

Pengaruh Variasi Faktor Air Semen pada Pemanfaatan Slag Mutu Beton Tingkat Tinggi

Ranti Hidayawanti¹; Muhammad Sofyan¹; Mulki Agung Fadilah^{1*}; Tasya Azzahra¹; Yang Dena Humairotunnisa¹

1. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

**)Email: mulki1921032@itpln.ac.id*

ABSTRACT

The negative impact of making cement is that it produces carbon dioxide emissions which are certainly not good for health. A solution is needed to substitute cement in making concrete, one of which is the use of slag. The water-cement factor which is very influential in the strength of the concrete will also be considered and the reaction that occurs with the slag. With this, a study of the variation of the water-cement factor in the use of slag was carried out to determine the strength of the concrete which was influenced by the variation of the water-cement factor on slag substitution. The research method uses a mixed method of making concrete in general, namely fine aggregate in the form of sand, coarse aggregate in the form of split, water and a binder in the form of cement, added with additional type F admixture and substance from GGBFS (0%, 25%, 50%, and 75%).), X-Ray Diffraction testing and SEM photos of test objects in the form of K-400 grade and K-500 grade concrete fragments. Based on the results of the study, the C-S-H gel was dominant and formed significantly from the combination of portland cement and GGBFS. However, microcrack and Fly Ash particles were found which did not react.

Keywords: GGBFS, FAS, XRD, SEM

ABSTRAK

Dampak negatif yang ditimbulkan dari pembuatan semen yaitu menghasilkannya emisi karbon dioksida yang tentunya tidak baik untuk kesehatan diperlukan sebuah solusi untuk mensubstitusi semen dalam pembuatan beton, salah satunya yaitu penggunaan slag. Faktor air semen yang sangat berpengaruh dalam kekuatan beton juga akan diperhatikan dan reaksi yang terjadi dengan Slag. Dengan ini maka dilakukan penelitian variasi faktor air semen dalam pemanfaatan slag untuk mengetahui kekuatan beton yang dipengaruhi oleh variasi faktor air semen terhadap substitusi slag. Metode penelitian menggunakan metode campuran pembuatan beton umumnya terdiri dari agregat halus berupa pasir, agregat kasar berupa split, air dan bahan pengikat berupa semen, ditambah dengan bahan tambahan admixture type F dan substansi dari GGBFS (0%, 25%, 50%, dan 75%), pengujian X-Ray Diffractiom dan Foto SEM benda uji berupa pecahan beton mutu K-400 dan beton mutu K-500. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan C-S-H gel yang dominan dan terbentuk secara signifikan dari kombinasi antara semen portland dan GGBFS. Namun ditemukan microcrack dan partikel Fly Ash yang tidak bereaksi.

Kata kunci: GGBFS, FAS, XRD, SEM

1. PENDAHULUAN

Sepanjang siklus hidup dari bangunan memberikan kontribusi lebih dari 40% Komposisi Semen dalam beton 40% Penggunaan bahan baku secara Campuran 20% Green House. Dengan meningkatnya kapitalisasi pasar konstruksi dari tahun ke tahun termasuk penjualan semen. Mengharuskan pencarian solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Hasil penjualan semen domestic pada 2020 tercatat sebesar 62,7 juta ton. Mengacu pada data Asosiasi Semen Indonesia (ASI), terjadi penurunan 10,4 % dari penjualan tahun 2019 sebesar 70 jutaan ton. Penurunan tersebut disebabkan oleh pandemi Namun pada rentang tahun 2017 sampai 2018 penjualan semen meningkat sebesar 8,6%. Dengan penjualan semen mencapai angka 75,2 ton pada tahun 2018. Industri semen sendiri menyumbang setidaknya 2,5% emisi CO₂ di dunia [1]. Maka dari itu maka GGBFS ini hadir untuk solusi dari pengurangan semen. Seiring dengan perkembangan kebutuhan material beton, kebutuhan semen yang semakin langka dan mahal diperlukan inovasi untuk mengembangkan teknologi termasuk pemanfaatan limbah industri. Misalnya GGBFS (ground granulated blast-furnace slag) atau terak semen. GGBFS menurut ACI 233R-95 adalah tungku terak dari logam atau besi dengan suhu sekitar 1500 °C. Pembuatan GGBFS dirancang agar struktur beton tahan lama, kuat dan dapat disubstansikan dengan Portland biasa atau material pozzolan lain. Ketika semen dicampur dengan terak, itu mengubah distribusi mineralogi dan sifat listrik permukaan, meningkatkan tortuositas, dan mengurangi porositas dan ukuran pori ambang untuk menunjukkan ketahanan klorida yang tinggi dan kinerja daya tahan yang lebih baik. Di negara maju penggunaan GGBFS untuk Beton telah digunakan, namun di Indonesia belum semua konstruksi menerapkan limbah terak beton. Pemanfaatan limbah industri di bidang konstruksi digunakan untuk meningkatkan mutu dan kuat tekan beton karena berkontribusi dalam mengurangi penggunaan sumber daya alam [2]. Terak tanur tinggi (ASTM C.989-04 *Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortar*) adalah material non logam. Slag semen umumnya dari silikat, alumino silikat, kapur dan bahan dasar lainnya dikembangkan dalam wujud cair dengan besi dalam blast furnace [3]. Slag semen memiliki material penyusun yang sama dengan semen namun pada komposisinya tidak sama, oleh karena itu slag dapat bereaksi saat ditambahkan air. Dibandingkan hidrasi semen pada suhu pemeliharaan standar (20 °C) proses hidrasi awal slag sangat lambat [3].

Faktor Air Semen juga dikenal dengan nilai penentuan volume air yang dipakai dalam proses pembuatan beton. Faktor air semen (*water to cementious ratio*) adalah perbandingan keseluruhan berat air (termasuk air pada agregat dan pasir) terhadap berat keseluruhan semen pada campuran beton. Kekuatan beton meningkat bila yang digunakan semakin kecil. Campuran beton yang memakai FAS kecil, akan banyak memerlukan pasta semen dibandingkan pada Campuran beton yang memakai FAS yang besar, akan sedikit memerlukan pasta semen [4].

Hasil penelitian lainnya beton yang mencapai umur 28 hari, penambahan retarder sejumlah 0,2% - 0,6% menyebabkan kuat tekan naik sebesar 19,61% - 50,59%. Dari hasil pengujian didapatkan kadar paling baik pada substitusi GGBFS 10% adalah 0,2% sebesar 26,52 MPa dengan sifat fisik dan mekanik yang paling baik. Diharapkan untuk penelitian berikutnya penggunaan retarder tidak lebih dari 0,6% karena waktu ikat yang lama [5].

Pada penelitian lainnya [6] membuktikan pengaruh penambahan slag pada semen Portland Jenis I meningkatkan kuat tekan terlihat dari semakin lama umur pengikatan. Sifat pemuatan hasil pemanasan dapat menurunkan penambahan slag (uji di dalam autoclave) dari 0,168% (semen tanpa slag) menjadi 0,004% (50% slag). Ketahanan serangan sulfat dari 0,053 % menjadi 0,013 % semakin baik karena penambahan slag (pada 28 hari).

Penelitian lainnya juga menunjukkan [7], percobaan mortar, meningkatnya kadar GGBFS menyebabkan meningkatnya waktu awal atau waktu pengikatan awal beton selama 30 menit. Kuat tekan beton dan perkembangan mutu beton K200-K700 pada beton umur (3, 7, 28, 56) hari setiap variasi akan mengalami penurunan nilai. Penggunaan GGBFS untuk kualitas di atas K500 tidak disarankan karena tidak memenuhi spesifikasi meskipun persentasenya 100% dan regresi linier mendekati 1. Aktivitas indeks terak dikategorikan dalam grade 80, 100 dan 120 menurut ASTM C989. Pemanfaatan GGBFS dapat menekan biaya produksi sebesar 9 miliar atau 3% dan juga dapat meningkatkan kesehatan lingkungan tanpa mengurangi mutu beton mutu tinggi.

Dari penelitian terdahulu belum dilakukannya pengujian pengaruh variasi faktor air semen terhadap pemanfaatan GGBFS untuk beton mutu K-450 dan K-500 serta menganalisis hasil SEM dan X-RD untuk melihat tingkat kehomogenitasan beton yang terbentuk.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Prosedur Penelitian

Benda uji yang akan dibuat yaitu dengan bahan campuran pembuatan beton umumnya terbentuk dari agregat halus (pasir), agregat kasar (split), air dan bahan pengikat (semen), ditambah dengan bahan tambahan admixture type F dan substansi dari GGBFS (0%, 25%, 50%, dan 75%) [8]. Beton yang dibuat berupa silinder dengan beton mutu K-450 dan beton mutu K-500 yang akan diuji dengan pengujian pada beton umur (7, 14, 28) hari kemudian untuk X-Ray Difraction dan Foto SEM benda uji berupa pecahan beton mutu K-450 dan beton mutu K-500.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kuat Tekan

Tabel 1. Hubungan Kuat tekan dan variasi GGBFS Mutu K450

W/C	VARIASI GGBFS	KUAT TEKAN (kg/cm ²) (Hari)							
		3		7		28		56	
C	0%	265,93	100%	340,67	100%	420,62	100%	481,46	100%
	25%	219,00	82%	290,26	82%	415,41	99%	469,29	97%
	50%	163,38	61%	269,41	61%	385,86	92%	425,84	88%
	75%	109,50	41%	198,14	41%	293,74	70%	340,67	71%
D	0%	368,48	100%	415,41	100%	505,79	100%	550,98	100%
	25%	292,00	79%	335,46	79%	483,19	96%	540,55	98%
	50%	199,88	54%	298,96	54%	451,91	89%	493,62	90%
	75%	121,67	33%	215,53	33%	359,79	71%	420,62	76%
E	0%	406,72	100%	458,86	100%	577,05	100%	615,29	100%
	25%	352,84	87%	422,36	87%	535,34	93%	577,05	94%
	50%	246,81	61%	370,22	61%	507,53	88%	505,79	82%
	75%	156,43	38%	265,93	38%	378,91	66%	448,43	73%

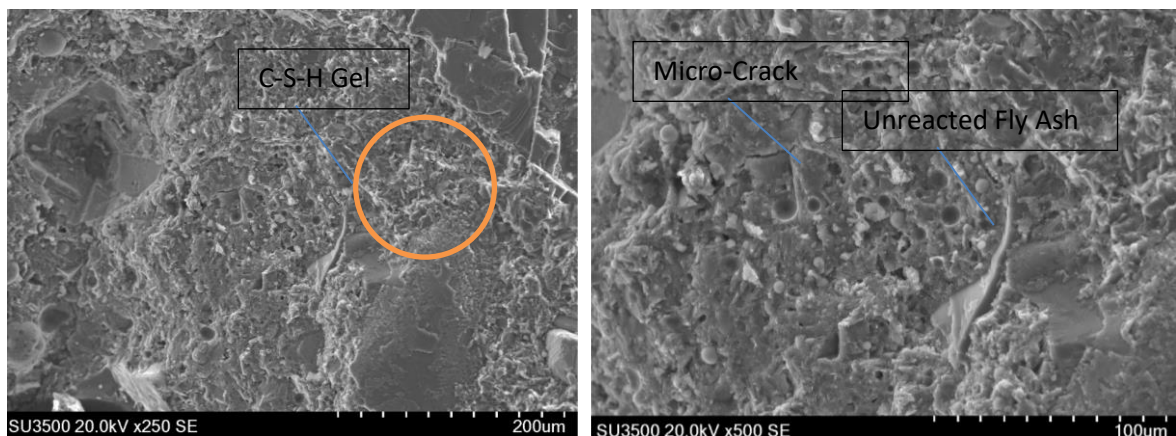
Tabel 2. Hubungan Kuat tekan dan variasi GGBFS mutu K500

W/C	VARIASI GGBFS	KUAT TEKAN (kg/cm ²) (Hari)							
		3		7		28		56	
D	0%	368,48	100%	415,41	100%	505,79	100%	550,98	100%

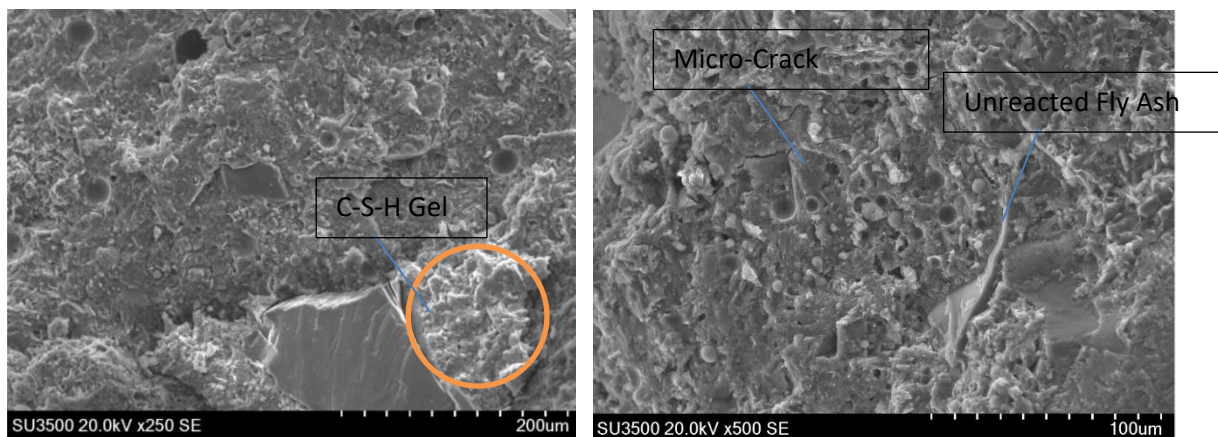
	25%	292,00	79%	335,46	79%	483,19	96%	540,55	98%
	50%	199,88	54%	298,96	54%	451,91	89%	493,62	90%
	75%	121,67	33%	215,53	33%	359,79	71%	420,62	76%
E	0%	406,72	100%	458,86	100%	577,05	100%	615,29	100%
	25%	352,84	87%	422,36	87%	535,34	93%	577,05	94%
	50%	246,81	61%	370,22	61%	507,53	88%	505,79	82%
	75%	156,43	38%	265,93	38%	378,91	66%	448,43	73%

Dari grafik dan tabel hubungan kuat tekan dan variasi GGBFS menunjukkan kuat tekan dan perkembangan mutunya, yang optimal pada hari ke 28 dan variasi GGBFS 25 % dilihat dari tabel kuat tekan mutu K450 menunjukkan pada hari ke 28 kuat tekan yang didapat 415,41 kg/cm² perkembangan mutunya sudah mencapai 100 % sedangkan dilihat dari tabel kuat tekan dan perkembangan mutu K500 menunjukkan pada hari ke 28 kuat tekan yang didapat 483,19 kg/cm² perkembangan mutunya sudah mencapai 100 % [9]. Kuat tekan berpengaruh pada kadar air yang berbeda ditunjukkan pada penurunan kuat tekan yang terjadi [10]. Mix design beton maksimum 100% dengan kuat tekan maksimum hari ke 28, dari data meningkatnya kuat tekan dipengaruhi dengan lamanya umur beton tersebut [11].

Hasil EK-2021-04-15637-SEM-EDS

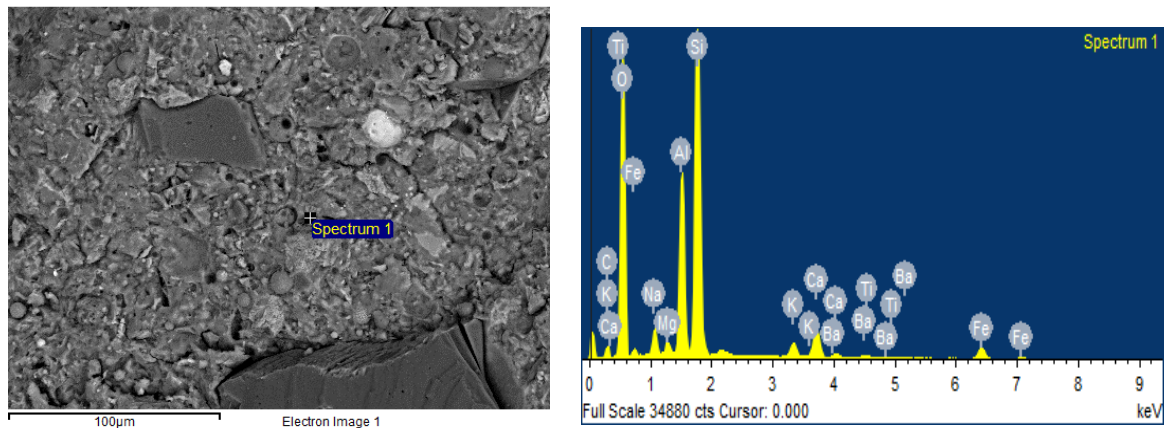


Gambar 1. SEM image untuk Beton K450



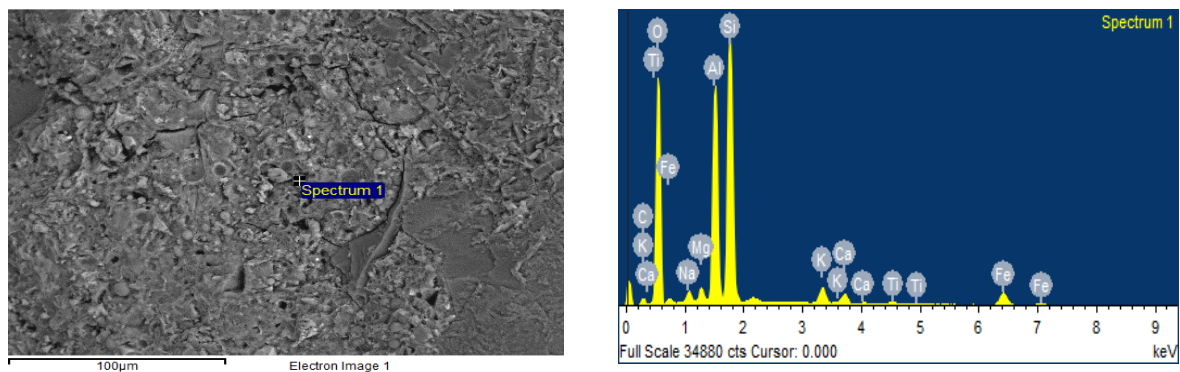
Gambar 2. SEM untuk Beton K500

Dari SEM pada gambar 2 diatas dengan pembesaran 250x dan hingga 500x, ukuran partikel dan senyawa pembentuk beton seperti C-S-H gel dapat terdeteksi pada 200 mikronmeter dan 100 mikron meter baik pada beton K450 maupun beton K500. SEM menunjukkan C-S-H gel yang dominan dan terbentuk secara signifikan dari kombinasi antara semen portland dan GGBFS. Namun ditemukan microcrack dan partikel Fly Ash yang tidak bereaksi.



Gambar 3. Spektrum 1 SEM-EDS beton K450

Identifikasi elemen dilakukan dengan SEM-EDS test pada beton K450 dapat dilihat pada gambar 4. Element pembentuk beton dapat dilihat pada tabel 3. Pada tabel dan gambar terlihat bahwa puncak spektrum didominasi oleh Senyawa SiO_2 dengan persentasi berat sebesar 52.92%. Berat SiO_2 lebih sedikit pada beton K450 dibandingkan dengan beton K500. Senyawa SiO_2 yang lebih banyak menunjukkan kekuatan tekan yang lebih besar pada benda uji. Dari tabel juga terlihat Bahwa Kandungan Al_2O_3 yang lebih sedikit menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi [12].



Gambar 4. Spektrum 1 SEM-EDS beton K500

Tabel 3. Element dan berat element pada benda Uji SEM-EDS Beton K500

Element	Weight (%)
C (CaCO ₃)	5.23
O (SiO ₂)	55.92
Na (Albite)	2.13
Mg (MgO)	0.63
Al (Al ₂ O ₃)	9.23
Si (SiO ₂)	19.59
K (Mad-10-Feldspar)	1.17
Ca (Wollastonite)	2.59
Ti (Ti)	0.21
Fe (Fe)	2.66
Ba (BaF ₂)	0.65

Identifikasi elemen dilakukan dengan SEM-EDS test pada beton K500 dapat dilihat pada gambar 4. Element pembentuk beton dapat dilihat pada tabel 3. Pada tabel dan gambar terlihat bahwa puncak spektrum didominasi oleh SiO₂ dengan persentase berat sebesar 55.92%. SiO₂ memiliki kontribusi yang besar terhadap pembentuk C-S-H Gel. Selain itu terdapat Al₂O₃ sebesar 9.23% [13].

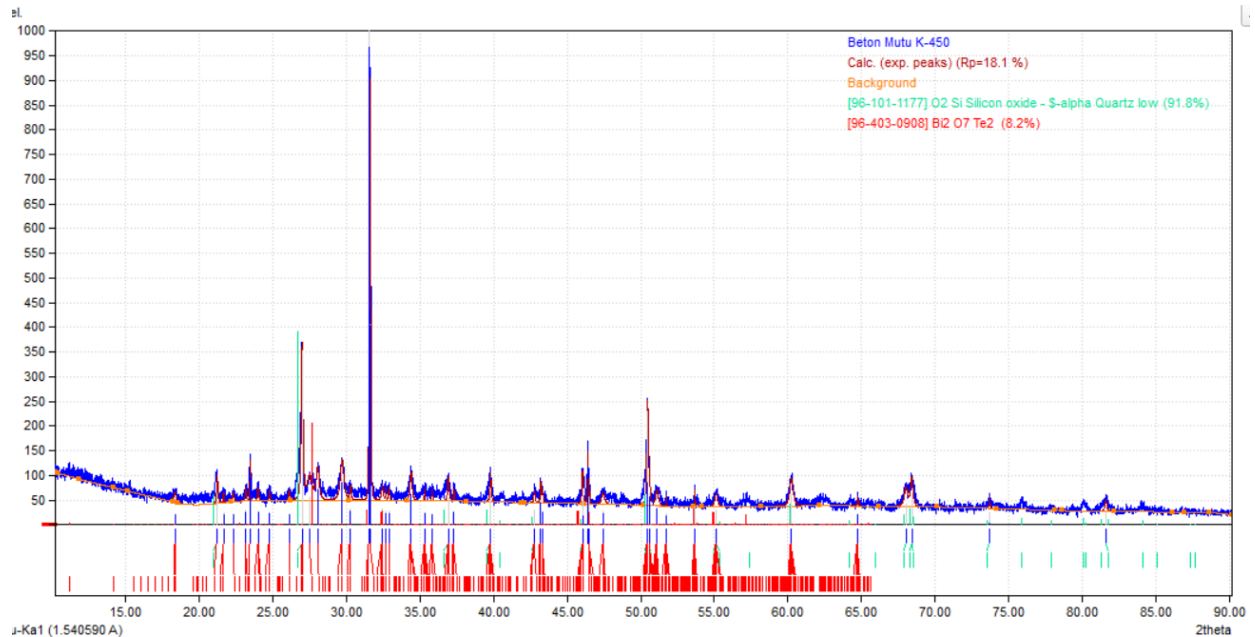
Tabel 4. Beton Mutu K-450

Spectrum	Analisis Kandungan Zat (dominan)
1	SiO ₂ (Silikon Dioksida)
2	Ti (Titanium)
3	SiO ₂ (Silikon Dioksida)
4	SiO ₂ (Silikon Dioksida)
5	Ca (Kalsium)
6	Ca (Kalsium)
7	Ca (Kalsium)
8	Ca (Kalsium)

Tabel 5. Beton Mutu K-500

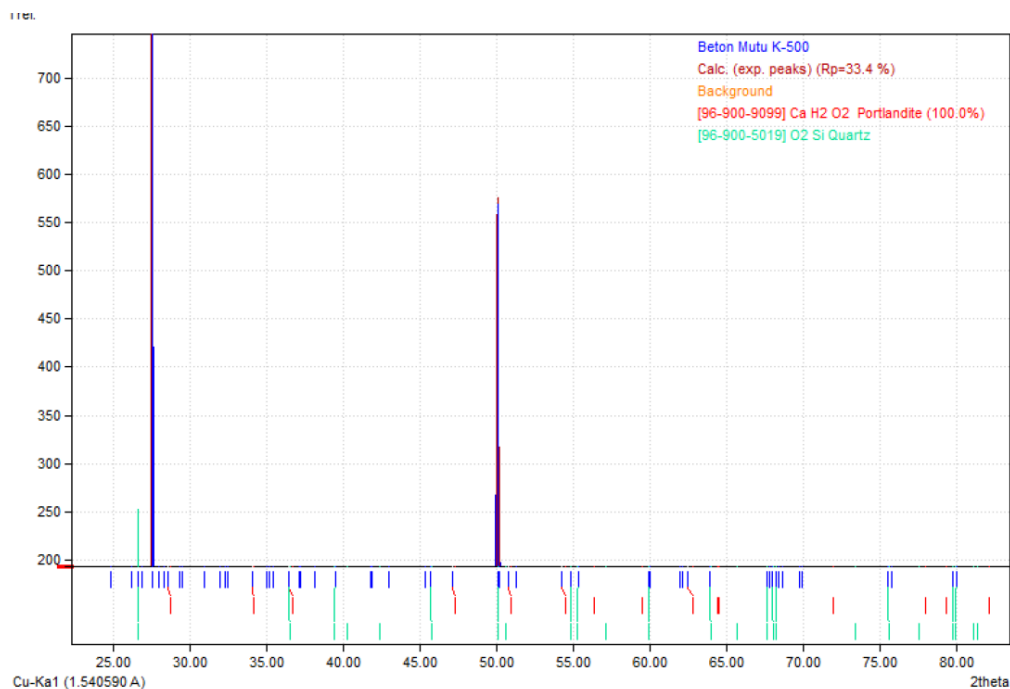
Spectrum	Analisis Kandungan Zat (dominan)
1	Ti (Titanium) dan SiO ₂ (Silikon Dioksida)
2	Ca (Kalsium)
3	Ti (Titanium) dan SiO ₂ (Silikon Dioksida)
4	Fe (<i>Ferrum</i> atau Besi)
5	Mn (Mangan)
6	SiO ₂ (Silikon Dioksida)
7	SiO ₂ (Silikon Dioksida)
8	Ca (Kalsium)

3.2. Analisis XRD



Gambar 5. Analisis XRD beton K450

Puncak Difraksi beton K450 dapat dilihat pada gambar 5. Analisis XRD dilakukan dengan menggunakan Bantuan Software MATCH!3. Puncak Difraksi Pada Beton K450 didominasi Oleh Kristal Quartz Low dengan nilai FOM = 0,72 . Selain itu terdapat Senyawa $\text{Bi}_2\text{O}_7\text{Te}_2$ dengan nilai FOM sebesar 0.748 [14].



Gambar 6. Analisis XRD beton K500

Puncak Difraksi beton K500 dapat dilihat pada gambar 6, qw Analisis XRD dilakukan dengan menggunakan Bantuan Software MATCH!3. Puncak Difraksi Pada Beton K500 didominasi Oleh Kristal Quartz dengan nilai FOM = 0,757 selain itu terdapat Senyawa Portland [15].

4. KESIMPULAN

Pada percobaan ini diperoleh Kuat tekan paling baik pada hari ke 28 dan variasi GGBFS 25 % dilihat dari grafik dan tabel kuat tekan dan perkembangan mutu K450 menunjukkan pada hari ke 28 kuat tekan yang didapat 415,41 kg/cm² perkembangan mutunya sudah mencapai 100 % sedangkan dilihat dari grafik dan tabel kuat tekan dan perkembangan mutu K500 menunjukkan pada hari ke 28 kuat tekan yang didapat 483,19 kg/cm² perkembangan mutunya sudah mencapai 100 %. Semakin banyak slag yang digunakan maka membutuhkan air yang semakin sedikit. Dari hasil uji SEM menunjukkan Senyawa SiO₂ lebih sedikit pada beton K450 dibandingkan K500, senyawa SiO₂ yang lebih banyak menunjukkan kekuatan tekan yang lebih besar pada benda uji. Dan juga Kandungan Al₂O₃ yang lebih sedikit menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi. Dari hasil uji XRD menunjukkan Puncak Difraksi Pada Beton K450 didominasi Oleh Kristal Quartz Low dengan nilai FOM = 0,72 sedangkan Puncak Difraksi Pada Beton K500 didominasi Oleh Kristal Quartz dengan nilai FOM = 0,757. Nilai FOM yang lebih besar menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Riset mengucapkan terima kasih kepada Rektor Institut Teknologi PLN dan Kepala LPPM atas hibah penelitian Unggulan Institusi Departemen Teknik Sipil dengan Nomor SK: 0094.SK/2/A0/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ö. Çakir and F. Aköz, "Effect of curing conditions on the mortars with and without GGBFS," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 3, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.08.013.
- [2] R. Hidayawanti, "Utilization Ggbfs As Cement Substitution To Reduce Production Cost Of Construction Project," *Int. J. GEOMATE*, vol. 00, no. 00, pp. 1–7, 2018, doi: 10.21660/Year.Issue.PaperID.
- [3] G. A. Karim, E. Susilowati, and W. Pratiwi, "PENGARUH GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG TERHADAP SIFAT FISIKA SEMEN PORTLAND JENIS-I," *J. Teknol. Bahan dan Barang Tek.*, vol. 8, no. 2, 2018, doi: 10.37209/jtbtt.v8i2.118.
- [4] R. A. I. Sari, S. E. Wallah, R. S. Windah, R. A. I. Sari, S. E. Wallah, and R. S. Windah, "Pengaruh Jumlah Semen dan Fas Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Agregat yang Berasal dari Sungai," *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 1, 2015.
- [5] A. Susilowati and S. Ginting, "Pengaruh Penambahan RD 31 pada Beton dengan Substitusi Ground Granulated Blast Furnance Slag," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 3, p. 191, 2021, doi: 10.26760/rekaracana.v6i3.191.
- [6] R. R. Bellum, K. Muniraj, and S. R. C. Madduru, "Exploration of mechanical and durability characteristics of fly ash-GGBFS based green geopolymers concrete," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 5, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2720-5.
- [7] R. Hidayawanti, S. Legino, I. Sangadji, and R. P. A. Widodo, "The Efficiency of Fly Ash and Cement Slag to Development Building," *Int. J. GEOMATE*, vol. 16, no. 57, pp. 95–100, 2019, doi: 10.21660/2019.57.4857.

- [8] R. R. Bellum, R. Nerella, S. R. C. Madduru, and C. S. R. Indukuri, "Mix design and mechanical properties of fly ash and GGBFS-Synthesized Alkali-Activated Concrete (AAC)," *Infrastructures*, vol. 4, no. 2, 2019, doi: 10.3390/infrastructures4020020.
- [9] R. Hidayawanti, D. Dian Purnama, T. Iduwin, S. Legino, and F. Ibnu Wachid, "The Impact Aggregate Quality Material as a Linear Regression Study on Mixture Concrete," *Int. J. GEOMATE*, vol. 18, no. 70, pp. 23–29, Jun. 2020, doi: 10.21660/2020.70.5611.
- [10] F. Darwis, M. A. Sultan, and C. Anwar, "Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Beragregat Batu Apung," *Sipil Sains*, vol. 06, no. 11, 2016.
- [11] M. D. J. Sumajouw, S. O. Dapas, and R. S. Windah, "Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi," *J. Ilm. Media Eng.*, vol. 4, no. 4, 2014.
- [12] M. Sarstedt, J. F. Hair, C. Nitzl, C. M. Ringle, and M. C. Howard, "Beyond a tandem analysis of SEM and PROCESS: Use of PLS-SEM for mediation analyses!," *Int. J. Mark. Res.*, vol. 62, no. 3, 2020, doi: 10.1177/1470785320915686.
- [13] M. Sarstedt, C. M. Ringle, J. H. Cheah, H. Ting, O. I. Moisesescu, and L. Radomir, "Structural model robustness checks in PLS-SEM," *Tour. Econ.*, vol. 26, no. 4, 2020, doi: 10.1177/1354816618823921.
- [14] L. Moretti, S. Natali, A. Tiberi, and A. D'Andrea, "Proposal for a methodology based on xrd and sem-eds to monitor effects of lime-treatment on clayey soils," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 7, 2020, doi: 10.3390/app10072569.
- [15] H. Khan, A. S. Yerramilli, A. D'Oliveira, T. L. Alford, D. C. Boffito, and G. S. Patience, "Experimental methods in chemical engineering: X-ray diffraction spectroscopy—XRD," *Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 98, no. 6, 2020, doi: 10.1002/cjce.23747.