 7.5%, 12.5%, 17.5% terhadap berat semen.

6. Chemical Admixture

Chemical Admixture yang digunakan adalah jenis *chemical admixture* tipe F berupa *Superplasticizer* sebagai *Water Reducing* yang memberikan pengaruh terhadap kemampuan mengalir (*flowability*), yaitu *Superplasticizer* dengan merek dagang Sika jenis *Viscoflow 3660 LR*.

Pengujian material dilakukan pada material agregat halus, agregat kasar dan bahan substitusi yaitu serbuk botol kaca. Agregat kasar dan agregat halus dilakukan pengujian sesuai standar *ASTM* pemeriksaan agregat kasar dan halus, sedangkan pengujian pada serbuk kaca yaitu pengujian kandungan kimia *XRF*, *XRD* dan *SEM*.

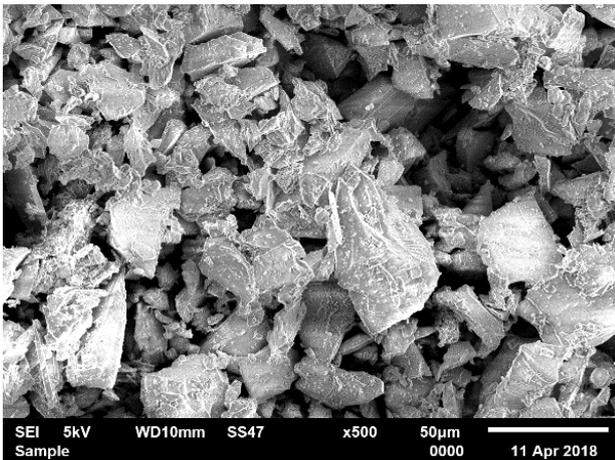
Hasil pengujian *XRF* yang menunjukkan nilai komposisi kimia serbuk kaca yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *XRF* Serbuk Kaca

Komposisi kimia	Serbuk kaca (%)	Semen (%)
SiO ₂	70,23	20,8
Al ₂ O ₃	0,51	4,6
Fe ₂ O ₃	0,56	2,8
CaO	8,97	65,4
MgO	2,42	1,3
SO ₃	-	2,2
Na ₂ O	13,19	0,31
K ₂ O	0,98	0,44

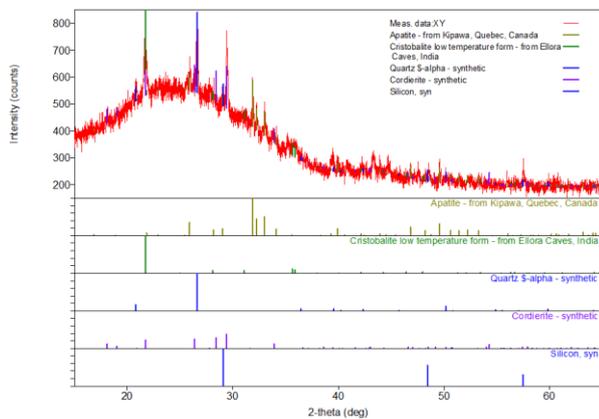
Bila dibandingkan dengan komposisi kimia semen, maka serbuk kaca memiliki unsur yang identik walaupun dengan komposisi persentase yang sedikit berbeda. Namun demikian, berdasarkan persentase unsur utama penyusun beton, serbuk kaca memiliki kemungkinan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam

campuran beton pada umumnya atau SCC pada khususnya.



Gambar 1. Hasil Uji SEM Serbuk Kaca

Hasil dari pengujian *Scanning electron microscope (SEM)* pada gambar 1 menunjukkan bahwa bentuk struktur dari serbuk botol kaca yang digunakan pada penelitian ini yaitu kasar, tajam dan bersudut. Bentuk ini dapat mempengaruhi *workability* beton. Bentuk struktur yang bulat akan menaikkan *workability* sedangkan bentuk struktur material yang bersudut dapat menurunkan *workability* beton. Struktur material yang bersudut dapat mengurangi nilai *flowability* pada pengujian beton segar SCC (Du, H. et al. 2015).



Gambar 2. Hasil Uji XRD Serbuk Kaca

Berdasarkan hasil pengujian *X-Ray Diffraction (XRD)* serbuk kaca pada Gambar 2, menunjukkan hasil dengan dominasi *peak* pendek dan beberapa *peak* panjang. *Peak* panjang menunjukkan sifat kristalin sedangkan *peak* pendek menunjukkan sifat *amorf* pada material. Sifat *amorf* pada suatu material yang digunakan sebagai bahan tambahan campuran beton pada kadar tertentu akan meningkatkan kuat tekan beton karena material tersebut memiliki sifat reaktif yang akan membantu terbentuknya reaksi ikatan seperti semen.

Komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Komposisi Campuran SCC

Kode	% Serbuk kaca	OPC	Serbuk Kaca	Agregat Kasar	Agregat Kasar	Air	SP
SCC 0	0%	567	0	954	645	152	6,2
SCC 1	2.50%	553	14	954	645	152	6,2
SCC 2	7.50%	524	43	954	645	152	6,2
SCC 3	12.5%	496	71	954	645	152	6,2
SCC 4	17.5%	468	99	954	645	152	6,2

PROGRAM EXPERIMENTAL

Pengecoran SCC

Pengecoran dilakukan dengan metode pencampuran SCC seperti pembuatan beton konvensional pada umumnya. Urutan pencampuran material penyusun dimulai dari pencampuran bahan padat, berupa agregat halus dan kasar, dilanjutkan dengan semen dan serbuk kaca dan diakhiri dengan memasukkan air yang sudah terlebih dahulu dicampur dengan bahan superplastisizer. Tiap-tiap pencampuran dilakukan selama 1-2 menit. Selanjutnya setelah proses pencampuran selesai, dilanjutkan dengan proses pencetakan ke cetakan silinder benda uji. Namun sebelum dilakukan pencetakan perlu diukur karakteristik nilai *workability*nya untuk memenuhi syarat sebagai SCC.

Pengujian SCC Segar

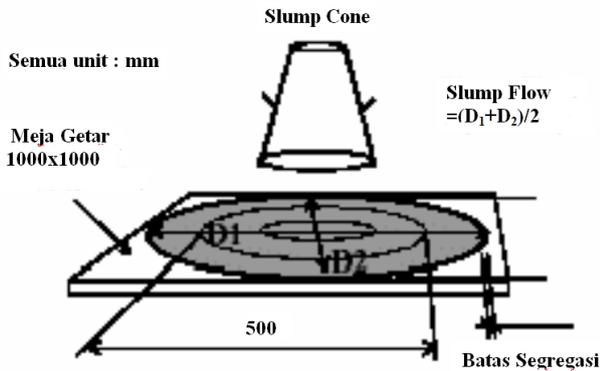
Sehubungan dengan penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen pada jenis beton yang mudah mengalir (SCC), maka dibutuhkan penilaian terhadap persyaratan SCC yang meliputi karakteristik *workability*nya. Karakteristik tersebut berupa *fillingability*, *passingability*, *viscosity*, dan *segregation resisten* dengan bentuk pengujian yang disesuaikan dengan alat ujinya.

Pengujian beton segar bertujuan untuk mengetahui karakteristik *flowability* beton yang dalam hal ini menjadi persyaratan beton yang mampu mengalir sendiri (*Self Compacting Concrete (SCC)*). Pengujian dalam penelitian ini meliputi *slump flow test*, *V-Funnel test* dan *L-Box test*.

Pengujian Slump Flow

Pengujian *slump flow* ini dilakukan sesuai standar (EFNARC 2005), yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik *flowability* atau *fillingability* dari SCC. *Fillingability* adalah kemampuan beton segar untuk mengalir dan mengisi ruang-ruang *bekisting*. *Fillingability* disebut juga sebagai *flowability*. *Fillingability* dapat diketahui dengan melakukan uji

slump flow test menggunakan *slump cone* dan papan rata dengan ukuran sekitar 1m x 1m (Gambar 3).

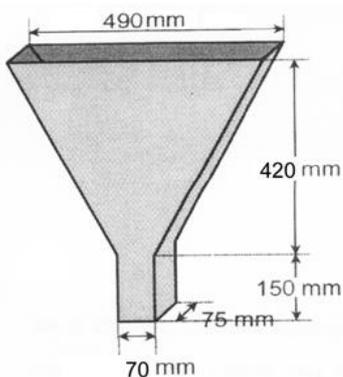


Gambar 3. Alat *slump flow test*

Berdasarkan (EFNARC 2005), hasil uji *slump flow* yang memenuhi syarat untuk SCC adalah memiliki ukuran diameter aliran berkisar antara 550-800 mm. Diameter *flow* diperoleh dengan mengukur diameter pada dua arah yang saling tegak lurus (D_1 dan D_2) dan meratakannya setelah campuran SCC dimasukkan ke dalam *slump cone* hingga penuh, dan *slump cone* diangkat sehingga campuran SCC mengalir hingga berhenti.

Pengujian V-Funnel

Pengujian *V-Funnel* adalah metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik *viscosity* atau resistensi terhadap aliran SCC setelah aliran mulai mengalir. *Viscosity* adalah resistensi terhadap aliran SCC setelah aliran mulai mengalir. Nilai yang diukur dari pengujian ini adalah waktu mengalir (*flow time*) dengan alat yang disebut *V-Funnel* (Gambar 4).



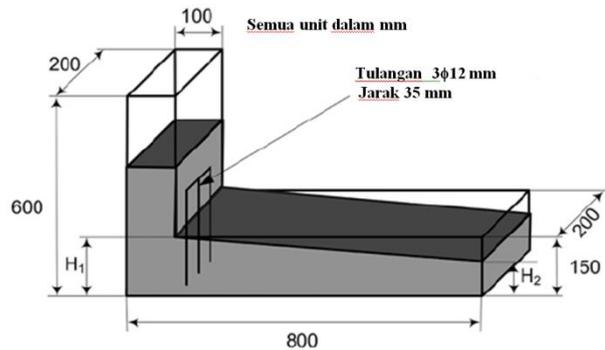
Gambar 4. Alat Uji *V-funnel*

Berdasarkan (EFNARC 2005), hasil uji *V-Funnel* yang memenuhi syarat untuk SCC adalah memiliki waktu alir sebesar 6-12 detik. Waktu dihitung sejak pembukaan penutup dasar hingga seluruh beton mengalir ke wadah penampung, setelah sebelumnya penutup di dasar alat

tertutup rapat dan campuran SCC dimasukkan ke dalam rongga alat *V-Funnel* hingga penuh.

Pengujian L-Box

Pengujian *L-Box* adalah metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik *passing ability* atau kemampuan untuk mengalir melalui struktur ruang yang rapat tanpa mengalami segregasi atau *blocking*. *Passingability* adalah kemampuan beton untuk mengalir melalui struktur ruang yang rapat seperti spasi antar baja tulangan tanpa terjadi segregasi maupun *blocking*. Pengujian *passingability* dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu menggunakan *L-box* (*passing ratio*), *U-box* (perbedaan tinggi), dan *J-ring* (nilai *flow*). Penelitian ini menggunakan *L-box* (*passing ratio*) sebagai alat uji (Gambar 5).



Gambar 5. Alat Uji *L-Box*

Berdasarkan (EFNARC 2005), hasil uji *L-Box* yang memenuhi syarat untuk SCC adalah apabila nilai rasio H_2/H_1 berada dalam rentang 0.8-1.0. Metode pelaksanaannya adalah dengan memasukkan SCC ke dalam *L-Box* dari prisma rongga tegak hingga penuh. Selanjutnya *slide* pada *L-Box* dibuka dan campuran SCC dibiarkan mengalir hingga ke ujung *L-Box* dan ditunggu hingga aliran berhenti. Kemudian, ketinggian beton di belakang tulangan pada *slide* dicatat sebagai nilai H_1 dan ketinggian beton diujung alat uji *L-Box* sebagai H_2 .

Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat dengan cetakan silinder baja berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Masing-masing variabel bahan dan umur uji kuat tekan benda uji 7,14,21, dan 28 hari dibuat tiga buah sampel. SCC dilepaskan dari bekisting setelah ± 24 jam. Penelitian ini memilih pembatasan dalam hal perlakuan pasca pencetakan terhadap benda uji dengan tanpa perawatan (*non-curing*), oleh karena itu, setelah pelepasan cetakan SCC diletakkan di ruang terbuka.

Pengujian Kuat Tekan SCC

Beton ditimbang terlebih dahulu beratnya sebelum dilakukan pengujian. Setelah itu beton di *capping* dengan belerang, kemudian lakukan pengujian kuat tekan SCC berdasarkan standar ASTM C 39.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian SCC pada Kondisi Segar

SCC dinilai memiliki *workability* yang baik apabila memenuhi kriteria yang memenuhi syarat dalam *flowability*, *fillingability* dan *passingability*. Nilai masing-masing kriteria tersebut dijelaskan sebagai berikut.

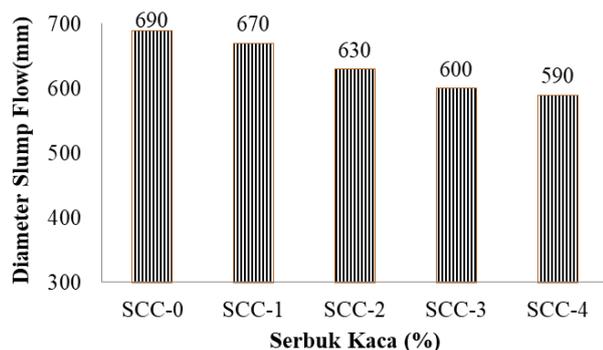
Hasil Pengujian Slump Flow

Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui karakter *flowability* berupa kemampuan SCC untuk mengalir dan *fillingability* berupa kemampuan SCC untuk mengisi bekisting. Berdasarkan standar (EFNARC 2005) *slump flow* yang baik untuk SCC yaitu 550-800 mm. Tabel 4. menunjukkan hasil pengukuran diameter *slump flow*, persentase penurunan nilai *slump flow* dan persentase perubahan diameter *slump flow* pada tiap sampel uji.

Tabel 4. Hasil Pengujian Slump Flow

Kode	Serbuk Kaca (%)	Diameter Slump Flow (mm)	Persentase perubahan Slump Flow terhadap SCC-0 (%)
SCC-0	0	690	0
SCC-1	2,5	670	-2,90
SCC-2	7,5	630	-8,70
SCC-3	12,5	600	-13,04
SCC-4	17,5	590	-14,49

Berdasarkan standar (EFNARC 2005), hasil nilai *slump flow* pada penelitian ini telah memenuhi standar SCC yaitu dengan hasil *slump flow* 550-800. Penurunan *slump flow* terbesar pada penelitian ini mencapai 14,49%. Gambar 6 menunjukkan grafik nilai *slump flow*.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Slump Flow

Hasil pengujian *slump flow* pada penelitian ini mengalami penurunan seiring dengan penambahan serbuk kaca sebagai pengganti semen.

Berdasarkan klasifikasi EFNARC 2005, katakteristik *flowability* dibedakan dalam tiga klasifikasi dengan lambang SF yaitu SF₁, SF₂, SF₃. SF₁ jika hasil *slump flow* berkisar antara 550-650, SF₂ jika hasil berkisar antara 660-750 dan SF₃ jika hasil *slump flow* berkisar antara 760-850 mm. Klasifikasi *Slump flow* dari hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5. berikut.

Tabel 5. Klasifikasi Hasil Slump Flow Berdasarkan EFNARC 2005

Kode	Serbuk Kaca (%)	Diameter Slump Flow (mm)	Klasifikasi EFNARC 2005
SCC-0	0	690	SF 2
SCC-1	2,5	670	SF 2
SCC-2	7,5	630	SF 1
SCC-3	12,5	600	SF 1
SCC-4	17,5	590	SF 1

Berdasarkan hasil klasifikasi *slump flow* tersebut, jenis SCC-2, SCC-3, dan SCC-4 masuk dalam klasifikasi SF₁, sedangkan jenis SCC-0 dan SCC-1 termasuk klasifikasi SF₂.

Hasil Pengujian V-Funnel Test

Berdasarkan standar EFNARC 2005, pengujian *V-Funnel Test* dilakukan untuk mengetahui karakter *viscosity* yaitu kekentalan SCC dan *flowability* yaitu kemampuan SCC untuk mengalir. Karakter *viscosity* dan *flowability* yang baik dari hasil pengujian *V-funnel* dapat dilihat dari waktu alirnya, berdasarkan Standar EFNARC 2005 yaitu dengan waktu alir SCC sebesar 6-12 detik. Hasil pengujian *V-Funnel* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 6. dan grafik hasil pengujian *V-Funnel* dapat dilihat pada Gambar 7.

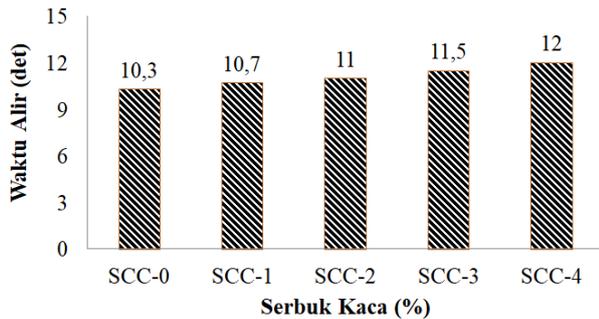
Tabel 6. Hasil Pengujian V-Funnel

Kode	Serbuk Kaca (%)	Waktu alir V-Funnel test (detik)	Persentase perubahan terhadap SCC-0 (%)
SCC-0	0	10,3	0
SCC-1	2,5	10,7	3.88
SCC-2	7,5	11	6.80
SCC-3	12,5	11,5	11.65
SCC-4	17,5	12	16.50

Berdasarkan hasil pengujian *V-Funnel* pada penelitian ini yang ditunjukkan di Tabel 6, telah

memenuhi karakter *viscosity* dan *flowability* untuk SCC. Peningkatan persentase penggunaan serbuk gelas sebagai pengganti semen meningkatkan karakter *viscosity* dan menurunkan *flowability* dengan hasil pengukuran waktu yang semakin meningkat dengan persentase peningkatan tertinggi hingga 16,50% pada SCC-4.

Grafik pada gambar 7 menunjukkan semakin bertambah persentase penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti semen, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengalir.



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian V-Funnel Test

Berdasarkan (EFNARC 2005), karakteristik *viscosity* SCC dari hasil pengujian V-Funnel dibedakan menjadi dua klasifikasi yaitu VF₁ dan VF₂. Tabel 7 berikut menunjukkan klasifikasi hasil pengujian V-Funnel pada penelitian ini.

Tabel 7. Klasifikasi Hasil Pengujian V-Funnel Berdasarkan EFNARC 2005

Kode	Serbuk Kaca (%)	Waktu alir V-Funnel test (detik)	Klasifikasi EFNARC 2005
SCC-0	0	10,3	VF ₂
SCC-1	2,5	10,7	VF ₂
SCC-2	7,5	11	VF ₂
SCC-3	12,5	11,5	VF ₂
SCC-4	17,5	12	VF ₂

Dari Tabel 7 tersebut menunjukkan bahwa semua jenis variabel SCC dalam penelitian ini termasuk kelas VF₂ dengan batasan nilai waktu alir 9-25 detik.

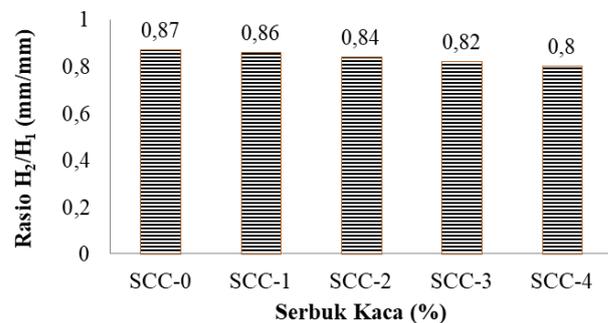
Hasil Pengujian L-Box

Pengujian L-Box Test dilakukan untuk mengetahui karakteristik *passing ability* dari SCC, yaitu kemampuan SCC untuk melalui tulangan beton. Nilai *passing ability* dapat diketahui dengan menghitung rasio H₂/H₁. Berdasarkan standar (EFNARC 2005), nilai rasio H₂/H₁ yang memenuhi syarat untuk SCC yaitu 0,8-1,0. Nilai

rasio H₂/H₁ dari hasil pengujian L-Box pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Persentase Perubahan Hasil Pengujian L-Box

Kode	Serbuk Kaca (%)	Rasio H ₁ /H ₂ L-Box test (mm/mm)	Persentase perubahan terhadap SCC-0 (%)
SCC-0	0	0,87	0
SCC-1	2,5	0,86	-1,15
SCC-2	7,5	0,84	-3,45
SCC-3	12,5	0,82	-5,75
SCC-4	17,5	0,8	-8,05



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian L-Box Test

Dari nilai Rasio H₂/H₁ yang ditunjukkan pada tabel 7, semua variasi campuran telah memenuhi standar (EFNARC 2005). Grafik rasio H₂/H₁ hasil pengujian L-Box pada Gambar 8. menunjukkan bahwa peningkatan persentase penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti semen pada SCC, menurunkan nilai rasio H₂/H₁. Penurunan nilai rasio tersebut menjelaskan bahwa karakteristik *passing ability* SCC menurun yang berarti bahwa kemampuan SCC melalui tulangan semakin rendah. Semakin kecil rasio hasil pengujian L-Box menunjukkan bahwa kondisi campuran SCC memiliki *viscositas* yang tinggi dengan daya alirnya yang rendah.

(EFNARC 2005) membagi klasifikasi *Passing ability* berdasarkan rasio H₂/H₁ hasil pengujian L-Box dalam dua kelas yaitu PA₁ dan PA₂. Klasifikasi rasio H₂/H₁ hasil pengujian L-Box untuk kemampuan *Passingability* dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Klasifikasi Hasil Pengujian L-Box Test Berdasarkan EFNARC

Kode	Serbuk kaca (%)	Rasio H ₁ /H ₂ L-Box test (mm/mm)	Klasifikasi EFNARC 2005
SCC-0	0	0,87	PA ₂
SCC-1	2,5	0,86	PA ₂
SCC-2	7,5	0,84	PA ₂
SCC-3	12,5	0,82	PA ₂
SCC-4	17,5	0,8	PA ₂

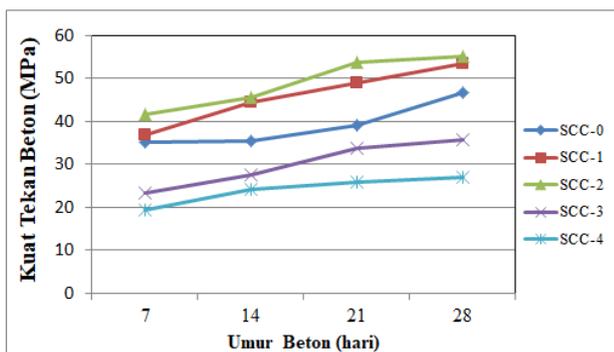
Pembagian kelas ini berdasarkan banyak tulangan yang digunakan. PA₁ untuk pengujian *L-Box* dengan menggunakan dua tulangan penghalang dengan rasio $H_2/H_1 \geq 0,8$. Sedangkan PA₂ untuk pengujian *L-Box* dengan menggunakan tiga tulangan penghalang dengan rasio $H_2/H_1 \geq 0,8$. Pengujian *L-Box* pada penelitian ini menggunakan alat uji dengan tiga tulangan dan rasio H_2/H_1 hasil pengujian *L-Box* yang dihasilkan memenuhi standar batas untuk memenuhi karakteristik SCC sehingga klasifikasi *passing ability* penelitian ini masuk pada klasifikasi PA₂.

Hasil Pengujian Kuat Tekan SCC

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada usia beton mencapai 7,14.21 dan 28 hari. Hasil kuat tekan beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 9.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan SCC

Kode	Serbuk kaca (%)	Usia beton (hari)	Kuat tekan beton (MPa)
SCC-0	0	7	35,12
		14	35,48
		21	39,12
		28	46,84
SCC-1	2,5	7	36,83
		14	44,56
		21	48,87
		28	53,39
SCC-2	7,5	7	41,78
		14	45,68
		21	53,91
		28	55,11
SCC-3	12,5	7	23,20
		14	27,62
		21	33,64
		28	35,72
SCC-4	17,5	7	19,49
		14	24,19
		21	25,92
		28	27,11



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Tabel 8 dan dijelaskan pada Gambar 9. dapat dilihat bahwa penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti bahan semen pada SCC mempengaruhi nilai kuat tekan SCC. Nilai kuat tekan SCC meningkat seiring penambahan umur uji. Persentase penggunaan serbuk kaca sebesar 7.5% mampu menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 55, MPa dengan peningkatan kuat tekan sebesar 17.65% terhadap SCC 0 (Tabel 11).

Tabel 11. Persentase Perubahan Kuat Tekan Beton Usia 28 Hari

Kode	Serbuk kaca (%)	Kuat tekan usia 28 hari (MPa)	Perubahan kuat tekan usia 28 hari (%)
SCC-0	0	46,841	0
SCC-1	2,5	53,392	13,9856
SCC-2	7,5	55,108	17,6491
SCC-3	12,5	35,720	-23,742
SCC-4	17,5	27,108	-42,128

KESIMPULAN

- Penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen mempengaruhi karakteristik *flowability* SCC yang ditunjukkan dengan nilai beberapa kriteria penilaiannya sebagai berikut:
 - Nilai *slump flow* mengalami penurunan seiring dengan penambahan serbuk kaca sebagai pengganti semen. Klasifikasi *Flowability* untuk semua specimen masuk dalam kriteria SF₁ dan SF₂. Berdasarkan standar (EFNARC 2005) *slump flow* dari semua specimen memenuhi syarat sebagai SCC yaitu berkisar 550-800 mm.
 - Peningkatan persentase penggunaan serbuk gelas sebagai pengganti semen meningkatkan karakter *viscosity* dan menurunkan *flowability* dengan hasil pengukuran waktu yang semakin meningkat dengan persentase peningkatan tertinggi hingga 16,50% pada SCC-4. Klasifikasi *viscosity* untuk semua specimen masuk dalam kriteria VF₂. Berdasarkan standar (EFNARC 2005) *slump flow* waktu alir dari pengujian V-Funnel dari semua specimen memenuhi syarat sebagai SCC yaitu berkisar 6-12 detik.
 - Peningkatan persentase penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti semen pada SCC, menurunkan nilai rasio H_2/H_1 , yang berarti menurunkan karakteristik *passing ability* SCC. Klasifikasi *passing ability* SCC untuk semua specimen masuk dalam kriteria PA₂. Berdasarkan standar

(EFNARC 2005) nilai rasio H_2/H_1 dari semua specimen memenuhi syarat sebagai SCC yaitu 0,8-1,0.

2. Pengaruh penggunaan serbuk kaca mampu meningkatkan kuat tekan SCC dengan nilai kuat tekan tertinggi pada SCC 2 sebesar 55,108 MPa dengan peningkatan kuat tekan sebesar 17,65 % pada campuran serbuk kaca dengan persentase 7,5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Chikhalikar, S. and Tande, S. (2012). An Experimental Investigation On Characteristics Properties of Fibre Reinforced Concrete Containing Waste Glass Powder as Pozzolona. in 37th Conference on Our World in Concrete and Structures, Singapore.
- Du, H. and Tan, K. H. (2014). Waste Glass Powder As Cement Replacement In Concretes. *J. of Advanced Con. Tech.*12(11):468-477.
- Dwivedi, R.K, (2015). Self Compacting Concrete Mix design and Its Comparision With Conventional Concrete (M-40). *J. Civil And Environ Eng.*
- EFNARC. 2005. ERMCO the European Guidelines For Self Compacting Concrete, Europe.
- Gautam, S., Kumar, A. and Afaq, M. (2016). A Review Report On Comparative Study Of Waste Glass Powder As Pozzolanic Material In Concrete. *International Research J. Of Eng And Tech. (IRJET)*. 03(03):500-502.
- Justin, J. (2015). Eksplorasi Limbah Kaca Studi Kasus Industry Mebel. *E-Proc. Of Art And Design*. 2 : 908-909.
- Kim, J., Moon, J.H. and Shim J.W. (2014). Durability Properties Of A Concrete With Waste Glass Sludge Exposed To Freeze-And-Thaw Condition And De-Icing Salt. *Construction and building materials*. 66:398-402.
- Okamura, Hajime., Masahiro Ouchi. (2003). Self Compacting Concrete. 1:1-4.
- Vaitkevičius, V., Šerelis, E., and Hilbig, H. (2014). The Effect Of Glass Powder On The Microstructure Of Ultra High Performance Concrete. *Constructional Building Materials*. 68: 102-109.