

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK KACA SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON

Kresga Aggis Yudhistira¹, Yanti Defiana², Atep Maskur³

¹²³Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Galuh Ciamis

Email: Kresga15@gmail.com, yanti.defiana@gmail.com, atepmaskur612@gmail.com

ABSTRACT

The increasing demand for sustainable construction materials has prompted research into alternative materials, one of which is glass powder. This study evaluates the effect of adding glass powder on the compressive strength and modulus of elasticity of concrete. An experimental method was conducted with variations in glass powder content of 0%, 1%, 2%, 3%, and 4% by aggregate weight. The concrete was tested to determine its compressive strength and modulus of elasticity, with testing carried out at the Civil Engineering Laboratory. The results showed that the addition of 2% glass powder provided the optimal increase in compressive strength, reaching 20.75 MPa, compared to concrete without glass powder, which had a compressive strength of 17.27 MPa. The addition of 3% and 4% also improved compressive strength, though slightly lower than the 2% addition. Conversely, the 1% glass powder addition reduced the compressive strength to 10.82 MPa. The modulus of elasticity of the concrete increased significantly with the addition of 3% glass powder, reaching 2,924.670 MPa, which is higher than concrete without glass powder (2,353.373 MPa). The most significant increase occurred between 1% and 2% glass powder. However, with 4% glass powder, there was a slight decrease in the modulus of elasticity.

Keywords: concrete, glass powder, modulus of elasticity, sustainable construction materials.

I. PENDAHULUAN

Limbah kaca adalah limbah yang banyak dihasilkan dari kehidupan masyarakat sehari-sehari. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), kumpulan sampah di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 64,5 juta ton dan 2,3% diantaranya adalah limbah kaca.

Salah satu jenis limbah kaca yang banyak dihasilkan di masyarakat yaitu berupa kaca botol bekas, kaca jendela bekas, kaca aquarium bekas, peralatan makan, dan masih banyak lagi. Material kaca pun dianggap sangat berguna untuk berbagai hal dan sulit tergantikan oleh material lainnya. Tingkat pemakaian kaca sangatlah tinggi di lingkungan masyarakat. Dengan demikian, limbah yang dihasilkan pun juga tinggi.

Kaca merupakan bahan anorganik yang tidak dapat terurai secara alami. Limbah kaca biasanya langsung dibuang ke tempat pembuangan sampah atau bahkan berserakan di lahan terbuka yang dapat lingkungan. Limbah kaca yang tidak terurai akan menumpuk, mencemari lingkungan, dan membahayakan manusia. Oleh karena itu, limbah kaca butuh didaur ulang sebagai salah satu upaya

mengurangi sampah di bumi kita. Untuk mengurangi pencemaran tersebut bisa dilakukan daur ulang kaca itu dengan cara mencampurkan limbah kaca pada material pembuatan beton. Kaca yang sudah dihaluskan (Serbuk kaca) tersebut dicampurkan dengan agregat halus yang diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan pada beton dan merupakan upaya alternatif untuk mengurangi limbah kaca yang merusak lingkungan.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, kaca dipilih sebagai substitusi agregat halus dengan kesimpulan kuat tekan beton dapat ditingkatkan, salah satu nya dengan penambahan limbah kaca dalam jumlah tertentu. Serbuk kaca adalah pecahan kaca yang dihancurkan menjadi butiran halus dengan ukuran 0,075 mm – 0,15 mm. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian serupa diantaranya Suhartini, dkk (2014) yang menyimpulkan bahwa penambahan campuran beton sebesar 2,5% dapat menambah kuat tekan beton sebesar 7,57%, sementara penambahan campuran beton sebesar 5%, 7,5%, dan 10% menghasilkan penurunan kualitas beton sebesar

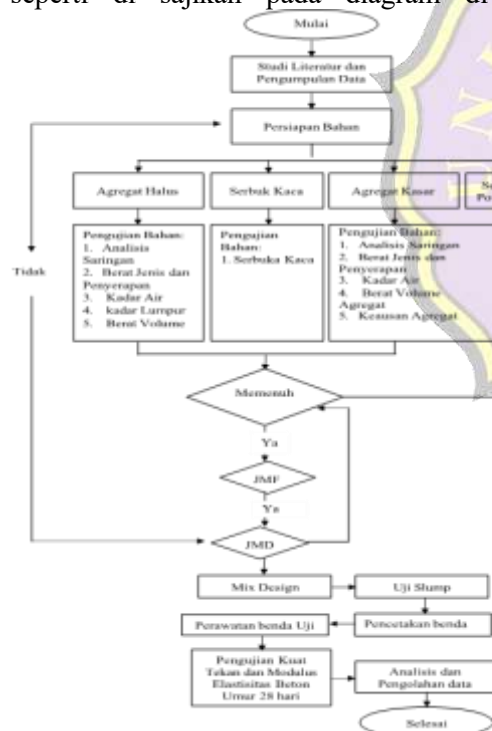
masing-masing 3,22 %, 11,10%, dan 20,02%.

Oleh sebab itu penulis akan melakukan penelitian menggunakan bahan limbah kaca yang telah dihaluskan sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton berbentuk silinder dengan variasi 0% 1%, 2% dan 3% dengan meninjau pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton.

II. METODOLOGI PENELITIAN

1. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Prodi Teknik Sipil Universitas Galuh Ciamis. Dalam penelitian ini direncanakan mutu beton sebesar $f_c = 20$ MPa dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% dengan jumlah masing-masing 3 sampel per variasi. Kemudian dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk mengetahui variasi mana yang memiliki nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton yang optimal.

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian seperti di sajikan pada diagram di bawah:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Adapun langkah – langkah analisis yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Menghitung kebutuhan dari bahan komposisi bahan penyusun beton, seperti semen, pasir, kerikil, kerang sebagai bahan tambah yang lolos berdasarkan saringan SNI.

2. Melakukan pemeriksaan dari persyaratan bahan penyusun beton seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air dan Serbuk Kaca.
3. Membuat benda uji dari komposisi Serbuk Kaca dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% pada umur 28 hari.
4. Menghitung kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan dari komposisi atau benda uji yang telah dibuat pada langkah sebelumnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Bahan Material Penyusun Beton

- Hasil Analisis Saringan Agregat

Tabel 1. Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Saringan	Berat Saringan	Berat Saringan +Tertahan	Berat tertahan	Jumlah berat tertahan	Persen kumulatif Tertahan	Lolos
(mm)	(inch)	(gram)	(gram)	(gram)	(%)	(%)
4,75	# 4	425	0	0	0	100
2,36	# 8	410	50	50	5	95
1,18	# 16	405	295	345	34,5	65,5
0,60	# 30	400	240	585	58,5	41,5
0,30	# 50	385	190	775	77,5	22,5
0,15	# 100	375	110	885	88,5	11,5
0,075	# 200	280	110	995	99,5	0,5
Pan		240	245	5	100	0

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)



Sumber : Data primer yang sudah diolah, 2024

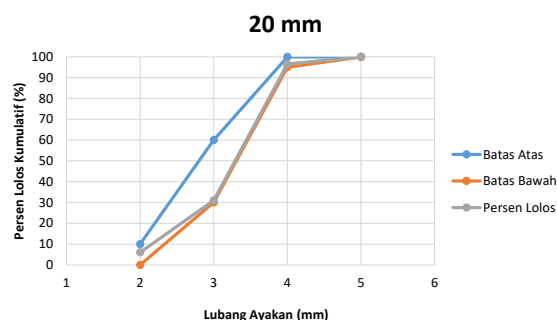
Gambar 2. Batas Gradasi Agregat Halus

Dari gambar 2 hasil analisis saringan *agregat* halus dapat diketahui bahwa *agregat* halus yang digunakan dalam pembuatan adukan beton termasuk ke dalam daerah gradasi No. 1 yaitu pasir alami dan memenuhi syarat analisis saringan sebagai bahan dalam campuran beton.

Tabel 2. Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Saringan (mm)	Saringan (inch)	Berat Saringan (gram)	Berat Saringan + Tertahan (gram)	Berat tertahan (gram)	Jumlah berat tertahan (gram)	Persen kumulatif Tertahan (%)	Lolos (%)	Spesifikasi
37,5	1 1/2"	525	525	0	0	0	100	100 - 100
25	1"	530	580	50	50	2	98	
19,1	3/4"	470	505	35	85	3,4	96,6	95 - 100
12,5	1/2"	480	1520	980	1065	42,6	57,4	
9,5	3/8"	450	1110	660	1725	69	31	30 - 60
4,75	# 4	440	1065	625	2350	94	6	0 - 10
2,36	# 8	410	550	140	2490	99,6	0,4	
1,18	# 16	405	415	10	2500	100	0	

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)



Sumber : Data primer yang sudah diolah, 2024
Gambar 3. Batas Gradasi Agregat Kasar

Dari gambar 4.2 hasil analisis saringan *agregat* kasar dapat diketahui bahwa *agregat* kasar yang digunakan dalam pembuatan adukan beton termasuk ke dalam grafik 7 yaitu batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 mm dan memenuhi syarat analisis saringan sebagai bahan dalam campuran beton.

- Hasil Pengujian Berat jenis dan Penyerapan Air Agregat

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Keterangan		A	B	Rata-rata
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) (Bj)	gram	500	500	500
Berat benda uji kering oven (Bk)	gram	485	490	487,5
Berat piknometer + air (B)	gram	675	675	675
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air (Bt)	gram	930	930	930
Berat Jenis (Bulk)	$Bk/(B+Bj-Bt)$	1,98	2,00	1,99
Berat jenis kering permukaan (SSD)	$Bj/(B+Bj-Bt)$	2,04	2,04	2,04
Berat jenis semu (Apparent)	$Bk/(B+Bk-Bt)$	2,11	2,09	2,10
Penyerapan air (Absorption)	$((Bj-Bk)/Bk) \times 100\%$	0,03	0,02	0,03

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk *agregat* halus didapatkan nilai rata-rata bahwa berat jenis *bulk* adalah 1,99 gram, berat jenis kering permukaan (SSD) adalah 2,04 gram, berat jenis semu (*Apparent*) adalah 2,10 gram dan nilai rata-rata persentase absorpsi *agregat* halus sebesar 0,03%. Nilai ini memenuhi spesifikasi nilai berat jenis yang ditetapkan yakni 1,4 – 2,2 gram.

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Keterangan		A	B	Rata-rata
Berat benda uji kering oven (Bk)	gram	1000	1000	1000
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	gram	1100	1075	1087,5
Berat benda uji didalam air (Ba)	gram	645	646	645,5
Berat Jenis (Bulk)	Bk/(Bj-Ba)	2,20	2,3	2,2
Berat jenis kering permukaan (SSD)	Bj/(Bj-Ba)	2,42	2,51	2,46
Berat jenis semu (Apparent)	Bk/(Bk-Ba)	2,82	2,82	2,82
Penyerapan air (Absorption)	((Bj-Bk)/Bk)x100%	0,10	0,08	0,09

Dari hasil pengujian *agregat* kasar, diperoleh nilai rata-rata sebagai berikut: berat jenis bulk 2,2 gram, berat jenis kering permukaan jenuh 2,46 gram, berat jenis semu 2,82 gram, dan persentase penyerapan air 0,09%. Semua nilai ini memenuhi spesifikasi berat jenis yang ditetapkan, yaitu 1,8 – 2,2 gram.

- Hasil Pengujian Kadar Air Agregat

Tabel 5. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

No	Keterangan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Berat talam + contoh basah	gram	111,48	111,48
2	Berat talam + contoh kering	gram	106,78	107,74
3	Berat air = 1 - 2	gram	4,7	3,74
4	Berat talam	gram	11,48	11,48
5	Berat contoh kering = 2 - 4	gram	95,3	96,26
6	Kadar air = 3 : 5	%	0,05	0,04
Kadar air rata-rata			0,04	

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)

Pengujian kadar air *agregat* halus dilakukan dengan dua sampel contoh, dengan kadar air sampel pertama sebesar 0,05% dan sampel kedua 0,04% dan didapat nilai rata-rata kadar air *agregat* halus sebesar 0,04%. Persentase kadar air pada *agregat* halus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 1971-2011 yaitu tidak boleh berbeda lebih dari 0,79%.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

No	Keterangan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Berat talam + contoh basah	gram	111,48	111,48
2	Berat talam + contoh kering	gram	110,93	110,86
3	Berat air = 1 - 2	gram	0,55	0,62
4	Berat talam	gram	11,48	11,48
5	Berat contoh kering = 2 - 4	gram	99,45	99,38
6	Kadar air = 3 : 5	%	0,01	0,01
Kadar air rata-rata			0,01	

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Pengujian kadar air *agregat* kasar dilakukan dengan dua sampel contoh, dengan kadar air sampel pertama sebesar 0,01% dan sampel kedua 0,01% dan didapat nilai rata-rata kadar air *agregat* halus sebesar 0,01%. Persentase kadar air pada *agregat* kasar memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 1971-2011 yaitu tidak boleh berbeda lebih dari 0,79%.

Tabel 7. Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

No	Pemeriksaan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Volume penakar	cm ³	3197	3197
2	Berat penakar	gram	7145	7175
3	Berat penakar + benda uji	gram	12985	13045
4	Berat benda uji = 3 - 2	gram	5840	5870
5	Berat volume = 4 : 1	gram/cm ³	1,83	1,84
Berat volume rata-rata			1,83	

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Tabel 8. Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

No	Pemeriksaan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Volume penakar	cm ³	3197	3197
2	Berat penakar	gram	7145	7175
3	Berat penakar + benda uji	gram	12210	12210
4	Berat benda uji = 3 - 2	gram	5065	5035
5	Berat volume = 4 : 1	gram/cm ³	1,58	1,57
Berat volume rata-rata			1,58	

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Tabel 9. Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus

No	Pemeriksaan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Volume penakar	cm ³	3197	3197
2	Berat penakar	gram	7145	7175
3	Berat penakar + benda uji	gram	12210	12315
4	Berat benda uji = 3 - 2	gram	5065	5140
5	Berat volume = 4 : 1	gram/cm ³	1,58	1,61
Berat volume rata-rata			1,60	

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Tabel 10. Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Kasar

No	Pemeriksaan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Volume penakar	cm ³	3197	3197
2	Berat penakar	gram	7145	7175
3	Berat penakar + benda uji	gram	11865	11810
4	Berat benda uji = 3 - 2	gram	4720	4635
5	Berat volume = 4 : 1	gram/cm ³	1,48	1,45
Berat volume rata-rata			1,46	

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Pengujian berat isi agregat pada kondisi padat dan lepas didapatkan hasil pada kondisi padat *agregat* halus sebesar 1,83 gram/cm³ dan berat isi *agregat* kasar sebesar 1,58 gram/cm³, sedangkan pada kondisi lepas *agregat* halus sebesar 1,60 gram/cm³ dan berat isi *agregat* kasar 1,46 gram/cm³. Berat volume pada kondisi padat lebih berat dibandingkan pada kondisi gembur hal ini dikarenakan dalam kondisi padat menggunakan metode penumbukan sehingga *agregat* mengisi ruang kosong dalam wadah lebih rapat dan padat. Sedangkan pada kondisi lepas hanya memasukan *agregat* kedalam wadah sehingga masih ada kemungkinan wadah tersebut memiliki ruang kosong yang tidak terisi.

Tabel 11. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

No	Keterangan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Berat Agregat Kering (Awal) + Cawan	gram	1075	1075
2	Berat Agregat Kering (Akhir) + Cawan	gram	980	970
3	Berat Cawan	gram	75	75
4	Berat Agregat Kering (Awal)	gram	1000	1000
5	Berat Agregat Kering (Akhir)	gram	905	895
6	Kadar Lumpur	%	0,10	0,11
Kadar lumpur rata-rata			0,10	

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Kadar lumpur *agregat* normal yang diijinkan SNI S 04-1989 untuk *agregat* halus adalah maksimal 5% sedangkan pasir yang digunakan pada pengujian ini mengandung kadar lumpur sebesar 0,10 %.

Tabel 12. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

No	Keterangan	Satuan	Benda Uji	
			A	B
1	Berat Agregat Kering (Awal) + Cawan	Gram	1075	1075
2	Berat Agregat Kering (Akhir) + Cawan	Gram	1070	1070
3	Berat Cawan	Gram	75	75
4	Berat Agregat Kering (Awal)	Gram	1000	1000
5	Berat Agregat Kering (Akhir)	Gram	995	995
6	Kadar Lumpur	%	0,05	0,05
Kadar lumpur rata-rata			0,05	

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Kadar lumpur *agregat* normal yang diijinkan SNI

S 04-1989 untuk *agregat* kasar adalah maksimal 2% sedangkan split yang digunakan pada pengujian ini mengandung kadar lumpur sebesar 0,05%.

2. Hasil Pembuatan Rencana Campuran Beton (*Mix Design*)

Tabel 13. Hasil *Mix Design* Campuran Beton

No	Uraian	Tabel/Grafik/Perhitungan	Hasil	Keterangan/Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder/kubus)	Ditetapkan	20	Mpa pada 28 hari Bagian cacat 5 persen, $k=1,64$
2	Deviasi Standar	Butir 4.3.2.1.1.(2 tabel 1)	7	Mpa atau tanpa data
3	Nilai tambah (margin)	Butir 4.2.3.1.2)	12	$1,64 \times 7 = 11,48$ Mpa ≈ 12 Mpa
4	Kekuatan rata rata yang ditargetkan	Butir 4.2.3.1.3)	32	$20 + 12 = 32$ Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Semen Tipe I	Ditetapkan
6	Jenis Agregat			
- Kasar			Batu Pecah	Ditetapkan
- Halus			Pasir (alami)	Ditetapkan
7	Faktor air bebas	Tabel 2 Grafik 1 atau 2	0,5	Ambil nilai terendah
8	Faktor air semen maksimum	Butir 4.2.3.2.2)	0,6	
9	Slump	Ditetapkan Butir 4.2.3.4	60 - 180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan Butir 4.2.3.5	20	mm
11	Kadar air bebas	Tabel 3 Butir 4.2.3.5	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	11 : 8 atau 7	410	kg/m ³
13	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	-	kg/m ³
14	Jumlah semen minimum	Butir 4.2.3.2 Tabel 4.5.6	275	kg/m ³ (pakai bila lebih besar dari 12, lalu hitung 15)
15	Faktor air semen yang disesuaikan	-	0,49	
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6	Gradasi	Daerah gradasi susunan butir 1
17	susunan agregat kasar atau gabungan	Grafik 7,8,9 atau Tabel 7		
18	Persen agregat halus	Grafik 10, 11, 12	43	persen
19	Berat jenis relative, agregat (kering permukaan)	Grafik 13 s/d 15 atau perhitungan	2,27	
20	Berat isi beton	Grafik 16	2362	kg/m ³
21	Kadar agregat gabungan	20 - 12 - 11	1747,1	kg/m ³
22	Kadar agregat halus	21 x 18	751,25	kg/m ³
0%			1747,1 x 43,000% =	751,25
1%			1747,1 x 42,999% =	743,74
2%			1747,1 x 42,998% =	736,38
3%			1747,1 x 42,997% =	729,16
4%			1747,1 x 42,996% =	722,09
23	Kadar agregat kasar	21 - 22	995,85	kg/m ³
24	Proporsi campuran			
		Semen (kg)	Air (kg/l)	Agregat Halus (kg)
0%		410	205	751,25
1%		410	205	743,74
2%		410	205	736,38
3%		410	205	729,16
4%		410	205	722,09
				Agregat Kasar (kg)
				0
				7,51
				14,87
				22,09
				29,17

Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil Universitas Galuh (2024)*

Tabel 14. Kebutuhan Bahan Seluruh Sampel

Jenis Campuran Beton	Volume Bekisting (m ³)	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Kaca (kg)
0%	0,016	6,52	3,26	11,94	15,83	0,00
1%	0,016	6,52	3,26	11,83	15,83	0,12
2%	0,016	6,52	3,26	11,71	15,83	0,24
3%	0,016	6,52	3,26	11,59	15,83	0,35
4%	0,016	6,52	3,26	11,48	15,83	0,46
Jumlah		32,60	13,04	47,07	63,34	1,17

Sumber : *Hasil Job Mix Design (2024)*

Berdasarkan hasil pengujian bahan di laboratorium dan perhitungan *Job Mix Design* maka kebutuhan bahan per meter kubik (m³) untuk seluruh sampel pada penelian ini untuk semen sebanyak 32,60 kg/m³, kebutuhan air sebanyak 13,04 kg/m³, kebutuhan agregat halus sebanyak 47,07 kg/m³, kebutuhan agregat kasar sebanyak 63,34 kg/m³ dan kebutuhan serbuk kaca sebanyak 1,17 kg/m.

3. Hasil Pengujian *Slump Test*

Tabel 15. Kebutuhan Bahan Seluruh Sampel

Volume 2 No. 2 Agustus 2025						
Universitas Galuh						

Campuran	Keterangan	Nilai Slump (cm)
0%	Beton normal	12
1%	Beton dengan tambahan serbuk kaca 1 %	15
2%	Beton dengan tambahan serbuk kaca 2 %	13
3%	Beton dengan tambahan serbuk kaca 3 %	14
4%	Beton dengan tambahan serbuk kaca 4 %	12
Rata-rata		14

Sumber : *Hasil Job Mix Design (2024)*

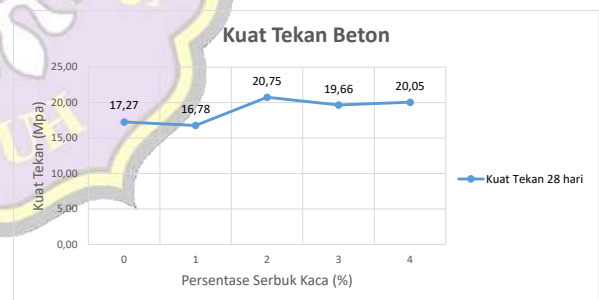
Nilai *slump* yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 60-180 mm. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai *slump* 140 mm. Nilai *slump* hasil pengujian berada dalam rentang nilai *slump* yang direncanakan dan masuk syarat spesifikasi yang ditetapkan SNI 2834-2000.

4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 16. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Nomor Benda Uji	Umur (Hari)	Massa Benda Uji	Dimensi L (mm)	D (mm)	Luas Bidang	Gaya Tekan	Kuat Tekan 21 Hari	Kuat Tekan 28 Hari
0%	21	12,090	300	150	17671,46	300	16,98	17,87
		12,410				290	16,41	17,27
		12,20				280	15,84	16,68
		Rata-rata				290,00	16,41	17,27
1%	21	12,465	300	150	17671,46	285	16,13	16,98
		12,260				270	15,28	16,08
		12,320				290	16,41	17,27
		Rata-rata				281,67	15,94	16,78
2%	21	12,95	300	150	17671,46	350	19,81	20,85
		12,055				350	19,81	20,85
		12,280				345	19,52	20,55
		Rata-rata				348,33	19,71	20,75
3%	21	12,09	300	150	17671,46	300	16,98	17,87
		12,53				390	22,07	23,23
		12,42				300	16,98	17,87
		Rata-rata				330,00	18,67	19,66
4%	21	12,395	300	150	17671,46	350	19,81	20,85
		12,76				340	19,24	20,25
		12,45				320	18,11	19,06
		Rata-rata				336,67	19,05	20,05

Sumber : *Hasil Job Mix Design (2024)*



Sumber : *Data primer yang sudah diolah, 2024*

Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan tabel 4.16 dan gambar 4 diatas penggunaan serbuk kaca sebagai bahan tambah agregegat halus berpengaruh pada nilai kuat tekan. Beton tanpa tambahan serbuk kaca (0%) memiliki kuat tekan 17,27 MPa. Penambahan 1% serbuk kaca justru menyebabkan penurunan kekuatan tekan menjadi 16,78 MPa. Penambahan 2% serbuk kaca, kekuatan tekan melonjak hingga 20,75 MPa, menandai peningkatan substansial sebesar 16,12% dibanding beton normal. Ini menunjukkan adanya titik optimal dalam penggunaan serbuk kaca. Penambahan 3% dan 4% serbuk kaca juga meningkatkan kekuatan

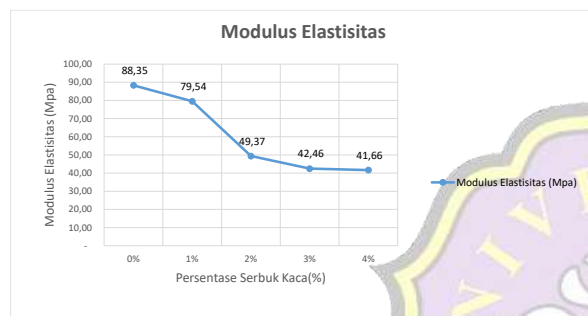
dibanding beton normal, meskipun sedikit lebih rendah dari pencapaian 2%. Kuat tekan untuk 3% dan 4% serbuk kaca masing-masing mencapai 19,66 MPa dan 20,05 MPa. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk kaca di atas 1% secara konsisten meningkatkan kuat tekan beton, dengan efek optimal pada 2%.

5. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Tabel 17. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

(%) Kaca	Pmin	Luas Penampang (mm ²)	Tinggi Alat Ukur (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan	Modulus Elastisitas (Mpa)
0%	100	17671,46	195	5,66	6,E-02	88,35
1%	60	17671,46	195	3,40	4,E-02	79,54
2%	120	17671,46	195	6,79	1,E-01	49,37
3%	100	17671,46	195	5,66	1,E-01	42,46
4%	100	17671,46	195	5,66	1,E-01	41,66

Sumber : Hasil Job Mix Design (2024)



Sumber : Data primer yang sudah diolah, 2024

Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Selanjutnya adalah membandingkan nilai modulus elastisitas aktual dengan nilai modulus elastisitas teoritis beton normal:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \text{ (Mpa)}$$

Dimana f_c' adalah besar kuat tekan rata-rata yang terjadi pada beton umur 28 hari. Perbandingan nilai modulus elastisitas dapat ditentukan sebagai berikut:

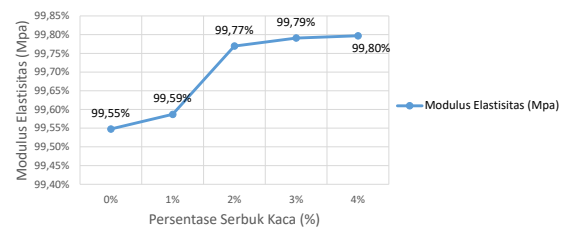
$$\text{penurunan} = \frac{\text{teoritis} - \text{aktual}}{\text{teoritis}} \times 100\%$$

Tabel 18. Hasil Perhitungan Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Beton

Variasi Kaca (%)	Kuat Tekan (Mpa)	Dial (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan	Modulus Elastisitas (MPa)		% Penurunan
					Aktual	Teoritis	
0%	17,27	12,50	5,66	6,E-02	88,35	19.534,35	99,55%
1%	16,78	8,33	3,40	4,E-02	79,54	19.251,63	99,59%
2%	20,75	26,83	6,79	1,E-01	49,37	21.409,05	99,77%
3%	18,67	26,00	5,66	1,E-01	42,46	20.310,41	99,79%
4%	19,05	26,50	5,66	1,E-01	41,66	20.514,54	99,80%

Sumber : Hasil Job Mix Design (2024)

Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Terhadap Penurunan Modulus Elastisitas Beton



Sumber : Data primer yang sudah diolah, 2024

Gambar 6. Grafik Hasil Perbandingan Modulus Elastisitas Aktual dan Teoritis

Analisis menunjukkan variasi modulus elastisitas beton dengan penambahan serbuk kaca. Penambahan serbuk kaca dalam campuran beton menunjukkan pengaruh positif terhadap modulus elastisitas beton. Grafik memperlihatkan peningkatan modulus elastisitas dari 99,55% tanpa serbuk kaca hingga mencapai puncak 99,79% pada penambahan 3% serbuk kaca.

Peningkatan paling signifikan terjadi saat penambahan serbuk kaca dari 1% ke 2%, dengan kenaikan dari 99,59% menjadi 99,77%. Setelah itu, peningkatan melambat dan cenderung stabil. Menariknya, pada penambahan 4% serbuk kaca, terjadi sedikit penurunan menjadi 99,80%. Meski peningkatan total relatif kecil (hanya 0,25%), data ini menunjukkan bahwa serbuk kaca berpotensi meningkatkan kekakuan dan ketahanan beton terhadap deformasi elastis. Penambahan optimal tampaknya berada pada rentang 2-3%. Kesimpulannya, penambahan serbuk kaca memberikan efek positif pada modulus elastisitas beton, namun perlu penelitian lebih lanjut untuk menentukan signifikansi praktisnya dalam aplikasi konstruksi nyata.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian, Penambahan serbuk kaca mempengaruhi kuat tekan beton secara signifikan. Beton tanpa serbuk kaca memiliki kuat tekan 17,27 Mpa. Penambahan 1% serbuk kaca menyebabkan penurunan kuat tekan menjadi 10,82 Mpa, sedangkan penambahan 2% meningkatkan kuat tekan hingga 20,75 Mpa, yang merupakan

peningkatan optimal. Penambahan 3% dan 4% serbuk kaca juga meningkatkan kuat tekan beton di bandingkan beton normal, dengan masing-masing mencapai 19,66 Mpa dan 20,05 Mpa, namun sedikit lebih rendah dibandingkan 2%. Hal ini menunjukkan bahwa 2% serbuk kaca adalah konsentrasi optimal untuk meningkatkan kuat tekan beton.

2. Penambahan serbuk kaca juga memodifikasi modulus elastisitas beton. Beton tanpa serbuk kaca memiliki modulus elastisitas 2.353,373 MPa. Penambahan 1% serbuk kaca menurunkan nilai ini menjadi 1.811,535 MPa. Namun, peningkatan signifikan terjadi pada 2% dan 3% serbuk kaca, dengan modulus elastisitas masing-masing sebesar 2.915,921 MPa dan 2.924,670 MPa. Penambahan 4% serbuk kaca sedikit menurunkan modulus elastisitas menjadi 2.879,571 MPa. Secara keseluruhan, penambahan serbuk kaca dalam kisaran 2-3% menunjukkan potensi optimal untuk meningkatkan modulus elastisitas beton, sementara penurunan signifikan pada 1% mengindikasikan kompleksitas interaksi antara serbuk kaca dan matriks beton yang memerlukan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arkis, Z. (2020). Pengaruh metode perawatan beton terhadap kuat tekan beton normal. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 7(2). 5.5 Arvian Angga Baktiar, 2021. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lamongan, Lamongan. Dengan judul Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Struktural.
- ASTM C 469 *Standard Test Method For Statis Modulus od Elasrticity and Poisson`s Ratio of Concrete in Compression*
- Mulyono, B., Wariyatno, N.G. (2011). Seminar Nasional Unsoed. Kajian Metode Perawatan Beton Di Lapangan Secara Eksperimental Dengan Variasi Lama Perawatan Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. Puwokerto.
- Persyaratam Umum – Bahan Bangunan di Indonesia (PUB I - 1982)
- SNI 1968-1990. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar.
- SNI 1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- SNI 1969-1990. Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
- SNI 031971-1990. Metode Pengujian Kadar Air Agregat.
- SNI 4804-1998. Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat.
- SNI 4142-1996. Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)
- SNI 2417-2008. Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
- SNI 2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
- SNI 1972-1990. Metode Pengujian Slump Beton.
- SNI 2493-2011. Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Bemda Uji Beton di Laboratorium.
- SNI 1974-1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- SNI 2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
- SNI 2049-2015. Semen Portland.
- Surat Edaran Dirjen Bina Marga No. 16.1/SE/Db/2020. Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2).
- Tjokrodimulyo, K. 1996. Teknologi Beton. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.