

**SUBSTITUSI SEMEN DENGAN GROUND GRANULATED
BLAST FURNACE SLAG TERHADAP KUAT TEKAN DAN
EMISI KARBON BETON**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Sipil



Oleh :

Giffari Athallah Budiar

2102272

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN INDUSTRI

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2025

SUBSTITUSI SEMEN DENGAN GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG TERHADAP KUAT TEKAN DAN EMISI KARBON BETON

Oleh
Giffari Athallah Budiar

Sebuah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil

© Giffari Athallah Budiar 2025
Universitas Pendidikan Indonesia
Juli 2025

Hak Cipta dilindungi undang-undang Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak
seluruhnya atau sebagian dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya
tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

GIFFARI ATHALLAH BUDIAR

NIM 2102272

SUBSTITUSI SEMEN DENGAN GROUND GRANULATED
BLAST FURNACE SLAG TERHADAP KUAT TEKAN DAN
EMISI KARBON BETON

Disetujui dan Disahkan Oleh Pembimbing:

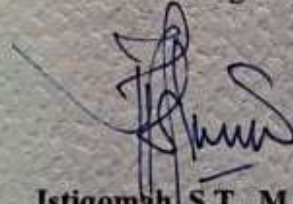
Pembimbing I



Ben Novarro Batubara, S.T., M.T.

NIP. 198011192009121003

Pembimbing II

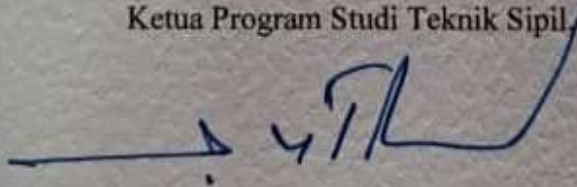


Istiqomah, S.T., M.T.

NIP. 197112152003122001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Juang Akbardin, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

NIP. 19770307 200812 1 001

SUBSTITUSI SEMEN DENGAN GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG TERHADAP KUAT TEKAN DAN EMISI KARBON BETON

Giffari Athallah Budiar¹; Ben Novarro Batubara, M.T.² Istiqomah S.T., M.T.³

Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Industri,

Universitas Pendidikan Indonesia

Email : giffariathallah017@gmail.com

ABSTRAK

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) merupakan produk sampingan dari pembuatan bijih besi yang dapat dimanfaatkan Kembali. Salah satu pemanfaatan GGBFS dapat menjadi binder yang lebih ramah lingkungan untuk beton dengan menggantikan semen Portland (OPC). Produksi OPC merupakan salah satu penyumbang karbon emisi duni terbesar mencapai 8%. Pada kajian ini, GGBFS digunakan sebagai material pengganti semen karena memiliki kandungan CaO dengan jumlah besar. Tujuan penelitian ini adalah. mengetahui kadar optimum persentase substitusi GGBFS terhadap semen ditinjau dari kuat tekan, konsumsi energi, dan emisi karbon yang dihasilkan. Persentase substitusi yang digunakan adalah 20%, 40%, 50%, 60%, 80% terhadap volume absolut semen. Uji kuat tekan dilakukan pada beton dengan umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, Nilai kuat tekan beton pada umur 56 hari mengalami kenaikan pada persentase 20% sebesar 4.85% (34.49 MPa), setelah itu mengalami penurunan pada 40%, 50%, 60% dan 80% secara berurutan sebesar 11.84% (30.80 MPa), 6.87% (28.68 MPa), 0.74% (28.47 MPa), 25.44% (21.23 MPa). Kemudian setelah dilakukan analisis, penurunan emisi yang dihasilkan beton selaras dengan semakin besar persentase substitusi GGBFS terhadap semen. Penurunan jumlah emisi karbon yang dihasilkan oleh substitusi GGBFS 20%, 40%, 50%, 60%, 80% terhadap Beton normal secara berurutan sebesar 17.34%, 34.68%, 43.36%, 52.03%, dan 69.37%. Persentase substitusi yang paling optimal dengan mempertimbangkan kuat tekan beton, jumlah energi serta nilai karbon emisi yang dihasilkan ialah 40%, dengan kuat tekan rata – rata pada hari ke – 56 sebesar 30.803 MPa, serta nilai energi dan emisinya sebesar 1869.64 GJ/m³ dan 308,64 t-CO₂/m³,

Kata kunci: Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), Less cement concrete, Beton low carbon

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia.

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Industri,
Universitas Pendidikan Indonesia

CEMENT SUBSTITUTION WITH GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND CARBON EMISSIONS OF CONCRETE

Giffari Athallah Budiar¹; Ben Novarro Batubara, M.T.² Istiqomah S.T., M.T.³

S1 Civil Engineering Study Program, Faculty of Technology and Vocational

Education, Indonesian university of education

Email : giffariathallah017@gmail.com

ABSTRACT

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) is a byproduct of iron ore processing that can be reused. One of its applications is as a more environmentally friendly binder in concrete by partially replacing Ordinary Portland Cement (OPC). The production of OPC is one of the largest contributors to global carbon emissions, accounting for up to 8%. In this study, GGBFS is used as a cement substitute due to its high CaO content. The objective of this research is to determine the optimal substitution percentage of GGBFS for cement in terms of compressive strength, energy consumption, and carbon emissions. The substitution percentages used were 20%, 40%, 50%, 60%, and 80% by absolute volume of cement. Tests were conducted on concrete at the ages of 7, 14, 28, and 56 days. Based on the results, the compressive strength at 56 days increased by 4.85% (34.49 MPa) at 20% substitution, but then decreased at 40%, 50%, 60%, and 80% by 11.84% (30.80 MPa), 6.87% (28.68 MPa), 0.74% (28.47 MPa), and 25.44% (21.23 MPa), respectively. Further analysis showed that carbon emissions decreased proportionally with the increasing percentage of GGBFS substitution. The reductions in carbon emissions for 20%, 40%, 50%, 60%, and 80% GGBFS substitution compared to normal concrete were 17.34%, 34.68%, 43.36%, 52.03%, and 69.37%, respectively. The most optimal substitution percentage, considering compressive strength, energy use, and carbon emissions, was found to be 40%, with an average 56-day compressive strength of 30.803 MPa, energy consumption of 1869.64 GJ/m³, and carbon emissions of 308.64 t-CO₂/m³.

Keywords : Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), Less Cement Concrete, Low-Carbon Concrete

¹Lecturer, Civil Engineering Study Program, Faculty of Technology and Vocational Education, Universitas Pendidikan Indonesia

²Lecturer, Civil Engineering Study Program, Faculty of Technology and Vocational Education, Universitas Pendidikan Indonesia

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR GRAFIK	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1 Beton	6
2.2 Komposisi Beton.....	6
2.2.1 Semen Portland	6
2.2.2 Agregat.....	7
2.2.2.1 Agregat Halus	7
2.2.2.2 Agregat Kasar	10
2.2.3 Air	12
2.3 Kekuatan Beton.....	13
2.4 Sifat – Sifat Beton Segar	14
2.4.1 Kemudahan Pengerjaan (<i>Workability</i>).....	14

2.4.2	<i>Segregation</i> (Pemisahan Split).....	14
2.4.3	<i>Bleeding</i> (Naiknya Air).....	15
2.5	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	15
2.5.1	Pemeriksaan Keleccakan Beton Segar.....	15
2.5.2	Perawatan Beton (<i>Curing</i>)	16
2.5.3	Pengujian Kuat Tekan Benda Uji	16
2.6	<i>Low Cement Concrete</i>	17
2.7	<i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i>	18
2.7.1	<i>Sifat Fisik GGBFS</i>	20
2.7.2	<i>Sifat Kimia GGBFS</i>	21
2.7.3	Aktivitas Hidrolik GGBFS	22
2.8	Sifat mekanik GGBFS terhadap Beton	24
2.8 .1	<i>Setting Time</i> (Waktu Pengikatan)	25
2.8 .2	<i>Workability</i> (Kemampuan Kerja).....	26
2.8 .3	<i>Kuat Tekan</i>	27
2.8 .4	Permeabilitas dan Stabilitas Kimia	29
2.8 .5	Karbonisasi	29
2.9	Penilaian Lingkungan GGBFS	30
BAB III METODE PENELITIAN		33
3.1	Metode Penelitian	33
3.2	Lokasi Penelitian.....	33
3.3	Sampel Penelitian.....	34
3.4	Instrumen Penelitian	35
3.5	Prosedur Penelitian	41
3.6	Perancangan Campuran Beton $f'c$ 30 Mpa	43
3.7	Persiapan dan Pembuatan Benda Uji	47

3.8	Slump Test	48
3.9	Pembuatan dan Persiapan benda uji.....	49
3.10	Curing	50
3.11	Pengujian berat jenis	51
3.12	Pengujian Kuat Tekan Beton	51
3.13	Analisa data pengujian	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		55
4.1	Campuran Beton dengan metode ACI	55
4.2	Keleccakan Beton Segar / Workability.....	56
4.3	Analisis Hasil Pengujian Berat Jenis Beton.....	57
4.4	Analisis Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	59
4.4.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kontrol	59
4.4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 20%	60
4.4.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 40%	62
4.4.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 50%	63
4.4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 60%	64
4.4.6	Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 80%	65
4.5	Analisis Energi dan Karbon Emisi.....	66
4.5.1	Hasil Analisis Energi dan Emisi Beton Kontrol	68
4.5.2	Hasil Analisis Energi dan Emisi BGGBFS 20%	69
4.5.3	Hasil Analisis Energi dan Emisi BGGBFS 40%	70
4.5.4	Hasil Analisis Energi dan Emisi BGGBFS 50%	71
4.5.5	Hasil Analisis Energi dan Emisi BGGBFS 60%	72
4.5.6	Hasil Analisis Energi dan Emisi BGGBFS 80%	73
4.6	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Analisis Energi dan Emisi	74

4.6.1	Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan	74
4.6.2	Rekapitulasi Analisis Energi dan Emisi Karbon.....	80
4.7	Pembahasan Hubungan antara Kuat Tekan Beton dengan Analisis energi dan Karbon Emisi.....	82
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....		85
5.1	Kesimpulan	85
5.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....		86
LAMPIRAN.....		88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Zona I Gradasi Pasir.....	9
Gambar 2.2 Zona II Gradasi Pasir	9
Gambar 2.3 Zona III Gradasi Pasir	9
Gambar 2.5 Proses Pembuatan GGBFS.....	18
Gambar 2.6 Fase Semen dan Fase Terhidrasi	23
Gambar 2.7 Efek GGBFS terhadap Karbonisasi Beton.....	30
Gambar 2.8 Koefisien nilai emisi karbon untuk material cementitious	32
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	33
Gambar 3.2 Grafik Hasil Analisis Saringan Agregat Halus.....	37
Gambar 3.3 Grafik Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar.....	38
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian.....	42
Gambar 3. 5 Nilai Faktor Air Semen Menurut ACI.....	45
Gambar 3. 6 Slump Cone.....	49
Gambar 3. 7 Pelat.....	49
Gambar 3. 8 Koefisien perhitungan energi dan karbon emisi.....	53
Gambar 4.1 Koefisien perhitungan energi dan karbon emisi.....	67

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Pengaruh Persentase GGBFS terhadap Nilai Slump	56
Grafik 4.2 Rekapitulasi Berat Jenis Beton berdasarkan persentase substitusi	58
GrPafik 4.3 Kuat Tekan Rata – rata Beton Kontrol (BK)	59
Grafik 4.4 Kuat Tekan Rata – rata BGGBFS 20%	60
Grafik 4.5 Kuat Tekan Rata – rata BGGBFS 40%	62
Grafik 4.6 Kuat Tekan Rata – rata BGGBFS 50%	63
Grafik 4.7 Kuat Tekan Rata – rata BGGBFS 60%	64
Grafik 4.8 Kuat Tekan Rata – rata BGGBFS 80%	65
Grafik 4.9 Hubungan Kuat Tekan dengan Persentase substitusi GGBFS pada Umur 7 Hari	74
Grafik 4.10 Hubungan Kuat Tekan dengan Persentase substitusi GGBFS pada Umur 14 Hari	75
Grafik 4.11 Hubungan Kuat Tekan dengan Persentase substitusi GGBFS pada Umur 28 Hari	75
Grafik 4.12 Hubungan Kuat Tekan dengan Persentase substitusi GGBFS pada Umur 56 Hari	76
Grafik 4.13 Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Rata – Rata	77
Grafik 4.14 Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Rata – Rata	77
Grafik 4.15 Rekapitulasi Energi yang dihasilkan untuk pembuatan beton setiap varian	80
Grafik 4.16 Rekapitulasi Emisi yang dihasilkan beton setiap varian	81
Grafik 4.17 Hubungan Jumlah Energi yang dihasilkan dengan Kuat Tekan Beton	82
Grafik 4.18 Hubungan Jumlah Emisi yang dihasilkan dengan Kuat Tekan Beton	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jumlah sampel yang dibutuhkan	8
Tabel 2.2 Sifat Fisik GGBFS	20
Tabel 2.3 Sifat Kimia GGBFS	21
Tabel 3.1 Jumlah sampel yang dibutuhkan	34
Tabel 3.2 Rekapitulasi Hasil Uji Material Agregat Halus.....	35
Tabel 3.3 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus	36
Tabel 3.4 Rekapitulasi Hasil Uji Material Agregat Kasar.....	37
Tabel 3.5 Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar	37
Tabel 3.6 Spesifikasi GGBFS PT. Krakatau Semen Indonesia.....	39
Tabel 3. 7 Nilai Standar Deviasi Menurut ACI.....	43
Tabel 3. 8 Slump yang Disyaratkan Untuk Berbagai Konstruksi Menurut ACI..	43
Tabel 3. 9 Perkiraan Air Campuran dan Persyaratan Kandungan Udara untuk Berbagai Slump dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum, ACI	44
Tabel 3. 10 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton, Metode ACI.....	46
Tabel 3. 11 Komposisi Akhir untuk Perencanaan Beton Normal 30 Mpa	47
Tabel 3. 12 Hasil Pengujian trial mix beton normal 30 mpa.....	52
Tabel 3. 13 Hasil Perhitungan energi Beton Normal 30 Mpa	54
Tabel 3. 14 Hasil Perhitungan Emisi Beton Normal 30 Mpa.....	54
Tabel 4.1 Pengaruh Persentase GGBFS terhadap Nilai Slump.....	56
Tabel 4.2 Slump yang disyaratkan untuk berbagai Konstruksi Menurut ACI	57
Tabel 4.3 Rata – rata berat jenis setiap variasi substitusi GGBFS	58
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kontrol (BK).....	60
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 20%	61
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 40%	62
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 50%	63
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 60%	64
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan BGGBFS 80%	65
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan energi Beton Normal 30 Mpa	68
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Emisi Beton Normal 30 Mpa.....	68
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan energi BGGBFS 20%	69
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Emisi BGGBFS 20%.....	69

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan energi BGGBFS 40%	70
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Emisi BGGBFS 40%.....	70
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan energi BGGBFS 50%	71
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Emisi BGGBFS 50%.....	71
Tabel 4.18 Hasil Perhitungan energi BGGBFS 60%	72
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Emisi BGGBFS 60%.....	72
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan energi BGGBFS 80%	73
Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Emisi BGGBFS 80%.....	73
Tabel 4.22 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton	76
Tabel 4.23 Rekapitulasi Analisis Energi dan Emisi Karbon	80
Tabel 4.24 Hubungan kuat tekan beton dengan analisis energi dan emisi.....	82

DAFTAR PUSTAKA

- Abbass, M.; Singh, D.; Singh, G. Properties of Hybrid Geopolymer Concrete Prepared Using Rice Husk Ash, Fly Ash and GGBS with Coconut Fiber. *Mater. Today Proc.* 2021, 45, 4964–4970
- Ahmad, J., Kontoleon, K. J., Majdi, A., Naqash, M. T., Deifalla, A. F., Ben Kahla, N., ... & Qaidi, S. M. (2022). A comprehensive review on the ground granulated blast furnace slag (GGBS) in concrete production. *Sustainability*, 14(14), 8783.
- Antoni dan Nugraha, P, 2007. Teknologi Beton, C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- ASTM-C-219-03. (1995). ASTM c 219 03. *Current*, 84(Reapproved), 1–2.
- Aydın, S.; Baradan, B. Effect of Activator Type and Content on Properties of Alkali-Activated Slag Mortars. *Compos. Part B Eng.* 2014, 57, 166–172. [CrossRef]
- Baždarić, K., Jurić, B., & Baričević, A. (2023). The influence of GGBFS as an additive replacement on the kinetics of cement hydration and the mechanical properties of cement mortars. *Buildings*, 13(8), 1960.
- BSN, 2008. Cara Uji Slump Beton, SNI 1972:2008, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Dhir, R.K.; Dyer, T.D.; Tang, M.C. Alkali-Silica Reaction in Concrete Containing Glass. *Mater. Struct.* 2009, 42, 1451–1462.
- Dinakar, P.; Sethy, K.P.; Sahoo, U.C. Design of Self-Compacting Concrete with Ground Granulated Blast Furnace Slag. *Mater. Des.* 2013, 43, 161–169.
- Dongqing Zhang , Xueying Li, Xinwei Ma and Zheng Wang, “Effects of Mineral Admixtures on the Chloride Permeability of Hydraulic Concrete,” *Trans Tech Publ.*, vol. 168–170, pp. 2082–2085, 2011.
- Du, H.; Tan, K.H. Use of Waste Glass as Sand in Mortar: Part II—Alkali–Silica Reaction and Mitigation Methods. *Cem. Concr. Compos.* 2013, 35, 118–126

Lothenbach, B.; Scrivener, K.; Hooton, R.D. Supplementary Cementitious Materials. *Cem. Concr. Res.* 2011, 41, 1244–1256

Mulyono, Tri. 2005. “Teknologi Beton”. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Peter W.C. Leung and H.D. Wong, “Final Report on Durability and Strength Development of Ground Granulated Blast furnace Slag Concrete,” Geotechnical engineering office civil engineering and development department the government of the Hong Kong special administrative region, Hong Kong, GEO Special Project Report 258, 2010

S. Arivalagan, “Sustainable Studies on Concrete with GGBS As a Replacement Material in Cement,” *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 263–270, 2014

Sharma, A.K.; Sivapullaiah, P. V Ground Granulated Blast Furnace Slag Amended Fly Ash as an Expansive Soil Stabilizer. *Soils Found.* 2016, 56, 205–212

Sharmila, P.; Dhinakaran, G. Compressive Strength, Porosity and Sorptivity of Ultra Fine Slag Based High Strength Concrete. *Constr. Build. Mater.* 2016, 120, 48–53

Shumuye, E. D., & Jun, Z. (2018, February). A review on ground granulated blast slag (GGBS) in concrete. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Advances in Civil and Structural Engineering, CSE*.

SNI 03-2834-2000. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Sni 03-2834-2000*, 1–34.

SNI 03-2847-2019. (2019). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*.

Tjokrodinuljo, Kardiyono 2007. Teknologi Beton. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.