

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan *Ground Granulated Blast Furnace Slag* dapat digunakan untuk menghasilkan pasta *geopolimer* dan beton yang dihasilkan pun memenuhi standar beton mutu tinggi.
2. Semakin besar molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan yaitu molaritas 8M, 10M, dan 12M masing-masing sebesar 53,0MPa, 54,11MPa, dan 56,79 MPa.
3. Nilai modulus elastisitas terbesar terdapat pada variasi 12M yaitu 28375.28 MPa.
4. Nilai kuat tarik belah beton berada pada kisaran 4%-6% dari nilai kuat tekan beton

6.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, penulis memiliki beberapa saran, yaitu :

1. Saat proses pembuatan benda uji, sebaiknya mencampurkan aktivator secara cepat dan pastikan semua tercampur rata karena adukan beton geopolimer sangat cepat mengeras.

2. Pengujian *slump* harus dilakukan dengan cepat karena campuran GGBFS dengan aktivator memiliki *setting time* yang lebih singkat.
3. Sebelum melakukan *dry curing*, pastikan oven sudah dinyalakan pada suhu 60° selama kurang lebih 1jam.
4. Benda uji sebaiknya diletakkan pada suhu ruang dan dibungkus dengan plastik tebal agar suhu tetap stabil.



DAFTAR PUSTAKA

- Adi, D., Rahman, F., Lie, H.A., Purwanto, 2018, Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton *Geopolimer* Berbahan Dasar *Fly Ash*, Jurnal Karya Teknik Sipil, vol.7, no.1. pp 89 - 98.
- Abdullah, M. M. A. B., Ekaputri J. J., Risdanareni P., 2015, Effect of Alkaline Activator Ratio to Mechanical Properties of Geopolymer Concrete with Trass as Filler, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 754-755, pp 406 – 412.
- ASTM C 33 – 03, 2003, *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM International, United States.
- Babu, 2016 Tingkah laku *Ground Granulated Blast Furnace Slag* dengan variasi 0%,10%,20%,30%,40%,50%, Jurnal.
- Davidovits, J., 1999, Chemistry of Geopolymer Systems, Terminology, In Proceedings of Geopolymer, *International Conferences*, France.
- Deb, P.S., dkk (2014) Efek Penggunaan GGBFS yang dikombinasikan dengan *fly ash* pada beton geopolimer.
- Hediyanto, 2013, Peranan Beton Dalam Pembangunan Infrastruktur Indonesia
<http://www.pu.go.id/berita/view/10400/peranan-beton-dalam-pembangunan-infrastruktur-indonesia>
- Hilal, dkk., 2017, Effect of GGBS and Curing Temperature on Microstructure Characteristics of Lightweight Geopolymer Concrete, *MATEC Web of Conferences 120, 03004, United Arab Emirates University, UAE*.
- Ilmiah R(2017) Ikatan polimerisasi pada beton geopolimer
- Kumar, 2017 Penelitian beton normal dengan menggunakan *Ground Granulated Blast Furnace Slag* dengan variasi 10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90%
- Lianasari dkk., 2004, PENGARUH PENGGUNAAN SOLID MATERIAL ABU TERBANG DAN ABU SEKAM PADA KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER
- Madhava, N., dkk (2016) Beton geopolimer dengan menggunakan GGBFS DAN metakaulin

- Padmanaban, dkk., 2018, Geopolymer Concrete with GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag), *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, India.
- Risdanareni dkk 2014 Pengaruh molaritas aktivator alkalin terhadap kuat mekanik beton *geopolimer* dengan tras sebagai pengisi.
- Rosita (2013) Kandungan kimia pada limbah hasil industri besi ataupun baja.
- SNI 03-1970-1990, 1990, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standar Nasional Indonesia
- SNI-03-2834-2000, 2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-6827-2002, *Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil*, Badan Standar Nasional Indonesia
- SNI 1974-2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder* , Badan Standar Nasional Indonesia
- SNI 03-2491-2014, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton* , Badan Standar Nasional Indonesia



PENGUJIAN BERAT JENIS GGBFS

- I. Waktu Pemeriksaan : 15 Oktober 2019
- II. Bahan
- a. GGBFS : PT. Krakatau Semen Indonesia

Pemeriksaan	Berat (gram)
Berat GGBFS (W_1)	5,038
Berat GGBFS + minyak tanah + piknometer (W_2)	75,538
Berat piknometer + minyak tanah (W_3)	71,925

Maka berat jenis GGBFS dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis GGBFS} &= \frac{0,8 \times W_1}{W_1 + W_3 - W_2} \\ &= \frac{0,8 \times 5,038}{5,038 + 71,925 - 75,538} \\ &= 2,828 \text{ gram/cc} \end{aligned}$$

Kesimpulan :

- Berat jenis GGBFS yang didapat dalam pengujian ini adalah 2,828 gram/cc.



PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

- I. Waktu Pemeriksaan : 16 Oktober 2019
- II. Bahan : Kerikil / *Split*
- III. Asal : Clereng
- IV. Lokasi Pengujian : Laboratorium Struktur dan Bahan
Bangunan (LSBB), Jurusan Teknik Sipil,
Universitas Atma Jaya, Yogyakarta

	NOMOR PEMERIKSAAN	I	II
A	Berat Contoh Kering	972	-
B	Berat Contoh Jenuh Kering Permukaan (SSD)	1015	-
C	Berat Contoh Dalam Air	607,5	-
D	Berat Jenis Bulk $= \frac{(A)}{(B) - (C)}$	2,385	-
E	BJ.Jenuh Kering Permukaan (SSD) $= \frac{(B)}{(B) - (C)}$	2,491	-
F	Berat Jenis Semu (Apparent) $= \frac{(A)}{(A) - (C)}$	2,667	-
G	Penyerapan (Absorption) $= \frac{(B) - (A)}{(A)} \times 100 \%$	4.424%	-
H	Berat Jenis Agregat Kasar	2,526	-
I	Rata – Rata	2,526	

PERSYARATAN UMUM :

- Absorption : 5%
- Berat Jenis : 2,3 – 2,6



PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT KASAR DENGAN MESIN LOS
ANGELES ABRATION

- I. Waktu Pemeriksaan : 15 Oktober 2019
II. Bahan : Kerikil/*Split*
III. Asal : Clereng
IV. Lokasi Pengujian : Laboratorium Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Gradasi Saringan		Nomor Contoh	
		I	II
Lolos	Tertahan	Berat Setiap Agregat	Berat Setiap Agregat
3/8"	1/4"	2500	-
1/4"	No. 4	2500	-

Nomor Contoh		I
Berat Sebelumnya	(A)	5000 gram
Berat Sesudah Diayak Saringan No. 12	(B)	3308 gram
Berat Sesudah	(A) - (B)	1692 gram
Keausan	$\frac{(A) - (B)}{(A)}$	33,84 %

Kesimpulan : Keausan Agregat didapat sebesar $33,84\% \leq 40\%$, memenuhi syarat (OK).

UKURAN SARINGAN		BERAT AGREGAT			
LOLOS	TERTAHAHAN	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250	-	-	-
1"	3/4"	1250	-	-	-
3/4"	1/2"	1250	2500	-	-
1/2"	3/8"	1250	2500	-	-
3/8"	1/4"	-	-	2500	-
1/4"	No. 4	-	-	2500	-
No. 4	No. 8	-	-	-	5000
TOTAL		5000	5000	5000	5000
JUMLAH BOLA BAJA		12	11	8	6



PENGUJIAN ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR

- I. Waktu Pemeriksaan : 14 Oktober 2019
- II. Bahan : Kerikil/*Split*
- III. Asal : Clereng
- IV. Lokasi Pengujian : Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan (LSBB), Jurusan Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta

Ayakan	Berat Saringan	Berat Saringan + Kerikil	Berat Kerikil	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4"	502	502	0	0	0	100
1/2"	447	502	55	55	5,5	94,5
3/8"	542	748	207	262	26,2	73,8
No.4	507	1155	649	911	91,1	8,9
No.8	329	411	82	993	99,3	0,7
No.30	403	410	7	1000	100	0
No.50	374	374	0	1000	100	0
No.100	272	272	0	1000	100	0
No.200	253	253	0	1000	100	0
PAN	372	372	0	-	-	-

Kesimpulan : Dari data diatas maka didapat nilai MHB (Modulus Halus Butir) sebesar 6,221. 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 (**OK**).



PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

- I. Waktu Pemeriksaan : 14 Oktober 2019
- II. Bahan : Pasir
- III. Asal : Kali Progo
- IV. Lokasi Pengujian : Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan (LSBB), Jurusan Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta

Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Agregat Halus		
Berat Awal (V)	500	gr
Berat Pasir Keadaan Kering Oven (A)	492,35	gr
Berat Piknometer + Air (B)	742,35	gr
Berat Piknometer + Pasir + Air (C)	1065,1	gr
Berat Jenis Bulk	2,778	gr/cm ³
Berat Jenis SSD	2,821	gr/cm ³
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,903	gr/cm ³
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	1,554	%

Maka berat jenis agregat halus dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis agregat halus} &= \frac{BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}}{2} \\ &= \frac{2,778 + 2,903}{2} \\ &= 2,841 \text{ gram/cc} \end{aligned}$$

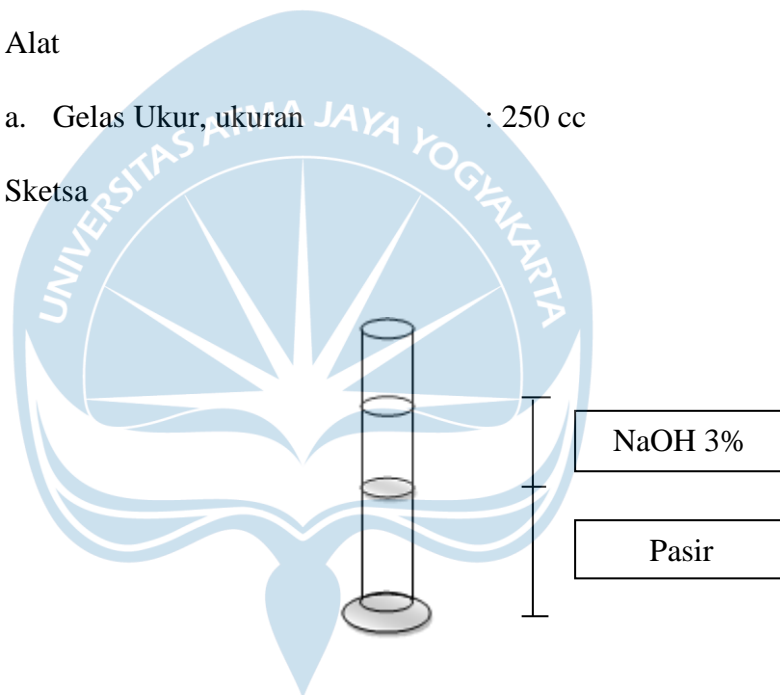
Kesimpulan :

- Berat jenis agregat halus yang didapat dalam pengujian ini adalah 2,841 gram/cc.



PENGUJIAN KANDUNGAN ZAT ORGANIK AGREGAT HALUS

- I. Waktu Pemeriksaan : 9 Oktober 2019
- II. Bahan
 - b. Pasir Kering Tungku, asal : Kali Progo
 - c. Larutan NaOH 3%
- III. Alat
 - a. Gelas Ukur, ukuran : 250 cc
- IV. Sketsa



- V. Hasil

Setelah didiamkan selama 24 jam, warna larutan di atas pasir sesuai dengan *Gardner Standart Colour*.

Kesimpulan : Warna *Gardner Standart Colour* No. 5, maka dapat disimpulkan pasir tersebut baik digunakan.



PENGUJIAN KANDUNGAN LUMPUR AGREGAT HALUS

- I. Waktu Pemeriksaan : 09 Oktober 2019
- II. Bahan
- d. Pasir Kering Tungku, asal: Kali Progo, berat : 100,00 gram
- e. Air Jernih, asal : LSBB Prodi TS FT - UAJY
- III. Alat
- b. Gelas Ukur, ukuran : 250 cc
- c. Timbangan
- d. Tungku (oven), suhu antara 105 – 110⁰C
- IV. Pasir + Piring Masuk Tungku
- V. Hasil
- Pasir + Piring Keluar Tungku
- a. Berat Pasir = 91,38 gram
- Kandungan Lumpur = $\frac{100-91,38}{100} \times 100\%$
- = 8,62 %

Kesimpulan : Kandungan lumpur 8,62 > 5%, pasir harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.



PENGUJIAN ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

- I. Waktu Pemeriksaan : 2 April 2019
- II. Bahan : Pasir
- III. Asal : Kali Progo
- IV. Lokasi Pengujian : Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan
(LSBB), Jurusan Teknik Sipil, Universitas
Atma Jaya, Yogyakarta.

Ayakan	Berat Saringan	Berat Saringan + Pasir	Berat Pasir	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4" (19 mm)	557	557	0	0	0	100
1/2" (12,5 mm)	448	448	0	0	0	100
3/8" (9,5 mm)	543	543	0	0	0	100
No. 4	507	507	0	0	0	100
No. 8	329	414	85	85	8.5	91.5
No. 30	402	948	546	631	63.1	36.9
No. 50	373	642	269	900	90	10
No. 100	289	371	82	982	98.2	1.8
Pan	369	387	18	-	-	-

Kesimpulan : Dari data diatas maka didapat nilai MHB (Modulus Halus Butir) sebesar 3,598. 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 (**OK**).

ALAT DAN BAHAN PENELITIAN



Gelas Beker 1000 ml



Gelas Ukur 500 ml



Kerucut Abrams



Timbangan Digital



Oven



Silinder



Kaliper



Vicat



Cetok



Compressometer



Piknometer



Kain Perca



Palu



Plastik Kedap Udara



Compression Testing Machine



Universal Testing Machine



Aquades



NaOH



Na₂SiO₃



Oli



Krikil



Pasir

DOKUMENTASI PROSES PENELITIAN



Pengujian Berat Jenis Krikil



Pengujian Berat Jenis Pasir



Pengujian Kandungan Lumpur



Pengujian *Setting Time*



Proses Pembuatan Aktivator



Proses Mixing Beton Geopolimer



Hasil Proses Mixing Beton



Benda Uji Sebelum Diuji



Proses *Ambient Curing* Beton



Proses *Dry Curing* Beton
Geopolimer



Pengujian Kuat Tekan Beton



Pengujian Kuat Tarik Belah
Beton



Proses *Modulus of Rupture*



Pengujian Modulus Elastisitas



MIX DESIGN

A. Volume Silinder		1	Satuan m ³
KEPERLUAN AGREGAT KASAR			
B. Berat Jenis Agregat Kasar		2526	kg/m ³
C. Variasi Jumlah Agregat 70 %	(A x 70%)	0,7	m ³
D. Jumlah Agregat Kasar 65 %	(C x 65%)	0,455	m ³
E. Jumlah Kebutuhan Agregat Kasar	(D x B)	1149,3	kg
KEPERLUAN AGREGAT HALUS			
F. Berat Jenis Agregat Halus		2841	kg/m ³
G. Variasi Jumlah Agregat 70 %	(A x 70%)	0,7	m ³
H. Jumlah Agregat Halus 35 %	(G x 35%)	0,245	m ³
I. Jumlah Kebutuhan Agregat Halus	(F x H)	696,1	kg
KEPERLUAN GGBFS			
J. Berat Jenis GGBFS		2828	kg/m ³
K. Variasi Jumlah GGBFS + Aktivator 30 %	(A x 30%)	0,3	m ³
L. Jumlah GGBFS 74 %	(K x 74%)	0,222	m ³
M. Jumlah Kebutuhan GGBFS	(J x L)	627,8	kg
KEPERLUAN AKTIVATOR			
N. Variasi Jumlah GGBFS + Aktivator 30 %	(A x 30%)	0,3	m ³
O. Jumlah Aktivator 26 %	(N x 26%)	0,078	m ³
P. Jumlah Na ₂ SiO ₃			
Perbandingan 5:2	(5/7) x O	0,714	ml
Q. Jumlah NaOH			
Perbandingan 5:2	(O-P)	0,0223	ml
R. Jumlah Kebutuhan Na ₂ SiO ₃	(P x 1000) x 2	111,4	l
S. Jumlah Kebutuhan NaOH	(Q x 1000) x 2	44,6	l



HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN 7 HARI BETON GEOPOLIMER BERBASIS GGBFS DENGAN VARIASI KADAR MOLARITAS

	8M			12m			10m		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Diameter (mm)	101,01	99,84	101,07	101,16	99,30	99,53	99,80	100,27	100,14
Tinggi (mm)	190,70	200,89	201,37	202,67	201,82	200,60	200,60	200,72	202,40
Berat (kg)	3,63	3,59	3,60	3,61	3,57	3,61	3,56	3,61	3,59
Berat Jenis (kg/m ³)	2371,18	2283,63	2224,31	2212,25	2283,18	2308,88	2265,19	2279,24	2253,03
Rata-Rata Berat Jenis (kg/m ³)	2293,04			2268,10			2265,82		
Beban (KN)	410	395	370	370	420	390	420	410	410
Kuat Tekan (Mpa)	51,14	50,43	46,10	46,02	54,21	50,11	53,67	51,90	52,04
Rata-Rata (Mpa)	49,23			50,11			52,54		
Konversi ke silinder besar (MPa)	51,19			52,12			54,64		

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN 28 HARI BETON GEOPOLIMER BERBASIS GGBFS DENGAN VARIASI KADAR MOLARITAS

	8M			10m			12m		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Diameter (mm)	100,04	100,18	100,71	100,22	99,92	100,96	101,96	101,16	100,70
Tinggi (mm)	201,02	201,85	200,79	201,20	200,20	202,59	202,02	201,64	202,86
Berat (kg)	3,64	3,58	3,62	3,68	3,62	3,64	3,66	3,66	3,66
Berat Jenis (kg/m ³)	2302,77	2249,20	2262,33	2317,64	2305,02	2243,47	2218,00	2257,47	2264,44
Rata-Rata Berat Jenis (kg/m ³)	2271,43			2288,71			2246,64		
Beban (KN)	390	420	400	400	435	400	435	450	435
Kuat Tekan (Mpa)	49,60	53,26	50,19	50,69	55,45	49,95	53,26	55,97	54,60
Rata-Rata (Mpa)	51,02			52,03			54,61		
Konversi ke silinder besar (MPa)	53,06			54,11			56,79		

*Konversi dari silinder kecil (diameter 10cm dan tinggi 20cm) ke silinder besar (diameter 15cm dan tinggi 30cm) dikali 1,04

Contoh Perhitungan: Hasil uji kuat tekan 7 hari, dengan kadar molaritas 8M No.1

1. Berat Jenis

$$= 3,63 / (0,25 \times \pi) \times ((101,01/1000)^2) \times (190,70/1000) \\ = 2372,28 \text{ kg/m}^3$$

2. Kuat Tekan

$$= (410 \times 1000) / (0,25 \times \pi \times 101,01^2) \\ = 51,14 \text{ MPa}$$



**HASIL PENGUJIAN TARIK BELAH 28 HARI BETON GEOPOLIMER
BERBASIS GGBFS DENGAN VARIASI KADAR MOLARITAS**

	8M		10m		12m	
	1	2	1	2	1	2
Diameter (mm)	149,35	149,55	148,91	150,49	149,18	150,48
Tinggi (mm)	301,39	300,99	302,56	300,93	302,04	302,94
Berat (kg)	11,74	11,70	11,78	11,88	11,88	12,20
Berat Jenis (kg/m ³)	2222,61	2212,06	2234,71	2218,56	2249,40	2263,50
Rata-Rata Berat Jenis (kg/m ³)	2217,34		2226,64		2256,45	
Beban (KN)	160	175	175	175	195	180
Tarik Belah(Mpa)	2,26	2,47	2,47	2,46	2,75	2,51
Rata-Rata (Mpa)	2,37		2,47		2,63	

Contoh Perhitungan: Hasil uji tarik belah, dengan kadar molaritas 8M No.1

1. Berat Jenis \rightarrow berat / $(0,25 \times \pi) \times (\text{panjang}/1000)^2 \times (\text{lebar}/1000)$
 $= 11,74 / (0,25 \times \pi) \times ((149,35/1000)^2) \times (301,39/1000)$
 $= 2222,61 \text{ kg/m}^3$
2. Tarik Belah $\rightarrow (2 \times \text{beban} \times 1000) / (\pi \times d \times t)$
 $= (2 \times 160 \times 1000) / (\pi \times 149,35 \times 301,39)$
 $= 2,26 \text{ MPa}$



**HASIL PENGUJIAN MODULUS OF RUPTURE 28 HARI BETON
GEOPOLIMER BERBASIS GGBFS DENGAN VARIASI KADAR MOLARITAS**

	8M		10m		12m	
	1	2	1	2	1	2
Panjang (mm)	501	502	496	498	500	495
Lebar (mm)	103,38	100,56	100,45	101,28	101,84	102,55
Tinggi (mm)	104,62	103,52	104,20	102,02	102,78	101,70
Berat (kg)	11,90	11,58	11,56	11,56	11,92	11,88
Berat Jenis (kg/m ³)	583,67	581,58	595,36	585,75	595,87	601,74
Rata-Rata Berat Jenis (kg/m ³)	582,63		590,55		598,80	
Beban Maksimum (kgf)	1072,50	1050,00	1212,50	1105,00	1207,50	1232,50
Beban Maksimum (N)	10517,63	10296,98	11890,56	10836,35	11841,53	12086,70
y (mm)	52,31	51,76	52,1	51,01	51,39	50,85
Momen (Nmm)	736234,25	720788,78	832339,42	758544,38	828907,09	846068,73
inersia (mm ⁴)	9865053,14	9296442,95	9470476,96	8961865,14	9214313,51	8989122,06
Tegangan (MPa)	3,90	4,01	4,58	4,32	4,62	4,79
Tegangan Rerata (MPa)	3,96		4,45		4,70	

Contoh Perhitungan: Hasil uji kuat lentur, dengan kadar molaritas 8M No.1

1. Berat Jenis \rightarrow berat / $(0,25 \times \pi) \times (\text{panjang}/1000)^2 \times (\text{lebar}/1000)$
 $= 11,90 / (0,25 \times \pi) \times ((501/1000)^2) \times (103,38/1000)$
 $= 583,67 \text{ kg/m}^3$
2. Momen (M) $\rightarrow (P/2) \times 140$
 $= (10517,63/2) \times 140$
 $= 736234,25 \text{ Nmm}$
3. Inersia (I) $\rightarrow bh^3/12$
 $= (103,38 \times (104,62)^3)$
 $= 9865053,14 \text{ mm}^4$
4. y $\rightarrow h/2$
 $= 104,62/2$
 $= 52,31 \text{ mm}$
5. Tegangan $\rightarrow (M \cdot y) / I$
 $= (736234,25 \times 52,31) / 9865053,14$
 $= 3,90 \text{ Mpa}$



**HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS 28 HARI BETON
GEOPOLIMER BERBASIS GGBFS DENGAN VARIASI KADAR MOLARITAS**

Benda Uji	8M-1				
Po (mm)	205,76				
Diameter	149,74				
Ao (mm ²)	17617,34				
Ec (MPa)	30229,15	x=			-0,1519
Beban (kgf)	N	ΔP	Tegangan	Regangan	Regangan Koreksi
0	0	0	0	-0,1519	0
500	4905	0,045	0,2784	0,0437	0,1957
1000	9810	0,145	0,5568	0,1409	0,2929
1500	14715	0,255	0,8353	0,2479	0,3998
2000	19620	0,285	1,1137	0,2770	0,4289
2500	24525	0,395	1,3921	0,3839	0,5359
3000	29430	0,48	1,6705	0,4666	0,6185
3500	34335	0,54	1,9489	0,5249	0,6768
4000	39240	0,64	2,2274	0,6221	0,7740
4500	44145	0,73	2,5058	0,7096	0,8615
5000	49050	0,84	2,7842	0,8165	0,9684
5500	53955	0,91	3,0626	0,8845	1,0364
6000	58860	1,01	3,3410	0,9817	1,1336
6500	63765	1,11	3,6194	1,0789	1,2309
7000	68670	1,195	3,8979	1,1615	1,3135
7500	73575	1,285	4,1763	1,2490	1,4010
8000	78480	1,375	4,4547	1,3365	1,4884
8500	83385	1,465	4,7331	1,4240	1,5759
9000	88290	1,585	5,0115	1,5406	1,6926
9500	93195	1,695	5,2900	1,6476	1,7995
10000	98100	1,78	5,5684	1,7302	1,8821
10500	103005	1,85	5,8468	1,7982	1,9501
11000	107910	1,895	6,1252	1,8420	1,9939
11500	112815	1,93	6,4036	1,8760	2,0279
12000	117720	1,95	6,6821	1,8954	2,0473
12500	122625	1,96	6,9605	1,9051	2,0571
13000	127530	2,06	7,2389	2,0023	2,1543



13500	132435	2,2	7,5173	2,1384	2,2903
14000	137340	2,29	7,7957	2,2259	2,3778
14500	142245	2,405	8,0741	2,3377	2,4896
15000	147150	2,46	8,3526	2,3911	2,5431
15500	152055	2,635	8,6310	2,5612	2,7132
16000	156960	2,745	8,9094	2,6682	2,8201
16500	161865	2,845	9,1878	2,7654	2,9173
17000	166770	2,965	9,4662	2,8820	3,0339
17500	171675	3,07	9,7447	2,9841	3,1360
18000	176580	3,19	10,0231	3,1007	3,2526
18500	181485	3,33	10,3015	3,2368	3,3887
19000	186390	3,41	10,5799	3,3145	3,4665
19500	191295	3,51	10,8583	3,4117	3,5637
20000	196200	3,62	11,1368	3,5187	3,6706
20500	201105	3,735	11,4152	3,6304	3,7824
21000	206010	3,865	11,6936	3,7568	3,9087
21500	210915	3,965	11,9720	3,8540	4,0059
22000	215820	4,085	12,2504	3,9706	4,1226
22500	220725	4,185	12,5289	4,0678	4,2198
23000	225630	4,31	12,8073	4,1893	4,3413
23500	230535	4,42	13,0857	4,2963	4,4482
24000	235440	4,475	13,3641	4,3497	4,5017
24500	240345	4,6	13,6425	4,4712	4,6232
25000	245250	4,7	13,9209	4,5684	4,7204
25500	250155	4,775	14,1994	4,6413	4,7933
26000	255060	4,88	14,4778	4,7434	4,8953
26500	259965	4,92	14,7562	4,7823	4,9342
27000	264870	4,94	15,0346	4,8017	4,9536
27500	269775	4,95	15,3130	4,8114	4,9634
28000	274680	5,15	15,5915	5,0058	5,1578

Keterangan:

- P_o = jarak dari as ke as (mm)
- A_o = luas permukaan (mm^2)
- E_c = Modulus Elastisitas (MPa)



Benda Uji	8M-2				
Po (mm)	201,21				
Diameter	151,3				
Ao (mm ²)	17986,33				
Ec (MPa)	21798,26	x= -0,4505			
Beban (kgf)	N	ΔP	Tegangan	Regangan	Regangan Koreksi
0	0	0,0000	0	-0,4505	0
500	4905	0,0800	0,2727	0,1193	0,5698
1000	9810	0,1333	0,5454	0,1988	0,6493
1500	14715	0,1667	0,8181	0,2485	0,6990
2000	19620	0,2067	1,0908	0,3081	0,7587
2500	24525	0,2500	1,3635	0,3727	0,8233
3000	29430	0,3033	1,6362	0,4523	0,9028
3500	34335	0,3500	1,9089	0,5218	0,9724
4000	39240	0,4033	2,1817	0,6014	1,0519
4500	44145	0,4500	2,4544	0,6709	1,1215
5000	49050	0,5300	2,7271	0,7902	1,2408
5500	53955	0,5867	2,9998	0,8747	1,3252
6000	58860	0,6333	3,2725	0,9443	1,3948
6500	63765	0,7233	3,5452	1,0785	1,5290
7000	68670	0,7633	3,8179	1,1381	1,5887
7500	73575	0,8167	4,0906	1,2176	1,6682
8000	78480	0,8967	4,3633	1,3369	1,7875
8500	83385	0,9900	4,6360	1,4761	1,9266
9000	88290	1,0233	4,9087	1,5258	1,9763
9500	93195	1,1267	5,1814	1,6798	2,1304
10000	98100	1,1933	5,4541	1,7792	2,2298
10500	103005	1,2733	5,7268	1,8985	2,3491
11000	107910	1,3733	5,9996	2,0476	2,4982
11500	112815	1,4600	6,2723	2,1768	2,6274
12000	117720	1,5500	6,5450	2,3110	2,7616
12500	122625	1,5833	6,8177	2,3607	2,8113
13000	127530	1,6833	7,0904	2,5098	2,9604



13500	132435	1,8167	7,3631	2,7086	3,1592
14000	137340	1,8833	7,6358	2,8080	3,2586
14500	142245	1,9867	7,9085	2,9621	3,4126
15000	147150	2,0800	8,1812	3,1012	3,5518
15500	152055	2,1533	8,4539	3,2106	3,6611
16000	156960	2,2200	8,7266	3,3100	3,7605
16500	161865	2,3533	8,9993	3,5088	3,9593
17000	166770	2,4500	9,2720	3,6529	4,1034
17500	171675	2,5300	9,5447	3,7722	4,2227
18000	176580	2,6167	9,8175	3,9014	4,3519
18500	181485	2,6967	10,0902	4,0207	4,4712
19000	186390	2,7933	10,3629	4,1648	4,6153
19500	191295	2,8933	10,6356	4,3139	4,7644
20000	196200	2,9933	10,9083	4,4630	4,9135
20500	201105	3,0667	11,1810	4,5723	5,0229
21000	206010	3,1233	11,4537	4,6568	5,1074
21500	210915	3,2233	11,7264	4,8059	5,2565
22000	215820	3,3500	11,9991	4,9948	5,4453
22500	220725	3,4833	12,2718	5,1936	5,6441
23000	225630	3,5033	12,5445	5,2234	5,6739
23500	230535	3,5967	12,8172	5,3626	5,8131
24000	235440	3,7067	13,0899	5,5266	5,9771
24500	240345	3,7667	13,3626	5,6160	6,0666
25000	245250	3,8600	13,6354	5,7552	6,2057
25500	250155	3,9533	13,9081	5,8943	6,3449
26000	255060	4,0400	14,1808	6,0236	6,4741
26500	259965	4,1500	14,4535	6,1876	6,6381
27000	264870	4,2300	14,7262	6,3068	6,7574
27500	269775	4,3300	14,9989	6,4559	6,9065
28000	274680	4,3967	15,2716	6,5553	7,0059

Keterangan:

-Po = jarak dari as ke as (mm)

-Ao = luas permukaan (mm²)

-Ec = Modulus Elastisitas (MPa)



Benda Uji	10M-1				
Po (mm)	203,22				
Diameter	150,57				
Ao (mm ²)	17813,18				
Ec (MPa)	26213,78	x=			-0,1103
Beban (kgf)	N	ΔP	Tegangan	Regangan	Regangan Koreksi
0	0	0	0	-0,1103	0
500	4905	0,05	0,2754	0,0246	0,1350
1000	9810	0,24	0,5507	0,1181	0,2284
1500	14715	0,36	0,8261	0,1771	0,2875
2000	19620	0,57	1,1014	0,2805	0,3908
2500	24525	0,72	1,3768	0,3543	0,4646
3000	29430	0,9	1,6521	0,4429	0,5532
3500	34335	1,02	1,9275	0,5019	0,6123
4000	39240	1,2	2,2029	0,5905	0,7008
4500	44145	1,38	2,4782	0,6791	0,7894
5000	49050	1,56	2,7536	0,7676	0,8780
5500	53955	1,68	3,0289	0,8267	0,9370
6000	58860	1,86	3,3043	0,9153	1,0256
6500	63765	2,04	3,5797	1,0038	1,1142
7000	68670	2,25	3,8550	1,1072	1,2175
7500	73575	2,43	4,1304	1,1957	1,3061
8000	78480	2,61	4,4057	1,2843	1,3947
8500	83385	2,85	4,6811	1,4024	1,5128
9000	88290	3,03	4,9564	1,4910	1,6013
9500	93195	3,27	5,2318	1,6091	1,7194
10000	98100	3,39	5,5072	1,6681	1,7785
10500	103005	3,63	5,7825	1,7862	1,8966
11000	107910	3,81	6,0579	1,8748	1,9852
11500	112815	3,99	6,3332	1,9634	2,0737
12000	117720	4,23	6,6086	2,0815	2,1918
12500	122625	4,41	6,8839	2,1701	2,2804
13000	127530	4,65	7,1593	2,2882	2,3985



13500	132435	4,83	7,4347	2,3767	2,4871
14000	137340	5,07	7,7100	2,4948	2,6052
14500	142245	5,25	7,9854	2,5834	2,6938
15000	147150	5,43	8,2607	2,6720	2,7823
15500	152055	5,67	8,5361	2,7901	2,9004
16000	156960	5,82	8,8115	2,8639	2,9742
16500	161865	6,06	9,0868	2,9820	3,0923
17000	166770	6,33	9,3622	3,1149	3,2252
17500	171675	6,54	9,6375	3,2182	3,3285
18000	176580	6,84	9,9129	3,3658	3,4762
18500	181485	7,08	10,1882	3,4839	3,5943
19000	186390	7,32	10,4636	3,6020	3,7124
19500	191295	7,62	10,7390	3,7496	3,8600
20000	196200	7,8	11,0143	3,8382	3,9486
20500	201105	8,04	11,2897	3,9563	4,0667
21000	206010	8,34	11,5650	4,1039	4,2143
21500	210915	8,52	11,8404	4,1925	4,3028
22000	215820	8,85	12,1157	4,3549	4,4652
22500	220725	9,06	12,3911	4,4582	4,5686
23000	225630	9,24	12,6665	4,5468	4,6571
23500	230535	9,54	12,9418	4,6944	4,8048
24000	235440	9,81	13,2172	4,8273	4,9376
24500	240345	10,02	13,4925	4,9306	5,0410
25000	245250	10,32	13,7679	5,0782	5,1886
25500	250155	10,53	14,0433	5,1816	5,2919
26000	255060	10,77	14,3186	5,2997	5,4100
26500	259965	11,01	14,5940	5,4178	5,5281
27000	264870	11,31	14,8693	5,5654	5,6757
27500	269775	11,55	15,1447	5,6835	5,7938
28000	274680	11,73	15,4200	5,7721	5,8824



Benda Uji	10M-2				
Po (mm)	208,66				
Diameter	149,39				
Ao (mm ²)	17535,08				
Ec (MPa)	28774,31	x=			
					-0,3819
Beban (kgf)	N	ΔP	Tegangan	Regangan	Regangan Koreksi
0	0	0	0	-0,3819	0
500	4905	0,125	0,2797	0,0599	0,4418
1000	9810	0,275	0,5595	0,1318	0,5137
1500	14715	0,3125	0,8392	0,1498	0,5317
2000	19620	0,425	1,1189	0,2037	0,5856
2500	24525	0,55	1,3986	0,2636	0,6455
3000	29430	0,675	1,6784	0,3235	0,7054
3500	34335	0,8	1,9581	0,3834	0,7653
4000	39240	0,8875	2,2378	0,4253	0,8072
4500	44145	1,0125	2,5175	0,4852	0,8671
5000	49050	1,0375	2,7973	0,4972	0,8791
5500	53955	1,2875	3,0770	0,6170	0,9989
6000	58860	1,4125	3,3567	0,6769	1,0588
6500	63765	1,5875	3,6364	0,7608	1,1427
7000	68670	1,7375	3,9162	0,8327	1,2146
7500	73575	1,9375	4,1959	0,9285	1,3104
8000	78480	2,1125	4,4756	1,0124	1,3943
8500	83385	2,3375	4,7553	1,1202	1,5021
9000	88290	2,525	5,0351	1,2101	1,5920
9500	93195	2,7	5,3148	1,2940	1,6759
10000	98100	2,875	5,5945	1,3778	1,7597
10500	103005	3,1	5,8742	1,4857	1,8676
11000	107910	3,35	6,1540	1,6055	1,9874
11500	112815	3,55	6,4337	1,7013	2,0832
12000	117720	3,8	6,7134	1,8211	2,2030
12500	122625	4	6,9931	1,9170	2,2989
13000	127530	4,2375	7,2729	2,0308	2,4127



13500	132435	4,5875	7,5526	2,1986	2,5804
14000	137340	4,7875	7,8323	2,2944	2,6763
14500	142245	4,9125	8,1120	2,3543	2,7362
15000	147150	5,2375	8,3918	2,5101	2,8920
15500	152055	5,5125	8,6715	2,6419	3,0237
16000	156960	5,75	8,9512	2,7557	3,1376
16500	161865	6,025	9,2309	2,8875	3,2694
17000	166770	6,25	9,5107	2,9953	3,3772
17500	171675	6,4	9,7904	3,0672	3,4491
18000	176580	6,65	10,0701	3,1870	3,5689
18500	181485	6,825	10,3498	3,2709	3,6528
19000	186390	7,075	10,6296	3,3907	3,7726
19500	191295	7,2125	10,9093	3,4566	3,8385
20000	196200	7,4875	11,1890	3,5884	3,9703
20500	201105	7,6875	11,4687	3,6842	4,0661
21000	206010	7,8625	11,7485	3,7681	4,1500
21500	210915	8,0625	12,0282	3,8639	4,2458
22000	215820	8,3125	12,3079	3,9838	4,3656
22500	220725	8,4875	12,5876	4,0676	4,4495
23000	225630	8,7375	12,8674	4,1874	4,5693
23500	230535	8,9	13,1471	4,2653	4,6472
24000	235440	9,125	13,4268	4,3731	4,7550
24500	240345	9,275	13,7065	4,4450	4,8269
25000	245250	9,525	13,9863	4,5648	4,9467
25500	250155	9,675	14,2660	4,6367	5,0186
26000	255060	9,85	14,5457	4,7206	5,1025
26500	259965	10,025	14,8254	4,8045	5,1864
27000	264870	10,2	15,1052	4,8883	5,2702
27500	269775	10,4375	15,3849	5,0022	5,3840
28000	274680	10,5625	15,6646	5,0621	5,4440

Keterangan:

- Po = jarak dari as ke as (mm)
- Ao = luas permukaan (mm²)
- Ec = Modulus Elastisitas (MPa)



Benda Uji	12M-1				
Po (mm)	201,38				
Diameter	150,38				
Ao (mm ²)	17768,26				
Ec (MPa)	27282,14	x=			-0,3729
Beban (kgf)	N	ΔP	Tegangan	Regangan	Regangan Koreksi
0	0	0	0	-0,3729	0
500	4905	0,09	0,2761	0,0447	0,4176
1000	9810	0,24	0,5521	0,1192	0,4921
1500	14715	0,32	0,8282	0,1589	0,5318
2000	19620	0,4	1,1042	0,1986	0,5715
2500	24525	0,56	1,3803	0,2781	0,6510
3000	29430	0,64	1,6563	0,3178	0,6907
3500	34335	0,78	1,9324	0,3873	0,7602
4000	39240	0,94	2,2084	0,4668	0,8397
4500	44145	1,1	2,4845	0,5462	0,9191
5000	49050	1,22	2,7605	0,6058	0,9787
5500	53955	1,38	3,0366	0,6853	1,0582
6000	58860	1,54	3,3126	0,7647	1,1376
6500	63765	1,74	3,5887	0,8640	1,2369
7000	68670	1,9	3,8648	0,9435	1,3164
7500	73575	2,06	4,1408	1,0229	1,3958
8000	78480	2,22	4,4169	1,1024	1,4753
8500	83385	2,38	4,6929	1,1818	1,5547
9000	88290	2,58	4,9690	1,2812	1,6540
9500	93195	2,66	5,2450	1,3209	1,6938
10000	98100	2,82	5,5211	1,4003	1,7732
10500	103005	3,06	5,7971	1,5195	1,8924
11000	107910	3,18	6,0732	1,5791	1,9520
11500	112815	3,4	6,3492	1,6884	2,0612
12000	117720	3,56	6,6253	1,7678	2,1407
12500	122625	3,8	6,9014	1,8870	2,2599
13000	127530	4	7,1774	1,9863	2,3592



13500	132435	4,2	7,4535	2,0856	2,4585
14000	137340	4,4	7,7295	2,1849	2,5578
14500	142245	4,56	8,0056	2,2644	2,6373
15000	147150	4,76	8,2816	2,3637	2,7366
15500	152055	5	8,5577	2,4829	2,8557
16000	156960	5,2	8,8337	2,5822	2,9551
16500	161865	5,48	9,1098	2,7212	3,0941
17000	166770	5,6	9,3858	2,7808	3,1537
17500	171675	5,74	9,6619	2,8503	3,2232
18000	176580	5,86	9,9379	2,9099	3,2828
18500	181485	6,02	10,2140	2,9894	3,3623
19000	186390	6,18	10,4901	3,0688	3,4417
19500	191295	6,38	10,7661	3,1681	3,5410
20000	196200	6,62	11,0422	3,2873	3,6602
20500	201105	6,9	11,3182	3,4264	3,7992
21000	206010	7,14	11,5943	3,5455	3,9184
21500	210915	7,34	11,8703	3,6449	4,0177
22000	215820	7,62	12,1464	3,7839	4,1568
22500	220725	7,84	12,4224	3,8931	4,2660
23000	225630	8,14	12,6985	4,0421	4,4150
23500	230535	8,4	12,9745	4,1712	4,5441
24000	235440	8,68	13,2506	4,3103	4,6831
24500	240345	8,88	13,5267	4,4096	4,7825
25000	245250	9,16	13,8027	4,5486	4,9215
25500	250155	9,36	14,0788	4,6479	5,0208
26000	255060	9,6	14,3548	4,7671	5,1400
26500	259965	9,92	14,6309	4,9260	5,2989
27000	264870	10,2	14,9069	5,0651	5,4379
27500	269775	10,4	15,1830	5,1644	5,5372
28000	274680	10,66	15,4590	5,2935	5,6664

Keterangan:

- P_o = jarak dari as ke as (mm)
- A_o = luas permukaan (mm^2)
- E_c = Modulus Elastisitas (MPa)



Benda Uji	12M-2				
Po (mm)	200,41				
Diameter	149,12				
Ao (mm ²)	17471,75				
Ec (MPa)	29468,41	x=			-0,1756
Beban (kgf)	N	ΔP	Tegangan	Regangan	Regangan Koreksi
0	0	0	0	-0,1756	0
500	4905	0,14	0,2807	0,0699	0,2454
1000	9810	0,3	0,5615	0,1497	0,3253
1500	14715	0,42	0,8422	0,2096	0,3851
2000	19620	0,54	1,1230	0,2694	0,4450
2500	24525	0,7	1,4037	0,3493	0,5249
3000	29430	0,9	1,6844	0,4491	0,6246
3500	34335	1	1,9652	0,4990	0,6745
4000	39240	1,14	2,2459	0,5688	0,7444
4500	44145	1,3	2,5266	0,6487	0,8242
5000	49050	1,5	2,8074	0,7485	0,9240
5500	53955	1,64	3,0881	0,8183	0,9939
6000	58860	1,8	3,3689	0,8982	1,0737
6500	63765	2,04	3,6496	1,0179	1,1935
7000	68670	2,24	3,9303	1,1177	1,2933
7500	73575	2,4	4,2111	1,1975	1,3731
8000	78480	2,52	4,4918	1,2574	1,4330
8500	83385	2,72	4,7726	1,3572	1,5328
9000	88290	2,9	5,0533	1,4470	1,6226
9500	93195	3,1	5,3340	1,5468	1,7224
10000	98100	3,28	5,6148	1,6366	1,8122
10500	103005	3,52	5,8955	1,7564	1,9320
11000	107910	3,68	6,1763	1,8362	2,0118
11500	112815	3,82	6,4570	1,9061	2,0817
12000	117720	3,98	6,7377	1,9859	2,1615
12500	122625	4,2	7,0185	2,0957	2,2713
13000	127530	4,42	7,2992	2,2055	2,3810



13500	132435	4,66	7,5799	2,3252	2,5008
14000	137340	4,82	7,8607	2,4051	2,5806
14500	142245	4,94	8,1414	2,4649	2,6405
15000	147150	5,14	8,4222	2,5647	2,7403
15500	152055	5,34	8,7029	2,6645	2,8401
16000	156960	5,58	8,9836	2,7843	2,9599
16500	161865	5,74	9,2644	2,8641	3,0397
17000	166770	5,94	9,5451	2,9639	3,1395
17500	171675	6,14	9,8259	3,0637	3,2393
18000	176580	6,3	10,1066	3,1436	3,3191
18500	181485	6,52	10,3873	3,2533	3,4289
19000	186390	6,68	10,6681	3,3332	3,5087
19500	191295	6,84	10,9488	3,4130	3,5886
20000	196200	7,08	11,2296	3,5328	3,7083
20500	201105	7,28	11,5103	3,6326	3,8081
21000	206010	7,48	11,7910	3,7323	3,9079
21500	210915	7,64	12,0718	3,8122	3,9878
22000	215820	7,88	12,3525	3,9319	4,1075
22500	220725	8,04	12,6332	4,0118	4,1873
23000	225630	8,3	12,9140	4,1415	4,3171
23500	230535	8,48	13,1947	4,2313	4,4069
24000	235440	8,66	13,4755	4,3211	4,4967
24500	240345	8,84	13,7562	4,4110	4,5865
25000	245250	9,1	14,0369	4,5407	4,7163
25500	250155	9,3	14,3177	4,6405	4,8161
26000	255060	9,5	14,5984	4,7403	4,9159
26500	259965	9,7	14,8792	4,8401	5,0156
27000	264870	9,94	15,1599	4,9598	5,1354
27500	269775	10,14	15,4406	5,0596	5,2352
28000	274680	10,34	15,7214	5,1594	5,3350

Keterangan:

- Po = jarak dari as ke as (mm)
- Ao = luas permukaan (mm²)
- Ec = Modulus Elastisitas (MPa)