

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Campuran Beton Geopolimer

Pada setiap penelitian, perlu dilakukan pengujian bahan untuk mengetahui karakteristik dari setiap bahan yang akan digunakan. Karakteristik dan kandungan setiap bahan sangat berpengaruh dalam proses dan hasil penelitian. Pada penelitian ini terdapat 3 bahan yang diuji yaitu, *GGBFS*, agregat halus, dan agregat kasar.

5.1.1 *GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)*

1. Pengujian Berat Jenis *GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)*

Berat jenis *GGBFS* harus diuji dikarenakan nilai dari berat jenis *GGBFS* tersebut akan digunakan dalam perhitungan kebutuhan *GGBFS* pada saat pembuatan *mix design*. Berikut hasil pemeriksaan berat jenis *GGBFS* yang digunakan dalam penelitian ini pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis *GGBFS*

Pemeriksaan	Berat (gram)
Berat <i>GGBFS</i> (W1)	5,038
Berat <i>GGBFS</i> + Minyak Tanah + Labu Takar (W2)	75,538
Berat Labu Takar + Minyak Tanah (W3)	71,925

Berat jenis *GGBFS* didapat dari perhitungan menggunakan rumus di bawah ini.

$$\text{Berat jenis } GGBFS = \frac{0,8 \times W1}{W1 + W3 - W2} \quad (5-1)$$

$$\text{Berat jenis } GGBFS = \frac{0,8 \times 5,038}{5,038 + 71,925 - 75,538} \times 100\%$$

$$\text{Berat jenis } GGBFS = 2,828 \text{ gram/cm}^3$$

Dari hasil penelitian tersebut didapatkan *GGBFS* yang digunakan memiliki berat jenis 2,828gram/cm³. Hasil pengujian berat jenis ini digunakan untuk menghitung jumlah *GGBFS* dalam campuran beton geopolimer.

2. Pengujian Kandungan *GGBFS* (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*)

Penelitian ini menggunakan *GGBFS* produksi dari PT. Krakatau Semen, Cilegon, Indonesia. Pengujian kandungan kimia ini dilakukan oleh laboratorium INSTIPER Yk. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kandungan Kimia *GGBFS*

PARAMETER	% ATOM
Kadar Lemas	8,77
LOI	0,88
Al ₂ O ₃	15,38
MgO	12,36
SO ₃	0,41
K ₂ O	0,46
Na ₂ O	1,21
SiO ₃	25,8
CaO	0,52

Menurut Davidovits (1994), untuk menggantikan semen pada campuran beton geopolimer dibutuhkan material yang mengandung silika dan alumina yang tinggi. Dari hasil diatas, dapat dilihat kandungan silika dan alumina pada *GGBFS* yang tidak terlalu tinggi, namun tetap dapat menghasilkan kuat tekan yang tinggi dengan suhu *curing* yang optimum. Dari hasil pengujian ini pun dapat menciptakan teori baru bahwa ada kemungkinan meskipun kandungan silika dan alumina tidak terlalu tinggi tetapi tetap menghasilkan kuat tekan tinggi dikarenakan dari reaksi kandungan lain yang dimiliki *GGBFS* dan aktivator yang digunakan. Silika dan alumina akan bereaksi dengan alkali aktivator membentuk

senyawa polimerisasi alumina silikat, kemudian akan mengikat agregat dan terbentuklah beton geopolimer.

5.1.2 Agregat Halus

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus akan dipergunakan untuk perhitungan saat membuat *mix design*. Berikut ini hasil dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan pada agregat halus seperti dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

	NOMOR PEMERIKSAAN	I
A	Berat Pasir Kering Oven (gram)	492,840
B	Berat Labu Ukur + Air (gram)	704,470
C	Berat Labu Ukur + Air + Pasir (gram)	1028,420
D	Berat Awal (V)	500,000
E	Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,799
F	Berat Jenis Kering Permukaan (<i>SSD</i>)	2,840
G	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,918
H	Penyerapan (<i>Absorption</i>) (%)	1,432

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus didapatkan nilai berat jenis sebesar $2,841 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan kadar penyerapan didapatkan 1,432% dikategorikan memenuhi syarat, karena syarat maksimum kadar penyerapan adalah 5%. Apabila kadar penyerapan tidak memenuhi syarat maka kebutuhan cairan yang seharusnya digunakan untuk reaksi silika alumina dalam *GGBFS* akan diserap oleh agregat sehingga tidak sesuai dengan *mix design*.

2. Pemeriksaan Kandungan Zat Organik

Pemeriksaan kandungan zat organik dalam agregat halus perlu dilakukan untuk mengetahui kadar zat organik yang terdapat dalam agregat halus. Hal ini dikarenakan semakin banyak kandungan organik dapat menurunkan kualitas beton. Zat organik dalam agregat halus mampu mempengaruhi proses reaksi pengikatan dalam beton. Dalam pengujiannya dibutuhkan *Gradner Standart Color* untuk menentukan agregat halus baik dipergunakan, seperti dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hubungan Warna Larutan dengan Kandungan Zat Organik

No	Warna	Kandungan Zat Organik	Kelayakan
5	Kuning muda sekali	Zat organik sedikit	Baik untuk dipergunakan
8	Kuning muda sekali	Zat organik agak banyak	Dapat dipergunakan
11	Kuning tua	Zat organik banyak	Kurang baik dipergunakan
14	Oranye tua sekali	Zat organik lebih banyak	Tidak boleh dipergunakan
16	Merah tua	Zat organik banyak sekali	Tidak boleh dipergunakan

Prosedur pengujian zat organik adalah dengan mencuci agregat halus menggunakan larutan NaOH 3% kemudian didiamkan selama 24 jam. Warna larutan diatas agregat halus dapat berubah warna. Klasifikasi ketentuan warna dapat dilihat pada *Gardner Standart Color*. Dari hasil pengujian pada penelitian ini didapatkan hasilnya menunjukkan warna no. 5 yang berarti kandungan organik yang terkandung dalam agregat halus sangat sedikit sehingga dapat dikategorikan baik untuk digunakan.

3. Pemeriksaan Kandungan Lumpur

Agregat halus tidak boleh mengandung lebih dari 5% dari berat kering oven. Apabila kadar lumpur melebihi 5%, maka agregat halus perlu dicuci sebelum digunakan. Kandungan lumpur yang terdapat didalam pasir dapat menghambat ikatan antara pasta beton dengan agregat halus yang berdampak pada menurunnya kualitas beton karena penyusutan volume oleh lumpur yang mengering. Hasil pengujian kandungan lumpur dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Kandungan Lumpur Agregat Halus

PEMERIKSAAN	BERAT (gram)
Berat piring + agregat halus	155,64
Berat piring kosong	55,64
Berat agregat halus (B)	91,38

Kandungan lumpur dalam agregat dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{100 - B}{100} \times 100 \% \quad (5-2)$$

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{100 - 91,38}{100} \times 100 \%$$

$$\text{Kandungan lumpur} = 8,62\%$$

Dengan demikian kandungan lumpur dalam agregat halus tersebut sebesar $8,62\% < 5\%$, sehingga agregat halus dapat digunakan sebagai bahan campuran beton geopolimer.

4. Pemeriksaan Gradasi

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus

Ayakan	Berat Saringan	Berat Saringan + Pasir	Berat Pasir	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4" (19 mm)	502	502	0	0	0	100
1/2" (12,5 mm)	447	447	0	0	0	100
3/8" (9,52 mm)	542	542	0	0	0	100
N0.4 (4,75 mm)	507	508	1	1	0,1	99,9
No.8 (2,36 mm)	329	440	111	112	11,2	88,9
No.30 (0,60 mm)	403	1030	627	739	73,9	37,3
No.50 (0,30 mm)	374	561	187	926	92,6	81,3
No.100 (0,15 mm)	272	326	54	980	98	94,6
No.200 (0,075 mm)	253	270	17	997	99,7	98,3
PAN	372	375	3	1000	-	99,7

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendapatkan modulus halus butir dari agregat halus yaitu pasir. Semakin kecil nilai modulus halus butir menunjukkan semakin kecil pula ukuran butir agregatnya dan sebaliknya. Dari data diatas maka didapat nilai MHB (Modulus Halus Butir) sebesar 3,755. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), maka nilai MHB agregat halus tersebut memenuhi syarat karena berada pada kisaran 1,50 – 3,80.

5.1.3 Agregat Kasar

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Berat jenis agregat kasar perlu dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai berat jenis yang akan digunakan untuk menentukan jumlah kebutuhan pada saat mix design. Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

	NOMOR PEMERIKSAAN	I
A	Berat Contoh Kering (gram)	972
B	Berat Contoh Jenuh Kering Permukaan (<i>SSD</i>) (gram)	1015
C	Berat Contoh Dalam Air (gram)	607,5
D	Berat Jenis <i>Bulk</i> $= \frac{(A)}{(B)+(D)-(C)}$	2,38528
E	Berat Jenis Kering Permukaan (<i>SSD</i>) $= \frac{(D)}{(B)+(D)-(C)}$	2,4908
F	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>) $= \frac{(A)}{(A)+(B)-(C)}$	2,66667
G	Penyerapan (<i>Absorption</i>) (%) $= \frac{(D)-(A)}{(A)} \times 100\%$	4,42387
H	Berat Jenis Agregat Kasar	2,52597

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus didapatkan nilai berat jenis sebesar 2,526 gr/cm³. Sedangkan kadar penyerapan didapatkan 4,424%. Persyaratan berat jenis agregat kasar berada pada nilai 2,4-2,8 gram/cm³ dan untuk penyerapan maksimal 5%. Berdasarkan hasil pengujian dapat dikategorikan bahwa berat jenis dan penyerapan agregat kasar memenuhi syarat dan dapat digunakan dalam campuran beton geopolimer. Apabila kadar penyerapan tidak memenuhi syarat maka kebutuhan cairan yang seharusnya digunakan untuk reaksi silika alumina dalam *GGBFS* akan diserap oleh agregat sehingga tidak sesuai dengan *mix design*.

2. Pemeriksaan Keausan dengan Mesin Los Angeles Abrasion

Pemeriksaan keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles Abrasion* dilakukan di Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Hasil pengujiaannya dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar

	NOMOR PEMERIKSAAN	I
A	Berat Sebelumnya (gram) (A)	5000
B	Berat sesudah diayak saringan No.12 (gram) (B)	3308
C	Berat sesudah (gram) (A)-(B)	1692
D	Keausan (%) $= \frac{(A)-(B)}{(A)} \times 100\%$	33,84

Hasil pengujian keausan agregat kasar didapatkan nilai 33,84%. Berdasarkan *ASTM C33/03*, keausan maksimal pada agregat kasar adalah 50%. Melihat dari hasil pengujian keausan agregat kasar, dapat dikategorikan bahwa agregat kasar memenuhi syarat dan dapat digunakan dalam campuran beton geopolimer.

3. Pemeriksaan Gradasi

Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan untuk mengetahui modulus halus butir dari agregat kasar yang diperiksa. Berikut hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar

Ayakan	Berat Saringan	Berat Saringan + Kerikil	Berat Kerikil	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4" (19 mm)	502	502	0	0	0	100
1/2" (12,5 mm)	447	502	55	55	5,5	94,5
3/8" (9,52 mm)	542	748	206	261	26,1	79,4
N0.4 (4,75 mm)	507	1155	648	909	90,9	35,2
No.8 (2,36 mm)	329	411	82	991	99,1	91,8
No.30 (0,60 mm)	403	410	7	998	99,8	99,3
No.50 (0,30 mm)	374	374	0	998	99,8	100
No.100 (0,15 mm)	272	273	1	999	99,9	99,9
No.200 (0,075 mm)	253	254	1	1000	100	99,9
PAN	372	372	0	1000	-	100

Dari data diatas maka didapat nilai MHB (Modulus Halus Butir) sebesar 6,211. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), maka nilai MHB agregat kasar tersebut memenuhi syarat karena berada pada kisaran 5,00 – 8,00. Semakin besar nilai modulus halus butir suatu agregat maka semakin besar butir agregatnya.

5.2 Mix Design Beton Geopolimer

Mix design beton geopolimer dalam penelitian ini dihitung berdasarkan perbandingan volume. Data berat jenis dari setiap material yang digunakan dalam penelitian ini dibutuhkan dalam pembuatan *mix design*. Data berat jenis setiap material yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.10.

Tabel 5.10. Hasil Pengujian Berat Jenis Material Beton Geopolimer

Material	Berat Jenis (kg/m ³)
<i>GGBFS</i>	2828
Agregat Kasar	2526
Agregat Halus	2841

Setelah mendapatkan hasil berat jenis setiap material, selanjutnya menghitung volume dari setiap cetakan yang akan digunakan.

Volume cetakan yang digunakan :

$$\text{Volume silinder kecil} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \quad (5-3)$$

$$\text{Volume silinder kecil} = \frac{1}{4} \times \pi \times (100)^2 \times 200 = 1570796,327 \text{ mm}^3$$

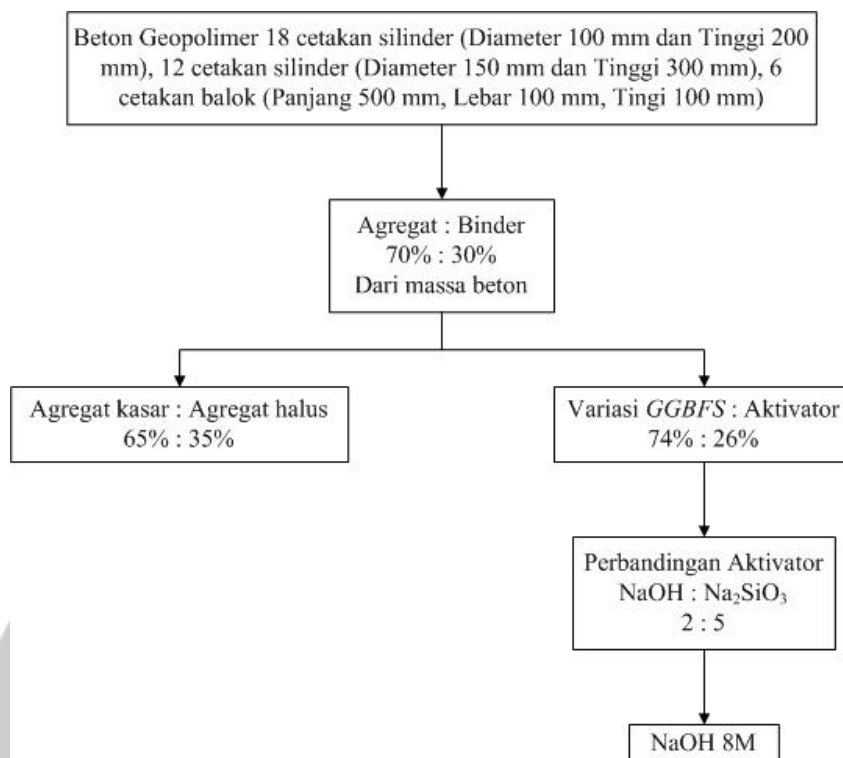
$$\text{Volume silinder besar} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \quad (5-4)$$

$$\text{Volume silinder besar} = \frac{1}{4} \times \pi \times (150)^2 \times 300 = 5301437,6 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volume balok} = p \times l \times t \quad (5-5)$$

$$\text{Volume balok} = 500 \times 100 \times 100 = 5000000 \text{ mm}^3$$

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan untuk *mix design*, langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan setiap material yang dibutuhkan dengan cara mengalikan berat jenis dengan volume per 1 m³. Perhitungan dengan menggunakan perbandingan volume ini didapatkan dari berbagai literatur yang telah dipelajari sebagai dasar pembuatan *mix design* beton geopolimer. Perbandingan komposisi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1. Komposisi Campuran untuk Beton Geopolimer

Setelah mendapatkan data berat jenis, volume silinder, dan perbandingan volume dari setiap material yang digunakan, selanjutnya hitung komposisi material beton geopolimer sesuai dengan perbandingan yang sudah dibuat seperti tabel 5.11.

Tabel 5.11 Volume Komposisi Material Untuk Kebutuhan 1 m³

<i>Mix Design</i>	Volume (m³)	Bahan	Volume Bahan (m³)		
70% Agregat	0,7	Agregat kasar 65%	0,455		
		Agregat halus 35%	0,245		
30% Aktivator + <i>GGBFS</i>	0,3	<i>GGBFS</i> 74%	0,222		
		Aktivator 26%	0,08	Na ₂ SiO ₃	0,05571
				NaOH	0,02229

Proporsi campuran adukan beton geopolimer *GGBFS* yang digunakan oleh penulis untuk 1 m³ adalah sebagai berikut: *GGBFS* 721,99 kg; Agregat Halus 800,46 kg; Agregat Kasar 1321,73 kg; Na₂SiO₃ 128,15 L; NaOH 51,26 L.

5.3 Pengujian *Setting Time*

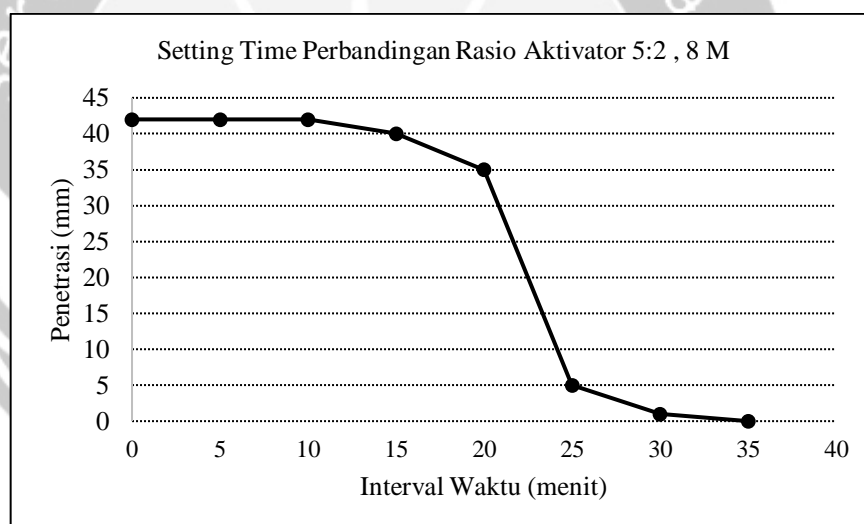
Pengujian *setting time* dilakukan berdasarkan SNI-03-6827-2002 tentang Metode pengujian waktu ikat menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil. *Setting time* mengindikasikan waktu terjadinya pengerasan awal pada beton yang pada penelitian ini akan dilakukan pada *binder* beton geopolimer.

Pengujian *setting time* dilakukan sebelum proses *mixing* atau pengecoran. *Setting time* dilakukan untuk melihat seberapa cepat adukan beton saling mengikat. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *setting time* untuk perbandingan rasio aktivator 5:2 dan konsentrasi NaOH 8 M. Hasil yang diperoleh pada sekitar 20 menit pertama adukan beton masih belum saling terikat, namun pada menit ke-20 hingga 30 merupakan waktu ikat awal. Hingga di antara menit ke-30 sampai 40 tepatnya di menit ke-35 menjadi waktu ikat akhir dari beton geopolimer berbasis *GGBFS*. Dari uji hasil *setting time* yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa beton berbasis *GGBFS* dengan perbandingan rasio aktivator 5:2 dan konsentrasi NaOH 8 M memiliki waktu ikat akhir di sekitaran menit ke-35. Hasil pengujian *setting time binder* geopolimer pada variasi ini dapat dilihat pada tabel 5.15.

Tabel 5.12 Percobaan Penetrasi *Setting Time*

Interval Waktu (menit)	Penetrasi (mm)
0	42
5	42
10	42
15	40
20	35
25	5
30	1
35	0

Dari tabel 5.12 maka dapat dibuat grafik yang terlihat pada gambar 5.11 untuk mengetahui nilai ikatan awal dan ikatan akhir dari *binder* beton geopolimer.

Gambar 5.2 Grafik *Setting Time*

5.4 Pengujian Nilai *Slump*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kelecakan beton. Dilakukan sebelum adukan beton dimasukkan kedalam cetakan. Semakin tinggi nilai *slump* maka semakin mudah pula beton untuk dikerjakan, sedangkan apabila nilai *slump*

rendah maka semakin susah beton tersebut untuk dikerjakan. Pada beton normal, umumnya nilai *slump* yang digunakan adalah 75 – 150 mm.

Pada beton segar dilakukan pengujian *slump* untuk setiap variasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kemudahan beton pada saat pengerjaan (*workability*). Semakin besar nilai *slump* semakin mudah pula adonan beton dikerjakan. Pada pengujian *slump* kali ini dilakukan menggunakan kerucut abrams. Hasil pengujian *slump* yang didapat oleh penulis ialah 17 cm. Data hasil pengujian *slump* meunjukkan bahwa adonan beton geopolimer memiliki sifat *workability* yang baik (mudah dikerjakan). Pada SNI 1972 tahun 2008 yang menjelaskan tentang cara uji *slump* beton, dikatakan bahwa apabila nilai *slump* < 15 mm maka beton mungkin tidak cukup plastis sedangkan apabila nilai *slump* > 230 mm maka beton mungkin tidak cukup kohesif untuk pengujian ini. Berdasarkan hasil pengujian *slump* dan melihat dari acuan SNI 1972 tahun 2008 dapat disimpulkan bahwa beton geopolimer yang dibuat memiliki sifat plastis dan kohesif yang berarti mudah dikerjakan tanpa terjadi segregasi.

5.5 Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis ini dilakukan guna mendapatkan berat jenis dari beton yang telah dibuat, yaitu dengan cara mengukur diameter, tinggi dan berat dari benda uji tersebut. Pada penelitian ini didapat berat jenis beton rata-rata berkisar pada 2218,37 kg/m³. Walaupun berat jenis beton geopolimer ini berada dibawah dari berat jenis beton normal, namun beton geopolimer ini belum bisa digolongkan menjadi beton ringan, dikarenakan tidak memenuhi syarat berat jenis beton ringan sesuai SNI 03-3449-2002 yaitu dibawah 1850 kg/m³. Berat jenis

beton geopolimer tampak lebih kecil dari berat jenis beton konvensional, hal ini dapat terlihat dari perbedaan berat jenis semen dan *GGBFS*. *GGBFS* memiliki berat jenis 2828 kg/m³, sedangkan berat jenis semen pada umumnya adalah 3150 kg/m³. Berat jenis *GGBFS* yang lebih kecil dari semen dapat menjadi salah satu faktor berat jenis beton geopolimer lebih kecil daripada berat jenis beton konvensional yang menggunakan semen.

Tabel 5.13 Berat Jenis Beton dan Pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (gr/cm ³)	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	< 1,00	Non Struktur
Beton Ringan	1,00 – 2,00	Struktur Ringan
Beton Normal	2,30 – 2,50	Struktur
Beton Berat	>3,00	Perisai Sinar

(Tjokrodimuljo, 2007)

Berdasarkan pengelompokan beton dengan berat jenis, beton geopolimer pada penelitian ini termasuk jenis beton normal dan dapat digunakan untuk struktur.

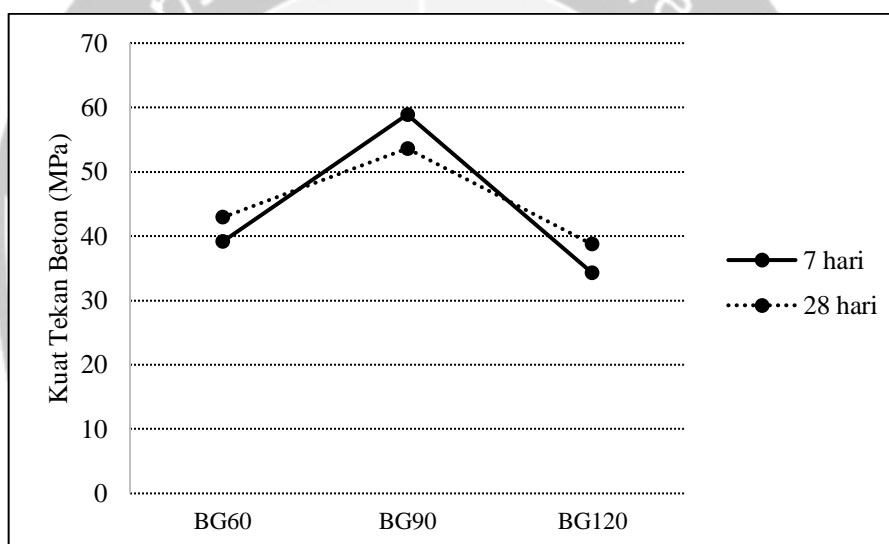
5.6 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton geopolimer pada penelitian ini dilakukan pada saat umur 7 dan 28 hari. Pembebanan dilakukan dengan mesin *Compression Testing Machine (CTM)* dengan nilai bersatuan KN. Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang akan diuji kuat tekan berjumlah 18 silinder ukuran 100 x 200 mm untuk pengujian umur beton 7 dan 28 hari dengan masing-masing varian 3 sampel. Data hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer berbasis *GGBFS* umur 7 dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Kode Variasi	Kuat Tekan (Mpa)	
	7 Hari	28 Hari
BG60	39,12	42,90
BG90	58,90	53,62
BG120	34,28	38,72

Hasil pengujian kuat tekan beton juga digambarkan dalam grafik seperti dapat dilihat pada gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari dan 28 Hari

Suhu *curing* dalam penelitian ini menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki suhu yang optimum untuk mencapai kuat tekan yang tinggi sesuai dengan keinginan. Pada suhu *curing* 60°C menuju suhu *curing* 90°C, kuat tekan beton meningkat cukup tinggi, namun pada suhu *curing* 90°C menuju suhu *curing* 120°C kuat tekan beton menjadi menurun. Dari hasil pengujian ini juga terlihat

bahwa beton geopolimer umur 7 hari memiliki kuat tekan yang hampir mencari 100% dari kuat tekan pada umur 28 hari.

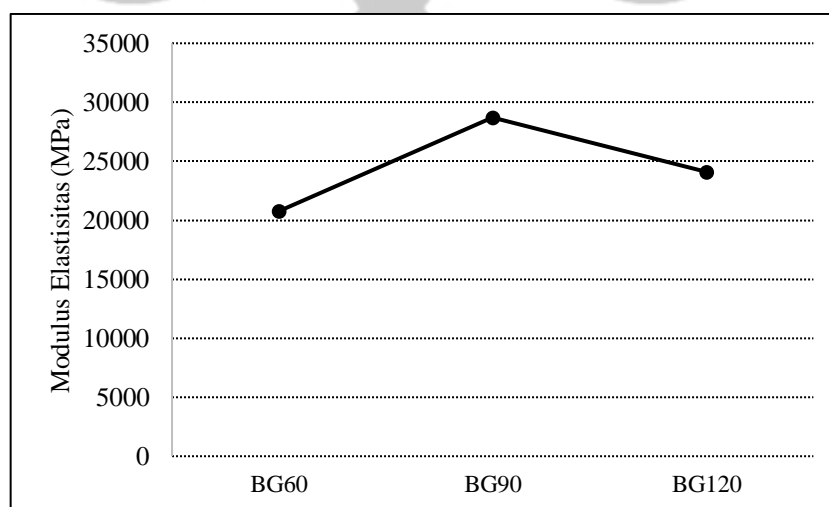
5.7 Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas menunjukkan kekakuan suatu beton dalam menahan beban namun memiliki deformasi yang kecil. Semakin besar nilai modulus maka semakin kaku beton tersebut dalam menahan beban yang besar namun mengalami deformasi yang kecil. Modulus elastis berbanding lurus dengan kuat tekan dan berbanding terbalik dengan regangan.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Geopolimer

Kode Variasi	Modulus Elastisitas (Mpa)
	28 Hari
BG60	20771,06
BG90	28705,60
BG120	24081,12

Hasil pengujian modulus elastisitas beton juga digambarkan dalam grafik seperti dapat dilihat pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari

Hasil pengujian modulus elastisitas diatas menunjukkan hasil yang sesuai dengan kuat tekan beton geopolimer dengan nilai modulus tertinggi pada variasi suhu *curing* 90°C dengan nilai sebesar 28705,60 MPa.

Karakteristik agregat yang digunakan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton. Terdapat 3 faktor dalam agregat yang mempengaruhi modulus elastisitas beton yaitu :

- a. Tekstur agregat kasar, mempengaruhi kualitas ikatan beton antara agregat dengan pasta pada saat retak mikro dimulai.
- b. Karakteristik bahan penyusun agregat kasar
- c. Diameter butir, jika diameter agregat besar maka luas bidang kontak akan semakin sedikit sehingga akan mengurangi ikatan antara pasta dengan agregat. Ukuran butir agregat yang kecil membuat beton menjadi lebih padat dan bidang ikatannya lebih luas, sehingga jika ditekan maka regangannya akan semakin kecil. Bila regangan yang dihasilkan kecil maka nilai modulus elastisitas besar, begitu pula sebaliknya.

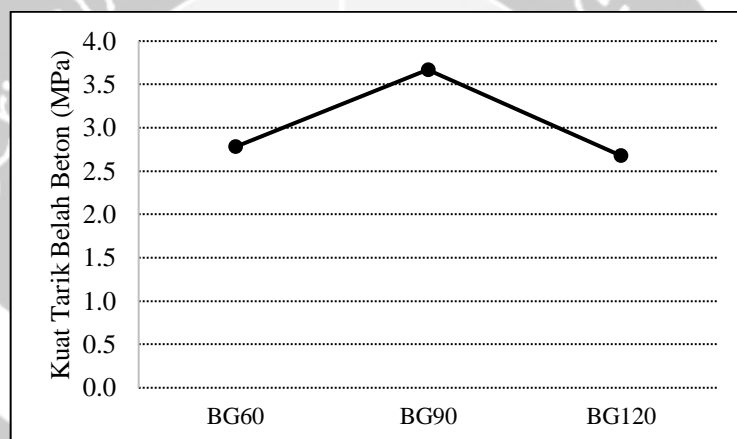
5.8 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah beton geopolimer pada penelitian ini menggunakan 2 sampel benda uji (silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) pada setiap variannya pada umur beton 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer

Kode Variasi	Kuat Tarik Belah (Mpa)
	28 Hari
BG60	2,78
BG90	3,67
BG120	2,68

Hasil pengujian kuat tarik belah beton juga digambarkan dalam grafik seperti dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari

Kuat tarik belah biasanya digunakan untuk mendesain elemen struktur beton yang nantinya akan dimanfaatkan dalam mengevaluasi ketahanan geser beton serta penentuan panjang penyaluran dari tulangan. Dari hasil pengujian terlihat pada kuat tarik belah memiliki nilai yang optimum pada suhu *curing* 90°C dengan nilai sebesar 3,67 MPa. meningkatnya nilai kuat Tarik belah dan menurunnya pun sama seperti pada kuat tekan beton.

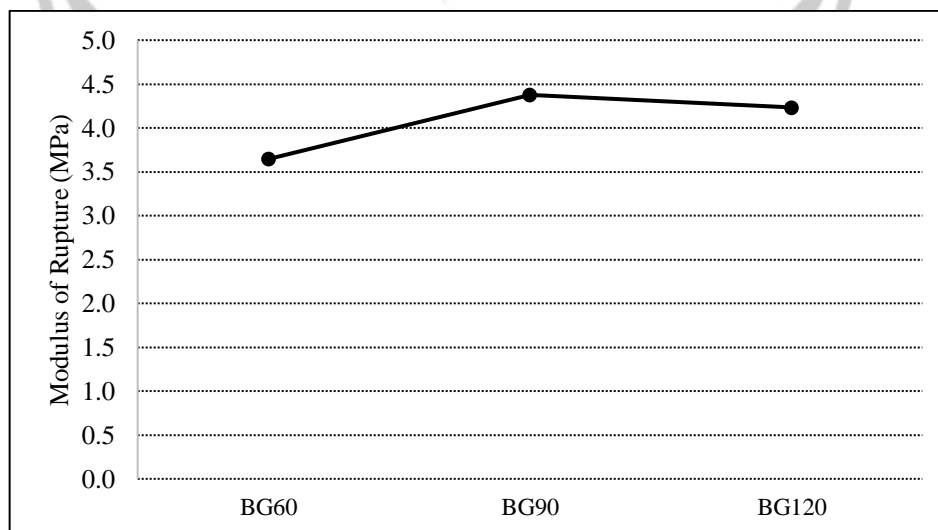
5.9 Pengujian Modulus of Rupture

Pengujian kuat tarik belah beton geopolimer pada penelitian ini menggunakan 2 sampel benda uji (balok panjang 500 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm) pada setiap variannya pada umur beton 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian *Modulus of Rupture* Beton Geopolimer

Kode Variasi	<i>Modulus of Rupture</i> (MPa)
	28 Hari
BG60	3.65
BG90	4.38
BG120	4.23

Hasil pengujian *modulus of rupture* beton juga digambarkan dalam grafik seperti dapat dilihat pada gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik *Modulus of Rupture* Beton umur 28 hari

Modulus of rupture adalah kuat lentur balok beton yang biasanya untuk mengetahui tegangan tarik yang didapat dari momen lentur dibagi dengan momen penahan balok kemudian hasilnya digunakan untuk perencanaan struktur. Pada gambar 5.6 juga terlihat *modulus of rupture* yang optimum berada pada suhu curing 90°C dengan nilai sebesar 4,38 MPa.

