

Inovasi Teknologi SCGC (*Self Compacting Geopolymer Concrete*) Sebagai Material Berkelanjutan

Anik Kustirini¹⁾, Dhamang Budi Cahyono²⁾, Bambang Purnijanto³⁾,
Diah Setyati Budiningrum⁴⁾

^{1, 2, 3, 4)} Universitas Semarang, Soekarno Hatta Semarang

Email: anikkustirini@usm.ac.id¹⁾, dhamangbudicahyono@usm.ac.id²⁾,
aabams@usm.ac.id³⁾, diahsb@usm.ac.id⁴⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v16i1.1334>

(Received: 12 November 2025 / Revised: 17 November 2025 / Accepted: 31 January 2026)

Abstrak

Beton geopolimer merupakan beton tanpa semen sebagai bahan pengikat, dipandang sebagai solusi mengatasi pemanasan global akibat produksi semen portland dan alternatif pengganti beton konvensional. Beton geopolimer segar memiliki kekentalan kaku yang tidak *workable*, padahal *workability* sangat dibutuhkan dalam proses pengecoran di lapangan. Untuk mengatasi masalah ini, dikembangkan inovasi *Self Compacting Concrete* (SCC) yang dapat memadat sendiri tanpa alat pemadat. Beberapa metode untuk mendapatkan sifat *self compacting* meliputi pengaturan kadar agregat, rasio air, dan penggunaan *superplasticizer*. Penambahan *superplasticizer* membuat geopolimer lebih *workable* dengan *setting time* lebih lama. Pengujian menggunakan *slump flow*, *v funnel*, dan *box test*. Penelitian ini menganalisis kinerja *Self Compacting Geopolymer Concrete* (SCGC) menggunakan *fly ash* PLTU Tanjungjati B sebagai pengganti semen. Hasil pengujian menunjukkan campuran berhasil diformulasikan sebagai SCGC berperforma tinggi dengan keseimbangan sangat baik antara fluiditas, stabilitas, dan kemampuan melewati celah sempit. Beton ini efektif untuk aplikasi pada elemen struktur dengan geometri rumit dan penulangan padat, berpotensi meningkatkan efisiensi konstruksi, mengurangi pemadatan mekanis, dan menjamin kepadatan optimal di seluruh struktur.

Kata kunci: SCGC, Fly ash, Slump Flow, V Funnel, Box test

Abstract

Geopolymer concrete is concrete without cement as a binding material, seen as a solution to global warming caused by Portland cement production and an alternative to conventional concrete. Fresh geopolymer concrete has a stiff consistency that is not workable, even though workability is very much needed in the casting process in the field. To overcome this problem, Self Compacting Concrete (SCC) innovation has been developed, which can compact itself without compaction tools. Several methods to obtain self-compacting properties include adjusting the aggregate content, water ratio, and the use of superplasticizers. The addition of superplasticizers makes geopolymers more workable with a longer setting time. Testing was carried out using slump flow, V-funnel, and box tests. This study analyzes the performance of Self-Compacting Geopolymer Concrete (SCGC) using fly ash from the Tanjungjati B power plant as a cement substitute. The test results show that the mixture was successfully formulated as high-performance SCGC with an excellent balance between fluidity, stability, and the ability to pass through narrow gaps. This concrete is effective for applications in structural elements with complex geometries and dense reinforcement, potentially increasing construction efficiency, reducing mechanical compaction, and ensuring optimal density throughout the structure.

Keywords: SCGC, Slump Flow, V-Funnel, Box Test

1. Latar Belakang

Dalam industri konstruksi modern, kebutuhan akan material yang memiliki performa tinggi dan ramah lingkungan semakin meningkat. Salah satu inovasi dalam bidang beton adalah *Self-Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)*, yang menggabungkan keunggulan beton geopolymer dengan sifat *selfcompacting* (Thakur and Bawa, 2022). Beton geopolymer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits sebagai alternatif beton berbasis semen portland, dengan menggunakan bahan pengikat berbasis aluminosilikat yang diaktifkan oleh larutan alkali (Davidovits, 2013). Sebagai perbandingan, produksi semen global menyumbang 7% emisi gas rumah kaca ke lingkungan (Kustirini *et al.*, 2024). Permasalahan utama dalam pengembangan SCGC adalah bagaimana mengoptimalkan campuran SCGC (Self Compacting Geopolymer Concrete) agar tetap stabil selama proses pengecoran serta mengetahui kuat tekan dan kuat lentur yang dihasilkan.

Penggunaan bahan limbah industri seperti fly ash, slag, dan metakaolin dalam beton geopolymer menjadikannya lebih ramah lingkungan dibandingkan beton konvensional karena mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan dari produksi semen portland (Duxson *et al.*, 2007). Proses pembuatan beton geopolimer hanya membutuhkan pemanasan $\pm 60^{\circ}\text{C}$, sehingga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 20% (Kustirini, Antonius and Setiyawan, 2024). Limbah produksi seperti fly ash, silika fume, slag, sekam padi, dan lumpur merah juga dapat digunakan sebagai bahan utamanya (Kustirini, Antonius and Setiyawan, 2022). Dengan demikian, teknologi geopolimer menjadi solusi unggul yang secara efektif mengubah limbah menjadi sumber daya berharga, sekaligus mengatasi krisis limbah abu batubara di Indonesia (Kustirini, Situmorang and Muldiyanto, 2024).

SCC (*Self-Compacting Concrete*) merupakan jenis beton yang dapat mengalir dan mengisi cetakan tanpa memerlukan pemadatan mekanis, sehingga meningkatkan efisiensi pekerjaan, mengurangi tenaga kerja, dan meningkatkan kualitas hasil akhir (Okamura and Ouchi, 2003). Kombinasi teknologi *self-compacting* dengan beton geopolymer menghasilkan SCGC, yang tidak hanya memiliki kemampuan mengalir dan memadat sendiri tetapi juga menawarkan ketahanan yang lebih baik terhadap lingkungan agresif (D H, 2014).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa SCGC memiliki kinerja mekanis yang sangat baik, termasuk kuat tekan tinggi, ketahanan terhadap serangan kimia, serta daya tahan terhadap suhu tinggi (Rangan, 2014)(Deb, 2013). Namun, masih terdapat tantangan dalam penerapannya, seperti optimalisasi reologi campuran, stabilitas volume, serta kompatibilitas antara material penyusun dan aktivator alkali (Author *et al.*, 2018) (Henigal, Sherif and Hassan, 2017). Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik mekanis, reologi, serta ketahanan jangka panjang SCGC dalam berbagai kondisi lingkungan menjadi krusial dalam upaya meningkatkan keberlanjutan di sektor konstruksi (Mukilan *et al.*, 2024).

Dengan meningkatnya kebutuhan akan material konstruksi yang lebih berkelanjutan, pengembangan SCGC menjadi salah satu solusi potensial untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri beton, sekaligus meningkatkan kualitas dan efisiensi konstruksi (Venkatesan, 2020) (Ahmed *et al.*, 2024) (Januarti, Nuroji and Prasetya, 2014). Studi lebih lanjut diharapkan dapat mengatasi tantangan teknis yang ada dan memperluas penerapan SCGC dalam skala industri. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan stabilitas campuran SCGC agar memiliki kinerja terbaik dalam aplikasi konstruksi

dengan mix design SCGC yang optimal serta menganalisis kuat tekan dan kuat lentur SCGC.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan dimulai bulan Maret sampai dengan September tahun 2025. Tempat pelaksanaan penelitian dan pengujian di Laboratorium Bahan Universitas Semarang (USM). Beton sampel menggunakan benda uji yang berupa silinder ukuran diameter 15 cm x 30 cm dan balok 15 cm x 15 cm x 60 cm.

2.2 Bahan dan Peralatan

Fly ash rendah kalsium diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjungjati B di Jepara digunakan sebagai bahan bakunya. Itu diklasifikasikan sebagai *fly ash* kelas F menurut standar ASTM C618-15. Larutan *natrium hidroksida* (NaOH) 8M dan larutan *natrium silikat* (Na_2SiO_3) digunakan sebagai aktivator. Untuk meningkatkan kemampuan kinerja beton digunakan *admixture*. Agregat halus dan agregat kasar diambil dari tambang lokal. Ukuran agregat kasar ditentukan dengan cara melewati saringan 10 mm (Concrete, 2010). Dalam penelitian ini, total enam benda uji kolom silinder untuk uji kuat tekan SCGC dan enam balok untuk uji kuat lentur SCGC.

2.3 Mix Design Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah material konstruksi alternatif yang dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat, melainkan memanfaatkan material alumino-silikat seperti abu terbang (*fly ash*) atau abu sekam padi yang direaksikan dengan larutan alkali aktivator (NaOH dan Na_2SiO_3) untuk menghasilkan binder yang ramah lingkungan dan memiliki kuat tekan yang setara atau lebih baik dibandingkan beton konvensional (Made *et al.*, 2024). *Mix design* yang digunakan pada pembuatan benda uji beton geopolimer ini adalah hasil dari analisa trial beton geopolimer yang memenuhi syarat. Dengan berat volume beton geopolimer sama dengan 2400 kg/m^3 maka didapatkan komposisi beton geopolimer per meter kubik seperti pada tabel 3.1. Konsentrasi larutan NaOH yang digunakan adalah 8M (Hardjito *et al.*, 2005).

Tabel 1 *Mix Design* Beton Geopolimer tiap 1 m^3

Material	Berat (kg/m^3)
Agregat kasar	953
Agregat halus	408
<i>Fly ash</i>	680
Na_2SiO_3	218
Aktivator NaOH 8M	109
<i>Admixture</i>	13,6

2.4 Metode Pengambilan dan Analisis Data

Metode penelitian dengan metode eksperimen, pelaksanaan pembuatan sample ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu persiapan bahan, pembuatan benda uji, perawatan, dan pengujian.

Menurut ASTM C 39 -99 (Method, no date), kuat tekan benda uji beton silinder dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan

- f 'c = Kuat tekan beton dengan benda uji silinder (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas permukaan benda uji (mm²)

Pengujian lentur balok beton menurut SNI 4431-2020 (SNI-4431, 2011), jika luas retak/patah 1/3 dari bentang tengah dengan dua beban, maka kuat lentur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Fr = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2)$$

Keterangan

- Fr = Kekuatan lentur (MPa)
- P = beban maksimum (KN)
- L = panjang benda uji (mm)
- h = tinggi benda uji (mm)
- b = lebar benda uji (mm)

2.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi pustaka dan gap analysis terhadap jurnal-jurnal terkait teknologi beton geopolimer yang dapat memadatkan sendiri, untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang ada. Selanjutnya dilakukan persiapan peralatan dan material penelitian, termasuk pengadaan prekursor geopolimer (*fly ash atau slag*), alkali aktivator, agregat, dan bahan tambah lainnya. Setelah material diuji karakteristiknya, dilakukan perancangan *mix design* yang mempertimbangkan rasio optimal antara komponen-komponen untuk mencapai sifat *self-compacting* sekaligus mempertahankan kekuatan dan durabilitas beton.

Proses berlanjut dengan pencampuran beton sesuai *mix design* yang telah dirancang, kemudian dituang ke dalam cetakan untuk pembuatan benda uji. Pada tahap ini dilakukan pengujian kelecekan beton menggunakan *slump flow test*, *L-box test*, dan *V-funnel test* untuk memverifikasi sifat *self-compacting*. Jika hasil pengujian belum memenuhi standar, *mix design* akan direvisi dan proses diulang hingga diperoleh komposisi optimal. Benda uji yang memenuhi kriteria kemudian menjalani proses curing sesuai metode yang telah ditentukan, yang dapat melibatkan curing suhu tinggi untuk mempercepat reaksi geopolimerisasi.

Setelah masa curing selesai, dilakukan pengujian mekanik dan durabilitas yang mencakup kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, penyerapan air, dan resistensi terhadap penetrasi klorida. Data hasil pengujian kemudian dianalisis dan dibahas secara komprehensif untuk mengevaluasi performa SCGC, membandingkannya dengan beton konvensional, dan mengkaji aspek keberlanjutannya dari sisi emisi karbon dan pemanfaatan material limbah. Hasil penelitian didokumentasikan dalam bentuk publikasi jurnal terakreditasi, prosiding konferensi, pengajuan hak kekayaan intelektual, dan bahan ajar untuk pengembangan kurikulum, sehingga memberikan kontribusi baik bagi pengembangan ilmu pengetahuan maupun aplikasi praktis di industri konstruksi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengendalian Mutu

3.1.1 Aspek Kualitas Pengerjaan (*Workmanship*)

Dalam pengecoran hal yang harus diperhatikan adalah kemungkinan terjadinya perubahan kelecakan selama transportasi harus diperhitungkan ('SKh-1723-2017-beton-memadat-sendiri.pdf', no date). Kriteria yang dapat diterima untuk beton SCC ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2 Kriteria beton SCC

No.	Metode Pengujian	Satuan	Kriteria Penerimaan	
			Minimum	Maksimum
1	<i>Slump Flow</i>	mm	550	850
2	<i>V Funnel</i>	detik	6	12
3	<i>L Box</i>	H ₂ /H ₁	0.8	1.0
4	<i>J Ring</i>		0	1
5	<i>T-500 Slump Flow</i>	detik	2	5
6	<i>GTM Screen Ability</i>	%	0	1

3.1.2 Pengambilan Contoh, Pengujian dan Penerimaan

Untuk desain campuran awal SCC semua parameter kemampuan kerja perlu dikaji untuk memastikan bahwa semua aspek terpenuhi. Sebuah tes skala penuh harus digunakan untuk memverifikasi karakteristik pemadatan dari desain yang dipilih untuk aplikasi tertentu. Untuk kontrol kualitas dilakukan dua metode pengujian yang umumnya cukup untuk memantau kualitas produksi yaitu kombinasi *slump flow* dan *V funnel* (Method, no date).

Uji *slump flow* beton harus dilakukan pada kondisi datar, rata, lembab tanpa genangan air dengan peralatan yang memenuhi syarat sesuai ASTM C1611 (Method, no date). Pengisian beton segar ke dalam kerucut harus dilakukan sedikit demi sedikit dalam satu lapisan sampai kerucut penuh terisi tanpa dilakukan pemadatan.

Tabel 3 Kelas Pengujian *Slump Flow*

Kelas	<i>Slump Flow</i> (mm)	Peruntukan
SF1	550 - 650	Beton tanpa penulangan maupun beton dengan penulangan yang sedikit (dengan jarak antar tulangan lebih besar 200 mm). Pengecoran dilakukan dengan sistem pompa
SF2	660 - 750	Untuk aplikasi umum seperti dinding dan kolom (jarak antar tulangan 60-200 mm)
SF3	760 - 850	Biasanya diproduksi dengan ukuran maksimal agregat yang kecil dan digunakan pada struktur dengan penulangan rapat (jarak antar tulangan 35-60 mm)

3.2 *Slump Flow*

Berdasarkan pengujian *slump flow* yang dilaksanakan sesuai SKh-1.7.23. (2017). Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*), diperoleh hasil nilai rata-rata diameter sebar dari campuran beton segar sebesar 80 cm (800 mm).

Hasil ini menunjukkan bahwa campuran beton yang dikembangkan memiliki tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) dan kemampuan alir (*flowability*) yang sangat istimewa. Nilai 80 cm ini masuk ke dalam kategori kelas *slump flow* SF3

(760-850 mm), yang merupakan kelas dengan tingkat alir tertinggi untuk Beton Memadat Sendiri (*Self-Compacting Concrete/SCC*).

Secara visual, selama pengujian, adukan beton mampu menyebar secara konsentris dan homogen tanpa menunjukkan adanya gejala segregasi (pemisahan agregat kasar dari matriks pasta) maupun *bleeding* (pelepasan air) yang signifikan. Hal ini mengonfirmasi bahwa selain sangat encer, campuran beton ini juga memiliki stabilitas yang baik dan tetap kohesif saat mengalir (Nuruddin, Demie and Shafiq, 2012). Hasil uji *slump flow* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Hasil uji *slump flow*

3.3 V Funnel

Untuk mengukur kemampuan beton segar melewati bagian yang menyempit dan mengevaluasi viskositasnya, dilakukan pengujian *V funnel* sesuai dengan prosedur standar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan beton untuk mengalir keluar sepenuhnya dari corong V adalah 9,32 detik.



Gambar 2 Uji V Funnel

Menurut SKh-1.7.23. (2017). Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*), waktu alir antara 6 hingga 12 detik masuk ke dalam kriteria penerimaan, yang menunjukkan keseimbangan yang baik antara kemampuan alir dan ketahanan terhadap segregasi. Waktu 9,32 detik ini mengonfirmasi bahwa campuran beton memiliki viskositas yang cukup untuk menjaga agregat tetap tersuspensi dalam matriks pasta selama mengalir, namun tetap cukup encer untuk mengisi bekisting dengan cepat dan efisien. Uji *V Funnel* ditunjukkan Gambar 2.

3.4 *L-Box*

Untuk menilai kemampuan campuran beton segar melewati halangan berupa tulangan simulasi, pengujian *L-box* dilaksanakan sesuai dengan standar. Parameter utama yang diukur adalah rasio ketinggian H_2/H_1 , yang merepresentasikan *passing ability* dari beton. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai H_2 sebesar 7,0 cm dan H_1 sebesar 7,6 cm sehingga rasio H_2/H_1 mendapatkan nilai sebesar 0,92. Nilai ini secara signifikan telah melampaui batas minimum yang disyaratkan untuk Beton Memadat Sendiri (*Self-Compacting Concrete/SCC*), yaitu $1 \geq H_2/H_1 \geq 0,80$. Secara kualitatif, hasil ini menunjukkan bahwa campuran beton mampu mengalir dengan lancar melalui tiga batang tulangan simulasi di dalam alat *L-box* tanpa mengalami penyumbatan (*blocking*) atau segregasi agregat. Uji *L-box* ditunjukkan pada Gambar 3.

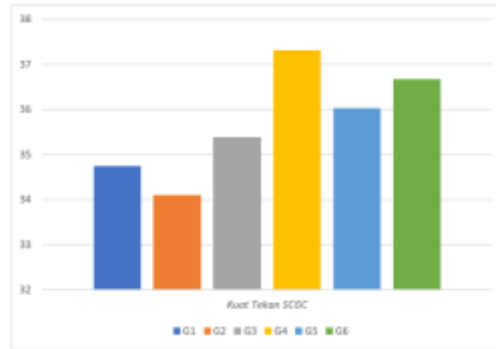


Gambar 3 Uji *L-box*

3.5 Kuat Tekan *SCGC* (*Compressive Strength of SCGC, f'c*)

Setelah di uji kuat tekan, benda uji beton memiliki retakan atau kerusakan pada permukaan, benda uji beton telah hancur atau rusak akibat tekanan, benda uji beton menunjukkan kekuatan tekan yang telah diukur dan dicatat, benda uji beton dapat menunjukkan pola kerusakan yang berbeda beda, seperti: kerusakan geser (*shear failure*), kerusakan tekan (*compression failure*). Faktor-faktor utama yang memengaruhi kuat tekan beton geopolimer meliputi: komposisi bahan baku, konsentrasi larutan alkali, rasio aktivator terhadap binder, metode dan suhu curing, agregat dan *workability* (Ezra and Liana, 2020).

Hasil uji kuat tekan *SCGC* dapat dilihat pada Gambar 4



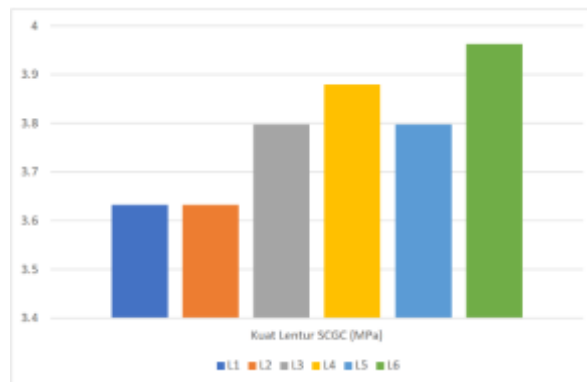
Gambar 4 Hasil Uji Kuat Tekan SCGC

Hasil Uji Kuat Tekan SCGC terlihat bervariasi dari 34.099 MPa sampai 37.316 MPa. Benda Uji G1 sebesar 34.742 MPa, G2 sebesar 34.099 MPa, G3 sebesar 35.386 MPa, G4 sebesar 37.316 MPa, G5 sebesar 36.029 MPa, G6 sebesar 36.672 MPa. Rata-rata kuat tekan SCGC dari 6 benda uji silinder 15/30 sebesar 35.707 MPa.

3.6 Kuat Lentur SCGC (Flexural Strength of SCGC, f_r)

Uji Kuat Lentur: pemberian beban: beban diberikan pada benda uji secara bertahap hingga benda uji mengalami kerusakan, pencatatan data: data beban dan defleksi dicatat pada setiap tahap beban, pengamatan kerusakan: kerusakan pada benda uji diamati dan dicatat.

Hasil uji kuat lentur SCGC dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil Uji Kuat Lentur SCGC

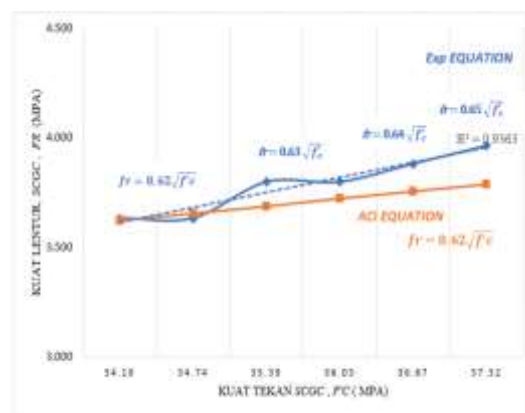
Hasil Uji Kuat Lentur SCGC terlihat bervariasi dari 3.632 MPa sampai 3.962 MPa. Benda Uji L1 sebesar 3.632 MPa, L2 sebesar 3.632 MPa, L3 sebesar 3.797 MPa, L4 sebesar 3.880 MPa, L5 sebesar 3.797 MPa, L6 sebesar 3.962 MPa. Rata-rata kuat lentur SCGC dari 6 benda uji balok 15x15x60 sebesar 3.783 MPa.

Kuat lentur (*flexural strength*) adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tarik akibat pembebanan yang menyebabkan lenturan. Parameter ini sangat penting terutama untuk elemen struktural yang menerima beban bending, seperti balok, slab atau *pavement*. Pada beton geopolimer, kuat lentur dipengaruhi oleh sifat mikrostruktur hasil polimerisasi serta kualitas ikatan antar agregat. Kuat lentur merupakan indikator penting dalam menilai performa beton geopolimer

terutama pada aplikasi struktural yang menerima beban lentur. Nilai kuat lentur sangat dipengaruhi oleh mutu matriks, sifat agregat, dan kondisi curing yang menentukan keberhasilan proses polimerisasi. Dengan desain campuran yang tepat, beton geopolimer mampu memberikan performa lentur yang baik, disertai keunggulan tambahan berupa ketahanan lingkungan dan penurunan emisi karbon.

3.7 Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur SCGC

Kuat tekan dan kuat lentur merupakan dua sifat mekanis utama pada beton yaitu: kuat tekan (f_c) menggambarkan kemampuan beton menahan gaya tekan dan kuat lentur (f_r) menggambarkan kemampuan beton menahan tegangan tarik saat mengalami pembebanan lentur (bending). Beton pada dasarnya kuat terhadap tekan namun lemah terhadap tarik/lentur. Karena itu, nilai kuat lentur biasanya jauh lebih kecil dibanding kuat tekan.



Gambar 6 Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur SCGC

Hasil pengujian kuat tekan (f_c) dan kuat lentur (f_r) pada *Self Compacting Geopolymer Concrete* (SCGC) menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan konsisten antara kedua parameter tersebut. Data menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan diikuti oleh peningkatan kuat lentur dengan pola yang stabil dan teratur.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa campuran *Self Compacting Geopolymer Concrete* (SCGC) yang dikembangkan menggunakan fly ash PLTU Tanjungjati B sebagai pengganti semen telah berhasil mencapai stabilitas optimal dengan kinerja yang sangat memuaskan dalam aplikasi konstruksi. *Mix design* yang dirancang menunjukkan keseimbangan yang sangat baik antara fluiditas, stabilitas, dan kemampuan passing melalui pengujian *slump flow* dengan nilai 80 cm (800 mm) yang masuk kategori SF3, uji *V funnel* dengan waktu alir 9,32 detik yang berada dalam rentang kriteria penerimaan 6-12 detik, dan uji L-box dengan rasio H_2/H_1 sebesar 0,92 yang melampaui batas minimum 0,80. Ketiga hasil pengujian ini secara kolektif mengonfirmasi bahwa campuran telah berhasil diformulasikan sebagai SCGC berperforma tinggi yang mampu mengalir dan memadat sendiri tanpa pemadatan mekanis, menjadikannya sangat efektif untuk aplikasi pada elemen struktur dengan geometri rumit dan penulangan padat.

Dari segi kekuatan mekanis, SCGC yang dikembangkan menunjukkan performa yang sangat baik dengan kuat tekan rata-rata mencapai 35,707 MPa dari enam benda uji silinder berukuran 15/30 cm dengan variasi nilai antara 34,099 MPa hingga 37,316 MPa, serta kuat lentur rata-rata sebesar 3,783 MPa dari enam benda uji balok berukuran 15x15x60 cm dengan variasi nilai antara 3,632 MPa hingga 3,962 MPa. Hasil pengujian menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan konsisten antara kuat tekan dan kuat lentur, di mana peningkatan kuat tekan diikuti oleh peningkatan kuat lentur dengan pola yang stabil dan teratur. Kombinasi karakteristik *self-compacting* yang unggul dengan kekuatan mekanis yang memadai menjadikan SCGC ini berpotensi besar untuk meningkatkan efisiensi konstruksi, mengurangi kebutuhan pemadatan mekanis, menjamin kepadatan optimal di seluruh struktur, serta memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan emisi karbon dan pemanfaatan material limbah *fly ash* sebagai alternatif pengganti semen portland.

4.2 Saran

Merancang mix design *Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)* perlu diperhatikan secara seksama uji bahan yang digunakan, agar mendapatkan hasil yang maksimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPPM USM yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta bantuan yang konstruktif sehingga penelitian dapat terselesaikan dengan baik.

Daftar Kepustakaan

- Ahmed, B. *et al.* (2024) 'Development of Self-Compacting Geopolymer Concrete Using Fayalite Slag Aggregates', *MATEC Web of Conferences*, 398, p. 01036. Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439801036>.
- Author, C. *et al.* (2018) 'Sustainable Concrete: Building a Greener Future 6 7 24 25 Sustainable Concrete: Building a Greener Future 33'. Available at: https://www.researchgate.net/publication/262117070_Embodied_Energy_In_Residential_Cost_Effective_Units.
- Concrete, G. (2010) 'Low-Calcium, Fly-Ash-Based Geopolymer Concrete', pp. 1–21.
- D H (2014) 'Fly Ash-Based Geopolymer Concrete Fly Ash-Based Geopolymer Concrete', *Geopolymer Cement and Concrete*, 7982(May), pp. 68–106. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/230717147>.
- Davidovits, J. (2013) 'Geopolymer Cement a review', *Geopolymer Science and Technics*, (0), pp. 1–11.

- Deb, M.P.S. (2013) 'The effects of ground granulated blast-furnace slag blending with fly ash and activator content on the workability and strength properties of geopolymer concrete cured at ambient temperature', 43, pp. 37–49.
- Duxson, P. *et al.* (2007) 'Geopolymer technology: The current state of the art', *Journal of Materials Science*, 42(9), pp. 2917–2933. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0637-z>.
- Ezra, P. and Liana, P. (2020) 'Review Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer', 03(02).
- Hardjito, D. *et al.* (2005) 'On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete', (101), pp. 467–472.
- Henigal, A.M., Sherif, M.A. and Hassan, H.H. (2017) 'Study on Properties of Self-Compacting Geopolymer Concrete', *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(02), pp. 52–66. Available at: <https://doi.org/10.9790/1684-1402075266>.
- Januarti, J., Nuroji, N. and Prasetya, B.H. (2014) 'Self-Compacting- Geopolymer-Concrete (SCGC) Retrofitted Haunch Refbacks'.
- Kustirini, A. *et al.* (2024) 'Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Berbasis Fly ash PLTU Tanjungjati B Jepara', *Teknika*, 19(1), pp. 10–16. Available at: <https://doi.org/10.26623/teknika.v19i1.8748>.
- Kustirini, A., Antonius and Setiyawan, P. (2022) 'Effect of sodium hydroxide concentration on the compressive strength of geopolymer mortar using fly ash PLTU Tanjungjati B Jepara', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 955(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/955/1/012010>.
- Kustirini, A., Antonius and Setiyawan, P. (2024) 'Confinement Effectiveness on the Strength and Ductility from Geopolymer Concrete', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1321(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1321/1/012018>.
- Kustirini, A., Situmorang, A. and Muldiyanto, A. (2024) 'Mechanical Properties Geopolymer Concrete Based on Fly Ash PLTU Tanjung Jati B Jepara As An Alternative Material', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1321(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1321/1/012038>.
- Made, N. *et al.* (2024) 'Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Sekam Padi Geopolymer Concrete Compressive Strength Using', 12(1), pp. 35–41.
- Method, S.T. (no date) 'Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1', pp. 1–4. Available at: <https://doi.org/10.1520/C0039>.
- Mukilan, K. *et al.* (2024) 'Effect of mineral admixtures on the performance of self-compacting geopolymer concrete', *E3S Web of Conferences*, 529. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452901022>.
- Nuruddin, M.F., Demie, S. and Shafiq, N. (2012) 'Effect of mix composition on workability and compressive strength of self-compacting geopolymer concrete', 8(March), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1139/L11-077>.
- Okamura, H. and Ouchi, M. (2003) 'Sel-Compacting Concrete', *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), pp. 5–15.
- Rangan, B.V. (2014) 'Geopolymer concrete for environmental protection', *Indian Concrete Journal*, 88(4), pp. 41–59.

- ‘SKhi-1723-2017-beton-memadat-sendiri.pdf’ (no date).
SNI-4431 (2011) ‘Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan’.
Thakur, M. and Bawa, S. (2022) ‘Self-Compacting geopolymer Concrete: A review’, *Materials Today: Proceedings*, 59(May), pp. 1683–1693. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.400>.
Venkatesan, V. (2020) ‘Concrete With an Alkaline Activator’, (August).

Copyright (c) Anik Kustirini, Dhamang Budi Cahyono, Bambang Purnijanto, Diah Setyati Budiningrum