

PENGARUH GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA PAPAN SERAT RINGAN

Anni Susilowati, Pratikto, Ananda Chaerul Imam

Jurusan Teknik Sipil

Politeknik Negeri Jakarta

Alamat Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Depok 16425.

e-mail : anni.susilowati@sipil.pnj.ac.id, pratikto@sipil.pnj.ac.id, anandachaerulimam@gmail.com

ABSTRAK

Papan serat ringan adalah bahan gabungan yang terdiri dari campuran limbah ground granulated blast furnace slag, cairan pembuat busa, semen, pasir, dan air. Diperlukan optimalisasi penggunaan material yang ramah lingkungan seperti limbah ground granulated blast furnace slag yang memiliki spesifikasi kandungan utama yaitu kalsium, aluminium dan silika yang memiliki komposisi kimia tidak berbeda dengan mineral dalam semen portland. Bahan untuk mortar busa saat ini sedang dikembangkan dan dapat jadi pilihan untuk bahan campuran papan serat yang memiliki berat ringan. Dibalik keunggulan papan semen busa yang memiliki bobot ringan serta penggunaan serat gelas pada papan serat ringan mampu menambah kekuatan lentur. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan kuat lentur papan serat ringan berdasarkan SNI 001-0449-2006 dan SNI 15-0233-1989 tentang Mutu dan Cara Uji papan serat ringan. Variasi yang digunakan 1 PC : 0% GGBFS : 1,2 Pasir : 13% Serat Gelas, 0,8 PC : 20% GGBFS : 1,2 Pasir : 13% Serat Gelas, 0,6 PC : 40% GGBFS : 1,2 Pasir : 13% Serat Gelas, 0,4 PC : 60% GGBFS : 1,2 Pasir : 13% Serat Gelas, 0,2 PC : 80% GGBFS : 1,2 Pasir : 13% Serat Gelas dengan FAS 0,15. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah semakin banyak maka menurunkan nilai kerapatan, nilai berat jenis, nilai penyerapan air. Meningkatkan nilai pengembangan tebal, nilai kadar air, kemampuan dipaku, dan memiliki nilai optimum kuat lentur pada variasi 20% limbah ground granulated blast furnace Slag sebesar 90 kg/cm² Menurut syarat SNI 15-449-2006 bahwa semua benda uji papan serat ringan pengujian kuat lentur termasuk dalam PSKT (Papan Serat Kerapatan Tinggi).

Kata kunci: GGBFS; Mortar busa; Papan serat ringan; Serat gelas.

ABSTRACT

Lightweight fiberboard is a composite material consisting of a Ground Granulated Blast Furnace Slagwaste mixture, foaming liquid, cement, sand, and water. It is necessary to optimize the use of environmentally friendly materials such as Ground Granulated Blast Furnace Slagwaste which has a specification of the main content, namely calcium, aluminum and silica which have a chemical composition not different from the minerals in portland cement. Materials for foam mortar are currently being developed and can be an option for fiberboard mixtures that have a light weight. Behind the advantages of foam cement board which has a light weight and the use of glass fiber on lightweight fiberboard can increase the flexural strength. The research was conducted to obtain the flexural strength of lightweight fiberboard based on SNI 001-0449-2006 and SNI 15-0233-1989 regarding Quality and Test Method of lightweight fiberboard. Variation used 1 PC : 0% GGBFS : 1,2 Sand : 13% Glass Fiber, 0,8 PC : 20% GGBFS : 1,2 Sand : 13% Glass Fiber, 0,6 PC : 40% GGBFS : 1,2 Sand : 13% Glass Fiber, 0,4 PC : 60% GGBFS : 1,2 Sand : 13% Glass Fiber, 0,2 PC : 80% GGBFS : 1,2 Sand : 13% Glass Fiber with FAS 0,15. The results of the analysis show that the more waste is used, the lower the density value, the specific gravity value, and the water absorption value. Increase the value of thickness expansion, moisture content value, nailing ability, and has an optimum value of flexural strength at a variation of 20% ground granulated blast furnace slag waste by 90 kg/cm² According to the requirements of SNI 15-449-2006 that all lightweight fiberboard test specimens for flexural strength testing are included in PSKT (High Density Fiberboard).

Keywords: Foam mortar; GGBFS; Glass fiber; Lightweight fiberboard.

I. PENDAHULUAN

Papan serat ringan adalah bahan gabungan yang terdiri dari campuran ground granulated blast furnace slag, cairan pembuat busa, semen, pasir, dan air. Penggunaan papan serat ringan digunakan untuk plafond. Penggunaan Plafond pada pembangunan saat ini, membutuhkan bahan-bahan yang ringan, mudah pengerjaannya serta mencukupi kebutuhan dalam proses konstruksi bangunan. Diperlukan optimalisasi penggunaan material yang ramah lingkungan dalam pekerjaan konstruksi namun tetap memenuhi persyaratan spesifikasi material, limbah ground granulated blast furnace slag adalah olahan limbah industri baja, kandungan utama dalam ground granulated blast furnace slag yaitu kalsium, aluminium dan silika yang memiliki komposisi kimia tidak berbeda dengan mineral dalam Semen Portland [1]. Pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag berdasarkan penelitian terdahulu bahwa meninjau limbah GGBFS terhadap nilai kuat tekan untuk pembuatan beton SCC mendapatkan nilai kuat tekan optimum pada variasi 20% sebesar 41,61 MPa pada umur 28 hari [2]. Kualitas mortar perlu dikembangkan dengan material ringan yaitu mortar busa yang terdiri dari campuran semen, agregat halus (pasir), air dan busa (*foam agent*). Dibalik keunggulan papan semen busa yang memiliki bobot ringan terdapat kelemahan pada sifat karakteristik yaitu kekuatan lentur, berdasarkan penelitian terdahulu bahwa karakteristik papan semen dengan menggunakan serat *fiber glass* (serat gelas) sebagai bahan pengisi pada papan semen mendapatkan hasil kuat lentur $\pm 115,19$ kgf/cm², berdasarkan SNI-01-4449-2006 [3] bahwa nilai tersebut termasuk dalam PSKT (Papan Serat Kerapatan Tinggi) keteguhan lentur modulus patah tipe T1 35 dan T2 35 dengan nilai 35,0 kg/cm² - 357 kg/cm²[3].

Dari latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian menggunakan ground granulated blast furnace slag sebagai pengganti sebagian semen untuk papan serat ringan. diharapkan dapat menghasilkan papan serat ringan dengan beberapa keunggulan seperti, biaya yang ekonomis, dan ramah terhadap lingkungan. Diharapkan mendapatkan karakteristik sifat fisik dan mekanik papan serat sesuai dengan standar SNI-01-4449-2006 [3].

II. Metode Penelitian

Papan Serat

Papan Serat adalah panel yang dihasilkan dari pengempaan serat kayu atau bahan berligno-selulosa lain dengan ikatan utama berasal dari bahan baku yang bersangkutan (khususnya

lignin) atau bahan lain (khususnya perekat) untuk memperoleh sifat khusus SNI-01-4449-2006 [3].

Mutu Papan Serat

Dalam membuat papan serat harus memenuhi standart. Hal tersebut papan serat berdasarkan SNI-01-4449-2006 [3] yaitu Bagian samping pada papan serat memiliki bentuk yang siku, rata, tidak patah. Toleransi panjang dan lebar untuk seluruh tipe papan serat 0,4 cm, Perbedaan dari garis siku maksimum 0,2 cm pada jarak 10 cm. Lembaran papan serat memiliki permukaan halus, tidak bergelombang, tidak retak-retak, sehingga tidak mengurangi kualitas ketika diuji. Tidak diperkenankan adanya lengkung, melintir, keropos, pada permukaan tidak diperkenankan ada cacat goresan, ketidak rataan warna, cacat pengampelasan, dan serat terlepas. Ketika papan serat dipotong menunjukkan hasil campuran lapisan yang merata sesuai dengan bahan dan memiliki kekuatan dipaku tanpa mengakibatkan retak-retak di area sekitar papan semen. Perubahan panjang setelah perendaman air 24 jam maksimum 0,5%. Pengembangan tebal setelah perendaman air selama 24 jam maksimum 10%.

Kuat Lentur

Papan serat ringan adalah material yang lemah terhadap kuat lentur. Nilai kuat lentur untuk papan serat ringan pada SNI-01-4449-2006 [3] terbagi atas PSKR (Papan Serat Ringan) Tipe 1 1-10,2 Kgf/cm², Tipe 2 2-20,4 Kgf/cm², Tipe 3 3-30,6 Kgf/cm². PSKS (Papan Serat Kerapatan Sedang) Tipe 30 30-306 Kgf/cm², Tipe 25 25-255 Kgf/cm², Tipe 15 15-153 Kgf/cm², Tipe 5 5-51 Kgf/cm². PSKT (Papan Serat Kerapatan Tinggi) TI 35 35-357 Kgf/cm², T1 25 25-255 Kgf/cm², T1 20 20-204 Kgf/cm², T2 45-459 Kgf/cm², T2 35 35-357.

Analisis Data

Setelah mendapatkan data digunakan alat SPSS untuk menganalisis data pengujian. Menurut [16] fungsi dari SPSS adalah untuk mengolah data dari beberapa variabel bebas dan terikat yang diolah menjadi persamaan regresi. Kemudian dari hasil output SPSS, dilakukan analisis regresi. Analisis Regresi adalah analisis yang mengukur pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Pengukuran pengaruh ini melibatkan satu variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y).

Penelitian Terdahulu

Kajian Pengaruh *Admixture* Pada Papan Semen Berserat Berbusa Ringan menggunakan variable

bebas komposisi campuran dengan perbandingan 1 Semen : 1,2 Pasir : fas 0,47, dengan perbandingan mortar dan *foam agent* 0,45 : 0,55; serat glass 31% dan air dan *foam agent* 1:30 serta 6 variasi *admixture* yang berbeda, yaitu 0, 0,2; 0,4; 0,6 0,8 dan 1,0%. untuk Kekuatan lentur kecenderungannya semakin naik, didapat kuat lentur optimum pada variasi *admixture* 0,8% sebesar 60,44 kg/cm². Menghasilkan Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak kadar *admixture*, campuran mortar busa segar mudah untuk dikerjakan dan Untuk jangka panjang komposisi campuran mortar busa ini dapat digunakan sebagai alternatif papan semen berbusa ringan untuk plafon [5].

karakteristik papan semen dengan penambahan serat sabut kelapa sebagai bahan penguat menghasilkan pengamatan bentuk/pandangan luar papan semen menunjukkan papan semen dengan kadar serat sabut kelapa 0-0,5 memenuhi persyaratan SNI 15-0233-1989. Penambahan serat sabut kelapa pada papan semen menurunkan nilai kerapatan, berat jenis, dan meningkatkan nilai pengembangan tebal, kadar air, penyerapan air dan seluruh variasi papan semen dengan penambahan serat sabut kelapa termasuk dalam kategori papan serat kerapatan tinggi memenuhi persyaratan SNI 15-0233-1989 [17].

Variasi Serat Gelas Pada Papan Semen Dengan Mortar Busa, menggunakan perbandingan campuran yaitu 1 PC : 1,2 PS : 0,5 foam dengan FAS 0,47 dan variasi kadar serat gelas 0%, 8%, 16%, 23%, dan 31% serat terhadap berat semen. Kuat lentur tertinggi ada pada variasi 13% serat dengan nilai 14,931 kg/cm² semakin banyak serat gelas yang digunakan dapat menurunkan kerapatan, meningkatkan kadar air, penyerapan air, serta meningkatkan kuat lentur hingga 10 kali lipat (Pratikto, et al, 2022) [18].

Dari hasil penelitian terdahulu, peneliti menggunakan perbandingan dan variasi optimum dari hasil pengujian terdahulu yaitu dengan limbah GGBFS sebagai pengganti semen dengan variasi 0%-8%, 0,2-1 PC : 1,2 PS dengan FAS 0,15 serta perbandingan mortar dengan *foam agent* adalah 0,45 : 0,55 dengan penggunaan serat gelas 4 lapis setiap variasinya dengan ukuran 31x31 cm. dibuat papan serat dengan ukuran 32 x 32 x 1,5 sebanyak 2 buah.

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

Perancangan

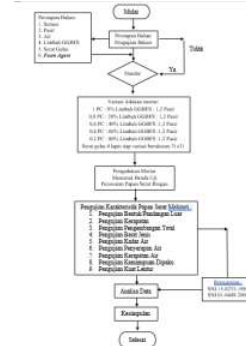
Variabel Penelitian

Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi jumlah limbah ground granulated blast furnace

slag. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah sifat fisik dan mekanik papan serat ringan.

Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahap pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahap Penelitian

Bahan Papan Serat Ringan

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu limbah GGBFS, semen (PC), pasir (PSR), air, *foam agent*, dan serat gelas. Bahan yang digunakan dalam campuran termasuk agregat normal dan memenuhi persyaratan.

1. Ground Granulated Blast Furnace Slag
Ground granulated blast furnace slag yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *beaching plan*. Menurut penelitian [7] hasil penelitian uji kuat tekan diperoleh kadar Ground Granulated Blast Furnace Slag optimum pada penggunaan 40% dengan kuat tekan sebesar 50.39 MPa pada umur 28 hari. menghasilkan kuat tekan optimum, baik digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton. Dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. Spesifikasi Ground Granulated Blast Furnace Slag

2. Semen (PC)
Semen Portland yang digunakan dalam penelitian semen jenis PCC merek tiga roda. Berdasarkan penelitian terdahulu [8]

peningkatan kekuatan mortar dalam penggunaan semen PCC Perbandingan semen dan pasir adalah 1 berbanding 2,75 dengan nilai faktor air semen 0.485 Hasil menunjukkan bahwa kehalusan semen sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis beton serta workability.

3. Pasir (PSR)

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini agregat pasir lolos butiran 4,75 mm berasal dari alam atau hasil alam. Menurut [8] penelitian terdahulu mengenai pengaruh gradasi pasir dan faktor air semen pada mortar terhadap kekuatan beton *prepacked* menghasilkan Berdasarkan hasil uji kuat tekan mortar menunjukkan bahwa semakin besar nilai FAS maka nilai kuat tekan mortar akan semakin menurun sedangkan semakin besar gradasi pasirnya maka nilai kuat tekan akan semakin besar.

4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini air yang tidak berbau, tidak berasa, tidak berwarna, dan dapat diminum [9]. FAS yang digunakan untuk penelitian ini 0,15 dari berat semen, menurut penelitian terdahulu [10] Pengeraruh variasi faktor air semen terhadap mortar busa Nilai flow yang memenuhi syarat pada variasi FAS 0,6 dan 0,7, masing-masing sebesar 166,33 mm; 195 mm, sedangkan pada densitas kering, masing-masing nilainya sebesar 0,468 gr/cm³ dan 0,447 gr/cm³. Memenuhi nilai flow dan densitas kering.

5. Foam Agent

Foam Agent yang digunakan dalam penelitian ini suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian terjadinya banyak pori-pori udara didalam papan serat ringan.

6. Serat Gelas

Serat gelas yang digunakan pada penelitian berupa lapisan dengan ukuran 31x31 cm setiap satu variasi benda uji. Menurut [6] penelitian membahas Variasi Serat Gelas Pada Papan Semen Dengan Mortar Busa, Kuat lentur tertinggi ada pada variasi 13% serat dengan nilai 14,931 kg/cm² semakin banyak serat gelas yang digunakan dapat menurunkan kerapatan, meningkatkan

kadar air, penyerapan air, serta meningkatkan kuat lentur hingga 10 kali lipat.

7. Foam Agent

Pada penelitian ini menggunakan perbandingan volume foam agent dengan agregat 0,45 : 0,55. Menurut [11] penelitian papan semen memiliki bobot yang lebih ringan, dari hasil pengujian sifat fisik, papan semen serat dan foam agent memiliki nilai densitas yang lebih baik. Nilai optimum pada persentase serat 0,8% sebesar 1,27 kg/cm³.sebesar 0,738 Mpa.

Design Penelitian

Papan serat merupakan produk yang menjanjikan karena dapat dibuat menggunakan limbah alam ataupun sejenisnya. Pembuatan papan serat juga tidak begitu rumit, sehingga dapat dilakukan dengan keterampilan tangan manusia maupun dengan mesin (kompresor). Cara manual dapat dilakukan dengan pengepresan pada papan serat yang sudah dicetak menggunakan multiplek dan klem sebagai penyanggahnya [5].

Pada penelitian ini perhitungan menggunakan pedoman perancangan campuran material ringan mortar-busa untuk konstruksi jalan (44/SE/M/2015) [12]. Penelitian dilakukan dengan cara membuat 2 benda uji tiap satu variasi campuran limbah ground granulated blast furnace slag pada papan serat ringan dengan ukuran 32 cm x 32 cm x 1,5 cm untuk semua sampel. Komposisi campuran yang digunakan berupa perbandingan volume dalam 5 variasi yaitu :

1 PC : 0% GGBFS : 1,2 Pasir
0,8 PC : 20% GGBFS : 1,2 Pasir
0,6 PC : 40% GGBFS : 1,2 Pasir
0,4 PC : 60% GGBFS : 1,2 Pasir
0,2 PC : 80% GGBFS : 1,2 Pasir

Faktor Air Semen yang digunakan sebesar 0,15 dengan foam agent dengan agregat 0,45 : 0,55, serta penggunaan serat gelas 4 lapis setiap satu variasi papan serat ringan.

Kebutuhan bahan 1 variasi untuk 2 benda uji papan serat ringan dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Bahan 1 Variasi 2 Benda Uji untuk Papan Serat Ringan

Serat Gelas (kg)	Variasi Limbah Ggbfs (Kg)	Semen PC (kg)	Pasir PSR (kg)	Air (liter)	Foam Agent (kg)	Total
0,22511	0,000	1,896	2,460	0,284	0,427	5,292
0,23215	0,379	1,517	2,460	0,284	0,427	5,299
0,21577	0,758	1,138	2,460	0,284	0,427	5,283
0,24837	1,138	0,758	2,460	0,284	0,427	5,316
0,24552	1,517	0,379	2,460	0,284	0,427	5,313
1,167	3,792	5,688	12,302	1,422	2,133	

Pengujian Bentuk dan Pandangan Luar

Pengujian Bentuk dan Pandangan Luar berukuran 32 cm x 32 cm x 1,5 cm dilakukan dengan mengukur ketebalan papan serat ringan, menganalisis keadaan tampak luar papan semen SNI-01-4449-2006 [3].

Pengujian Pengembangan Tebal Papan Serat Ringan

Pengujian Pengembangan Tebal dengan membuat benda uji berukuran 5 cm x 5 cm x 0,8 cm. Tahap pengujian yaitu mengukur tebal benda uji pada bagian tengah, merendam benda uji sedalam 3 cm di bawah permukaan air secara mendatar selama 24 jam, mengangkat benda uji dari rendaman air, diamkan kurang lebih 10 menit, dan kemudian mengukur tebal benda uji setelah direndam air [3]. Pengembangan tebal dapat dihitung dengan rumus :

$$PT = \frac{t_1 - t}{t} \times 100\%$$

dimana :

PT = Pengembangan tebal (%)

t = Tebal sebelum perendaman (cm)

t1 = Tebal sesudah perendaman (cm)

Pengujian Kerapatan Papan Serat Ringan

Pengujian kerapatan dilakukan dengan membuat benda uji berukuran 5 cm x 5 cm x 1,5 cm. Tahap pengujian yaitu mengukur panjang, lebar, dan tebal menggunakan jangka sorong, menghitung volumenya ($V_b = p \times l \times t$), dan menimbang berat benda uji menggunakan neraca dengan ketelitian 0,1 gr SNI-01-4449-2006 [3]. Kerapatan dapat dihitung dengan rumus :

$$K = \frac{W}{p \times l \times t} \text{ dimana :}$$

K = Kerapatan (gr/cm³)

W = Berat benda uji (gram)

p = lebar benda uji (cm)

l = Panjang benda uji (cm)

t = Tebal benda uji (cm)

Pengujian Berat Jenis Papan Serat Ringan

Pengujian berat jenis dengan membuat benda uji berukuran 10 cm x 5 cm x 1,5 cm. Tahap pengujian yaitu benda uji dikeringkan dalam oven, menimbang benda uji kering oven, merendam benda uji dalam air selama 24 jam, menyeka benda uji dengan kain (lap) untuk menghilangkan air yang berlebih yang masih melekat di permukaan, kemudian timbang benda uji, menimbang keranjang di dalam air dan catat beratnya, menimbang benda uji + keranjang dalam air, mencatat beratnya dan menghitung berat benda uji [13]. Berat jenis dapat dihitung dengan rumus:

$$BJ = \frac{B_4}{B_5 - B_8}$$

dimana :

BJ = Berat Jenis

B4 = Berat benda uji kering oven (gr)

B5 = Berat benda uji SSD (gr)

B6 = Berat keranjang dalam air (gr)

B7 = Berat benda uji + keranjang dalam air (gr)

B8 = Berat benda uji dalam air (gr)

Pengujian Kadar Air Papan Serat Ringan

Pengujian kadar air dengan membuat benda uji berukuran 10 cm x 5 cm x 1,5 cm. Tahap pengujian yaitu menimbang berat benda uji dalam keadaan kering udara, mengeringkan benda uji dengan menggunakan oven, mengeluarkan dan mendinginkan benda uji dari oven, kemudian menimbang beratnya [3]. Semakin tinggi nilai kerapatan papan semen maka air yang terkandung di dalamnya akan semakin rendah [14]. Kadar air dapat dihitung dengan rumus :

$$KA = \frac{B - B_4}{B_4} \times 100\%$$

dimana :

KA = Kadar air (%)

B = Berat benda uji (gr)

B4 = Berat benda uji kering oven (gr)

Pengujian Penyerapan Air

Pengujian Penyerapan Air dengan membuat benda uji berukuran 10 cm x 5 cm x 1,5 cm. Tahap pengujian yaitu menimbang berat benda uji dalam keadaan kering udara menggunakan neraca, merendam benda uji sedalam 3 cm di bawah permukaan air secara mendatar selama 24 jam, mengangkat benda uji dan menyeka dengan kain (lap) untuk menghilangkan air yang berlebih yang masih melekat di permukaan, kemudian timbang benda uji [3] Penyerapan Air dapat dihitung dengan rumus :

$$PA = \frac{B_5 - B}{B} \times 100\%$$

dimana :

PA = Penyerapan air (%)

B = Berat benda uji sebelum perendaman (gr)

B5 = Berat benda uji SSD (gr)

Pengujian Kerapatan Air

Pengujian Kerapatan Air dengan membuat benda uji berukuran 10 cm x 10 cm x 1,5 cm. Tahap pengujian yaitu melelehkan lilin hingga cair, meletakkan tabung gelas plastik di atas permukaan papan semen kemudian memasukkan lilin pada sekeliling mulut tabung gelas plastik dan biarkan hingga kering dan merekat, meletakkan papan semen di atas penyangga dan mengisi tabung gelas plastik dengan air setinggi 1 cm, pengujian dilakukan selama 5 x 24 jam [13].

Pengujian Kemampuan Dipaku

Pengujian Kemampuan dipaku dengan membuat benda uji berukuran 30 cm x 10 cm x 1,5 cm. Tahap pengujian yaitu meletakkan lembaran papan semen di atas papan kayu, memaku sepanjang tepinya dengan jarak kurang lebih 1,5 cm (dari tepi) sampai tembus. Jarak pemakuan satu dengan yang lainnya kurang lebih 15 cm [13].

Pengujian Kuat Lentur

Pengujian Kuat Lentur dengan membuat benda uji berukuran 20 cm x 5 cm x 1,5 cm. Tahap pengujian yaitu mengukur dimensi benda uji menggunakan jangka sorong, meletakkan benda uji di atas dua tumpuan dengan jarak tumpuan 15 cm pada mesin Proving Ring, benda uji dibebani secara teratur sampai beban maksimum, kemudian catat bebannya [15]. Kuat Lentur dapat dihitung dengan rumus :

$$\delta l = \frac{P \times L}{l \times t^2} \times 100\%$$

dimana :

δl = Kuat lentur (kg/cm²)

P = Beban maksimum (kg)

t = Tebal benda uji (cm)

l = Lebar benda uji (cm)

L = Jarak tumpu (cm)

Analisis

Hasil pengujian bahan limbah GGBFS, semen, dan pasir seperti terlihat pada Tabel 2 bahwa nilai hasil pengujian memiliki nilai yang normal dan memenuhi persyaratan.

Tabel 2. Pengujian Bahan Untuk Papan Serat Ringan

PENGUJIAN	SATUAN	HASIL
Berat Isi Lepas GGBFS	kg/m ³	1018,51
Berat Isi Padat GGBFS	kg/m ³	1235,18
Berat jenis GGBFS	t/m ³	3,101
Berat Isi Lepas Semen	kg/m ³	1.295
Berat Isi Padat Semen	kg/m ³	1.513
Berat jenis Semen	t/m ³	3,214
Berat Isi Lepas Pasir	kg/m ³	1194
Berat Isi Padat Pasir	kg/m ³	1361,8
Berat Jenis	t/m ³	2,451
Angka Kehalusan		2,584
Kadar Lumpur	%	2,515

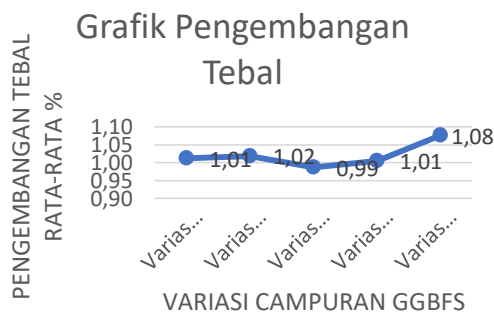
1. Pengujian Bentuk dan Pandangan Luar Papan Serat Ringan

Papan serat ringan yang baik adalah papan serat ringan yang memiliki kerataan permukaan yang baik, bersuara nyaring jika diketuk dengan benda keras, dan tidak menunjukkan adanya pecah atau retak [13]. Hasil pengamatan bentuk/pandangan luar papan serat ringan dapat dilihat dalam Tabel 3, tampak luar menunjukkan papan serat ringan dengan variasi limbah ground granulated blast furnace slag 0%-80% limbah ground granulated blast furnace slag memiliki kerataan permukaan yang baik. disebabkan karena variasi limbah ground granulated blast furnace slag yang semakin banyak dan membuat permukaan menjadi lebih berwarna cerah dan permukaan halus.

2. Pengujian Pengembangan Tebal Papan Serat Ringan

Pengaruh pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag terhadap pengujian pengembangan tebal mendapatkan nilai *R square* 0,361 yang berarti pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag berpengaruh sebesar 36,1% terhadap nilai pengembangan tebal dikatakan belum baik karena nilai dibawah 50%. Nilai signifikan yang didapat 0,284 > 0,05 menunjukkan bahwa variasi limbah ground granulated blast furnace slag tidak signifikan terhadap nilai pengembangan tebal. Koefisien regresi berpengaruh positif sehingga semakin tinggi penambahan limbah ground granulated blast furnace slag maka semakin tinggi nilai densitas papan serat ringan yang dihasilkan.

Nilai Pengembangan tebal terbesar pada variasi 80% limbah ground granulated blast furnace slag sebesar 1,08%, dan pengembangan tebal nilai terkecil pada variasi 40% limbah GGBFS sebesar 0,99 %. Dilihat dari grafik bahwa semakin banyak penggunaan limbah GGBFS maka mendapatkan nilai pengembangan tebal makin besar. Menurut syarat SNI 01-4449-2006 [3] pengembangan tebal setelah perendaman dalam air selama 24 jam maksimum 10%. Hasil grafik pengujian pengembangan tebal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengujian Pengembangan Tebal

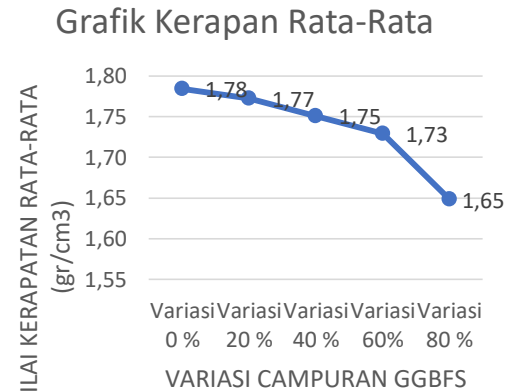
3. Pengujian Kerapatan Papan Serat Ringan

Pengaruh pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag terhadap pengujian kerapatan mendapatkan nilai *R square* 0,840 yang berarti pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag berpengaruh sebesar 84,0% terhadap nilai kerapatan dikatakan baik karena nilai diatas 50%. Nilai signifikan yang didapat $0,029 < 0,05$ menunjukkan bahwa variasi limbah ground granulated blast furnace slag signifikan terhadap nilai kerapatan.

Koefisien regresi berpengaruh negative sehingga semakin tinggi penambahan limbah ground granulated blast furnace slag maka semakin tinggi nilai densitas papan serat ringan yang dihasilkan.

Nilai kerapatan terbesar yaitu paling tinggi berada di variasi 0% senilai 1,78 gr/cm^3 dan nilai kerapatan papan serat ringan paling rendah berada pada variasi 80% limbah ground granulated blast furnace slag senilai 1,65 gr/cm^3 . Berdasarkan grafik hubungan kerapatan dengan variasi campuran limbah ground granulated blast furnace slag terlihat bahwa semakin banyak limbah ground granulated blast furnace slag, maka semakin kecil nilai kerapatan yang dihasilkan. Berdasarkan SNI 01- 4449-2006 [3] tentang

Papan Serat, papan serat ringan ini termasuk dalam kategori papan serat berkerapatan tinggi (PSKT), yaitu memiliki nilai kerapatan lebih dari 0,84 gr/cm^3 . Hasil grafik pengujian kerapatan dapat dilihat pada Gambar 4.

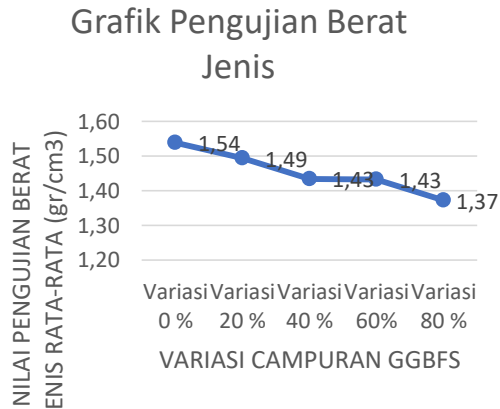


Gambar 4. Grafik Pengujian Kerapatan

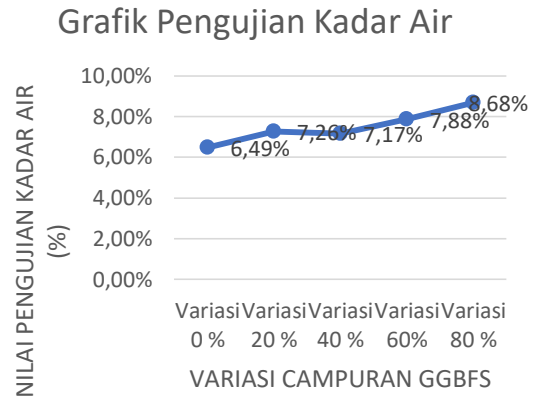
4. Pengujian Berat Jenis Papan Serat Ringan

Pengaruh pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag terhadap pengujian Berat Jenis mendapatkan nilai *R square* 0,948 yang berarti pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag berpengaruh sebesar 94,9% terhadap nilai berat jenis dikatakan baik karena nilai tersebut diatas 50%. Nilai signifikan yang didapat $0,005 < 0,05$ menunjukkan bahwa variasi limbah ground granulated blast furnace slag signifikan terhadap nilai berat jenis. Koefisien regresi berpengaruh negatif sehingga semakin tinggi penambahan limbah ground granulated blast furnace slag maka semakin menurun nilai densitas papan serat ringan yang dihasilkan.

nilai berat jenis tertinggi yaitu pada variasi 0% senilai 1,54 gr dan nilai terendah pada variasi 80% limbah ground granulated blast furnace slag yaitu 1,37 gr. Berdasarkan Gambar 5 bahwa grafik mengalami penurunan dari variasi 0% sampai dengan 80%.



Gambar 5. Grafik Pengujian Berat Jenis



Gambar 6. Grafik Pengujian Kadar Air

5. Pengujian Kadar Air Papan Serat Ringan

Pengaruh pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag terhadap pengujian Kadar Air mendapatkan nilai *R square* 0,918 yang berarti pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag berpengaruh sebesar 91,8% terhadap nilai kadar air dikatakan baik karena nilai tersebut diatas 50%. Nilai signifikan yang didapat $0,010 < 0,05$ menunjukkan bahwa variasi limbah ground granulated blast furnace slag signifikan terhadap nilai kadar air.

Koefisien regresi berpengaruh positif sehingga semakin tinggi penambahan limbah ground granulated blast furnace slag maka semakin menaikkan nilai densitas papan serat ringan yang dihasilkan.

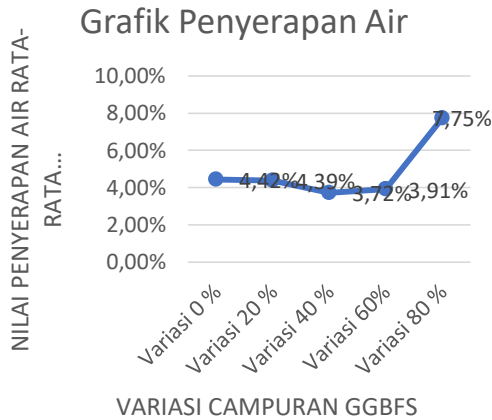
Nilai kadar air tertinggi pada variasi 80% limbah ground granulated blast furnace slag sebesar 9% dan nilai kadar air terendah pada variasi 0% senilai 6%. Berdasarkan Gambar 6 bahwa grafik hubungan kadar air dengan variasi limbah ground granulated blast furnace slag terlihat semakin banyak variasi limbah ground granulated blast furnace slag maka akan semakin besar nilai kadar airnya. Hal ini dipengaruhi oleh kerapatan papan serat ringan yang dihasilkan. Kerapatan papan serat ringan yang rendah menyebabkan rongga untuk air masuk ke dalam papan serat ringan menjadi semakin banyak, sehingga menghasilkan nilai kadar air yang tinggi. Semua variasi papan serat ringan semua benda uji memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 01-4449-2006 [3], yaitu dengan nilai kadar air maksimum yang diperbolehkan adalah maksimum 13%.

6. Pengujian Penyerapan Air Papan Serat Ringan

Pengaruh pemanfaatan limbah GGBFS terhadap pengujian Penyerapan Air mendapatkan nilai *R square* 0,348 yang berarti pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag berpengaruh sebesar 34,8% terhadap nilai penyerapan air dikatakan belum baik karena nilai penyerapan air tersebut dibawah 50%. Nilai signifikan yang didapat $0,295 > 0,05$ menunjukkan bahwa variasi limbah ground granulated blast furnace slag tidak signifikan terhadap nilai penyerapan air.

Koefisien regresi berpengaruh positif sehingga semakin tinggi penambahan limbah ground granulated blast furnace slag maka semakin menaikkan nilai densitas papan serat ringan yang dihasilkan.

Nilai penyerapan air tertinggi pada variasi 80% limbah ground granulated blast furnace slag sebesar 8% dan nilai penyerapan air terendah pada variasi 0% - 60% limbah GGBFS rata-rata senilai 4%. Gambar 7 menghasilkan grafik hubungan penyerapan air dengan variasi limbah ground granulated blast furnace slag terlihat bahwa paling tinggi penyerapan air variasi 80% limbah ground granulated blast furnace slag namun mengalami penurunan pada variasi 40% limbah ground granulated blast furnace slag. Berdasarkan SNI 15-0233-1989 [13], nilai penyerapan air maksimum yang diperbolehkan tidak lebih dari 35%. Pada pengujian ini, semua variasi papan serat ringan memenuhi persyaratan, yaitu memiliki nilai penyerapan air tidak lebih dari 35%.



Gambar 7. Grafik Pengujian Penyerapan Air

7. Pengujian Kerapatan Air Papan Serat Ringan

Kerapatan air adalah kemampuan papan semen menahan air selama 5 x 24 jam, apabila bagian bawah benda uji yang tidak tertutup lilin tidak adanya tetesan air maka papan serat ringan dinyatakan rapat air [13]. Berdasarkan Tabel 3, pengujian kerapatan air seluruh variasi papan serat ringan memenuhi standar.

8. Pengujian Kemampuan Dipaku Papan Serat Ringan

Kemampuan dipaku adalah kemampuan papan serat ringan dipaku dengan syarat tidak lebih dari 20% permukaan yang menimbulkan cacat/retak [13]. Berdasarkan hasil pengujian, pada variasi dengan penggunaan papan serat ringan variasi 0%-40% limbah GGBFS dapat dipaku dengan baik. Pada variasi 60% limbah GGBFS dalam benda uji 2 terdapat retak sisi retak bagian bawah, dan variasi 80% limbah GGBFS benda uji pertama mengalami retak bagian atas dan benda uji kedua mengalami retak dan terbelah dibagian bawah. Tidak terjadi terbelah namun terjadi sedikit retak pada permukaannya tetapi tidak lebih dari 20% dapat dilihat di Tabel 4.

9. Pengujian Kuat Lentur Papan Serat Ringan

Pengaruh pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag terhadap

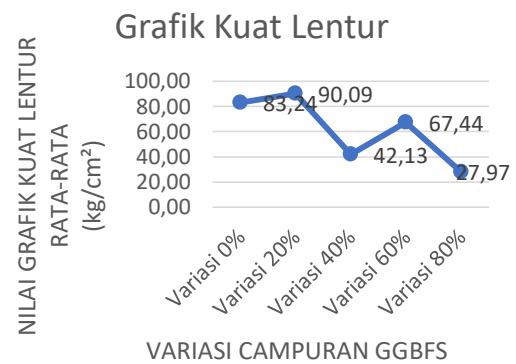
pengujian Kuat Lentur mendapatkan nilai R square 0,276 yang berarti pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag berpengaruh sebesar 27,6% terhadap nilai kuat lentur dikatakan belum baik karena nilai tersebut dibawah 50%.

Nilai signifikan yang didapat 0,363 > 0,05 menunjukkan bahwa variasi limbah ground granulated blast furnace slag tidak signifikan terhadap nilai kuat lentur.

Koefisien regresi berpengaruh negatif sehingga semakin tinggi penambahan limbah ground granulated blast furnace slag maka semakin menurun nilai densitas papan serat ringan yang dihasilkan.

Nilai kuat lentur tertinggi pada variasi 20% limbah ground granulated blast furnace slag sebesar 90 kg/cm² dan nilai kuat lentur terendah pada variasi 80% senilai 27,97 kg/cm² dari benda uji papan serat ringan. Dari Gambar 8 bahwa grafik yang didapat mengalami penurunan kekuatan lentur dari 0%-80% variasi limbah GGBFS. Menurut syarat SNI 15-449-2006 [3] bahwa semua benda uji papan serat ringan pengujian kuat lentur termasuk dalam PSKT (Papan Serat

Kerapatan Tinggi) keteguhan lentur modulus patah tipe T1 35 dan T2 35 dengan nilai 35,0 kg/cm² - 357 kg/cm².



Gambar 8. Grafik Pengujian Kuat Lentur

Tabel 3. Hasil Signifikansi dan R Square

Pengujian	Signifikansi	R Square
Pengembangan Tebal	0,284	0,361
Kerapatan	0,029	0,840
Berat Jenis	0,005	0,948
Kadar Air	0,010	0,918
Penyerapan Air	0,295	0,348
Kuat Lentur	0,363	0,276

Tabel 4. Hasil Pengujian Papan Serat Ringan

HASIL PENGUJIAN	SATUAN	VARIASI LIMBAH GGBFS					SYARAT/ KATEGORI
		0%	20%	40%	60%	80%	
Bentuk/Pandangan Luar		√	√	√	√	√	Tidak cacat/retak
Pengujian Pengembangan Tebal	%	1,01	1,02	0,99	1,01	1,08	maks 10%
Pengujian Kerapatan	gr/cm ³	1,79	1,77	1,75	1,73	1,65	Kerapatan Tinggi
Pengujian Berat Jenis		1,54	1,49	1,43	1,43	1,37	>1,2
Pegujian Kadar Air	%	6,49	7,26	7,17	7,88	8,68	maks 13%
Pengujian Penyerapan Air	%	4,42	4,39	3,72	3,91	7,75	Maks 35%
Pengujian Kerapatan Air		√	√	√	√	√	Tidak Merembes
Pengujian Kemampuan Dipaku		√	√	√	√x	x	Tidak retak dari >20%
Pengujian Kuat Lentur	kg/cm ² .	83,24	90,09	42,12	67,44	27,97	35,0 - 357 kg/cm ²

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengujian pengamatan bentuk dan pandangan luar pada papan serat ringan dengan variasi 0% – 80% variasi limbah ground granulated blast furnace slag tidak terjadi lengkung (warp), melintir (twist), keropos. Pada permukaan tidak ada cacat, dan serat tidak terlepas. Papan serat ringan sesuai dengan standar mutu SNI 01-4449-2006 [3].

Pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag menaikkan nilai pengembangan tebal pada papan serat ringan sebesar 1% variasi 20 %, dan variasi 80% sebesar 6%. Namun pada variasi 40% mengalami penurunan sebesar 3%, dan variasi 60% sebesar 1%.

Pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag menurunkan nilai kerapan pada papan serat ringan dari variasi 0%-40% sebesar 1-3%, dan variasi 80% mengalami penurunan 8%.

Pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag menurunkan nilai berat jenis pada papan serat ringan variasi 20% sebesar 3%, variasi 80% sebesar 11%, variasi 40% dan 60% sebesar 7%.

Pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag menaikkan nilai kadar air pada papan serat ringan variasi 20% sebesar 12%, variasi 40% sebesar 10%, variasi 60% sebesar 21%, dan variasi 80% sebesar 34%.

Pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag menurunkan nilai penyerapan air pada papan serat ringan variasi 20% sebesar 1%, variasi 40% sebesar 16%, dan variasi 60% sebesar 12%. Namun pada variasi 80% mengalami kenaikan 75%.

Pengujian kerapatan semua variasi 0%-80% limbah ground granulated blast furnace slag tidak terdapat rembesan selama 5 x 24 jam.

Berdasarkan SNI 15-0233-1989 [13], papan serat ringan dinyatakan rapat apabila tidak terdapat rembesan pada papan serat ringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua variasi papan serat ringan memenuhi standar.

Pengujian kemampuan dipaku papan serat ringan pada variasi 0%-40% limbah ground granulated blast furnace slag dapat dipaku dengan baik. Namun variasi 60% limbah ground granulated blast furnace slag dalam benda uji 2 terdapat retak sisi retak bagian bawah, dan variasi 80% limbah ground granulated blast furnace slag benda uji pertama mengalami retak bagian atas dan benda uji kedua mengalami retak dan terbelah dibagian bawah. Berdasarkan SNI 15-0233-1989 [13] papan serat ringan dinyatakan baik kemampuan dipaku apabila dari sekian banyak jumlah pengujian dipaku setiap lembarannya tidak lebih dari setengah benda uji pemakuan yang menimbulkan cacat/retak. dari lima variasi papan serat ringan, empat variasi limbah ground granulated blast furnace slag diantaranya memenuhi syarat, variasi limbah ground granulated blast furnace slag 0%-40%.

Pemanfaatan limbah ground granulated blast furnace slag menaikkan nilai kuat lentur pada papan serat ringan variasi 20% sebesar 8%. Namun mengalami penurunan pada variasi 40% sebesar 49%, variasi 60% sebesar 19%, dan variasi 80% sebesar 66%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nurfadiah, “Ggbfs Sebagai Komponen Utama Pembentukan Mortar Geopolimer Menggunakan DRY Mixing Method,” Universitas Sumatera Utara, 2020.
- [2] A. Susilowati, P. Pratikto, D. Y. Praditya, and K. Wijayanto, “Kuat Tekan Self Compacting Concrete Menggunakan Ground Granulated Blast Furnace Slag,” *PROKONS Jur. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 2, p. 111, 2020, doi: 10.33795/prokons.v13i2.195.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 01-04449-2006 Papan Serat*. 2006. [Online]. Available: http://arkn-fpd.org/data_content/standard/SNI_01-4449-2006_Papan_serat.pdf
- [4] Kementrian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. PUPR, “Pedoman Perancangan Campuran Material Ringan Dengan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan,” *Kementeri. Keuang. Republik Indones.*, pp. 1–14, 2017, [Online]. Available: <http://www.pu.go.id/>
- [5] Pratikto, A. Susilowati, and E. Wiyono, “Kajian Pengaruh Admixture Pada Papan Semen Berserat Berbusa Ringan,” *Tek. Sipil*, pp. 1–10, 2021.
- [6] R. N. Arini, N. Warastuti, and M. W. K. Darmawan, “Analisis Kuat Tekan dengan Aplikasi Ground Granulated Blast Furnace Slag Sebagai Pengganti Sebagian Semen pada Campuran Beton,” *J. Konstr.*, vol. 10, no. 2, pp. 89–94, 2019.
- [7] V. Slat, M. Sumajouw, and S. Wallah, “Pengaruh Kehalusan Semen Terhadap Peningkatan Kekuatan Mortar,” *J. Ilm. Media Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 547–553, 2016.
- [8] M. Luthfi, D. Daniaty, Y. A. Priastiw, J. T. Sipil, F. Teknik, and U. Diponegoro, “Pengaruh Gradasi Pasir Dan Faktor Air Semen Pada,” vol. 6, no. 1, pp. 147–156, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- [9] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” *Standar Nas. Indones.*, no. 8, p. 720, 2019, [Online]. Available: www.bsn.go.id.
- [10] A. Susilowati and F. Nabhan, “Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Mortar Busa,” *J. Appl. Civ. Environ. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 9–15, 2021.
- [11] Pratikto, A. Susilowati, and R. S. Rizal, “Variasi Serat Gelas Pada Papan Semen Dengan Mortar Busa,” vol. 8, no. 2, pp. 339–346, 2022.
- [12] Randa and A. Mahyudin, “Pengaruh Persentase Serat Pelelah Pisang Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Semen Foam agent,” 2019. doi: 10.25077/jfu.8.1.46-51.2019.
- [13] Badan Standarisasi Nasional, “SNI-15-0233-1989”, *Pedoman Perancangan Campuran Material Ringan Dengan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*. Badan Standarisasi Nasional SNI. 1989.
- [14] O. Kharchenko, “No Title p,” *Phys. Rev. E*, 2011, [Online]. Available: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>
- [15] ASTM, “Astm C78/C78M -18:,” *Stand. Test Method Flexural Strength Concr. (Using Simple Beam with Third-Point Loading)ASTM Int. USA*, vol. 04.02, pp. 1–3, 2002.
- [16] W. T. Bhirawa, “Proses Pengolahan Data Dari Model Persamaan Regresi Dengan Menggunakan Statistical Product and Service Solution (SPSS),” *Statistika*, pp. 71–83, 2020, [Online]. Available: <http://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jmm/article/download/528/494>
- [17] Rahmadhanti, Dini, and Anni Susilowati. 2019. “Karakteristik Papan Semen Dengan Penambahan Serat Sabut Kelapa Sebagai Bahan Penguat.” *Proseding*: 1–9. <http://prosiding.pnj.ac.id/index.php/snts/article/view/2447/1411>.
- [18] Pratikto, Anni Susilowati, and Rikki Sofyan Rizal. 2022. “Variasi Serat Gelas Pada Papan Semen Dengan Mortar Busa.” *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan* 8(2): 339–46.