

Sifat Mekanik Beton Ringan Menggunakan Geopolymer Dengan Styrofoam Sebagai Substitusi Agregat Kasar

Dhita Agustin^{*1}, Ketut Aswatama Wiswamitra², Dwi Nurtanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto Kotak Pos 159 Jember 68121

Submitted : 29, Januari, 2022;

Accepted: 11, April, 2022

Abstrak

Material *styrofoam* dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi beban mati pada struktur bangunan. Selain itu, penggunaan beton *geopolymer* dapat digunakan sebagai solusi untuk mengurangi penggunaan semen yang tidak ramah lingkungan karena proses produksi semen menghasilkan gas CO₂. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana sifat mekanik beton ringan menggunakan *geopolymer* dengan *styrofoam* sebagai substitusi agregat kasar. Diameter *styrofoam* yang digunakan pada penelitian yaitu 1-2 mm dan 3-5 mm, kemudian persentase *styrofoam* yang digunakan yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pengujian sifat mekanik beton terdiri dari pengujian kuat tekan umur 28 hari dan kuat tarik belah umur 28 hari. Hasil yang diperoleh adalah berdasarkan perbandingan diameter *styrofoam* 1-2 mm memiliki kuat tekan dan kuat tarik belah lebih tinggi daripada diameter *styrofoam* 3-5 mm. Selain itu, kuat tekan dan kuat tarik belah mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase *styrofoam*. Persentase yang sesuai dengan standar beton ringan struktural adalah 75% untuk diameter 1-2 mm dimana diperoleh kuat tekan dan kuat tarik belah berturut-turut 21,16 MPa dan 6,357 MPa. Selain itu, untuk diameter 3-5 diperoleh kuat tekan dan kuat tarik belah berturut-turut 21,72 MPa dan 4,124 MPa.

Kata Kunci : Beton ringan; beton *geopolymer*; *styrofoam*; *fly ash*; sifat mekanik

Abstract

Styrofoam material can be used as an alternative to reduce dead loads on building structures. Besides the use of geopolymer concrete can be used as a solution to reduce the use of cement which is not environmentally friendly because the cement production process produces CO₂ gas. This research was conducted to determine the mechanical properties of lightweight concrete using geopolymer with styrofoam as a substitute for coarse aggregate. The diameters used in the research were 1-2 mm and 3-5 mm, then the percentage of Styrofoam used was 25%, 50%, 75%, and 100%. The concrete mechanical properties test consists of testing the compressive strength at 28 days and split cylinder strength at 28 days. The results obtained are based on a comparison of 1-2 mm diameter

of styrofoam which has higher compressive strength and split cilinder strength than 3-5 mm diameter of styrofoam. In addition, the compressive strength and split cilinder strength decreased as the percentage of styrofoam increased. The percentage according to the standard structural lightweight concrete is 75% for a diameter of 1-2 mm where the compressive strength and split cilinder strength are 21.16 MPa and 6.357 MPa. In addition, for diameters 3-5, the compressive strength and split cilinder strength are 21.72 MPa and 4.124 MPa.

Keywords : *Lightweight concrete, geopolymer concrete, styrofoam, fly ash, the mechanical properties.*

A. PENDAHULUAN

Inovasi-inovasi dalam teknologi beton dituntut untuk dikembangkan sehingga dapat memenuhi tantangan dalam bidang konstruksi, antara lain: ramah terhadap lingkungan serta berat jenis yang dimiliki rendah atau bisa disebut dengan beton ringan. Berat jenis yang dimiliki oleh beton ringan pada umumnya adalah 1780 kg/m^3 dengan nilai kuat tekan 21 MPa dan nilai kuat tarik belah 2,1 MPa pada umur 28 hari sesuai SNI 3402:2008. Proses pembuatan beton ringan membutuhkan material/bahan penyusun yang berat jenisnya rendah seperti adalah *styrofoam*.

Styrofoam memiliki berat jenis yang rendah yaitu sebesar $13\text{-}22 \text{ kg/m}^3$ dengan harga yang relatif murah sehingga jika digunakan sebagai campuran beton dapat mengurangi beban mati pada bangunan. Namun, kekurangan dari *styrofoam* sulit untuk diuraikan karena tersusun dari *polystyrene*. Penggunaan *styrofoam* sebagai campuran beton menyebabkan berat beton akan lebih ringan dan nilai kegunaan *styrofoam* menjadi bertambah. Akan tetapi, hal ini bertolak belakang dengan kekuatan beton seiring dengan penambahan bahan *styrofoam* sebagai campuran beton.

Penggunaan semen dalam konstruksi menimbulkan pencemaran lingkungan karena pada proses fabrikasinya menghasilkan CO_2 yang berbanding dengan jumlah semen yang dihasilkan. Maka dari itu diperlukan

bahan alternatif lain yakni beton *geopolymer*. Beton *geopolymer* menggunakan prekursor *fly ash* dan alkali aktivator yang terdiri dari NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai material utamanya. Berdasarkan penelitian Honny *et al.* (2019) perbandingan antara NaOH : Na_2SiO_3 diperoleh hasil bahwa perbandingan paling optimum yakni 1:2,5.

Pada penelitian Purwati, As'ad & Sunarmasto (2014) mendapatkan hasil bahwa kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh butiran agregat yang digunakan, dimana penggunaan agregat dengan ukuran lebih kecil menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada agregat yang ukurannya lebih besar. Penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa hal ini terjadi karena beberapa hal seperti gradasi agregat yang berpengaruh terhadap tingkat porositas dan kepadatan pada beton. Susunan gradasi yang baik akan menghasilkan porositas minimum dan kepadatan maksimum.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Anthony *et al.* (2019) menggunakan 3 variasi jumlah semen yaitu 800 kg/m^3 , 650 kg/m^3 , dan 500 kg/m^3 pada setiap variasi semen digunakan persentase *styrofoam* yang berbeda-beda yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap volume semen. Untuk penggunaan superplasticizer sebesar 1% dari berat semen, water content 0,25, dan silica fume 25% dari berat semen. Berdasarkan penelitian tersebut terdapat beberapa

kesimpulan diantaranya semakin banyak *styrofoam* akan menghasilkan beton yang semakin ringan namun kuat tekan akan mengalami penurunan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik beton ringan menggunakan *geopolymer* dengan *styrofoam* sebagai substitusi agregat kasar.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Beton Ringan

Beton ringan merupakan campuran air dan semen yang menggunakan agregat yang bermassa ringan ataupun kombinasi antara agregat kasar ringan serta agregat halus ringan (pasir alami) dengan syarat berat isi maksimum tidak melebihi 1850 kilogram/m³ kering udara serta wajib memenuhi syarat kuat tekan beton serta kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural (Apriyatno 2021). Menurut Sujatmiko (2019), beton ringan merupakan beton yang didalamnya memiliki kandungan agregat bermassa ringan yang sesuai dengan syarat struktural dan ketentuan ASTM C330, selain itu berat isi tidak lebih dari 1900 kg/cm³ yang telah ditentukan oleh ASTM C567. Sedangkan berdasarkan klasifikasi SNI 3402:2008 nilai berat volume maksimum untuk beton ringan struktural 1780 kg/m³, nilai kuat tekan 21 MPa dan nilai kuat tarik belah sebesar 2,1 MPa.

2. Geopolymer

Geopolymer merupakan jenis material baru yang bersifat ramah lingkungan dan digunakan sebagai bahan alternatif pengganti semen dalam pembuatan beton. Beton *geopolymer* tersusun atas material anorganik yang melalui proses polimerasi. Bahan-bahan dasar dalam proses pembuatan beton *geopolymer* adalah bahan yang memiliki kandungan silika dan alumina. Unsur-

unsur tersebut sering dijumpai dalam kandungan limbah industri yakni *fly ash*.

Beton *geopolymer* adalah terobosan beton baru yang 100% tidak memerlukan penggunaan semen untuk mengikat campuran. Pembuatan beton *geopolymer* menggunakan bahan anorganik seperti *fly ash* atau bahan lain yang memiliki kandungan alumina dan silika yang kemudian diaktifkan oleh larutan alkali untuk menghasilkan binder. Berdasarkan hal tersebut beton *geopolymer* dapat terbentuk tanpa menggunakan semen portland (Adi S et al., 2018).

3. Styrofoam

Styrofoam merupakan material yang memiliki berat yang ringan dan tahan terhadap panas. *Styrofoam* biasanya dikenal sebagai gabus putih yang digunakan sebagai bahan peredam terhadap benturan pada barang elektronik. Berdasarkan penelitian Mulyati & Asrllina (2018) menyebutkan bahwa *styrofoam* memiliki karakteristik yakni berat jenis sebesar 13-22 kg/m³, modulus young sebesar 3000-3600 kg/m², dan kuat tarik *styrofoam* sebesar 40-60 MPa. Kelebihan *styrofoam* yaitu memiliki umur simpan yang lama karena tahan jamur, dan konduktivitas termalnya rendah. *Styrofoam* memiliki beragam ukuran mulai dari 1 mm–8 mm atau bahkan lebih tergantung dengan kebutuhan dan penggunaan *styrofoam*.

C. METODE PENELITIAN

1. Material

- Fly Ash* kelas F
- NaOH 14 M
- Na₂SiO₃
- Kerikil
- Pasir
- Styrofoam*
- Sika Viscocrete 3115 N*

2. Rancangan Benda Uji

Tabel 1. Rancangan benda uji

No.	Kode Sampel	Diameter <i>Styrofoam</i>	Persentase <i>Styrofoam</i> (%)	Agregar Kasar (%)	Kuat Tekan 28 hari	Kuat Tarik Belah 28 Hari
1.	BS 1	1-2 mm	25%	75%	6	6
2.	BS 2	1-2 mm	50%	50%	6	6
3.	BS 3	1-2 mm	75%	25%	6	6
4.	BS 4	1-2 mm	100%	0%	6	6
5.	BS 5	3-5 mm	25%	75%	6	6
6.	BS 6	3-5 mm	50%	50%	6	6
7.	BS 7	3-5 mm	75%	25%	6	6
8.	BS 8	3-5 mm	100%	0%	6	6
Total Sampel					96	

3. Prosedur Pembuatan

- Menyiapkan larutan NaOH dan cairan Na_2SiO_3 sesuai dengan perbandingan dan komposisi yang telah ditetapkan.
- Kemudian mencampurkan larutan NaOH dan cairan Na_2SiO_3 selama 5 menit ke wadah hingga terbentuk campuran alkali.
- Lalu agregat halus dituangkan kedalam molen dan diberi sedikit larutan alkali.
- Setelah tercampur merata langkah selanjutnya memasukkan *styrofoam* dengan variasi yang telah ditentukan.
- Lalu memasukkan campuran alkali, *fly ash*, agregat kasar, dan air ke dalam molen.
- Kemudian memasukkan *Sika Viscocrete 3115 N* sesuai dengan takaran setelah bahan-bahan tersebut sudah tercampur secara merata.
- Lalu campuran beton dapat dituangkan ke dalam cetakan silinder.
- Kemudian campuran yang dicetak didiamkan selama 24 jam.
- Setelah itu, cetakan dapat dibuka dan dilakukan perawatan terhadap beton.

4. Perawatan Beton

Proses perawatan beton atau biasa disebut dengan *curing* dilakukan dengan menggunakan suhu ruang.

5. Uji Kuat Tekan Beton

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

f_c' = kekuatan tekan (MPa)

A = luas permukaan benda uji (cm^2)

P = beban tekan (kN)

6. Uji Kuat Tarik Belah Beton

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi L D} \quad (2)$$

Keterangan:

D = diameter sampel (mm)

L = panjang sampel

P = beban uji maksimum (N)

f_{ct} = kuat tarik belah (MPa)

7. Analysis Of Variance (ANOVA)

Data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton umur 28 hari. Analisis data pada pengujian beton ringan *geopolymer* ini menggunakan analisis ANOVA dimana pengujian analisis statistik dilakukan berdasarkan variasi diameter dan variasi persentase. Pengujian ANOVA (*Analysis of Variance*) satu arah dilakukan dengan bantuan perangkat lunak uji statistik. Dimana prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Penentuan Hipotesis
2. Penarikan kesimpulan H0 ditolak atau diterima

Mix design mengacu pada P. Pavithra, dkk dengan judul “ A mix design procedure for *geopolymer* concrete with *fly ash*” dengan menggunakan perbandingan 30% agregat halus dan 70% agregat kasar.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Mix Design

Tabel 2. Mix Design

Kode	Material							
	<i>Fly Ash</i>	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	SP	<i>Styrofoam</i>	NaOH	Na2SiO3
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
BS1 dan BS5 (25%)	15.08	2.31	18.62	10.83	0.30	0.04	1.29	3.23
BS2 dan BS6 (50%)	15.08	2.31	12.41	10.83	0.30	0.07	1.29	3.23
BS3 dan BS7 (75%)	15.08	2.31	6.21	10.83	0.30	0.11	1.29	3.23
BS4 dan BS8 (100%)	15.08	2.31	0.00	10.83	0.30	0.15	1.29	3.23

2. Hasil Uji Kuat Tekan

Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan setelah dilakukan proses perawatan

suhu ruang selama 28 hari pada beton ringan *geopolymer* :

Tabel 3. Kuat tekan diameter 1-2 mm

NO.	Sampel	Styrofoam	Kuat Tekan	Density	Kuat Tekan Rerata	Density Rerata
		(%)	(MPa)	(kg/m3)	(MPa)	(kg/m3)
1	BS 1	25	27.07	2344.01	26.89	2383.49
2	BS 1	25	28.31	2478.18		
3	BS 1	25	25.07	2324.93		
4	BS 1	25	28.65	2478.18		
5	BS 1	25	25.92	2347.36		
6	BS 1	25	26.33	2328.28		
7	BS 2	50	24.22	2137.29	24.09	2108.03
8	BS 2	50	24.26	2140.26		
9	BS 2	50	23.77	2176.80		
10	BS 2	50	24.89	2194.28		
11	BS 2	50	23.66	2037.33		
12	BS 2	50	23.74	1962.20		
13	BS 3	75	20.47	1728.37	21.16	1771.88
14	BS 3	75	21.78	1818.99		
15	BS 3	75	21.31	1779.84		
16	BS 3	75	21.03	1793.36		
17	BS 3	75	21.44	1729.61		
18	BS 3	75	20.93	1781.08		
19	BS 4	100	15.37	1632.64	16.38	1636.78
20	BS 4	100	17.42	1725.99		
21	BS 4	100	16.34	1616.62		
22	BS 4	100	16.07	1595.22		
23	BS 4	100	16.34	1567.72		
24	BS 4	100	16.74	1682.47		

Dalam penelitian ini diperoleh nilai kuat tekan untuk persentase 25% sebesar 26,89 MPa dan berat volume 2383,49 kg/m³, lalu untuk persentase 50% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 24,09 MPa dan berat volume 2108,03 kg/m³, kemudian untuk persentase *styrofoam* 75% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 21,16 MPa dan berat volume 1771,88 kg/m³, selanjutnya untuk

persentase 100% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 16,38 MPa dan berat volume 1636,78 kg/m³. Berdasarkan SNI 3402:2008 nilai kuat tekan untuk beton ringan struktural sebesar 21 MPa dengan berat volume maksimum 1780 kg/m³. Sedangkan dalam penggunaan *styrofoam* dengan diameter 1-2 mm yang memenuhi syarat beton ringan struktural adalah persentase 75% *styrofoam*.

Tabel 4. Kuat tekan diameter 3-5 mm

NO.	Sampel	Styrofoam	Kuat Tekan	Density	Kuat Tekan Rerata	Density Rerata
		(%)	(MPa)	(kg/m ³)	(MPa)	(kg/m ³)
1	BS 5	25	24.85	2284.59	23.59	2234.78
2	BS 5	25	22.02	2233.17		
3	BS 5	25	24.74	2233.17		
4	BS 5	25	24.10	2186.59		
5	BS 5	25	21.49	2248.71		
6	BS 5	25	24.34	2222.47		
7	BS 6	50	20.77	1754.32	21.72	1764.26
8	BS 6	50	19.45	1717.90		
9	BS 6	50	21.09	1717.90		
10	BS 6	50	23.46	1754.87		
11	BS 6	50	24.10	1820.55		
12	BS 6	50	21.43	1820.00		
13	BS 7	75	17.17	1542.99	17.20	1545.47
14	BS 7	75	17.85	1544.63		
15	BS 7	75	17.65	1567.45		
16	BS 7	75	16.54	1532.20		
17	BS 7	75	16.37	1542.53		
18	BS 7	75	17.63	1542.99		
19	BS 8	100	13.73	1386.07	14.30	1401.15
20	BS 8	100	14.71	1468.28		
21	BS 8	100	13.22	1334.67		
22	BS 8	100	14.95	1400.49		
23	BS 8	100	15.15	1482.71		
24	BS 8	100	14.01	1334.67		

Dalam penelitian ini diperoleh nilai kuat tekan untuk persentase 25% sebesar 23.59 MPa dan berat volume

2234,78 kg/m³, lalu untuk persentase 50% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 21,72 MPa dan berat volume 1764,26

kg/m³, kemudian untuk persentase *styrofoam* 75% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 17,20 MPa dan berat volume 1545,47 kg/m³, selanjutnya untuk persentase 100% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 14,30 MPa dan berat volume 1401,15 kg/m³. Penggunaan *styrofoam* dengan diameter 3-5 mm yang memenuhi syarat beton ringan struktural adalah persentase 50% *styrofoam* karena berdasarkan klasifikasi SNI 3402:2008 nilai berat volume maksimum untuk beton ringan struktural 1780 kg/m³ dan nilai kuat tekan sebesar 21 MPa.

Hasil pengujian kuat tekan pada penggunaan *styrofoam* dengan diameter 1-2 mm dan 3-5 mm menunjukkan penurunan nilai kuat tekan seiring dengan bertambahnya persentase *styrofoam*. Hal ini sesuai dengan penelitian Anthony, Tanbora dan Sugiharto (2019) yang menyatakan penurunan nilai kuat tekan beton seiring bertambahnya persentase *styrofoam* dikarenakan *styrofoam* memiliki kepadatan yang rendah.

Kemudian penggunaan diameter *styrofoam* yang lebih kecil pada beton yaitu 1-2 mm memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar daripada penggunaan diameter 3-5 mm. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Purwati, As'ad dan Sunarmasto (2014) bahwa penggunaan agregat yang lebih kecil memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada agregat yang lebih besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gradasi agregat yang digunakan sebagai campuran beton memiliki pengaruh terhadap kepadatan beton.

Berdasarkan SNI 3402:2008 nilai kuat tekan untuk beton ringan struktural sebesar 21 MPa dengan berat volume maksimum 1780 kg/m³. Sedangkan dalam penggunaan *styrofoam* dengan diameter 1-2 mm yang memenuhi syarat beton ringan struktural adalah persentase 75% *styrofoam*. Sedangkan pada diameter 3-5 mm pada persentase *styrofoam* 50%.

3. Hasil Uji Kuat Tarik Belah

Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan setelah dilakukan proses perawatan suhu

ruang selama 28 hari pada beton ringan geopolymer :

Tabel 5. Kuat tarik diameter 1-2 mm

NO.	Sampel	Styrofoam	Kuat Tarik B. (MPa)	Density (kg/m ³)	Kuat Tarik B. Rerata (MPa)	Density Rerata (kg/m ³)
		(%)				
1	BS 1	25	2.39	2344.01	2.75	2383.49
2	BS 1	25	2.79	2478.18		
3	BS 1	25	2.75	2324.93		
4	BS 1	25	3.18	2478.18		
5	BS 1	25	2.71	2347.36		
6	BS 1	25	2.67	2328.28		
7	BS 2	50	2.16	2137.29	2.24	2108.03
8	BS 2	50	2.12	2140.26		
9	BS 2	50	2.39	2176.80		
10	BS 2	50	2.31	2194.28		
11	BS 2	50	2.35	2037.33		
12	BS 2	50	2.14	1962.20		
13	BS 3	75	2.11	1728.37	2.11	1771.88
14	BS 3	75	2.13	1818.99		
15	BS 3	75	2.10	1779.84		
16	BS 3	75	2.14	1793.36		
17	BS 3	75	2.07	1729.61		
18	BS 3	75	2.11	1781.08		

19	BS 4	100	1.88	1632.64	1.60	1636.78
20	BS 4	100	1.38	1725.99		
21	BS 4	100	1.40	1616.62		
22	BS 4	100	2.05	1595.22		
23	BS 4	100	0.98	1567.72		
24	BS 4	100	1.90	1682.47		

Diperoleh nilai kuat tarik belah untuk persentase 25% sebesar 2,75 MPa dan berat volume 2383,49 kg/m³, lalu untuk persentase 50% diperoleh nilai kuat tarik belah sebesar 2,24 MPa dan berat volume 2108,03 kg/m³, kemudian untuk persentase *styrofoam* 75% diperoleh nilai kuat tarik belah sebesar 2,11 MPa dan berat volume 1771,88 kg/m³, selanjutnya untuk persentase 100% diperoleh nilai

kuat tekan sebesar 1,60 MPa dan berat volume 1636,78 kg/m³. Penggunaan *styrofoam* dengan diameter 1-2 mm yang memenuhi syarat beton ringan struktural adalah persentase 75% *styrofoam* karena berdasarkan klasifikasi SNI 3402:2008 nilai berat volume maksimum untuk beton ringan struktural 1780 kg/m³ dan nilai kuat tarik belah sebesar 2,1 MPa.

Tabel 6. Kuat tarik diameter 3-5 mm

NO.	Sampel	Styrofoam	Kuat Tarik B.	Density	Kuat Tarik B. Rerata	Density Rerata
		(%)	(MPa)	(kg/m3)	(MPa)	(kg/m3)
1	BS 5	25	2.20	2284.59	2.42	2234.78
2	BS 5	25	2.66	2233.17		
3	BS 5	25	2.14	2233.17		
4	BS 5	25	2.42	2186.59		
5	BS 5	25	2.61	2248.71		
6	BS 5	25	2.49	2222.47		
7	BS 6	50	2.14	1754.32	2.11	1764.26
8	BS 6	50	2.09	1717.90		
9	BS 6	50	2.07	1717.90		
10	BS 6	50	2.06	1754.87		
11	BS 6	50	2.12	1820.55		
12	BS 6	50	2.18	1820.00		
13	BS 7	75	1.10	1542.99	1.07	1545.47
14	BS 7	75	1.28	1544.63		
15	BS 7	75	1.05	1567.45		
16	BS 7	75	0.86	1532.20		
17	BS 7	75	1.03	1542.53		
18	BS 7	75	1.11	1542.99		
19	BS 8	100	1.00	1386.07	0.97	1401.15
20	BS 8	100	1.14	1468.28		
21	BS 8	100	0.91	1334.67		
22	BS 8	100	1.14	1400.49		

23	BS 8	100	0.85	1482.71
24	BS 8	100	0.75	1334.67

Dalam penelitian ini diperoleh nilai kuat tarik belah untuk persentase 25% sebesar 2,42 MPa dan berat volume 2234,78 kg/m³, lalu untuk persentase 50% diperoleh nilai kuat tarik belah sebesar 2,11 MPa dan berat volume 1764,26 kg/m³, kemudian untuk persentase *styrofoam* 75% diperoleh nilai kuat tarik belah sebesar 1,07 MPa dan berat volume 1545,47 kg/m³, selanjutnya untuk persentase 100% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 0,97 MPa dan berat volume 1401,15 kg/m³. Penggunaan *styrofoam* dengan diameter 3-5 mm yang memenuhi syarat beton ringan struktural adalah persentase 50% *styrofoam* karena berdasarkan klasifikasi SNI 3402:2008 nilai berat volume maksimum untuk beton ringan struktural 1780 kg/m³ dan nilai kuat tarik belah sebesar 2,1 MPa.

Hasil pengujian kuat tarik belah pada penggunaan *styrofoam* dengan diameter 1-2 mm dan 3-5 mm menunjukkan penurunan nilai kuat tarik belah seiring dengan bertambahnya persentase *styrofoam*. Hal ini sesuai dengan penelitian (Siahaan, Sumajouw dan Mondoringin, 2020) yang menyatakan penurunan nilai kuat tarik belah beton seiring penambahan *styrofoam* dikarenakan *styrofoam*

4. Analisis Statistik ANOVA

Berdasarkan hasil analisis statistik uji ANOVA 1 arah pada nilai kuat tekan dan kuat tarik belah yang dibandingkan berdasarkan persentase dan diameter

memiliki kepadatan yang rendah. Kemudian penggunaan diameter *styrofoam* yang lebih kecil pada beton yaitu 1-2 mm memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih besar daripada penggunaan diameter 3-5 mm. Hal tersebut sesuai dengan penelitian (Fusya, Putra dan Aulia, 2020) bahwa penggunaan agregat yang lebih kecil menghasilkan kuat tarik belah yang lebih tinggi daripada agregat yang lebih besar. Diameter *styrofoam* 1-2 mm memiliki butiran yang lebih kecil daripada *styrofoam* diameter 3-5 mm sehingga beton ringan geopolymer yang menggunakan *styrofoam* 1-2 mm memiliki kemampatan yang tinggi, dimana hal tersebut mempengaruhi kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang dihasilkan.

Penggunaan *styrofoam* dengan diameter 1-2 mm yang memenuhi syarat beton ringan struktural adalah persentase 75% *styrofoam* karena berdasarkan klasifikasi SNI 3402:2008 nilai berat volume maksimum untuk beton ringan struktural 1780 kg/m³ dan nilai kuat tarik belah sebesar 2,1 MPa. Sedangkan pada diameter 3-5 pada persentase 50% *styrofoam*.

styrofoam dengan menggunakan taraf signifikansi (α) 5% diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 7. ANOVA kuat tekan variasi persentase *styrofoam* diameter 1-2 mm

ANOVA					
Kuat Tekan (Styrofoam 1-2 mm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	363.111	3	121.037	170.827	.000
Within Groups	14.171	20	.709		
Total	377.281	23			

Tabel 8. ANOVA kuat tekan variasi persentase styrofoam diameter 3-5 mm

ANOVA					
Kuat Tekan (Styrofoam 3-5 mm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	321.948	3	107.316	70.005	.000
Within Groups	30.660	20	1.533		
Total	352.608	23			

Karena nilai sig pada tabel 7 dan tabel 8 $< \alpha = 0.05$ maka terdapat perbedaan kuat tekan yang signifikan tiap persentase. Berdasarkan hasil analisis menggunakan ANOVA terdapat pengaruh persentase

terhadap kuat tekan beton, baik untuk beton yang menggunakan styrofoam diameter 1-2 mm dan diameter styrofoam 3-5 mm.

Tabel 9. ANOVA kuat tarik belah berdasarkan variasi persentase

ANOVA					
Kuat Tarik Belah (Styrofoam 1-2 mm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.022	3	1.341	21.609	.000
Within Groups	1.241	20	.062		
Total	5.263	23			

Tabel 10. ANOVA kuat tarik belah berdasarkan variasi persentase

ANOVA					
Kuat Tarik Belah (Styrofoam 3-5 mm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.647	3	3.216	141.844	.000
Within Groups	.453	20	.023		
Total	10.101	23			

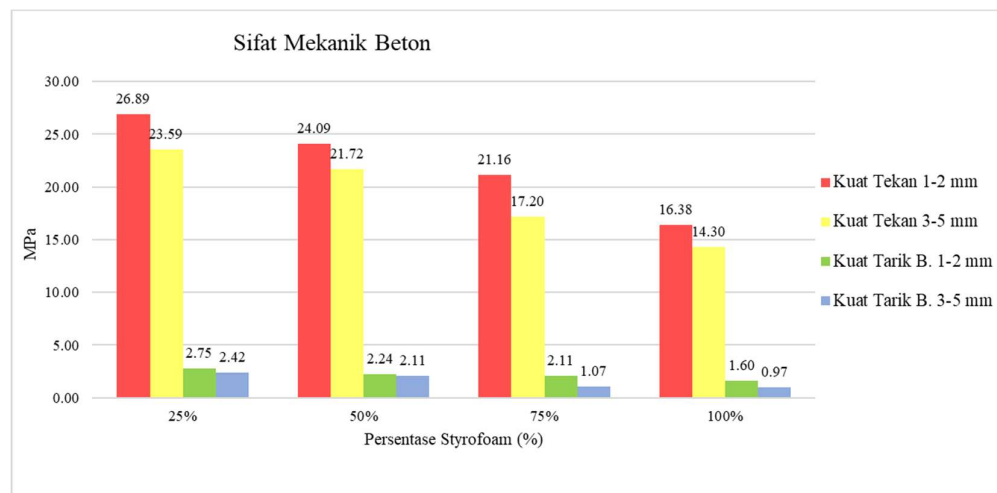
Karena nilai sig pada tabel 9 dan tabel 10 $< \alpha = 0.05$ maka terdapat perbedaan kuat tarik belah yang signifikan tiap persentase. Berdasarkan hasil analisis menggunakan ANOVA terdapat

pengaruh persentase terhadap kuat tarik belah beton, baik untuk beton yang menggunakan styrofoam diameter 1-2 mm dan diameter styrofoam 3-5 mm.

5. Sifat Mekanik Beton

Tabel 11. Sifat Mekanik Beton

Sampel	Diameter	Persentase	Kuat Tekan	Kuat Tarik B.	Density
	Syrofoam	Styrofoam	(MPa)	(MPa)	(kg/m3)
BS 1	1-2 mm	25%	26.89	2.75	2383.49
BS 2	1-2 mm	50%	24.09	2.24	2108.03
BS 3	1-2 mm	75%	21.16	2.11	1771.88
BS 4	1-2 mm	100%	16.38	1.60	1636.78
BS 5	3-5 mm	25%	23.59	2.42	2234.78
BS 6	3-5 mm	50%	21.72	2.11	1764.26
BS 7	3-5 mm	75%	17.20	1.07	1545.47
BS 8	3-5 mm	100%	14.30	0.97	1401.15



Gambar 1. Sifat Mekanik Beton

Berdasarkan tabel 11 dan gambar 1. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton menunjukkan bahwa semakin besar bersentase *styrofoam* nilai kuat tekan dan kuat tarik belahnya semakin turun. Selain itu penggunaan diameter *styrofoam* 1-2 mm memiliki kuat tekan dan kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan *styrofoam* 3-5 mm sebagai substitusi agregat kasar. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Siahaan, Sumajouw dan Mondoringin, 2020) bahwa campuran beton yang menggunakan substitusi *styrofoam* mengakibatkan penurunan pada kuat tekan dan kuat tarik belahnya. Hal tersebut karena *styrofoam* memiliki sifat *compressible* atau dapat dimampatkan/ditekan. Selain itu, substitusi *styrofoam* pada campuran beton dapat menjadikan beton lebih ringan.

E. KESIMPULAN

1. Kuat tekan beton mengalami penurunan dengan perbandingan diameter *styrofoam* 1-2 mm dan 3-5 mm. Pada penambahan *styrofoam* 25%, 50%, 75%, dan 100% kuat tekan mengalami penurunan berturut-turut 12,27%, 9,85%, 18,27%, dan 12,72%. Selain itu, kuat

tarik belah beton pada perbandingan diameter juga mengalami penurunan dimana kuat tarik belah diameter 3-5 mm memiliki nilai yang lebih kecil daripada diameter 1-2 mm dengan persentase penurunan pada penambahan *styrofoam* 25%, 50%, 75%, dan 100% sebesar 12,05%, 5,99%, 49,22%, dan 39,59%.

2. Pengaruh persentase *styrofoam* terhadap sifat mekanik beton mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase *styrofoam* yang digunakan. Pada diameter 1-2 mm, penambahan *styrofoam* sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% dimana penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 10,41%, 12,16%, dan 22,60% dan penurunan kuat tarik belah berturut-turut sebesar 18,36%, 5,99%, 24,21%. Dan pada diameter *styrofoam* 3-5 mm, mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 7,94%, 20,81%, 16,88% dan penurunan kuat tarik belah berturut-turut sebesar 12,73%, 49,22%, 9,84%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, Anthony, Rafelino Tanbora, and Handoko Sugiharto. 2019. "Penelitian Lightweight Concrete Dengan Menggunakan Expanded

- Polystyrene.” *Dimensi Pratama Teknik Sipil* 8(2):16–23.
- Apriyatno, Henry. 2021. *Sambungan Baut Kekuatan Tinggi Pada Erektion Balok Girder Baja Dan Pull Out Sambungan Angkur Model Ekspansi*. Sleman: CV Budi Utama.
- ASTM C330. 2009. “Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete.” *ASTM International* 552(18):4.
- ASTM C567. 2015. “Standar Test Method for Determining Density of Stuctural Lightweight Concrete.” *ASTM International* 1–4.
- Fusya, Titihayati, Rudiansyah Putra, and Teuku Budi Aulia. 2020. “Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tarik Lentur Beton Mutu Ultra Tinggi Menggunakan Fly Ash Batu Bara Sebagai Aditif Dan Bijih Besi Sebagai Filler (Studi Komparasi Agregat Maksimum Berukuran 5 Mm Dan 10 Mm).” *Journal of The Civil Engineering Student* 2(3):288–94.
- Mulyati, and Reza Asrllina. 2018. “Pengaruh Penggunaan Styrofoam Sebagai Pengganti Pasir Dan Zat Additive Sikament Terhadap Kuat Tekan Bata Beton Ringan.” *Jurnal Momentum* 20(2):110–16. doi: 10.21063/JM.2018.V20.2.110-116.
- Purwati, Agus, Sholihin As’ad, and Sunarmasto. 2014. “Pengaruh Ukuran Butiran Agregat Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton KInerja Tinggi Grade 80.” *Jurnal Matrik Teknik Sipil* 2(2):43–49.
- Siahaan, Nathalia Samaria Marisi, Marthin D. J. Sumajouw, and Mielke R. I. A. J. Mondoringin. 2020. “Penggunaan Styrofoam Sebagai Subtitusi Parsial Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Ringan.” *Jurnal Sipil Statik* 8(4):635–44.
- SNI 3402:2008. 2008. “Cara Uji Berat Isi Beton Ringan Struktural.” *Standart Nasional Indonesia* ICS 91.100:1–7.
- Sujatmiko, Bambang. 2019. *Teknologi Beton Dan Bahan Bangunan*. Surabaya: Media Sahabat Cendekia.
- © 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

