

## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pengujian Bahan Campuran Beton *Geopolymer*

Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan sebagai campuran dalam beton *geopolymer*. Pada penelitian ini terdapat 4 bahan yang akan diuji, yaitu pengujian agregat kasar, agregat halus, semen GEOFAST dan *fly ash*.

##### 5.1.1 Semen GEOFAST

Pada semen GEOFAST akan dilakukan pengujian berat jenis. Pengujian dilakukan untuk menghitung kebutuhan semen GEOFAST pada *mix design*. Berikut hasil pengujian berat jenis pada semen GEOFAST :

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Semen GEOFAST

Pemeriksaan	Hasil
Berat semen (W1)	50 gram
Berat labu + minyak (W2)	580 gram
Berat labu + minyak + semen (W3)	616 gram

Maka didapatkan berat jenis semen GEOFAST dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semen GEOFAST} &= \frac{0.8 \times W1}{W1+W2-W3} \quad (5-1) \\ &= \frac{0.8 \times 50}{50+580-616} \\ &= 2,857 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Hasil pengujian berat jenis pada semen GEOFAST adalah 2,857 gr/cm<sup>3</sup>. Kemudian hasil pengujian dapat digunakan dalam perhitungan *mix design* dengan menggunakan perbandingan berat terhadap beton *geopolymer*.

### 5.1.2 Pengujian *fly ash*

Untuk menghitung kebutuhan *fly ash* dalam penelitian ini diperlukan pengujian berat jenis terhadap *Fly Ash*. Hasil pengujian berat jenis *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Jenis *Fly Ash*

Pemeriksaan	Hasil
Berat <i>fly ash</i> (W1)	5,097 gram
Berat labu + minyak (W2)	72,347 gram
Berat labu + minyak + <i>fly ash</i> (W3)	75,649 gram
Berat Jenis <i>fly ash</i>	2,2716 gr/cm <sup>3</sup>

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis pada Tabel 5.2 maka didapatkan berat jenis *fly ash* adalah 2,2716 gr/cm<sup>3</sup>. Hasil pengujian berat jenis tersebut kemudian digunakan untuk menghitung *mix design*.

### 5.1.3 Pengujian agregat halus

Terdapat beberapa pengujian karakteristik dan kelayakan terhadap agregat halus, diantaranya adalah :

#### 1. Pengujian berat jenis dan kadar penyerapan agregat halus

Pengujian ini dilakukan untuk menghitung kebutuhan agregat halus yang akan digunakan dalam *mix design*, hasil perhitungan kemudian menjadi acuan jumlah pasir yang digunakan dalam campuran beton *geopolymer*. Hasil pengujian berat jenis dan kadar penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Kadar Penyerapan Agregat Halus

Pengujian Berat Jenis dan Kadar Penyerapan		
A	Berat kering pasir	492 gram
B	Berat SSD pasir	500 gram
C	Vol total air	314 gram
D	Berat Jenis <i>Bulk</i> = $\frac{A}{B-C}$	2,645 gr/cm <sup>3</sup>
E	Berat Jenis SSD = $\frac{B}{B-C}$	2,688 gr/cm <sup>3</sup>
F	Berat Jenis Semu ( <i>Apparent</i> ) = $\frac{A}{A-C}$	2,764 gr/cm <sup>3</sup>
G	Penyerapan ( <i>Absorption</i> ) = $\frac{B-C}{A} \times 100\%$	1,626 %

Berat jenis yang digunakan dalam perhitungan *mix design* untuk menghitung kebutuhan agregat halus adalah berat jenis SSD. Berdasarkan Tabel 5.3 didapatkan berat jenis SSD adalah 2,688 gr/cm<sup>3</sup>.

## 2. Pemeriksaan kandungan zat organik dalam agregat halus

Pemeriksaan kandungan zat organik dilakukan dengan membandingkan antara warna *Gardner Standard Color* dengan larutan diatas pasir. Hubungan antara warna *Gardner Standard Color* dengan kelayakan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hubungan Warna Larutan Kelayakan Zat Organik

No.	Warna	Kandungan zat Organik	Kelayakan
5	Kuning muda sekali	Sedikit zat organik	Baik untuk digunakan
8	Kuning muda	Agak banyak zat organik	Dapat digunakan
11	Kuning tua	Banyak zat organik	Kurang baik untuk digunakan
14	Oranye tua sekali	Lebih banyak zat organik	Tidak boleh digunakan
16	Merah tua	Banyak sekali zat organik	Tidak boleh digunakan



Gambar 5.1 Hasil Pengujian Kadar Zat Organik Agregat Halus

Setelah agregat halus dicuci menggunakan NaOH 3% kemudian didiamkan 24 jam. Setelah didiamkan warna larutan di atas pasir akan berubah, lalu disesuaikan dengan *Gardner Standard Color*. Hasil pencocokan dengan *Gardner Standard Color* menunjukkan agregat halus yang digunakan memiliki klasifikasi no.5 yang menandakan bahwa agregat halus mengandung sedikit zat organik sehingga baik untuk digunakan.

### 3. Pemeriksaan kadar lumpur

Kadar lumpur maksimum dalam agregat halus adalah 5%, apabila agregat halus mengandung lumpur lebih dari 5% maka agregat halus harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan. Berikut pada Tabel 5.5 adalah hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus.

Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan	Berat ( gram )
Berat agregat halus	100
Berat agregat halus kering oven (B)	97

Berdasarkan hasil pemeriksaan yang telah dilakukan maka kadar lumpur dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

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

$$= \frac{100-97}{100} \times 100\% = 3\%$$

Hasil pemeriksaan kadar lumpur adalah 3%, dimana hasil kecil dari 5% yang menunjukkan bahwa pasir tidak perlu dicuci terlebih dahulu.

#### 5.1.4 Pengujian agregat kasar

Terdapat beberapa pengujian kelayakan terhadap agregat kasar diantaranya adalah sebagai berikut :

##### 1. Pengujian berat jenis dan kadar penyerapan agregat kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menjadi mendapatkan kebutuhan agregat kasar dalam campuran beton *geopolymer*. Hasil pengujian berat jenis dan kadar penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.6. Berdasarkan Tabel 5.6 berat jenis SSD agregat halus adalah 2,456 gr/cm<sup>3</sup> dan kadar penyerapan yang didapatkan adalah 3,591%.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Kadar Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian Berat Jenis dan Kadar Penyerapan		
A	Berat kering kerikil	1615 gram
B	Berat SSD kerikil	1673 gram
C	Berat kerikil dalam air	1000 gram
D	Berat Jenis <i>Bulk</i> = $\frac{A}{B-C}$	2,3997 gr/cm <sup>3</sup>
E	Berat Jenis SSD = $\frac{B}{B-C}$	2,456 gr/cm <sup>3</sup>
F	Berat Jenis Semu ( <i>Apparent</i> ) = $\frac{A}{A-C}$	2,626 gr/cm <sup>3</sup>
G	Penyerapan ( <i>Absorption</i> ) = $\frac{B-C}{A} \times 100\%$	3,591 %

## 2. Pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles Abration*

Hasil pengujian keausan menggunakan mesin *Los Angeles Abration* dapat dilihat pada Tabel 5.7. Berdasarkan Tabel 5.7 maka didapatkan keausan pada agregat kasar adalah 29,06%.

Tabel 5.7. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin LAA

Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar	
Berat sebelumnya (A)	5000 gram
Berat sesudah diayak saringan no. 12 (B)	3547 gram
Keausan = $\frac{A-B}{A} \times 100\%$	29,06%

### 5.1.5 *Setting time* pada beton *geopolymer*

Untuk mendapatkan nilai *setting time* pada beton *geopolymer* maka dilakukan pengujian penetrasi sesuai dengan variasi beton *geopolymer*. Masing – masing variasi menggunakan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} 5 : 2$  dengan molaritas 4M. Pada pengujian ini memiliki 4 variasi, yaitu F0 , F20, F40, F60.

#### 1. *Setting time* beton *geopolymer* variasi F0

Hasil *setting time* dengan variasi F0 dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Penetrasi Variasi F0

Waktu (menit)	Penetrasi (mm)
0 – 300	43
315	40
330	37
345	35
360	30
375	27
400	20
415	17
430	17
445	14
460	13
475	12
490	10
505	7
520	0

2. *Setting time* beton *geopolymer* variasi F20

Hasil *setting time* dengan variasi F20 dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Penetrasi Variasi F20

<b>Waktu (menit)</b>	<b>Penetrasi (mm)</b>
60	41
120	41
125	31
130	23
135	16
140	13
145	6
150	6
155	5
160	3
165	2
170	0

3. *Setting time* beton *geopolymer* variasi F40

Hasil *setting time* dengan variasi F40 dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Penetrasi Variasi F40

<b>Waktu (menit)</b>	<b>Penetrasi (mm)</b>
60	41
65	26
70	22
75	16
80	9
85	6
90	0

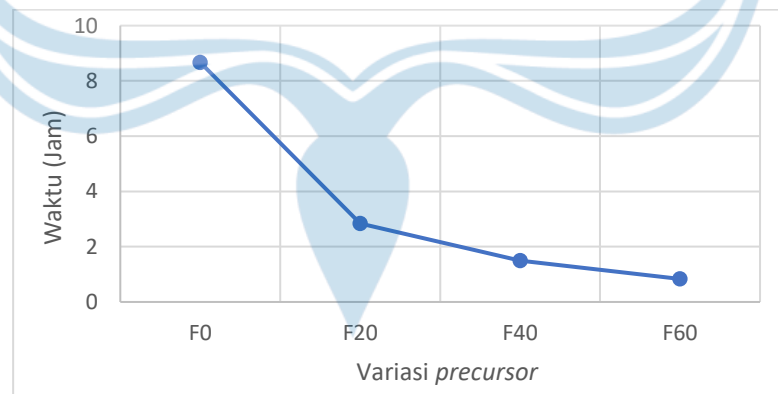
#### 4. *Setting time* beton *geopolymer* variasi F60

Hasil *setting time* dengan variasi F60 dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Penetrasi Variasi F60

Waktu (menit)	Penetrasi (mm)
30	41
35	26
40	23
45	5
50	2
55	0

Pengujian *setting time* dilakukan berdasarkan SNI 03-6827-2002. Berdasarkan pengujian *setting time* yang dilakukan terhadap setiap variasi dapat dilihat bahwa semakin banyak kandungan *fly ash* di dalam *precursor* beton *geopolymer* akan mempercepat waktu pengerasan pada beton *geopolymer*. Grafik hasil pengujian *setting time* setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Hasil *Setting Time* tiap Variasi

## 5.2 Kebutuhan Adukan Beton *Geopolymer*

Kebutuhan adukan campuran beton *geopolymer* dihitung berdasarkan perhitungan volume dalam *mix design*. Perhitungan dalam *mix design* menggunakan data berat jenis dari



setiap material yang akan digunakan. Berat jenis material yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Jenis Material Beton *Geopolymer*

Material	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
<i>Fly Ash</i>	2,272
GEOFAST	2,857
Agregat Kasar	2,486
Agregat Halus	2,688

Kemudian kebutuhan material campuran beton *geopolymer* per 1 m<sup>3</sup> dapat dihitung berdasarkan hasil pengujian berat jenis pada Tabel 5.12. Perhitungan kebutuhan campuran material dihitung sesuai variasi pada penelitian ini. Proporsi campuran material beton *geopolymer* dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan kebutuhan material campuran adukan beton per 1m<sup>3</sup> dapat dilihat pada Tabel.5.14.

Tabel 5.13 Proporsi Campuran Material Beton *Geopolymer*

Bahan	Perbandingan	Bahan	Perbandingan	Substitusi dan Aktivator	Persentase	Volume	Tot. Vol		
Agregat	70%	Kerikil	65%			0,455	0,455		
		Pasir	35%			0,245	0,245		
Binder	30%	SEMEN	70%	FLYASH	0%	0,0000	0		
					20%	0,0420	0,042		
					40%	0,0840	0,084		
					60%	0,1260	0,126		
				GEOFAST	100%	0,2100	0,21		
					80%	0,1680	0,168		
					60%	0,1260	0,126		
					40%	0,0840	0,084		
		AKTIVATOR	30%	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>			5%	0,064285714	0,064285714
				NaOH			2,00%	0,025714286	0,025714286

Tabel 5.14 Kebutuhan Material Campuran Beton *Geopolymer*

Variasi	Kerikil (kg)	Pasir (kg)	Semen (kg)		Aktivator 5 :2 (lt)	
			GEOFAST	<i>Fly Ash</i>	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NaOH 4M
F0	1357,29	790,323	720	0	231,43	92,57
F20	1357,29	790,323	576	114,5	231,43	92,57
F40	1357,29	790,323	432	228,98	231,43	92,57
F60	1357,29	790,323	288	343,47	231,43	92,57

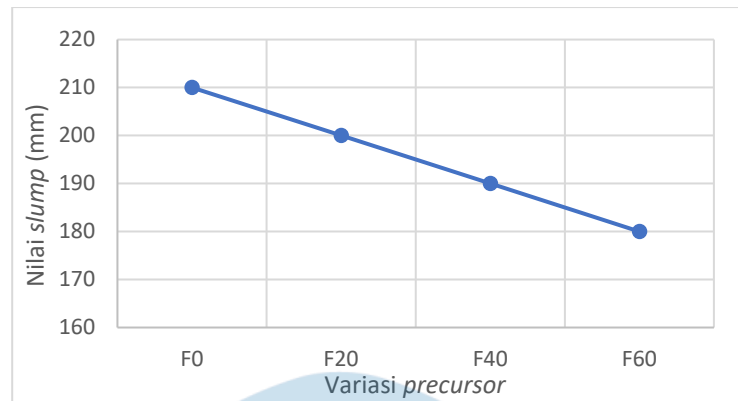
### 5.3 Pengujian Nilai Slump

Untuk mengetahui kemudahan pekerjaan ketika proses pengadukan beton (*workability*) maka perlu dilakukan pengujian nilai *slump*. Semakin kecil nilai *slump* maka *workability* pada beton *geopolymer* semakin sulit. Pengukuran nilai *slump* dilakukan sekali untuk setiap variasi. Menurut SNI 1972:2008 nilai *slump* <150mm tidak cukup plastis, sedangkan beton yang memiliki nilai *slump* >230mm tidak cukup kohesif. Hasil pengujian nilai *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Variasi	Hasil Pengujian (mm)
F0	210
F20	200
F40	190
F60	180

Dari hasil pengujian Tabel 5.14 dapat dilihat bahwa banyaknya kandungan *fly ash* mempengaruhi *workability* pada beton *geopolymer*, semakin banyak kandungan *fly ash* pada *precursor* beton *geopolymer* akan semakin kecil nilai *slump* yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan banyaknya kandungan *fly ash* pada *precursor* akan mempercepat waktu pengerasan ketika proses pengadukan, sehingga menyebabkan *workability* pada beton *geopolymer* menurun. Menurut SNI 1972:2008 nilai *slump* yang dihasilkan menunjukkan bahwa beton *geopolymer* ini cukup plastis dan kohesif. Grafik hasil pengujian nilai *slump* dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Hasil Pengujian Nilai *Slump* Beton *Geopolymer*

#### 5.4 Pengujian Sifat Mekanik Beton *Geopolymer*

Pada penelitian ini terdapat beberapa jenis pengujian mekanik beton *geopolymer*, yaitu pengujian berat jenis, pengujian berat jenis, pengujian kuat tekan, pengujian tarik belahm dan pengujian modulus elastisitas

##### 5.4.1 Pengujian berat jenis

Menurut SNI 03-2834-2000 berat jenis beton normal adalah 2200-2500 kg/m<sup>3</sup> dengan menggunakan agregat alam batu pecah. Hasil pengujian berat jenis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Berat Jenis Beton *Geopolymer*

Variasi	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
F0	2,351
F20	2,264
F40	2,256
F60	2,256

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis pada Tabel 5.16 dapat dilihat bahwa beton pada penelitian ini memiliki berat jenis antara 2,200 – 2,300 gr/cm<sup>3</sup>, maka beton ini dapat digolongkan sebagai beton normal.

##### 5.4.2 Pengujian kuat tekan beton *geopolymer*

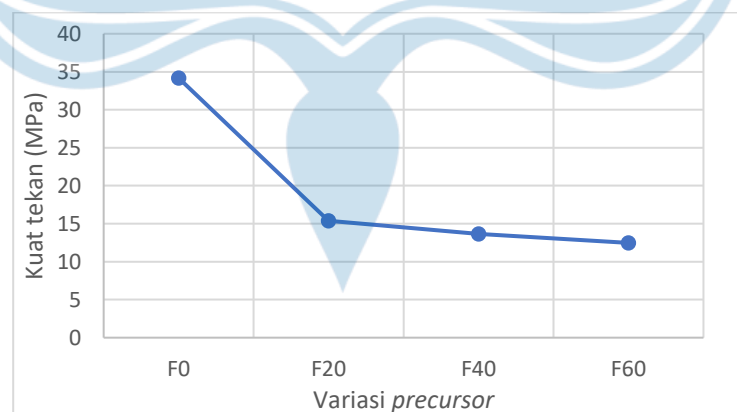
Pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton *geopolymer* dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Mesin yang digunakan adalah mesin CTM merk ELE. Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap beton

*geopolymer* yang berumur 21 hari. Pada pengujian ini dilakukan terhadap 4 variasi benda uji, yaitu F0, F20, F40, F60. Masing – masing variasi memiliki 3 sampel benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm, sehingga total benda uji dalam pengujian ini adalah 12 buah benda uji. Berikut hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Geopolymer* 21 hari

Variasi	Kuat Tekan (MPa )
F0	34,174
F20	15,371
F40	13,681
F60	12,477

Berdasarkan Tabel 5.17 diatas, hasil kuat tekan beton *geopolymer* pada umur 21 hari dapat dilihat bahwa semakin banyak kandungan *fly ash* di dalam *precursor* beton *geopolymer* akan menurunkan kuat tekan. Kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh beton *geopolymer* dengan kadar 0% *fly ash* sebesar 34,174 MPa, sedangkan kuat tekan terendah dihasilkan oleh beton dengan kadar *fly ash* paling banyak yaitu dengan kadar 60% yang menghasilkan kuat tekan sebesar 12,477 MPa. Grafik hasil pengujian kuat tekan pada beton *geopolymer* dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafil Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Geopolymer* 21 Hari

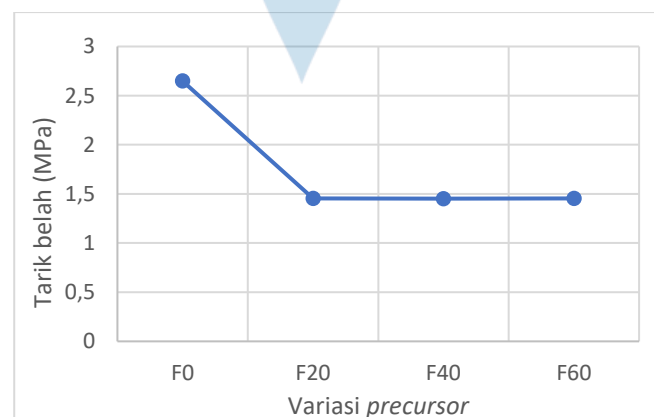
### 5.4.3 Pengujian tarik belah beton *geopolymer*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beton *geopolymer* dapat menahan beban tarik dengan cara meletakkan benda uji secara sejajar dengan mesin uji. Pengujian tarik belah dilakukan dengan menggunakan mesin CTM merk ELE. Pengujian ini dilakukan terhadap masing – masing variasi beton *geopolymer*, yaitu F0, F20, F40, F60. Masing – masing variasi memiliki 3 sampel benda uji sehingga total benda uji pada pengujian ini adalah 12 sampel benda uji berbentuk silinder yang berukuran 150 mm x 300 mm. Berikut hasil pengujian tarik belah pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Tarik Belah Beton *Geopolymer* 21 hari

Variasi	Hasil Pengujian (MPa)
F0	2,648
F20	1,455
F40	1,452
F60	1,454

Dari hasil pengujian Tabel 5.17 dapat dilihat bahwa hasil tarik belah pada penelitian ini berkisar 1,4 – 2,8 MPa, hasil pengujian tarik belah sangatlah wajar karena beton *geopolymer* tidak dapat menerima beban tarik yang terlalu besar. Hasil tarik belah tertinggi didapatkan pada beton *geopolymer* dengan 0% kadar *fly ash* yaitu sebesar 2,648 MPa. Grafik hasil pengujian tarik belah dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Hasil Pengujian Tarik Belah Beton *Geopolymer* 21 Hari

#### 5.4.4 Pengujian modulus elastisitas beton *geopolymer*

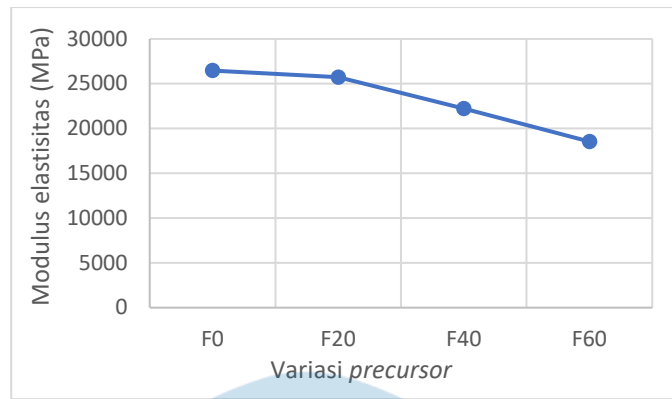
Pengujian nilai modulus elastisitas menggambarkan kekakuan pada beton *geopolymer*. Nilai kekakuan beton berbanding lurus dengan nilai kuat tekan, tapi berbanding terbalik dengan nilai regangan beton (Lianasari, 2013). Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan menggunakan mesin UTM merek *Shimadzu*. Pada penelitian ini nilai modulus elastisitas diambil dari 50% nilai kuat tekan.

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban dengan benda uji diletakkan secara sejajar mesin uji. Pengujian modulus elastisitas dilakukan terhadap setiap variasi beton *geopolymer*, yaitu F0, F20, F40, F60. Setiap variasi memiliki 3 sampel, sehingga total benda uji pada pengujian ini adalah 12 benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm. Berikut hasil pengujian modulus elastisitas pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Table 5.19 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton *Geopolymer* 21 hari

Variasi	Hasil Pengujian (MPa)
F0	26467,2
F20	25716,9
F40	22212,1
F60	17233,1

Dari Tabel 5.19 dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi dihasilkan oleh beton *geopolymer* dengan 100% semen GEOFAST sebesar 44971,1 MPa. Kandungan *fly ash* di dalam *precursor* mempengaruhi nilai modulus elastisitas, semakin banyak kandungan *fly ash* di dalam *precursor geopolymer* akan menurunkan nilai modulus elastisitas. Grafik nilai modulus elastisitas pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton *Geopolymer*

