

Kajian Keretakan Pelat dan Daya Serap Air Dengan Penambahan GGBFS Pada Campuran Mortar

Isidoro M. Soares^{1*}, Abdul Halim², Candra Aditya³, Anis Purwaningsih⁴

¹Ministério Desenvolvimento Rural E Habitação Comunitária

^{2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama, Malang

*Email Korespondensi: isidoroaires1842@gmail.com

ABSTRAK

Retak yang terjadi pada sebuah struktur bangunan memicu berbagai masalah krusial, mulai dari menurunnya kekuatan struktural, kapasitas beban bangunan hingga risiko kebocoran. Celah ini menjadi jalur masuknya air dan zat kimia, yang cepat atau lambat memicu korosi pada tulangan baja di dalam beton. Oleh karena itu diperlukan semen sebagai perekat yang mampu menutup rapat seluruh pori-pori pada mortar beton sehingga dapat mengurangi lebar retak. Penelitian ini memanfaatkan produk *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) atau yang lebih sering disebut sebagai semen slag untuk mengganti sebagian semen dengan persentase 0%, 10%, 20% dan 30%. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap daya serap air, kuat lentur, lebar retak dan pola retak. Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium. Hasil pengujian daya serap air tanpa GGBFS sebesar 4,20%, sedangkan GGBFS 10%, 20%, 30% daya serap air menjadi 4,14%, 2,73%, 2,74%. Hasil perhitungan kuat lentur tanpa GGBFS sebesar 70,9 kg/cm², namun dengan GGBFS 10%, 20% 30% kuat lentur menjadi 44,2 kg/cm², 77,6 kg/cm², 80,9 kg/cm². Hasil pengujian lebar retak pada mortar tanpa GGBFS sebesar 0,123 mm, namun dengan GGBFS 10%, 20%, 30% lebar retak menjadi 2,499 mm, 0,107 mm, 0,076 mm. Berdasarkan mekanisme pola retak dan lebar retak, menunjukkan bahwa semua hasil pengujian pola retak pada benda uji pelat GGBFS 0%, 10%, 20%, dan 30%, mempunyai perilaku pola retak dominan retak lentur. Hasil uji anova daya serap air GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ 4,066, hasil uji anova kuat lentur GGBFS 10%, 20%, dan 30% memiliki pengaruh dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ 4,066, dan hasil uji anova lebar retak GGBFS 10%, 20%, dan 30% memiliki pengaruh dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ 4,066.

Kata kunci : Mortar, GGBFS, Daya Serap Air, Kuat Lentur, Lebar Retak dan Pola Retak.

ABSTRACT

Cracks that occur in a building structure trigger various critical problems, ranging from a decline in structural strength and load-bearing capacity to the risk of leaks. These cracks serve as entry points for water and chemicals, which sooner or later cause corrosion of the steel reinforcement within the concrete. Therefore, cement is needed as a binder capable of tightly sealing all the pores in the concrete mortar, thereby reducing the width of the cracks. This study utilized Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)—more commonly known as slag cement—to partially replace cement at replacement rates of 0%, 10%, 20%, and 30%. The objective of this study was to determine the effect of adding GGBFS to mortar mixtures on water absorption, flexural strength, crack width, and crack patterns. The research was conducted experimentally in a laboratory. The water absorption test results without GGBFS were 4.20%, while for GGBFS at 10%, 20%, and 30%, the water absorption rates were 4.14%, 2.73%, and 2.74%, respectively. The flexural strength without GGBFS was 70.9 kg/cm², but with 10%, 20%, and 30% GGBFS, the flexural strength was 44.2 kg/cm², 77.6 kg/cm², and 80.9 kg/cm², respectively. The crack width test results for mortar without GGBFS were 0.123 mm; however, with 10%, 20%, and 30% GGBFS, the crack widths were 2.499 mm, 0.107 mm, and 0.076 mm, respectively. Based on the crack pattern mechanism and crack width, the results indicate that all crack pattern test results on the 0%, 10%, 20%, and 30% GGBFS plate specimens exhibit a dominant flexural cracking behavior. The results of the ANOVA test for water absorption of GGBFS at 10%, 20%, and 30% showed a significant effect on the mortar, with a calculated F -value of 41.58 > the tabulated F -value of 4.066; the results of the ANOVA test for flexural strength of GGBFS at 10%, 20%, and 30% had a significant effect, with a calculated F -value of 9.068 > the critical F -value of 4.066; and the results of the ANOVA test for crack width for GGBFS at 10%, 20%, and 30% showed a significant effect, with a calculated F -value of 22.911 > the critical F -value of 4.066.

Keywords : Mortar, GGBFS, Water Absorption, Flexural Strength, Crack Width, and Crack Pattern.

1. PENDAHULUAN

Retak struktur atau non struktur merupakan indikasi paling rawan dari kondisi sebuah bangunan. Keretakan merupakan salah satu masalah yang umum dari bangunan struktur atau non-struktur, keretakan struktur dapat disebabkan oleh pengaruh lentur, geser, dan torsi. Kondisi tersebut dapat dilihat pada elemen-elemen struktural yang sering terjadi pada pelat, balok, kolom, dan dinding, elemen tersebut adalah komponen struktural yang menunjukkan masalah ini. Lebar retak yang berlebihan akan mengakibatkan kebocoran pada penampang yang pada akhirnya akan menurunkan mutu beton atau mutu mortar dan mengakibatkan korosi pada tulangan. Oleh karena itu diperlukan bahan alternatif lainnya yang memiliki harga yang lebih murah dan diprediksikan dapat mengurangi retakan. Berdasarkan latar belakang tersebut perlu dilakukan inovasi dalam penggunaan semen, salah satunya yaitu semen slag. Semen slag menggunakan standar yang mengacu pada [1], tentang “Spesifikasi semen slag untuk digunakan dalam beton dan mortar”. Bahan alternatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS), adalah salah satu produk semen slag di Indonesia yang di luncurkan oleh Semen Krakatau Indonesia dengan slogan “Aplikasi Material GGBFS pada Infrastruktur Ramah Lingkungan Berperforma Tinggi” pada tahun 2020 [2]. GGBFS merupakan produk ramah lingkungan yang digunakan untuk membangun struktur beton yang kokoh dan tahan lama [3]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap daya serap air, pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap kuat lentur, pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap lebar retak, pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap pola retak dan untuk mengetahui penambahan GGBFS yang optimal terhadap campuran mortar dari aspek daya serap air, kuat lentur, lebar retak, dan pola retak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Mortar

Mortar didefinisikan sebagai campuran material “Perekat” yang menyatukan struktur bangunan adalah konstruksi berbahan dasar semen. Yang membedakan mortar dengan semen adalah mortar pada dasarnya adalah semen siap pakai, dengan komponen penyusunnya biasanya terdiri dari air, agregat halus (pasir), semen, dan berbagai macam bahan tambahan yang sesuai. Jenis mortar dapat dibagi dalam beberapa jenis, antara lain:

1. Mortar semen Portland (sering dikenal dengan mortar semen) dibuat dengan mencampurkan antara semen Portland (OPC), pasir, dan air.
2. Mortar semen polimer (PCM) dibuat dengan menambahkan polimer sebagai bahan tambahan pada mortar semen konvensional, yang menggantikan sebagian pengikatan semen. Bahan aditif polimer yang khusus ditujukan untuk memperbaiki struktur bangunan beton yang rusak ini memiliki keunggulan yaitu permeabilitas yang rendah dan menurunkan kejadian retak kering akibat penyusutan.
3. Mortar kapur adalah jenis mortar yang bahan pencampurnya terdiri dari kapur, pasir, dan air.
4. Mortar Posolan adalah bahan tambah baik yang berasal dari alam atau limbah industri yang mengandung silika dan alumina yang jika dicampur dengan air akan bereaksi dengan kapur bebas. Mortar posolan adalah campuran antara mortar semen yang ditambahkan dengan posolan.

Konsentrasi mortar ini nantinya akan berguna dalam menentukan kekuatan mortar yang menjadi spesi ataupun plesteran dinding sehingga diharapkan mortar yang menahan gaya tekan akibat beban yang bekerja padanya [4].

2.2 Bahan Penyusun Mortar

a. Semen

Semen Portland adalah semen hidrolik yang dibuat dengan menggiling klinker, yang terutama terdiri dari kalsium silikat hidrolik ditambah gips. Selain mengisi ruang antar butiran

agregat, tugas semen adalah mengikat butiran-butiran tersebut menjadi satu sehingga menghasilkan massa padat [5].

b. Agregat

Butir yang digunakan sebagai bahan pengisi campuran mortar dan beton disebut agregat. Mengingat seberapa sering agregat digunakan dalam pencampuran mortar, maka karakteristik agregat yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap karakteristik mortar yang dibuat.. Agregat halusnya harus bersih, lembam, bebas dari bahan organik, dan substansi pengganggu serta secara relatif bebas dari lumpur dan tanah, menurut [6] dan [7], gradasi agregat halus harus memenuhi kriteria petunjuk dari Tabel 2.2 di mana pasir harus lolos dari saringan No. 4 dan tertahan pada saringan No. 100, yang disesuaikan dengan ASTM C33. Akan tetapi, ukuran partikel maksimum harus disesuaikan oleh pembatas konstruksi seperti ukuran jaringan dan jarak antar lapisan.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Butir Lolos (%)
No. 8 (2.36 mm)	80-100
No. 16 (1.18 mm)	50-85
No. 30 (0.60 mm)	25-60
No. 50 (0.30 mm)	10-30
No. 100 (0.15 mm)	2-10

Sumber : (ACI 5491r_93,1988)

c. Air

Air memiliki fungsi untuk memicu proses kimiawi dari semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dalam pengerjaan pengadukan mortar. Air yang digunakan pada campuran mortar harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang dapat menurunkan kualitas mortar. Menurut (ACI Committee 549, 2008), air yang digunakan haruslah segar, bersih, dan dapat diminum. Airnya harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida, dan bahan bersifat asam. Jika dites, airnya harus mempunyai $\text{pH} \geq 7$ untuk meminimalkan penurunan pH dalam adukan mortar.

d. GGBFS

Ground Blast Furnace Slag (GBFS) adalah kerak (slag) merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk butiran/granula. Kerak Unsur GBFS sebagian besar terdiri dari kapur, silika dan alumina yang terkandung di dalam besi saat dimasukkan ke dalam tanur. GBFS bila digiling halus akan memiliki sifat sangat reaktif yang dapat dipakai sebagai bahan pengganti semen. GBFS yang sudah digiling halus di sebut *Ground Granulate Blast Furnace Slag* (GGBFS) [8]. Fakta bahwa GGBFS dapat digunakan sebagai pengganti semen pada beton kinerja tinggi merupakan sebuah keuntungan. GGBFS digunakan untuk membuat konstruksi beton yang kuat dan tahan lama yang dapat dicampur dengan semen Portland biasa dan/atau bahan pozzolani lainnya.

2.3 Daya Serap Air

Daya serap air adalah kemampuan mortar/beton normal untuk menyerap air ketika direndam dalam air hingga memiliki massa jenuh, artinya hingga beton normal tidak mampu menyerap air lagi karena sudah penuh. Besar kecilnya penyerapan air pada benda uji sangat dipengaruhi oleh pori-pori atau rongga. Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam benda uji maka akan semakin besar pula penyerapan airnya sehingga ketahanannya akan berkurang [9]. Pengujian daya serap air terhadap benda uji beton/mortar bertujuan untuk mengetahui banyak air yang dapat diserap oleh mortar. Semakin tinggi jumlah air yang diserap, dapat mengakibatkan rendahnya mutu mortar[10].

2.4 Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji pelat mortar, salah satunya untuk menentukan kekuatan lentur selain lebar retak dan pola retak. Kekuatan lentur adalah kemampuan yang dimiliki oleh benda yang diletakkan pada dua peletakan untuk menahan gaya dalam arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya sampai benda uji patah. Beban yang bekerja tersebut dapat berupa beban gravitasi atau beban lain seperti angin, susut, dan perubahan yang dapat menyebabkan terjadinya lentur dan deformasi pada elemen struktur [11], [12]. Lentur terjadi akibat adanya regangan yang timbul akibat beban luar. Beban luar yang bekerja pada suatu bidang, bila sudah maksimal akan mengakibatkan perubahan pada struktur. Bagian daerah atas akan mengalami gaya tekan sedangkan bagian bawah akan mengalami gaya tarik. pada bagian daerah tarik, jika beban dinaikkan secara bertahap di area tegangan, retakan akan muncul, dan jika beban dinaikkan secara maksimal, maka akan terjadi patah. Beberapa rumus yang dipakai untuk menentukan kuat lentur adalah sebagai berikut.

a. Momen Lentur

$$M = \frac{1}{4}PuL + \frac{1}{8}qL^2 \dots\dots\dots (1)$$

b. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \dots\dots\dots (2)$$

c. Kuat Lentur

$$f = \frac{My}{I} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

Pu	= Beban Maksimum, kg
q	= Beban Merata, kg/cm
L	= Jarak Tumpuan, cm
b	= Lebar Pelat, cm
h	= Tinggi Pelat, cm
y	= h/2, cm

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Metode penelitian diperlukan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Metode penelitian ini adalah eksperimen yang dilakukan di laboratorium untuk mengukur karakteristik dan parameter yang diperlukan pada GGBFS, terhadap beton mortar dan perilaku retak pelat mortar.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di mana terdapat beberapa variabel untuk menunjang hasil penelitian ini. Variabel penelitian dalam pembuatan struktur mortar dalam penelitian ini terdapat 3 variabel, yaitu: variabel bebas, variabel terkontrol, dan variabel terikat.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini memiliki pengaruh terhadap variabel tetap. Adapun variabel bebas benda uji mencakup komposisi bahan tambahan GGBFS dengan nilai persentase sebesar (0%, 10%, 20% dan 30%) terhadap pembuatan struktur mortar.

b. Variabel Terkontrol

Variabel tetap yang dijaga dalam penelitian ini antara lain berat semen Gresik dan GGBFS setelah dicampurkan, berat agregat halus, dan berat air. Benda uji diuji pada umur 28 hari. Waktu pengujian daya serap air dilakukan selama 24 jam dengan suhu $105 \pm 5^\circ\text{C}$ [13].

c. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini konsentrasi pada menurunnya nilai daya serap air, kuat lentur, lebar retak, dan pola retak pada benda uji pelat mortar melalui pengujian daya serap air, kuat lentur, lebar retak, dan pola retak pada struktur pelat mortar pada peningkatannya variasi penambahan GGBFS.

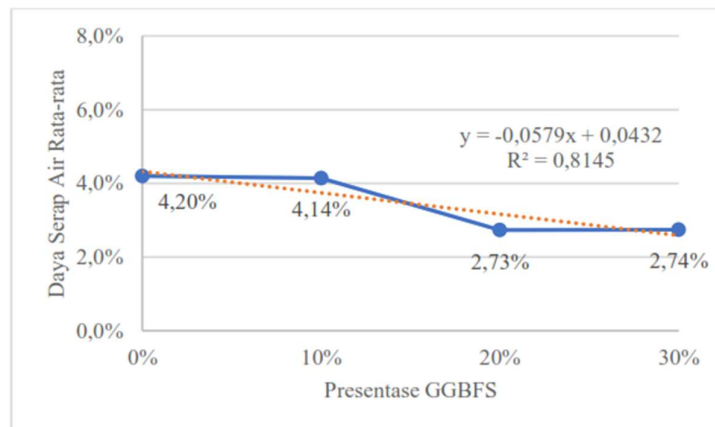
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Daya Serap Air

Pada pengujian daya serap air ini dilakukan menggunakan benda uji berupa kubus mortar dengan ukuran (5 x 5 x 5) cm. Pengujian dilakukan saat benda uji berumur 28 hari di laboratorium. Lama perendaman yang dilakukan adalah selama kurang lebih 24 jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian daya serap air mortar

Persentase GGBFS	Berat Jenuh Air	Berat Kering	Daya Serap	Rata-Rata Daya Serap
	(gram)	(gram)	(%)	(%)
0%	285,5	274,5	4,01%	4,20%
	282,5	271,5	4,05%	
	276,0	264,0	4,55%	
10%	279,5	268,5	4,10%	4,14%
	279,0	267,5	4,30%	
	284,5	273,5	4,02%	
20%	290,5	283,5	2,47%	2,73%
	287,5	279,5	2,86%	
	287,0	279,0	2,87%	
30%	285,0	277,0	2,89%	2,74%
	284,0	277,0	2,53%	
	293,0	285,0	2,81%	



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Air

Dari hasil pengujian daya serap air pada Gambar 1 menunjukkan bahwa adanya penambahan GGBFS pada campuran mortar mengakibatkan daya serap air menurun, yang mana tanpa GGBFS 0% nilai daya serap air 4,20%, dengan ditambahnya GGBFS 10%, dan 20%, nilai daya serap air 4,14%, dan 2,73%, namun pada penambahan GGBFS 30% nilai daya serap air meningkat 2,74%, dengan penambahan GGBFS di dapat persentase penurunan daya serap air dari hasil itu, penambahan GGBFS 0% ke 10% di dapat selisih penurunannya daya serap air 1,5% dan penambahan GGBFS 0% ke 20% dengan selisih penurunan daya serap air 35%, namun pada penambahan GGBFS 0% ke 30% dengan selisih penurunan nilai daya serap air 34,8%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan GGBFS pada mortar mengakibatkan daya serap air berkurang atau kekedapannya bertambah. Dari hasil analisis anova uji daya serap air menunjukkan bahwa

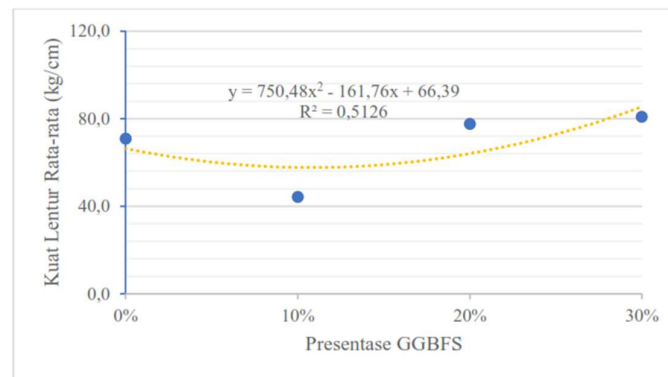
pada F hitung $41,581058 > F$ tabel $4,066$ di mana H_1 di terima dan H_0 di tolak, maka GGBFS berpengaruh terhadap campuran mortar[14].

4.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pada pengujian kuat lentur menggunakan benda uji berupa pelat mortar dengan ukuran $60 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$. Pengujian dilakukan saat pelat mortar berumur 28 hari dengan menggunakan alat *hydraulic jack* dan *load cell* dengan panjang antar dua tumpuan peletakan 50 cm . Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Pelat Mortar

Sampel	Beban Maks	Berat Benda Uji	Tinggi Pelat	Momen Lentur	Momen Inersia	Kuat Lentur 28 hari	Rata-rata
	P_u	Q	Y	M	I	$f = M \cdot y / I$	
	Kg	Kg	Cm	kg/Cm ²	Cm ²	Kg/Cm ²	
0S1	600	0,35	2,5	7611	312,5	60,9	70,9
0S2	800	0,35	2,5	10110	312,5	80,9	
0S3	700	0,36	2,5	8863	312,5	70,9	
10S1	400	0,36	2,5	5112	312,5	40,9	44,2
10S2	500	0,35	2,5	6358	312,5	50,9	
10S3	400	0,35	2,5	5111	312,5	40,9	
20S1	900	0,36	2,5	11362	312,5	90,9	77,6
20S2	700	0,35	2,5	8861	312,5	70,9	
20S3	700	0,36	2,5	8861	312,5	70,9	
30S1	800	0,36	2,5	10113	312,5	80,9	80,9
30S2	900	0,36	2,5	11363	312,5	90,9	
30S3	700	0,36	2,5	8862	312,5	70,9	



Gambar 2. Grafik Perbandingan Kuat Lentur

Hasil pengujian kuat lentur pelat mortar, diketahui bahwa nilai rata-rata kuat lentur tanpa GGBFS sebesar $70,9 \text{ kg/cm}^2$, untuk nilai kuat lentur tertinggi didapat pada penambahan GGBFS 30% sebesar $80,9 \text{ kg/cm}^2$, namun pada penambahan GGBFS 10% memiliki kuat lentur $44,2 \text{ kg/cm}^2$ dan 20% memiliki kuat lentur $77,6 \text{ kg/cm}^2$. Penambahan GGBFS di dapat persentase penurunan kuat lentur dari hasil itu, penambahan GGBFS 0% ke 10% di dapat selisih penurunannya kuat lentur 38% dan penambahan GGBFS 0% ke 20% dengan selisih peningkatan kuat lentur 9%, namun pada penambahan GGBFS 0% ke 30% dengan selisih peningkatan nilai kuat lentur 14%. Dari hasil analisis anova uji pelat mortar menunjukkan bahwa pada F hitung $9,068 > F$ tabel $4,066$ di mana H_1 di terima dan H_0 di tolak, maka GGBFS berpengaruh terhadap campuran mortar [15].

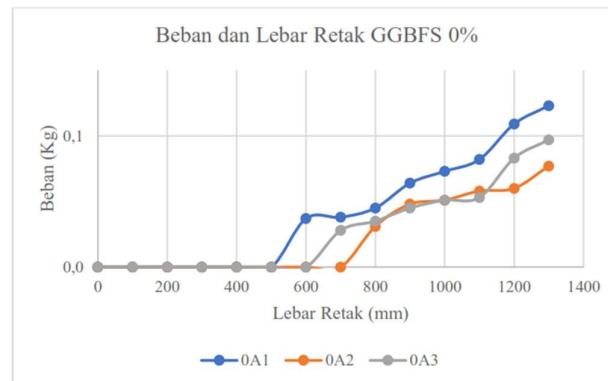
4.3 Hasil Pengujian Lebar Retak

Pengujian benda uji pelat mortar terhadap beban dilakukan pada saat pelat berumur 28 hari. kemudian pelat diberi beban bertahap dari 0 Kg hingga pelat mengalami keruntuhan pada

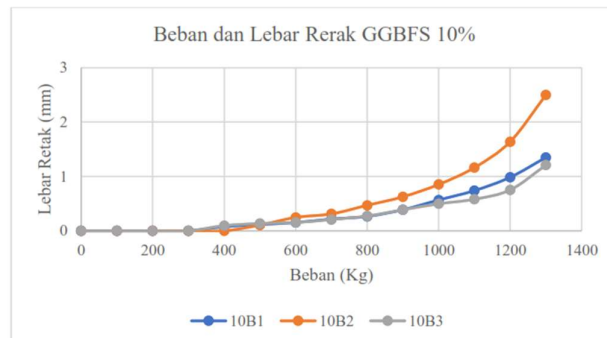
beban maksimal. Retak pada pelat mortar saat masa pembebanan pertama, muncul pertama kali pada daerah di sekitar bawah beban lalu diikuti oleh beberapa retak sejenisnya. Dari pengamatan langsung pada benda uji, munculnya retak pertama yang sangat halus ini mulai terdeteksi ketika beban yang bekerja telah melampaui kapasitas benda uji. Pengamatan retak dilakukan dengan menggunakan alat *microscope crack detector* yang mempunyai keakuratan tinggi. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian dan Pembebanan Retak Awal sama Retak Runtuh Pelat Mortar

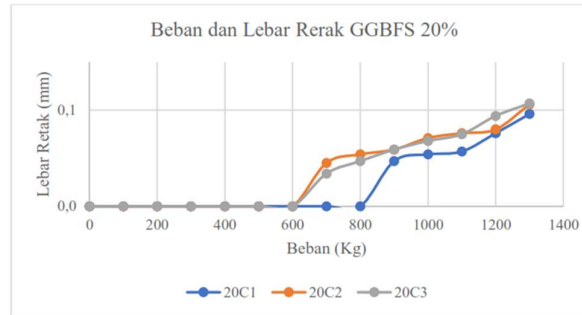
Komposisi GGBFS	Sampel	Saat Retak Awal			Saat Runtuh		
		Pc (Kg)	wc (mm)	wc Rata-rata	Pu (Kg)	wu (mm)	wu Rata-rata
0%	0A1	600	0,037	0,044	1300	0,123	0,099
	0A2	800	0,051		1300	0,077	
	0A3	700	0,045		1300	0,097	
10%	10B1	400	0,076	0,092	1300	1,350	1,686
	10B2	500	0,106		1300	2,499	
	10B3	400	0,095		1300	1,209	
20%	20C1	900	0,047	0,042	1300	0,096	0,103
	20C2	700	0,045		1300	0,106	
	20C3	700	0,034		1300	0,107	
30%	30D1	800	0,038	0,028	1300	0,076	0,072
	30D2	900	0,020		1300	0,068	
	30D3	700	0,025		1300	0,073	



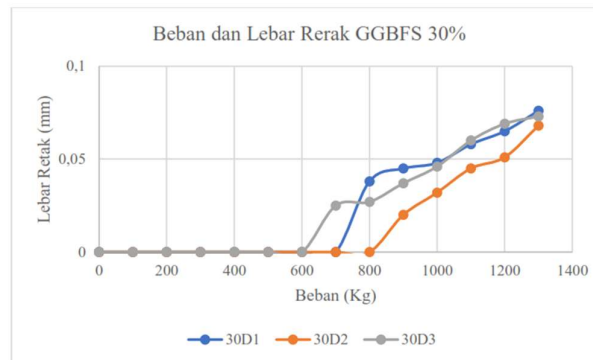
Gambar 3. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 0%



Gambar 4. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 10%

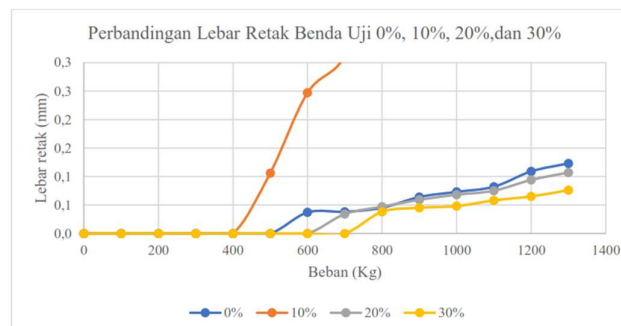


Gambar 5. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 20%



Gambar 6. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 30%

Dari hasil pengujian pelat mortar menunjukkan bahwa pada pelat mortar GGBFS 0%, pada benda uji 0A2 mempunyai lebar retak awal lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 0A1 dan 0A3, maka lebar retak pada benda uji 0A nilai rata-rata retak awal 0,044 mm dan retak maksimal 0,099 mm. Kemudian beban retak pertama, dan lebar retak pada pelat mortar penambahan GGBFS 10%, menunjukkan bahwa pada benda uji 10B2 mempunyai lebar retak yang lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 10B1 dan 10B3, maka lebar retak pada benda uji 10B nilai rata-rata retak awal 0,095 mm dan retak maksimal 1,686 mm. Kemudian beban retak pertama, dan lebar retak pada pelat mortar penambahan GGBFS 20%, menunjukkan bahwa pada benda uji 20C3 mempunyai lebar retak lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 20C1 dan 20C2, maka lebar retak pada benda uji 20C nilai rata-rata retak awal 0,042 mm dan retak maksimal 0,103 mm. dan kemudian beban retak pertama, dan lebar retak pada pelat mortar penambahan GGBFS 30%, menunjukkan bahwa pada benda uji 30D1 mempunyai lebar retak lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 30D2 dan 30D3, maka lebar retak pada benda uji 30D nilai rata-rata retak awal 0,028 mm dan retak maksimal 0,072 mm. Maka perbandingan lebar retak di ambil nilai yang paling tinggi setiap benda uji 0%, 10%, 20%, dan 30%, hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 7 sebagai berikut.

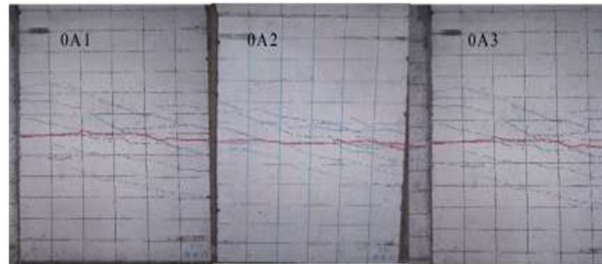


Gambar 7. Grafik Perbandingan Lebar Retak

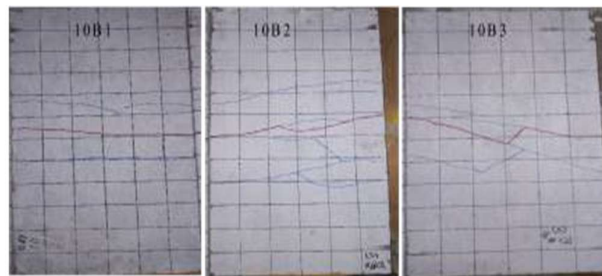
Dari hasil perbandingan lebar retak pada gambar 7 menunjukkan bahwa penambahan GGBFS 10% menghasilkan lebar retak yang lebih besar 2,499 mm, 0% menghasilkan lebar retak 0,123 mm, dan 20% menghasilkan lebar retak 0,107 mm, namun mortar GGBFS 30% menghasilkan lebar retak paling kecil 0,076 mm. Dari hasil analisis anova uji pelat mortar menunjukkan bahwa pada $F_{hitung} 39,6765 > F_{tabel} 4,06618$ di mana H_1 di terima dan H_0 di tolak, maka GGBFS berpengaruh terhadap campuran mortar.

4.4 Hasil Pengujian Pola Retak

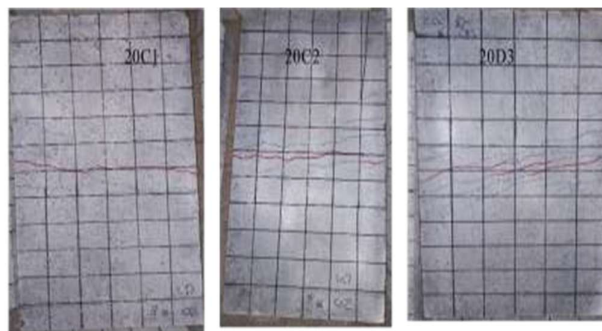
Observasi pola retak pelat mortar dilakukan untuk mengetahui proses terjadinya retak, lebar retak, sampai mengetahui indikasi terjadinya kegagalan pada bagian pelat. Untuk pengambilan data pola retak dilakukan setiap pembebanan, setelah lebar retak diukur dengan alat *microscope crack detector* kemudian didokumentasikan. Berikut hasil pengujian pola retak pelat.



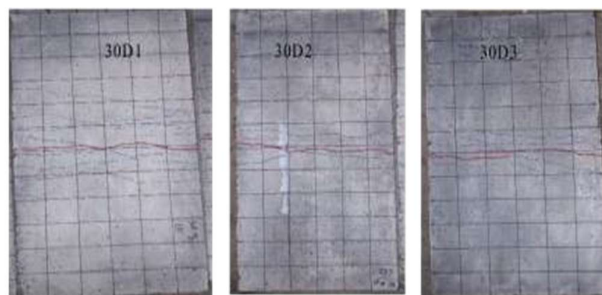
Gambar 8. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 0%



Gambar 9. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 10%



Gambar 10. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 20%



Gambar 11. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 30%

Hasil pengujian pola retak benda uji 0% (Gambar 8) menunjukkan bahwa benda uji 0A1 menghasilkan 9 retak, 0A2 menghasilkan 11 retak, dan 0A3 menghasilkan 13 retak. Hasil pengujian pola retak benda uji 10% (Gambar 9) menunjukkan bahwa benda uji 10B1 menghasilkan 4 retak, 10B2 menghasilkan 6 retak, dan 10B3 menghasilkan 10 retak. Hasil pengujian pola retak benda uji 20% (Gambar 10) menunjukkan bahwa benda uji 20C1 menghasilkan 7 retak, 20C2 menghasilkan 9 retak, dan 20C3 menghasilkan 10 retak. Hasil pengujian pola retak benda uji 30% (Gambar 11) menunjukkan bahwa benda uji 30C1 menghasilkan 12 retak, 30D2 menghasilkan 7 retak, dan 30D3 menghasilkan 7 retak.

Dari hasil penelitian, berdasarkan mekanisme pola retak dan lebar retak, menunjukkan bahwa semua hasil pengujian pola retak pada 12 benda uji pelat mortar dengan komposisi campuran GGBFS 0%, 10%, 20%, dan 30% mempunyai perilaku pola retak dominan retak lentur. Penambahan 0% menghasilkan pola retak atau memiliki retak paling banyak, sedangkan 20%, dan 30% menghasilkan pola retak atau memiliki retak paling sedikit, namun pada 10%, mengalami lebar lebih sedikit karena posisi pengujian tidak sama dengan 0%, 20%, dan 30%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji anova didapat hasil bahwa penambahan GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap daya serap air mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hasil uji daya serap air menunjukkan bahwa GGBFS 0% menghasilkan daya serap air mortar 4,20% dengan penambahan GGBFS 10% menghasilkan daya serap air lebih rendah 1,14%, Penambahan 20% 2,73%, namun penambahan 30% menunjukkan kenaikan daya serap air 2,74%. Berdasarkan hasil uji anova didapat hasil bahwa penambahan GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap kuat lentur mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hasil perhitungan kuat lentur menunjukkan bahwa penambahan GGBFS 30% menghasilkan kuat lentur mortar lebih besar 80,9 kg/cm², namun GGBFS 0% menghasilkan kuat lentur 70,9 kg/cm², GGBFS 10% menghasilkan kuat lentur 44,2 kg/cm², dan GGBFS 20% menghasilkan kuat lentur 77,6 kg/cm². Berdasarkan hasil uji anova didapat hasil bahwa penambahan GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap lebar retak mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hasil uji lebar retak menunjukkan bahwa penambahan GGBFS 30% menghasilkan lebar retak yang lebih kecil 0,076 mm, namun GGBFS 0% menghasilkan lebar retak 0,123 mm, dan GGBFS 10% menghasilkan 2,499 mm, GGBFS 20% menghasilkan 0,107 mm.

Hasil pengujian pola retak pada 12 benda uji pelat mortar mempunyai perilaku pola retak dominan retak lentur. Penambahan GGBFS 0% menghasilkan pola retak atau memiliki jumlah 13 retak paling banyak, sedangkan GGBFS 20% jumlah retak 10, dan 30% jumlah retak 12 dengan menghasilkan pola retak atau memiliki retak paling sedikit, namun pada 10%, jumlah retak 10 dan mengalami lebar lebih sedikit di karena posisi pengujian tidak sama dengan 0%, 20%, dan 30%. Komposisi campuran mortar paling optimal adalah pada penambahan GGBFS 30% karena memiliki daya serap air 2,74% dengan selisih penurunan 34,8% dibandingkan GGBFS 0%, kuat lentur 258,2 kg/cm² meningkat 14% dibandingkan GGBFS 0%, lebar retak 0,076 mm lebih kecil dibandingkan GGBFS 0%, dan pola retak lebih sedikit dengan jumlah retak 12 dibandingkan GGBFS 0% jumlah retak 13.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 6385-2016 Spesifikasi semen slag untuk digunakan dalam beton dan mortar,” *SNI 6385-2016 Spesifikasi semen slag untuk digunakan dalam beton dan mortar*, 2016.
- [2] N. M. Syafiq, “Pengaruh Perbandingan Aktivator Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbasis Ground Granulated Blast Furnace Slag,” *Tugas Akhir, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2020.
- [3] S. M. Dewi, L. Susanti, and H. Suseno, “Effects of GGBFS to the Compressive Strength, Workability and Time Span Between Mixing and Compacting of Concrete Paste,” *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 10, no. 3, 2019.

- [4] M. Yunanda, “Perbandingan Kuat Tekan Mortar Dengan Memanfaatkan Coal Ash Waste,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.36546/tekniksipil.v7i2.241.
- [5] K. Tjokrodimuljo, “Teknologi Beton, Buku Ajar,” *Jurusan Teknik Sipil–Magister Teknologi Bahan Bangunan–Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Yogyakarta*, 2007.
- [6] SNI 03-6820-2002, “Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen,” *SNI 03-6820-2002 Badan Standardisasi Nasional*, 2002.
- [7] ACI Committee 549, *Design Guide for Ferrocement ACI 549*, vol. 549. ACI Committee 549, 2008.
- [8] N. Wahid and M. Taufan, “Pemanfaatan GGBFS Sebagai Bahan Tambah Aduk Mortar,” *Potensi : Jurnal Sipil Politeknik*, vol. 22, no. 1, pp. 44–54, 2020, doi: 10.35313/potensi.v22i1.1788.
- [9] A. Dasar, D. Patah, N. Okviyani, and M. Amin, “Pengaruh Palm Oil Fuel Ash terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air pada Bata Ringan Tipe CLC,” *Jurnal Konstruksi*, vol. 24, no. 1, pp. 1146–1155, 2026.
- [10] N. Samudra, H. S. Djayaprabha, and D. Darapuspa, “Kajian Eksperimental untuk Mengukur Kinerja Ground Granulated Blast Furnace Slag sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kekuatan Tekan dan Sorptivitas Self-Compacting Mortar,” *Journal of Sustainable Construction*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.26593/josc.v4i1.7805.
- [11] P. R. T. Naibaho, E. H. Manurung, and A. Susanto, *Kajian Beton Normal Menggunakan Semen Granulated Blast Furnance Slag (GBFS)*. Penerbit Insania, 2021.
- [12] M. A. Anggara and C. Afriade Siregar, “Analisis Kinerja Beton Dengan Bahan Tambah Ground Granulated Blast Furnace (GGBF) Slag,” *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.32897/simteks.v4i1.3432.
- [13] N. N. Sibarani, “Pengaruh Suhu Curing Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbasis Ground Granulated Blast Furnace Slag,” *Tugas Akhir, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2020.
- [14] F. D. M. Loe, A. Halim, and A. Purwaningsih, “Pengaruh Penambahan Ggbfs Pada Campuran Mortar Terhadap Rembesan Dan Waktu Ikat,” *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2025.
- [15] A. Purwaningsih, S. M. Dewi, and L. Susanti, “Strength and permeability of ferrocement structure by using ground granulated blast furnace slag,” *Sinergi (Indonesia)*, vol. 28, no. 2, 2024, doi: 10.22441/sinergi.2024.2.021.