

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Penyajian Data

Sub bab ini menyajikan hasil pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus, dan *fly ash* sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Data hasil pengujian ini disajikan dengan memperhatikan ketentuan-ketentuan yang berlaku untuk memastikan keakuratan dan keandalan informasi yang diperoleh.

##### 4.1.1 Hasil Uji Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh 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 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar

Pada bagian ini, disajikan data hasil pengujian berat jenis agregat kasar sesuai dengan standar SNI 03-1969-2008 yang mengatur pengujian berat jenis dan daya penyerapan air pada agregat kasar. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan berat jenis agregat kasar yang akan digunakan dalam penelitian ini. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar tersebut terdokumentasikan dalam Tabel 4.1 sebagai referensi yang akan dianalisis lebih lanjut dalam konteks pembuatan beton geopolimer yang diperkuat dengan serat nilon.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat keranjang (A)	gr	527	527
2.	Berat sampel dan keranjang (B)	gr	2527	2527
3.	Berat sampel (C=B-A)	gr	2000	2000
4.	Berat keranjang dalam air (D)	gr	270	270
5.	Berat sampel dan keranjang dalam air (E)	gr	1482	1476, 6
6.	Berat sampel dalam air (F=E-D)	gr	1212	1206, 6
7.	Berat jenis (G=C/(C-F))		2,54	2,52

No.	Percobaan	Satuan	1	2
8.	Selisih			0,02
9.	Rata - rata			2,53

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berdasarkan rata-rata pengukuran, berat jenis agregat kasar yang diuji memiliki nilai sekitar 2,53. Standar yang diacu dalam SNI 03-1969-2008 menyatakan bahwa berat jenis bulk atau curah dari agregat seharusnya minimal 2,5 gram. Berdasarkan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa sampel yang diuji memenuhi standar yang telah ditetapkan.

#### 4.1.1.2 Hasil Uji Daya Serap Air Agregat Kasar

Pengujian daya serap air pada agregat kasar telah dilaksanakan sesuai dengan standar yang dijelaskan dalam SNI 03-1969-2008 mengenai pengujian berat jenis dan daya serap air agregat kasar. Informasi lengkap mengenai hasil pengujian ini terdokumentasikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Daya Serap Air

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat pan (A)	gram	1286	1252
2.	Berat sampel dan pan (B)	gram	3286	3252
3.	Berat sampel (C=B-A)	gram	2000	2000
4.	Berat sampel Kering (D)	gram	1948,8	1947,8
5.	Daya Serap air (E=(C-D)/D)	%	2,63	2,68
6.	Selisih			0,05
7.	Rata - rata			2,65

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, ditemukan bahwa agregat kasar memiliki kemampuan rata-rata dalam menyerap air dari kondisi kering mutlak hingga kering permukaan sebesar 2,65 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa daya serap agregat kasar telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar SNI 03-1969-2008, dimana persentase daya serap tidak melebihi batas maksimum sebesar 3 persen.

#### 4.1.1.3 Hasil Uji Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian berat isi pada agregat kasar dilakukan sesuai dengan standar yang diatur dalam SNI 03-4804-1998 yang membahas tentang pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat. Informasi terkait hasil pengujian berat isi dapat ditemukan dalam Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Uji Berat Isi Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume <i>container</i> (A)	cm <sup>3</sup>	2002	2002
2.	Berat <i>container</i> (B)	gr	787	787
3.	Berat sampel dan <i>container</i> (C)	gr	3732	3639
4.	Berat sampel (D=C-B)	gr	2945	2852
5.	Berat isi (E=D/A)	cm <sup>3</sup> /gr	1,47	1,42
6.	Selisih		0,05	
7.	Rata - rata (F)		1,45	
8.	Berat jenis (G)		2,53	
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)		57,24	

Hasil pengujian berat isi agregat kasar menunjukkan rata-rata nilai sebesar 1,45 gr/cm<sup>3</sup>. 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/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.1.4 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian untuk menentukan kadar lumpur pada agregat kasar telah dilakukan sesuai dengan metode yang diatur dalam standar SNI 03-4142-1996 yang mengatur tentang pengujian jumlah bahan dalam agregat. Hasil pengujian kadar lumpur ini terdokumentasikan dalam Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Uji Kadar Lumpur

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum dicuci (A)	gr	2000	2000
2.	Berat kering material sesudah di cuci (B)	gr	1985,8	1980,3
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm ( $C = ((A-B)/A) \times 100\%$ )	%	0,71	0,99
4.	Selisih			0,28
5.	Rata - rata			0,85

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan rata-rata kadar lumpur agregat kasar sebesar 0,85. Nilai ini memenuhi persyaratan standar SNI 03-4142-1996 yang mensyaratkan kadar lumpur agregat kasar harus berada di bawah batas maksimum 1.

#### 4.1.1.5 Hasil Uji 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 pengujian analisis saringan ditampilkan dalam tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Analisis Saringan

Ukuran Saringan (mm)	Test I		Test II		Rata-rata	Kumulatif	Kumulatif	Spesifikasi	
	Berat	Persentase	Berat	Persentase	Persentase	Persentase	Persentase	Min	Max
	Tertahan (gr)	Tertahan (%)	Tertahan (gr)	Tertahan (%)	Tertahan (%)	Tertahan (%)	Lolos (%)		
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
20	131,4	6,57	112	5,60	6,09	6,09	93,92	90	100
12,7	1511	75,55	1430	71,50	73,53	79,61	20,39	0	100
10	295,5	14,78	389	19,45	17,11	96,72	3,28	0	10
5	47,1	2,36	50	2,50	2,43	99,15	0,85	0	5
2,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,15	0,85	0	5
1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,15	0,85		
0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,15	0,85		
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,15	0,85		
0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,15	0,85		
Pan	15	0,75	19	0,95	0,85	100	0,00		
Total	2000		2000						
FM						7,77			

#### 4.1.1.6 Hasil Uji Keausan Agregat Kasar

Pengujian analisis keausan agregat kasar dilakukan sesuai dengan standar SNI 2417-2008 yang mengatur tentang 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 Hasil Uji Keausan Agregat Kasar

Ukuran saringan (mm)		Sampel I	Sampel 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		

Ukuran saringan (mm)		Sampel I	Sampel II
Lolos	Tertahan	Berat (gr)	Berat (gr)
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)		3985	4123
Keausan (%) = $\frac{a-b}{a} \times 100\%$		20,3	17,54
Selisih sampel I & II			2,76
Rata-rata Keausan (%)			18,92

Berdasarkan hasil pengujian yang tercatat dalam tabel 4.7, diperoleh nilai rata-rata keausan agregat sebesar 18,92%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat tersebut masih memenuhi ketentuan yang diatur dalam standar SNI 2417-2008, di mana batas maksimum keausan agregat adalah 40%. Agregat tersebut dapat digunakan untuk keperluan konstruksi.

#### 4.1.2 Hasil Uji Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Jaya Beton Indonesia dan telah menjalani pengujian di Laboratorium PT. Jaya Beton Indonesia sesuai dengan standar yang berlaku.

##### 4.1.2.1 Hasil Uji Berat Jenis 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 pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Nomor flash		1	2
2.	Berat flash (A)	gram	141	224
3.	Berat sampel dan flask (B)	gram	641	724
4.	Berat sampel (C=B-A)	gram	500	500

No.	Percobaan	Satuan	1	2
5.	Berat flask, sampel, dan air (D)	gram	942,4	1027,2
6.	Berat air (E=D-B)	gram	301,4	303,2
7.	Berat Jenis (F=C/(C-E))		2,52	2,54
8.	Selisih		0,02	
9.	Rata - rata		2,53	

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh rata-rata nilai berat jenis agregat halus sebesar 2,53. 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 Hasil Uji Daya Serap Air 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 sebagai bagian dari analisis eksperimental.

Tabel 4. 8 Hasil Uji Daya Serap Air Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1	Berat pan (A)	gram	1247,9	654
2	Berat sampel dan pan (B)	gram	2247,9	1654
3	Berat sampel (C=B-A)	gram	1000	1000
4	Berat sampel kering (D)	gram	973,2	972,7
5	Daya serap air (E=(C-D)/D)	%	2,75	2,81
6	Selisih		0,05	
7	Rata - rata		2,78	

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 2,78%. 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 Hasil Uji Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi pada agregat kasar dilaksanakan sesuai dengan 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 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Berat Isi Agregat Halus

Percobaan	Satuan	1	2
Volume container (A)	cm <sup>3</sup>	2002	2002
Berat container (B)	gram	788	788
Berat sampel dan container (C)	gram	3759	3609
Berat sampel (D=C-B)	gram	2971	2821
Berat isi (E=D/A)	cm <sup>3</sup> /gr	1,48	1,41
Selisih			0,07
Rata - rata			1,45
Berat Jenis (G)			2,53
Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			57,20

Berdasarkan hasil pengujian berat isi agregat kasar, didapatkan nilai rata-rata berat isi sebesar 1,45 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai ini memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar nasional Indonesia (SNI) 03-4804-1998, yaitu melebihi batas minimum 1,4 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.2.4 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

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 ditampilkan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum dicuci (A)	gram	1000	1000
2.	Berat kering material sesudah dicuci (B)	gram	966,7	960,5
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm ( $C = ((A-B)/A) \times 100 \%$ )	%	3,33	3,95
4.	Selisih			0,62
5.	Rata - rata			3,64

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata kadar lumpur sebesar 3,64.

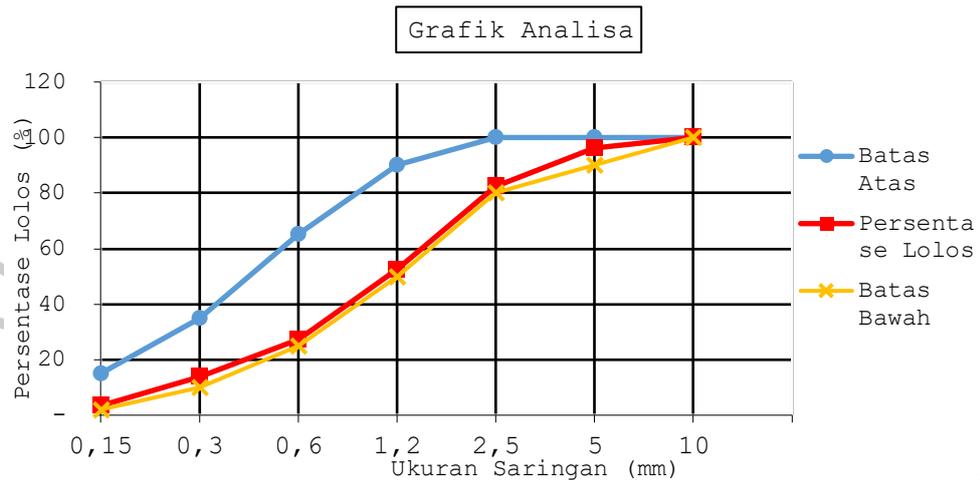
#### 4.1.2.5 Hasil Uji Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan pada agregat kasar 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 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil Uji 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	0	0	0	100
5	32	3,2	42	4,2	3,7	3,70	96,3
2,5	125	12,5	154	15,4	13,95	17,65	82,35
1,2	302	30,2	296	29,6	29,9	47,55	52,45
0,6	245	24,5	256	25,6	25,05	72,6	27,4
0,3	140	14	132	13,2	13,6	86,2	13,8
0,15	118	11,8	90	9	10,4	96,6	3,4
Pan	38	3,8	30	3	3,4	100	0
Total	1000	100	1000	100			
FM						<b>3,24</b>	

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 3,24. Dalam penilaian tersebut, agregat kasar dengan modulus kehalusan tersebut dianggap kurang baik karena tidak sesuai dengan Standar Konstruksi SNI S-04-1989 F yang mensyaratkan nilai modulus kehalusan berada dalam rentang 6,0 hingga 7,1. Di susunlah grafik gradasi analisis saringan agregat kasar berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4. 1 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar

Gambar 4.1 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 kuning).

#### 4.1.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap agregat kasar dan agregat halus, diperoleh rekapitulasi pengujian yang dirangkum dalam Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Hasil Uji Agregat Kasar

Pengujian Agregat Kasar				
No.	Percobaan	JIS A 5005	Hasil	Status
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,53	OK
2	Berat Isi	$\geq 1,4$	1,45	OK
3	Kadar Lumpur	$\leq 1,0$	0,85	OK
4	Daya Serap	$\leq 3,0$	2,65	OK
5	Keausan Agregat	$\leq 40$	18,92	OK

No.	Percobaan	SK SNI-04-1989-F	Hasil	Status
1	Modulus Halus	6,0-7,1	7,77	NOT OK

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Hasil Uji Agregat Halus

Pengujian Agregat Halus				
No.	Percobaan	JIS A 5004	Hasil	Status
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,53	OK
2	Berat Isi	$\geq 1,4$	1,45	OK
3	Kadar Lumpur	$\leq 7,0$	3,64	OK
4	Daya Serap	$\leq 3,0$	2,78	OK
No.	Percobaan	SK SNI S-04-1989-F	Hasil	Status
1	Modulus Halus	1,5-3,8	3,24	OK

#### 4.1.4 Uji Pada *Fly Ash*

*Fly ash* yang digunakan pada campuran ini diperoleh dari sumber Paiton yang terletak di Jawa Timur. Untuk menetapkan dimensi dan geometri yang mengkarakterisasi *Fly Ash* yang digunakan, sebuah metode yang disebut *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengobservasi secara mikroskopis. Selanjutnya, untuk menganalisis komposisi kimia dari *Fly Ash* tersebut, digunakan teknik analisis bernama *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Hasil yang diperoleh melalui pengujian SEM menunjukkan bahwa dimensi maksimum partikel yang terdapat dalam *Fly Ash* yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah 12.06  $\mu\text{m}$ , dengan sifat morfologi yang menyerupai bentuk bola. Sementara itu, hasil analisis XRF menunjukkan keberadaan komponen  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{SiO}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam *Fly Ash* dengan total konsentrasi sebesar 75,151%. Berdasarkan temuan ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa *Fly Ash* yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan kriteria *fly ash* kelas F, sesuai dengan standar ASTM C 618.

#### 4.1.5 Perancangan Campuran

##### 4.1.5.1 Perancangan Campuran Beton Normal

Informasi terkait rekapitulasi perhitungan perancangan campuran beton normal, yang sesuai dengan standar SNI 7657-2012, yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditemukan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Perhitungan dan Kadar Material Beton

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	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (fcr')	46,48	MPa		
5	Jenis Semen	PCC			
6	Jenis Agregat Kasar	Pecah			
7	Jenis Agregat Halus	Alami			
8	Faktor Air Semen	0,44			
9	Nilai <i>Slump</i>	30-60	mm		
10	Ukuran Maksimum Agregat Kasar	20	mm		
11	Kebutuhan Air	182,11	liter		
12	Kebutuhan Semen <i>Portland</i>	431,82	kg		
13	Berat Jenis Agregat Campuran	0			
14	Berat Jenis Beton	2371	kg		
15	Kebutuhan Agregat Kasar	1166,75	kg		
16	Kebutuhan Agregat Halus	590,32	kg		
Kesimpulan					
Volume	Berat Total	Air	Semen	Agregat Kasar	Agregat Halus
1 m <sup>3</sup>	2371	182,11	431,82	1166,75	590,32

##### 4.1.5.2 Perancangan Campuran Beton Geopolimer

Dalam penelitian ini, perhitungan perancangan campuran beton geopolimer mengacu pada standar SNI 03-2834-2000 untuk perancangan campuran semen biasa. Dalam implementasinya, 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. Dalam perancangan campuran geopolimer yang diterapkan dalam penelitian ini, rasio semen dan air digantikan dengan *fly ash* dan alkali aktivator.**

Setelah memperoleh rasio komposisi campuran per meter kubik untuk beton normal, langkah awal dalam pembuatan beton geopolimer adalah menggantikan rasio semen dan air dengan rasio *fly ash* dan alkali aktivator.

- 2. Rasio antara alkali aktivator dan *fly ash* yang digunakan adalah 1 banding 2.**

Rasio perbandingan antara alkali aktivator dan *fly ash* sebesar 1:2.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Perbandingan Alkali Aktivator dan *Fly Ash*

Rekapitulasi Perbandingan Alkali Aktivator dan <i>Fly Ash</i>				
Berat total	<i>Fly Ash</i>	Alkali Aktivator	Agregat Kasar	Agregat Halus
2404,80	431,82	215,91	1166,75	590,32

- 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. 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. 16 Hasil Perhitungan Rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida

Hasil Perhitungan Rasio Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida					
Berat total	<i>Fly ash</i>	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Agregat Kasar	Agregat Halus
2404,80	431,82	53,98	161,93	1166,75	590,32

#### 4. Rancangan Campuran Larutan NaOH

Dalam penelitian ini, molaritas yang digunakan untuk larutan NaOH adalah 8 molar, yang akan dikombinasikan dengan kebutuhan NaOH dan air sebesar 1000 gram. Untuk memperoleh hasil yang diinginkan dari perancangan ini, diperlukan perhitungan berdasarkan rumus yang telah ditentukan.

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

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

Tabel 4. 17 Kebutuhan NaOH dan Air per 1000 gram

Molarity (M) mole/l	For prepreitation 1 kg of SHS			Concetration of SHS	
	SH Solids	Water	SHS	col 4	% col
	grama col	grama col	grama col		
4	140	860	1000	1,4	14
6	200	800	1000	2	20
8	225	745	1000	2,55	25,5

(Sumber: Sivasakthi:2014)

Berikut ini disajikan contoh perhitungan perbandingan antara air dan NaOH untuk molaritas 8 dengan mengacu pada data yang terdapat dalam tabel 4.27.

$$\begin{aligned} \text{Air} &= \frac{SH\ Solids}{1000} \times NaOH \\ &= \frac{225}{1000} \times 53,98 \\ &= 12,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NaOH &= \frac{Water}{1000} \times NaOH \\ &= \frac{745}{1000} \times 53,98 \\ &= 40,21 \end{aligned}$$

Setelah itu, dalam upaya memperoleh gambaran yang komprehensif tentang kebutuhan kadar material beton geopolimer per 1 meter kubik, disajikan rekapitulasi yang terperinci dalam Tabel 4.17. Tabel tersebut memberikan informasi yang penting mengenai komposisi material yang diperlukan untuk mencapai proporsi yang sesuai dan memastikan performa yang optimal dalam pembuatan beton geopolimer.

Tabel 4. 18 Rekapitulasi Beton Geopolimer 1m<sup>3</sup>

Rekapitulasi Beton Geopolimer per 1m <sup>3</sup>						
Berat total	Fly ash	NA <sub>2</sub> SIO <sub>3</sub>	NaOH	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus
2403,18	431,82	161,93	53,98	40,21	1166,75	590,32

Dalam menghitung kebutuhan material per cetakan, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan cetakan silinder dengan tinggi 20 cm dan diameter 10 cm berdasarkan rumus (4.3). Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh estimasi yang akurat mengenai jumlah material yang dibutuhkan dalam setiap cetakan beton dengan ukuran yang ditentukan. Berikut adalah persamaannya:

$$\text{Persamaan Cetakan} = 0,25 \times 3,14 \times 0,10^2 \times 0,2 \dots \dots \dots (4.3)$$

Dengan menggunakan persamaan yang disebutkan sebelumnya, diperoleh estimasi kebutuhan material per cetakan yang ditampilkan dalam Tabel 4.18. Tabel ini memberikan gambaran yang jelas mengenai jumlah material yang dibutuhkan untuk setiap cetakan berdasarkan ukuran cetakan yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 4. 19 Kebutuhan Material Beton Geopolimer per Cetakan

Material	8 Molar
	Kebutuhan Per Cetakan (kg)
Agregat Halus	0,927

Material	8 Molar
	Kebutuhan Per Cetakan (kg)
Agregat Kasar	1,832
<i>Fly Ash</i>	0,678
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,254
NaOH	0,019
Air	0,063

#### 4.1.6 Rasio *L/D*

Salah satu aspek yang memiliki signifikansi penting dalam karakteristik beton berserat adalah rasio *L/D*. Rasio ini mengacu pada perbandingan antara panjang serat (*L*) dengan diameter serat (*D*). Secara matematis, rasio *L/D* dapat diungkapkan dalam persamaan berikut:

$$\text{Rasio} = L/D \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana:

*L* = Panjang Serat (mm)

*D* = Diameter Serat (mm)

Berikut ini disajikan contoh perhitungan menentukan rasio *L/D* :

$$\frac{L}{D} = \frac{30}{0,6}$$

$$= 50$$

#### 4.1.7 Perhitungan Serat

Perhitungan untuk menentukan kebutuhan serat nilon per silinder, yaitu

$$\text{Kebutuhan Serat Nilon} = (V \times \rho) \times 1000 \dots \dots \dots (4.4)$$

*V* = Volume Kebutuhan Serat (m<sup>3</sup>)

*P* = Persentase serat nilon (%)

$\rho$  = Massa Jenis Serat (Kg/m<sup>3</sup>)

Dengan menggunakan rumus tersebut, diperoleh estimasi jumlah serat nilon yang diperlukan dalam komposisi beton geopolimer berdasarkan volume serat yang digunakan dan berat jenis serat.

Berikut ini disajikan contoh perhitungan menentukan kebutuhan serat :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Serat Nilon } 0,55\% &= (0,0000079 \times 1140) \times 1000 \\ &= 8,95 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Serat Nilon } 0,75\% &= (0,0000118 \times 1140) \times 1000 \\ &= 13,42 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Serat Nilon } 1\% &= (0,0000157 \times 1140) \times 1000 \\ &= 17,90 \text{ gram} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan tersebut maka didapatkan hasil kebutuhan serat pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 20 Kebutuhan Serat Nilon Per Silinder

Kebutuhan Serat Per Silinder Volume (10 X 20 CM)			
Komposisi Serat Beton (%)	Volume Serat (m3)	Berat Jenis Serat (kg/m3)	Kebutuhan Serat (gram)
0,50%	0,0000079	1140	8,95
0,75%	0,0000118	1140	13,42
1,00%	0,0000157	1140	17,90

## 4.2 Analisis Data

Sub bab ini berfokus pada analisis data pengujian *slump* dan uji 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 Uji *Slump*

Sebelum adukan beton geopolimer dicetak ke dalam silinder, dilakukan pengujian *slump* untuk mengevaluasi *workability* beton yang telah disiapkan dalam konteks penelitian ini. Data hasil pengujian *slump* dapat ditemukan dalam Tabel 4.20. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kemudahan

dalam mengalir dan kemampuan deformasi beton geopolimer, yang memberikan indikasi tentang konsistensi beton tersebut.

Tabel 4. 21 Hasil Uji *Slump*

Komposisi Serat Nilon (%)	<i>Slump</i> (cm)
0	20
0,5	17,81
0,75	11,44
1	10,40

Berdasarkan tabel yang diberikan, dapat dilihat bahwa variasi komposisi serat nilon dalam beton geopolimer menghasilkan perubahan dalam nilai *slump*, yang dapat dihubungkan dengan *workability* beton tersebut. *Workability* yang baik pada beton dapat diindikasikan oleh nilai *slump* yang lebih tinggi, yang menunjukkan kemudahan dalam pemrosesan dan aliran beton.

Dalam tabel tersebut pada komposisi serat nilon 0%, nilai *slump* mencapai 20 cm, yang mengindikasikan *workability* yang lebih tinggi. Saat persentase serat nilon meningkat menjadi 0,5%, nilai *slump* menurun menjadi 17,81 cm. Lebih lanjut, ketika persentase serat nilon meningkat menjadi 0,75%, nilai *slump* turun secara signifikan menjadi 11,44 cm. Pada akhirnya, ketika persentase serat nilon mencapai 1%, nilai *slump* menurun lebih lanjut menjadi 10,4 cm.

#### 4.2.2 Hasil Kuat Tekan Beton

Benda uji yang digunakan mengambil bentuk silinder dengan diameter sebesar 100 mm dan tinggi mencapai 200 mm. Terdapat empat variasi komposisi campuran dengan persentase serat yang berbeda, yang secara keseluruhan menghasilkan 36 sampel benda uji yang digunakan dalam eksperimen. 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 4.21.

Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Komposisi Serat (%)	Hasil Kuat Tekan BGP Variasi Serat Nilon					
	Umur	Kelas	Beban Uji	Kuat Tekan	Rerata	
	Hari	F'c	(kN)	MPa	MPa	
0	7	35	36	4,59	5,18	
			36	4,59		
			50	6,37		
	14	35	75	9,55	9,21	
			72	9,17		
			70	8,92		
	28	35	95	12,10	8,32	
			61	7,77		
			40	5,10		
	0,5	7	35	79	10,06	14,99
				139	17,71	
				135	17,20	
14		35	250	31,85	23,99	
			149	18,98		
			166	21,15		
28		35	247	31,46	27,52	
			127	16,18		
			274	34,90		
0,75		7	35	196	24,97	26,54
				241	30,70	
				188	23,95	
	14	35	267	34,01	28,24	
			207	26,37		
			191	24,33		
	28	35	228	29,04	27,94	
			233	29,68		
			197	25,10		
	1	7	35	205	26,11	20,08
				124	15,80	
				144	18,34	
14		35	281	35,80	24,42	
			186	23,69		
			108	13,76		
28		35	229	29,17	30,28	
			217	27,64		
			267	34,01		

Hasil kuat tekan rata-rata dari tiga benda uji silinder berdasarkan umur beton dapat ditemukan dalam Tabel 4.22.

Tabel 4. 23 Rata-Rata Kuat Tekan Beton Geopolimer Per Variabel

<b>Hasil Kuat Tekan BGP Variasi Serat Nilon Berdasarkan Umur Beton</b>			
<b>Komposisi Serat</b>	<b>Umur</b>	<b>Kelas</b>	<b>Kuat Tekan Rata-Rata</b>
<b>(%)</b>	<b>Hari</b>	<b>F'c</b>	<b>MPa</b>
0%	7	35	5,18
0,5	7	35	14,99
0,75	7	35	26,54
1	7	35	20,08
<b>Beton Umur 14 Hari</b>			
0%	14	35	9,21
0,5	14	35	23,99
0,75	14	35	28,24
1	14	35	24,42
<b>Beton Umur 28 Hari</b>			
0%	28	35	8,32
0,5	28	35	28,37
0,75	28	35	27,94
1	28	35	30,28

Hasil kuat tekan rata-rata dari tiga benda uji silinder berdasarkan umur beton 28 hari dapat ditemukan dalam Tabel 4.23.

Tabel 4. 24 Rata-Rata Kuat Tekan Beton Geopolimer 28 Hari

<b>Hasil Kuat Tekan Beton Geopolimer Serat Nilon Umur 28 Hari</b>			
<b>Komposisi Serat</b>	<b>Umur</b>	<b>Kelas</b>	<b>Kuat Tekan</b>
<b>(%)</b>	<b>(Hari)</b>	<b>(F'c)</b>	<b>(MPa)</b>
0	28	35	8,32
0,5	28	35	28,37
0,75	28	35	27,94
1	28	35	30,28

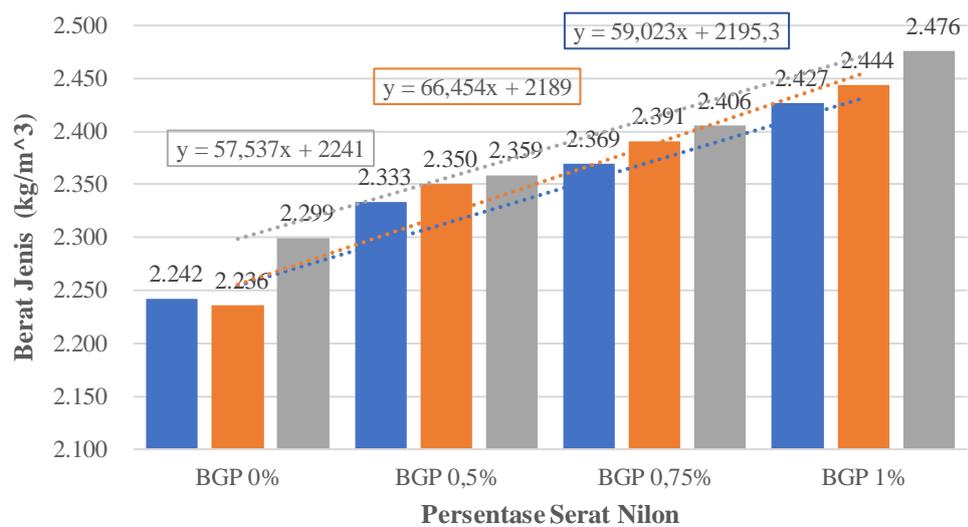
#### 4.2.1 Hasil Berat Jenis Beton

Sebelum dilaksanakannya pengujian tekanan, beton harus menjalani proses penimbangan terlebih dahulu. Penimbangan ini dilakukan guna memperoleh informasi mengenai berat beton yang akan digunakan. Data berat beton yang relevan dapat ditemukan dalam Tabel 4.25 berikut ini.

Tabel 4. 25 Berat Jenis Beton

Komposisi Serat	Beton Geopolimer	Massa (Kg)	Rata-Rata (MPa)	Berat Jenis (Kg/m <sup>3</sup> )
0%	Beton 7 Hari	3,47	3,52	2242
		3,59		
		3,50		
	Beton 14 Hari	3,56	3,51	2236
		3,50		
		3,47		
Beton 28 Hari	3,62	3,61	2299	
	3,59			
	3,62			
0,5%	Beton 7 Hari	3,68	3,66	2333
		3,64		
		3,67		
	Beton 14 Hari	3,70	3,69	2350
		3,68		
		3,69		
Beton 28 Hari	3,71	3,70	2359	
	3,70			
	3,70			
0,75%	Beton 7 Hari	3,72	3,72	2369
		3,71		
		3,73		
	Beton 14 Hari	3,76	3,75	2391
		3,75		
		3,75		
Beton 28 Hari	3,79	3,78	2406	
	3,77			
	3,77			
1%	Beton 7 Hari	3,82	3,81	2427
		3,81		
		3,80		
	Beton 14 Hari	3,85	3,84	2444
		3,83		
		3,83		
Beton 28 Hari	3,87	3,89	2476	
	3,89			
	3,90			

Dari informasi yang terdapat dalam Tabel 4.25, diperoleh berat rata-rata beton geopolimer yang diberi serat. Untuk mengetahui pertumbuhan berat jenis tiap komposisi serat nilon, maka dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 2 Berat Jenis Beton

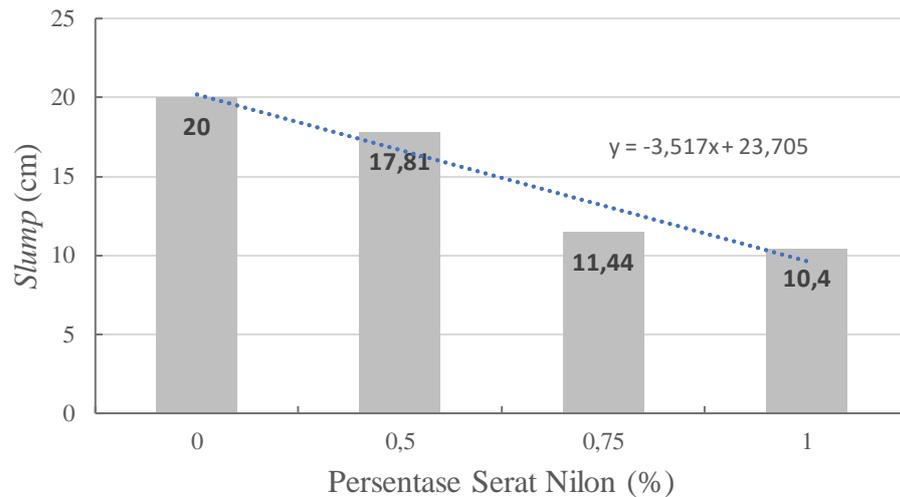
Gambar tersebut menunjukkan hasil pengujian beton geopolimer dengan variasi komposisi serat dan periode pengerasan. Data yang diberikan mencakup massa beton (dalam kilogram) dan massa jenis beton (dalam kilogram per meter kubik).

### 4.3 Pembahasan

Sub-bab ini membahas secara rinci tentang proses pembuatan beton, masa perawatan yang diterapkan, serta data yang dikumpulkan dalam penelitian ini

#### 4.3.1 Uji *Slump*

Gambar 4.2 memperlihatkan hasil pengujian *slump* terhadap keempat jenis campuran beton geopolimer dengan variasi persentase serat yang berbeda.



Gambar 4. 3 Grafik Slump Test

Nilai *slump* digunakan sebagai indikator konsistensi beton, yang mencerminkan kemampuan beton dalam mengalir. Nilai *slump* yang ditargetkan pada perancangan campuran beton antara 30 hingga 60 mm. Semakin tinggi nilai *slump*, semakin cair beton, sementara nilai *slump* yang lebih rendah menunjukkan beton yang lebih kental atau padat.

Pada campuran beton normal (0% serat) nilai *slump* yang dihasilkan sebesar 20 cm. Seiring peningkatan persentase serat nylon dalam beton, terjadi penurunan signifikan dalam nilai *slump*. Pada persentase serat nylon 0,5%, nilai *slump* menurun menjadi 17,81 cm. Dalam peningkatan persentase serat nylon menjadi 0,75%, tercatat bahwa nilai *slump* beton mengalami penurunan lebih lanjut, mencapai 11,44 cm. Pada tahap akhir, dengan persentase serat nylon sebesar 1%, nilai *slump* beton berhasil mencapai 10,4 cm. Penurunan nilai *slump* dari campuran beton 0% serat hingga 1% serat adalah 48%.

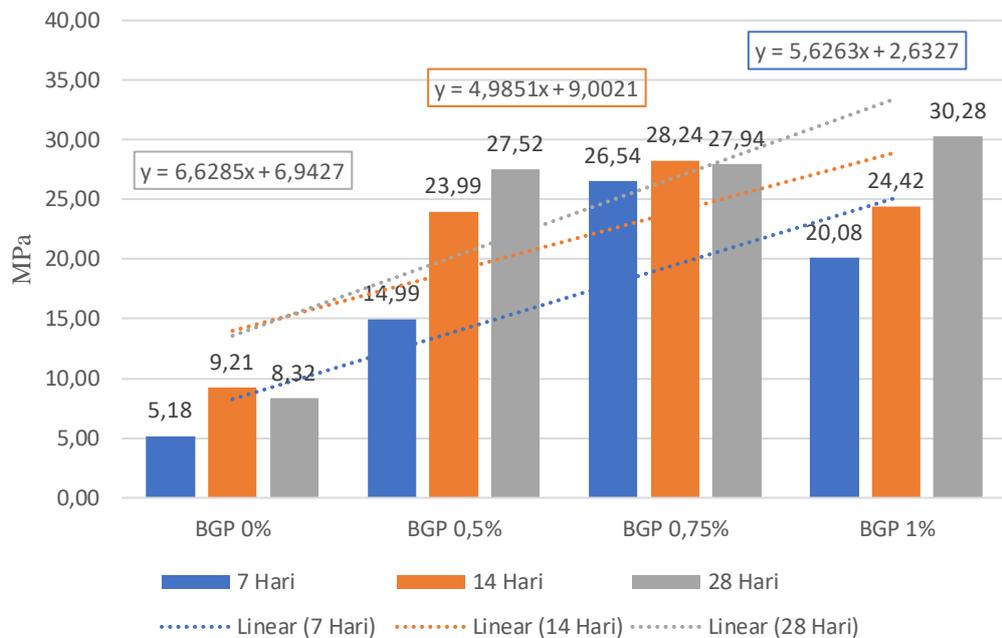
Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa penambahan serat nylon dalam beton geopolimer secara signifikan mengurangi konsistensi atau kecenderungan beton untuk mengalir, yang tercermin dalam penurunan nilai *slump*. Hal ini menunjukkan bahwa serat nylon bertindak sebagai bahan pengisi dan menghambat aliran beton. Dalam konteks ini, penambahan serat nylon meningkatkan kepadatan beton geopolimer dan mengurangi

*workability* atau kemampuan pemrosesan beton walaupun nilai *slump* tidak memenuhi target perancangan campuran. Faktor kadar NaOH jika dapat menyumbang berkurangnya *workability* pada beton, sehingga penambahan serat nilon dan kadar NaOH perlu diperhatikan dalam perancangan beton geopolimer (Setiawan, A. A., et al. 2023).

Berdasarkan hasil perbandingan dengan penelitian lain, pengujian *slump flow test* penelitian lain menunjukkan bahwa penambahan serat polipropilena akan menurunkan nilai *slump flow* beton SCC. Penurunan ini disebabkan oleh efek serat polipropilena yang menghambat aliran agregat secara bebas. Seiring dengan peningkatan kandungan serat polipropilena, nilai *slump flow* semakin rendah. Dengan demikian, perbandingan ini memperkuat kesimpulan bahwa serat nilon memiliki kemampuan untuk mengurangi kelecakan (*workability*) dari campuran beton (Gusti, M., et al. 2021).

#### 4.3.2 Uji Tekan

Hasil kuat tekan beton geopolimer dapat dilihat pada Gambar 4.9 yang menjelaskan pengaruh variasi serat nilon terhadap kuat tekan.



Gambar 4. 4 Grafik Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 4.4 pada beton umur 7 hari, terlihat adanya peningkatan kuat tekan beton seiring peningkatan persentase serat nilon dari 0% hingga 0,75%. Saat persentase serat nilon ditingkatkan menjadi 1%, terjadi penurunan kuat tekan beton yang sedikit. Hal ini mungkin menunjukkan bahwa pada umur 7 hari, persentase serat nilon 0,75% merupakan serat optimum untuk mencapai kuat tekan beton yang tinggi.

Pada umur 14 hari, terjadi peningkatan kuat tekan beton yang signifikan seiring peningkatan persentase serat nilon. Persentase serat nilon 0,75% menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi daripada persentase serat nilon 0,5% dan 1%. Hal ini menunjukkan bahwa pada umur 14 hari, persentase serat nilon 0,75% merupakan persentase optimal yang menghasilkan kuat tekan beton maksimal.

Pada beton umur 28 hari, terlihat bahwa peningkatan persentase serat nilon terus meningkatkan kuat tekan beton secara konsisten. Persentase serat nilon 0,5% menghasilkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan beton tanpa serat nilon (0%). Saat persentase serat nilon 1% mencapai kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari, melebihi hasil dari persentase serat nilon lainnya.

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa persentase serat nilon yang optimal untuk mencapai kuat tekan beton maksimal pada beton geopolimer dapat berbeda pada umur yang berbeda. Pada umur 7 hari, persentase serat nilon 0,75% dapat dianggap sebagai persentase optimal. Saat pada umur 14 hari, persentase serat nilon 0,75% juga memberikan hasil yang sangat baik, sementara pada umur 28 hari, persentase serat nilon 1% menghasilkan kuat tekan beton tertinggi, dengan pertumbuhan kuat tekan sebesar 263,99 % dibandingkan dengan beton tanpa serat nilon.

Sebagai perbandingan hasil penelitian, ditinjau percobaan dari jurnal penelitian lain, menghasilkan sebuah optimum serat pada 1%. Penelitian tersebut memiliki variasi komposisi serat yang sama, yaitu 0%, 0,5%, 0,75%, dan 1%. Hasil optimum yang ditemukan adalah 1%, dengan

pertumbuhan kuat tekan sebesar 50.38% dari beton tanpa serat (Gunawan, P., et al., 2015).

Ditinjau dari perancangan campuran beton geopolimer, penelitian lain menunjukkan hasil kuat tekan 50 MPa, dengan komposisi campuran beton geopolimer yang terdiri dari 73% agregat dan 27% *fly ash* (Hardjasaputra, H., & Ekawati, E. 2018).

Hasil pertumbuhan kuat tekan rata-rata dari benda uji silinder berdasarkan umur beton dapat ditemukan dalam Tabel 4.24.

Tabel 4. 26 Rekapitulasi Pertumbuhan Kuat Tekan

<b>Pertumbuhan Kuat Tekan Beton Geopolimer 7 Hari</b>		
<b>Persentase Serat Nilon</b>	<b>Pertumbuhan Persentase Kuat Tekan</b>	<b>Pertumbuhan Kuat Tekan</b>
<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>Mpa</b>
0	0	5,18
0,5	189,34	9,81
0,75	77,05	11,55
1	-24,32	-6,45
<b>Pertumbuhan Kuat Tekan Beton Geopolimer 14 Hari</b>		
0	0	9,21
0,5	160,48	14,78
0,75	17,72	4,25
1	-13,53	-3,82
<b>Pertumbuhan Kuat Tekan Beton Geopolimer 28 Hari</b>		
0	0	8,32
0,5	230,61	19,19
0,75	1,54	0,42
1	8,36	2,34

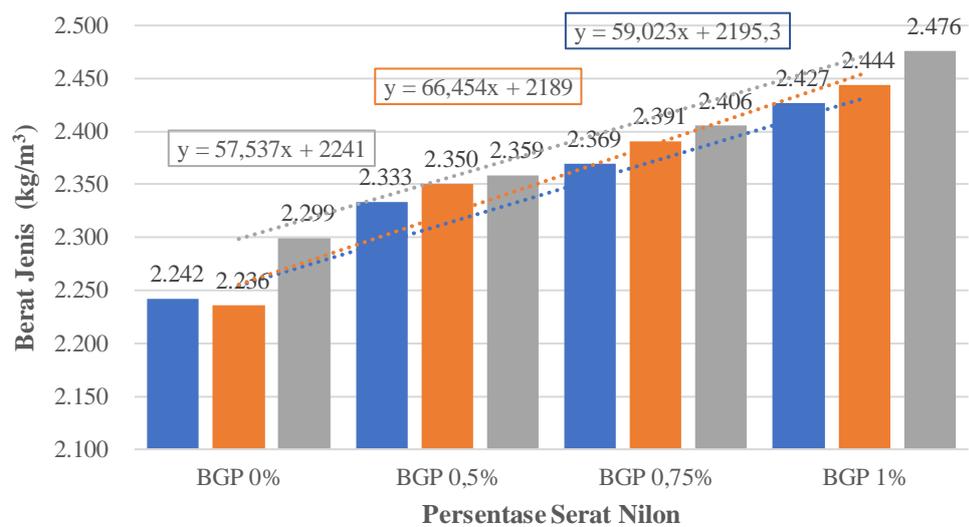
#### 4.3.3 Berat Jenis Beton

Sebelum dilaksanakannya pengujian tekanan, beton harus menjalani proses penimbangan terlebih dahulu. Penimbangan ini dilakukan guna memperoleh informasi mengenai berat beton yang akan digunakan. Data berat beton yang relevan dapat ditemukan dalam Tabel 4.25 berikut ini.

Tabel 4. 27 Berat Jenis Beton

Komposisi Serat	Beton Geopolimer	Massa (Kg)	Rata-Rata (MPa)	Berat Jenis (Kg/m <sup>3</sup> )
0%	Beton 7 Hari	3,47	3,52	2242
		3,59		
		3,50		
	Beton 14 Hari	3,56	3,51	2236
		3,50		
		3,47		
Beton 28 Hari	3,62	3,61	2299	
	3,59			
	3,62			
0,5%	Beton 7 Hari	3,68	3,66	2333
		3,64		
		3,67		
	Beton 14 Hari	3,70	3,69	2350
		3,68		
		3,69		
Beton 28 Hari	3,71	3,70	2359	
	3,70			
	3,70			
0,75%	Beton 7 Hari	3,72	3,72	2369
		3,71		
		3,73		
	Beton 14 Hari	3,76	3,75	2391
		3,75		
		3,75		
Beton 28 Hari	3,79	3,78	2406	
	3,77			
	3,77			
1%	Beton 7 Hari	3,82	3,81	2427
		3,81		
		3,80		
	Beton 14 Hari	3,85	3,84	2444
		3,83		
		3,83		
Beton 28 Hari	3,87	3,89	2476	
	3,89			
	3,90			

Dari informasi yang terdapat dalam Tabel 4.25, diperoleh berat rata-rata beton geopolimer yang diberi serat. Untuk mengetahui pertumbuhan berat jenis tiap komposisi serat nilon, maka dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 5 Berat Jenis Beton

Tabel tersebut menunjukkan hasil pengujian beton geopolimer dengan variasi komposisi serat dan periode pengerasan. Data yang diberikan mencakup massa beton (dalam kilogram) dan massa jenis beton (dalam kilogram per meter kubik).

Dalam pengujian tersebut, ditemukan bahwa peningkatan persentase serat pada beton geopolimer menyebabkan peningkatan massa beton untuk semua periode pengerasan yang diuji. Berat jenis optimum terdapat pada beton umur 28 hari dengan kadar serat nilon 1%. Berat jenis yang dihasilkan setelah umur beton mencapai 28 hari dengan variasi serat nilon 0%, 0,5%, 0,75% dan 1% berturut-turut adalah 2299 kg/m<sup>3</sup>, 2359 kg/m<sup>3</sup>, 2406 kg/m<sup>3</sup>, dan 2476 kg/m<sup>3</sup>. Dari data tersebut dapat disimpulkan peningkatan berat jenis dari beton 0% serat nilon hingga 1%, adalah sebesar 19,57%.

Peningkatan persentase serat juga berdampak pada massa jenis beton geopolimer yang semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa serat berperan dalam meningkatkan massa jenis beton.

Berdasarkan hasil perbandingan dengan penelitian lain, hasil berat jenis pada penelitian lain memiliki hasil yang berbeda yaitu berat jenis beton berkurang seiring peningkatan pada persentase serat nilon. Hasil tersebut menghasilkan beton yang diberi komposisi serat sebesar 1% memiliki

penurunan berat jenis -3,36% dari berat jenis beton tanpa serat (Gunawan, P., et al., 2015).

