

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN GGBFS SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN *FLOWABILITY* PADA BETON SCC

Ahmad Yudi¹, Ayu Sinta Aprilia², Muhamad Alfidya Wildani³

Program Studi Teknik Sipil^{1,2,3}
Institut Teknologi Sumatera^{1,2,3}

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365
ahmad.yudi@si.itera.ac.id¹, ayu.aprilias@si.itera.ac.id², muhamad.120210064@student.itera.ac.id³

Abstrak

Meningkatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia membuat kebutuhan bahan konstruksi pun semakin bertambah, terutama pada kebutuhan beton. Beton sering dipilih dalam dunia konstruksi karena dianggap mudah untuk dikerjakan serta harga yang relatif murah dibandingkan bahan lainnya. Peningkatan pembangunan infrastruktur tentunya membutuhkan teknologi atau inovasi terbaru untuk menghasilkan kualitas beton yang semakin baik dan meminimalisir waktu pengerjaan. *Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan sebuah inovasi beton modern yang memiliki kemampuan untuk mengalir dan memadat sendiri tanpa memerlukan bantuan alat vibrasi. Beton SCC memiliki komposisi yang hampir sama dengan beton normal hanya memiliki perbedaan pada viskositas yang dihasilkan. Penggunaan *superplasticizer* pada beton SCC sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kemampuan mengalir beton tanpa mengurangi kekuatan beton tersebut. Tujuan penelitian ini ialah untuk menganalisis pengaruh yang dihasilkan dari penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen terhadap nilai *flowability*, *passing ability*, dan kuat tekan yang dihasilkan pada beton SCC. Variasi GGBFS yang digunakan yaitu 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25% serta penambahan *superplasticizer* sebesar 1,2% dari berat total semen. Kuat tekan yang direncanakan yaitu 40 MPa dengan tata cara pembuatan beton mengacu pada SNI 7656 – 2012. Pengujian *flowability* dan *passing ability* yang dilakukan yaitu *slump flow*, *L-box test*, dan *V-funnel*. Hasil pengujian menunjukkan penggunaan GGBFS akan mempengaruhi kemampuan *flowability* dan *passing ability* serta meningkatkan kuat tekan seiring dengan meningkatnya GGBFS yang

digunakan. Kuat tekan maksimum terjadi pada variasi GGBFS 20% sebesar 43,687 MPa.

Kata kunci : SCC, GGBFS, Kuat Tekan, *Flowability*, *Passing Ability*

Abstract

The increasing infrastructure development in Indonesia has led to a growing demand for construction materials, especially concrete. Concrete is often chosen in the construction world because it is considered easy to work with and relatively inexpensive compared to other materials. The increase in infrastructure development certainly requires the latest technology or innovations to produce better quality concrete and minimize construction time. Self Compacting Concrete (SCC) is a modern concrete innovation that has the ability to flow and compact itself without the help of a vibration device. SCC concrete has almost the same composition as normal concrete, only the difference in the viscosity produced. The use of superplasticizer in SCC concrete is needed to improve the flowability of concrete without reducing the strength of the concrete. The purpose of this study is to analyze the influence resulting from the use of GGBFS as a cement substitution on the value of flowability, passing ability, and compressive strength applied to SCC concrete. The variation of GGBFS used was 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; and 25% and the addition of a superplasticizer of 1.2% of the total weight of cement. The planned compressive strength is 40 MPa with the procedure for making concrete referring to SNI 7656 – 2012. The flowability and passing ability tests carried out are slump flow, L-box test, and V-funnel. The test results show that the use of GGBFS will affect the flowability and passing

ability and increase the compressive strength as the GGBFS used increases. The maximum compressive strength occurred at a 20% GGBFS variation of 43.687 MPa.

Keywords : SCC, GGBFS, Compressive Strength, Flowability, Passing Ability

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia membuat kebutuhan bahan konstruksi pun semakin bertambah, terutama pada kebutuhan beton (Ardiansyah & Husin, 2023). Beton sering dipilih dalam dunia konstruksi karena dianggap mudah untuk dikerjakan serta harga yang relatif murah dibandingkan bahan lainnya. Peningkatan pembangunan infrastruktur tentunya membutuhkan teknologi atau inovasi terbaru untuk menghasilkan kualitas beton yang semakin baik dan meminimalisir waktu pengerjaan. Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah salah satu inovasi guna menjawab permasalahan tersebut. Beton SCC memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal (Fernando et al., 2022). Hal ini menyebabkan beton SCC dapat mengalir dan merata ke seluruh area dalam bekisting tanpa memerlukan bantuan alat vibrator untuk pemadatan (Irfansyah et al., 2021). Dalam implementasinya, beton SCC memiliki beberapa kelebihan seperti pengurangan biaya, mempercepat waktu pengerjaan beton, mampu mengisi celah rongga yang sempit, serta meningkatkan kekuatan beton tersebut (Dost & Anil Kumar, 2021).

Komponen penyusun beton SCC tidak jauh berbeda dengan komponen beton pada umumnya yaitu terdiri agregat kasar, agregat halus, air, semen, dan superplasticizer. Komposisi agregat menjadi hal yang sangat krusial dalam memproduksi beton SCC. Semakin besar persentase agregat halus yang digunakan, akan meningkatkan flowability, tetapi mengurangi kuat tekan beton (Wagola & Muharyanto, 2021). Sementara itu, jika semakin besar persentase agregat kasar akan menimbulkan risiko segregasi dan menurunnya flowability beton tersebut (Nicolaas & Slat, 2019). Penggunaan superplasticizer sangatlah penting pada campuran beton SCC karena akan mempengaruhi viskositas atau kekentalan dari campuran beton yang akan dihasilkan. Selain mempengaruhi viskositas, penggunaan superplasticizer juga ditujukan untuk meningkatkan

workability pada beton, mereduksi konsumsi air, mempercepat setting time pada beton dan menjadikan beton menjadi lebih kedap air (Faqihuddin et al., 2021). Semakin tinggi kadar penggunaan superplasticizer maka kuat tekan yang dihasilkan akan semakin tinggi (Sitanggang et al., 2022)

Seiring meningkatnya kebutuhan beton pada pembangunan infrastruktur dibutuhkan inovasi pada pembuatan beton untuk mengurangi penggunaan semen dan mengurangi emisi karbon dioksida yang dihasilkan. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan yaitu menggunakan bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai substitusi semen, salah satunya adalah *Ground Granulate Blast Furnace Slag* atau GGBFS. *Ground Granulate Blast Furnace Slag* atau GGBFS merupakan bahan yang ramah lingkungan karena berasal dari limbah produksi baja. Secara alami GGBFS memiliki sifat pozzolanik yang cocok digunakan sebagai bahan substitusi dari semen (Anwar et al., 2023). Selain bersifat pozzolanik, GGBFS juga memiliki kandungan yang hampir serupa dengan semen. Kandungan kimia yang terdapat dalam slag besi atau GGBFS dapat diketahui melalui uji XRF dan diperoleh bahwa slag besi memiliki kandungan kimia berupa SiO_2 , CaO , Al_2O_3 . Kandungan tersebut membuat slag besi atau GGBFS bersifat pozzolanik (Vivek, 2021). Dari latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian menggunakan GGBFS sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan pada beton SCC.

II. METODE PENELITIAN

Beton SCC

Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan jenis beton yang memiliki karakteristik mampu mengalir dan mengisi rongga dalam bekisting secara mandiri tanpa memerlukan bantuan alat pemadat atau vibrator. Beton SCC dibuat dengan viskositas yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal sehingga mampu mengisi tiap celah atau area yang padat dengan tulangan tanpa adanya segregasi ataupun bleeding. Beton SCC cenderung memiliki kepadatan yang lebih tinggi serta menghasilkan permukaan yang lebih halus setelah proses pengecoran (Nurjamilah & Sihotang, 2018). Penggunaan beton SCC merupakan suatu inovasi untuk menghasilkan beton yang lebih kuat dan ramah terhadap lingkungan. Beton SCC umumnya menggunakan bahan tambahan atau aditif dalam campuran beton yang khusus untuk mengatur sifat fluida dan konsistensi dari beton tersebut. Bahan

aditif yang umum digunakan adalah superplasticizer (Haniza et al., 2021).

GGBFS

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) merupakan limbah dari produksi industri baja. GGBFS terbentuk pada saat bijih besi, kokas, dan fluks dilebur secara bersamaan dalam suhu tanur yang tinggi sekitar 1500°C. GGBFS memiliki beberapa kandungan mineral seperti senyawa Alumina (Al₂O₃) dan Silika (SiO₂) dan beberapa unsur lainnya yang merupakan penyusun kimia pada semen. GGBFS memiliki kandungan yang tinggi pada senyawa Alumina dan Silika sehingga dapat memaksimalkan reaksi pozolanik pada proses sementasi Beton yang dibuat dengan tambahan GGBFS memiliki kekuatan tekan jangka panjang yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal (Adi et al., 2020)

Kuat Tekan Beton

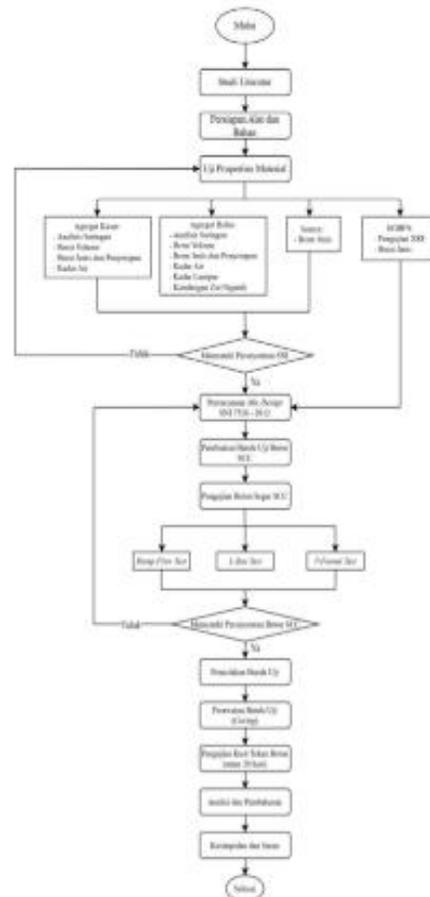
Nilai kuat tekan beton ialah besar tekanan yang diberikan oleh mesin tekan (*compression test*) per satuan luas hingga benda uji hancur ketika mencapai beban tertentu. Ukuran serta bentuk sampel uji akan berpengaruh terhadap nilai kuat tekan itu sendiri. Menurut SNI 1974 – 2011, berikut perhitungan untuk mengetahui nilai kuat tekan:

$$F'c = \frac{P}{A} \quad \dots [1]$$

Jenis Penelitian

Jenis penelitian menggunakan jenis kuantitatif yang dikombinasikan dengan metode eksperimental. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi penambahan GGBFS sebagai substitusi semen pada campuran beton SCC terhadap nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Sampel yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm sebanyak 18 buah serta kuat tekan yang direncanakan yaitu 40 MPa.

Tahapan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang sistematis untuk mengkaji pengaruh penggunaan GGBFS sebagai substitusi parsial semen pada karakteristik beton SCC. Diagram alir penelitian dapat di lihat pada Gambar 1.

1. Studi Literatur

Tahap awal penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mengumpulkan dasar teori dan informasi terkait beton SCC dan GGBFS. Literatur yang dikaji meliputi jurnal ilmiah, buku, standar dan hasil penelitian terdahulu yang relevan.

2. Persiapan Material dan Alat

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan material yang di butuhkan, seperti semen, agregat halus, agregat kasar, GGBFS, air dan *Superplasticizer*.



Gambar 2. Persiapan Bahan

3. Pengujian Material

Pengujian materia dilakukan terhadap bahan-bahan yang akan digunakan dalam pembuatan beton SCC. Pengujian dilaksanakan dalam empat kelompok paralel yaitu:

- Agregat halus, meliputi pengujian analisis saringan, berat jenis, penyerapan, kadar air dan kadar lumpur
- Agregat kasar, meliputi pengujian analisis saringan, berat jenis, penyerapan kadar air dan abrasi
- GGBFS, dilakukan pengujian karakteristik fisik dan kimia untuk mengetahui kandungan mineral dan sifat pozolannya.
- Semen dan *Superplasticizer*, dilakukan verifikasi karakteristik sesuai dengan spesifikasi teknis.



Gambar 3. Pengujian Agregat Halus

4. Perencanaan *Mix Design*

Setelah karakteristik material diketahui, dilakukan perencanaan mi design beton SCC dengan beberapa variasi substitusi GGBFS terhadap semen. Proporsi campuran di rancang dengan menggunakan metode SNI 7656 – 2012.

5. Pembuatan Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan proses pencampuran material sesuai dengan proporsi yang telah ditentukan, diikuti dengan pengujian beton segar dan pencetakan benda uji silinder. Benda uji di buat setiap variasi campuran.



Gambar 4. Pembuatan Benda Uji

6. Pengujian Beton Segar

Setelah pencampuran, dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik beton segar SCC yang meliputi: slump flow test, V-tunbel test, L-box test. Hasil pengujian ini menentukan apakah campuran beton telah memenuhi kriteria SCC. Jika memenuhi, proses dilanjutkan ke tahap berikutnya, jika tidak, dilakukan penyesuaian *mix design* dan pembuatan benda uji diulang.



Gambar 5. Pengujian Beton Segar

7. Perawatan Benda

Benda uji yang telah dicetak didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah itu, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan perawatan (*curing*) dengan cara direndam dalam air pada suhu ruang hingga umur pengujian.



Gambar 6. Perawatan Benda Uji

8. Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji berusia 28 hari di lakukan pengujian benda uji. Pengujian benda uji dilakukan untuk mengetahui kuat tekan sebagai mutu standar beton.



Gambar 7. Pengujian Benda Uji

Analisis Data

Setelah mendapatkan data kuat tekan beton, selanjutnya digunakan metode ANOVA untuk menganalisis data pengujian. digunakan untuk mengukur signifikansi perbedaan antara rata-rata dari dua kelompok atau lebih. Pendekatan ANOVA akan membandingkan variasi antara n rata-rata sampel dengan variabilitas yang melekat pada setiap sampel (Khoiri, 2021). Statistik uji yang membandingkan kedua jenis variasi ini ialah perbandingan variasi antar sampel (*between samples variation*) dengan variasi dalam sampel (*within samples variation*).

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

Perencanaan *Mix Design*

Perencanaan mix design dilakukan ketika seluruh uji properties sudah dilakukan dan material yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan. Perhitungan mix design pada penelitian ini menggunakan SNI 7656 – 2012 tentang Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Massa, dan Beton Berat sebagai acuan.

Tabel 1. Variasi Benda Uji

No	Persentase GGBFS	Persentase SP	FAS	Jumlah Sampel
1	0%			3
2	5%			3
3	10%			3
4	15%			3
5	20%	1,2%	0,35	3
6	25%			3
Total Sampel				18

Pengujian Karakteristik Material

Material yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton harus dilakukan pengujian terlebih dahulu guna memastikan bahwa kondisi material yang digunakan sudah sesuai dengan standar untuk mendapatkan hasil beton sesuai yang direncanakan. Pengujian yang dilakukan pada material penyusun beton yaitu agregat kasar, agregat halus, semen dan GGBFS.

1. Agregat Kasar

Berikut merupakan hasil pengujian agregat kasar:

Tabel 2. Uji Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil
1	Berat jenis	2,75
2	Penyerapan	2,74%
3	Berat Volume	1329,12 kg/m ³
4	Kadar Air	1,42%
5	Analisis Saringan	6,46

2. Agregat Halus

Berikut merupakan hasil pengujian agregat kasar:

Tabel 3. Uji Agregat Halus

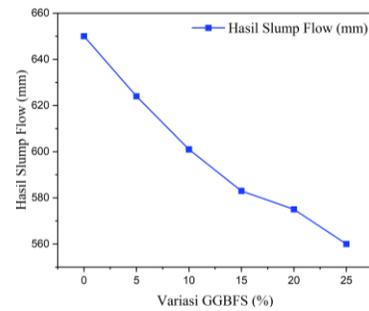
No	Pengujian	Hasil
1	Berat jenis	2,58
2	Penyerapan	1,83%
3	Berat Volume	1448,86 kg/m ³
4	Kadar air	2,88%
5	Analisis Saringan	2,62
6	Kandungan Zat	No. 3
7	Organik Kadar Lumpur	1,68%

3. Semen dan GGBFS

Berikut merupakan hasil pengujian semen dan GGBFS

Tabel 4. Uji Semen dan GGBFS

No	Pengujian	Hasil
1	Berat jenis semen	3,153
2	Berat Jenis GGBFS	3,184



Gambar 8. Grafik Pengujian Slump Flow

Perancangan Campuran Beton

Berikut merupakan kebutuhan material untuk membuat beton SCC dengan GGBFS sebagai substitusi semen per 1 m³ beton :

Tabel 5. Kebutuhan Material Untuk 1 m³ Beton SCC

Variasi	Air	Semen	Agregat Kasar	Agregat Halus	GGBFS	Semen digunakan	SP	Satuan
0%	241,01	673,57	1001,62	780,54	-	637,57	8,08	Kg
5%	241,01	673,57	1001,62	780,54	33,68	639,89	7,68	Kg
10%	241,01	673,57	1001,62	780,54	67,36	606,21	7,27	Kg
15%	241,01	673,57	1001,62	780,54	101,04	572,54	6,87	Kg
20%	241,01	673,57	1001,62	780,54	134,71	538,86	6,47	Kg
25%	241,01	673,57	1001,62	780,54	168,39	505,18	6,06	Kg

Pengujian Karakteristik Beton Segar SCC

Pembuatan beda uji beton SCC akan melalui beberapa tahapan sebelum dilakukan kuat tekan terhadap beton tersebut, salah satunya adalah pengujian karakteristik beton segar SCC. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui workability pada beton tersebut sudah memenuhi karakteristik beton SCC sesuai dengan EFNARC tahun 2005. Pengujian yang akan dilakukan ialah pengujian slump flow, l-box, dan v funnel. Pada penelitian ini akan diketahui pengaruh dari penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen pada beton segar SCC terhadap passing ability, filling ability, serta kekentalan dari beton tersebut. Penggunaan GGBFS dapat meningkatkan kuat tekan beton SCC, tetapi akan mengurangi kemampuan beton untuk mengalir (Dost & Anil Kumar, 2021).

1. Hasil Uji Slump Flow

Tabel 6. Hasil Uji Slump Flow

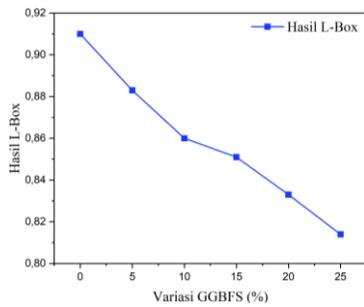
Variasi	Hasil Slump Flow (mm)
0%	650
5%	624
10%	601
15%	583
20%	575
25%	560

Berdasarkan Gambar 8 dapat diketahui bahwa nilai slump flow tertinggi berada pada variasi 0% atau tanpa penambahan GGBFS sebesar 650 mm. Sedangkan untuk sampel dengan substitusi GGBFS mengalami penurunan nilai slump flow dan nilai terendah terjadi pada variasi substitusi GGBFS 25% dengan nilai sebesar 560 mm. Dari gambar tersebut dapat dianalisis bahwa hubungan antara substitusi GGBFS dengan hasil nilai *slump flow* adalah berbanding terbalik, yaitu nilai *slump flow* tertinggi dihasilkan oleh variasi dengan substitusi terendah dan nilai *slump flow* terendah dihasilkan oleh variasi dengan substitusi tertinggi. Hal ini terjadi karena semakin besar GGBFS yang digunakan akan menghasilkan kekentalan beton segar SCC cukup tinggi sehingga beton segar SCC akan sulit mengalir. Berdasarkan hasil pengujian *slump flow* yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai slump flow pada setiap sampel yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi ketentuan EFNARC Tahun 2005, yaitu besar dari nilai *slump flow* beton SCC berada di rentang 550 mm hingga 850 mm.

2. Hasil Uji L-Box

Tabel 7. Hasil Uji L-Box

Variasi	Hasil L-Box (mm)
0%	0,91
5%	0,883
10%	0,86
15%	0,851
20%	0,833
25%	0,814



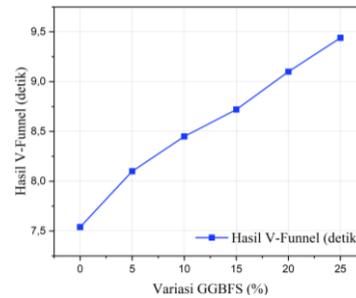
Gambar 9. Grafik Pengujian L-Box

Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui bahwa hasil tertinggi terjadi pada variasi 0% atau tanpa penggunaan GGBFS dengan nilai sebesar 0,91. Sedangkan untuk hasil terendah terjadi pada variasi GGBFS tertinggi yaitu 25% dengan nilai sebesar 0,814. Dari gambar tersebut dapat dianalisis bahwa hubungan antara penggunaan GGBFS dengan hasil nilai *L-Box* adalah berbanding terbalik, yaitu nilai *l-box* tertinggi dihasilkan oleh variasi GGBFS terendah dan *l-box* terendah dihasilkan oleh variasi GGBFS tertinggi. Hal ini terjadi karena semakin besar GGBFS yang digunakan akan menghasilkan kekentalan beton segar SCC cukup tinggi sehingga beton segar SCC akan sulit mengalir dan melewati celah rongga tulangan yang rapat, sehingga beton segar SCC akan lebih banyak tertahan di area upper box. Namun sebaliknya, semakin rendah penggunaan GGBFS yang digunakan akan menghasilkan kekentalan beton segar SCC yang rendah sehingga beton segar SCC akan mudah mengalir melewati tulangan yang rapat dan mampu setiap celah tanpa rongga. Hasil pengujian yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Dyavappanavar et al., 2024), yakni nilai *passing ability* akan meningkat apabila beton segar SCC memiliki viskositas yang lebih rendah. Nilai yang didapat sudah memenuhi ketentuan EFNARC Tahun 2005 yaitu besar nilai uji *l-box* sebesar 0,8 – 1,0.

3. Hasil Uji V-Funnel

Tabel 8. Hasil Uji Karakteristik Beton Segar SCC

Variasi	Hasil V-funnel (detik)
0%	7,54
5%	8,10
10%	8,45
15%	8,72
20%	9,1
25%	9,44



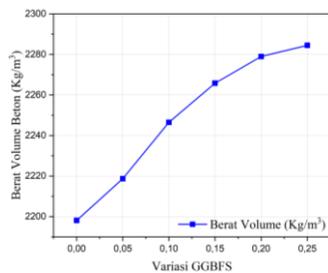
Gambar 10. Grafik Pengujian V-Funnel

Berdasarkan Gambar 10 dapat diketahui bahwa hasil tertinggi terjadi pada variasi 25% yaitu dengan waktu selama 9,44 detik. Sedangkan untuk hasil terendah terjadi pada variasi GGBFS terendah yaitu 0% dengan waktu selama 7,54 detik. Dari gambar tersebut dapat dianalisis bahwa hubungan antara penggunaan GGBFS dengan hasil nilai *v-funnel* adalah berbanding lurus, yaitu nilai *v-funnel* tertinggi dihasilkan oleh variasi GGBFS tertinggi dan nilai *v-funnel* terendah dihasilkan oleh variasi GGBFS terendah. Hal ini terjadi karena semakin besar GGBFS yang digunakan akan menghasilkan kekentalan beton segar SCC cukup tinggi sehingga waktu yang dibutuhkan beton segar SCC untuk mengalir dan melewati celah rongga lebih lama. Namun sebaliknya, semakin rendah penggunaan GGBFS yang digunakan akan menghasilkan kekentalan beton segar SCC yang rendah sehingga waktu yang dibutuhkan beton segar SCC untuk mengalir melewati celah rongga semakin sedikit. Hasil pengujian yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Dinakar et al., 2020), yakni nilai *filling ability* dari beton SCC akan meningkat apabila beton segar SCC memiliki viskositas yang lebih rendah. Faktor lain yang mempengaruhi viskositas beton segar SCC selain dari penggunaan GGBFS ialah penambahan superplasticizer sebagai zat adiktif pada campuran beton yang mampu meningkatkan kemampuan mengalir beton segar serta mengurangi penggunaan air hingga 30%. Berdasarkan hasil uji *V-Funnel* yang telah dilakukan, nilai yang didapat sudah memenuhi ketentuan EFNARC Tahun 2005 yaitu waktu yang dibutuhkan untuk beton SCC mengalir melalui corong V alat uji berkisar antara 6 – 12 detik.

Pengujian Berat Volume Beton SCC

Tabel 9. Hasil Uji Karakteristik Beton Segar SCC

Variasi	Berat Sampel (Kg)	Volume (m ³)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata-rata (Kg/m ³)
GGBFS 0% (A)	3,486	0,00157	2220,382	2198,09
GGBFS 0% (B)	3,483	0,00157	2218,471	
GGBFS 0% (C)	3,384	0,00157	2155,414	
GGBFS 5% (A)	3,498	0,00157	2228,025	2218,68
GGBFS 5% (B)	3,492	0,00157	2224,204	
GGBFS 5% (C)	3,46	0,00157	2203,822	
GGBFS 10% (A)	3,545	0,00157	2257,962	2246,50
GGBFS 10% (B)	3,528	0,00157	2247,134	
GGBFS 10% (C)	3,508	0,00157	2234,395	
GGBFS 15% (A)	3,564	0,00157	2270,064	2265,82
GGBFS 15% (B)	3,557	0,00157	2265,605	
GGBFS 15% (C)	3,551	0,00157	2261,783	
GGBFS 20% (A)	3,605	0,00157	2296,178	2278,98
GGBFS 20% (B)	3,578	0,00157	2278,981	
GGBFS 20% (C)	3,551	0,00157	2261,783	
GGBFS 25% (A)	3,613	0,00157	2301,274	2284,50
GGBFS 25% (B)	3,588	0,00157	2285,350	
GGBFS 25% (C)	3,559	0,00157	2266,879	



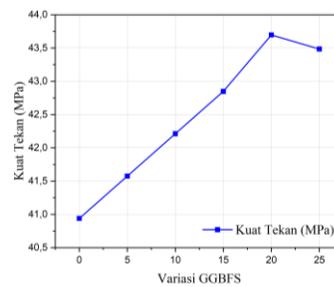
Gambar 11. Grafik Pengujian Berat Volume Beton

Berdasarkan Gambar 11 dapat diketahui bahwa hasil tertinggi berat volume beton terjadi pada variasi 25% yaitu dengan berat volume beton sebesar 2284,50 kg/m³. Sedangkan untuk hasil terendah terjadi pada variasi GGBFS terendah yaitu 0% dengan berat volume beton sebesar 2198,08 kg/m³. Dari gambar tersebut dapat dianalisis bahwa hubungan antara penggunaan GGBFS dengan hasil berat volume beton adalah berbanding lurus, yaitu berat volume beton tertinggi dihasilkan oleh variasi GGBFS tertinggi dan berat volume beton terendah dihasilkan oleh variasi GGBFS terendah. Hal ini terjadi karena GGBFS memiliki nilai berat jenis yang lebih tinggi yaitu 3,184 sedangkan berat jenis semen sebesar 3,153 sehingga akan mempengaruhi berat volume beton yang dihasilkan. Hasil pengujian yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Steffany et al., 2023) yang menyebutkan bahwa apabila bahan substitusi semen memiliki nilai berat jenis yang lebih tinggi daripada semen, maka berat volume beton yang dihasilkan akan semakin besar seiring bertambahnya persentase substitusi yang digunakan.

Pengujian Kuat Tekan Beton SCC

Tabel 10. Hasil Uji Karakteristik Beton Segar SCC

Variasi	Kuat Tekan (kN)	Luas Benda Uji (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
GGBFS 0% (A)	320	7857,143	40,727	40,939
GGBFS 0% (B)	320	7857,143	40,727	
GGBFS 0% (C)	325	7857,143	41,364	
GGBFS 5% (A)	325	7857,143	41,364	41,576
GGBFS 5% (B)	325	7857,143	41,364	
GGBFS 5% (C)	330	7857,143	42,000	
GGBFS 10% (A)	335	7857,143	42,636	42,212
GGBFS 10% (B)	335	7857,143	42,636	
GGBFS 10% (C)	325	7857,143	41,364	
GGBFS 15% (A)	335	7857,143	42,636	42,848
GGBFS 15% (B)	340	7857,143	43,273	
GGBFS 15% (C)	335	7857,143	42,636	
GGBFS 20% (A)	350	7857,143	44,545	43,697
GGBFS 20% (B)	340	7857,143	43,273	
GGBFS 20% (C)	340	7857,143	43,273	
GGBFS 25% (A)	350	7857,143	44,545	43,485
GGBFS 25% (B)	335	7857,143	42,636	
GGBFS 25% (C)	340	7857,143	43,273	



Gambar 6. Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 6. dapat diketahui hubungan antara nilai kuat tekan dan variasi GGBFS ialah berbanding lurus. Pada variasi 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25% didapatkan nilai kuat tekan beton berturut-turut sebesar 40,939 Mpa; 41,576 MPa; 42,212 MPa; 42,848 MPa; 43,697 MPa; dan 43,485 MPa. Kuat tekan yang dihasilkan merupakan pengaruh dari penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen. Hal ini sesuai penelitian (Anwar et al., 2023) yang menjelaskan bahwa penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen dapat meningkatkan kuat tekan yang dihasilkan. Kuat tekan yang dihasilkan tersebut dikarekan GGBFS memiliki kandungan silika dan alumina yang tinggi serta butiran GGBFS yang lebih halus sehingga membuat workability dari beton meningkat. Selain itu, dengan penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen akan memperlambat reaksi hidrasi yang terjadi tetapi beton akan menghasilkan kekuatan akhir yang lebih tinggi. Namun pada variasi 25% beton mengalami penurunan kuat tekan hal ini dikarenakan penambahan air yang semakin banyak pada variasi tersebut sehingga membuat workability beton menurun dan kuat tekan yang dihasilkan juga menurun.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen akan berpengaruh pada nilai flowability dan passing ability yang dihasilkan dari beton SCC. Pada pengujian slump flow hasil yang didapatkan ialah nilai slump flow mengalami penurunan hingga 13,846%. Pada pengujian L-box hasil yang didapatkan ialah nilai L-Box mengalami penurunan hingga 10,55%. Pada pengujian V-funnel, waktu yang dibutuhkan beton untuk mengalir mengalami peningkatan hingga 25,2%.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berat volume beton SCC dengan penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen mengalami peningkatan. Dari keseluruhan variasi didapatkan nilai berat volume beton SCC berturut-turut sebesar 2198,09 kg/m³; 2218,68 kg/m³; 2246,50 kg/m³; 2265,82 kg/m³; 2278,98 kg/m³; dan 2284,50 kg/m³. Hal ini terjadi karena GGBFS memiliki nilai berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan semen, sehingga berat volume beton yang dihasilkan akan meningkat.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kuat tekan yang dihasilkan pada beton SCC dengan penggunaan GGBFS sebagai substitusi semen mengalami peningkatan pada variasi 5% hingga 25% secara berturut-turut sebesar 3,93%; 5,53%; 7,12%; 9,24%; dan 8,712%. Namun pada variasi 25% beton mengalami penurunan kuat tekan hal ini dikarenakan penambahan air yang semakin banyak pada variasi tersebut. Pada variasi 25% terjadi perubahan nilai FAS pada campuran beton dan setting time yang dibutuhkan pun semakin lama sehingga membuat workability dan kuat tekan beton menurun.

REFERENSI

Adi, R. Y., Rizqi, S. Y., Subagyo, S. A. P., & Lie, H. A. (2020). Pengaruh Substitusi Semen dengan Semen Slag pada Mortar terhadap Kebutuhan Air dan Waktu Ikut, dan Peningkatan Kuat Tekan Mortar pada Umur 14 hari dan 28 Hari. *204 Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 204–211.

Anwar, R. N., Chalid, A., & Siregar, C. A. (2023). PENGARUH GROUND GRANULATED BLAST FURNACE (GGBF) SLAG SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON. *SISTEM INFRASTRUKTUR TEKNIK SIPIL (SIMTEKS)*, 3(1), 131-ISSN143.

Ardiansyah, M. K., & Husin, A. E. (2023). Analisis Faktor yang berpengaruh dalam Penerapan Green Retrofitting Industri Beton di Indonesia untuk Meningkatkan Kinerja Biaya. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(1), 33–46.

Dinakar, P., Sethy, K. P., & Sahoo, U. C. (2020). Design of self-compacting concrete with ground granulated blast furnace slag. *Materials and Design*, 43, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.049>

Dost, A., & Anil Kumar, M. (2021). Effects of Fly Ash, Coarse Aggregate, Ground Granulated Blast Furnace Slag and Curing on the Strength of Self-Compacting Concrete (SCC). *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net

Dyavappanavar, S. P., Kulkarni, D. K., Channagoudar, S., Wali, S., Vijapur, G., Patil, S., Sathyanarayana, A., & Shwetha, G. C. (2024). Enhancing Concrete Performance: Utilizing Industrial Waste GGBFS as an Admixture in Self-Compacting Concrete. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 14(2), 246–251. <https://doi.org/10.2478/jaes-2024-0030>

Faqihuddin, A., Hermansyah, & Kurniati, E. (2021). TINJAUAN CAMPURAN BETON NORMAL DENGAN PENGGUNAAN SUPERPLASTICIZER SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AIR SEBESAR 0%; 0,3%; 0,5% DAN 0,7% BERDASARKAN BERAT SEMEN. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1), 34–45.

Fernando, R., Taurano, G. A., & Riyanto. Didit Puji. (2022). PERILAKU SELF COMPACTING CONCRETE TERHADAP VARIASI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN MENGGUNAKAN ABU SEKAM PADI DAN KAPUR. *ORBITH*, 18(3), 188–198.

Haniza, S., Jusi, U., & Saputra, A. (2021). Analisis Karakteristik Beton Self Compacting Concrete Terhadap Penambahan Superplasticizer Master Gelenium ACE 8595. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 1(1), 68–76.

Irfansyah, M. H., Rakhmawati, A., & Arnandha, Y. (2021). Studi Analisis Beton Mutu Tinggi Scc (Self Compacting Concrete) Menggunakan Campuran Limbah Marmer Dan Superplasticizer. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*

- Sipil*, 2(1), 56.
<https://doi.org/10.31002/jris.v2i1.4182>
- Khoiri, N. (2021). BUKU STATISTIKA (Konseptual dan Aplikatif Perspektif Manajemen Pendidikan). In M. Ag. Dr. H. Nur Khoiri (Ed.), *Konseptual dan Aplikatif Perspektif Manajemen Pendidikan* (1st ed., Vol. 1, pp. 1–232). Southeast Asian Publishing. www.seapublication.com
- Nicolaas, S., & Slat, E. N. (2019). Pemanfaatan Beton Pematatan Mandiri (Self Compacting Concrete) Sebagai Balok Struktur Dengan Menggunakan Agregat Lokal. *Jurnal Integrasi*, 11(2), 81–85.
<https://doi.org/10.30871/ji.v11i2.1651>
- Nurjamilah, I., & Sihotang, A. (2018). Kajian Karakteristik Beton Memadat Sendiri yang Menggunakan Serat Ijuk. *Jurusan Teknik Sipil Itenas*, 4(4), 54–65.
- Sitanggang, R., Hutabarat, N. S., & Ginting, R. (2022). PENGGUNAAN SUPERPLASTICIZER PADA BETON MUTU F^c 25 MPa. *JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL*, 11(2), 202.
<https://doi.org/10.46930/tekniksipil.v11i2.2707>
- Stefanny, Tanijaya, J., & Tonapa, S. R. (2023). Paulus Civil Engineering Journal Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Pengganti Semen Dengan Perendaman NaCl Terhadap Sifat Mekanik Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(4), 298–306.
<http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej> Pengaruh Penambahan Bottom Ash.....298
- Vivek, S. S. (2021). Performance of ternary blend SCC with ground granulated blast furnace slag and metakaolin. *Materials Today: Proceedings*, 49, 1337–1344.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.422>
- Wagola, E. S., & Muharyanto, E. A. (2021). Kuat Tekan Beton Self Compacting Concrete (SCC) Menggunakan Pasir Besi Pada Pesisir Pantai Kecamatan Waplau. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(2), 153.
<https://doi.org/10.25077/jrs.17.2.153-163.2021>