

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

Penyajian data dari hasil pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus, dan abu terbang mengacu pada standar yang telah ditetapkan. Data hasil pengujian ini, memperhatikan ketentuan-ketentuan yang berlaku untuk memastikan keakuratan dan kesediaan informasi yang diperoleh.

4.1.1 Hasil Uji Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini didapat dari PT. Jaya Beton Indonesia. Pengujian agregat kasar dilaksanakan di Laboratorium PT. Jaya Beton Indonesia dengan mengacu pada standar yang berlaku dalam industri.

4.1.1.1 Uji Jenis Agregat Kasar

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar yang dilakukan, sesuai dengan standar SNI 03-1969-2008 tentang pengujian berat jenis dan daya penyerapan air agregat kasar. Tujuan pengujian ini untuk menentukan berat jenis agregat kasar yang digunakan dalam penelitian. Hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar di presentasikan dalam Tabel 4.1 sebagai referensi dalam pembuatan beton geopolimer berbahan dasar abu terbang dan ampas kopi.

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	1579.00	1574.00
6.	Berat sample dalam air (F=E-D)	gr	1214.00	1209.00
7.	Berat jenis (G=C/(C-F))		2.54	2.53
8.	Selisih			0.02
9.	Rata - rata			2.54

Pengujian berat jenis agregat kasar mendapatkan nilai rata-rata 2,54. Berdasarkan standar yang mengacu dalam SNI 03-1969-2008 menyatakan bahwa berat jenis

bulk atau curah dari agregat seharusnya minimal 2,5 gram. Jadi dapat disimpulkan, bahwa sampel yang diuji memenuhi standar yang telah ditetapkan.

4.1.1.2 Uji Daya Serap Agregat Kasar

Pengujian daya serap air pada agregat kasar dilakukan sesuai dengan standar yang mengacu pada SNI 03-1969-2008 mengenai pengujian berat jenis dan daya serap air agregat kasar. Informasi mengenai hasil pengujian tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Uji Daya Serap Air 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)	%	2.89	2.84
6.	Selisih			0.05
7.	Rata-rata			2.86

Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh rata-rata kemampuan agregat kasar dalam menyerap air sebesar 2,65 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa daya serap agregat kasar telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar SNI 03-1969-2008, menyatakan persentase daya serap tidak melebihi batas maksimum sebesar 3 persen.

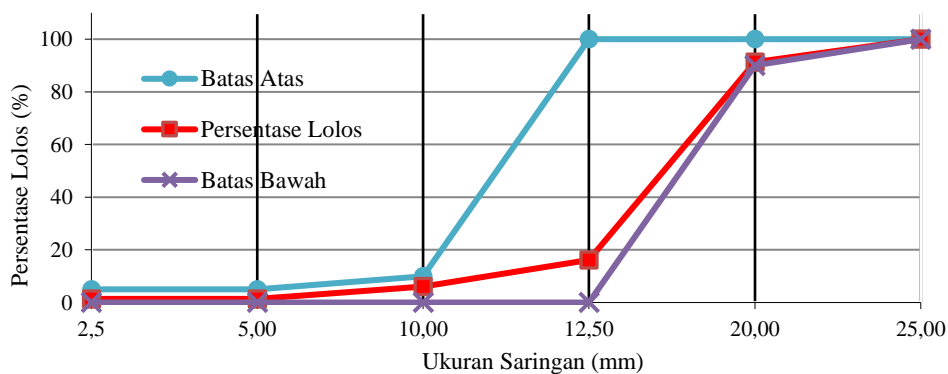
4.1.1.3 Analisis Saringan Agregat Kasar

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian analisis saringan terhadap agregat kasar sesuai dengan standar SNI 03-1968-1990 mengenai analisis saringan agregat halus dan kasar. Hasil analisis uji saringan ditampilkan dalam tabel 4.3.

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	168.00	8.40	181.00	9.05	8.73	8.73	91.28	90.00	100.00
12.7	1494.00	74.70	1512.00	75.60	75.15	83.88	16.13	0.00	100.00
10	215.00	10.75	185.00	9.25	10.00	93.88	6.13	0.00	10.00
5	98.00	4.90	92.00	4.60	4.75	98.63	1.38	0.00	5.00
2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.63	1.38	0.00	5.00
1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.63	1.38	0.00	5.00
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.63	1.38	0.00	5.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.63	1.38	0.00	5.00
0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.63	1.38	0.00	5.00
Pan	25.00	1.25	30.00	1.50	1.38	100.00	0.00		
Total	2000.00		2000.00						
FM						7.78			

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 7,78. Dalam penilaian tersebut, agregat kasar dengan modulus kehalusan tersebut dianggap kurang baik karena melebihi Standar Konstruksi SNI S-04-1989 F yang mensyaratkan nilai modulus kehalusan berada dalam rentang 6,0 hingga 7,1. Sehingga didapatkan grafik gradasi analisis saringan agregat kasar berdasarkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4. 1 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar

Gambar 4.1 merupakan grafik analisis agregat halus yang menunjukkan bahwa gradasi agregat halus telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Hal ini dapat dilihat dari posisi garis persentase agregat kasar yang lolos, yang berada di antara garis batas atas (garis biru) dan garis batas bawah (garis ungu).

4.1.1.4 Uji Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian berat isi agregat kasar dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-4804-1998 yang mengatur tentang pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat. Data hasil uji berat isi dapat dilihat 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	3682.00	3650.00
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2895.00	2863.00
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1.45	1.43
6.	Selisih			0.02
7.	Rata - rata (F)			1.44
8.	Berat jenis (G)			2.54
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			56.70

Hasil pengujian berat isi agregat kasar menunjukkan rata-rata nilai sebesar 1,44 gr/cm³. Nilai ini sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam standar SNI 03-4804-1998, di mana batas minimum berat isi yang harus terpenuhi adalah 1,41 gr/cm³.

4.1.1.5 Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar

Dalam pengujian kadar lumpur pada agregat kasar dilaksanakan mengacu pada metode yang diatur dalam standar SNI 03-4142-1996 mengenai pengujian jumlah bahan dalam agregat. Data hasil pengujian kadar lumpur ditampilkan dalam Tabel 4.5.

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	1986.00	1982.00
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm ($C = ((A-B)/A) \times 100\%$)	%	0.70	0.90
4.	Selisih			0.20
5.	Rata - rata			0.80

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan rata-rata nilai dari kadar lumpur agregat kasar sebesar 0,80. Nilai ini memenuhi persyaratan standar SNI 03-4142-1996 yang mensyaratkan kadar lumpur agregat kasar harus berada di bawah batas maksimum 1%.

4.1.1.6 Hasil Uji Keausan Agregat Kasar

Pada pengujian analisis keausan agregat kasar dilakukan sesuai dengan standar SNI 2417-2008 yang mengatur mengenai metode pengujian keausan agregat menggunakan mesin abrasi (*Los Angeles*). Hasil pengujian keausan agregat kasar tersebut tercatat dan ditampilkan dalam tabel 4.6.

Tabel 4. 6 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 hasil pengujian yang tercatat dalam tabel 4.6, diperoleh nilai rata-rata keausan agregat sebesar 20,67%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat tersebut masih memenuhi ketentuan yang diatur dalam standar SNI 2417-2008, mempunyai batas maksimum keausan agregat adalah 40%. Agregat tersebut dapat digunakan untuk keperluan konstruksi.

4.1.2 Hasil Uji Agregat Halus

Pengujian ini menggunakan agregat halus yang berada di PT. Jaya Beton Indonesia. Agregat halus yang diteliti telah menjalani pengujian di Laboratorium PT. Jaya Beton Indonesia sesuai dengan standar yang berlaku.

4.1.2.1 Uji Berat Agregat Halus

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian berat jenis agregat halus sesuai dengan standar SNI 3-1970-1990 yang mengatur prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Hasil pengujian berat jenis agregat halus yang relevan dengan penelitian ini telah disajikan dalam tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Uji Berat Jenis 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	941.70	1026.60
6.	Berat air (E=D-B)	gr	300.70	302.60
7.	Berat Jenis ($F=C/(C-E)$)		2.51	2.53
8.	Selisih			0.02
9.	Rata - rata			2.52

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh rata-rata nilai berat jenis agregat halus sebesar 2,52. Nilai tersebut sesuai dengan kategori yang ditetapkan oleh standar SNI 3-1970-1990, yang menyatakan bahwa agregat halus dapat digunakan asalkan nilainya berada di atas batas minimal 2,5.

4.1.2.2 Uji daya serap air pada agregat halus

Penelitian ini melibatkan pengujian daya serap air pada agregat halus sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam standar SNI 3-1970-1990 mengenai pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Data hasil pengujian daya serap air pada agregat halus telah disajikan secara rinci dalam Tabel 4.8.

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	972.20	971.70
5	Daya serap air (E=(C-D)/D)	%	2.86	2.91
6	Selisih			0.05
7	Rata - rata			2.89

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa agregat halus memiliki kemampuan yang signifikan dalam menyerap air. Rata-rata persentase penyerapan air oleh agregat halus, mulai dari kondisi kering mutlak hingga kering permukaan, mencapai angka 2,89%. Dalam konteks ini, agregat halus telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh standar SNI 3-1970-1990, karena tingkat penyerapan airnya tidak melampaui batas maksimum yang ditetapkan sebesar 3%.

4.1.2.3 Analisis saringan agregat halus

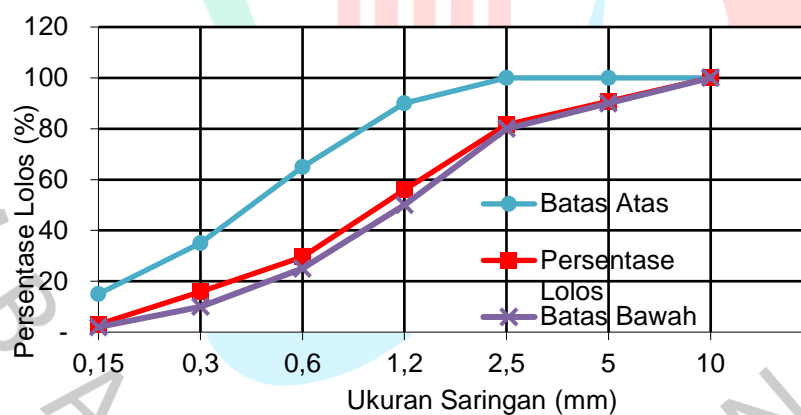
Pengujian analisis saringan pada agregat halus telah dilaksanakan sesuai dengan standar nasional Indonesia (SNI) 03-1968-1990 tentang analisis saringan agregat halus dan kasar. Hasil dari pengujian analisis saringan dapat ditemukan dalam tabel 4.9.

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	85.0	8.50	98.00	9.80	9.15	9.15	90.85

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 (%)			
2.5	99.0	9.90	85.00	8.50	9.20	18.35	81.65
1.2	235.0	23.50	280.00	28.00	25.75	44.10	55.90
0.6	275.0	27.50	250.00	25.00	26.25	70.35	29.65
0.3	152.0	15.20	123.00	12.30	13.75	84.10	15.90
0.15	125.0	12.50	132.00	13.20	12.85	96.95	3.05
Pan	29.00	2.90	32.00	3.20	3.05	100.00	0.00
Total	1000.00	100.00	1000.00	100.00			
FM						3.23	

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 3,23. agregat halus dengan modulus kehalusan tersebut dianggap baik dan memenuhi persyaratan sebagai bahan konstruksi karena sudah sesuai dengan persyaratan SK SNI S-04-1989 F, yang membutuhkan nilai modulus kehalusan antara 1,5 hingga 3,8.



Gambar 4. 2 Grafik Analisis Agregat Halus

Gambar 4.2 merupakan grafik analisis agregat halus yang menunjukkan bahwa gradasi agregat halus telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Hal ini dapat dilihat dari posisi garis persentase agregat halus yang lolos, yang berada di antara garis batas atas (garis biru) dan garis batas bawah (garis ungu).

4.1.2.4 Uji Berat Isi agregat halus

Pengujian berat isi pada agregat kasar dilaksanakan mengacu pada standar nasional Indonesia (SNI) 03-4804-1998 yang mengatur pengujian bobot isi dan rongga udara

dalam agregat. Hasil pengujian berat isi tersebut terdokumentasikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Uji Berat Isi Agregat

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	3715.00	3632.00
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2927.00	2844.00
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1.46	1.42
6.	Selisih			0.04
7.	Rata – rata			1.44
8.	Berat Jenis (G)			2.52
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			57.18

Berdasarkan hasil pada pengujian berat isi agregat kasar, didapatkan nilai rata-rata berat isi sebesar 1,44 gr/cm³. Nilai ini memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar nasional Indonesia (SNI) 03-4804-1998, yaitu melebihi batas minimum 1,4 gr/cm³.

4.1.2.5 Uji kadar lumpur agregat halus

Pada pengujian kadar lumpur pada agregat kasar dilaksanakan sesuai dengan standar nasional Indonesia (SNI) 03-4142-1996 yang mengatur metode pengujian jumlah bahan dalam agregat. Hasil pengujian kadar lumpur tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.11.

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	963.00	962.00
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm (C=((A-B)/A)x100 %)	%	3.70	3.80
4.	Selisih			0.10
5.	Rata – rata			3.75

Rata-rata kadar lumpur yang didapatkan adalah 3,75%. Nilai tersebut masih memenuhi batas yang ditetapkan oleh SNI 03-4142-1996, yaitu kurang dari 7%.

4.1.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar dengan menggunakan JIS A 5005 dan Standar Negara Indonesia (SNI)-04-1989-F dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Hasil Uji Agregat Kasar

No.	Percobaan	JIS A 5005	Hasil	Status
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2.54	OK
2	Berat Isi	$\geq 1,4$	1.44	OK
3	Kadar Lumpur	$\leq 1,0$	0.80	OK
4	Daya Serap	$\leq 3,0$	2.86	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

Selain itu terdapat juga hasil pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus dengan menggunakan JIS A 5004 dan Standar Negara Indonesia (SNI)-04-1989-F sehingga dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Uji Hasil Agregat Halus

No.	Percobaan	JIS A 5004	Hasil	Status
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2.52	OK
2	Berat Isi	$\geq 1,4$	1.44	OK
3	Kadar Lumpur	$\leq 7,0$	3.75	OK
4	Daya Serap	$\leq 3,0$	2.89	OK

No.	Percobaan	SK SNI S-04-1989-F	Hasil	Status
1	Modulus Halus	1,5-3,8	3.23	OK

4.1.4 Hasil Pengujian Abu Terbang

Berdasarkan hasil uji X-Ray Fluorecence (XRF) yang dilakukan di Pusat Riset Kimia, BRIN Puspitek Serpong, terungkap bahwa abu terbang dari PLTU Lontar yang diuji mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 dengan total sebesar 81,8%. Hal ini

menunjukkan bahwa abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikategorikan sebagai abu terbang kelas F sesuai dengan ASTM C 618, karena jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ melebihi 70%.

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Abu Terbang

Name	Value	Name	Value
SiO ₂	41,40%	Si	19,30%
Al ₂ O ₃	22,70%	Fe	12,40%
Fe ₂ O ₃	17,70%	Al	12,00%
CaO	8,70%	Ca	6,20%
MgO	4,50%	Mg	2,70%
Na ₂ O	1,10%	Na	0,80%
SO ₃	1,00%	K	0,60%
TiO ₂	1,00%	Ti	0,60%
K ₂ O	0,70%	S	0,40%
P ₂ O ₅	0,40%	Mn	0,20%
MnO	0,30%	P	0,20%
Cl	0,10%	Cl	0,10%
SrO	0,10%	Sr	0,10%

4.1.5 Perencanaan Pada Beton Normal

Informasi terkait rekapitulasi perhitungan perancangan campuran beton normal, yang sesuai dengan standar SNI 03-2834-2000 yang mengatur tata cara pembuatan rencana beton normal. Tata cara perhitungan perencanaan beton normal terdapat dilampiran 3. Hasil perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 15 Perencanaan Pada Beton Normal

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat Tekan Rencana Dalam 28 Hari	35	MPa
2	Deviasi Standar	7	MPa
3	Nilai Tambah	11.48	MPa
4	Kekuatan Rata-rata yang ditargetkan	46.48	MPa
5	Jenis Semen	PCC	
6	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
8	Faktor Air Semen Bebas	0.44	
9	Slump	10 - 30	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	

11	Kebutuhan Air	175.91	
12	Kebutuhan Semen	386.71	kg/m ³
13	Berat Jenis Agregat Campuran	386.71	kg/m ³
14	Kebutuhan Agregat Kasar	1,074.17	kg
15	Kebutuhan Agregat Halus	776.21	kg
16	Berat Jenis Beton	2,413.00	kg

Kesimpulan					
Volume	Berat Total (kg)	Air (L)	Semen (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)
1 m ³	2,413.00	175.91	386.71	1,074.17	776.21

4.1.6 Perencanaan Campuran Beton Geopolimer

Pada perhitungan perancangan campuran beton geopolimer, peneliti mengacu pada standar SNI 03-2834-2000 menunjukkan persyaratan-persyaratan, pengertian, dan cara pengerjaan untuk tata cara pembuatan rencana campuran beton normal dengan bahan tambah. Pelaksanaan dalam perancangan campuran tersebut diubah menjadi perancangan campuran geopolimer. Berikut ini adalah contoh langkah-langkah perhitungan untuk mencapai molaritas 8 dalam perancangan campuran beton geopolimer. Langkah dari perancangan perancangan campuran beton geopolimer ini adalah sebagai berikut:

1. Campuran Beton Geopolimer Pada Penelitian Ini Dengan Rasio air digantikan dengan abu terbang, ampas kopi dan Alkali Aktivator.

Dalam mendapatkan rasio komposisi campuran per meter kubik untuk beton normal, pada langkah pertama dalam pembuatan beton geopolimer adalah menggantikan rasio semen dan air dengan rasio abu terbang dan alkali aktivator.

2. Rasio Penggunaan Antara Alkali Aktivator dan Abu Terbang Yaitu 1 banding 2.

Rasio ini digunakan untuk penggunaan menggabungkan antara alkali activator dan abu terbang dengan menggunakan rasio perbandingan sebesar 1:2, dapat dilihat pada tabel

Tabel 4. 16 Perbandingan Alkali Aktivator dan Abu Terbang

Rekapitulasi Perbandingan Alkali Aktivator dan Abu Terbang
--

Berat Total (kg)	Abu Terbang (kg)	Alkali Aktivator (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)
2,413.00	386.71	193.36	1,076.65	779.64

3. Terdapat Rasio Perbandingan Antara Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida Sebesar 3 banding 1.

Setelah mendapatkan rasio alkali aktivator, langkah selanjutnya adalah membagi rasio alkali aktivator menjadi 1:3, dengan perbandingan 3 untuk sodium silikat dan 1 untuk sodium hidroksida (Setiawati, M., Martini, S., & Nurulita, R. 2022). Hasil perhitungan yang diperoleh dapat dilihat seperti yang tertera di bawah ini. Rasio ini dipilih berdasarkan pertimbangan yang teliti untuk mencapai kondisi yang optimal dalam pembuatan beton geopolimer dalam konteks penelitian ini. Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 17 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
2,413.00	386.71	64.45	145.02	1,076.65	779.64

4. Penggunaan Campuran NaOH

Penelitian ini menggunakan molaritas yang digunakan untuk larutan NaOH adalah 8 molar, kemudian dikombinasikan dengan kebutuhan NaOH dan air sebesar 1000gram. Untuk menghasilkan perhitungan berdasarkan rumus yang telah di tentukan sebagai berikut:

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

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

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	880	1000
8	225	775	1000

12	354	646	1000
16	443	557	1000

Sehingga didapatkan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus diatas sebagai berikut :

$$Air = \frac{Water}{1000} \times NaOH$$

$$Air = \frac{225}{1000} \times 48,34 = 10,88$$

$$NaOH = \frac{SH Solids}{1000} \times NaOH$$

$$NaOH = \frac{745}{1000} \times 48,34 = 36,013$$

Selanjutnya dalam memperoleh gambaran komprehensif mengenai kebutuhan kadar material beton geopolimer per 1m³, dihasilkan rekapitulasi secara menyeluruh untuk mengetahui komposisi material yang di perlukan dalam mencapai proporsi yang sesuai, sehingga dapat memberikan performa yang optimal dalam pembuatan beton geopolimer dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4. 19 Rekapitulasi Beton Geopolimer per 1m³

Rekapitulasi Beton Geopolimer per 1m ³						
Berat Total (kg)	Abu Terbang (kg)	NA ₂ SIO ₃	NaOH	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Air (L)
2,413.00	386.71	145.02	64.45	1,076.65	779.64	175.91



Gambar 4. 3 Proses Pembuatan Beton

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

$$\text{Volume Silinder} = 0,25 \times 3.14 \times 0.10^2 \times 0.2 = 0,00157 \text{ m}^3$$

Berdasarkan volume di atas, didapatkan hasil estimasi perhitungan kebutuhan material per-cetakan silinder seperti pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 20 Estimasi Perhitungan Kebutuhan Material Per-cetakan Silinder

Material	Kebutuhan Per Cetakan (Kg)	Kebutuhan 3 Cetakan (Kg)	Kebutuhan 6 Cetakan (Kg)	Kebutuhan 9 Cetakan (Kg)
Agregat Halus	1.22	3.66	7.31	10.97
Agregat Kasar	1.69	5.06	10.12	15.18
Fly Ash	0.61	1.82	3.64	5.46
Na ₂ SiO ₃	0.23	0.68	1.37	2.05
NaOH	0.02	0.06	0.11	0.17
Air	0.06	0.17	0.34	0.51

4.1.7 Perhitungan Ampas Kopi

Pada penelitian ini peneliti menggunakan perhitungan kebutuhan ampas kopi dengan persentase 5%, 10%, 15%, dan 20% sebagai pengganti abu terbang. Sehingga didapatkan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan Ampas Kopi} = \text{Abu Terbang} \times \text{Persentase Ampas Kopi}$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, diperoleh jumlah ampas kopi yang diperlukan dalam komposisi beton geopolimer berdasarkan persentase ampas kopi. Hasil Kebutuhan dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4. 21 Kebutuhan Ampas Kopi

Persentase Ampas Kopi	Abu Terbang (kg)	Kebutuhan Ampas Kopi			
		Per Cetakan (kg)	Per 3 Cetakan (kg)	Per 6 Cetakan (kg)	Per 9 Cetakan (kg)
0%		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5%		0.0304	0.0911	0.1821	0.2732
10%	0.6071	0.0607	0.1821	0.3643	0.5464
15%		0.0911	0.2732	0.5464	0.8196
20%		0.1214	0.3643	0.7286	1.0928
Kebutuhan Total		0.3036	0.9107	1.8214	2.7321

4.2 Hasil Analisis Data

Dalam bab ini berfokus pada analisis data pengujian berat jenis dan uji kuat tekan beton yang telah dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku. Pada bagian ini, dilakukan penelaahan terhadap hasil pengujian tersebut dengan tujuan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik beton yang dihasilkan dan memastikan kepatuhan terhadap standar yang berlaku.

4.2.1 Hasil Berat Jenis Beton

Sebelum pelaksanaan pengujian terhadap kuat tekan, beton harus menjalani proses penimbangan terlebih dahulu. Penimbangan ini dilakukan untuk peneliti memperoleh informasi mengenai berat beton yang akan digunakan. Data berat beton yang tercatat dapat dilihat dalam tabel 4.21 berikut ini

Tabel 4. 22 Hasil Berat Jenis

Kode	Ampas Kopi	Beton Geopolimer	Massa (Kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)
BGAK 0	0%	Beton 7	3,23	0,00157	2057,32
		Hari	3,33		2121,02
			3,37		2146,50
		Beton 14	3,38		2152,87
		Hari	3,41		2171,97
			3,63		2312,10

Kode	Ampas Kopi	Beton Geopolimer	Massa (Kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)		
BGAK 5	0,5 %	Beton 28 Hari	3,50		2229,30		
			3,51		2235,67		
			3,70		2356,69		
		Beton 7 Hari	3,54		2252,23		
			3,70		2356,69		
			3,64		2318,47		
		Beton 14 Hari	3,64		2319,75		
			3,59		2289,17		
			3,73		2377,71		
		BGAK 10	1,0 %	Beton 28 Hari	3,58		2280,89
					3,61		2299,36
					3,70		2356,69
Beton 7 Hari	3,68				2345,86		
	3,67				2336,94		
	3,62				2307,01		
Beton 14 Hari	3,54		2254,78				
	3,58		2280,25				
	3,53		2246,50				
BGAK 15	1,5 %	Beton 28 Hari	3,65		2324,20		
			3,50		2229,30		
			3,61		2299,36		
		Beton 7 Hari	3,24		2065,61		
			3,32		2114,65		
			3,26		2076,43		
		Beton 14 Hari	3,31		2109,55		
			3,47		2208,28		
			3,28		2087,26		
		Beton 28 Hari	3,49		2220,38		
			3,40		2165,61		
			3,22		2052,23		
BGAK 20	2,0 %	Beton 7 Hari	2,99		1905,10		
			3,31		2106,37		
			3,20		2037,58		
		Beton 14 Hari	3,19		2031,85		
			3,08		1961,78		
			3,22		2050,96		
Beton 28 Hari	3,59		2285,99				
	3,33		2121,66				
	3,56		2267,52				

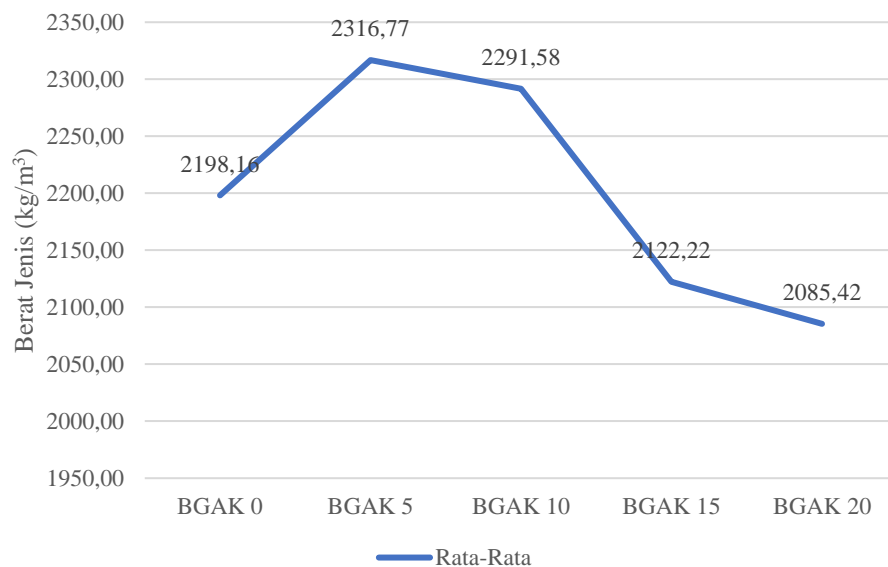
$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat Beton}}{\text{Volume Bekisting}} = \frac{3,23}{0,00157} = 2057,32 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 4.21 menunjukkan hasil pengujian berat jenis beton geopolimer dengan variasi komposisi ampas kopi dan periode pengerasan. Data yang diberikan mencakup massa jenis berat beton (dalam kilogram per meter kubik). Uji berat jenis beton geopolimer dengan campuran ampas kopi menunjukkan bahwa berat jenis beton antar sampel yang diuji berbeda-beda. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi komposisi bahan dan perbandingan campuran yang digunakan. Tabel 4.22 menyajikan hasil rekapitulasi uji berat jenis beton.

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Uji Berat Jenis Beton

Campuran	Rata - Rata (Kg/m ³)				
	BGAK 0	BGAK 5	BGAK 10	BGAK 15	BGAK 20
Beton 7 Hari	2108,28	2309,13	2329,94	2085,56	2016,35
Beton 14 Hari	2212,31	2328,87	2260,51	2135,03	2014,86
Beton 28 Hari	2273,89	2312,31	2284,29	2146,07	2225,05
Rata-Rata	2198,16	2316,77	2291,58	2122,22	2085,42

Berdasarkan tabel 4.22, didapatkan berat rata-rata beton geopolimer berbahan dasar abu terbang dan ampas kopi. Untuk mengetahui pertumbuhan berat jenis, dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik Rata-rata Berat Jenis

Gambar 4.4 menunjukkan pertumbuhan rata-rata berat jenis beton. BGAK 5 (5% ampas kopi) mengalami peningkatan berat jenis sebesar 5,4% dari BGAK 0, sedangkan penambahan 10%, 15%, dan 20% ampas kopi mengalami penurunan berat jenis berturut-turut sebesar 1,09%, 8,4%, dan 9,98%

4.2.2 Hasil Kuat Tekan Beton

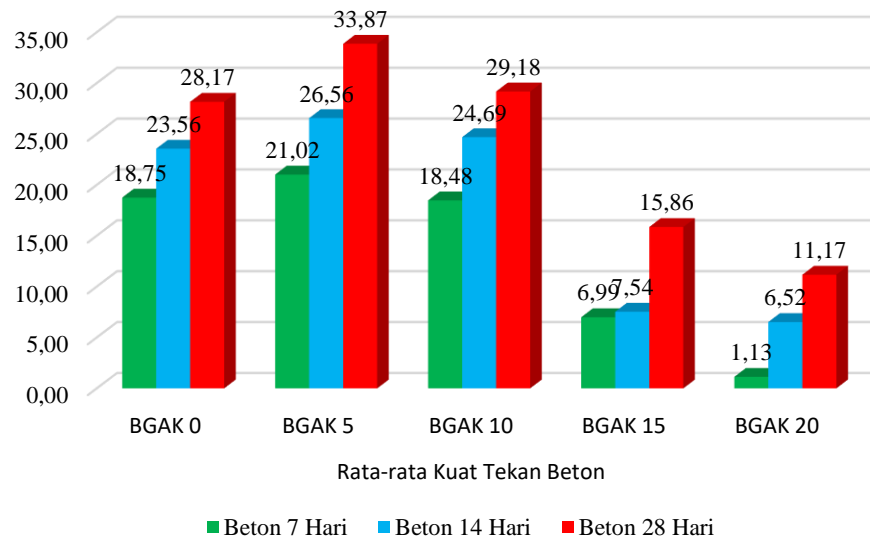
Hasil ini diperoleh dari benda uji yang digunakan dengan mengambil bentuk silinder dengan diameter sebesar 100 mm dan tinggi mencapai 200 mm. Peneliti membuat lima variasi komposisi campuran dengan persentase ampas kopi yang berbeda, yang secara keseluruhan menghasilkan 45 sampel benda uji yang digunakan dalam penelitian ini. Uji kuat tekan dilakukan pada tiga tahap waktu yang berbeda, yaitu saat beton mencapai umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Data hasil uji tekan disajikan dalam Tabel 4.23.

Tabel 4. 24 Data Hasil Uji Tekan

Kode Benda Uji	Beton Geopolimer	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan Silinder		Rata-rata (MPa)	
			10x20 (MPa)	15x30 (MPa)		
BGAK 0	Beton 7 Hari	171	21.78	20.04	18.75	
		139	17.71	16.29		
		170	21.66	19.92		
	Beton 14 Hari	228	29.05	26.72	23.56	
		165	21.02	19.34		
		210	26.75	24.61		
	Beton 28 Hari	252	32.10	29.53	28.17	
		262	33.38	30.71		
		207	26.37	24.26		
	BGAK 5	Beton 7 Hari	137	17.45	16.06	21.02
			195	24.84	22.85	
			206	26.24	24.14	
Beton 14 Hari		242	30.83	28.36	26.56	
		212	27.01	24.85		
		226	28.79	26.49		
Beton 28 Hari		325	41.40	38.09	33.87	
		286	36.43	33.52		
		256	32.61	30.00		
			161	20.51	18.87	18.48

Kode Benda Uji	Beton Geopolimer	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan Silinder 10x20 (MPa)	Kuat Tekan Silinder 15x30 (MPa)	Rata-rata (MPa)		
BGAK 10	Beton 7 Hari	184	23.44	21.56	24.69		
		128	16.31	15.00			
	Beton 14 Hari	206	26.24	24.14			
		225	28.66	26.37			
	Beton 28 Hari	201	25.61	23.56			
		244	31.08	28.60			
		260	33.12	30.47			
		243	30.96	28.48			
	BGAK 15	Beton 7 Hari	48	6.12		5.63	6.99
			71	9.05		8.32	
60			7.64	7.03			
Beton 14 Hari		78	9.94	9.14	7.54		
		62	7.90	7.27			
		53	6.75	6.21			
Beton 28 Hari		190	24.20	22.27	15.86		
		124	15.80	14.53			
		92	11.72	10.78			
BGAK 20		Beton 7 Hari	17	2.17	1.99	1.13	
	3		0.38	0.35			
	9		1.15	1.05			
	Beton 14 Hari	48	6.12	5.63	6.52		
		71	9.05	8.32			
		48	6.12	5.63			
	Beton 28 Hari	120	15.29	14.06	11.17		
		88	11.21	10.31			
			78	9.94	9.14		

Berdasarkan dari hasil penelitian pada tabel 4.23, maka dapat disajikan 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 gambar 4.5 kuat tekan rencana $f'_c = 35$ MPa tidak tercapai oleh kelima jenis campuran beton. Namun demikian, kuat tekan tertinggi dicapai oleh campuran BGAK 5 (5% ampas kopi) pada umur 28 hari, yang menghasilkan kuat tekan sebesar 33,87 MPa mengalami penurunan sebesar 3,23% dibawah kuat tekan rencana. Penambahan ampas kopi sebanyak 10% menghasilkan kuat tekan sebesar 29,18 MPa mengalami penurunan sebesar 16,62% dibawah kuat tekan rencana). Penambahan hingga 20% ampas kopi (BGAK 20) menghasilkan kuat tekan sebesar 11,17 MPa mengalami penurunan sebesar 68,08% dibawah kuat tekan rencana. Dengan demikian dalam penelitian dapat disimpulkan bahwa persentase optimum ampas kopi pada campuran beton geopolimer adalah sebesar 5%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Habel, 2021) mengenai beton geopolimer yang dicampur 5% ampas kopi mendapatkan kuat tekan rata-rata sebesar 29,46 MPa, sedangkan dalam penelitian beton geopolimer yang dicampur 5% ampas kopi mendapatkan 33,87 MPa. Perbedaan hasil kuat tekan ini didasarkan dari pengolahan ampas kopi sebelum dicampurkan. (Habel, 2021) mengsangrai ampas kopi dengan suhu $\pm 150^\circ\text{C}$, sedangkan penelitian ini ampas kopi dioven selama 4 jam dengan suhu 200°C .

Beton geopolimer dengan campuran ampas kopi mengalami pertumbuhan kuat tekan berdasarkan umur beton. BGAK 5 (5% ampas kopi) menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 21,02 MPa pada umur 7 hari, 26,56 MPa pada umur 14 hari, dan 33,87 MPa pada umur 28 hari. Pada beton umur 14 mengalami peningkatan sebesar 26,35% dan

beton umur 28 mengalami peningkatan sebesar 61,13%, dari beton umur 7 hari. Beton umur 28 hari mengalami peningkatan sebesar 21,58% dari beton umur 14 hari.

Meskipun kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu terbang dan ampas kopi tidak tercapai sesuai kuat tekan rencana. Ternyata ampas kopi memiliki potensi luar biasa untuk dijadikan bahan utama dalam menciptakan beton hijau. Dengan karakteristiknya yang unik, ampas kopi mampu memberikan kontribusi positif terhadap sifat mekanis. Penggunaan ampas kopi dalam beton tidak hanya memungkinkan pemanfaatan limbah kopi secara berkelanjutan, tetapi juga dapat menciptakan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan, membuka peluang baru dalam inovasi pembangunan yang berkelanjutan. Meskipun kuat tekan tidak tercapai, ampas kopi dapat dijadikan beton hijau.

