

PENGARUH LIMBAH *GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG* (GGBFS) PADA BETON 56 HARI

Reni Raafidiani¹, Melisa Mulyadi², Maria Angela Kartawidjaja³

^{1,2,3} Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

¹ Program Studi Konstruksi Bangunan, Politeknik TEDC

¹ korespondensi: reniraaf7@gmail.com

ABSTRACT

The utilization of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) waste as a geopolymer concrete mix is an innovation in the construction industry that aims to improve the quality of concrete while reducing negative impacts on the environment. The purpose of this study was to assess the use of GGBFS in geopolymer concrete mixtures on the compressive strength of concrete with a planned age of 56 days. In this experimental method using 36 concrete samples with a planned compressive strength of 26 MPa, the test specimens used were cylinders measuring 15 x 30 cm with different percentages of GGBFS mixes namely 45%, 50% and 55%. From the test results that have been carried out, the results obtained at the age of 56 days, the average compressive strength value for Normal Concrete (NC) is 28,300 MPa, Concrete with 45% GGBFS (GC-45) is 26,277 MPa, Concrete with 50% (GC-50) is 34,182 MPa and Concrete with 55% (GC-55) is 36,596 MPa. The comparative value between normal concrete and GGBFS concrete is that the 45% GGBFS mix has decreased by 7,7%, the 50% GGBFS mix has increased by 17,2% and the 55% GGBFS mix has increased by 22,7%. The most optimum percentage of GGBFS mixture is found in 56 days old concrete with 55% GGBFS mixture with the maximum value of concrete compressive strength obtained of 37,207 MPa and the average value of the three samples is 36,596 MPa and increased by 22,7% from normal concrete.

Keywords: GGBFS, geopolymer concrete, 56-day compressive strength of concrete

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) sebagai campuran beton geopolimer merupakan sebuah inovasi dalam industri konstruksi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas beton dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai penggunaan GGBFS dalam campuran beton geopolimer terhadap kekuatan tekan beton pada umur rencana 56 hari. Dalam metode eksperimen ini menggunakan sampel beton sebanyak 36 buah dengan kuat tekan rencana sebesar 26 MPa, benda uji yang digunakan berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm dengan persentase campuran GGBFS yang berbeda yaitu 45%, 50% dan 55%. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan hasil yang didapatkan pada umur 56 hari, nilai kuat tekan rata-rata untuk Beton Normal (NC) sebesar 28,300 MPa, Beton dengan 45% GGBFS (GC-45) sebesar 26,277 MPa, Beton dengan 50% (GC-50) sebesar 34,182 MPa dan Beton dengan 55% (GC-55) sebesar 36,596 MPa. Adapun nilai perbandingan antara beton normal terhadap beton GGBFS yaitu terhadap beton campuran GGBFS 45% mengalami penurunan sebesar 7,7%, terhadap beton normal campuran GGBFS 50% mengalami kenaikan sebesar 17,2% dan terhadap beton normal dan campuran GGBFS 55% mengalami kenaikan sebesar 22,7%. Persentase campuran GGBFS yang paling optimum terdapat pada beton umur 56 hari pada campuran GGBFS 55% dengan nilai maksimum kuat tekan beton yang didapatkan sebesar 37,207 MPa dan nilai rata-rata dari ketiga sampel sebesar 36,596 MPa dan meningkat sebesar 22,7% dari beton normal.

Kata Kunci: GGBFS, beton geopolimer, kuat tekan beton 56 hari

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya penggunaan material konstruksi hal ini terus mendorong inovasi dalam industri konstruksi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satunya adalah mengurangi

emisi karbon dioksida (CO₂) yang signifikan dari produksi semen Portland biasa. Produksi semen Portland konvensional diketahui menyumbang sekitar 5-8% dari total emisi karbon dioksida (CO₂) global, yang berdampak signifikan terhadap perubahan

iklim (1) Salah satu inovasi yang menonjol dalam bidang ini adalah beton geopolimer, yang merupakan material pengikat alternatif yang tidak menggunakan klinker semen Portland sebagai bahan utamanya. Beton geopolimer dibuat melalui aktivasi alkali terhadap material sumber yang kaya akan silika dan alumina, seperti Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), yang merupakan limbah dari industri peleburan besi (2). Di Indonesia, dengan adanya industri baja yang cukup besar, GGBFS relatif mudah didapatkan sebagai produk samping dari proses tersebut. Beberapa pabrik baja besar di Indonesia, seperti PT Krakatau Steel, menghasilkan GGBFS dalam jumlah signifikan yang dapat dimanfaatkan dalam industri konstruksi. Kandungan yang terdapat dalam GGBFS Slag utamanya terdiri dari SiO_2 , CaO , Al_2O_3 dan MgO , mirip dengan senyawa utama semen. Selain itu pada penelitian yang sudah dilakukannya membuktikan bahwa penambahan slag ke dalam semen Portland Jenis I dapat menaikkan kuat tekan yang terlihat jika umur pengikatan makin lama (3).

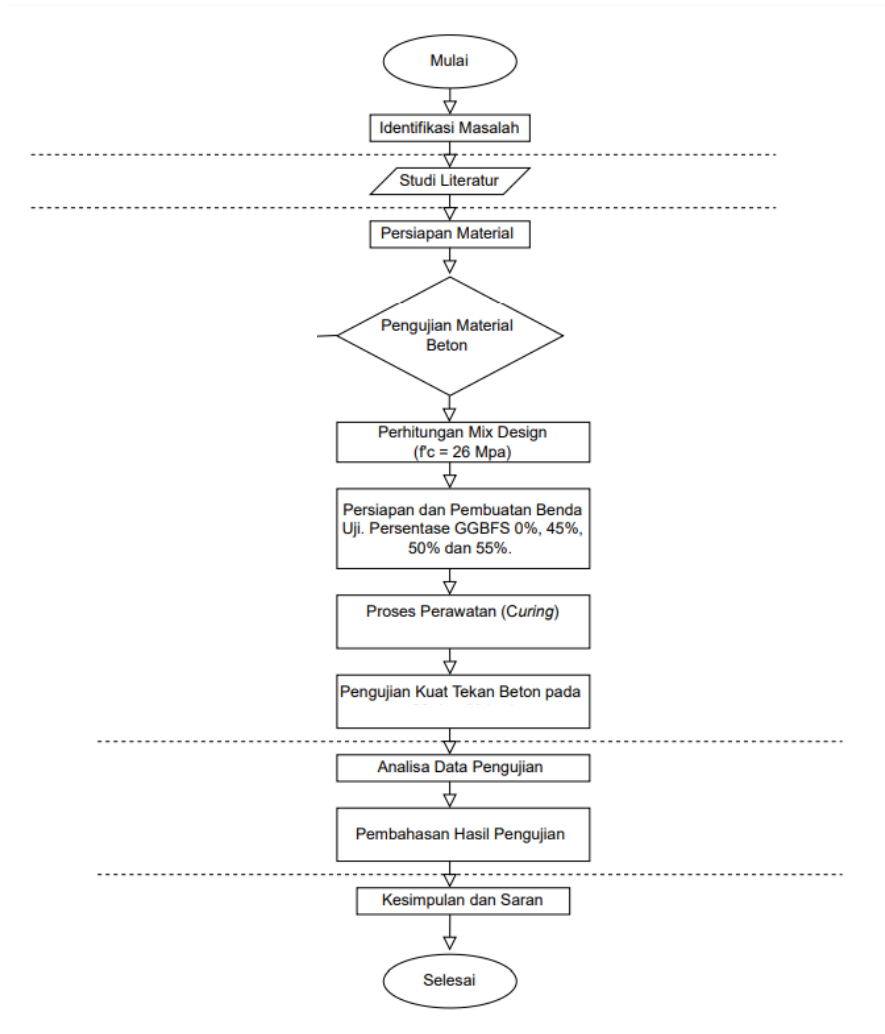
Selain itu, Campuran GGBFS dan mikro silika pada perbandingan tertentu memberi kuat tekan beton rendah pada saat awal, tetapi memberi kuat-tekan tinggi pada umur 56 hari (4). Pengujian GGBFS 3, 7, 28, 56 dan 91 hari menunjukkan bahwa pada umur 3 dan 7 hari beton GGBFS memang lebih rendah dari beton normal namun laju perkembangan kekuatan jangka panjang setelah umur 28 hari lebih cepat pada kasus pencampuran GGBFS

dan kasus pencampuran GGBFS dan SF secara bersamaan (5). Untuk persentase campuran yang telah dilakukan terdapat penelitian yang menghasilkan persentase optimum variasi GGBFS terhadap semen tipe II pada 28 hari penambahan GGBFS sebesar 4%, (6, 7) ada juga persentase yang mendekati kuat tekan rencana campuran GGBFS sebesar 10% (8), hasil lain menunjukkan nilai kuat tekan rencana pada inovasi penambahan GGBFS sebanyak 15% (9), beberapa penelitian juga menyatakan campuran GGBFS yang paling optimum pada persentase 45% (10), selain itu ada substitusi GGBFS 50% dapat digunakan untuk mengganti sebagai semen karena memiliki nilai kuat tekan sama dengan beton normal (11). Penggunaan beton instan dalam pembuatan beton menjadi salah satu pertimbangan dari penelitian terdahulu yang telah melakukan penelitian pada beton instan sebelumnya bahwa penggunaan beton instan mendapatkan hasil kuat tekan lebih tinggi dibanding dengan campuran beton manual, selain itu penggunaan beton instan lebih relatif murah dibandingkan beton konvensional (12). Pada penelitian ini dilakukan substitusi GGBFS pada campuran beton dengan kadar 0%, 45%, 50% dan 55%. Hasil kuat tekan pada usia 56 hari, beton normal menghasilkan nilai kuat tekan 28,3 MPa, campuran 45% GGBFS menghasilkan kuat tekan beton 26,277 MPa, campuran 50% GGBFS menghasilkan kuat tekan beton 34,182 MPa dan pada campuran 55% menghasilkan kuat tekan beton 36,596 MPa.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian dengan cara eksperimental, dengan membuat benda uji beton silinder dengan

ukuran diameter 15cm dan tinggi 30cm dengan campuran limbah GGBFS sebagai substitusi sebagian berat semen. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

Sumber: data primer yang sudah diolah, 2024

Sebelum melakukan pembuatan benda uji dilakukan terlebih dahulu pekerjaan persiapan. Pada penelitian ini menggunakan beton instan tetapi tetap dilakukan pengujian material. Pada tahapan pengujian material, dilakukan pengujian material pembentuk beton antara lain, pasir, kerikil, semen dan

termasuk limbah GGBFS. Pengujian material dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung. Adapun pengujian material yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Uji Gradasi Agregat (SNI 03-1968-1990)

2. Uji Berat Jenis Agregat (SNI 03-1968-1990)
3. Uji Bobot Isi Agregat (SNI 03-4804-1998 dan ASTM C29/ C29M-09)
4. Uji Kadar Lumpur (SNI 03-4142-1996)
5. Uji Kadar Air (SNI 03-1968-1990)

Dari hasil pengujian material dapat dilakukan perencanaan selanjutnya yaitu tahap *mix design* menggunakan SNI 7394: 2008 dengan mutu beton rencana ($f'c$)= 26 MPa atau setara dengan beton mutu K-300. Selain itu terdapat

perhitungan toleransi sebesar 5%-20%, dimana di dalamnya termasuk angka susut, yang besarnya tergantung dari jenis bahan dan komposisi adukan.

Karena keterbatasan waktu dan alat uji, pengecoran beton benda uji dicetak menggunakan pipa PVC ukuran 6 inch dengan diameter 15 cm dan tinggi 30. Benda uji beton diuji pada hari ke-14, 28 dan 56 dengan jumlah benda uji sebanyak 36 benda uji silinder.

Tabel 1: Jumlah Benda Uji

Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji Pengujian Hari			Jumlah
	Ke-14	Ke-28	Ke-56	
NC	3	3	3	9
GC - 45	3	3	3	9
GC - 50	3	3	3	9
GC - 55	3	3	3	9
Total				36

Sumber: data primer yang sudah diolah, 2024

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara perendaman pada bak rendam dengan suhu air ± 23 °C. Tahap selanjutnya yaitu pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji kuat tekan (*Compression Strength machine*) pada hari ke 14, 28 dan 56. Pengujian kuat tekan beton penelitian dilakukan di Universitas Pendidikan Indonesia (UPI).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Semen yang digunakan pada penelitian ini ialah semen PCC (Portland Composite Cemen) dengan merek Tiga Roda dengan standar pengujian menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI 15-7064-2004) dan

American Standard Testing and Material (ASTM C 595-03). Hasil pengujian berat jenis semen didapatkan nilai sebesar 2,9 dengan berat isinya sebesar 1,31 dan luas permukaannya 500 kg/m².

Pengujian limbah GGBFS dilakukan dengan metode pengujian yang sama dengan pengujian material semen. GGBFS yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. Krakatau Semen Indonesia (KSI) dengan hasil analisis berat jenis 2,89 dengan jumlah tertahan ayakan 45 μ m (no.325) sebesar 3,06%, berat isinya sebesar 1,05 dan luas permukaannya sebesar 332 m² /Kg.

Karakteristik GGBFS yang digunakan dilakukan pengujian kimia dan fisika di Badan Penelitian dan Pengembangan Industri Balai

Besar Barang dan Bahan Teknik dengan hasil pengujian pada Tabel 2.

Tabel 2: Komponen Penyusun PCC dan GGBFS

Komponen	Oksida : Berat (%)	
	PCC	GGBFS
CaO	63	43,95
SiO	22	36,27
Al ₂ O ₃	7	14,93
Fe ₂ O ₃	3	0,54
SO ₃	2	0,68
MgO	2	1,02
K ₂ O	0,59	-
Na ₂ O	0,27	-

Sumber: Pengujian Material Balai Besar Bahan dan Barang Teknik Bandung

Pengujian agregat halus berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat halus/pasir dengan standar pengujian menggunakan SNI 1970:2008, interval untuk berat jenis yaitu antara 1,6 – 3,3 gram, sedangkan pada hasil pengujian hasilnya sebesar 2,35 gram sehingga hasil ini sesuai dengan standar spesifikasi.

Pengujian material agregat kasar/kerikil dilakukan sesuai dengan SNI 1969:2008

yang menyatakan syarat berat jenis agregat kasar sebesar 1,6 – 3,2 dengan hasil pengujian untuk berat jenis SSD sebesar 2,5.

Nilai *slump* yang umum digunakan sesuai dengan SNI 1972:2008 yaitu 12 ± 2 . Dengan hasil nilai *slump* yang didapat dari setiap benda uji yaitu sebagai berikut:

Tabel 3: Nilai Hasil Uji Slump Beton

No	Kode Benda Uji	Nilai Slump (cm)
1	NC	11,5
2	GC - 45	11
3	GC - 50	11
4	GC - 55	11

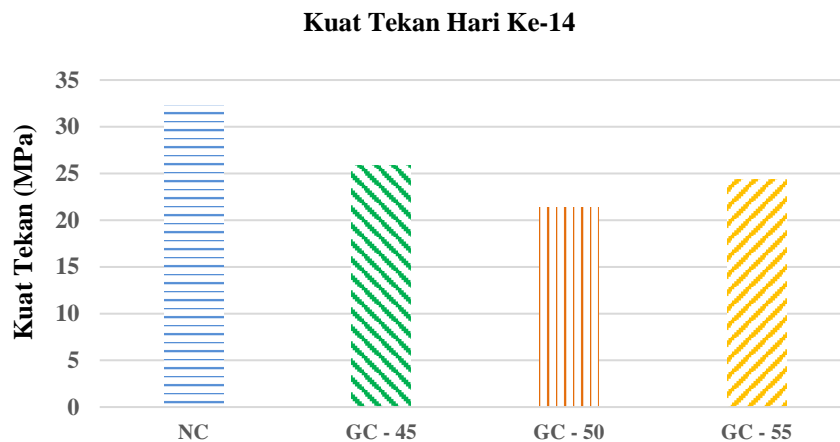
Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Hasil uji *slump* beton segar rata-rata di dapatkan sebesar 11 cm. Nilai uji slump beton

segar dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kandungan air dari materialnya, gradasi

agregat, bahan tambah dan suhu pada saat pencampuran beton.

Hasil pengujian kuat tekan beton GGBFS pada hari ke 14, 28 dan 56 didapatkan hasil sebagai berikut:

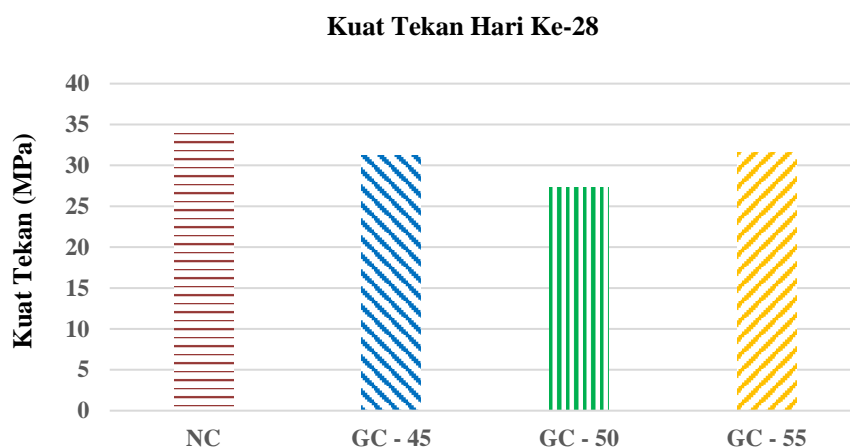


Gambar 2: Grafik Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton Pada Hari Ke-14

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pada pengujian hari ke-14 hasil uji kuat tekan beton didapatkan hasil pada beton normal (NC) sebesar 32,304 MPa, untuk beton dengan substitusi 45% GGBFS (GC-45)

didapatkan hasil 25,875 MPa, untuk beton substitusi 50% GGBFS (GC-50) didapatkan hasil 21,326 MPa, sedangkan hasil uji pada beton dengan substitusi 55% GGBFS (GC-55) didapatkan hasil 24,322 MPa.



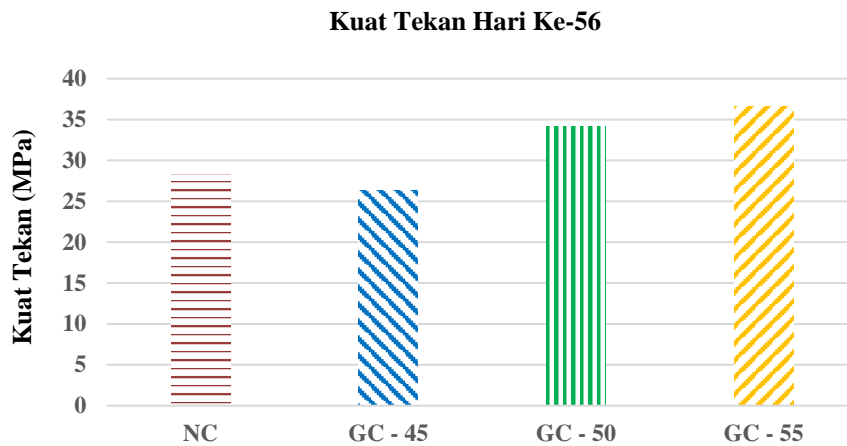
Gambar 3: Grafik Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton Pada Hari Ke-28

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pada pengujian hari ke-28 hasil uji kuat tekan beton didapatkan hasil pada beton normal (NC) sebesar 34,146 MPa, untuk beton

dengan substitusi 45% GGBFS (GC-45) didapatkan hasil 31,214 MPa, untuk beton substitusi 50% GGBFS (GC-50) didapatkan

hasil 27,279 MPa, sedangkan hasil uji pada beton dengan substitusi 55% GGBFS (GC-55%) didapatkan hasil 31,577 MPa.

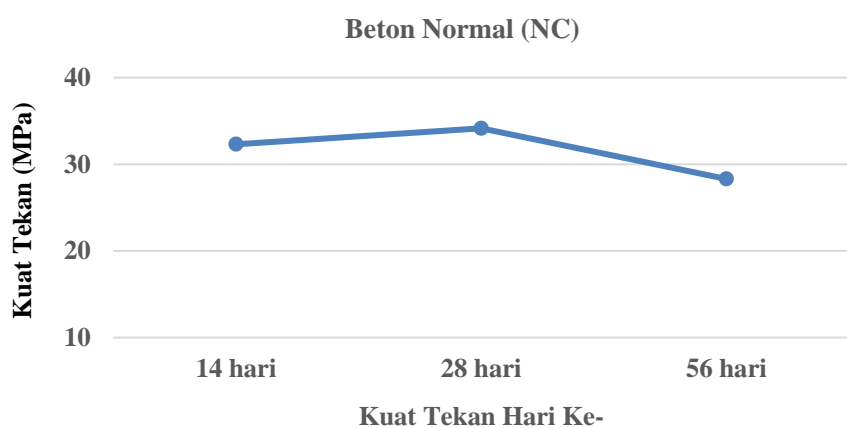


Gambar 4: Grafik Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton Pada Hari Ke-56

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pada pengujian hari ke-56 hasil uji kuat tekan beton didapatkan hasil pada beton normal (NC) sebesar 28,3 MPa, untuk beton dengan substitusi 45% GGBFS (GC-45) didapatkan hasil 26,277 MPa, untuk beton substitusi 50%

GGBFS (GC-50) didapatkan hasil 34,182 MPa, sedangkan hasil uji pada beton dengan substitusi 55% GGBFS (GC-55%) didapatkan hasil 36,596 MPa.

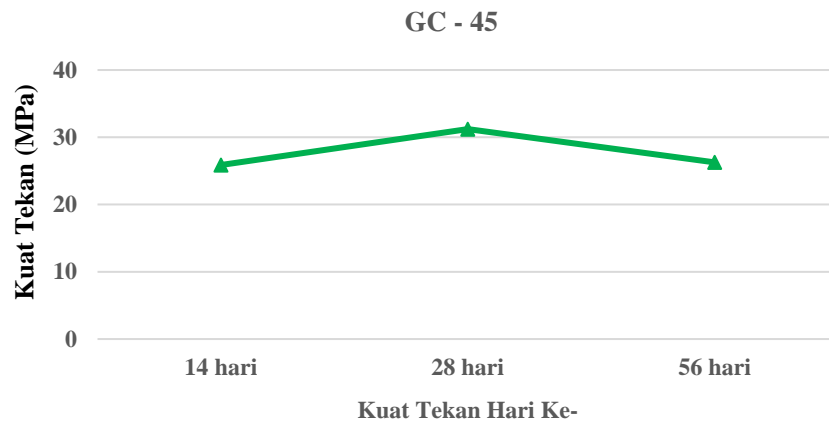


Gambar 5: Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton Tanpa Campuran GGBFS

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pada grafik di atas hasil pengujian kuat tekan pada beton normal (NC) tanpa substitusi GGBFS pada hari ke 14 yaitu 32,304 MPa dan hari ke 28 sebesar 34,146 MPa sehingga

terjadi peningkatan sebesar 5,40%. Hasil pengujian kuat tekan pada hari ke 56 yaitu sebesar 28,3 MPa, dimana terjadi penurunan sebesar 20,66%.

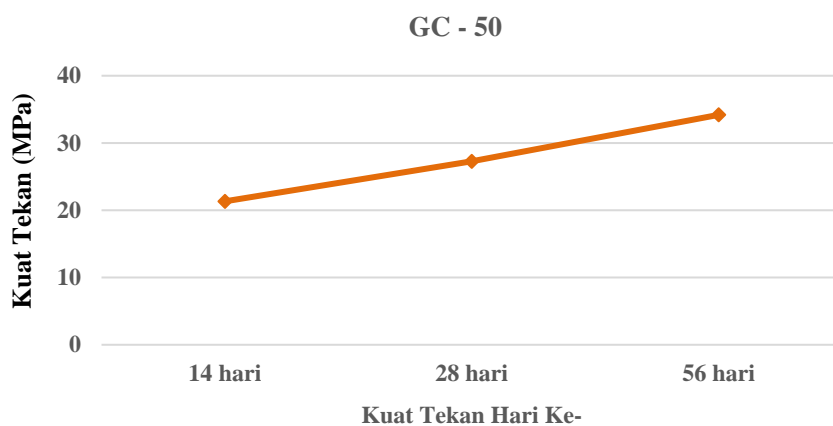


Gambar 6: Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton GGBFS 45%

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pada grafik di atas dapat dilihat hasil pengujian kuat tekan pada beton dengan substitusi GGBFS 45% pada hari ke 14 yaitu 25,875 MPa dan hari ke 28 sebesar 31,214

MPa sehingga terjadi peningkatan sebesar 17,11%. Hasil pengujian kuat tekan pada hari ke 56 yaitu sebesar 26,277 MPa, dimana terjadi penurunan sebesar 18,79%.

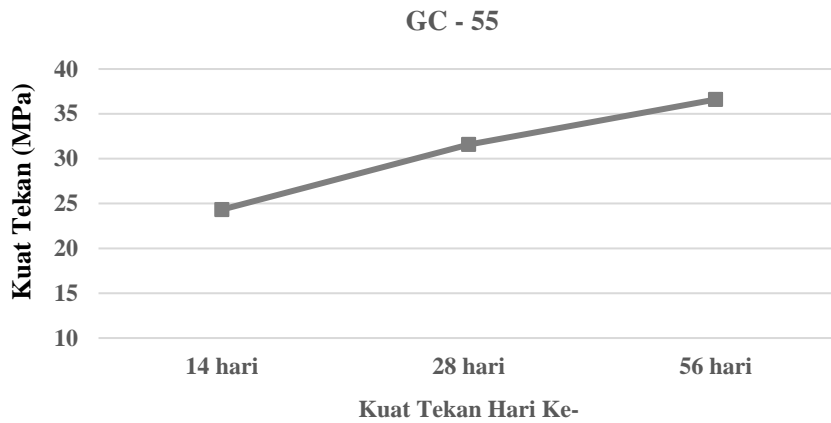


Gambar 7: Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton GGBFS 50%

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pada grafik di atas hasil pengujian kuat tekan pada beton dengan substitusi GGBFS 50% pada hari ke 14 yaitu 21,326 MPa dan hari ke 28 sebesar 27,279 MPa sehingga terjadi

peningkatan sebesar 21,82%. Hasil pengujian kuat tekan pada hari ke 56 yaitu sebesar 34,182 MPa, dimana terjadi peningkatan sebesar 22,68 %.

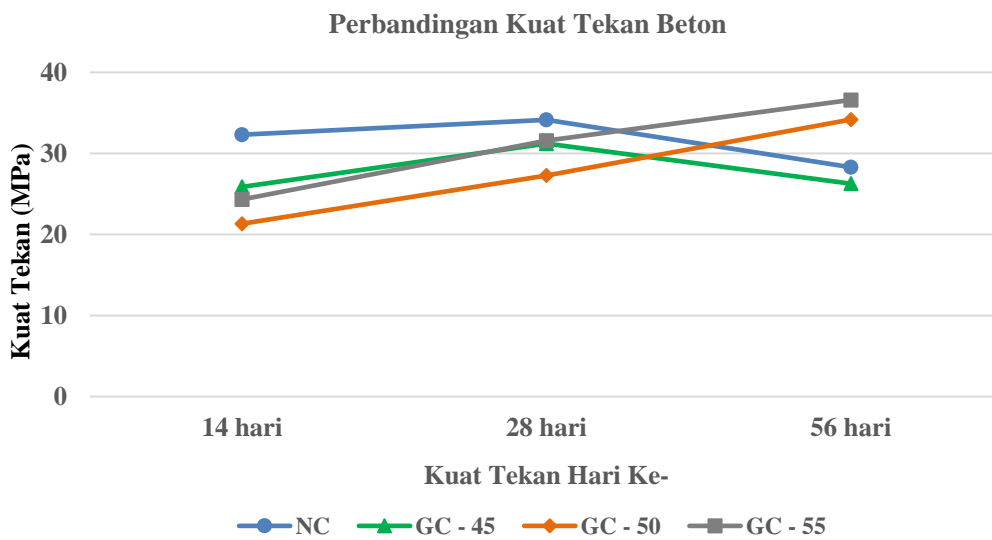


Gambar 8: Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton GGBFS 55%

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pada grafik di atas didapat hasil pengujian kuat tekan pada beton dengan substitusi GGBFS 55% pada hari ke 14 yaitu 24,322 MPa dan hari ke 28 sebesar 31,577 MPa

sehingga terjadi peningkatan sebesar 22,98%. Hasil pengujian kuat tekan pada hari ke 56 yaitu sebesar 34,182 MPa, dimana terjadi peningkatan sebesar 36,596 %.



Gambar 9: Grafik Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Sumber: Hasil Analisis Data Pengujian, 2024

Tabel 4: Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Hari Ke-		
	14 hari (MPa)	28 hari (MPa)	56 hari (MPa)
NC	32,304	34,146	28,3
GC - 45	25,875	31,214	26,277
GC - 50	21,326	27,279	34,182
GC - 55	24,322	31,577	36,596

Sumber: Hasil Analisis Data Pengujian, 2024

Dari hasil pengujian pada hari ke 14, 28 dan 56 pada grafik dan tabel di atas, di dapatkan hasil bahwa beton normal memiliki nilai kuat tekan beton di awal yang tinggi bahkan melebihi kuat mutu rencana dan terjadi peningkatan mutu pada hari ke 28, tetapi terjadi penurunan pada hari ke 56. Meskipun terjadi penurunan, nilai tersebut masih memenuhi mutu rencana awal yaitu 26 MPa. Sedangkan pada beton dengan substitusi limbah GGBFS, pada umur awal memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah bahkan tidak memenuhi nilai kuat mutu rencana awal jika dibandingkan dengan beton normal tanpa campuran limbah GGBFS. Tetapi pada hari ke 28 terjadi peningkatan bahkan semakin meningkat signifikan pada hari ke 56 nilai kuat tekan dapat melampaui nilai kuat tekan beton normal. Hal tersebut disebabkan oleh GGBFS yang memiliki kandungan SiO_2 yang lebih tinggi dibandingkan semen, sehingga menyebabkan waktu pengikatan campuran beton menjadi lebih lama tetapi memiliki performa tinggi setelah terjadinya pengikatan setelah hari ke 28.

SIMPULAN

Hasil uji kuat tekan beton pada beton normal (NC) pada hari ke-56 sebesar 28,300 MPa dimana hasilnya terjadi penurunan dari umur beton hari ke 28 sebesar 20,66%. Hasil uji kuat tekan beton dengan substitusi GGBFS 45% pada hari ke-56 dengan hasil nilai kuat tekan 26,277 MPa terjadi penurunan dari nilai kuat tekan beton hari ke 28 sebesar 18,79%. Hasil uji kuat tekan beton dengan substitusi GGBFS 50% pada hari ke-56 dengan hasil nilai kuat tekan 34,182 MPa terjadi peningkatan dari nilai kuat tekan beton hari ke 28 sebesar 22,68%. Hasil uji kuat tekan beton dengan substitusi GGBFS 55% pada hari ke-56 dengan hasil nilai kuat tekan 36,596 MPa terjadi peningkatan dari nilai kuat tekan beton hari ke 28 sebesar 13,72%. Sehingga kadar optimum GGBFS pada umur 56 hari ialah beton dengan campuran 55% limbah GGBFS yang menunjukkan kinerja terbaik dengan kuat tekan rata-rata sebesar 36,596 MPa. Sehingga pada kadar 55% memiliki peningkatan kekuatan jangka panjang, cocok untuk aplikasi konstruksi yang membutuhkan durabilitas tinggi dan

ketahanan terhadap bahan kimia. Maka karakter beton GGBFS memiliki kandungan SiO_2 yang tinggi yang dapat memperlambat pengikatan beton, mengurangi porositas dan meningkatkan ketahanan terhadap bahan kimia. Sehingga kuat tekan awal beton lebih rendah dibandingkan dengan beton normal, namun meningkat dengan signifikan setelah hari ke-28 dan terus meningkat pada hari ke-56, akibat reaksi pozzolan dari GGBFS yang berkelanjutan. Penurunan pada kekuatan beton normal disebabkan oleh ketidakseimbangan antara semen portland dan GGBFS, dimana semen lebih cepat bereaksi dibandingkan GGBFS.

DAFTAR PUSTAKA

1. Davidovits J. Properties of Geopolymer Cements. First Int Conf Alkaline Cem Concr. 1994;131–49.
2. Provis JL, Bernal SA. Binder chemistry – Blended systems and intermediate Ca content. Vol. 13, RILEM State-of-the-Art Reports. 2014. 125–144 p.
3. Karim GA, Susilowati E, Pratiwi W. Pengaruh Ground Granulated Blast Furnace Slag Terhadap Sifat Fisika Semen Portland Jenis-I. J Teknol Bahan dan Barang Tek. 2018;8 (2):47.
4. AKRAM, MUHAMMAD RIZWAN SR. Effect of Micro Silica and GGBS on Compressive Strength and Permeability of Impervious Concrete as a Cement Replacement. Eur Acad Res. 2015;3 (7):50.
5. Kim J-H, Jeong J-Y, Jang S-Y, Jung S-H, Kim S-I. Strength Development and Durability of High-Strength High-Volume GGBFS Concrete. J Korean Recycl Constr Resour Inst. 2015;3 (3):261–7.
6. Puspita N, Hani'A AI, Fauzi M. The effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) on Portland cement type II to compressive strength of high quality concrete. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2020;830 (2).
7. Thirunavukkarasu K, Baskaran K. Investigation on Effect of Partially Replacing Cement By Ggbfs (Ground Granulated Blast Furnace Slag) in Concrete. 2019; (July 2019). Available from: <https://www.researchgate.net/publication/353156131>
8. Hardanu UW, Sufazen D. Studi Experimental Beton Self Compacting Concrete dari Pemanfaatan Limbah Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS). J Kewarganegaraan. 2022;6 (2):4894–9.
9. Yadav T. Analysis of Effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) on the Mechanical Properties of Concrete using Destructive and Non-destructive Tests. J Mech Contin Math Sci. 2019;14 (1):78–90.
10. Raafidiani R, Sumargo S, Permana R. The influence of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) as Portland Composite Cement (PCC) substitution in improving compressive strength of concrete. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2021;1098 (2):022035.
11. Fikri H, Krisologus YP, Permana R, Raafidiani R. Cyclic behavior of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) concrete beams. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2020;830 (2).
12. Yuliyanto, Puspitasari I. Analisis Perbandingan Kuat Tekan, Waktu Dan Biaya Pengecoran Antara Beton Instan Dan Beton Konvensional. J TEDC. 2022;16 (3):248–54.