

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

Data hasil pengujian agregat kasar, agregat halus, dan abu terbang disajikan sesuai dengan standar yang sudah ditentukan. Untuk menjamin keakuratan dan keandalan data yang dikumpulkan, temuan pengujian diteliti dengan cermat sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

4.1.1 Hasil Uji Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam riset ini diperoleh dari PT Solusi Bangun Beton di Cigudeg, Bogor. Berdasarkan standar yang telah ditetapkan, pengujian dijalankannya di laboratorium PT Jaya Beton Indonesia.

4.1.1.1 Uji Berat Jenis Agregat Kasar

Data hasil pengujian berat jenis agregat kasar, yang dilakukan dengan menggunakan standar SNI 03-1969-2008, ditunjukkan tabel di bawah ini. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis agregat kasar yang akan digunakan dalam penelitian.

Tabel 4. 1 Uji Berat Jenis Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat keranjang (A)	gr	527.00	527.00
2.	Berat sample dan keranjang (B)	gr	2527.00	2527.00
3.	Berat sample (C=B-A)	gr	2000.00	2000.00
4.	Berat keranjang dalam air (D)	gr	365.00	365.00
5.	Berat sample dan keranjang dalam air (E)	gr	1575.50	1583.00
6.	Berat sample dalam air (F=E-D)	gr	1210.50	1218.00
7.	Berat jenis (G=C/(C-F))		2.53	2.56
8.	Selisih			0.02
9.	Rata - rata			2.55

Berat jenis rata-rata 2,55 ditemukan ketika agregat kasar diuji. Menurut standari yang mengutipi SNI 03-1969-2008, berat jenis agregat kasar harus minimal 2,5 gram. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa sampel yang diperiksa memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

4.1.1.2 Uji Daya Serap Agregat Kasar

Uji daya serap air agregat kasar dilaksanakan dengan menggunakan standar pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang ditetapkan dalam SNI 03-1969-2008. Tabel 4.2 menampilkan hasil pengujian.

Tabel 4. 2 Uji Daya Serap Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat pan (A)	gr	1286.00	1252.00
2.	Berat sample dan pan (B)	gr	3286.00	3252.00
3.	Berat Sample (C=B-A)	gr	2000.00	2000.00
4.	Berat Sample Kering (D)	gr	1943.80	1944.80
5.	Daya Serap air (E=(C-D)/D)	%	2.84	2.79
6.	Selisih			0.05
7.	Rata-rata			2.81

Hasilnya menyatakan apabila rata-rata daya serap air agregat kasar adalah 2,81 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa penyerapan air agregat kasar memenuhi persyaratan standar SNI 03-1969-2008. yang menetapkan bahwa persentase penyerapan air tak boleh melebihi batas maksimum 3 persen.

4.1.1.3 Analisis Saringan Agregat Kasar

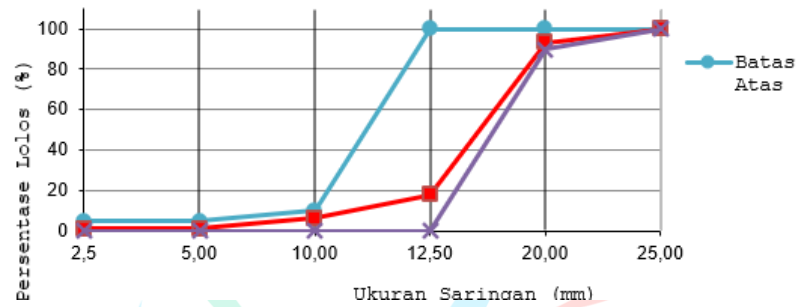
Standar SNI 03-1968-1990, yang mengatur analisis saringan untuk agregat kasar dan halus, menjadi dasar untuk analisis saringan agregat kasar yang dilakukan dalam penelitian ini. Tabel 4.3 menampilkan data hasil pengujian saringan.

Tabel 4. 3 Analisis Saringan Agregat Kasar

Uk. Saringan (mm)	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Lolos (%)	Spesifikasi (%)	
	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)				Min	Max
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
20	123.00	6.15	142.00	7.10	6.63	6.63	93.38	90.00	100.00
12.7	1489.00	74.45	1524.00	76.20	75.33	81.95	18.05	0.00	100.00
10	254.00	12.70	212.00	10.60	11.65	93.60	6.40	0.00	10.00
5	112.00	5.60	99.00	4.95	5.28	98.88	1.13	0.00	5.00
2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13	0.00	5.00
1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		

Uk. Saringan	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan	Kumulatif Persentase Tertahan	Kumulatif Persentase Lolos	Spesifikasi (%)	
	Berat Tertahan	Persentase Tertahan	Berat Tertahan	Persentase Tertahan				Min	Max
(mm)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)		
0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		
Pan	22.00	1.10	23.00	1.15	1.13	100.00	0.00		
Total	2000.00		2000.00						
FM						7.75			

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai modulus kehalusan sebesar 7.75. Menurut evaluasi ini, agregat kasar dengan modulus kehalusan tersebut dianggap tidak memenuhi standar yang ditetapkan dalam Konstruksi SNI S-04-1989 F, yang mengharuskan nilai modulus kehalusan ada pada kisaran 6.0 hingga 7.1. Maka dilaksanakan analisis gradasi saringan agregat kasar sesuai data pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4. 1 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar

Letak garis % yang melewati agregat kasar yang terletak di antara garis batas atas garis biru dan garis batas bawah garis ungu menunjukkan hal tersebut.

4.1.1.4 Uji Berat Isi Agregat Kasar

Berat isi agregat kasar dievaluasi menggunakan standar SNI 03-4804-1998, yang mengatur perihal pengujian berat isi agregat untuk pengujian rongga udara. Hasil pengujian berat isi ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Uji Berat Isi Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	cm ³	2002.00	2002.00
2.	Berat container (B)	gr	787.00	787.00
3.	Berat sample dan container (C)	gr	36875.00	3730.00
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2888.00	2943.00
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1.44	1.47
6.	Selisih		0.03	
7.	Rata - rata (F)		1.46	
8.	Berat jenis (G)		2.55	
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)		57.21	

Nilai rata-rata 1,46 gr/cm³ ditunjukkan oleh hasil pengujian berat isi agregat kasar. Persyaratan SNI 03-4804-1998 menjadi dasar dari hasil ini. Minimum sebesar 1,41 gr/cm³ dari persyaratan.

4.1.1.5 Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar

Standar SNI 03-4142-1996, yang berhubungan dengan pengukuran jumlah material dalam agregat, diikuti ketika menentukan kadar lumpur agregat kasar. menampilkan data dari hasil pengujian kandungan lumpur.

Tabel 4. 5 Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum dicuci (A)	gr	2000.00	2000.00
2.	Berat kering material sesudah dicuci (B)	gr	1984.00	1980.30
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm (C=((A-B)/A)x100%)	%	0.79	0.99
4.	Selisih		0.20	
5.	Rata - rata		0.89	

Setelah pengujian, kandungan lumpur rata-rata agregat kasar adalah 0,89. SNI 03-4142-1996, yang menetapkan bahwa kandungan lumpur agregat kasar harus kurang dari 1%, telah terpenuhi dengan hasil ini.

4.1.1.6 Hasil Uji Keausan Agregat Kasar

SNI 2417-2008, penggunaan mesin abrasi (Los Angeles) untuk mengevaluasi keausan agregat, uji analisis keausan agregat kasar dilakukan. Tabel 4.6 menampilkan hasil pengujian keausan agregat kasar.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Keausan Agregat Kasar

Ukuran saringan (mm)		Sample I	Sample II
Lolos	Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)
76.2	63.5		
63.5	50.8		
50.8	36.1		
36.1	25.4		
25.4	19.1		
19.1	12.7	2500	2500
12.7	9.52	2500	2500
9.52	6.35		
6.35	4.75		
4.75	2.36		
Jumlah Putaran		500	500
Jumlah Bola Baja		11	11
Jumlah Berat (gram) (a)		5000	5000
Berat tertahan saringan no 12 sesudah percobaan (gram) (b)		3921	4012
Keausan (%) = $\frac{a}{b} \times 100 \%$		21.58	19.76
Selisih sample I & II		1.82	
Rata-rata Keausan (%)		20.67	

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel 4.6, nilai rata-rata tingkat keausan agregat adalah 20.67%. Hasil ini memperlihatkan bahwa agregat itu masih berada dalam batas ketetapan yang diatur oleh standar SNI 2417-2008, yang memperbolehkan tingkat keausan maksimum hingga 40%. Dengan demikian, agregat ini layak untuk digunakan dalam proyek konstruksi.

4.1.2 Hasil Uji Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam riset ini diperoleh dari PT Solusi Bangun Beton di Cigudeg, Bogor. Berdasarkan standar yang telah ditetapkan, pengujian dijalankannya di laboratorium PT Jaya Beton Indonesia.

4.1.2.1 Uji Berat Agregat Halus

Standar SNI 3-1970-1990, yang mengatur proses untuk menilai berat jenis dan penyerapan air agregat halus, digunakan dalam penelitian ini untuk

mengevaluasi berat jenis agregat halus. Tabel 4.7 menampilkan informasi berat jenis agregat halus yang relevan dengan penyelidikan ini.

Tabel 4. 7 Uji Berat Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Nomor flash		1	2
2.	Berat flash (A)	gr	141.00	224.00
3.	Berat sample dan flask (B)	gr	641.00	724.00
4.	Berat sample (C=B-A)	gr	500.00	500.00
5.	Berat flask, sample, dan air (D)	gr	944.60	1025.70
6.	Berat air (E=D-B)	gr	303.60	301.70
7.	Berat Jenis (F=C/(C-E))		2.55	2.52
8.	Selisih			0.02
9.	Rata - rata			2.53

Pengujian yang dilakukan menghasilkan berat jenis rata-rata 2,53 untuk agregat halus. Persyaratan standar SNI 3-1970-1990 terpenuhi dengan hasil ini, yang berarti bahwa agregat halus dapat digunakan selama nilai berat jenisnya lebih tinggi dari batas minimum.

4.1.2.2 Uji Daya Serap Air Pada Agregat Halus

SNI 3-1970-1990, yaitu membahas proses pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, penelitian ini terdiri dari pengujian penyerapan air agregat halus. Tabel 4.8 menampilkan hasil spesifik dari pengujian penyerapan air yang dilakukan pada agregat halus.

Tabel 4. 8 Uji Daya Serap Air Pada Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1	Berat pan (A)	gr	1247.90	654.00
2	Berat sample dan pan (B)	gr	2247.90	1654.00
3	Berat sample (C=B-A)	gr	1000.00	1000.00
4	Berat sample kering (D)	gr	972.40	971.90
5	Daya serap air (E=(C-D)/D)	%	2.84	2.89
6	Selisih			0.05
7	Rata - rata			2.86

Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus memiliki potensi yang cukup besar untuk menyerap air. Dari kondisi kering mutlak hingga kondisi kering permukaan, persentase rata-rata penyerapan air agregat halus adalah 2,86%. Secara keseluruhan, tingkat penyerapan air dari agregat halus tidak melebihi batas maksimum 3%, sehingga memenuhi kriteria SNI 3-1970-1990.

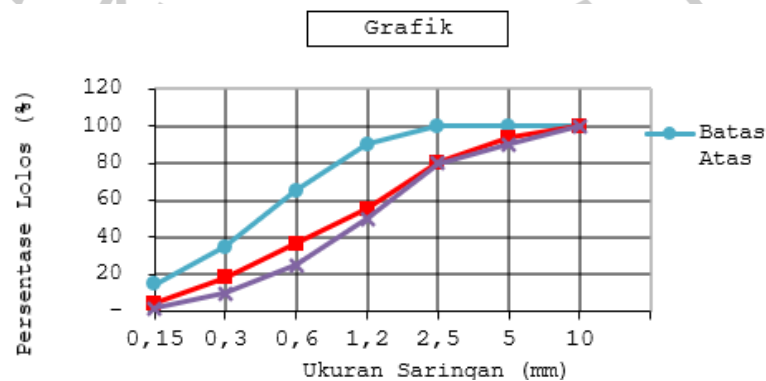
4.1.2.3 Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan telah dilakukan pada agregat halus sesuai dengan (SNI) 03-1968-1990, yang mengatur analisa saringan untuk agregat kasar dan halus. Hasil pengujian analisis saringan ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Analisis Saringan Agregat Halus

Ukuran Ayakan (mm)	Percobaan 1		Percobaan 2		Rata-Rata Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Lolos (%)
	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)			
10	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
5	25.0	2.50	101.00	10.10	6.30	6.30	93.70
2.5	144.0	14.40	120.00	12.00	13.20	19.50	80.50
1.2	321.0	32.10	185.00	18.50	25.30	44.80	55.20
0.6	115.0	11.50	254.00	25.40	18.45	63.25	36.75
0.3	203.0	20.30	164.00	16.40	18.35	81.60	18.40
0.15	127.0	12.70	150.00	15.00	13.85	95.45	4.55
Pan	65.00	6.50	26.00	2.60	4.55	100.00	0.00
Total	1000.00		100.00	1000.00	100.00		
FM						3.11	

Berdasarkan hasil pengujian. Karena agregat halus dengan modulus kehalusan 3,11 memenuhi standar SK SNI S-04-1989 F, yang mengamankan nilai modulus kehalusan 1,5 sampai 3,8, maka agregat halus tersebut termasuk baik dan memenuhi persyaratan untuk bahan konstruksi.



Gambar 4. 2 Grafik Analisis Agregat Halus

Grafik analisis agregat halus yang disajikan menunjukkan bahwa gradasi material memenuhi standar yang disyaratkan.

4.1.2.4 Uji Berat Isi Agregat Halus

(SNI) 03-4804-1998, yaitu membahas proses pengujian berat isi dan rongga udara pada agregat, ketika melakukan pengujian berat isi pada agregat kasar. Tabel 4.10 berisi dokumentasi hasil pengujian berat isi.

Tabel 4. 10 Uji Berat Isi Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	cm ³	2002.00	2002.00
2.	Berat container (B)	gr	788.00	788.00
3.	Berat sample dan container (C)	gr	3694.00	3723.80
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2906.50	2935.80
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1.45	1.47
6.	Selisih			0.01
7.	Rata – rata			1.46
8.	Berat Jenis (G)			2.53
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			57.59

Berat isi rata-rata sebesar 1,46 gr/cm³ ditemukan berdasarkan hasil pengujian berat isi agregat kasar. Angka ini di atas ambang batas minimum 1,4 gr/cm³ dan sesuai dengan spesifikasi yang diuraikan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4804-1998.

4.1.2.5 Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4142-1996, yang mengatur tata cara penentuan jumlah material dalam agregat, digunakan untuk menguji kandungan lumpur pada agregat kasar. Tabel 4.11 menampilkan hasil pengujian kandungan lumpur.

Tabel 4. 11 Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum dicuci (A)	gr	1000.00	1000.00
2.	Berat kering material sesudah dicuci (B)	gr	965.60	970.10
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm (C=((A-B)/A)x100 %)	%	3.44	2.99
4.	Selisih			0.45
5.	Rata – rata			3.22

Kadar lumpur yang diperoleh rata-rata 3,22%. Batasan SNI 03-4142-1996 masih terpenuhi dengan nilai ini, yaitu di bawah 5%.

4.1.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Tabel 4.12 menampilkan hasil pengujian agregat kasar dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) -04-1989-F dan JIS A 5005.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Hasil Uji Agregat Kasar

No.	Percobaan	SNI	Hasil	Status
1	Berat Jenis	≥ 2.5	2.55	OK
2	Berat Isi	≥ 1.4	1.46	OK
3	Kadar Lumpur	≤ 1.0	0.89	OK
4	Daya Serap	≤ 3.0	2.81	OK
5	Keausan Agregat	≤ 40	20.67	OK

No.	Percobaan	SK SNI-04-1989-F	Hasil	Status
1	Modulus Halus	6.0-7.1	7.78	NOT OK

Tabel 4.13 menyajikan hasil pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) -04-1989-F dan JIS A 5004.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Uji Hasil Agregat Halus

No.	Percobaan	SNI	Hasil	Status
1	Berat Jenis	≥ 2.5	2.52	OK
2	Berat Isi	≥ 1.4	1.46	OK
3	Kadar Lumpur	≤ 7.0	3.22	OK
4	Daya Serap	≤ 3.0	2.86	OK

No.	Percobaan	SK SNI S-04-1989-F	Hasil	Status
1	Modulus Halus	1.5-3.8	3.11	OK

4.1.4 Hasil Pengujian Abu Terbang

XRF (X-ray Fluorescence) adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia dalam suatu material. Pengujian dengan menggunakan XRF memiliki beberapa keunggulan, antara lain kecepatan, akurasi, dan tidak merusak sampel, sehingga sangat berguna untuk analisis dalam penelitian dan farmasi. Dalam metode XRF, sinar-X dihasilkan oleh sumber radiasi, yang biasanya berasal dari tabung sinar-X, sinkrotron, atau material radioaktif. (Eko Agus. 2017).

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Serbuk Cangkang Telur Ayam

Compoun	Conc	Unit	Compoun	Conc	Unit	Compoun	Conc	Unit
Al	0.0496	%	Al ₂ O ₃	0.804	%	Al ₂ O ₃	0.804	%
Si	0.302	%	SiO ₂	0.552	%	SiO ₂	0.552	%
Cl	0.007	%	Cl	0.006	%	K ₂ O	0	%
K	0	%	K ₂ O	0	%	CaO	97.167	%
Ca	97.497	%	CaO	97.308	%	TiO ₂	0	%
Ti	0	%	Ti	0	%	Cr ₂ O ₃	0.034	%
Cr	0.035	%	Cr	0.023	%	MnO	0.05	%
Mn	0.059	%	Mn	0.039	%	Fe ₂ O ₃	0.268	%
Fe	0.287	%	Fe ₂ O ₃	0.268	%	SrO	0.048	%
Sr	0.063	%	Sr	0.041	%	ZrO ₂	0.001	%
Zr	0.001	%	Zr	0.001	%	Ag ₂ O	0.657	%
Ag	0.801	%	Ag	0.629	%	CdO	0	%
Cd	0	%	Cd	0	%	In ₂ O ₃	0.381	%
In	0.43	%	In	0.315	%	BaO	0.015	%
Ba	0.021	%	Ba	0.014	%	CeO ₂	0	%
Ce	0	%	Ce	0	%	Sm ₂ O ₃	0	%
Sm	0	%	Sm	0	%	Eu ₂ O ₃	0	%
Eu	0	%	Eu	0	%	Cl	0.006	%

Hasil karakterisasi serbuk cangkang telur ayam menggunakan alat XRF menunjukkan bahwa serbuk tersebut mengandung senyawa CaO sekitar $\pm 97,3\%$, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.14. Hal ini didukung oleh data kandungan unsur dalam serbuk tersebut yang menunjukkan jumlah CaO sebesar $\pm 97,5\%$. Bubuk cangkang telur ayam, seperti yang ditunjukkan oleh pengujian XRF, memiliki konsentrasi kalsium yang tinggi, baik sebagai oksida CaO maupun Ca. Beton dapat ditingkatkan kekuatannya dengan menambahkan kalsium oksida (CaO), baik dengan abu terbang atau semen. Penambahan kalsium oksida (CaO) diperlukan untuk mempercepat proses pengerasan dan meningkatkan kinerja beton karena abu terbang tipe F memiliki kandungan CaO yang rendah (Andi. & Liana. 2023).

4.1.5 Perancangan Campuran

4.1.5.1 Perancangan Beton Normal

Rincian mengenai ringkasan perhitungan yang digunakan untuk merancang campuran beton standar. Hal ini mengikuti standar SNI 03-2834-2000, yang mengatur proses pembuatan rencana beton standar. Tabel 4.15 menampilkan temuan perhitungan yang digunakan dalam investigasi ini.

Tabel 4. 15 Perancangan Beton Normal

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat Tekan Rencana Dalam 28 Hari	25	MPa
2	Deviasi Standar	7	MPa
3	Nilai Tambah	11.48	MPa
4	Kekuatan Rata-rata yang ditargetkan	36.48	MPa
5	Jenis Semen	PCC	
6	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
8	Faktor Air Semen Bebas	0.51	
9	Slump	30 - 60	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	
11	Kebutuhan Air	196.70	
12	Kebutuhan Semen	362.33	kg/m ³
13	Berat Jenis Agregat Campuran	362.33	kg/m ³
14	Kebutuhan Agregat Kasar	1.187.39	kg
15	Kebutuhan Agregat Halus	651.58	kg

No.	Uraian	Nilai	Satuan
16	Berat Jenis Beton	2.398.00	kg

Kesimpulan					
Volume	Berat Total (kg)	Air (L)	Semen (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)
1 m ³	2.398.00	196.70	362.33	1.187.39	651.58

4.1.5.2 Perencanaan Campuran Beton Geopolimer

Tabel 4.15 Menampilkan ringkasan perhitungan perancangan campuran beton normal berdasar dari SNI 7657-2012 yang sudah diterapkan pada penelitian ini melalui perencanaan. $f'c = 25$ Mpa.

Langkah 1 – Rasio Semen dan Air Beralih ke Abu Terbang dan Aktivator Alkali

Tahap awal dalam membuat beton geopolimer adalah mengganti rasio abu terbang dan aktivator alkali dengan rasio semen dan air, setelah menentukan rasio campuran untuk beton biasa dalam 1 m³.

Langkah 2 – Rasio Abu Terbang Dan Alkali Aktivator Adalah 2 : 1

Rasio antara alkali aktivator serta abu terbang ialah 1 : 2, dan hasil perhitungan tertera di bawah ini.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Perbandingan abu terbang dan Alkali Aktivator

Rekapitulasi Perbandingan Alkali Aktivator dan Abu Terbang				
Berat Total (kg)	Abu Terbang (kg)	Alkali Aktivator (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)
2404.80	362.33	181.165	1.187.39	651.58

Langkah 3 – Rasio Sodium Silikat (*waterglass*) Dan Sodium Hidroksida Adalah 3 : 1

Tahap berikutnya merupakan membagi rasio aktivator alkali menjadi 1 dan 3, dengan rasio 1 untuk natrium hidroksida dan 3 untuk natrium silikat. dan berikut ini adalah hasil perhitungannya :

Tabel 4. 17 Hasil Perbandingan Rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida

Hasil Perbandingan Rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida					
Berat Total	Abu Terbang	NaOH	NA ₂ SiO ₃	Agregat Kasar	Agregat Halus
2404.80	362.33	45.29	135.87	1.187.39	651.58

Langkah 4 – Mempersiapkan Larutan Campuran NaOH

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH dengan molaritas 8 molar, beserta kebutuhan 1000 gram air dan NaOH. Perhitungan ini didasarkan pada rumus berikut:

$$NaOH = \frac{SH\ Solids}{1000} \times NaOH \dots\dots\dots(4.1)$$

$$Air = \frac{Water}{1000} \times NaOH \dots\dots\dots(4.2)$$

Tabel 4. 18 Kebutuhan Air dan NaOH per 1000 gram

Molarity	For Preparation 1 kg of SHS		
	SH Solids (gr)	Water (gr)	SHS (gr)
4	140	860	1000
6	200	800	1000
8	225	745	1000
12	354	646	1000
16	443	557	1000

Sehingga didapatkan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus dibawah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air} &= Air = \frac{Water}{1000} \times NaOH \\ &= \frac{745}{1000} \times 45.29 = 33.74 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan NaOH} &= NaOH = \frac{SH\ Solids}{1000} \times NaOH \\ &= \frac{225}{1000} \times 45.29 = 10.19 \end{aligned}$$

Selain itu, dalam mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai kebutuhan kandungan material beton geopolimer per meter kubik. Sebuah rangkuman komprehensif dibuat untuk memastikan komposisi bahan yang dibutuhkan

untuk mendapatkan rasio yang tepat. Tabel 4.19 mengilustrasikan langkah-langkah yang diperlukan untuk memastikan kinerja yang optimal dalam produksi beton geopolimer.

Tabel 4. 19 Rekapitulasi Beton Geopolimer per 1 m³ (8 Molar)

Rekapitulasi Beton Geopolimer per 1 m ³ (8 Molar)						
Berat total	Abu terbang	NA ₂ SiO ₃	NaOH	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus
2445.02	362.33	161.93	45.29	33.74	1166.75	590.32
		8 Molar	10,19			

Kebutuhan material per-cetakan silinder atau tabung dengan tinggi 20 cm. dengan diameter 10 cm. dihitung dengan menentukan volume silinder sebagai berikut:

$$\text{Volume Silinder} = 0.25 \times 3.14 \times 0.10^2 \times 0.2 = 0.00157 \text{ m}^3$$

Dihasilkan kebutuhan material per cetakan silinder yang tercantum pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Rekapitulasi kebutuhan per cetakan

Material	Kebutuhan Per Cetakan (Kg)
Agregat Halus	0.9268
Agregat Kasar	1.8318
Abu terbang	0.678
Na ₂ SiO ₃	0.2542
NaOH	0.021
Air	0.0631

4.1.6 Perhitungan Serbuk Cangkang Telur Ayam

Pada penelitian ini peneliti menggunakan perhitungan kebutuhan serbuk cangkang telur ayam dengan persentase 10%. 15%. 20%. dan 25% sebagai pengganti abu terbang. Sehingga didapatkan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

Jumlah serbuk cangkang telur ayam yang diperlukan untuk komposisi beton geopolimer dihitung dengan rumus berikut: abu terbang × persentase serbuk cangkang telur ayam. Tabel 4.21 menunjukkan hasil kebutuhan.

Tabel 4. 21 Kebutuhan Serbuk Cangkang Telur Ayam

serbuk cangkang telur ayam	Abu Terbang (kg)	Serbuk Cangkang Telur Ayam			
		Per Cetakan (kg)	Per 3 Cetakan (kg)	Per 6 Cetakan (kg)	Per 9 Cetakan (kg)
0%	0.678	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10%	0.612	0.0678	0.2034	0.4068	0.6102
15%	0.576	0.1017	0.3051	0.6102	0.9153
20%	0.543	0.1356	0.4068	0.8136	1.2204
25%	0.508	0.1695	0.5085	1.1017	1.4935
Kebutuhan Total		0.4746	1.4238	2.9323	4.2394

4.2 Hasil Analisis Data

Analisis berat jenis beton dan hasil uji kuat tekan beton, yang dilakukan dengan menggunakan standar yang berlaku saat ini, merupakan tujuan utama dari bagian ini. Investigasi ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai sifat-sifat beton yang diproduksi dan menjamin bahwa produk akhir mematuhi hukum yang relevan.

4.2.1 Uji Slump

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian slump sebelum mencetak adukan beton ke dalam silinder. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi *workability* beton geopolimer yang telah disiapkan untuk penelitian ini. Hasil pengujian slump dapat ditemukan dalam Tabel 4.23.

Tabel 4. 22 Hasil Uji Slump

Komposisi. GCESP (%)	Slump (cm)
0%	6
10%	4
15%	3
20%	3
25%	2

Dari hasil pengujian slump. Demikian nilai slump dalam campuran beton geopolimer berkecendrungan makin menurun. Penurunan nilai slump pada beton geopolimer akibat penambahan *Geopolymer Concrete Egg Shell Powder* (GCESP) disebabkan oleh beberapa faktor. GCESP memiliki sifat penyerap air yang tinggi, mempengaruhi workabilitas dan konsistensi campuran. Selain itu, reaksi pozolanik, perubahan viskositas, distribusi ukuran partikel, interaksi dengan aktivator alkali, perubahan rasio binder-agregat, dan efek pengisi juga berperan dalam mengurangi nilai slump pada beton geopolimer. Hasil ini juga sejalan pada penelitian (Sahendra, 2021) tentang penambahan serbuk cangkang telur pada beton normal, pada penelitian tersebut juga mengalami penurunan nilai *slump* pada persentase 2% sebesar 10 cm, 4% sebesar 7.3 cm, 6% sebesar 5.2%, 8% sebesar 41.7 cm, dan 10% sebesar 4 cm.



Gambar 4. 3 Pengujian Slump pada Beton Geopolimer

4.2.2 Hasil Berat Jenis Beton

Sebelum melakukan pengujian kuat tekan, beton perlu ditimbang terlebih dahulu. Proses penimbangan ini dilaksanakan untuk mendapatkan informasi terkait berat beton yang akan dipergunakan. Data berat beton yang tercatat pada Tabel 4.23 di bawah.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(4.3)$$

dengan :

ρ = berat jenis beton (kg/m³)

m = massa (kg)

V = volume (kg³)

- Contoh perhitungan :

$$M = 3.690 \text{ Kg. dan } V = 0.00157 \text{ Kg}^3$$

$$\rho = \frac{3.690}{0.00157}$$

$$\rho = 2350.32 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 4. 23 Hasil Berat Jenis Beton

Kode	Serbuk Cangkang Telur Ayam	Beton Geopolimer	Massa (Kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)		
GCESP 0	0%	Beton 7 Hari	3.690	0.00157	2350.32		
			3.692		2351.59		
			3.835		2442.68		
		Beton 14 Hari	3.631		2140.76		
			3.603		2294.90		
			3.641		2319.11		
		Beton 28 Hari	3.611		2300.00		
			3.641		2319.11		
			3.655		2328.03		
		GCESP 10	10 %		Beton 7 Hari	3.812	2428.03
						3.746	2385.99
						3.791	2414.65
Beton 14 Hari	3.663			2333.12			
	3.764			2397.45			
	3.621			2306.37			
Beton 28 Hari	3.599			2292.36			
	3.722			2370.70			
	3.485			2219.75			
GCESP 15	15 %			Beton 7 Hari	3.586	2284.08	
					3.663	2333.12	
					3.692	2351.59	
		Beton 14 Hari	3.697	2354.78			
			3.632	2313.38			
			3.601	2293.63			
		Beton 28 Hari	3.522	2243.31			
			3.494	2225.48			
			3.844	2448.41			
		GCESP 20	20 %	Beton 7 Hari	3.641	2319.11	
				Beton 7 Hari	3.526	2245.86	

Kode	Serbuk Cangkang Telur Ayam	Beton Geopolimer	Massa (Kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)
			3.718		2368.15
		Beton 14 Hari	3.406		2169.43
			3.684		2346.50
			3.751		2389.17
		Beton 28 Hari	3.701		2357.32
			3.621		2306.37
			3.648		2323.57
		Beton 7 Hari	3.656		2328.66
			3.598		2291.72
			3.661		2331.85
GCESP 25	25 %	Beton 14 Hari	3.494		2225.48
			3.629		2311.46
			3.526		2245.86
		Beton 28 Hari	3.583		2282.17
			3.596		2290.45
			3.541		2255.41

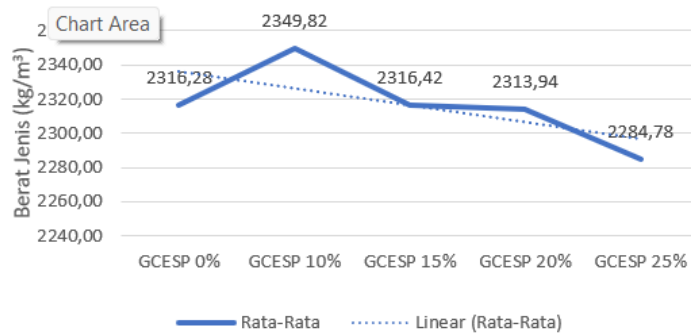
Dengan menganalisis hasil yang ada pada tabel tersebut, bisa diamati perbedaan dalam berat jenis beton sampel yang telah diuji. Analisis ini membagikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana Berat jenis beton bervariasi tergantung pada rasio campuran dan komposisi bahan yang digunakan.

Tabel 4.24 di bawah ini menyajikan rangkuman hasil pengujian berat jenis pada beton geopolimer serbuk cangkang telur ayam berumur 7, 14, dan 28 hari.

Tabel 4. 24 Rekapitulasi Uji Berat Jenis Beton

Campuran	Rata - Rata (Kg/m ³)				
	GCESP 0	GCESP 10	GCESP 15	GCESP 20	GCESP 25
Beton 7 Hari	2381.53	2409.55	2322.93	2311.04	2317.41
Beton 14 Hari	2251.59	2345.65	2320.59	2301.70	2260.93
Beton 28 Hari	2315.71	2294.27	2305.73	2329.09	2276.01
Rata-Rata	2316.28	2349.82	2316.42	2313.94	2284.78

Berdasarkan tabel 4.24. didapatkan berat rata-rata beton geopolimer berbahan dasar abu terbang dan serbuk cangkang telur ayam.



Gambar 4. 4 Grafik Rata-rata Berat Jenis

Tabel 4.24 menyajikan hasil uji berat jenis beton dengan variasi campuran GCESP 0 hingga GCESP 25 berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari setelah pencetakan. Data yang tercatat, berat jenis beton bervariasi antara 2251,53 kg/m³ hingga 2409,55 kg/m³. Umumnya, terlihat penurunan berat jenis seiring bertambahnya umur beton, yang kemungkinan disebabkan oleh proses hidrasi dan penguapan air dalam struktur beton. menariknya, campuran GCESP 10 menunjukkan berat jenis tertinggi secara konsisten pada semua umur pengujian. Rata-rata berat jenis untuk GCESP 10 mencapai 2349,82 kg/m³, sementara GCESP 25 menunjukkan rata-rata terendah dengan 2284,78 kg/m³. Meskipun demikian, pengaruh persentase GCESP terhadap berat jenis tidak konsisten di seluruh campuran.

4.2.3 Hasil Kuat Tekan Beton

Peneliti membuat lima variasi komposisi campuran dengan persentase serbuk cangkang telur ayam yang berbeda, sehingga total terdapat 45 sampel benda uji yang dipergunakan para penelitian ini. Pengujian kuat tekan dilaksanakan dalam tiga periode waktu yang berbeda, yakni pada beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil uji tekan ini tersaji pada Tabel 4.25.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4.4)$$

dengan :

f_c = Kuat tekan beton (Mpa)

P = Beban uji beton (kN)

$A = \text{Luas penampang (m}^2\text{)}$

- Contoh perhitungan :

$$f_c = \frac{92000}{0,00785}$$

$$f_c = 11.719.74 \text{ MPa}$$

$$f_c = 11.72 \text{ MPa (untuk benda uji silinder } 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm)}$$

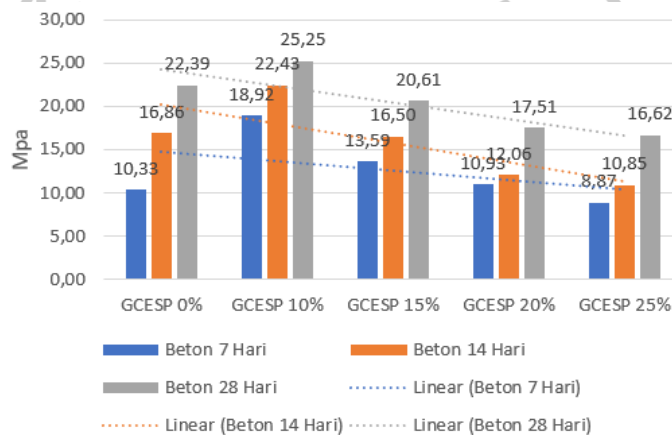
Nilai di konversi 15×30 , dikalikan 0,95.

Tabel 4. 25 Data Hasil Uji Tekan

Kode Benda Uji	Beton Geopolimer	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan Silinder 10x20 (MPa)	Kuat Tekan Silinder 15x30 (MPa)	Rata-rata (MPa)
GCESP 0	Beton 7 Hari	92	11.72	11.13	10.33
		89	11.34	10.77	
		75	9.55	9.08	
	Beton 14 Hari	142	18.09	17.18	16.86
		162	20.64	19.61	
		114	14.52	13.80	
Beton 28 Hari	153	19.49	18.52	22.39	
	209	26.62	25.29		
	193	24.59	23.36		
GCESP 10	Beton 7 Hari	158	20.13	19.12	18.92
		114	14.52	13.80	
		197	25.10	23.84	
	Beton 14 Hari	180	22.93	21.78	22.43
		180	22.93	21.78	
		196	24.97	23.72	
Beton 28 Hari	196	24.97	23.72	25.25	
	221	28.15	26.75		
	209	26.62	25.29		
GCESP 15	Beton 7 Hari	131	16.69	15.85	13.59
		102	12.99	12.34	
		104	13.25	12.59	
	Beton 14 Hari	105	13.38	12.71	16.50
		142	18.09	17.18	
		162	20.64	19.61	

Kode Benda Uji	Beton Geopolimer	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan Silinder 10x20 (MPa)	Kuat Tekan Silinder 15x30 (MPa)	Rata-rata (MPa)
GCESP 20	Beton 28 Hari	195	24.84	23.60	20.61
		103	13.12	12.46	
		213	27.13	25.78	
	Beton 7 Hari	85	10.83	10.29	10.93
		96	12.23	11.62	
		90	11.46	10.89	
	Beton 14 Hari	78	9.94	9.44	12.06
		75	9.55	9.08	
		146	18.60	17.67	
Beton 28 Hari	104	13.25	12.59	17.51	
	135	17.20	16.34		
	195	24.84	23.60		
Beton 7 Hari	78	9.94	9.44	8.87	
	71	9.04	8.59		
	71	9.04	8.59		
Beton 14 Hari	104	13.25	12.59	10.85	
	90	11.46	10.89		
	75	9.55	9.08		
Beton 28 Hari	211	26.88	25.54	16.62	
	80	10.19	9.68		
	121	15.41	14.64		

Berdasarkan dari hasil penelitian pada tabel 4.25. terdapat perbandingan kuat tekan pada masing-masing campuran dan umur beton yang terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Tekan Beton

Dari kuat tekan rencana $f_c = 25$ MPa tercapai oleh substitusi parsial GCESP 10 (10% Serbuk Cangkang Telur Ayam). Kuat tekan oleh substitusi parsial GCESP 10 (10% Serbuk Cangkang Telur Ayam) berumur 28 hari, yang menghasilkan kuat tekan sebesar 25.25 MPa. Substitusi parsial serbuk cangkang telur ayam sebanyak 15% menghasilkan kuat tekan sebesar 20.61 MPa mengalami penurunan sebesar 17.56% dibawah kuat tekan rencana. Substitusi parsial hingga 20% serbuk cangkang telur ayam (GCESP 20) menghasilkan kuat tekan sebesar 17.51 MPa mengalami penurunan sebesar 29.96% dibawah kuat tekan rencana. Substitusi parsial hingga 25% serbuk cangkang telur ayam (GCESP 25) menghasilkan kuat tekan sebesar 16.62 MPa mengalami penurunan sebesar 33.52% dibawah kuat tekan rencana. Dengan demikian dalam penelitian dapat disimpulkan bahwa substitusi parsial

- optimum serbuk cangkang telur ayam pada campuran beton geopolimer adalah sebesar 10%. Dari pengujian yang dilakukan, bahwa substitusi parsial GCESP 10 (10% Serbuk Cangkang Telur Ayam) mampu mempengaruhi peningkatan kuat tekan pada beton geopolimer, Hasil sedikit berbeda ditunjukkan oleh campuran beton normal yang diberikan bahan tambah serbuk cangkang telur. Pada uji kuat tekan. Dengan penambahan serbuk cangkang telur sebesar 4%, kuat tekan beton normal menunjukkan kenaikan sebesar 4.12% dibandingkan beton tanpa serbuk cangkang telur (Sahendra, 2021).