

TUGAS AKHIR

**PENGARUH ABU SEKAM PADI SEBAGAI
SUBSTITUSI *FLY ASH* TERHADAP SIFAT MEKANIK
BETON GEOPOLIMER
(*EFFECT OF RICE HUSK ASH AS FLY ASH
SUBSTITUTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF
GEOPOLYMER CONCRETE*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Alif Akbar Khalifah
20511014**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

PENGARUH ABU SEKAM PADI SEBAGAI SUBSTITUSI *FLY ASH* TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON GEOPOLIMER (*EFFECT OF RICE HUSK ASH AS FLY ASH SUBSTITUTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF GEOPOLYMER CONCRETE*)

Disusun oleh

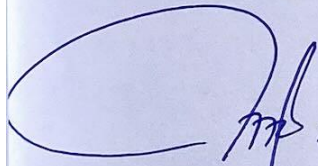
Alif Akbar Khalifah
20511014

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 13 Juni 2024

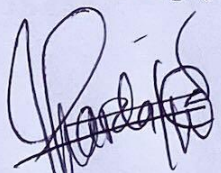
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

 19/06
2024.


Jafar, S.T., M.T., MURP.
NIK: 18111305

Penguji I

 20.06.24

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji II


 20/06/2024

Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.
NIK: 845110101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




a.n Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 20 Mei 2024

alat pernyataan,



Ali Akbar Khalifah
(20511014)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bismillahirrahmannirrahiim,

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji bagi Allah SWT atas seluruh rahmat serta hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi *Fly Ash* Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer” dengan baik dan sungguh – sungguh. Shalawat serta salam saya haturkan kepada junjungan hidup ialah Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta pengikutnya yang telah membawa Islam Rahmatan lil'Alamin.

Tugas Akhir ini disusun dengan maksud untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada seluruh pihak yang telah terlibat dalam menyelesaikan Tugas Akhir, serta memberikan masukan dan dukungan yang membangun kepada saya selama proses penyusunan Tugas Akhir ini hingga selesai.

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Jafar, S.T., M.T., MURP., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, saran, nasihat, serta dorongann motivasi yang di berikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan koreksi yang membangun dalam Tugas Akhir sehingga menjadi lebih baik.
4. Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U., selaku Dosen Penguji 3 dalam Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan koreksi yang membangun dalam Tugas Akhir sehingga menjadi lebih baik dan sesuai.

5. Bapak Daru Salam, A.md dan Suwarno selaku Laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan arahan dan membantu selama proses pengumpulan data pengujian.
6. Seluruh dosen dan tenaga kerja pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu selama masa kuliah dan memfasilitasi saya dalam perkuliahan.
7. Bapak Drs. Toto Purwanto, M.Pd. dan Ibu Dra.Yenni Novarita selaku orang tua saya dan Hamzah Nur Al-Falah selaku kakak saya yang selalu memberikan do'a, nasihat, semangat, dan motivasi tanpa henti kepada saya selama perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Risma Azalia selaku partner hidup yang telah memberikan semangat dan setia mendampingi selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Teman – teman seperjuangan selama perkuliahan Farrel, Faraz, Fajri, Bayu, Reza, Dody, Hasna, dan Tari yang telah berjuang dan membantu saya selama proses pembuatan Tugas Akhir hingga selesai.
10. Teman – teman Passel yang telah memberikan semangat, motivasi dan selalu memberikan hiburan yang menarik selama perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
11. Teman – teman Teknik Sipil 2020 yang selalu berjuang bersama, rasa kekeluargaan, dan memberikan warna warni perkuliahan ini.

Saya menyadari penyusunan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Untuk itu saya memohon maaf yang sebesar-besarnya dan berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak yang membaca.

Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 20 Mei 2024

Penulis,

Alif Akbar Khalifah
(20511014)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Umum	6
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu	6
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Umum	14
3.2 Beton Geopolimer	14
3.3 Material Penyusun Beton Geopolimer	15
3.3.1 Agregat	15
3.3.2 Air	17
3.3.3 <i>Aquades</i>	17
3.3.4 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	18

3.3.5	Abu Sekam Padi	19
3.3.6	Aktivator	20
3.4	Proses Pembentukan Geopolimer	20
3.5	Proses Pencampuran Beton Geopolimer (<i>Mix Design</i>)	22
3.6	Pengujian Slump	32
3.7	Pengujian Setting Time	33
3.8	Pengujian Kuat Tekan	33
3.9	Pengujian Kuat Tarik Belah	34
3.10	Pengujian Modulus Elastisitas	35
BAB IV METODE PENELITIAN		36
4.1	Tinjauan Umum	36
4.2	Variabel Penelitian	36
4.3	Bahan yang Digunakan	36
4.4	Peralatan Penelitian	37
4.5	Benda Uji	38
4.6	Pelaksanaan Penelitian	40
4.6.1	Persiapan Penelitian	40
4.6.2	Pengujian Prekursor	40
4.6.3	Pengujian Agregat	40
4.6.4	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	41
4.6.5	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	41
4.6.6	Pengujian Benda Uji	42
4.6.7	Pengolahan Data	46
4.6.8	Analisis Data Pengujian	46
4.6.9	Pembahasan	46
4.6.10	Kesimpulan dan Saran	46
4.6.11	Flow Chart Penelitian	46
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN		49
5.1	Pengujian Material	49
5.2	Hasil Pengujian Prekursor	49
5.3	Hasil Pengujian Agregat	51

5.3.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	51
5.3.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	60
5.4	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	69
5.4.1	Perencanaan Campuran Beton Normal	69
5.4.2	Perencanaan Campuran Beton Geopolimer	79
5.5	Hasil Pengujian Slump Beton	83
5.6	Hasil Pengujian <i>Setting Time</i>	85
5.7	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	89
5.8	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	94
5.9	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	103
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		109
6.1	Kesimpulan	109
6.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		112
LAMPIRAN		116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	11
Tabel 3.1	Persyaratan Kimia Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	18
Tabel 3.2	Komposisi Kimia Abu Sekam padi	19
Tabel 3.3	Faktor Pengali Deviasi Standar	23
Tabel 3.4	Perkiraan Kuat Tekan beton dengan <i>fas</i> , dan Agregat kasar yang umumnya digunakan di Indonesia	24
Tabel 3.5	Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Pada Lingkungan Khusus	26
Tabel 3.6	Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk kemudahan dalam adukan beton	26
Tabel 3.7	Penetapan Nilai Slump	32
Tabel 4.1	Rincian Benda Uji	39
Tabel 5.1	Hasil Uji Kimia (XRF) <i>Fly Ash</i>	49
Tabel 5.2	Hasil Uji Kimia (XRF) Abu Sekam Padi	50
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	52
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	54
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	55
Tabel 5.6	Gradasi Agregat Halus	56
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	58
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	58
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Pasir)	60
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	61
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	63
Tabel 5.12	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	64
Tabel 5.13	Gradasi Agregat Kasar	65
Tabel 5.14	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	68
Tabel 5.15	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	68
Tabel 5.16	Faktor Pengali Deviasi Standar	69

Tabel 5.17	Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Jenis Semen dan Agregat yang Digunakan di Indonesia	70
Tabel 5.18	Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk kemudahan dalam adukan beton	72
Tabel 5.19	Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Pada Lingkungan Khusus	73
Tabel 5.20	Rekapitulasi Hasil <i>Mix Design</i> Beton Normal	78
Tabel 5.21	Proporsi Campuran Beton Normal dan Beton Geopolimer	82
Tabel 5.22	Hasil Pengujian Slump	83
Tabel 5.23	Hasil Pengujian <i>Setting Time</i>	85
Tabel 5.24	Rekapitulasi Hasil Uji Tekan Beton	91
Tabel 5.25	Nilai Tegangan dan Regangan Beton Geopolimer Variasi Abu Sekam Padi 8% Sampel 1	95
Tabel 5.26	Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Beton	100
Tabel 5.27	Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Beton Geopolimer	102
Tabel 5.28	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	104
Tabel 5.29	Persentase Kuat Tarik Belah dari Kuat Tekan Beton	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	18
Gambar 3.2	Abu Sekam Padi	20
Gambar 3.3	Struktur Kimia Poly(siallate)	21
Gambar 3.4	Alur Polimerisasi	22
Gambar 3.5	Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen (Benda Uji silinder 15 x 30 cm)	25
Gambar 3.6	Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 10 mm	28
Gambar 3.7	Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 20 mm	28
Gambar 3.8	Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 40 mm	29
Gambar 3.9	Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	29
Gambar 3.10	Tabel Periodik Unsur	31
Gambar 3.11	Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	34
Gambar 3.12	Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	34
Gambar 3.13	Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas	35
Gambar 4.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	48
Gambar 5.1	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	56
Gambar 5.2	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	57
Gambar 5.3	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	66
Gambar 5.4	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	66
Gambar 5.5	Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen (Benda Uji silinder 15 x 30 cm)	71
Gambar 5.6	Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 20 mm	74
Gambar 5.7	Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	76
Gambar 5.8	Grafik Nilai <i>Slump</i>	83

Gambar 5.9	Contoh Uji <i>Slump</i>	84
Gambar 5.10	Grafik Pengujian <i>Setting Time</i> BN	86
Gambar 5.11	Grafik Pengujian <i>Setting Time</i> BG0	86
Gambar 5.12	Grafik Pengujian <i>Setting Time</i> BG4	86
Gambar 5.13	Grafik Pengujian <i>Setting Time</i> BG8	87
Gambar 5.14	Grafik Pengujian <i>Setting Time</i> BG12	87
Gambar 5.15	Rekapitulasi Grafik Pengujian <i>Setting Time</i>	88
Gambar 5.16	Contoh Pengujian <i>Vicat</i>	88
Gambar 5.17	Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer	92
Gambar 5.18	Contoh Pengujian Kuat Tekan Beton	92
Gambar 5.19	Grafik Tegangan-Regangan BG8 Sampel 1	98
Gambar 5.20	Contoh Pengujian Modulus Elastisitas Beton	98
Gambar 5.21	Grafik Nilai Modulus Elastisitas Beton	101
Gambar 5.22	Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer	105
Gambar 5.23	Contoh Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	105
Gambar 5.24	Contoh Hasil Uji Tarik Belah Beton Geopolimer	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Laboratorium	117
Lampiran 2 Surat Izin Pengambilan <i>Fly Ash</i>	118
Lampiran 3 Data Hasil Pemeriksaan XRF <i>Fly Ash</i> dan Abu Sekam Padi	120
Lampiran 4 Data Hasil Pemeriksaan Agregat	122
Lampiran 5 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton	133
Lampiran 6 Proses Pembuatan Beton Geopolimer	135
Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Keleccakan (<i>Workability</i>) Beton Geopolimer	140
Lampiran 8 Data Hasil Pengujian <i>Setting Time</i> Beton Geopolimer	141
Lampiran 9 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer	144
Lampiran 10 Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Geopolimer	145
Lampiran 11 Data Hasil Pengujian Tarik Belah Beton Geopolimer	192

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

PC	= <i>Portland Cement</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
ASTM	= American Standard Testing and Material
f_c	= Kuat Tekan Beton (MPa)
f_{ct}	= Kuat Tarik Belah Beton (MPa)
E	= Modulus Elastisitas Beton (MPa)
NaOH	= Natrium Hidroksida
Na_2SiO_3	= Natrium Silikat
Si	= Unsur Silika
Al	= Unsur Alumina
CO ₂	= Karbon Dioksida
M	= Molaritas
<i>massa</i>	= berat NaOH
v	= volume larutan (<i>liter</i>)
Mr	= massa molekul relatif NaOH
°C	= Derajat Celcius
M	= Nilai Tambah
S _r	= Deviasi standar
f'_{cr}	= Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan
w	= Kadar air bebas (kg/m ³)
<i>fas</i>	= Faktor air semen
W _h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m ³)
W _k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m ³)
c	= Jumlah semen (kg/m ³)
% AH	= Persentase agregat halus (%)

% AK	= Persentase agregat kasar (%)
BJ _{AH}	= Berat jenis agregat halus
BJ _{AK}	= Berat jenis agregat kasar
MPa	= Megapascal
mm	= Milimeter
cm	= Centimeter
m	= Meter
kg	= Kilogram
g	= Gram
d	= Diameter silinder
t	= Tinggi silinder
A	= Luas penampang benda uji (mm ²)
P	= Beban maksimum (N)
N	= Newton
kN	= Kilonewton
L _o	= Panjang awal kompresometer (mm)
ΔL'	= Pembacaan dial (μm)
ΔL	= Perubahan panjang beton (mm)
ε	= Regangan beton
σ	= Tegangan beton (MPa)

ABSTRAK

Beton pada umumnya menggunakan semen sebagai bahan utama yang dapat merekatkan material penyusun beton lainnya. Semen menghasilkan gas CO₂ yang tinggi pada proses produksinya yang dapat merugikan lingkungan. Terdapat inovasi sebagai alternatif, salah satunya beton geopolimer. Beton geopolimer merupakan jenis beton ramah lingkungan yang bahan utama pengikatnya 100% tidak menggunakan semen, bahan penyusunnya tersusun dari sintesa bahan alam non-organik yang dipolimerisasi. Abu terbang (*fly ash*) yang merupakan limbah sisa proses pembakaran batu bara di PLTU sebagai pozzolan yang memiliki kandungan unsur silika (Si) dan aluminat (Al) yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat beton pengganti semen, yang direaksikan dengan larutan alkali aktivator berupa NaOH dan Na₂SiO₃ agar menjadi bahan pengikat. Abu sekam padi merupakan salah satu material sebagai pozzolan yang memiliki kandungan silika dan aluminat yang cukup tinggi yang dapat memengaruhi sifat mekanik beton geopolimer.

Perencanaan campuran beton geopolimer pada penelitian ini menggunakan pendekatan *mix design* sesuai SNI 03-2834-2000 dan perbandingan aktivator NaOH:Na₂SiO₃ sebesar 4:2. Abu sekam padi digunakan sebagai material substitusi pada *fly ash* dengan variasi 0%, 4%, 8% dan 12% dari berat prekursor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu sekam padi terhadap sifat mekanik yang berupa kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton, serta waktu ikat (*setting time*), dan kelecakan (*workability*) pada beton geopolimer. Benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang diuji pada umur 28 hari.

Penelitian ini menunjukkan substitusi abu sekam padi pada *fly ash* dapat memengaruhi sifat mekanik, waktu ikat, dan kelecakan pada beton geopolimer. Semakin tinggi persentase abu sekam padi yang disubstitusikan dapat menurunkan tingkat kelecakan beton segar geopolimer dan dapat mempercepat 15 menit pada waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Kadar optimum yang dihasilkan yaitu substitusi abu sekam padi variasi 8% dengan nilai kuat tekan sebesar 35,98 MPa atau 40,48% lebih tinggi dari kuat tekan beton tanpa substitusi abu sekam padi, nilai kuat tarik belah sebesar 2,28 MPa meningkat 28,08% dari kuat tarik belah tanpa substitusi abu sekam padi, dan nilai modulus elastisitas hasil pengujian sebesar 18075,666 MPa.

Kata kunci: Beton Geopolimer, Abu sekam padi, Sifat mekanik, Waktu ikat, Kelecakan

ABSTRACT

Concrete generally uses cement as the main ingredient that can glue other concrete constituent materials, cement produces high CO₂ gas in the production process which can harm the environment. There are innovations as an alternative, one of is geopolymer concrete. Geopolymer concrete is a type of environmentally friendly concrete whose main binder does not use 100% cement, the constituent material is composed of polymerized non-organic natural materials. Fly ash which is the residual waste of the coal combustion process at the PLTU as pozzolan which has a high content of silica (Si) and aluminates (Al) elements so that it can be utilized as a cement substitute concrete binder, which is reacted with an alkaline activator solution in the form of NaOH and Na₂SiO₃ to become a binder. Rice husk ash is one of the materials as pozzolan which has a fairly high silica and aluminates content which can affect the mechanical properties of geopolymer concrete.

The geopolymer concrete mix planning in this study uses a mix design approach according to SNI 03-2834-2000 and a NaOH:Na₂SiO₃ activator ratio of 4:2. Rice husk ash was used as a substitute material for fly ash with variations of 0%, 4%, 8% and 12% of the precursor weight. This research aims to determine the effect of rice husk ash on mechanical properties such as compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of concrete, as well as setting time and workability of geopolymer concrete. The test specimens were cylinders with a diameter of 1 cm and a height of 30 cm tested at 28 days.

This study shows that the substitution of rice husk ash for fly ash can affect the mechanical properties, setting time, and workability of geopolymer concrete. The higher the percentage of rice husk ash substituted, the lower the degree of cohesiveness of the geopolymer fresh concrete and the faster the initial and final set by 15 minutes. The optimum level produced was 8% rice husk ash substitution with a compressive strength value of 35,98 MPa or 40,48% higher than the compressive strength of concrete without rice husk ash substitution, a split tensile strength value of 2,28 MPa, an increase of 28,08% from the split tensile strength without rice husk ash substitution, and an elastic modulus value of 18075,666 MPa.

Keywords: *Geopolymer concrete, Rice husk ash, Mechanical properties, Setting time, Workability*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan bangunan yang umum digunakan pada suatu pembangunan konstruksi karena memiliki nilai kekuatan tekan yang tinggi dalam menahan gaya beban. Bahan penyusun beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, air, dan semen. Seiring berkembangnya pembangunan di Indonesia terutama dalam sektor konstruksi guna memenuhi kebutuhan infrastruktur, maka penggunaan beton sebagai salah satu jenis struktur yang digunakan akan semakin meningkat. Peningkatan penggunaan beton menyebabkan penggunaan semen sebagai bahan penyusun utama beton meningkat. Menurut *Portland Cement Association* (2013) penggunaan semen Portland akan terus meningkat dari tahun ke tahun, diperkirakan sampai tahun 2030, permintaan dan pasokan semen Portland di seluruh dunia hanya dapat memenuhi 67,42% dari kebutuhan. Namun, meningkatnya penggunaan semen menimbulkan banyaknya kerugian khususnya terhadap lingkungan. Pada proses produksi semen, kandungan yang dilepaskan berupa karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer. Tingginya emisi karbon berdampak terhadap *global warming* dan perubahan iklim (Olivia, 2011). Bahan yang memiliki sifat seperti semen yaitu pozzolan dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi kebutuhan semen Portland sebesar 20-30% dari kebutuhan normal. Meskipun begitu, hal tersebut hanya dapat meningkatkan tingkat pemenuhan kebutuhan menjadi 83,29%. (Portland Cement Association, 2013).

Geopolimer adalah salah satu jenis material yang dapat digunakan sebagai solusi pengganti semen dalam pengikatan beton, karena bahan penyusunnya tersusun dari sintesa bahan alam non-organik yang dipolimerisasi. Bahan dasar pembuatan geopolimer yaitu bahan – bahan yang mengandung tinggi unsur silika (Si) dan alumina (Al) (Davidovits dalam jurnal kusuma, 2014). Pengembangan beton menggunakan bahan pengikat geopolimer atau disebut beton geopolimer adalah jenis beton ramah lingkungan yang bahan utamanya mengandung tinggi

senyawa silika (Si) dan Alumina (Al) yang dikenal dengan bahan bersifat pozzolan, serta tidak menggunakan semen sebagai material pengikat. Material pengikat pengganti semen pada beton geopolimer biasanya menggunakan abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*risk hush ash*), abu tebu dan lain-lain (Davidovits dalam jurnal Salwatul, 2017).

Abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi adalah pozzolan yang berasal dari sisa industri. Abu terbang berasal dari sisa/limbah pembakaran batu bara yang bersifat pozzolan karena didalamnya terdapat unsur silika dan alumina yang tinggi seperti pada kandungan semen umumnya. Abu terbang memiliki dua tipe kelas yaitu abu terbang tipe kelas C dan abu terbang tipe kelas F. Pozzolan dari sisa industri lainnya yaitu abu sekam padi. Abu sekam padi dihasilkan dari sisa pembakaran sekam padi setelah proses penggilingan padi itu sendiri. Sama halnya dengan abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi memiliki kandungan unsur silika dan alumina yang tinggi sekitar 87-97% (Mehta, 2018) dan memiliki sifat penyerapan terhadap kadar air, sehingga abu sekam padi dapat memperbaiki kinerja pada beton geopolimer. Abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi memiliki manfaat pada campuran beton yaitu menjadi solusi alternatif dalam menggantikan semen sebagai bahan pengikat agregat. Bahan pengganti tersebut membutuhkan aktivator yang mengandung alkali sebagai pengaktif reaksi polimerisasi pada prekursor untuk menghasilkan bahan pengikat (*binder*). Hardjito (2005) menyatakan alkali aktivator biasanya menggunakan natrium hidroksida (NaOH) 8M sampai 14 M dan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan perbandingan aktivator sebesar 0,5 sampai 2,5. Berdasarkan penelitian Ridwan (2018) beton geopolimer memiliki kuat tekan optimum pada penggunaan alkali aktivator natrium hidroksida (NaOH) 10M dan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan perbandingan aktivator sebesar 4:2. Unsur silika (Si) dan alumina (Al) yang terdapat pada prekursor akan bereaksi dengan aktivator untuk mengikat krikil, pasir, air, dan bahan lainnya menjadi beton geopolimer (Kusuma, 2014). Pemanfaatan bahan alternatif ini diharapkan dapat membantu mengurangi emisi karbon dioksida (CO_2) ke atmosfer dan menjaga lingkungan dari sisa limbah industri, sehingga dapat mencegah lingkungan dari pemanasan global dan perubahan iklim.

Abu sekam padi yang disubstitusikan terhadap *fly ash* pada penelitian ini menggunakan variasi 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat prekursor. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setiawan dan Wardhono (2019) terkait penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* terhadap mortar geopolimer variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% dapat memengaruhi sifat mekanik mortar geopolimer. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menerapkan variasi substitusi abu sekam padi terhadap *fly ash* kepada beton geopolimer.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya di atas, penggunaan *fly ash* dan abu sekam padi sebagai pozzolan dapat digunakan sebagai salah satu bahan utama pembuatan beton khususnya beton geopolimer. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui nilai dari sifat mekanik beton geopolimer yang berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) dengan substitusi abu sekam padi pada variasi 0%, 4%, 8%, dan 12% pada *fly ash* terhadap beton geopolimer yang direncanakan. Sehingga beton geopolimer dapat menjadi salah satu alternatif pengganti beton konvensional dalam dunia konstruksi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh substitusi abu sekam padi kadar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat prekursor terhadap waktu ikat (*setting time*) terhadap pasta geopolimer dan kelecakan (*workability*) beton geopolimer?
2. Bagaimana pengaruh substitusi abu sekam padi kadar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat prekursor terhadap sifat mekanik beton geopolimer?
3. Berapa kadar optimum abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* terhadap sifat mekanik beton geopolimer dari berat prekursor?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh substitusi abu sekam padi kadar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat prekursor terhadap waktu ikat (*setting time*) dan kelacakan (*workability*) beton geopolimer.
2. Mengetahui pengaruh substitusi abu sekam padi kadar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat prekursor terhadap sifat mekanik beton geopolimer.
3. Mengetahui kadar optimum abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* terhadap sifat mekanik beton geopolimer.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Mengembangkan informasi mengenai pemanfaatan limbah penggilingan padi yaitu abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* sebagai bahan utama pada beton geopolimer.
2. Memberikan pengetahuan terkait teknologi beton geopolimer yang dapat digunakan sebagai beton alternatif dalam dunia konstruksi.
3. Menjadi salah satu bentuk upaya dalam pengurangan limbah pembakaran batu bara dan padi dengan memanfaatkannya menjadi bahan pengganti semen pada campuran beton.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini dimaksudkan agar penelitian sesuai dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun batasan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana (f'_c) sebesar 25 MPa pada umur 28 hari.
2. Metode *mix design* menggunakan perbandingan aktivator 4:2 dan pendekatan SNI 03-2834-2000.
3. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Agregat halus yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

5. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. *Fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU 2 Labuan.
7. Variasi kadar substitusi abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 4%, 8%, dan 12%, dari berat prekursor.
8. Aktivator yang digunakan adalah larutan alkali berupa *Natrium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Natrium Hidroksida* (NaOH) dengan molaritas 10M.
9. Benda uji yang digunakan adalah benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
10. Pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari.
11. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *setting time*, kelecakan (*workability*) dan sifat mekanik beton yaitu kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

Beton merupakan suatu campuran yang tersusun dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang kemudian dicampur dengan semen dan air berupa pasta. Pada beton mempunyai sifat kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang rendah. Menurut SNI 2847-2019, beton adalah campuran semen (portland atau hidrolis), agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Campuran semen pada beton dalam produksinya melepaskan gas karbon dioksida (CO₂) yang dapat berakibat pada rusaknya lingkungan. Berkembangnya teknologi beton banyak inovasi baru dilakukan untuk menciptakan beton yang memiliki mutu beton yang baik dan ramah lingkungan. Inovasi yang sudah dilakukan salah satunya beton yang 100% tidak menggunakan semen, yaitu beton geopolimer.

Beton geopolimer adalah beton yang material utamanya memiliki kandungan pozzolan pada bahannya. Beton geopolimer ini berasal dari sintesa bahan alam non-organik yang diproses polimerisasi, bahan dasarnya mengandung tinggi unsur silika (Si) dan alumina (Al) yang direaksikan dengan alkali aktivator untuk menghasilkan *binder* atau bahan pengikat pengganti semen. Bahan yang bersifat pozzolan dapat ditemukan pada limbah pembakaran yaitu abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi, abu tebu dan lainnya. Limbah pembakaran yang sering digunakan pada campuran beton geopolimer adalah abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi sebagai prekursor yang digunakan.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi sebagai material utama beton geopolimer telah banyak dilakukan, seperti penelitian oleh Hardjasaputra dkk (2018), Sandya dkk (2019), Salain dkk (2020), Tampi dkk (2019), dan Perdana (2022). Perbandingan beberapa penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan diuraikan sebagai berikut.

1. Penelitian Rancangan Campuran Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash PLTU Suralaya – Banten Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur (Hardjasaputra dkk, 2018)

Pada penelitian ini merancang campuran atau *mix design* yang optimal pada beton geopolimer dengan menggunakan beberapa variasi molaritas dan rasio alkali dengan fly ash. Molaritas yang digunakan berupa 8M, 12M, dan 16M. Rasio alkali dengan Fly ash digunakan 0,45, 0,50, 0,55, dan 0,60 serta rasio antara Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 2. Penelitian ini menggunakan 100% Fly Ash sebagai bahan perekat pengganti semen untuk campuran beton. Fly ash akan dicampur dengan alkali aktivator agar memiliki sifat perekat yang dapat merekatkan seluruh elemen campuran penyusun beton geopolimer. Dilakukan dua tahapan dalam menguji benda uji yaitu pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dan kuat lentur menggunakan benda uji balok. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari sedangkan kuat lentur hanya dilakukan pada umur 7 dan 28 hari. Pengujian ini mendapatkan rancangan campuran yang optimal dengan komposisi molaritas 8M dan rasio alkali/flyash 0,50. Didapatkan kuat tekan sebesar 50,27 MPa dan kuat lentur sebesar 7,66 MPa.

2. Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen pada Beton Geopolimer (Sandya dkk., 2019)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan pada abu sekam padi sebagai pengganti semen dalam pengikatan campuran beton. Perhitungan *mix design* campuran beton geopolimer menggunakan SNI 03-2834-2000 sama dengan beton konvensional. Persentase alkali aktivator yang digunakan (Na_2SiO_3 : NaOH) sebanyak 65% : 35%, 70% : 30%, dan 75% : 25% dari berat prekursor dengan benda uji berupa silinder berdimensi 10 cm x 20 cm. Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa abu sekam padi memenuhi syarat sebagai pozzolan, artinya abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan alternatif pengganti semen sebagai pengikat campuran pada beton geopolimer. Penelitian ini tidak menguji kuat tekan beton maupun kuat tarik belah, hanya menguji kandungan pada abu sekam padi.

3. Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang (Salain dkk, 2020)

Pada penelitian ini beton geopolimer menggunakan abu terbang yang memiliki tujuan untuk mengukur kuat tekan beton tertinggi serta mengetahui komposisi campuran geopolimer yang terbaik. Penelitian ini meneliti variasi perbandingan persentase abu terbang dengan aktivator yaitu 70% : 30%, 65% : 35%, dan 60% : 40%. Perbandingan lainnya yang digunakan yaitu persentase agregat dan abu terbang sebesar 75% : 25% dengan agregat halus dan kasar sebesar 1 : 1,5. Aktivator yang digunakan berupa Na_2SiO_3 dan NaOH . Benda uji yang digunakan berupa kubus dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm yang diuji dan dirawat pada umur 7, 14, dan 28 Hari. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian slump dan kuat tekan beton geopolimer. *Mix design* yang digunakan yaitu menggunakan metode perbandingan persentase tersebut. Perawatan beton geopolimer dilakukan dengan pemanasan menggunakan oven suhu 70°C selama 24 jam. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini bahwa persentase abu terbang dan aktivator berpengaruh pada hasil kuat tekan beton geopolimer, ketika jumlah kadar diturunkan terjadi penurunan pada kuat tekan tersebut. Dihasilkan kuat tekan terbesar pada beton dengan persentase abu sekam dan aktivator 65% : 35% yaitu sebesar 48,89 Mpa.

4. Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Pada Perawatan Temperatur Ruangan (Tampi dkk, 2019)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas pada beton geopolymer pada umur 7 hari dan 28 hari dengan metode perawatan suhu ruangan. Pada penelitian terdapat substitusi semen terhadap *fly ash* dengan variasi kadar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat *fly ash*. Pengujian yang dilakukan berupa uji kuat tekan ditambah dengan modulus elastisitas beton geopolymer pada umur 7 hari dan 28 hari. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pengujian modulus elastisitas menggunakan rumus SNI 2847 – 2013 dan nilai modulus berdasarkan dari uji laboratorium sesuai ASTM C-469. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai modulus elastisitas pada beton geopolymer di umur 7 hari

mengalami peningkatan terus – menerus, semakin meningkatnya penambahan semen yang disubstitusikan semakin meningkat hasilnya. Sedangkan pada umur 28 hari nilai modulus elastisitas mengalami penurunan pada substitusi semen variasi 2,5% dan mengalami peningkatan kembali pada variasi 5% sampai 10%. Hasil dari pengujian ini juga terdapat perbandingan yang signifikan antara rumus SNI dan ASTM, nilai SNI menunjukkan lebih besar dari nilai ASTM. Kesimpulan pengujian pada beton geopolymer dengan perawatan suhu ruangan secara signifikan lebih rendah dari beton geopolymer normal dengan perhitungan SNI 2847 – 2013.

5. Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Viscocrete 1003 pada Karakteristik Beton Geopolimer (Perdana, 2022)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton geopolimer yang terjadi pada saat adanya penambahan abu sekam padi dan viscocrete 1003 pada campuran beton geopolimer. Variasi kadar abu sekam padi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% disubstitusikan terhadap fly ash dan viscocrete 1003 sebesar 0,6% ditambahkan terhadap berat prekursor yang digunakan. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan dimensi 15 cm x 30 cm, pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa penambahan *superplasticizer* berupa *Viscocrete 1003* tidak memberikan pengaruh terhadap beton geopolimer, nilai kuat tekan beton tertinggi dihasilkan sebesar 4,798 MPa dengan kadar abu sekam padi 0%. Penambahan abu sekam padi 0% merupakan variasi optimum pada penelitian ini.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu, yaitu dengan mensubstitusikan abu sekam padi pada *fly ash* dengan kadar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat prekursor. Digunakan benda uji silinder diameter 15 cm x 30 cm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kelecakan (*workability*), pengikatan waktu (*setting time*) pasta geopolimer, dan sifat mekanik beton berupa kuat tekan beton, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton geopolimer pada umur 28 hari. Metode pencampuran

beton yang digunakan berdasarkan SNI 03-2843-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal yang diaplikasikan pada beton geopolimer. Aktivator yang digunakan yaitu Na_2SiO_3 dan NaOH dengan perbandingan campuran 4:2. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian yang dilakukan dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Hardjasaputra (2018)	Sandya dkk. (2019)	Tampi dkk (2019)	Salain dkk. (2020)	Perdana (2022)	Penulis (Penelitian ini)
Judul Penelitian	Penelitian Rancangan Campuran Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash PLTU Suralaya-Banten Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur	Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Geopolimer	Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Pada Perawatan Temperatur Ruang	Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang	Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Dan Viscocrete 1003 Pada karakteristik Beton Geopolimer	Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi <i>Fly Ash</i> Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer
Tujuan Penelitian	Mengetahui rancangan campuran terbaik pada beton geopolimer terhadap kuat tekan dan lentur.	Mengetahui kandungan abu sekam padi sebagai pengganti pengikat semen sesuai syarat berlaku	Mengetahui nilai modulus elastisitas pada beton geopolymer pada umur 7 hari dan 28 hari dengan metode perawatan suhu ruangan	Mengetahui kuat tekan beton geopolimer tertinggi dan mendapatkan komposisi yang terbaik dari variasi perbandingan persentasi abu terbang dan aktivator.	Mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi dan viscocrete 0,6% dari berat prekursor terhadap nilai kuat tekan, modulus elastisitas, cepat rambat gelombang dan berat volume beton.	Mengetahui pengaruh substitusi abu sekam padi pada fly ash sebagai bahan pengikat agregat terhadap sifat mekanik beton geopolimer

Lanjutan Tabel 2.1

Peneliti	Hardjasaputra (2018)	Sandya dkk. (2019)	Tampi dkk (2019)	Salain dkk. (2020)	Perdana (2022)	Penulis (Penelitian ini)
Kadar	Persentase variasi alkali dan fly ash yaitu 0,45, 0,50, 0,55, dan 0,60. Variasi Molar yang digunakan berupa 8M, 12M, dan 16M. Perbandingan NaOO:Na ₂ SiO ₃ adalah 2.	Persentase alkali aktivator (Na ₂ SiO ₃ : NaOH) yang digunakan adalah 65% : 35%, 70% : 30%, dan 75% : 25% dari berat prekursor.	Substitusi semen terhadap <i>fly ash</i> dengan variasi kadar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat <i>fly ash</i>	Persentase yang digunakan: perbandingan agregat dan abu terbang (75% : 25%), agregat halus dan agregat kasar (1 : 1,24), dan variasi persentase abu terbang dan aktivator (70% : 30%, 65% : 35%, dan 60% : 40%).	Superplasticizer Sebesar 0,6% Dari Berat Prekursor, Abu Terbang (Fly Ash) Sebanyak 444 Kg/Cm ³ , Naoh:Na ₂ SiO ₃ adalah 4:2, Variasi Abu Sekam Padi yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat prekursor.	Variasi abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 4%, 8%, dan 12% terhadap prekursor.
Jenis Pengujian	Kuat Tekan dan Kuat Lentur	Berat Jenis, kadar air, penyerapan, dan Modulus Halus Butir (MHB)	Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	Kuat Tekan	Kuat tekan, Modulus Elastisitas, Cepat Rambat Gelombang, dan Berat Volume Beton	Setting time, workability, dan Sifat Mekanik beton (Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Modulus Elastisitas)

Lanjutan Tabel 2.1

Peneliti	Hardjasaputra (2018)	Sandya dkk. (2019)	Tampi dkk. (2019)	Salain dkk. (2020)	Perdana (2022)	Penulis (Penelitian ini)
Benda Uji	Silinder 100 x 200 mm dan Balok 60 x 60 x 300 mm	Silinder 10 cm x 20 cm	Silinder 10 cm x 20 cm	Kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm	Silinder 15 cm x 30 cm	Silinder 15 cm x 30 cm
Umur Beton	3, 7, 14, dan 28 Hari	28 Hari	7 dan 28 Hari	7, 14, dan 28 Hari	28 Hari	28 Hari
Hasil Pengujian	Mendapatkan rancangan campuran yang optimal yaitu komposisi molaritas 8M dan rasio alkali/flyash 0,50. Didapatkan kuat tekan sebesar 50,27 MPa dan kuat lentur sebesar 7,66 MPa.	Kandungan abu sekam padi memenuhi syarat sebagai pozzolan, jumlah bahan-bahan penyusun beton geopolimer pada varian perbandingan alkali aktivator 65% : 35%, 70% : 30%, dan 75% : 25% adalah sama, hanya terdapat perbedaan jumlah pada Na ₂ SiO ₃ dan NaOH	Nilai Ec pada umur 7 hari mengalami peningkatan secara menerus pada seluruh variasi, sedangkan pada umur 28 hari mengalami penurunan pada variasi 2,5% dan mengalami peningkatan di variasi 5% sampai 10%. Nilai SNI lebih besar dari ASTM. Beton geopolimer suhu ruangan secara signifikan lebih rendah dari beton geopolimer normal.	Persentase abu terbang dan aktivator berpengaruh pada hasil kuat tekan beton geopolimer, ketika jumlah kadar diturunkan terjadi penurunan pada kuat tekan tersebut. Dihasilkan kuat tekan terbesar pada beton dengan persentase abu sekam dan aktivator 65% : 35% yaitu sebesar 48,89 Mpa.	Penambahan Abu sekam padi 0% adalah nilai tertinggi dari berat volume, kuat tekan, dan keceptan rambat gelombang, Modulus elastisitas tidak terjadi karena kecilnya nilai kuat tekan. Nilai Kuat tekan tertinggi sebesar 4,798 MPa.	-

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Penggunaan beton menjadi hal utama dalam pembangunan struktur. Hal ini dikarenakan, beton berisi campuran pengikat yang mampu menciptakan kekuatan pada struktur yaitu berupa semen Portland. Dalam pembuatan semen Portland memberikan kontribusi sebanyak 7% terhadap emisi CO₂ pada global antropogenik. Hal ini terutama disebabkan oleh proses sintering pada suhu 1500°C dari batu kapur dan tanah liat, di mana terjadi transformasi kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO) yang melepaskan karbon dioksida (CO₂) (Worrell et al., 2001 dalam Rachmalia; 2018). Dilihat dari segi lingkungan, penggunaan beton dengan bahan dasar semen dapat berdampak buruk terhadap lingkungan dan tidak dapat dianggap sebagai material yang ramah lingkungan dan *sustainability*.

Sebagai alternatif dalam penggunaan semen, campuran beton digantikan dengan material yang memiliki sifat pozzolan yaitu mengandung silika dan alumina yang tinggi. Pozzolan ini didapatkan dari sisa pembakaran industri seperti sisa pembakaran batu bara berupa abu terbang (*fly ash*) dan sisa pembakaran sekam padi berupa abu sekam padi (RHA). Memanfaatkan Abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi sebagai bahan alternatif sekaligus sebagai solusi dalam permasalahan lingkungan dalam penggunaan semen. Pozzolan ini digunakan sebagai bahan campuran pengikat pengganti semen pada beton geopolimer yang dianggap lebih ramah lingkungan.

3.2 Beton Geopolimer

Geopolimer merupakan material yang dibentuk dari geosintesis aluminosilikat polymeric dan alkali-silikat yang menghasilkan kandungan senyawa polimer SiO₄ dan AlO₄ yang terkait secara tetrahedral (Davidovits, 1991). Beton geopolimer adalah suatu jenis beton yang dihasilkan dengan mengganti material semen Portland sepenuhnya dengan material yang mengandung pozzolan atau

material geopolimer. Material beton ini banyak terdapat pada material hasil pembuangan sampingan industri, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (RHA) dan lainnya. Proses pembuatan beton geopolimer membutuhkan aktivator sebagai pereaksi silika dan alumina yang terdapat pada abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi karena prekursor tersebut tidak memiliki sifat sebagai pengikat. Dari reaksi kombinasi bahan tersebutlah prekursor dapat menggantikan semen sebagai bahan pengikat utama campuran beton geopolimer.

Aktivator yang umum digunakan dalam geopolimer adalah Natrium silikat dan natrium hidroksida. Natrium silikat digunakan sebagai mempercepat dari reaksi polimerisasi yang terjadi dan natrium hidroksida digunakan untuk mereaksikan senyawa silikat dan alumina yang terkandung dalam prekursor sehingga mendapatkan ikatan polimer yang kuat (Nugrahanto, 2017). Dalam pembentukan tersebut membutuhkan waktu reaksi hingga pada akhirnya dapat mengeras dan menjadi pengikat (*binder*) pengganti semen.

3.3 Material Penyusun Beton Geopolimer

Material penyusun beton geopolimer tersusun dari agregat, air, aktivator, dan prekursor. Agregat yang digunakan sama halnya dengan pembuatan beton pada umumnya yaitu terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Dalam perekatan beton geopolimer berbeda dengan beton normal pada umumnya, yaitu tidak adanya kadar semen pada beton geopolimer. Semen sepenuhnya digantikan dengan material yang lebih ramah lingkungan yaitu sisa pembakaran berupa abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi yang memiliki kandungan tinggi silika dan alumina. Material tersebut kemudian direaksikan dengan aktivator berupa *Natrium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Natrium Hidroksida* (NaOH) untuk menghasilkan *binder* pengganti semen.

Pembuatan beton geopolimer ini harus memperhatikan terkait material yang digunakan, baik dalam pemilihan material, pencampuran material, dan teknis dalam pembuatan sampel benda uji. Berikut penjelasan mengenai material-material penyusun beton geopolimer.

3.3.1 Agregat

Agregat merupakan butiran material alami yang digunakan sebagai salah satu bahan pengisi pada beton. Kandungan agregat pada campuran beton kira-kira 70% dari volume beton. Agregat adalah campuran beton yang berpengaruh terhadap kualitas beton, sehingga penggunaan agregat harus diperhatikan dalam kualitasnya. Dalam penggunaan agregat pada campuran beton perlu beberapa hal yang diperhatikan yaitu volume udara, volume padat, berat jenis agregat, penyerapan, dan kadar air permukaan agregat (Landgren, 1994 dalam Mulyono; 2004). Campuran beton yang baik, agregat yang digunakan terdiri dari dua macam yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan sebagian besar komponen material penyumbang kekuatan dari beton. Menurut SNI 2834-2000, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Agregat kasar dalam campuran beton harus memenuhi syarat umum. Menurut SK SNI S-04-1989-F, persyaratan agregat kasar untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Agregat kasar bersifat kekal, artinya agregat tidak mengalami pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Apabila kandungan lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat reaktif terhadap alkali, karena dapat merusak beton.
- e. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam.

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah material berupa pasir yang digunakan dalam campuran beton. Menurut SNI 2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil pecahan alami dari batu atau pasir yang dihasilkan dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm dan harus lolos dari ayakan

tersebut. Agregat halus berguna sebagai pengisi celah rongga antara agregat kasar pada campuran beton. Adapun syarat-syarat agregat halus yang digunakan untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Agregat halus terdiri dari butiran tajam dan keras.
- b. Butiran agregat halus bersifat kekal yang artinya tidak pecah dan hancur oleh pengaruh cuaca baik panas maupun hujan.
- c. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%. Apabila kandungan lumpur melebihi 5%, maka harus dicuci terlebih dahulu.
- d. Agregat halus tidak banyak mengandung zat organik.
- e. Agregat halus terdiri dari butiran yang beraneka ragam dan harus memenuhi syarat ayakan.

3.3.2 Air

Air adalah material dasar dalam pembuatan campuran beton. Menurut Mulyono (2004), air yang digunakan pada campuran beton dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, situ, dan lainnya), air laut ataupun air limbah juga dapat digunakan dengan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air digunakan sebagai pelarut agar beton mudah tercampur, pada beton geopolimer air digunakan dalam melarutkan reaksi alkali aktivator yaitu NaOH dan Na_2SiO_3 sehingga mudah tercampur dengan prekursor dan agregat. Menurut SNI 03-2847-2002, syarat air pada campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari zat-zat yang dapat merusak beton, seperti mengandung oli, asam, atau bahan lainnya.
2. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan, kecuali memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

3.3.3 *Aquades*

Aquades adalah air murni yang digunakan untuk melarutkan zat kimia seperti NaOH padat. *Aquades* memiliki sifat yang tidak berbau, berasa, dan tidak memiliki warna. Kandungan yang terdapat pada *aquades* adalah murni H_2O . Pada campuran beton geopolimer, *aquades* digunakan sebagai pelarut NaOH padat dalam pembuatan *binder* geopolimer untuk dijadikan sebagai salah satu bahan aktivator *binder*.

3.3.4 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) adalah limbah hasil pembakaran batubara berupa butiran halus yang bersifat pozzolan karena memiliki kandungan silika dan alumina yang tinggi. Menurut ASTM C618, abu terbang (*fly ash*) merupakan residu berbentuk butiran halus yang dihasilkan dari sisa pembakaran batubara bubuk. *Fly ash* digolongkan menjadi dua kategori kelas, yaitu *Low Calcium Fly Ash* ($\text{CaO} < 10\%$) atau kelas F dan *High Calcium Fly Ash* ($\text{CaO} > 10\%$) atau kelas C. Pada geopolimer, penggunaan abu terbang (*fly ash*) kelas F memiliki waktu *setting time* 6 (enam) kali lebih lambat daripada abu terbang (*fly ash*) kelas C. Hal ini terjadi karena *fly ash* kelas C bersifat pozzolan sekaligus bersifat semen (*cementious*), sedangkan *fly ash* kelas F hanya bersifat pozzolan. Persyaratan kimia abu terbang (*fly ash*) dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Persyaratan Kimia Abu Terbang (*Fly Ash*)

Unsur Kimia	Fly Ash Kelas F	Fly Ash Kelas C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, minimal, %	70,0	50,0
SO_3 , Maksimal, %	5,0	5,0
Kadar Air, Maksimal, %	3,0	3,0
Hilang Pijar / LOI, Maksimal, %	6,0	6,0

Sumber: ASTM C618-12



Gambar 3.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) kelas F umumnya didapatkan dari sisa pembakaran batubara berupa antrasit atau bituminous, tetapi dapat dihasilkan dari sisa

pembakaran batubara subbituminous dari lignit. Pada abu terbang (*fly ash*) kelas C umumnya dihasilkan dari sisa pembakaran lignit berupa batubara subbituminous, dan juga biasa didapatkan dari batubara antrasit atau bituminous.

3.3.5 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi adalah hasil dari sisa pembakaran kulit padi atau biasa disebut dengan sekam padi. Abu sekam padi dapat digunakan sebagai material campuran beton, karena memiliki sifat sebagai pozzolan yang didalamnya terdapat kandungan silika tinggi sekitar 86% - 97% (Houston, 1972). Material yang berasal dari alam ini dapat digunakan sebagai material alternatif pengganti semen dalam batasan jumlah tertentu.

Mehta dan Pitt (1978) dalam jurnal portal Musbar (2010) menyatakan bahwa abu sekam padi yang dibakar dengan baik dapat menghasilkan kandungan silika yang tinggi dan menjadi material yang sangat reaktif. Abu sekam padi memiliki butiran sangat halus dan porositas yang tinggi. Zhang (1996) dalam jurnal portal Musbar (2010) menyatakan abu sekam padi memiliki ukuran butiran dan luas permukaan berkisar antara 5 – 10 μm dan 20 – 5 m^2/g dengan berat jenis $\pm 2,06$. Adapun komposisi kimia yang terkandung dalam abu sekam padi dapat dilihat dalam Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Abu Sekam padi

Senyawa Kimia	Jumlah (%berat)
SiO ₂	86,9 – 97,8
K ₂ O	0,58 – 2,50
Na ₂ O	0,00 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe ₂ O ₃	0,00 – 0,54
P ₂ O ₅	0,20 – 2,84
SO ₃	0,10 – 1,13
Cl	0,00 – 0,41

Sumber: Houston (1972)



Gambar 3.2 Abu Sekam Padi

3.3.6 Aktivator

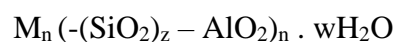
Aktivator adalah zat kimia yang digunakan untuk mereaksikan pozzolan dalam prekursor, sehingga terbentuk ikatan polimerisasi yang kuat dalam pembentukan beton geopolimer. Aktivator yang digunakan pada beton geopolimer berupa *Natrium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Natrium Hidroksida* (NaOH). Natrium silikat digunakan sebagai mempercepat dari reaksi polimerisasi yang terjadi dan natrium hidroksida digunakan untuk mereaksikan senyawa silikat dan alumina yang terkandung dalam prekursor sehingga mendapatkan ikatan polimer yang kuat (Nugrahanto, 2017). Aktivator ini dikombinasikan dengan prekursor untuk menghasilkan *binder* pada beton geopolimer dengan perbandingan rasio aktivator Na_2SiO_3 dan NaOH yang disesuaikan untuk mendapatkan kuat tekan beton geopolimer yang ditentukan.

3.4 Proses Pembentukan Geopolimer

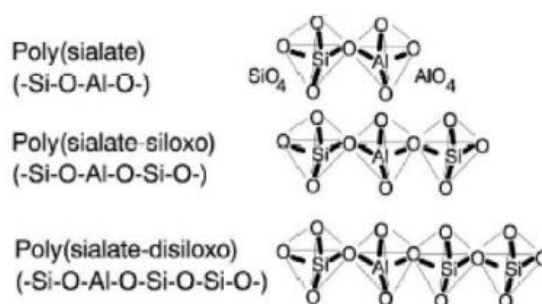
Geopolimer tersusun dari bahan anorganik yang disintesis dan mengandung unsur silika dan alumina yang tinggi. Kandungan silika dan alumina yang tinggi biasa ditemukan pada sisa pembakaran industri seperti abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi (RHA). Geopolimer terdiri dari dua komponen utama yaitu bahan dasar berupa prekursor dan alkali aktivator. Pembuatan geopolimer ini dilakukan dengan mencampurkan alkali aktivator berupa *Natrium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Natrium Hidroksida* (NaOH) kedalam prekursor dan campuran lainnya.

Prekursor dan alkali aktivator akan bercampur membentuk material padat melalui reaksi polimerisasi.

Proses penguraian polimer yang berlangsung di dalam beton geopolimer melibatkan reaksi kimia antara senyawa alkali dengan mineral Si – Al. Reaksi ini menghasilkan rantai polimer tiga dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten (Davidovits, 1991). Davidovits menggunakan istilah ‘poly(siallate)’ untuk geopolimer berbasis silika-alumina, yang merupakan rantai dan cincin dari polimer silika dan alumina yang terikat koordinasi IV dengan oksigen yang berstruktur amorf hingga semi-kristalin. Siallate adalah kependekan dari *silicon-oxo-aluminate*. Berikut adalah rumus empiris dari poly(siallate).



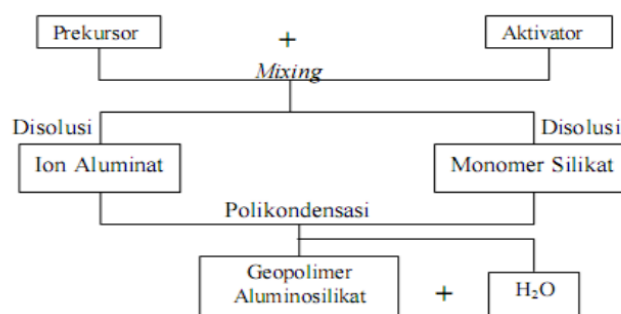
Dalam rumus empiris tersebut, ‘z’ adalah 1, 2, atau 3 sampai 32, ‘M’ adalah kation monovalen seperti kalium atau natrium, dan ‘n’ adalah derajat polikondensasi. Poly(siallate) ini dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu tipe poly(sialate) (-Si-O-Al-O), tipe poly(sialate-siloxo) (-Si-O-Al-O-Si-O), dan tipe poly(sialate-disiloxo) (-SiO-Al-O-Si-O-Si-O). Struktur kimia dari poly(siallate) dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Struktur Kimia Poly(siallate)

Geopolimerisasi melibatkan proses kimia di mana silika dan alumina bereaksi dengan alkali polisilikat untuk membentuk ikatan polimer Si – O – Al. Dari reaksi kimia tersebut pembentukan geopolimer menghasilkan air. Selama proses pengeringan dan *curing*, air dikeluarkan dari geopolimer untuk memberikan manfaat bagi kinerja beton geopolimer tersebut. Adapun proses polimerisasi dalam

menghasilkan geopolimer berbasis silika-aluminat dengan hasil sampingan H_2O dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Alur Polimerisasi

(Sumber: Pugar, 2011)

3.5 Proses Pencampuran Beton Geopolimer (*Mix Design*)

Pada penelitian ini beton yang akan digunakan adalah beton geopolimer. Pada beton geopolimer sampai saat ini belum terdapat standar dalam metode pencampuran beton (*mix design*) yang digunakan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini metode perencanaan campuran beton (*mix design*) yang digunakan berdasarkan perbandingan campuran aktivator dan pendekatan dari SNI 03-2843-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Artinya campuran beton geopolimer didesain sama dengan beton pada umumnya sesuai kuat tekan rencana. Namun, dalam penggunaan semen digantikan seluruhnya dengan material yang memiliki sifat pozzolan seperti abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi yang direaksikan dengan aktivator berupa *Natrium silikat* (Na_2SiO_3) dan *Natrium Hidroksida* ($NaOH$). Pada penelitian ini bahan pengikat (*binder*) dicampurkan dengan metode pencampuran basah, yaitu dengan menggunakan *Natrium silikat* berbentuk larutan dan $NaOH$ padat yang dilarutkan dengan *aquades*. Adapun tahapan dalam pencampuran *mix design* sesuai SNI 03-2843-2000 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan Kuat Tekan Beton Rencana.

Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan pada umur dan bentuk sampel. Penelitian ini kuat tekan rencana yang digunakan adalah 25 MPa pada umur 28 Hari dengan sampel silinder 15 cm x 30 cm.

2. Menentukan Nilai Deviasi Standar (S_r).

Deviasi standar dapat ditentukan sesuai dengan tabel faktor pengalinya, adapun faktor pengali deviasi standar dapat dilihat pada Tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2834-2000

Catatan:

Jika jumlah pengujian dilapangan kurang dari 15, maka nilai rata-rata kuat tekan yang direncanakan (f'_{cr}) harus tidak kurang dari ($f'_c + 12$ MPa).

3. Menghitung Nilai Tambah.

Nilai tambah untuk campuran beton dapat dihitung dengan persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.1)$$

Keterangan:

M = Nilai tambah,

1,64 = Tetapan statistic (nilainya disesuaikan dengan persentase kegagalan heasil uji sebesar maksimum 5%, dan

S_r = Deviasi standar.

4. Menghitung Kuat Tekan Rata-rata (f'_{cr}).

Kuat tekan rata-rata yang direncanakan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.2 berikut ini.

$$f'_{cr} = f'c + M \quad (3.2)$$

Keterangan:

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa),

$f'c$ = Kuat tekan beton rencana (MPa), dan

M = Nilai tambah.

5. Menentukan jenis semen.

6. Menentukan jenis agregat.

a. Agregat halus berupa pasir.

b. Agregat kasar berupa kerikil.

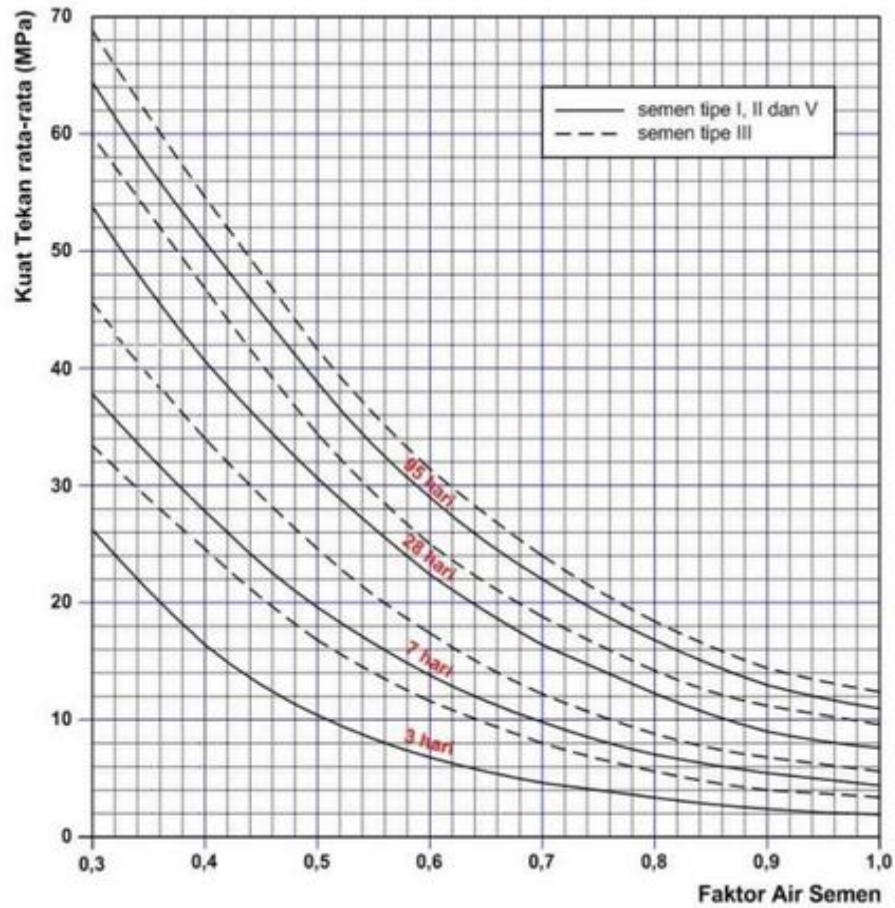
7. Menentukan faktor air semen (fas).

Dalam menentukan faktor air semen (fas) dapat dilihat menggunakan tabel perkiraan kuat tekan beton dengan fas dan agregat kasar yang umumnya digunakan di Indonesia, kemudian dapat dilihat dengan grafik hubungan kuat tekan dengan fas .

Tabel 3.4 Perkiraan Kuat Tekan beton dengan fas , dan Agregat kasar yang umumnya digunakan di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat	Kekuatan Tekan Beton (MPa)				Bentuk benda uji
		Umur (Hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3.5 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen (Benda Uji silinder 15 x 30 cm)

8. Menetapkan faktor air semen maksimum (*fas maximum*).

Jika nilai *fas* yang didapat pada langkah 7 di atas lebih kecil dari yang dikehendaki, maka menggunakan nilai *fas* yang terendah. Tabel persyaratan jumlah semen minimum dan *fas* maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Pada Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti – ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dri tanah		Tabel 5
Beton kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut.		Tabel 6

Sumber: SNI 03-2834-2000

9. Menetapkan *slump*.
10. Menentukan butiran agregat maksimum dari pengujian properties agregat.
11. Kadar air bebas, ditentukan dengan Tabel 3.6 sesuai SNI 03-2843-2000 dan persamaan 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang dibutuhkan untuk kemudahan dalam adukan beton

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tidak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu tidak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu tidak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

$$w = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (3.3)$$

Keterangan:

w = Kadar air bebas (kg/m^3),

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3), dan

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3).

12. Menentukan kebutuhan jumlah semen dengan persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$c = \frac{w}{f_{as}} \quad (3.4)$$

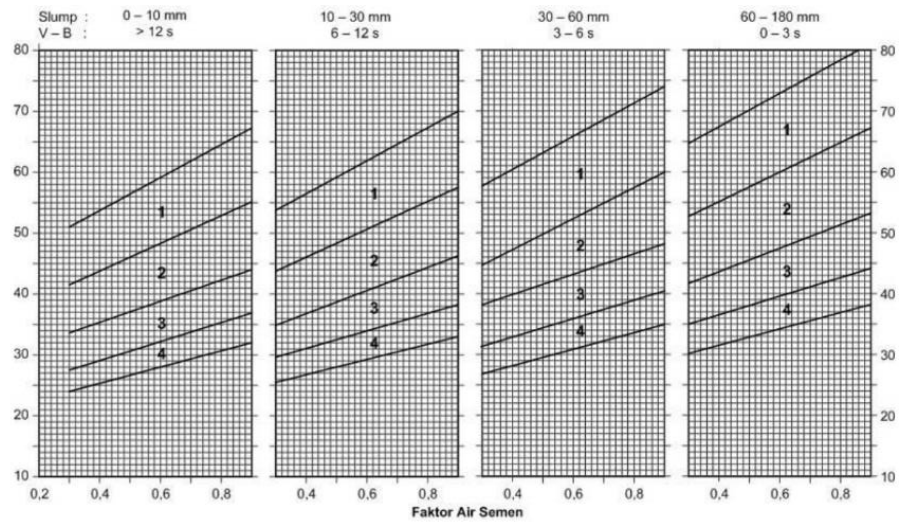
Keterangan:

c = Jumlah semen (kg/m^3),

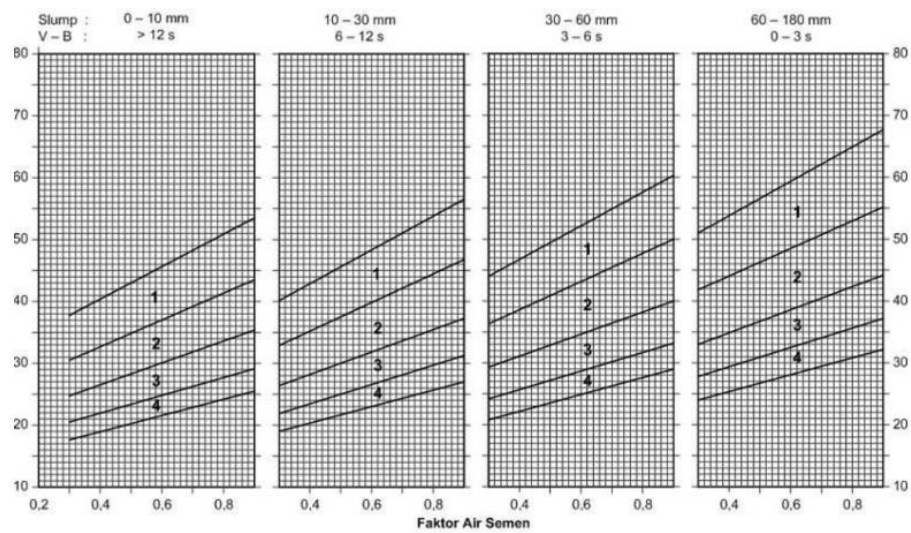
w = Kadar air bebas (kg/m^3), dan

f_{as} = Faktor air semen.

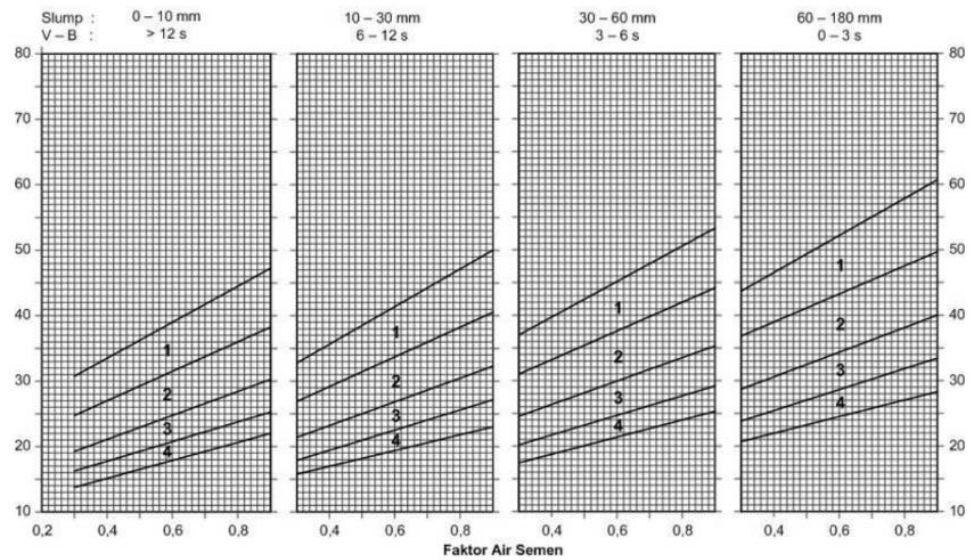
13. Menentukan kebutuhan semen maksimum
14. Menentukan kebutuhan semen minimum berdasarkan Tabel 4 pada SNI 03-2843-2000 dan dapat dilihat pada Tabel 3.5.
15. Menyesuaikan faktor air semen.
16. Menentukan susunan besar butir agregat halus.
17. Menentukan susunan agregat kasar atau gabungan.
18. Menentukan persen dari agregat halus menggunakan Grafik 13 hingga 15 pada SNI 03-2843-2000 dan dapat dilihat pada Gambar 3.7, Gambar 3.8, dan Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.6 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 10 mm
(Sumber: SNI 03-2843-2000)

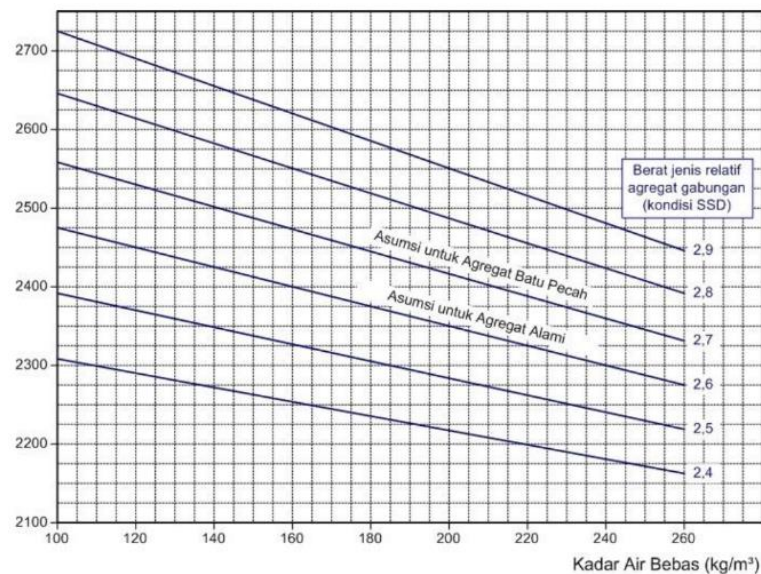


Gambar 3.7 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 20 mm
(Sumber: SNI 03-2843-2000)



Gambar 3.8 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 40 mm
(Sumber: SNI 03-2843-2000)

19. Menghitung berat jenis relatif agregat.
20. Menentukan berat isi beton menurut Grafik 16 pada SNI 03-2843-2000 dan dapat dilihat pada Gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3.9 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan
(Sumber: SNI 03-2843-2000)

21. Menghitung kadar agregat gabungan berdasarkan berat jenis beton dikurangi dengan jumlah kadar semen dan kadar air bebas.
22. Menghitung kadar agregat halus dari hasil kali persentase agregat halus (butir 18) dengan agregat gabungan (butir 21).
23. Menghitung kadar agregat kasar dari hasil agregat gabungan (butir 21) dikurangi kadar agregat halus (butir 22).
24. Didapatkan proporsi campuran untuk tiap m^3 dengan agregat dalam kondisi jenuh kering permukaan/SSD.

Perencanaan campuran beton geopolimer selanjutnya yaitu menentukan kadar alkali aktivator yang digunakan untuk mereaksikan prekursor. Adapun perencanaan alkali aktivator beton geopolimer adalah sebagai berikut.

1. Perbandingan alkali aktivator Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 4:2.
2. Menghitung molaritas 10M NaOH.

Molaritas 10M NaOH dihitung menggunakan persamaan 3.5 berikut.

$$M = \frac{massa}{Mr} \times \frac{1000}{V} \quad (3.5)$$

Keterangan:

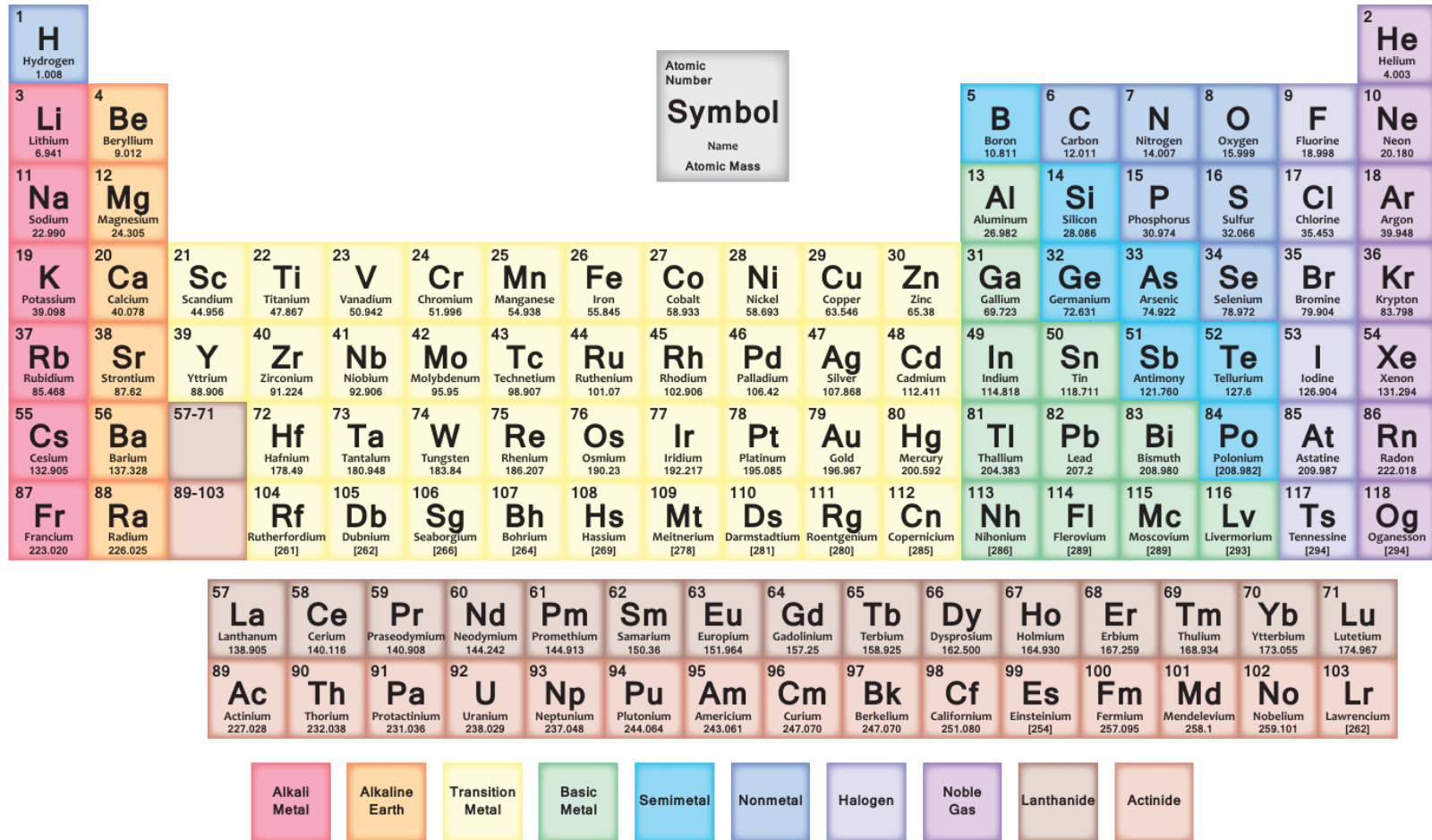
M = Molaritas yang digunakan yaitu 10

massa = berat NaOH

v = volume larutan (*liter*)

Mr = massa molekul relatif NaOH

Mr pada NaOH didapatkan dari jumlah massa atom relatif (*Ar*) unsur dalam senyawa NaOH. Senyawa NaOH tersusun atas unsur natrium (Na), oksigen (O), dan Hidrogen (H). Setiap unsur memiliki massa atom relatif yang dapat dilihat pada tabel periodik unsur. Adapun tabel periodik unsur dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini



Gambar 3.10 Tabel Periodik Unsur
(Sumber: *sciencenotes*)

Adapun massa atom relatif (A_r) yang dimiliki setiap unsur dalam senyawa NaOH adalah sebagai berikut.

Natrium (Na) = 22,990 dibulatkan menjadi 23

Oksigen (O) = 15,999 dibulatkan menjadi 16

Hidrogen (H) = 1,008 dibulatkan menjadi 1

Berdasarkan massa atom relatif (A_r) tersebut didapatkan massa molekul relatif (M_r) senyawa NaOH sebesar 40.

3.6 Pengujian Slump

Pengujian slump merupakan pengujian sebagai parameter untuk menentukan seberapa mudah adukan beton dapat dikerjakan. Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar beton yang dihasilkan memenuhi persyaratan *workability*. Tingkat kelacekan tentunya berkaitan dengan tingkat kemudahan pekerjaan beton (*workability*), sehingga semakin tinggi nilai slump berarti kondisi adukan beton semakin cair dan mudah dikerjakan. Nilai slump untuk berbagai struktur dapat dilihat pada Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7 Penetapan Nilai Slump

Pemakaian Beton	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	125	50
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	90	25
Pelat, balok, kolom, dan dinding	150	75
Pengerasan jalan	75	50
Pembetonan masal	75	25

Sumber: Buku Ajar Teknologi Bahan Konstruksi

Pengujian slump dilakukan dengan alat uji berupa kerucut abrams dengan memasukkan adukan beton ke dalam cetakan kerucut abrams hingga 1/3 tinggi kerucut. Kemudian adukan beton dipadatkan dengan menggunakan besi baja sebanyak 25 kali pukulan hingga terisi penuh. Setelah itu, kerucut abrams diangkat

dan penurunan beton dapat diukur. Nilai penurunan tersebut menunjukkan nilai slump pada beton.

3.7 Pengujian Setting Time

Pengujian *setting time* atau waktu pengikatan pada beton merupakan waktu yang diperlukan pasta semen untuk mengalami perubahan sifatnya dari cair menjadi padat. Terdapat dua jenis *setting time*, yaitu *initial setting time* (waktu ikatan awal) dan *final setting time* (waktu ikatan akhir). *Initial setting time* adalah periode waktu mulai pencampuran hingga mencapai konsistensi setengah keras dan dapat ditandai dengan *setting* sebagian dan pengukuran penetrasi jarum vicat menunjukkan penurunan 25 mm. Sedangkan *final setting time* adalah periode setelah material keras dan sudah tidak terjadi penurunan jarum penetrasi.

3.8 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan beton keras dalam menerima beban tekan per-satuan luas, yang dapat menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu oleh mesin uji tekan. Menurut SNI 1974-2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 berikut ini.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.6)$$

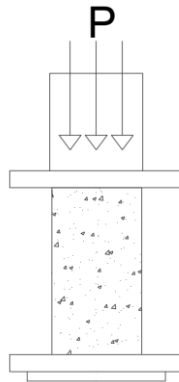
Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa),

P = Beban maksimum (N), dan

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Nilai kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton, pada umur 1 hingga 28 hari kuat tekan beton meningkat secara cepat (linear), setelah 28 hari kuat tekan beton akan terus meningkat dengan tingkat peningkatan yang kecil.



Gambar 3.11 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

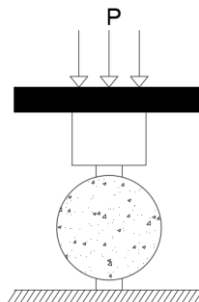
3.9 Pengujian Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah dilakukan dengan benda uji beton berbentuk silinder. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik belah pada benda uji dengan cara meletakkan benda uji silinder secara horizontal/sejajar dengan permukaan meja penekan pada mesin uji tekan. Menurut SNI 03-2491-2014, nilai kuat tarik belah dapat dihitung menggunakan persamaan 3.7 dan sketsa pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut ini.

$$f'_{ct} = \frac{2.P}{\pi LD} \quad (3.7)$$

Keterangan:

- f'_{ct} = Kuat tarik belah beton (MPa),
- P = Beban maksimum (N),
- L = Tinggi silinder beton (mm), dan
- D = Diameter silinder beton (mm).



Gambar 3.12 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

3.10 Pengujian Modulus Elastisitas

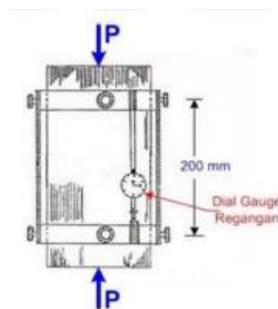
Menurut SNI 2826-2008, modulus elastisitas atau biasa disebut modulus young adalah rasio antara tegangan dan regangan aksial yang terjadi pada deformasi elastis, sehingga menggambarkan kemampuan suatu bahan untuk mengalami perubahan bentuk dan kembali ke bentuk aslinya ketika diberi beban. Modulus elastisitas ini merupakan parameter yang menunjukkan kekakuan suatu bahan, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas, semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi saat diberi gaya dan semakin rendah regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku. Modulus elastisitas dapat dipengaruhi oleh umur beton, penggunaan material agregat, semen, jenis, dan ukuran benda uji beton. Menurut SNI 2847-2019, dalam mencari modulus elastisitas beton normal menggunakan persamaan 3.8 berikut ini.

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.8)$$

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan alat uji *compression machine*. Benda uji silinder dipasang alat kompresometer yang memiliki panjang 200 mm dan terdapat *dial gauge regangan*. Adapun sketsa pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas
(Sumber: Modul Praktikum Ilmu Bahan)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan berupa metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan mensubstitusikan abu sekam padi pada *fly ash* pada campuran beton geopolimer. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi abu sekam padi terhadap sifat mekanik beton geopolimer.

4.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas, meliputi variasi kadar substitusi abu sekam padi terhadap abu terbang (*fly ash*) sebesar 0%, 4%, 8%, dan 12%.
2. Variabel terikat, meliputi *setting time*, *workability*, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.
3. Variabel tetap, terdiri dari bentuk sampel, dimensi benda uji, mutu beton rencana ($f'c$), perbandingan aktivator, dan *curing* beton.

4.3 Bahan yang Digunakan

Bahan - bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Abu Terbang (*Fly Ash*)
Pada penelitian ini digunakan abu terbang (*fly ash*) berasal dari PLTU 2 Labuan.
2. Abu Sekam Padi
Pada penelitian ini digunakan abu sekam padi sebagai substitusi pada *fly ash* dengan lolos saringan no. 100-200 mm, yang berasal dari Pabrik sekam Suherman Labuan.
3. Aktivator

Aktivator yang digunakan berupa *Natrium Silikat* (Na_2SiO_3) berbentuk larutan dan *Natrium Hidroksida* (NaOH) berbentuk padat yang didapatkan dari toko Sari Chemical, Yogyakarta.

4. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Kemudian dilakukan analisa saringan untuk mendapatkan gradasi agregat yang sesuai.

5. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

6. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan air bersih dan tidak terkontaminasi zat lain.

7. *Aquades*

Aquades digunakan dalam melarutkan NaOH padat agar menghasilkan larutan NaOH .

4.4 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Timbangan, digunakan untuk mengukur berat material dan benda uji.
2. Set Saringan Agregat, digunakan untuk menyaring agregat sesuai dengan ukuran butir yang diinginkan.
3. Pan, digunakan sebagai wadah material aktivator
4. Ember, digunakan sebagai wadah material agregat dan prekursor.
5. Cetakan silinder, digunakan untuk mencetak benda uji yang digunakan. Benda uji yang digunakan berukuran berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
6. Oven, digunakan untuk mengeringkan bahan material dan *curing* beton.

7. Kaliper, digunakan untuk mengukur dimensi dari cetakan benda uji, benda uji, dan lainnya.
8. Sekop, digunakan untuk mengaduk material campuran beton.
9. Gelas ukur, digunakan untuk menakar kebutuhan material cair yaitu bahan tambah air, aktivator dan lainnya.
10. *Mixer* beton, digunakan untuk pengadukan bahan campuran beton hingga menjadi komposisi beton.
11. Kerucut Abrams, digunakan untuk pengujian *Slump Test*.
12. *Vicat Cement*, alat uji yang digunakan untuk mengetahui *setting time* pasta pada beton geopolimer.
13. Dial gauge regangan, digunakan untuk menentukan deformasi bentuk beton pada pengujian modulus elastisitas.
14. *Compression Testing Machine* (CTM), alat uji yang digunakan untuk mengetahui kuat tekan dan tarik belah benda uji silinder beton.

4.5 Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini adalah beton dengan mengganti semen secara keseluruhan dengan abu terbang (*fly ash*) yang disubstitusikan dengan abu sekam padi, kemudian direaksikan dengan alkali aktivator berupa *Natrium Silikat* (Na_2SiO_3) dan *Natrium Hidroksida* (NaOH). Benda uji lainnya yaitu beton normal yang menggunakan semen sebagai perekatnya. Aktivator yang digunakan yaitu Na_2SiO_3 dan NaOH dengan perbandingan campuran 4:2. Variasi abu sekam padi yang digunakan 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat prekursor. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang diuji kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas beton pada umur 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan masing-masing rasio substitusi abu sekam padi sebanyak 3 sampel. Menurut SNI 03-2847-2002, jumlah benda uji silinder untuk pengujian kuat tekan minimum terdiri dari 3 sampel benda uji sesuai dengan umur yang ditentukan, maka jumlah rincian benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

Kadar Abu Sekam Padi	Jenis Pengujian dan Jumlah Benda Uji				Umur Benda Uji (hari)	Kode Benda Uji	Total Sampel
	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel			
-	Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas	3	Kuat Tarik Belah Beton	3	28	BN	6
0%		3		3	28	BG0	6
4%		3		3	28	BG4	6
8%		3		3	28	BG8	6
12%		3		3	28	BG12	6
Total Keseluruhan Benda Uji (Silinder)							30

Keterangan:

- BN : Beton normal umur 28 hari.
BG0 : Beton geopolimer umur 28 hari, kadar abu sekam padi 0%.
BG4 : Beton geopolimer umur 28 hari, kadar abu sekam padi 4%.
BG8 : Beton geopolimer umur 28 hari, kadar abu sekam padi 8%.
BG12 : Beton geopolimer umur 28 hari, kadar abu sekam padi 12%.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini memiliki beberapa tahapan, adapun tahapan penelitian sebagai berikut.

4.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian ini dimulai dengan studi literatur, menyusun rencana penelitian, kemudian penyiapan bahan dan alat-alat yang akan digunakan dalam pelaksanaan penelitian.

4.6.2 Pengujian Prekursor

Pengujian prekursor dilakukan untuk mengetahui kualitas dan kandungan pada abu terbang (*fly ash*) dan abu sekam padi yang akan digunakan sebagai bahan pengganti semen secara keseluruhan pada campuran beton. Pengujian ini berupa pengujian XRF yang dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional Laboratorium Radiasi Yogyakarta.

4.6.3 Pengujian Agregat

Pengujian agregat dimaksudkan untuk mengetahui kualitas, sifat, dan karakteristik agregat yang digunakan penelitian. Pengujian agregat ini meliputi pengujian agregat kasar dan agregat halus. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air yang mengacu pada SNI 03-1970-1990 untuk agregat halus dan SNI 03-1969-1990 untuk agregat kasar.
2. Pengujian analisa saringan yang mengacu pada SNI 03-1968-1990 untuk agregat halus dan agregat kasar.
3. Pengujian berat isi padat/gembur yang mengacu pada SNI 03-4804-1998.

4. Pengujian lolos saringan no. 200 (uji kandungan lumpur) yang mengacu pada SNI 03-4142-1996 untuk agregat halus.

4.6.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Metode perencanaan campuran beton (*mix design*) yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan perbandingan massa dan pendekatan dari SNI 03-2843-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, namun penggunaan semen sebagai pengikat campuran beton diganti secara keseluruhan menggunakan abu terbang (*fly ash*) dengan substitusi abu sekam padi sesuai variasi yang direncanakan. Aktivator yang digunakan yaitu Na_2SiO_3 dan NaOH dengan perbandingan campuran 4:2.

4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pada tahap pembuatan, benda uji dibuat dengan dua jenis yaitu beton normal dan beton geopolimer. Beton normal dibuat sesuai dengan *mix design* kuat tekan rencana yang nantinya sebagai acuan pada pembuatan beton geopolimer. Benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Metode perawatan beton geopolimer ini dilakukan dengan *dry curing* yaitu dimasukkan kedalam oven dengan suhu 60°C selama 8 jam kemudian didiamkan disuhu ruangan sampai waktu pengujian. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan, kemudian menimbang alat dan bahan sesuai dengan campuran beton (*mix design*) yang telah ditentukan.
2. Memastikan agregat kasar dan agregat halus dalam kondisi SSD.
3. Memasukkan bahan penyusun beton ke dalam *mixer concrete* secara kering dan sedikit-sedikit/secukupnya, kemudian air dan seterusnya.
4. Setelah campuran beton homogen, beton segar diletakkan pada pelat/talam dan dilakukan uji slump.
5. Meletakkan beton segar ke dalam cetakan secara bertahap hingga tiga lapisan. Setiap lapisan 1/3 dari tinggi cetakan dan menusuk sebanyak 25 tusukan secara merata hingga cetakan terisi penuh.
6. Meratakan permukaan atas beton dan diamkan beton mengeras dengan sempurna.

7. Setelah beton mengeras, beton dikeluarkan dari cetakan dan lakukan perawatan hingga waktu pengujian.

Pada pembuatan benda uji beton geopolimer dilakukan dengan langkah yang sama dengan beton normal, namun pada benda uji beton geopolimer perlu membuat bahan pengikat (*binder*) terlebih dahulu. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji beton geopolimer sebagai berikut.

1. Menentukan rasio campuran bahan beton geopolimer.
2. Menyiapkan bahan dan alat yang digunakan.
3. Membentuk bahan pengikat (*binder*) dengan metode pencampuran terpisah artinya terdapat jeda waktu dalam pencampuran *binder*.
 - a. Membuat larutan NaOH.
Pembuatan larutan NaOH 10M bentuk padat dengan *aquades*.
 - b. Menambahkan larutan *Natrium silikat* (Na_2SiO_3) selama 1 menit.
4. Memasukkan komponen campuran beton geopolimer ke dalam *mixer* seperti agregat, *pozzolan* dan *binder*.
5. Proses pencampuran dengan alat *concrete mixer* hingga menjadi beton geopolimer segar atau campuran homogen.
6. Meletakkan beton geopolimer segar ke dalam cetakan secara bertahap hingga tiga lapisan. Setiap lapisan 1/3 dari tinggi cetakan dan menusuk sebanyak 25 tusukan secara merata hingga cetakan terisi penuh.
7. Meratakan permukaan atas beton dan diamkan beton mengeras dengan sempurna.
8. Setelah beton mengeras, beton dikeluarkan dari cetakan dan lakukan perawatan hingga waktu pengujian

4.6.6 Pengujian Benda Uji

Pada tahapan ini beton geopolimer diuji untuk melihat waktu pengikatan, kelecakan, dan sifat mekanik pada beton geopolimer.

1. Uji *Setting time*

Pengujian *setting time* bertujuan untuk melihat waktu pengikatan pada pasta semen ataupun pada beton yang direncanakan. Pengujian yang dilakukan menggunakan alat *vicat* untuk pasta semen dan menghitung lamanya waktu

ikatan awal dan akhir pada pasta geopolimer menggunakan pengukur waktu. Adapun menurut SNI 03-6827-2002, langkah – langkah pengujian *vicat* sebagai berikut.

- a. Menyiapkan alat dan bahan pengujian.
 - b. Menentukan dan menyiapkan volume air suling, kemudian masukkan ke dalam wadah pengaduk, sekaligus memasukkan 300 gram benda uji semen (geopolimer) secara perlahan dan dibiarkan 30 detik.
 - c. Mengaduk campuran hingga homogen \pm 60 detik.
 - d. Memasukkan ke dalam cetakan pengujian *vicat*.
 - e. Mencatat penurunan jarum *vicat* setiap 15 menit.
 - f. Mencatat waktu ikatan awal yang terjadi hingga penurunan jarum mencapai 25 mm.
2. Uji *Workability*

Pengujian *workability* bertujuan untuk mengetahui nilai kelecakan yang terjadi pada beton segar. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan beton segar kedalam alat kerucut Abram. Pengujian yang dilakukan berupa *slump test* yang mengacu pada SNI 1972-2008. Adapun langkah-langkah dalam pengujian *slump* sebagai berikut.

- a. Menyiapkan alat pengujian yaitu kerucut Abram, tongkat pemadat, pelat logam, sendok cekung, dan mistar ukur.
- b. Membasahi cetakan dan pelat menggunakan kain basah, kemudian meletakkan cetakan di atas pelat logam.
- c. Masukkan beton segar kedalam cetakan secara bertahap sebanyak tiga lapis, dengan setiap lapis 1/3 isi cetakan beton segar distusuk sebanyak 25 kali tusukan. Penusukan pertama dilakukan sesuai dengan kemiringan cetakan dan penusukan dilakukan secara menyeluruh.
- d. Meratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan membersihkan benda uji yang jatuh disekitar cetakan. Kemudian mengangkat cetakan secara perlahan dan tegak lurus ke atas. Waktu pengujian selama 2,5 menit.

- e. Membalikan cetakan dan meletakkannya disamping benda uji untuk mengukur *slump* yang terjadi dan mencatat hasil pengujian.

3. Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai SNI 1974-2011 yang dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang dihasilkan oleh beton geropolimer. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah mencapai umur rencana yaitu pada umur 28 hari. Adapun langkah-langkah pengujian kuat tekan beton sebagai berikut.

- a. Menyiapkan alat dan benda uji silinder yang telah dilakukan perawatan.
- b. Mengukur dimensi dengan tiga titik posisi pengukuran yang berbeda dan menimbang berat benda uji.
- c. Benda uji diletakkan pada mesin uji tekan dengan diberi landasan berupa mortar belerang pada permukaan yang akan menerima beban atau bagian atas benda uji.
- d. Mesin tekan dijalankan hingga menyentuh bagian atas benda uji, pastikan benda uji berada diposisi yang sentris.
- e. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat hasil pembebanan maksimum.
- f. Angkat benda uji dan bersihkan.

4. Uji Tarik Belah Beton

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan SNI 03-2491-2002. Benda uji yang digunakan setelah berumur 28 hari. Adapun langkah-langkah pengujian kuat tarik belah beton sebagai berikut.

- a. Menyiapkan alat dan benda uji silinder yang telah dilakukan perawatan.
- b. Mengukur dimensi dan menimbang berat benda uji.
- c. Memberikan tanda pada benda uji dengan menarik garis tengah disetiap ujung silinder benda uji menggunakan alat bantu hingga dapat dipastikan kedua garis tengah berada dibidang aksial yang sama.
- d. Meletakkan batang penekan tambahan di atas meja tekan bagian bawah mesin uji secara simetris.

- e. Meletakkan benda uji di atas bantalan bantu berupa kayu lapis sedemikian rupa hingga tanda garis tengah benda uji tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu pembebanan.
- f. Mengatur posisi pengujian hingga tercapai kondisi: proyeksi dari bidang yang ditandai dengan garis tengah di kedua ujung benda uji tepat berpotongan dengan titik tengah meja penekan bagian atas mesin uji.
- g. Menjalankan mesin uji dengan pembebanan secara menerus (konstan) yang berkisar 50 – 100 kN per-menit sampai benda uji terbelah dan mencatat hasil pembebanan maksimum.
- h. Angkat benda uji dan bersihkan.

5. Uji Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-4169-1996. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan dibagi regangan beton pada keadaan elastis, dengan tegangan mencapai 40% dari kuat tekan maksimum. Pada pengujian modulus elastisitas beton dilakukan secara bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton, dikarenakan kedua pengujian tersebut saling berkaitan. Pada saat pengujian kuat tekan beton, benda uji dipasangkan alat berupa dial gauge regangan untuk membaca regangan atau deformasi yang terjadi pada beton. Adapun langkah-langkah dalam pengujian modulus elastisitas beton sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji silinder yang telah dilakukan perawatan.
2. Mengukur dimensi dengan tiga titik posisi pengukuran yang berbeda yaitu ditengah dana di kedua ujung benda uji serta menimbang berat benda uji.
3. Memasang alat kompresometer –ekstensometer dan dial gauge dengan posisi yang tepat.
4. Benda uji diletakkan pada mesin uji tekan dengan diberi landasan berupa mortar belerang pada permukaan yang akan menerima beban atau bagian atas benda uji secara simetris.
5. Mesin tekan dijalankan hingga menyentuh bagian atas benda uji.

6. Lakukan pembebanan dan mencatat deformasi setiap peningkatan 10 kN, beban tekan saat regangan $50 \cdot 10^{-6}$, dan regangan saat mencapai pembebanan 40% beban maksimum atau hingga benda uji hancur.
7. Angkat benda uji dan bersihkan.

4.6.7 Pengolahan Data

Pada tahapapan ini data mentah hasil pengujian diolah berdasarkan teori perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang memiliki arti.

4.6.8 Analisis Data Pengujian

Pada tahapan ini dilakukan analisis dari data yang didapatkan untuk mendapatkan suatu perbandingan dan pembahasan dari hasil seluruh pengujian benda uji. Pada penelitian ini benda uji yang dihasilkan berupa beton geopolimer dan diuji untuk mengetahui sifat mekanik beton yaitu berupa kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

4.6.9 Pembahasan

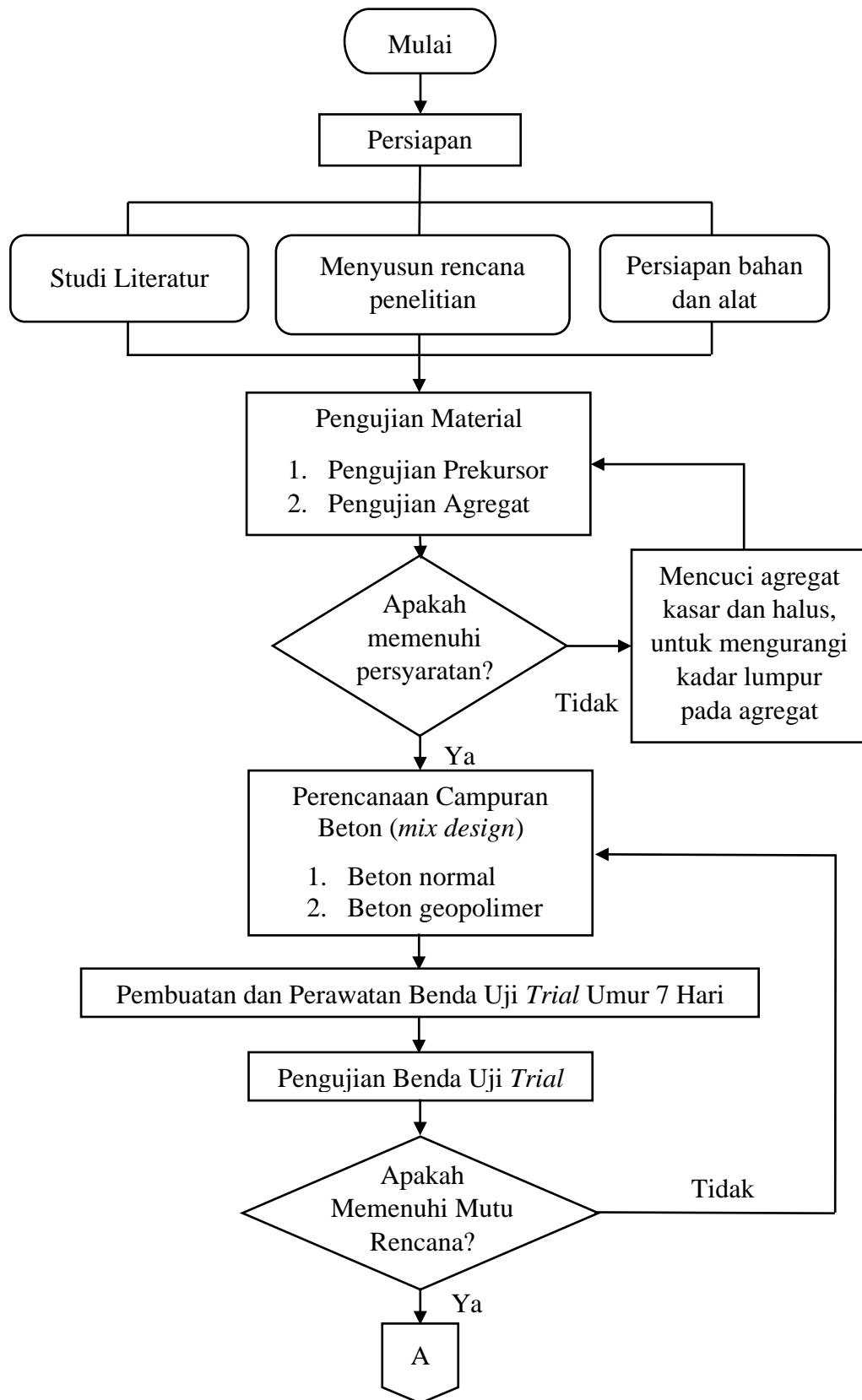
Pada tahapan ini berupa pembahasan dari hasil analisis untuk memberikan interpretasi terhadap suatu nilai yang dihasilkan dari analisis data.

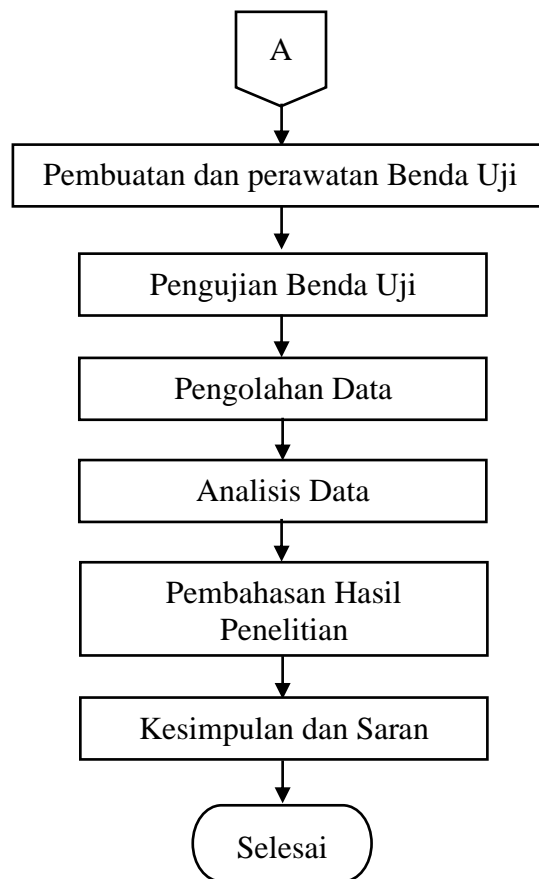
4.6.10 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini berupa suatu kesimpulan dari hasil yang telah didapatkan dengan megacu pada tujuan awal penelitian. Pada tahapan ini juga memberikan saran sebagai informasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang didapat.

4.6.11 Flow Chart Penelitian

Flow chart penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.





Gambar 4.1 *Flowchart* Penelitian

BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui kadar kandungan dan karakteristik sifat material tersebut. Terdapat dua pengujian material yaitu pengujian prekursor dan pengujian agregat. Material pada pengujian prekursor yaitu pengujian kandungan dari *Fly Ash* dan Abu Sekam Padi untuk mengetahui kandungan unsur silika (Si) dan alumina (Al) didalamnya. Pada pengujian agregat yaitu pengujian yang dilakukan pada agregat halus (pasir) dan agregat kasar (krikil) untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat yang digunakan dalam penyusunan campuran beton.

5.2 Hasil Pengujian Prekursor

Pengujian prekursor dilakukan terhadap material *Fly Ash* dan Abu Sekam Padi untuk mengetahui kadar kandungan unsur silika (Si) dan alumina (Al) yang terkandung didalamnya. Kemudian dapat mengetahui jenis *type fly ash* yang digunakan pada campuran penyusunan beton geopolimer. Pengujian *fly ash* dan abu sekam padi berupa pengujian XRF yang dilakukan di Laboratorium Radiasi BRIN Yogyakarta. Adapun hasil pengujian kandungan *fly ash* dan abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 dibawah ini.

Tabel 5.1 Hasil Uji Kimia (XRF) *Fly Ash*

Unsur	Konsentrasi (%)	Senyawa Oksida	Konsentrasi (%)
Si	11,21	SiO ₂	23,98
Al	2,698	Al ₂ O ₃	5,098
Fe	23,191	Fe ₂ O ₃	33,156
Ca	5,827	CaO	8,153
Mn	0,404	MnO	0,522
Mg	0,068	MgO	0,113
K	0,68	K ₂ O	0,819
P	0,143	P ₂ O ₅	0,328
S	0,102	SO ₃	0,255
Ti	0,652	TiO ₂	1,088

Berdasarkan hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) pada Tabel 5.1, *fly ash* terbukti memiliki kandungan unsur silika (Si) dan alumina (Al). Pada pengujian ini *fly ash* PLTU 2 Labuan mengandung senyawa oksida SiO₂ sebanyak 23,98%, Al₂O₃ sebanyak 5,098 %, Fe₂O₃ sebanyak 33,156%, dan CaO sebanyak 8,153%. Sehingga diperoleh jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ sebesar 62,234%. Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa *fly ash* PLTU 2 Labuan termasuk kedalam *fly ash* kelas C yang mengandung kadar SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ > 50%. Menurut ASTM C618-12 dan CSA menetapkan angka kadar CaO *fly ash* kelas C sebesar 8 – 20% untuk tipe CI, sehingga *fly ash* PLTU 2 Labuan memenuhi tipe kelas C (*high – calcium fly ash*) yang mempunyai sifat *cementitious* dan sifat sebagai pozzolan.

Tabel 5.2 Hasil Uji Kimia (XRF) Abu Sekam Padi

Senyawa Kimia	Jumlah (% berat)
SiO ₂	86,873
K ₂ O	2,112
Na ₂ O	0,578
CaO	4,452
MgO	0,16
Fe ₂ O ₃	2,085
P ₂ O ₅	1,37
SO ₃	0,514
ClO ₂	0,869

Berdasarkan hasil pengujian XRF yang dilakukan pada abu sekam padi mengandung senyawa silika sebesar 86,873%. Dengan kandungan senyawa silika yang terdapat pada abu sekam padi, maka abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan pozzolan pada pembuatan beton. Abu sekam padi dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu tinggi sehingga menghasilkan abu sekam padi yang berbutir halus memiliki unsur senyawa silika (Si).

5.3 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan dengan menguji material pasir dan kerikil sebagai bahan penyusun beton agar memenuhi persyaratan yang sesuai dengan perencanaan dalam campuran beton yaitu *mix design*. Adapun pengujian agregat terbagi dalam dua jenis agregat, yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil).

5.3.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan yaitu pasir yang berasal dari progo. Pada agregat halus dilakukan pengujian berupa berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan agregat, pengujian berat volume gembur dan padat, dan pengujian kadar lumpur. Adapun hasil pengujian tersebut sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air pada pasir. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan pada SNI 1970 – 1990. Adapun perhitungan sampel 1 dapat dilihat dibawah ini.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{490}{(734+500-1036)} \\ &= 2,47 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(734+500-1036)} \\ &= 2,53 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{490}{(734+490-1036)} \\ &= 2,61 \text{ gram} \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air} &= \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{(500-490)}{490} \times 100\% \\
 &= 2,04 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dan dengan cara perhitungan yang sama didapat nilai berat jenis dan penyerapan air sampel 2, kemudian didapat nilai rata – ratanya. Adapun rekapitulasi nilai hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490	489	489,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1036	1034	1035
Berat piknometer berisi air, gram (B)	734	734	734
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,47	2,45	2,46
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2,53	2,50	2,51
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,61	2,59	2,60
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk x 100%))	2,04	2,25	2,15

Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapatkan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) rata – rata sebesar 2,51 gram.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk mengetahui klasifikasi agregat halus (pasir) berdasarkan butirannya (MHB). Pengujian ini menggunakan SNI 1968- 1990 dengan berat benda uji sebanyak 2000 gram yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). Perhitungan pengujian analisa saringan agregat halus sampel 1 sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\sum \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Saringan 4,80 mm} &= \frac{0}{1999} \times 100\% \\
 &= 0\% \\
 \text{Saringan 2,40 mm} &= \frac{90}{1999} \times 100\% \\
 &= 4,50\% \\
 \text{Saringan 1,20 mm} &= \frac{183}{1999} \times 100\% \\
 &= 9,15\% \\
 \text{Saringan 0,60 mm} &= \frac{591}{1999} \times 100\% \\
 &= 29,56\% \\
 \text{Saringan 0,30 mm} &= \frac{789}{1999} \times 100\% \\
 &= 39,47\% \\
 \text{Saringan 0,15 mm} &= \frac{309}{1999} \times 100\% \\
 &= 15,46\% \\
 \text{Pan (sisa)} &= \frac{37}{1999} \times 100\% \\
 &= 1,85\%
 \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Saringan 4,80 mm} &= 0\% \\
 \text{Saringan 2,40 mm} &= 0\% + 4,50\% \\
 &= 4,50\% \\
 \text{Saringan 1,20 mm} &= 4,50\% + 9,15\% \\
 &= 13,66\% \\
 \text{Saringan 0,60 mm} &= 13,66\% + 29,56\% \\
 &= 43,22\% \\
 \text{Saringan 0,30 mm} &= 43,22\% + 39,47\% \\
 &= 82,69\% \\
 \text{Saringan 0,15 mm} &= 82,69\% + 15,46\% \\
 &= 98,15\% \\
 \text{Pan} &= 98,15\% + 1,85\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

Saringan 4,80 mm	= 100% - 0%
	= 100%
Saringan 2,40 mm	= 100% - 4,50%
	= 95,50%
Saringan 1,20 mm	= 100% - 13,66%
	= 86,34%
Saringan 0,60 mm	= 100% - 43,22%
	= 56,78%
Saringan 0,30 mm	= 100% - 82,69%
	= 17,31%
Saringan 0,15 mm	= 100% - 98,15%
	= 1,85%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Berdasarkan perhitungan di atas serta langkah yang sama didapatkan nilai analisa saringan agregat halus sampel 2. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,80	0	0	0	100
2,40	90	4,50	4,50	100
1,20	183	9,15	13,66	95,50
0,60	591	29,56	43,22	86,34
0,30	789	39,47	82,69	56,78
0,15	309	15,46	98,15	1,85
Pan	37	1,85	100	0
Jumlah	1999	100		

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,80	0	0	0	100
2,40	101	5,05	5,05	94,95
1,20	183	9,15	14,21	85,79
0,60	647	32,37	46,57	53,43
0,30	732	36,62	83,19	16,81
0,15	282	14,11	97,30	2,70
Pan	54	2,70	100	0
Jumlah	1999	100		

Dari pengujian analisa saringan agregat halus di atas dapat dihitung nilai modulus halus butir (MHB) yang didapat sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{242,221}{100} \\ &= 2,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{246,323}{100} \\ &= 2,46 \end{aligned}$$

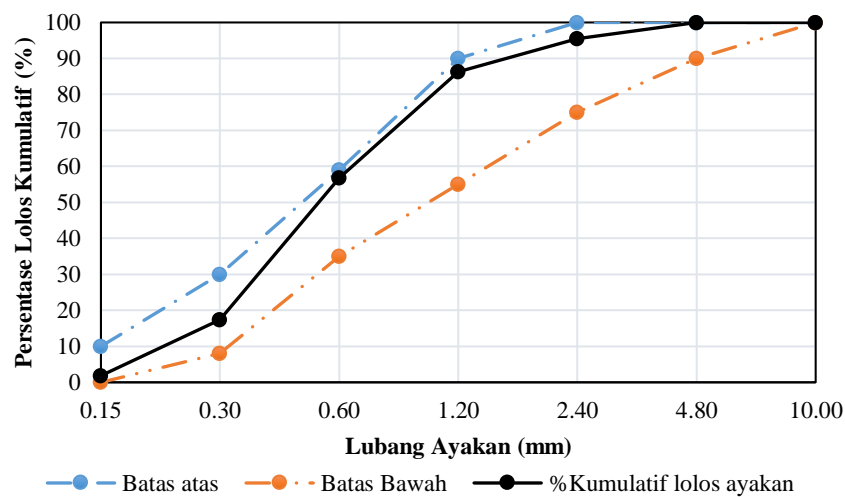
Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai MHB sampel 1 dan sampel 2 adalah 2,42 dan 2,46. Dalam SK SNI S-04-1989-F syarat nilai MHB pada agregat halus yaitu 1,5 – 3,8. Sehingga berdasarkan persyaratan di atas hasil dari pengujian agregat halus MHB yang diperoleh sudah memenuhi ketentuan. Pengujian analisa saringan juga digunakan dalam menentukan gradasi agregat halus (pasir). Gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Gradasi Agregat Halus

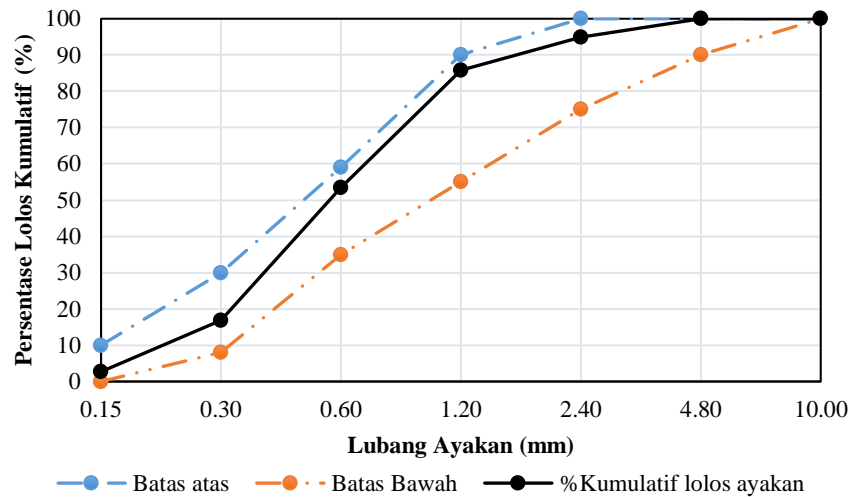
Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834 - 2000

Berdasarkan dari Tabel 5.6, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini masuk kedalam kategori gradasi pasir daerah II yang artinya pasir sedang. Dari Tabel 5.6 kemudian dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1



Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan dengan agregat halus (pasir) yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dengan menggunakan metode sesuai SNI 4804 – 1998. Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 18540 - 10690 \\ &= 7850 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,14^2 \times 30,13 \\ &= 5424,26 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7850}{5424,26} \\ &= 1,45 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 20106 - 10690 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 9416 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,14^2 \times 30,13 \\
 &= 5424,26 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{9416}{5424,26} \\
 &= 1,74 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka berat volume gembur dan padat sampel 2 didapatkan dan nilai rata – ratanya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	18540	18423	18482
Berat Agregat (W3), gram	7850	8134	7992
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,45	1,53	1,49

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	20106	19547	19827
Berat Agregat (W3), gram	9416	9258	9337

Lanjutan Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume padat (W ₃ /V), gram/cm ³	1,74	1,74	1,74

Berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas diperoleh nilai berat volume gembur rata – rata agregat halus sebesar 1,49 gram/cm³ dan volume padat agregat halus sebesar 1,74 gram/cm³. Berat volume gembur lebih kecil dari berat volume padat karena dalam pengujian berat volume padat agregat halus dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali tumbukan per 1/3 bagian silinder. Hal ini bertujuan untuk mengurangi celah udara sehingga agregat semakin padat.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur Pasir)

Pengujian lolos saringan no. 200 ini bertujuan untuk mengetahui nilai persentase kandungan lumpur yang terdapat dalam pasir. Pasir yang digunakan yaitu pasir yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) keadaan kering oven sebanyak 500 gram dengan metode berdasarkan SNI 4142 – 1996. Adapun perhitungan persentase kadar lumpur dalam pasir untuk sampel 1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat Kering Oven (W1)} &= 500 \text{ gram} \\
 \text{Berat kering oven setelah dicuci (W2)} &= 482 \text{ gram} \\
 \text{Kadar Lumpur dalam Pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 482}{482} \times 100\% \\
 &= 3,60\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan dan langkah yang sama didapat nilai persentase kadar lumpur sampel 2 yaitu sebesar 2,80% dan nilai rata – rata yang didapat

sebesar 3,20%. Adapun rekapitulasi uji kadar lumpur dalam pasir dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Pasir)

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	482	486	484
Persentase lolos saringan No. 200 [(W1 - W2)/W1] x 100	3,60%	2,80%	3,20%

5.3.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan yaitu krikil yang dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar (krikil).

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air pada krikil. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan pada SNI 1969 – 1990. Adapun perhitungan sampel 1 dapat dilihat dibawah ini.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \\ &= \frac{4896}{(5000 - 3031)} \\ &= 2,49 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} &= \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \\ &= \frac{5000}{(5000 - 3031)} \end{aligned}$$

$$= 2,54 \text{ gram}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(Bk-Ba)} \\ &= \frac{4896}{(4896-3031)} \\ &= 2,63 \text{ gram} \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(5000-4896)}{4896} \times 100\% \\ &= 2,12 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dan dengan cara perhitungan yang sama didapat nilai berat jenis dan penyerapan air sampel 2, kemudian didapat nilai rata – ratanya. Adapun rekapitulasi nilai hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4896	4892	4894
Berat Kerikil jenuh kering muka (SSD) (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba)	3031	3028	3029,5
Berat Jenis Curah (Bk/Bj-Ba)	2,49	2,48	2,58
Berat jenis jenuh kering muka (Bj/(Bj-Ba))	2,54	2,54	2,54
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,63	2,62	2,62
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk x 100%))	2,12	2,21	2,17

Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapatkan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) rata – rata sebesar 2,54 gram.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui klasifikasi agregat kasar (kerikil) berdasarkan butirannya (MHB). Pengujian ini menggunakan SNI 1968- 1990

dengan berat benda uji sebanyak 5000 gram. Perhitungan pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 1 sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\sum \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 40 mm} &= \frac{0}{4999} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 20 mm} &= \frac{0}{4999} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 10 mm} &= \frac{3748}{4999} \times 100\% \\ &= 74,97\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 4,80 mm} &= \frac{1134}{4999} \times 100\% \\ &= 22,68\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 2,40 mm} &= \frac{77}{4999} \times 100\% \\ &= 1,54\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 1,20 mm} &= \frac{8}{4999} \times 100\% \\ &= 0,16\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan (sisa)} &= \frac{32}{4999} \times 100\% \\ &= 0,64\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Saringan 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 20 mm} &= 0\% + 0\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 10 mm} &= 0\% + 74,97\% \\ &= 74,97\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 4,80 mm} &= 74,97\% + 22,68\% \\ &= 97,66\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 2,40 mm} &= 97,66\% + 1,54\% \\ &= 99,19\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan 1,20 mm} &= 99,19\% + 0,16\% \\ &= 99,36\% \\ \text{Pan} &= 99,36\% + 0,64\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Saringan 40 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \\ \text{Saringan 20 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \\ \text{Saringan 10 mm} &= 100\% - 74,97\% \\ &= 25,03\% \\ \text{Saringan 4,80 mm} &= 100\% - 97,66\% \\ &= 2,34\% \\ \text{Saringan 2,40 mm} &= 100\% - 99,19\% \\ &= 0,80\% \\ \text{Saringan 1,20 mm} &= 100\% - 99,36\% \\ &= 0,64\% \\ \text{Pan} &= 100\% - 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas serta langkah yang sama didapatkan nilai analisa saringan agregat kasar sampel 2. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	3748	74,97	74,97	25,03
4,80	1134	22,68	97,66	2,34
2,40	77	1,54	99,19	0,80

Lanjutan Tabel 5.11 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1,20	8	0,16	99,36	0,64
0,60	0	0	99,36	0,64
0,30	0	0	99,36	0,64
0,15	0	0	99,36	0,64
Pan	32	0,64	100	0
Jumlah	4999	100		

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	3719	74,39	74,39	25,61
4,80	1123	22,46	96,86	3,14
2,40	107	2,14	98,99	1,00
1,20	9	0,18	99,18	0,82
0,60	0	0	99,18	0,82
0,30	0	0	99,18	0,82
0,15	0	0	99,18	0,82
Pan	41	0,82	100	0
Jumlah	4998	100		

Dari pengujian analisa saringan agregat kasar di atas dapat dihitung nilai modulus halus butir (MHB) yang didapat sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{669,27}{100} \\ &= 6,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{666,97}{100} \\ &= 6,67 \end{aligned}$$

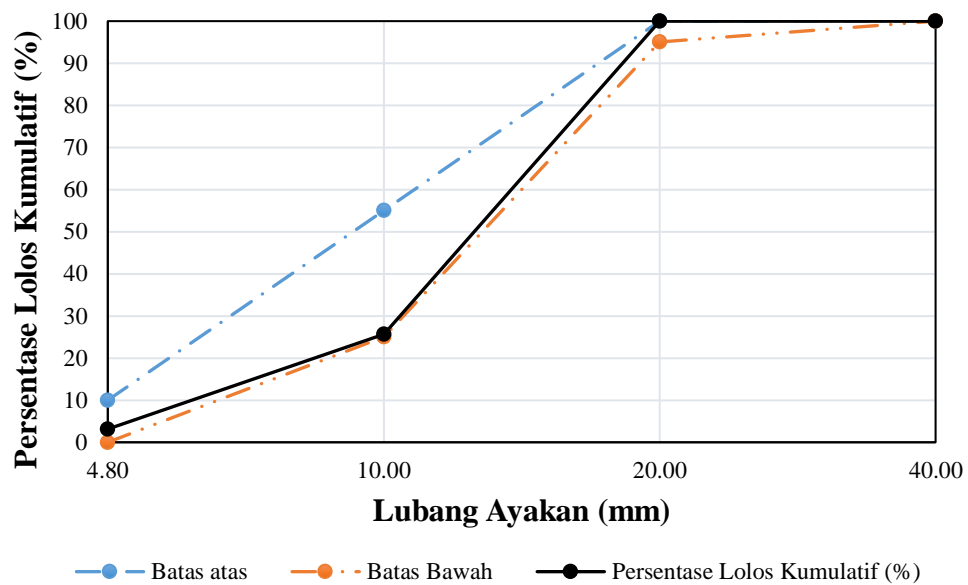
Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai MHB sampel 1 dan sampel 2 adalah 6,69 dan 6,67. Dalam SK SNI S-04-1989-F syarat nilai MHB pada agregat kasar yaitu 5 – 8. Sehingga berdasarkan persyaratan di atas hasil dari pengujian agregat kasar MHB yang diperoleh sudah memenuhi ketentuan. Pengujian analisa saringan juga digunakan dalam menentukan gradasi agregat kasar (kerikil). Gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Gradasi Agregat Kasar

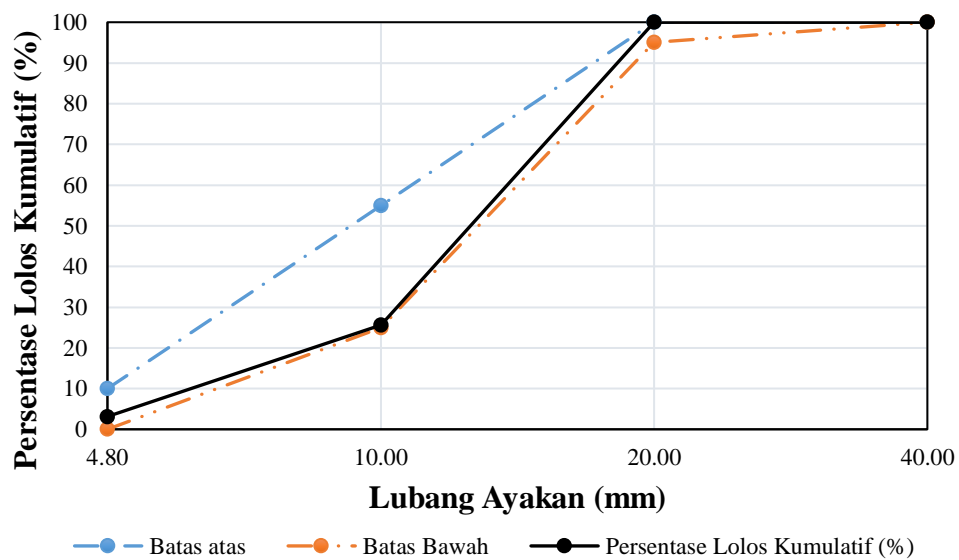
Lubang Saringan (mm)	Persen Butiran Agregat Lolos Saringan	
	40 mm	20 mm
40	95 - 100	100
20	30 - 70	95 - 100
10	10 - 35	25 - 55
4,8	0 - 5	0 - 10

Sumber: SNI 2834 -2000

Berdasarkan dari Tabel 5.13, agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini masuk kedalam kategori besar butiran maksimum 20 mm. Dari Tabel 5.13 kemudian dibuat kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

- Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan dengan agregat kasar (kerikil) yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) dengan menggunakan metode sesuai SNI 4804 – 1998.

Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 17847 - 10690 \\ &= 7157 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,14^2 \times 30,13 \\ &= 5424,26 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7157}{5424,26} \\ &= 1,32 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 18518 - 10690 \\ &= 7828 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,14^2 \times 30,13 \\ &= 5424,26 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7828}{5424,26} \\ &= 1,44 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka berat volume gembur dan padat sampel 2 didapatkan dan nilai rata – ratanya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	17847	17545	17696
Berat Agregat (W3), gram	7157	7256	7207
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,32	1,37	1,34

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	18518	18213	18366
Berat Agregat (W3), gram	7828	7924	7876
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,44	1,49	1,47

Berdasarkan hasil analisa perhitungan di atas diperoleh nilai berat volume gembur rata – rata agregat kasar sebesar 1,34 gram/cm³ dan volume padat agregat halus sebesar 1,47 gram/cm³. Berat volume gembur lebih kecil dari berat volume padat karena dalam pengujian berat volume padat agregat kasar dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali tumbukan per 1/3 bagian silinder. Hal ini bertujuan untuk mengurangi celah udara sehingga agregat semakin padat.

5.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

5.4.1 Perencanaan Campuran Beton Normal

Perencanaan campuran beton (*mix design*) penelitian ini berdasarkan SNI 2834 – 2000 yang digunakan sebagai metode untuk mendapatkan proporsi campuran sesuai dengan kuat tekan beton yang direncanakan. Penelitian ini kuat tekan beton rencana yang digunakan yaitu sebesar 25 MPa. Perencanaan campuran beton digunakan pada beton normal dan beton geopolimer. Pada beton geopolimer penggunaan semen digantikan dengan *fly ash* dan abu sekam padi yang diaktifkan oleh aktivator. Adapun perencanaan campuran beton (*mix design*) sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) sebesar 25 MPa dan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang dilakukan pengujian pada umur 28 hari.
2. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe I merk dynamix yang berjenis PCC.
3. Sampel pengujian sebanyak 3 buah, maka nilai margin (M) yang digunakan yaitu 12 MPa sesuai dengan Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2834-2000

Catatan:

Jika jumlah pengujian dilapangan kurang dari 15, maka nilai rata-rata kuat tekan yang direncanakan (f'_{cr}) harus tidak kurang dari ($f'c + 12$ MPa).

4. Kuat tekan beton rata – rata yang targetkan yaitu sebesar 37 MPa yang diperoleh dari berikut ini.

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'c + M \\ &= 25 + 12 \end{aligned}$$

$$= 37 \text{ MPa}$$

5. Berdasarkan pengujian berat jenis agregat kondisi SSD diperoleh berat jenis agregat halus ($B_{J_{AH}}$) sebesar 2,53 dan berat jenis agregat kasar ($B_{J_{AK}}$) sebesar 2,54
6. Nilai faktor air semen (fas) yang digunakan sesuai dengan Tabel 5.17 dan Gambar 5.5 berikut.
 - a. Faktor air semen (fas) menggunakan 0,5 dengan jenis semen Portland tipe 1 dan agregat batu pecah.
 - b. Kuat tekan beton direncanakan umur 28 hari dengan bentuk benda uji silinder (15 cm x 30 cm).

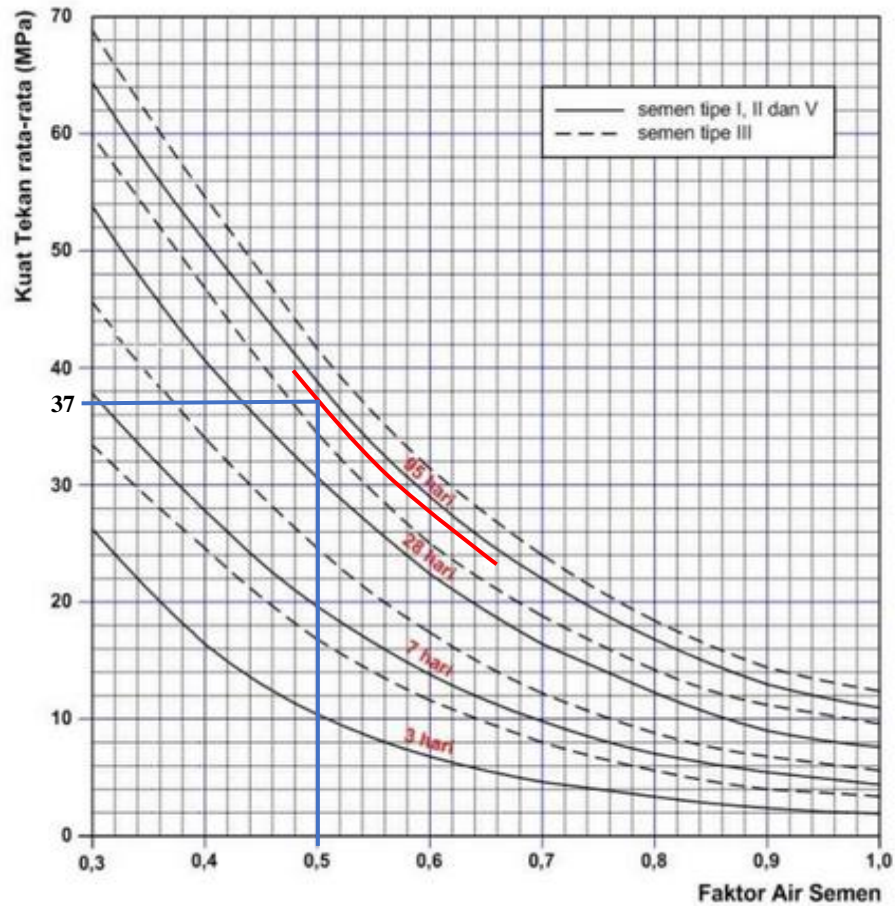
Tabel 5.17 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Jenis Semen dan Agregat yang Digunakan di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat	Kekuatan Tekan Beton (MPa)				Bentuk benda uji
		Umur (Hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	17	23	33	40	Silinder
		19	27	37	45	
Semen tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	20	28	40	48	Kubus
		25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	21	28	38	44	Silinder
		25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan Batu Pecah	25	31	46	53	Kubus
30		40	53	60		

Sumber: SNI 03-2834-2000

- c. Berdasarkan Tabel 5.17 didapat kuat tekan beton dengan fas 0,5 umur 28 hari yaitu 37 Mpa.
- d. Selanjutnya menggunakan Gambar 5.5 dibawah ini, dengan menarik garis vertikal ke atas pada nilai fas 0,5 dan menarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan beton sebesar 37 MPa hingga berpotongan dengan nilai fas 0,5.
- e. Setelah didapat titik berpotongan kemudian dibuat kurva parabola baru.

- f. Tarik garis secara horizontal ke kanan dari f'_{cr} yaitu sebesar 37 MPa hingga menyentuh kurva parabola yang baru dan kemudian tarik garis vertikal ke bawah secara tegak lurus sehingga didapat nilai f_{as} yang digunakan yaitu sebesar 0,5.



Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen (Benda Uji silinder 15 x 30 cm)
(Sumber: SNI 03-2843-2000)

7. Menentukan Kadar Air yang digunakan

Penentuan kadar air yang digunakan dalam campuran beton ini melihat dari Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk kemudahan dalam adukan beton

Ukuran agregat maksimum (mm)	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tidak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu tidak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu tidak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

Kadar air yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut.

$$w = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k$$

$$w = \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225$$

$$w = 205 \text{ kg/m}^3$$

- Menetapkan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum
Jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Pada Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti – ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut.		Tabel 6

Sumber: SNI 03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 5.19 digunakan jenis pembetonan dengan beton berada di dalam ruangan dan keadaan keliling non korosif, sehingga didapatkan jumlah semen minimum sebesar 275 kg dan nilai fas maksimum sebesar 0,60.

9. Menentukan kadar semen

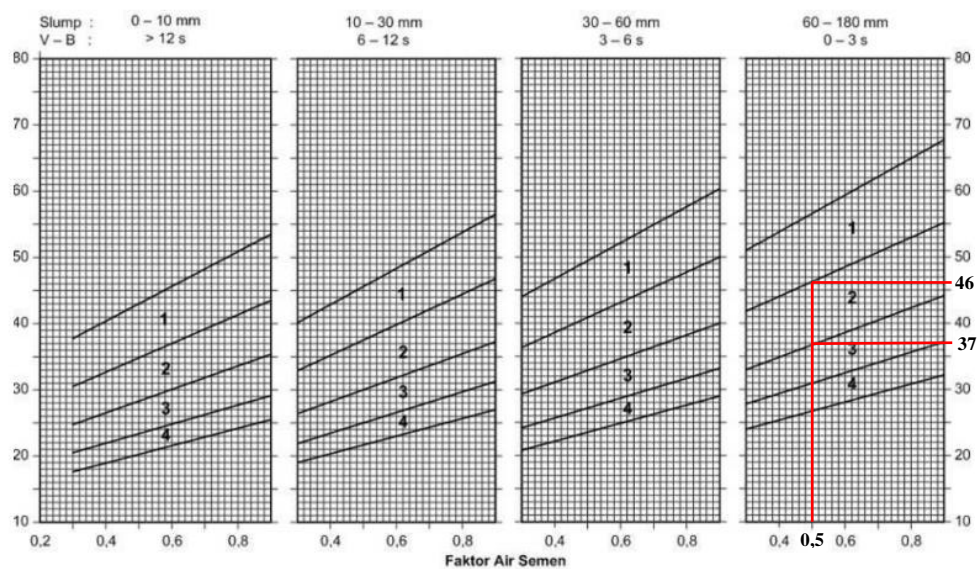
Nilai fas yang digunakan yaitu nilai fas yang terkecil dari nilai fas grafik sebesar 0,5, sehingga perhitungan kadar semen yaitu berdasarkan kadar air dan nilai fas yang digunakan. Adapun perhitungan kadar semen sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{w}{f_{as}} \\
 &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai kadar semen yang digunakan adalah sebesar 410 kg/m³.

10. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar

Persentase agregat halus ditentukan menggunakan grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan sesuai dengan ukuran butir maksimumnya. Ukuran butir maksimum agregat halus sesuai pengujian agregat halus yang digunakan adalah 20 mm, slump rencana pada 60 – 180 mm, nilai fas sebesar 0,5, dan agregat halus yang digunakan masuk dalam gradasi IV. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran Butir Max 20 mm
(Sumber: SNI 03-2843-2000)

Berdasarkan Gambar 5.6 di atas didapatkan persentase agregat halus batas atas sebesar 46% dan batas bawah sebesar 37%. Nilai rata – rata persentase agregat halus didapatkan sebesar 41,5%. Maka persentase yang digunakan yaitu 41,5%. Sehingga persentase agregat kasar dapat dihitung dengan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\
 &= 100\% - 41,5\% \\
 &= 58,5\%
 \end{aligned}$$

11. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (Kondisi SSD)

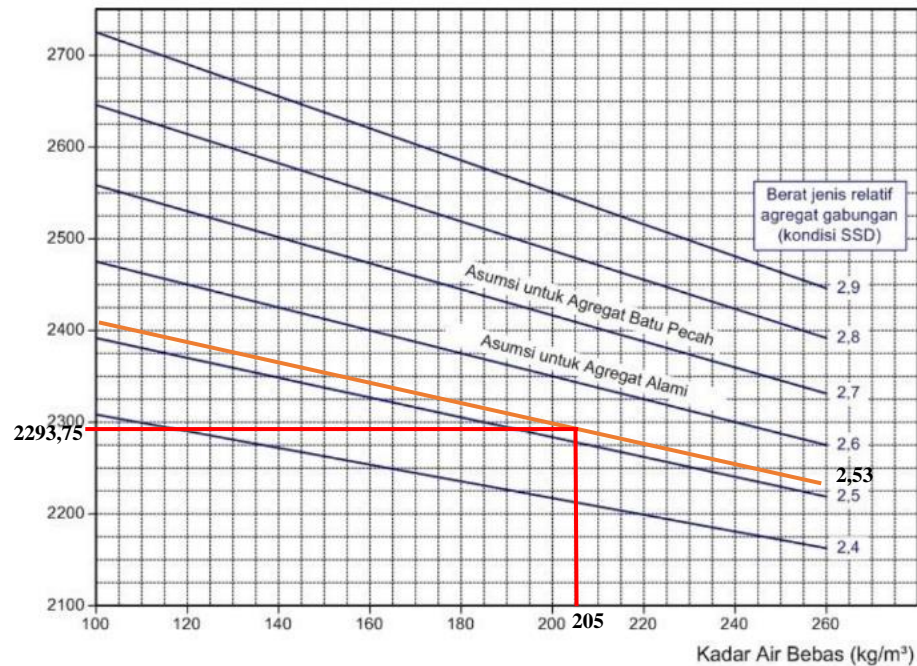
Berat jenis relatif agregat gabungan dihitung berdasarkan berat jenis agregat halus (BJ_{AH}) sebesar 2,53 dan berat jenis agregat kasar (BJ_{AK}) sebesar 2,54 dikalikan dengan masing – masing persentase agregatnya. Adapun perhitungan berat jenis relatif gabungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis relatif gabungan} &= (\% AH \times BJ_{AH}) + (\% AK \times BJ_{AK}) \\ &= (41,5\% \times 2,53) + (58,5\% \times 2,54) \\ &= 2,53\end{aligned}$$

12. Menentukan Berat Isi Beton.

Berat isi beton ditentukan berdasarkan Grafik 16 pada SNI 03-2843-2000 dan dapat dilihat pada Gambar 5.7 dibawah ini.

- a. Membuat garis (kurva) baru sesuai dengan berat jenis relatif agregat gabungan yaitu sebesar 2,53.
- b. Menarik garis secara vertikal ke atas berdasarkan nilai kadar air bebas yang didapatkan yaitu sebesar 205 kg/m^3 hingga memotong kurva baru tersebut.
- c. Tarik garis baru secara horizontal ke kiri dari titik potong pada butir b, sehingga didapatkan asumsi nilai berat isi beton sebesar $2293,75 \text{ kg/m}^3$.



Gambar 5.7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 03-2843-2000)

13. Kadar Agregat gabungan

Kadar agregat gabungan diperoleh dari berat isi beton dikurangi dengan kadar semen dan kadar air bebas. Adapun perhitungan kadar agregat gabungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2293,75 - 410 - 204 \\ &= 1678,75 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

14. Kadar Agregat Halus

Kadar agregat halus diperoleh dari persen agregat halus dikalikan dengan kadar agregat gabungan. Adapun perhitungan kadar agregat halus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \% \text{ AH} \times \text{Kadar agregat gabungan} \\ &= 41,5\% \times 1678,75 \\ &= 696,68 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

15. Kadar Agregat Kasar

Kadar agregat kasar diperoleh dari selisih kadar agregat gabungan dan kadar agregat halus. Adapun perhitungan kadar agregat kasar sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar Agregat Kasar} &= \text{Kadar agregat gabungan} - \text{Kadar agregat halus} \\ &= 1678,75 - 696,68 \\ &= 982,07 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

16. Proporsi campuran beton per 1 m³

Berdasarkan hasil perencanaan dan perhitungan campuran beton di atas, sehingga diperoleh proporsi campuran beton per 1 m³ adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat Halus = 696,68 kg
- d. Agregat Kasar = 982,07 kg

17. Proporsi campuran beton dengan angka penyusutan

Pada penelitian ini angka penyusutan yang digunakan yaitu sebesar 20%, sehingga proporsi campuran beton per 1 m³ adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 492 kg
- b. Air = 246 kg
- c. Agregat Halus = 836,02 kg
- d. Agregat Kasar = 1178,48 kg

18. Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton Normal

Berdasarkan perencanaan dan perhitungan campuran beton normal di atas, berikut hasil rekapitulasi campuran (*mix design*) beton normal yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil *Mix Design* Beton Normal

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (f'_c)	25	MPa
2	Deviasi Standar	-	-
3	Nilai tambah (Margin)	12	MPa
4	Kekuatan rata – rata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	Faktor air semen (fas) digunakan	0,5	
9	Slump		cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	410	kg/m ³
13	Jumlah semen maksimum	-	
14	Jumlah semen minimum	275	kg/m ³
15	Jumlah semen digunakan	410	kg/m ³
16	Fas disesuaikan	0,5	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
18	Berat Jenis agregat halus (SSD)	2,54	
	Berat Jenis agregat kasar (SSD)	2,53	
19	Persen agregat halus	41,5	%
20	Persen agregat kasar	58,5	%
21	Berat Jenis relatif gabungan (SSD)	2,53	
22	Berat isi beton	2293,75	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1678,75	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	696,68	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	982,07	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	492	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	836,02	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1178,48	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	246	kg/m ³

19. Volume benda uji

Pada penelitian ini benda uji digunakan pada setiap variasi yaitu silinder sebanyak 6 buah dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

$$\begin{aligned} \text{Volume } \textit{mixing} \text{ 6 silinder} &= 6 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0318 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga proporsi campuran untuk membuat benda uji setiap kali *mixing* adalah sebagai berikut.

a. Semen	= 0,0318 x 492	= 15,650 kg
b. Air	= 0,0318 x 246	= 7,825 kg
c. Agregat Halus	= 0,0318 x 836,02	= 26,693 kg
d. Agregat Kasar	= 0,0318 x 1178,48	= 37,486 kg

5.4.2 Perencanaan Campuran Beton Geopolimer

Pada penelitian ini perencanaan campuran beton geopolimer menggunakan metode perbandingan campuran aktivator Na_2SiO_3 : NaOH yaitu 4 : 2 dan pendekatan dari SNI 03-2843-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Artinya campuran beton geopolimer didesain sama dengan beton pada umumnya sesuai kuat tekan rencana namun penggunaan semen digantikan dengan prekursor berupa *fly ash* dan abu sekam padi serta air digantikan dengan alkali aktivator. Adapun hasil dari perencanaan campuran beton geopolimer sebagai berikut.

1. Proporsi campuran beton geopolimer per 1 m³

Berdasarkan hasil perencanaan dan perhitungan campuran beton di atas, sehingga diperoleh proporsi campuran beton geopolimer per 1 m³ adalah sebagai berikut.

a. Fly Ash	= 410 kg
b. Alkali Aktivator	= 205 kg
c. Agregat Halus	= 696,68 kg
d. Agregat Kasar	= 982,07 kg

2. Proporsi campuran beton geopolimer dengan angka penyusutan

Pada penelitian ini angka penyusutan yang digunakan pada beton geopolimer yaitu sebesar 20%, sehingga proporsi campuran beton geopolimer per 1 m³ adalah sebagai berikut.

- a. Fly Ash = 492 kg
- b. Alkali Aktivator = 246 kg
- c. Agregat Halus = 836,02 kg
- d. Agregat Kasar = 1178,48 kg

Sehingga proporsi campuran untuk membuat benda uji silinder sebanyak 6 buah setiap kali *mixing* adalah sebagai berikut.

- a. Fly Ash = 0,0318 x 492 = 15,650 kg
- b. Alkali Aktivator = 0,0318 x 246 = 7,825 kg

Perbandingan Na₂SiO₃ : NaOH yaitu 4 : 2, sehingga kadar masing – masing alkali aktivator yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\text{Na}_2\text{SO}_3 = \frac{4}{6} \times 7,825 = 5,217 \text{ kg}$$

$$\text{NaOH} = \frac{2}{6} \times 7,825 = 2,608 \text{ kg}$$

- c. Agregat Halus = 0,0318 x 836,02 = 26,693 kg
- d. Agregat Kasar = 0,0318 x 1178,48 = 37,486 kg

3. Kadar konsentrasi molaritas *Natrium Hidroksida* (NaOH)

Konsetrasi molaritas yang digunakan pada *Natrium Hidroksida* (NaOH) yaitu sebesar 10M. Massa molekul relatif (Mr) NaOH diketahui sebesar 40 dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 2608,33 mL. Adapun perhitungan larutan NaOH 10M adalah sebagai berikut.

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1000}{V}$$

$$10 = \frac{\text{massa}}{40} \times \frac{1000}{2608,33}$$

$$\text{massa} = \frac{10 \times 40 \times 2608,33}{1000}$$

$$= 1043,33 \text{ gram}$$

$$= 1,043 \text{ kg}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh massa NaOH yang dibutuhkan dalam campuran beton geopolimer adalah sebanyak 1,043 kg yang kemudian dilarutkan dengan *aquades* sebanyak 2,608 liter.

Adapun rekapitulasi perencanaan campuran beton normal dan beton geopolimer pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.21 Proporsi Campuran Beton Normal dan Beton Geopolimer

Jumlah Silinder (Buah)	Kode Beton	Variasi	Semen (kg)	Fly Ash (kg)	Abu Sekam Padi (kg)	Air (kg)	Alkali Aktivator		Agregat	
		Abu Sekam Padi (%)					Na ₂ SiO ₃ (kg)	NaOH (kg)	Halus (Pasir) (kg)	Kasar (Kerikil) (kg)
6	BN	-	15,650	-	-	7,825	-	-	26,593	37,486
6	BG0	0	-	15,650	0	-	5,217	2,608	26,593	37,486
6	BG4	4	-	15,024	0,626	-	5,217	2,608	26,593	37,486
6	BG8	8	-	14,398	1,252	-	5,217	2,608	26,593	37,486
6	BG12	12	-	13,772	1,878	-	5,217	2,608	26,593	37,486

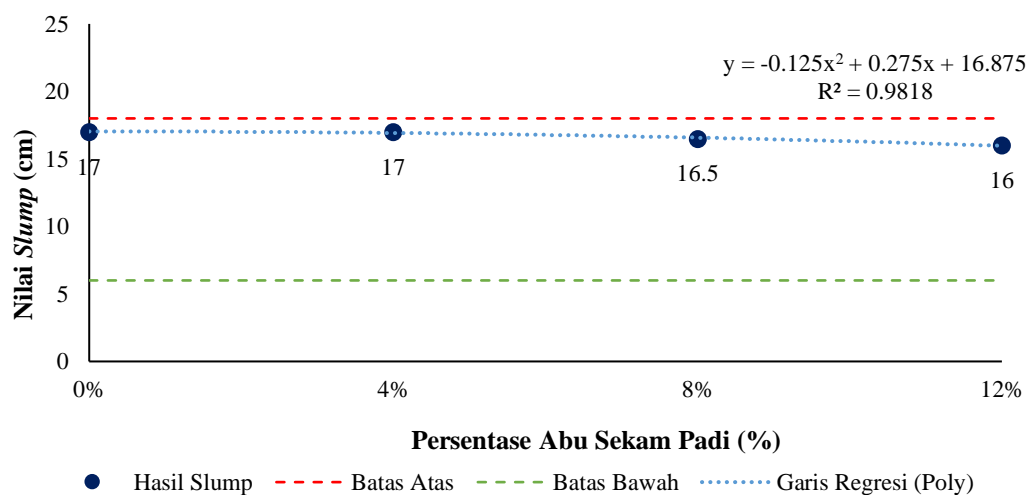
5.5 Hasil Pengujian Slump Beton

Pengujian *slump* pada beton dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. Tinggi dan rendahnya nilai *slump* menentukan kemudahan campuran beton untuk dikerjakan baik diaduk, dituangkan, dan dipadatkan. Nilai *slump* yang tinggi menandakan beton segar mudah dikerjakan, begitu sebaliknya rendahnya nilai *slump* menandakan beton segar susah untuk dikerjakan. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Slump

Benda Uji	Variasi Abu Sekam Padi (%)	Tinggi <i>Slump</i> (cm)	Ketetapan <i>Slump</i> (cm)	Keterangan
BN	-	14	6 – 18	Memenuhi
BG0	0%	17	6 – 18	Memenuhi
BG4	4%	17	6 – 18	Memenuhi
BG8	8%	16.5	6 – 18	Memenuhi
BG12	12%	16	6 – 18	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.22 di atas diperoleh grafik hasil pengujian *slump* pada beton geopolimer yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 dibawah ini.



Gambar 5.8 Grafik Nilai *Slump*

Berdasarkan Gambar 5.8 hasil pengujian *slump* pada beton geopolimer didapat secara keseluruhan memenuhi syarat nilai *slump* yang direncanakan yaitu

sebesar 6 – 18 cm. Beton geopolimer memiliki karakteristik beton segar yang kental dan lengket yang disebabkan oleh reaksi NaOH dengan Na_2SiO_3 sebagai alkali aktivator. Pada beton geopolimer variasi abu sekam padi 0% dan 4% didapatkan nilai *slump* tertinggi sebesar 17 cm. Sedangkan pada beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% dan 12% berturut – turut mengalami penurunan yaitu sebesar 16,5 cm dan 16 cm. Pada substitusi variasi abu sekam padi 4% nilai *slump* beton geopolimer sama dengan variasi abu sekam padi 0%. Pada variasi 4% abu sekam padi yang disubstitusikan tidak merubah sifat kelecakan dari beton geopolimer 0%. Sedangkan substitusi abu sekam padi 8% dan 12% dapat menurunkan nilai *slump* pada beton geopolimer. Penurunan nilai *slump* terjadi dikarenakan sifat dari abu sekam padi yang disubstitusikan pada *fly ash* dapat menyerap kadar air pada beton sehingga semakin tinggi kadar abu sekam padi yang digunakan dapat menurunkan nilai kelecakan (*workability*) atau nilai *slump* beton geopolimer. Simanjuntak dkk. (2021) menyatakan semakin besarnya persentase penambahan abu sekam padi dapat mengurangi proporsi kandungan air yang terdapat pada campuran beton segar. Besarnya presentase abu sekam padi dalam campuran beton menurunkan tingkat *workability* pada beton segar (Trimurtiningrum, 2021).



Gambar 5.9 Contoh Uji *Slump*

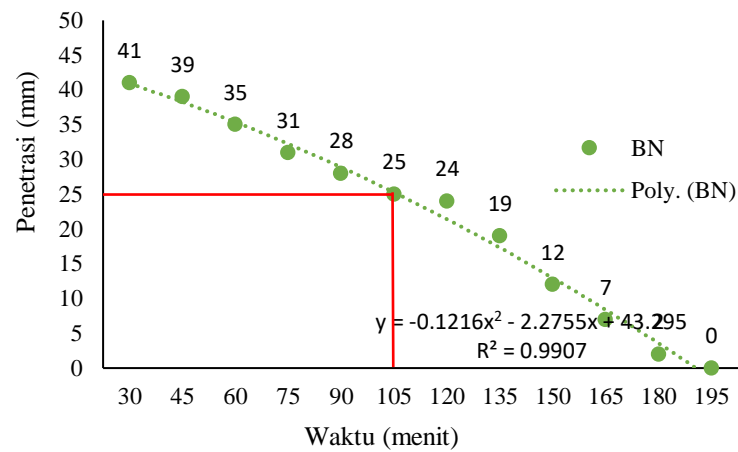
5.6 Hasil Pengujian *Setting Time*

Pengujian *setting time* bertujuan untuk melihat waktu ikat awal dan akhir pada pasta geopolimer. Waktu ikat awal (*initial sett*) yaitu dengan penurunan jarum penetrasi sebesar 25 mm pada alat jarum *vicat*, sedangkan waktu ikat akhir (*final sett*) yaitu jarum *vicat* tidak mengalami penurunan atau berada di angka 0 mm. Adapun hasil pengujian waktu ikat (*setting time*) pada pasta geopolimer dapat dilihat pada Tabel 5.23 di bawah ini.

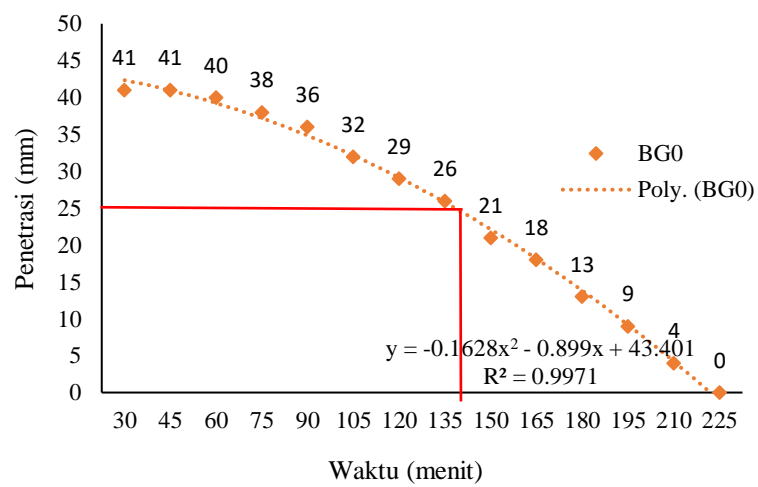
Tabel 5.23 Hasil Pengujian *Setting Time*

No	Waktu (menit)	Penurunan Jarum Vicat (mm)				
		BN	BG0	BG4	BG8	BG12
1	30	41	41	41	41	41
2	45	39	41	41	40	38
3	60	35	40	40	34	35
4	75	31	38	38	32	31
5	90	28	36	34	29	28
6	105	25	32	31	26	25
7	120	23	29	29	24	22
8	135	19	26	25	21	17
9	150	12	21	23	18	14
10	165	7	18	19	13	8
11	180	2	13	14	11	4
12	195	0	9	9	6	0
13	210	-	4	6	0	-
14	225	-	0	0	-	-

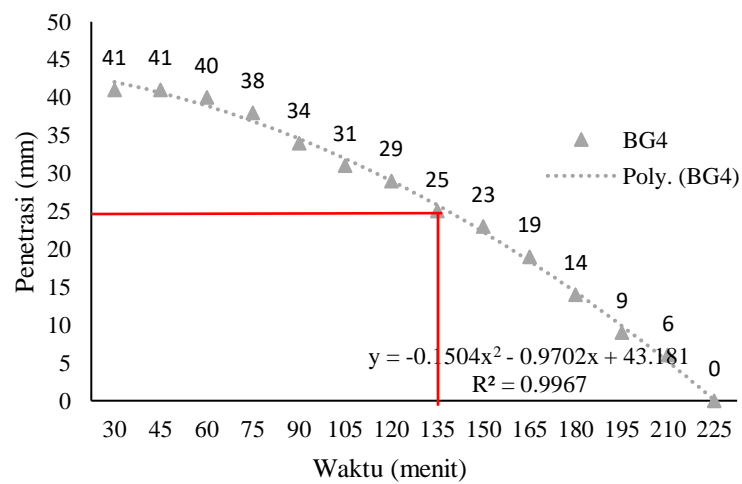
Berdasarkan Tabel 5.23 di atas diperoleh grafik hasil nilai pengujian waktu ikat (*setting time*) pada pasta geopolimer. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.10, Gambar 5.11, Gambar 5.12, Gambar 5.13, dan Gambar 5.14 di bawah ini.



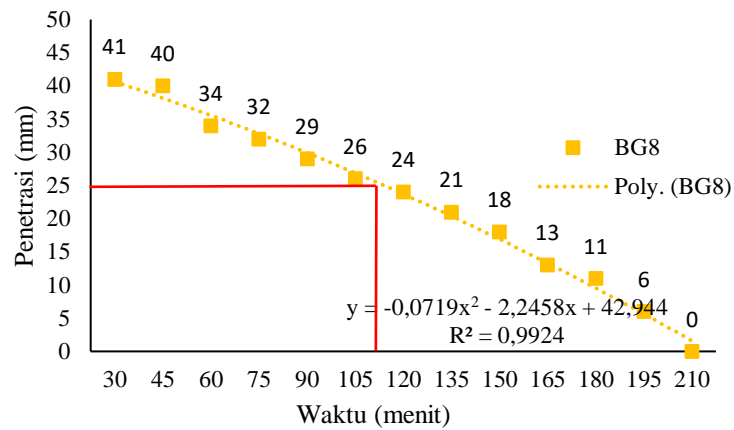
Gambar 5.10 Grafik Pengujian *Setting Time* BN



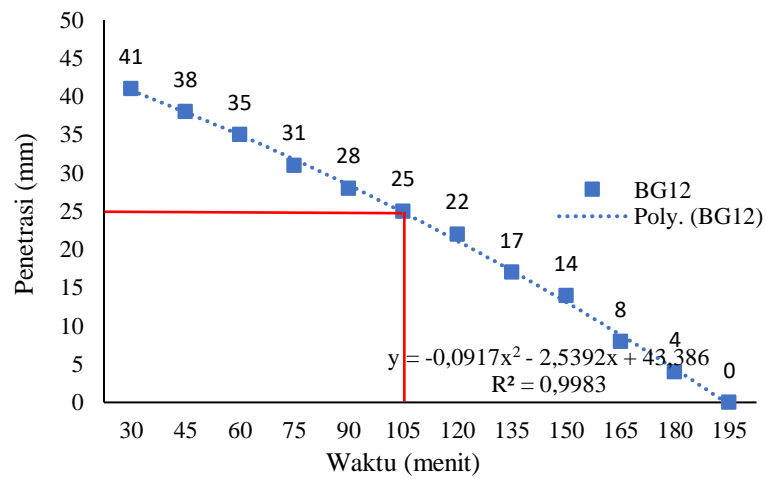
Gambar 5.11 Grafik Pengujian *Setting Time* BG0



Gambar 5.12 Grafik Pengujian *Setting Time* BG4

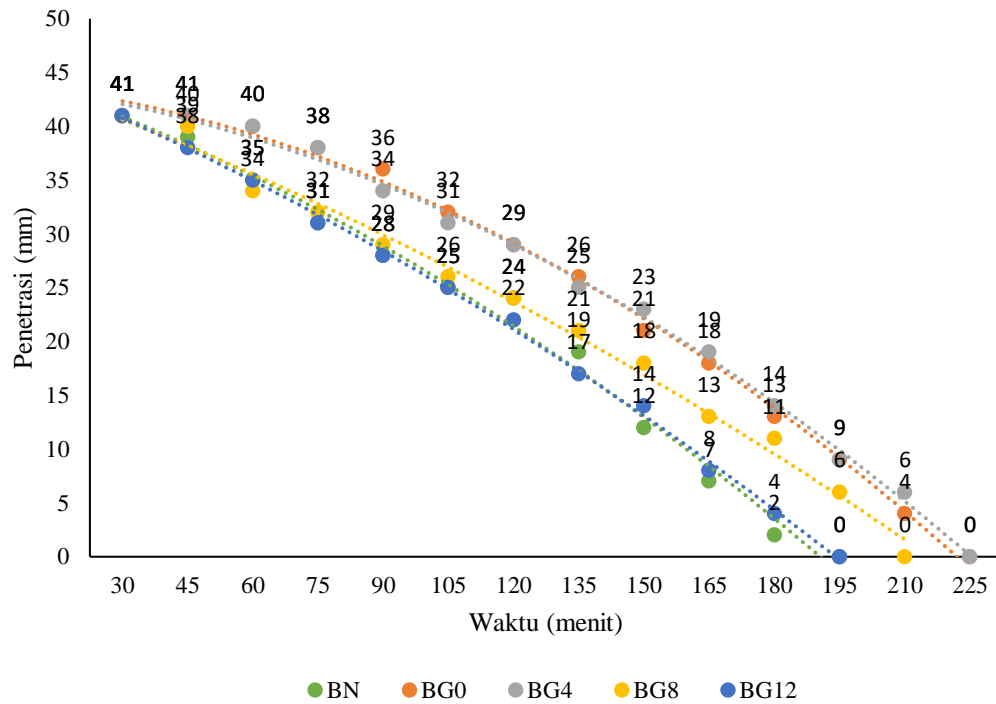


Gambar 5.13 Grafik Pengujian *Setting Time* BG8

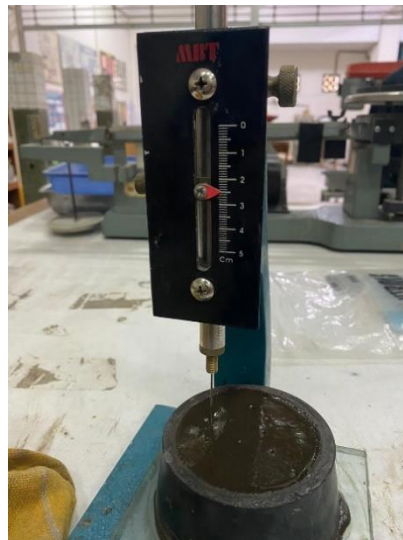


Gambar 5.14 Grafik Pengujian *Setting Time* BG12

Adapun rakpitulasi grafik pengujian *setting time* pasta geopolimer dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Rekapitulasi Grafik Pengujian *Setting Time*



Gambar 5.16 Contoh Pengujian *Vicat*

Berdasarkan Tabel 5.23 dan Gambar 5.15 hasil pengujian *setting time* pada pasta geopolimer dari seluruh variasi abu sekam padi mengalami waktu pengikatan semakin cepat seiring penambahan persentase abu sekam padi yang digunakan.

Pada variasi 0% diperoleh waktu pengikatan awal (*initial sett*) pada menit ke 150 atau dalam waktu 2 jam 30 menit dengan penurunan jarum *vicat* sebesar 21 mm, dan mencapai waktu ikat akhir (*final sett*) dengan penetrasi jarum 0 mm pada menit ke 225 atau 3 jam 45 menit. Pada variasi 4% waktu pengikatan awal diperoleh pada menit ke 135 atau 2 jam 15 menit dengan penurunan penetrasi sebesar 25 mm, dan waktu pengikatan akhir didapat pada menit 225 atau 3 jam 45 menit. Pada variasi 8% waktu pengikatan awal didapat pada menit 120 atau 2 jam dengan penurunan penetrasi sebesar 24 mm, dan waktu ikat akhir yang didapat selama 210 menit atau 3 jam 30 menit. Pada variasi 12 % waktu ikat awal didapat selama 105 menit atau 1 jam 45 menit dengan penurunan penetrasi sebesar 25 mm, dan waktu ikat akhir didapat selama 195 menit atau 3 jam 15 menit.

Dari hasil yang diperoleh pada penelitian ini, substitusi abu sekam padi terhadap *fly ash* memengaruhi waktu ikat (*setting time*) pada pasta geopolimer. Semakin tingginya persentase abu sekam padi yang di substitusikan pada *fly ash*, maka semakin cepat waktu pengikatan awal (*initial sett*) dan akhir (*final sett*) pasta geopolimer (Firdaus dan Syaputra, 2019). Waktu ikat awal tercepat didapat pada variasi abu sekam padi 12% yaitu selama 105 menit atau 1 jam 45 menit dan waktu ikat akhir selama 195 menit atau 3 jam 15 menit. Menurut SNI 15-2049-2004 syarat fisik utama semen mengalami waktu ikat awal (*initial sett*) minimal selama 45 menit dan mengalami waktu ikat akhir (*final sett*) maksimum selama 375 menit. Berdasarkan hasil pengujian *setting time* dapat disimpulkan bahwa substitusi abu sekam padi terhadap *fly ash* dapat mempercepat waktu ikat selama 15 menit, dan pasta geopolimer memenuhi syarat waktu ikat (*setting time*) menurut SNI 15-2049-2004.

5.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini pengujian beton geopolimer dilakukan pada beton umur 28 hari setelah dilakukan proses perawatan (*curing*), kemudian pengujian kuat tekan menggunakan *compression machine*. Benda uji berbentuk silinder dilakukan proses *capping* menggunakan belerang untuk meratakan bagian permukaan atas

beton agar rata dalam menerima tekanan. Adapun perhitungan kuat tekan beton geopolimer adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% sampel 1

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{658,9 \times 10^3}{17860,457} \\ &= 36,892 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% sampel 2

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{586,4 \times 10^3}{17836,777} \\ &= 32,876 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat tekan beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% sampel 3

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{677,5 \times 10^3}{17754,002} \\ &= 38,160 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Kuat tekan beton rata – rata adalah sebagai berikut.

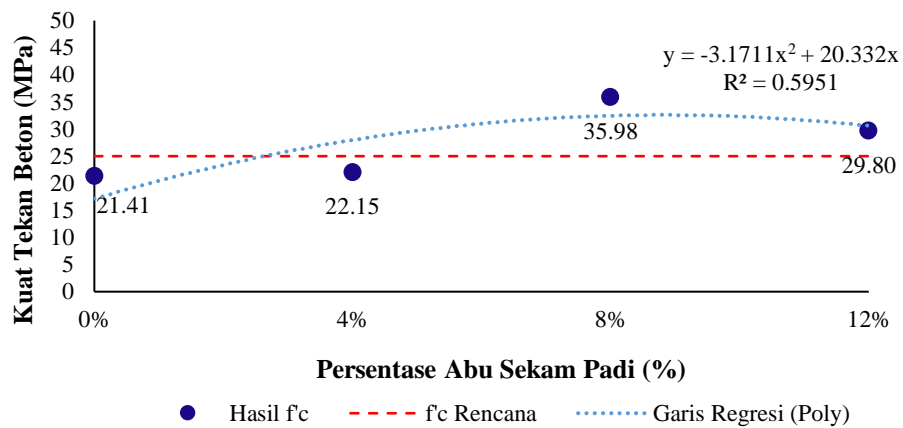
$$\begin{aligned} f'c_{\text{rata-rata}} &= \frac{f'c_1 + f'c_2 + f'c_3}{3} \\ &= \frac{36,892 + 32,876 + 38,160}{3} \\ &= 35,976 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Uji Tekan Beton

Kode Benda Uji		Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
		Diameter (mm)	Tinggi (mm)				
BN	1	150,200	301,250	17718,614	381,9	21,554	22,060
	2	150,350	300,550	17754,022	396,4	22,327	
	3	150,350	300,550	17754,022	395,9	22,299	
BG0	1	151,000	302,050	17907,864	406,3	22,688	21,413
	2	151,200	302,850	17955,333	372,2	20,729	
	3	150,900	302,800	17884,152	372,4	20,823	
BG4	1	149,950	302,000	17659,680	441,2	24,983	22,152
	2	150,550	301,950	17801,287	399,8	22,459	
	3	150,400	301,800	17765,832	337,8	19,014	
BG8	1	150,800	302,000	17860,457	658,9	36,892	35,976
	2	150,700	302,100	17836,777	586,4	32,876	
	3	150,350	302,700	17754,022	677,5	38,160	
BG12	1	150,550	303,000	17801,287	519,6	29,189	29,804
	2	151,100	302,900	17931,590	514,7	28,704	
	3	151,050	301,650	17919,725	564,8	31,518	

Berdasarkan Tabel 5.24 di atas didapat grafik hasil pengujian kuat tekan pada beton geopolimer. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer



Gambar 5.18 Contoh Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini beton normal (BN) digunakan sebagai beton kontrol terhadap beton geopolimer. Hal ini dikarenakan proses pencampuran (*mix design*) beton geopolimer mengacu pada pembuatan beton konvensional sesuai SNI 03-2834-2000. Sehingga kuat tekan beton geopolimer dapat memiliki nilai kuat yang sebanding dengan beton konvensional yang direncanakan.

Berdasarkan Tabel 5.24 diambil contoh pada beton geopolimer dengan variasi substitusi abu sekam padi 8% (BG8) mendapatkan hasil kuat tekan sampel 1 sebesar 36,892 MPa, kuat tekan sampel 2 sebesar 32,876 MPa, dan kuat tekan sampel 3 sebesar 38,160 MPa. Berdasarkan hasil tersebut pada beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% terjadi keseragaman hasil artinya beton yang dihasilkan seragam dengan hasil yang homogen, sehingga dapat diambil nilai kuat tekan rata – rata beton. Hasil yang seragam juga diperoleh pada BN, BG0, dan BG12. Sedangkan pada BG4 terdapat beton yang *collapse* yaitu pada BG4 sampel 3 dengan hasil kuat tekan beton sebesar 19,014 MPa. Hal ini terjadi karena kurangnya pemerataan beton segar dalam proses pemadatan ke dalam bekisting, sehingga komposisi beton segar tidak sempurna.

Berdasarkan Gambar 5.17 di atas diperoleh nilai kuat tekan beton geopolimer ($f'c$) rata – rata pada variasi substitusi abu sekam padi sebanyak 0%, 4%, 8%, dan 12% dengan umur uji 28 hari secara berturut – turut sebesar 21,413 MPa, 22,152 MPa, 35,976 MPa, dan 29,804 MPa. Untuk beton normal (BN) mendapatkan nilai kuat tekan ($f'c$) rata – rata sebesar 22,060 MPa. Kuat tekan yang dihasilkan beton normal (BN) dan beton geopolimer variasi abu sekam padi 0% (BG0) mendapatkan nilai yang hampir sebanding dengan selisih 2,97% lebih besar beton normal. Artinya penggunaan metode SNI 03-2834-2000 dalam proses pencampuran *mix design* dapat diterapkan dan digunakan pada beton geopolimer dengan memperhatikan rasio perbandingan penggunaan alkali aktivator yaitu natrium hidroksida (NaOH) dan Natrium silikat (Na_2SiO_3). Dari hasil nilai kuat tekan beton terdapat beberapa beton yang berada di bawah mutu rencana yaitu pada beton BN, BG0 dan BG4. Pada proses perencanaan campuran beton dan dilakukan uji *trial* beton normal dan beton geopolimer telah memenuhi mutu rencana, sedangkan pada saat dilakukan pembuatan benda uji lanjutan mendapatkan hasil yang di bawah mutu rencana. Hal ini terjadi pada kondisi material saat pencampuran di mesin *mixer* kurang teliti dan kurangnya pemadatan yang terjadi pada proses memasukkan beton segar ke dalam bekisting untuk dicetak.

Pada penelitian ini, kuat tekan terkecil didapatkan pada variasi abu sekam padi 0% yaitu sebesar 21,413 MPa dan kuat tekan terbesar didapatkan pada variasi

abu sekam padi 8% sebesar 35,976 MPa. Peningkatan kuat tekan beton geopolimer dikarenakan terdapat penambahan silika (SiO_3) yang dimiliki oleh abu sekam padi terhadap *fly ash* yang dapat membentuk kalsium silikat. Kalsium silikat yang terbentuk tersebut dapat meningkatkan kekuatan beton dan meningkatkan kekedapan (B. Riswati dkk, 2017). Pada variasi abu sekam padi 12% beton geopolimer mengalami penurunan kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan kandungan Si yang terlalu tinggi pada beton geopolimer dapat menyebabkan Si yang tidak bereaksi dengan alkali aktivator sehingga menyebabkan penurunan nilai kuat tekan pada beton geopolimer (Setiawan, 2019).

5.8 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton pada saat umur 28 hari. Pada benda uji silinder ditambahkan *dial gauge* pada alat kompresometer untuk melihat nilai perubahan panjang (ΔL) yang dicatat setiap kenaikan tekanan sebesar 10 kN. Dari hasil pembacaan *dial gauge* didapatkan nilai tegangan dan regangan pada benda uji. Adapun contoh perhitungan nilai tegangan dan regangan saat benda uji menerima beban 10 kN pada pengujian modulus elastisitas beton pada beton geopolimer dengan variasi abu sekam padi 8% sampel 1 adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai ΔL

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{3}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,0015 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Nilai Regangan (ε)

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0015}{200} \\ &= 0,0000075\end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{10000}{17860,46} \\ &= 0,559 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Dengan langkah dan perhitungan yang sama didapatkan nilai tegangan dan regangan setiap penambahan beban 10 kN. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan tegangan dan regangan modulus elastisitas pada beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% sampel 1 dapat dilihat pada Tabel 5.25 di bawah ini.

Tabel 5.25 Nilai Tegangan dan Regangan Beton Geopolimer Variasi Abu Sekam Padi 8% Sampel 1

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
10	3	0,0015	0,000008	0,5599
20	7	0,0035	0,000018	1,1198
30	12	0,0060	0,000030	1,6797
40	22	0,0110	0,000055	2,2396
50	33	0,0165	0,000083	2,7995
60	43	0,0215	0,000108	3,3594
70	54	0,0270	0,000135	3,9193
80	63	0,0315	0,000158	4,4792
90	73	0,0365	0,000183	5,0391
100	82	0,0410	0,000205	5,5990
110	94	0,0470	0,000235	6,1589
120	106	0,0530	0,000265	6,7188
130	115	0,0575	0,000288	7,2786
140	127	0,0635	0,000318	7,8385
150	137	0,0685	0,000343	8,3984
160	149	0,0745	0,000373	8,9583
170	160	0,0800	0,000400	9,5182
180	172	0,0860	0,000430	10,0781
190	185	0,0925	0,000463	10,6380
200	199	0,0995	0,000498	11,1979
210	211	0,1055	0,000528	11,7578

Lanjutan Tabel 5.25 Nilai Tegangan dan Regangan Beton Geopolimer Variasi Abu Sekam Padi 8% Sampel 1

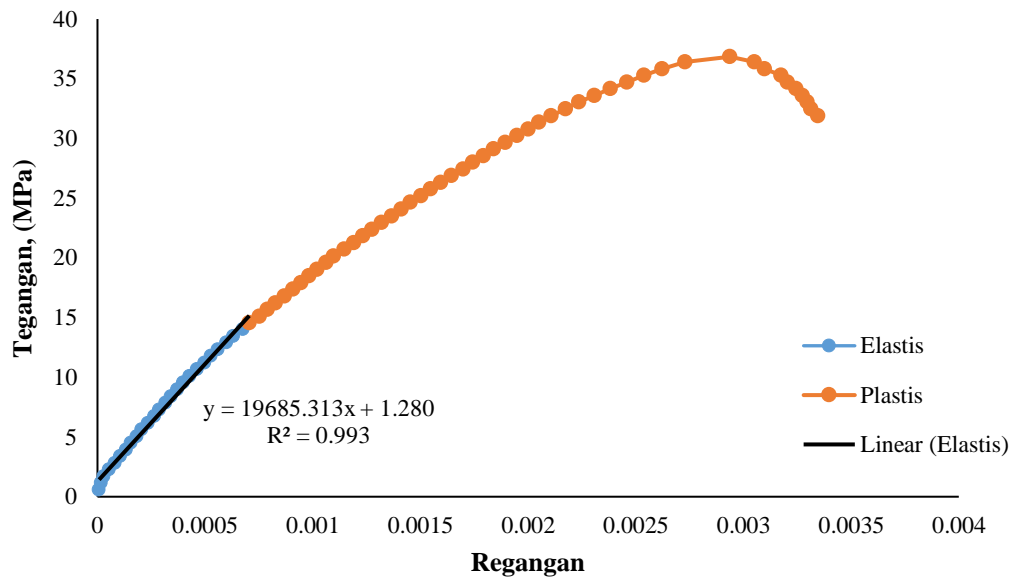
Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
220	224	0,1120	0,000560	12,3177
230	240	0,1200	0,000600	12,8776
240	253	0,1265	0,000633	13,4375
250	271	0,1355	0,000678	13,9974
260	282	0,1410	0,000705	14,5573
270	301	0,1505	0,000753	15,1172
280	316	0,1580	0,000790	15,6771
290	331	0,1655	0,000828	16,2370
300	347	0,1735	0,000868	16,7969
310	363	0,1815	0,000908	17,3568
320	378	0,1890	0,000945	17,9167
330	393	0,1965	0,000983	18,4766
340	408	0,2040	0,001020	19,0365
350	425	0,2125	0,001063	19,5964
360	439	0,2195	0,001098	20,1563
370	458	0,2290	0,001145	20,7162
380	476	0,2380	0,001190	21,2761
390	493	0,2465	0,001233	21,8359
400	510	0,2550	0,001275	22,3958
410	528	0,2640	0,001320	22,9557
420	547	0,2735	0,001368	23,5156
430	564	0,2820	0,001410	24,0755
440	581	0,2905	0,001453	24,6354
450	601	0,3005	0,001503	25,1953
460	619	0,3095	0,001548	25,7552
470	638	0,3190	0,001595	26,3151
480	658	0,3290	0,001645	26,8750
490	679	0,3395	0,001698	27,4349
500	697	0,3485	0,001743	27,9948
510	717	0,3585	0,001793	28,5547
520	736	0,3680	0,001840	29,1146
530	758	0,3790	0,001895	29,6745
540	779	0,3895	0,001948	30,2344

Lanjutan Tabel 5.25 Nilai Tegangan dan Regangan Beton Geopolimer Variasi Abu Sekam Padi 8% Sampel 1

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
550	800	0,4000	0,002000	30,7943
560	820	0,4100	0,002050	31,3542
570	843	0,4215	0,002108	31,9141
580	870	0,4350	0,002175	32,4740
590	894	0,4470	0,002235	33,0339
600	923	0,4615	0,002308	33,5938
610	953	0,4765	0,002383	34,1537
620	984	0,4920	0,002460	34,7136
630	1015	0,5075	0,002538	35,2735
640	1049	0,5245	0,002623	35,8333
650	1092	0,5460	0,002730	36,3932
658	1175	0,5875	0,002938	36,8412
650	1220	0,6100	0,003050	36,3932
640	1239	0,6195	0,003098	35,8333
630	1270	0,6350	0,003175	35,2735
620	1282	0,6410	0,003205	34,7136
610	1298	0,6490	0,003245	34,1537
600	1310	0,6550	0,003275	33,5938
590	1318	0,6590	0,003295	33,0339
580	1325	0,6625	0,003313	32,4740
570	1338	0,6690	0,003345	31,9141

Berdasarkan Tabel 5.25 dari nilai regangan dan tegangan didapat grafik regangan dan tegangan beton geopolimer. Menggunakan kemiringan kurva regresi linear dengan menggunakan program *Microsoft excel* untuk menambahkan *linear trendline* pada daerah elastis yaitu dengan batas daerah diambil saat beban mencapai 10 kN sampai tegangan mencapai 40% kuat tekan maksimumnya ($0,40 f'_{c\text{maksimum}}$). Pada Tabel 5.25 yang ditandai dengan warna kuning menunjukkan nilai beban, regangan, dan tegangan pada saat mencapai titik 40% kuat tekan maksimumnya. Sedangkan yang ditandai warna hijau menunjukkan nilai beban, regangan, dan tegangan pada saat mencapai titik kuat tekan maksimum. Adapun

grafik tegangan dan regangan yang diperoleh pada beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Tegangan-Regangan BG8 Sampel 1



Gambar 5.20 Contoh Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Berdasarkan Gambar 5.19 di atas didapat nilai modulus elastisitas dari pengujian untuk beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% sampel 1 yaitu sebesar 19685,313 MPa dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 36,89 MPa. Nilai modulus elastisitas didapat juga dari perhitungan secara teoritis menggunakan

rumus dari SNI 2847–2019 pada persamaan 3.7. Adapun perhitungan persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{36,89} \\ &= 28547,056 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan cara dan perhitungan yang sama didapatkan nilai modulus elastisitas beton secara pengujian dan secara teoritis menggunakan perhitungan SNI 2847-2019. Nilai modulus elastisitas beton yang dihasilkan menunjukkan perbandingan nilai yang signifikan. Pada penelitian Bellum dkk (2019) menyajikan persamaan baru rumus empiris untuk memprediksi nilai modulus elastisitas beton pada beton geopolimer. Adapun rumus empiris yang dihasilkan penelitian Bellum dkk (2019) adalah sebagai berikut.

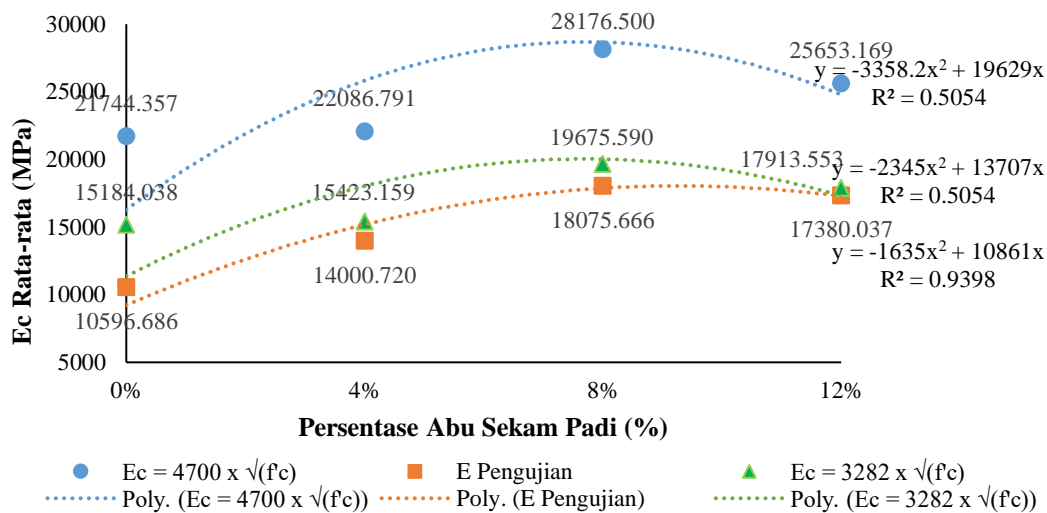
$$\begin{aligned} E_c &= 3282 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 3282 \times \sqrt{36,89} \\ &= 19934,349 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan di atas diperoleh rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton geopolimer yang dihasilkan pada setiap percobaan dan perhitungan. Adapun rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton geopolimer dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Beton

Kode Benda Uji		f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)					
			Ec = Pengujian		Ec = $4700 \times \sqrt{f'c}$ (SNI 2847-2019)		Ec = $3282 \times \sqrt{f'c}$ (Bellum dkk, 2019)	
			Nilai Ec (MPa)	Rerata (MPa)	Nilai Ec (MPa)	Rerata (MPa)	Nilai Ec (MPa)	Rerata (MPa)
BN	1	21,55	25258,297	25887,947	21820,154	22081,670	-	-
	2	22,33	25230,741		22208,351		-	
	3	22,34	27174,804		22216,505		-	
BG0	1	22,69	12202,577	10596,686	22387,179	21744,357	15632,920	15184,038
	2	20,73	10874,723		21398,795		14942,733	
	3	20,82	8712,758		21447,097		14976,462	
BG4	1	24,98	15277,048	14000,720	23492,228	22086,791	16404,573	15423,159
	2	22,46	14855,599		22273,761		15553,720	
	3	19,01	11869,513		20494,386		14311,186	
BG8	1	36,89	19685,313	18075,666	28547,056	28176,500	19934,349	19675,590
	2	32,88	18660,926		26948,627		18818,169	
	3	38,16	15880,760		29033,817		20274,253	
BG12	1	29,19	18485,346	17380,037	25392,574	25653,169	17731,580	17913,553
	2	28,70	15862,702		25180,569		17583,538	
	3	31,52	17792,063		26386,363		18425,541	

Berdasarkan Tabel 5.26 diperoleh grafik hasil nilai modulus elastisitas beton geopolimer dengan substitusi abu sekam padi terhadap *fly ash*. Adapun grafik nilai modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Gambar 5.21 di bawah ini.



Gambar 5.21 Grafik Nilai Modulus Elastisitas Beton

Berdasarkan Gambar 5.21 dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas beton geopolimer pada variasi abu sekam padi 0%, 4%, dan 8% mengalami peningkatan secara terus – menerus. Sedangkan pada variasi abu sekam padi 12% nilai modulus elastisitas mengalami penurunan yang tidak signifikan. Nilai modulus elastisitas maksimum diperoleh pada beton geopolimer dengan substitusi abu sekam padi 8% terhadap *fly ash*. Beton geopolimer menghasilkan nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dari beton normal (konvensional) dengan perbedaan yang signifikan. Menurut Nath, P dan Sarker, P.K. (2016) dalam jurnal Bellum, dkk (2019) mengatakan bahwa beton geopolimer memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional.

Nilai modulus elastisitas beton hasil pengujian laboratorium dengan nilai modulus elastisitas hasil perhitungan secara teoritis menggunakan pendekatan rumus SNI 2847-2019 menunjukkan perbandingan nilai yang signifikan, sedangkan perbandingan nilai modulus elastisitas beton geopolimer hasil pengujian dengan rumus empiris menurut Bellum dkk (2019) menunjukkan perbandingan nilai yang

tidak signifikan. Adapun perbandingan nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5.27 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Beton Geopolimer

Benda Uji	Modulus Elastisitas Rerata, E (MPa)			Rasio	Rasio
	E _{pengujian}	E _{SNI2847-2019}	E _{Bellum(2019)}	$(\frac{E_{pengujian}}{E_{SNI2847-2019}})$	$(\frac{E_{pengujian}}{E_{Bellum-2019}})$
BN	25887,947	22074,282	15184,038	15%	-
BG0	10596,686	21744,357	15423,159	105%	43%
BG4	14000,720	22086,791	19675,590	58%	10%
BG8	18075,666	28176,500	17913,553	56%	9%
BG12	17380,037	25653,169	15184,038	48%	3%

Berdasarkan Gambar 5.16 dan Tabel 5.27 pada beton geopolimer nilai modulus elastisitas beton yang diperoleh dari metode SNI 2847-2019 dan metode Bellum menunjukkan nilai yang lebih besar dari hasil pengujian laboratorium. Hasil nilai modulus elastisitas beton geopolimer dengan rumus SNI sebesar 21744,357 MPa sampai 28176,500 Mpa. Nilai modulus elastisitas beton geopolimer dengan rumus empiris Bellum sebesar 15184,038 sampai 19675,590. Sedangkan nilai modulus elastisitas beton geopolimer hasil pengujian laboratorium mendapatkan nilai sebesar 10596,686 MPa sampai 18075,666 MPa.

Menurut SNI 2847-2019 perbandingan nilai modulus elastisitas beton hasil pengujian dengan hasil perhitungan secara teoritis disyaratkan sebesar 20%. Berdasarkan Tabel 5.27 perbandingan nilai modulus elastisitas pengujian dengan nilai modulus elastisitas menggunakan rumus teoritis SNI diperoleh nilai sebesar 105%, 58%, 56%, dan 48%, maka dari nilai perbandingan tersebut tidak memenuhi syarat perbandingan. Sedangkan pada perbandingan nilai modulus elastisitas pengujian dengan nilai modulus elastisitas menggunakan rumus empiris Bellum diperoleh nilai sebesar 43%, 10%, 9%, dan 3%, hanya satu nilai perbandingan yang tidak memenuhi persyaratan yaitu pada variasi abu sekam padi 0% terhadap *fly ash*. Berdasarkan hasil tersebut bahwa penggunaan metode perhitungan secara teoritis SNI 2847-2019 dengan rumus $4700 \times \sqrt{f'c}$ tidak relevan digunakan dalam menentukan nilai modulus elastisitas beton pada beton geopolimer. Perlu adanya

persamaan baru dengan mengubah angka koefisien yang relevan untuk rumus empiris nilai modulus elastisitas pada beton geopolimer.

5.9 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton pada penelitian ini dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Sebelum pengujian benda uji diukur dengan mengukur diameter dan tinggi yang dimiliki, sehingga didapatkan nilai luas penampang benda uji. Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan menggunakan alat uji tekan dengan meletakkan benda uji secara horizontal hingga mendapatkan nilai maksimum pada benda uji. Nilai kuat tarik belah beton didapatkan dengan perhitungan sesuai persamaan 3.6. Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah beton pada beton geopolimer dengan variasi abu sekam padi 8% sampel 1 sebagai berikut.

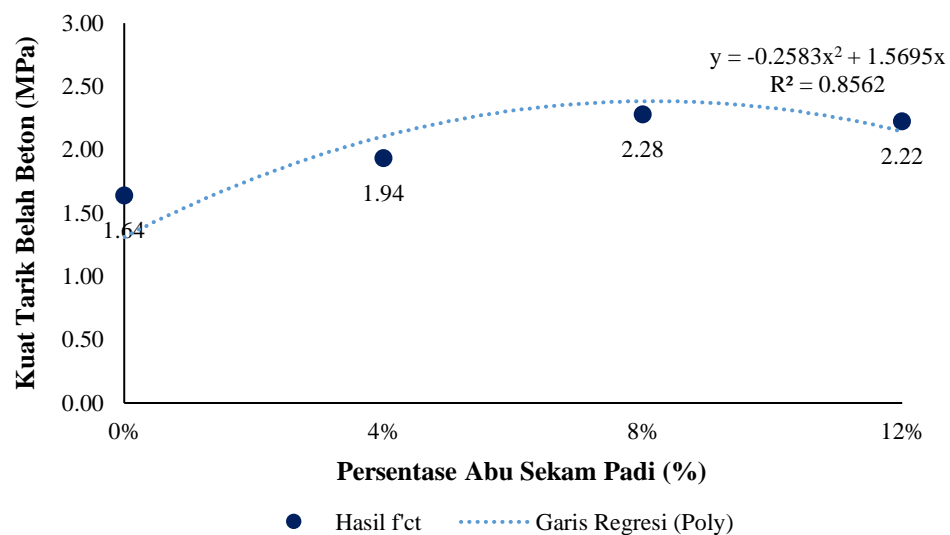
$$\begin{aligned} f'_{ct} &= \frac{2.P}{\pi LD} \\ &= \frac{2 \times 143000}{142859,850} \\ &= 2,002 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh hasil nilai kuat tarik belah beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 di bawah ini.

Tabel 5.28 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Benda Uji		Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata – rata (MPa)
		Diameter (mm)	Tinggi (mm)				
BN	1	150,950	302,000	143215,470	183000	2,556	2,361
	2	151,500	300,700	143118,552	154000	2,152	
	3	151,950	303,350	144808,674	172000	2,376	
BG0	1	149,950	302,950	142714,237	120000	1,682	1,641
	2	150,950	302,950	143665,982	118000	1,643	
	3	151,050	303,200	143879,791	115000	1,599	
BG4	1	150,000	303,850	143185,939	142000	1,983	1,935
	2	150,000	304,900	143680,740	135000	1,879	
	3	150,400	302,850	143095,273	139000	1,943	
BG8	1	150,650	301,850	142859,850	143000	2,002	2,282
	2	150,750	302,900	143451,954	197000	2,747	
	3	150,150	303,300	143069,685	150000	2,097	
BG12	1	150,600	304,200	143924,276	134000	1,862	2,225
	2	152,350	303,450	145237,737	176000	2,424	
	3	150,950	301,900	143168,048	171000	2,389	

Berdasarkan Tabel 5.28 didapatkan grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton pada beton geopolimer. Adapun grafik kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer



Gambar 5.23 Contoh Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan Gambar 5.22 nilai kuat tarik belah beton geopolimer, pada beton geopolimer variasi abu sekam padi 8% dari berat prekursor memiliki nilai kuat tarik belah terbesar sebesar 2,28 MPa dan beton geopolimer variasi abu sekam padi 0% memiliki nilai kuat tarik belah beton rata – rata terkecil sebesar 1,64 MPa. Pada substitusi abu sekam padi 4% dan 8% mengalami kenaikan nilai kuat tarik

belah beton pada beton geopolimer, dikarenakan abu sekam padi yang halus dapat masuk kedalam rongga – rongga agregat beton sehingga membuat beton padat. Pada substitusi abu sekam padi 12% nilai kuat tarik belah beton mengalami penurunan sebesar 2,5% dikarenakan kadar Si yang terlalu tinggi pada abu sekam padi dan *fly ash* tidak bereaksi terhadap alkali aktivator sehingga prekursor mengalami penurunan kerekatan pada agregat kasar dan kurangnya pemadatan pada proses memasukkan beton segar ke dalam cetakan beton. Sehingga memengaruhi nilai kuat tarik belah beton pada beton geopolimer. Nilai kuat tarik belah beton pada beton normal (BN) menghasilkan nilai sebesar 2,36 MPa lebih besar dari nilai kuat tarik belah beton geopolimer. Adapun hasil pengujian kuat tarik belah beton pada beton geopolimer dapat dilihat pada Gambar 2.24 berikut.



Gambar 5.24 Contoh Hasil Uji Tarik Belah Beton Geopolimer

Nilai kuat tarik belah beton tidak berbanding lurus dengan nilai kuat tekan beton, setiap kenaikan dalam mutu kekuatan tekan beton hanya diikuti peningkatan yang relatif kecil dari kuat tariknya (Mulyono, 2004). Beton konvensional umumnya memiliki nilai kuat tarik beton antara 10% - 15% dari kuat tekan beton. Adapun perhitungan persentase kuat tarik belah beton dari kuat tekan beton pada beton geopolimer sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase (\%)} &= \frac{f'_{crata-rata}}{f'_{ctrata-rata}} \times 100 \\
 &= \frac{22,06}{2,36} \times 100 \\
 &= 10,72\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh persentase kuat tarik belah dari kuat tekan beton pada beton geopolimer yang dapat dilihat pada Tabel 5.29 di bawah ini.

Tabel 5.29 Persentase Kuat Tarik Belah dari Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rata – rata (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata – rata (MPa)	Persentase
BN	22,06	2,36	10,72%
BG0	21,41	1,64	7,67%
BG4	22,15	1,94	8,84%
BG8	35,98	2,28	6,43%
BG12	29,80	2,23	7,47%

Berdasarkan Tabel 5.29 hasil persentase kuat tarik belah beton dari kuat tekan beton pada beton geopolimer antara 6,43% - 8,84% dengan persentase tertinggi pada beton geopolimer variasi abu sekam padi 4% terhadap *fly ash* sebesar 8,84%. Hasil persentase beton geopolimer memiliki nilai yang lebih rendah dari persentase beton pada umumnya. Untuk beton normal konvensional (BN) memiliki persentase sebesar 10,72% dari kuat tekan beton.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pati dkk (2021) hasil nilai kuat tarik belah beton mendapatkan 10% - 11% dari kuat tekan betonnya yaitu sebesar 2-3 MPa untuk beton geopolimer umur 28 hari. Nilai kuat tarik belah yang dihasilkan sebanding dengan nilai kuat tarik beton konvensional pada umumnya yaitu 10% - 15%. Sedangkan nilai kuat tarik belah beton pada penelitian ini mendapatkan hasil 6% - 9% dari kuat tekan beton, hasil ini menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton geopolimer di bawah nilai rata – rata beton pada umumnya dan berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya. Hal ini terjadi karena

terdapat perbedaan suhu dan lama waktu yang digunakan pada proses perawatan beton geopolimer. Pada penelitian Pati dkk (2021) perawatan beton geopolimer dilakukan dalam oven pada suhu 90°C selama 24 jam. Sedangkan pada penelitian ini perawatan beton dilakukan dalam oven dengan suhu 60°C selama 8 jam. Menurut Waraba dkk (2023) penggunaan suhu tinggi dalam perawatan beton geopolimer dapat membuat proses reaksi polimerisasi pada beton lebih cepat, sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang tinggi. Menurut Pati dkk (2021) pengaruh suhu tinggi dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah dibandingkan dengan perawatan di suhu ruang, namun peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

Nilai kuat tarik belah beton pada beton geopolimer juga dipengaruhi oleh besarnya koefisien molaritas yang digunakan pada NaOH, semakin tinggi molaritas yang digunakan maka semakin tinggi juga mutu beton yang dihasilkan. Pada saat proses pencampuran dan pematatan beton geopolimer perlu diperhatikan agar material penyusun beton dapat tercampur dengan baik dan merata pada cetakan beton. Pada penelitian ini beton geopolimer sangat kental dan lengket, sehingga kurangnya pematatan yang dilakukan saat proses mencetak beton yang membuat kerikil pada beton segar tidak merata saat dimasukkan kedalam cetakan beton. Hal tersebut dapat menurunkan kekuatan tarik pada beton geopolimer sehingga hasil nilai kuat tarik belah beton yang dimiliki lebih rendah.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada beton geopolimer yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi terhadap *fly ash* pada beton geopolimer dengan variasi 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat *fly ash* dapat memengaruhi tingkat kelecakan (*workability*) beton segar dan juga waktu ikat (*setting time*) beton geopolimer.
 - a. Abu sekam padi dapat menurunkan tingkat kelecakan beton segar sebesar 2,99% untuk variasi 8% dan 6,06% untuk variasi 12% dari beton geopolimer tanpa substitusi abu sekam padi. Semakin tinggi persentase substitusi abu sekam padi yang dicampurkan, maka semakin menurunkan tingkat kelecakan beton segar.
 - b. Substitusi abu sekam padi terhadap *fly ash* dapat mempercepat 15 menit pada waktu ikat awal (*initial sett*) dan waktu ikat akhir (*final sett*) pasta beton geopolimer. Pada variasi 0% mengalami waktu ikat awal pada menit ke 150 atau 2 jam 30 menit dan waktu ikat akhir pada menit ke 225 atau 3 jam 45 menit. Pada variasi 4% waktu ikat terjadi pada menit ke 135 atau 2 jam 15 menit dan waktu akhir pada menit ke 225 atau 3 jam 45 menit. Variasi 8% waktu ikat terjadi pada menit ke 120 menit atau 2 jam dan waktu ikat akhir pada menit ke 210 atau 3 jam 30 menit. Kemudian pada variasi 12% waktu ikat awal terjadi pada menit ke 105 atau 1 jam 45 menit dan waktu ikat akhir pada menit ke 195 atau 3 jam 15 menit. Menurut SNI 15-2049-2004 pasta geopolimer telah memenuhi syarat waktu ikat (*setting time*).
2. Penggunaan substitusi abu sekam padi 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat *fly ash* terhadap beton geopolimer dapat memengaruhi mutu beton, yaitu dapat

meningkatkan kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton.

3. Kadar optimum yang diperoleh dari penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* terhadap sifat mekanik beton geopolimer adalah pada persentase abu sekam padi 8% yang disubstitusikan. Adapun nilai yang diperoleh dari sifat mekanik beton geopolimer sebagai berikut.
 - a. Nilai kuat tekan beton optimum didapatkan pada beton geopolimer dengan variasi substitusi abu sekam padi 8% dari berat *fly ash* yaitu sebesar 35,98 MPa atau 40,48% lebih tinggi dari kuat tekan beton geopolimer tanpa substitusi abu sekam padi.
 - b. Nilai modulus elastisitas beton optimum terjadi pada beton geopolimer dengan variasi abu sekam padi 8% dari berat *fly ash*. Nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan sebesar 18075,666 MPa, nilai modulus elastisitas secara teoritis SNI didapatkan sebesar 28176,500 MPa, dan nilai modulus elastisitas menurut persamaan Bellum sebesar 17913.553 MPa.
 - c. Nilai kuat tarik belah beton menunjukkan substitusi abu sekam padi 8% terhadap *fly ash* pada beton geopolimer memiliki nilai yang optimum sebesar 2,28 MPa meningkat 28,08% dari beton geopolimer tanpa substitusi abu sekam padi.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian pada beton geopolimer dengan substitusi abu sekam padi terhadap *fly ash*, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Perlu memperhatikan metode pencampuran (*mix design*) beton geopolimer dengan teliti dan tepat dalam penggunaan material penyusun beton geopolimer.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap metode pembuatan bahan pengikat beton geopolimer dengan metode kering.

3. Perlu dilakukan pengujian – pengujian beton yang lainnya, seperti pengujian kuat lentur untuk mengetahui pengaruh abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* pada beton geopolimer.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai abu sekam padi sebagai substitusi *fly ash* pada beton geopolimer terhadap mutu beton di umur 7 hari dan 14 hari.
5. Perlu dilakukan penelitian mengenai perbandingan dari segi biaya dalam penggunaan beton geopolimer dengan beton konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618-12. (2012). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. . *ASTM International*, 100 Barr 8 Harbour Drive, West Conshohocken, 19428-2959.
- B, R., Nurhayati, & Subaer. (2017). Pengembangan Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash dan Abu Sekam Padi untuk Aplikasi Struktural Bawah Laut. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*, 287-291.
- Bellum, R. R., Muniraj, K., & Madduru, S. R. (2019, June). Empirical Relationships on Mechanical Properties of Class-F Fly Ash and GGBS Based Geopolymer Concrete. *International Information and Engineering Technology Association (IIETA), ACSM, Vol. 43, No. 3*, 189-197.
- Davidovits, J. (5th Edition, 2020). *Geopolimer: Chemistry & Applications*. France: Geopolimer Institute.
- Davidovits. J. (1991). *Geopolimer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute, France.
- Ekaputri, J. J., Triwulan, & Damayanti, O. (2007). SIFAT MEKANIK BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH JAWA POWER. *Jurnal PONDASI, volume 13 no 2 Desember 2007 ISSN 0853-814X*, 124-134.
- Ekawati, H. H. (2018). Penelitian Rancangan Campuran Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash PLTU Suralaya - Banten Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* .
- Firdaus, & Syaputra, D. (2019, April). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Pada Kuat Tekan Mortar Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. *Jurnal TEKNO, Vol. 16, No.1, p-ISSN:1907-5243, e-ISSN:2655-8416*, 209-217.
- I Made Alit Karyawan Salain, M. N. (2020). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 105-114.
- Manuahe, R., Sumajouw, M., & Windah, R. (2014). KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG (FLY ASH). *Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.6, September 2014 (277-282) ISSN: 2337-6732*, 277-282.
- Mehta, A. (2018). Sustainable Geopolymer Concrete Using Ground Granulated Blast Furnace Slag and Rice Husk Ash: Strenght and Permeability . *Journal of Cleaner Production*.


- Mulyono, T. (2006). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Musbar, Rizal, F., & Mahyar, H. (2010). Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Campuran Beton Agropolymer. *JURNAL PORTAL, ISSN 2085-7454, Volume 2 No. 2*, , 33-52.
- Pangloly, D. R., Sumajow, M., & Dapas, S. (2018, Oktober). Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Pada Perawatan Temperatur Ruangan. *Jurnal Sipil Statik, Vol. 6, No.10 ISSN: 2337-6732*, 743-750.
- Pati, M. S., Handono, B. D., & Wallah, S. E. (2021, Juli). Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Dengan Penambahan Semen Putih Pada Perawatan Temperatur Ruangan. *Jurnal Sipil Statik* , Vol. 9 No.4, 669-676.
- Perdana, M. T. (2022). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Viscocrete 1003 Pada Karakteristik Beton Geopolimer. *Skripsi, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta*.
- Putra, A. K., Wallah, S., & Dapas, S. (2014). Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.7, November 2014 (330-336) ISSN: 2337-6732*, 330-336.
- Rachmalia, Q. (2018). Pengaruh Urutan Penambahan Alkali Aktivator Pada Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C. *Skripsi, Program Studi Diploma IV Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Salwatul, N. (2017). Pengaruh Rasio Natrium Hidroksida dengan Natrium Silikat Pada Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser Pada Aplikasi Spesi Batu Bata. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol 2*.
- Sandya, Y., Prihantono, & Musalamah, S. (2019). PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI PENGANTI SEMEN . *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil, Vol.1 5, No.2, Desember 2019: 59-63, ISSN-E : 2477-4901, ISSN-P: 2477-4898*, 59-63.
- Septia G, P. (2011). Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH:Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Skripsi. Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok*.
- Setiawan, F. D., & Wardhono, A. (2019). Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Substitusi Fly Ash Pada Mortar Geopolimer dengan NaOH 8 Molar Ditinjau Dari Kuat Tekan dan Porositas. *Jurnal Unesa Vol. 7, No 3*.

- Simanjuntak, J. O., Sidabutar, R. A., Pasaribu, H., Saragi, T. E., & Panjaitan, R. (2021, Januari). Beton Bermutu dan Ramah Lingkungan dengan Abu Sekam Padi. *Jurnal Visi Eksakta (JVIEKS)*, Vol. 2, No 1, 86-96.
- SK SNI S-04-1989-F. (n.d.). Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam). *Bandung*.
- SNI 03 2834 2000. (n.d.). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 03 2847 2002. (n.d.). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. (*Beta Version*). *Bandung*.
- SNI 03-2491-2002. (n.d.). Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton . *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 03-2491-2002. (n.d.). Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton . *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 03-4169-1996. (n.d.). Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis dan Rasio Poison Beton dengan Kompresometer . *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 03-6827-2002. (n.d.). Metode Pengujian Waktu Ikut Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 15-2049-2004. (n.d.). Semen Portland. *Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta*.
- SNI 1972-2008. (n.d.). Cara Uji Slump Beton. *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 1974 2011. (n.d.). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. . *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 2495 1991. (n.d.). Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton . *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- SNI 2847 2019. (n.d.). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. *Badan Standardisasi Nasional. Jakarta*.
- Sulianti, I., Indrayani, Subrianto, A., Rahmadona, E., Yanti, O., & Iryani, A. W. (2021). Analisa Kuat Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Abu Sekam Padi. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol. 9 No. 2*, , 63-70.

- Trimurtiningrum, R. (2021, Juli - Desember). Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi Terhadap Workabilitas, Resapan, dan Kekuatan Tekan Beton. *PAWON : Jurnal Arsitektur No 2, Volume V, ISSN 2597-7636*, 201-212.
- Utomo, T. (2017). Analisa Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Bahan Alternatif Abu Sekam Padi dan Kapur Padam. *Skripsi. Universitas Muhammadiyah Purworejo*.
- Waraba, H., Wallah, S., & Windah, R. (2023). Pengaruh Perawatan Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Kaolin. *Jurnal TEKNO Vol. 21, No. 86 p-ISSN: 0215-9617*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Laboratorium



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 890444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM
Nomor : 47/ Ka.Lab/60/LBKT/IV/2024

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama	: MALIK MUSHTHOFA, S.T., M.ENG.
NIK	: 185111302
Jabatan Struktural	: Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Tenik JTS FTSP UII

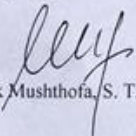
Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama	: ALIF AKBAR KHALIFAH
N I M	: 20511014
Program Studi	: S1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA	: Jafar, S. T., M. T., MURP
Instansi	: Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir **“PENGARUH ABU SEKAM PADI SEBAGAI SUBSTITUSI FLY ASH TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON GEOPOLIMER”** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya *).

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.


Di periksa oleh:
Kepala Laboratorium BKT,



Malik Mushthofa, S. T., M. Eng

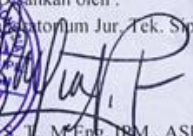
Yogyakarta, April 2024

Didata oleh :
PLP/Teknisi




Daru Salam, A.Md

Disahkan oleh :




Ir. Bertram Kurniawan, S. T., M.Eng, I.R.M., ASEAN. Eng



*) Nota/bukti transfer invoice terlampir

Lampiran 2 Surat Izin Pengambilan *Fly Ash*



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 109/Sek. Prodi/20/FTSP/VI/2023
Hal : Permohonan Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Kepada Yth:
**MANAGER SENIOR PLTU 2 LABUAN, PANDEGLANG, BANTEN
JL. KEPENIMBANGAN, NO. 24, MARGASANA, KEC. PAGELARAN
PANDEGLANG, BANTEN**

Assalamu'alaikum Wr.Wb.


Dalam rangka mempersiapkan mahasiswa untuk menempuh ujian Tugas akhir/Skripsi maka setiap mahasiswa diwajibkan untuk menyusun Tugas Akhir/skripsi. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka diperlukan data-data, baik dari instansi Pemerintah BUMN, ataupun dari perusahaan swasta/Proyek.


Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk dapat memberikan bantuan untuk dapat memberikan izin pengambilan **Fly Ash sebanyak 500 kg** yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:


NO	NAMA	NIM	JUDUL TUGAS AKHIR
1.	ALIF AKBAR KHALIFAH	20511014	Pengaruh Substitusi Abu Sekam Padi Dan Penambahan Sodium Gluconate Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer
2.	FANDIKA AHMAD DWI S.	19511274	Karakteristik Beton Geopolimer Menggunakan Limbah Fly Ash

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 13 Juni 2023
Sekretaris Prodi Teknik Sipil Program Sarjana,

Dina Anggraheni, S.T., M. Eng



	PT INDONESIA POWER		No. Form : FORM.BLB.17.01.05.01
	UNIT JASA PEMBANGKITAN PLTU BANTEN 2 LABUAN		Tgl Terbit : 1 Nov 2016
	INDONESIA POWER INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM		Revisi : 00
FORMULIR PENGELUARAN BARANG			Halaman : Hal 1/1

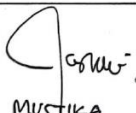
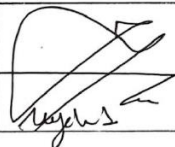


Pemilik Barang : PT. Indonesia Power
 (Owner of the material)
 Tanggal : 26 Juni 2023
 (Date)
 No. Polisi Kendaraan : B 9932 S2W
 (Vehicle Brand Num)

KETERANGAN MENGENAI BARANG YANG AKAN DIKELUARKAN
 (THE BRIEF DESCRIPTION FOR PLANNING EXIT MATERIAL)

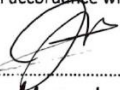
No	Nama (Name)	Jumlah (Qty)	Spesifikasi (Specification)	Alasan Dikeluarkan (The Reason for Exit)
1.	FLY Ash	20	karung	untuk penelitian

Setelah melalui pengecekan, saya yakin bahwa isi yang dibawa oleh kendaraan tersebut sesuai dengan keterangan di atas.
 (after going through the cheks, lam sure that the content carried by the vehicle in accordance with the description above)

DISETUJUI OLEH (APPROVED BY)

Mitra Kerja/Kontraktor/ Vendor	PT. INDONESIA POWER UJP PLTU BANTEN 2 LABUAN		
(Pemilik Barang)	Pengawas Lapangan	MADM/ SPS Umum*	Komandan Regu Keamsihan
 MUSTIKA			

Saya yakin bahwa isi yang dibawa oleh kendaraan tersebut sesuai dengan keterangan diatas.
 (I am sure that the conter carried by the vehicle in accordance with the description above)

Tanda tangan Petugas Penjaga Gerbang
 (The Gate Guard Signature) : 
 Tanggal : M. Mahedi / 26 Juni 2023
 (Date)

Keterangan :

1. Coret yang tidak perlu pada bagian yang bertanda (*)

Lampiran 3 Data Hasil Pemeriksaan XRF *Fly Ash* dan Abu Sekam Padi



DEPUTI BIDANG INFRASTRUKTUR RISET DAN INOVASI
 DIREKTORAT PENGELOLAAN LABORATORIUM, FASILITAS RISET,
 DAN KAWASAN SAINS TEKNOLOGI
LABORATORIUM RADIASI YOGYAKARTA
 Jalan Babarsari, Sleman, DI Yogyakarta 55281
 Telepon/WA: 0812 2696 3181; E-mail: labradyk@brin.go.id

HASIL UJI X-RAY FLUORESCENCE
(X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS RESULT)
 Laboratorium Radiasi Yogyakarta - BRIN

ELSA ID	:	142588	Metode pengujian	:	<i>Omnian Standard with Helium</i>
Kode Sampel	:	Fly Ash	Metode Preparasi	:	<i>Loose Powder</i>
<i>(sample code)</i>			<i>(preparation method)</i>		
Element	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Na	0,885	%	Na2O	1,193	%
Mg	680,6	ppm	MgO	0,113	%
Al	2,698	%	Al2O3	5,098	%
Si	11,21	%	SiO2	23,98	%
P	0,143	%	P2O5	0,328	%
S	0,102	%	SO3	0,255	%
Cl	41	ppm	ClO2	78,004	ppm
K	0,68	%	K2O	0,819	%
Ca	5,827	%	CaO	8,153	%
Sc	97,6	ppm	Sc2O3	149,699	ppm
Ti	0,652	%	TiO2	1,088	%
V	177,4	ppm	V2O5	316,694	ppm
Cr	122	ppm	Cr2O3	178,303	ppm
Mn	0,404	%	MnO	0,522	%
Fe	23,191	%	Fe2O3	33,156	%
Co	0,138	%	CoO	0,175	%
Ni	312,8	ppm	NiO	398,038	ppm
Cu	165,2	ppm	CuO	206,797	ppm
Zn	439	ppm	ZnO	546,467	ppm
Ga	56,3	ppm	Ga2O3	75,678	ppm
As	64,1	ppm	As2O3	84,631	ppm
Se	6,4	ppm	SeO3	10,291	ppm
Br	2,4	ppm	BrO2	3,361	ppm
Rb	83,2	ppm	Rb2O	90,988	ppm
Sr	0,202	%	SrO	0,239	%
Y	111,8	ppm	Y2O3	141,975	ppm
Zr	543,5	ppm	ZrO2	734,16	ppm
Nb	19,8	ppm	Nb2O5	28,324	ppm
Sn	348,3	ppm	SnO2	442,202	ppm
Sb	59,3	ppm	Sb2O5	78,774	ppm
Te	153,3	ppm	TeO3	210,971	ppm
Cs	6,5	ppm	Cs2O	6,891	ppm
Ba	0,39	%	BaO	0,435	%
Eu	358,9	ppm	Eu2O3	415,57	ppm
Yb	120,6	ppm	Yb2O3	137,327	ppm
Ir	1,7	ppm	IrO	1,841	ppm
Pb	39	ppm	PbO	42	ppm

ELSA ID	:	142588	Metode pengujian	:	<i>Omnian Standard with Helium</i>
Kode Sampel	:	Abu Sekam	Metode Preparasi	:	<i>Loose Powder</i>
<i>(sample code)</i>			<i>(preparation method)</i>		
Element	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Na	0,429	%	Na2O	0,578	%
Mg	95,6	ppm	MgO	158,524	ppm
Al	0,132	%	Al2O3	0,249	%
Si	72,562	%	SiO2	86,873	%
P	0,598	%	P2O5	1,37	%
S	0,206	%	SO3	0,514	%
Cl	0,457	%	ClO2	0,869	%
K	1,753	%	K2O	2,112	%
Ca	3,182	%	CaO	4,452	%
Sc	26,6	ppm	Sc2O3	40,799	ppm
Ti	763,4	ppm	TiO2	0,127	%
V	36,8	ppm	V2O5	65,695	ppm
Cr	2,7	ppm	Cr2O3	3,946	ppm
Mn	0,176	%	MnO	0,227	%
Fe	1,458	%	Fe2O3	2,085	%
Co	79,4	ppm	CoO	100,957	ppm
Ni	8,7	ppm	NiO	11,071	ppm
Cu	80,4	ppm	CuO	100,645	ppm
Zn	313,4	ppm	ZnO	390,12	ppm
Ga	7,7	ppm	Ga2O3	10,35	ppm
As	19,2	ppm	As2O3	25,35	ppm
Br	41,6	ppm	BrO2	58,259	ppm
Rb	98,2	ppm	Rb2O	107,392	ppm
Sr	344,6	ppm	SrO	407,524	ppm
Y	7,2	ppm	Y2O3	9,143	ppm
Zr	28,4	ppm	ZrO2	38,363	ppm
Cd	2,3	ppm	CdO	2,627	ppm
Sn	120,8	ppm	SnO2	153,368	ppm
Te	45,6	ppm	TeO3	62,755	ppm
Cs	6,6	ppm	Cs2O	6,997	ppm
Ba	102,3	ppm	BaO	114,218	ppm
Pb	11,6	ppm	PbO	12,496	ppm

Lampiran 4 Data Hasil Pemeriksaan Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Progo

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490	489	489,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1036	1034	1035
Berat piknometer berisi air, gram (B)	734	734	734
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,47	2,45	2,46
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,53	2,50	2,51
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,61	2,59	2,60
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100\%))$)	2,04	2,25	2,15

**PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Progo

Sampel : 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,80	0	0	0	100
2,40	90	4,50	4,50	100
1,20	183	9,15	13,66	95,50
0,60	591	29,56	43,22	86,34
0,30	789	39,47	82,69	56,78
0,15	309	15,46	98,15	1,85
Pan	37	1,85	100	0
Jumlah	1999	100		

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\text{MHB Sampel 1} = \frac{242,221}{100}$$

$$= 2,42$$

Sampel : 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,80	0	0	0	100
2,40	101	5,05	5,05	94,95
1,20	183	9,15	14,21	85,79
0,60	647	32,37	46,57	53,43
0,30	732	36,62	83,19	16,81
0,15	282	14,11	97,30	2,70
Pan	54	2,70	100	0
Jumlah	1999	100		

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\text{MHB Sampel 2} = \frac{246,323}{100}$$

$$= 2,46$$

Gradasi Agregat Halus

Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834 - 2000

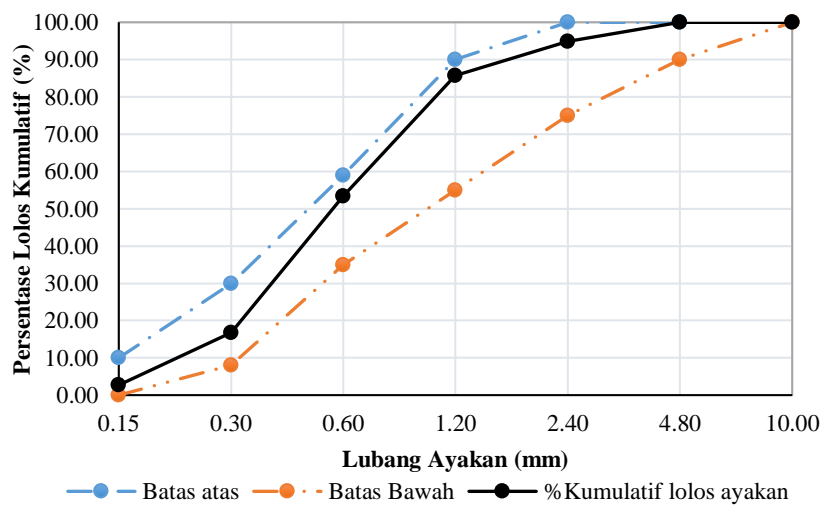
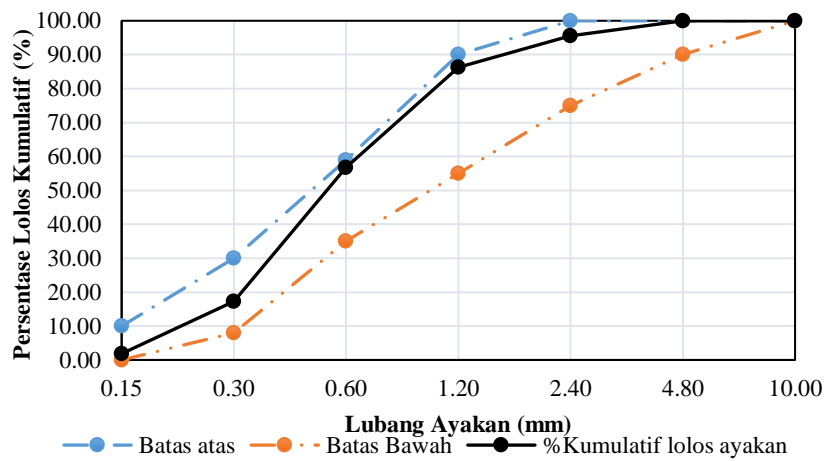
Keterangan:

- Daerah I : Pasir Kasar
- Daerah II : Pasir Agak Kasar
- Daerah III : Pasir Agak Halus
- Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan

- Sampel 1 : Pasir masuk daerah II (Pasir Agak Kasar)
- Sampel 2 : Pasir masuk daerah II (Pasir Agak Kasar)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir : Progo

Pemeriksaan : Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	18540	18423	18482
Berat Agregat (W3), gram	7850	8134	7992
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,45	1,53	1,49

Pemeriksaan : Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	20106	19547	19827
Berat Agregat (W3), gram	9416	9258	9337
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,74	1,74	1,74

**PEMERIKSAAN LOLOS SARINGAN NO.200
(UJI KANDUNGAN LUMPUR) AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Progo

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	482	486	484
Persentase lolos saringan No. 200 [(W1 – W2)/W1] x 100	3,60%	2,80%	3,20%

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT KASAR**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4896	4892	4894
Berat Kerikil jenuh kering muka (SSD) (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba)	3031	3028	3029,5
Berat Jenis Curah (Bk/Bj-Ba)	2,49	2,48	2,58
Berat jenis jenuh kering muka (Bj/(Bj-Ba))	2,54	2,54	2,54
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,63	2,62	2,62
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk x 100%))	2,12	2,21	2,17

PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR

Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	3748	74,97	74,97	25,03
4,80	1134	22,68	97,66	2,34
2,40	77	1,54	99,19	0,80
1,20	8	0,16	99,36	0,64
0,60	0	0	99,36	0,64
0,30	0	0	99,36	0,64
0,15	0	0	99,36	0,64
Pan	32	0,64	100	0
Jumlah	4999	100		

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{669,27}{100} \\ &= 6,69 \end{aligned}$$

Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	3719	74,39	74,39	25,61
4,80	1123	22,46	96,86	3,14
2,40	107	2,14	98,99	1,00
1,20	9	0,18	99,18	0,82
0,60	0	0	99,18	0,82
0,30	0	0	99,18	0,82
0,15	0	0	99,18	0,82
Pan	41	0,82	100	0
Jumlah	4998	100		

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{666,97}{100} \\ &= 6,67 \end{aligned}$$

GRADASI AGRGAT KASAR

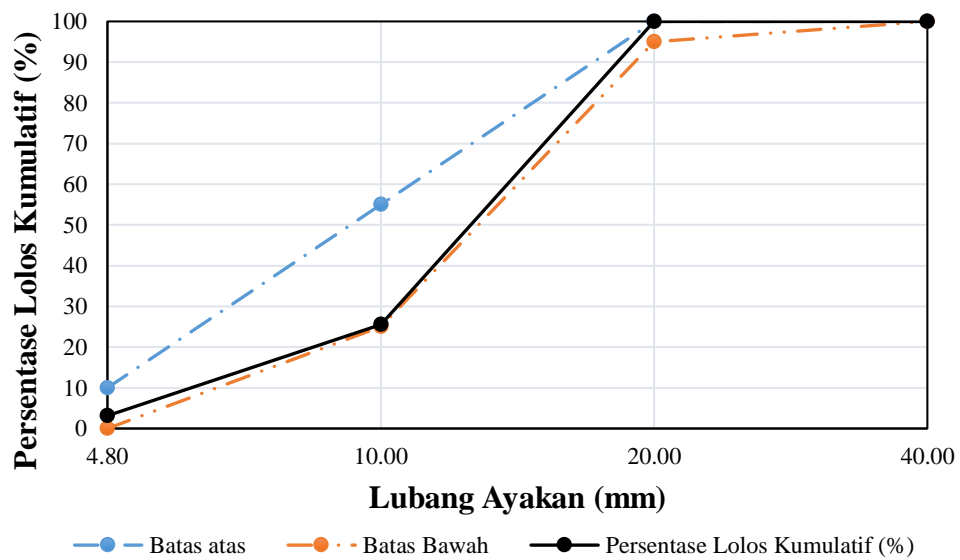
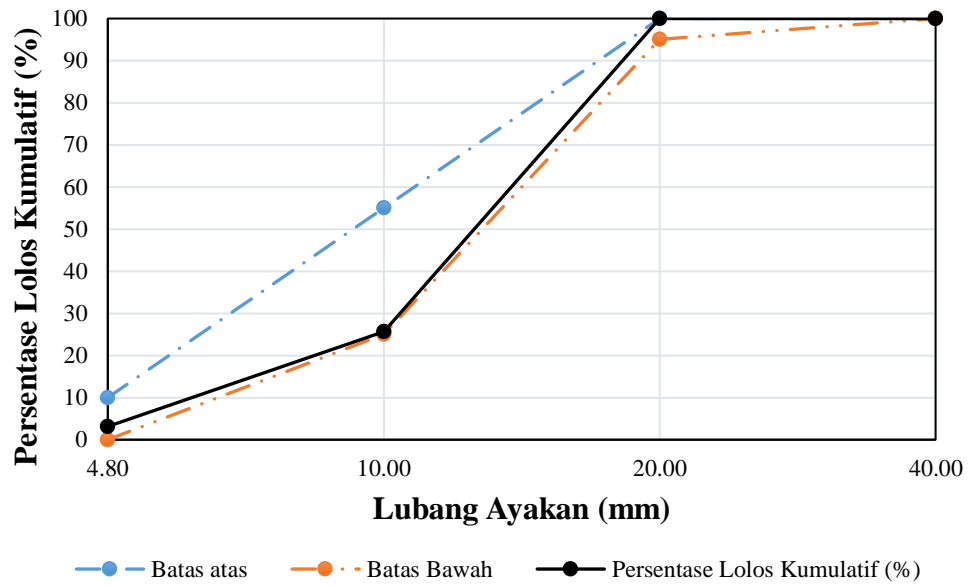
Lubang Saringan (mm)	Persen Butiran Agregat Lolos Saringan	
	40 mm	20 mm
40	95 - 100	100
20	30 - 70	95 - 100
10	10 - 35	25 - 55
4,8	0 - 5	0 - 10

Sumber: SNI 2834 -2000

Hasil Analisa Saringan

Sampel 1 : Ukuran maksimum agregat 20 mm

Sampel 2 : Ukuran maksimum agregat 20 mm

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT
AGREGAT KASAR**

Pemeriksaan : Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	17847	17545	17696
Berat Agregat (W3), gram	7157	7256	7207
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,32	1,37	1,34

Pemeriksaan : Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat tabung (W1), gram	10690	10289	10490
Berat tabung + Agregat SSD (W2), gram	18518	18213	18366
Berat Agregat (W3), gram	7828	7924	7876
Diameter silinder (d), cm	15,14	14,96	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,13	30,25	30,19
Volume tabung (V), gram	5424,26	5314,78	5369,52
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,44	1,49	1,47

Lampiran 5 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton

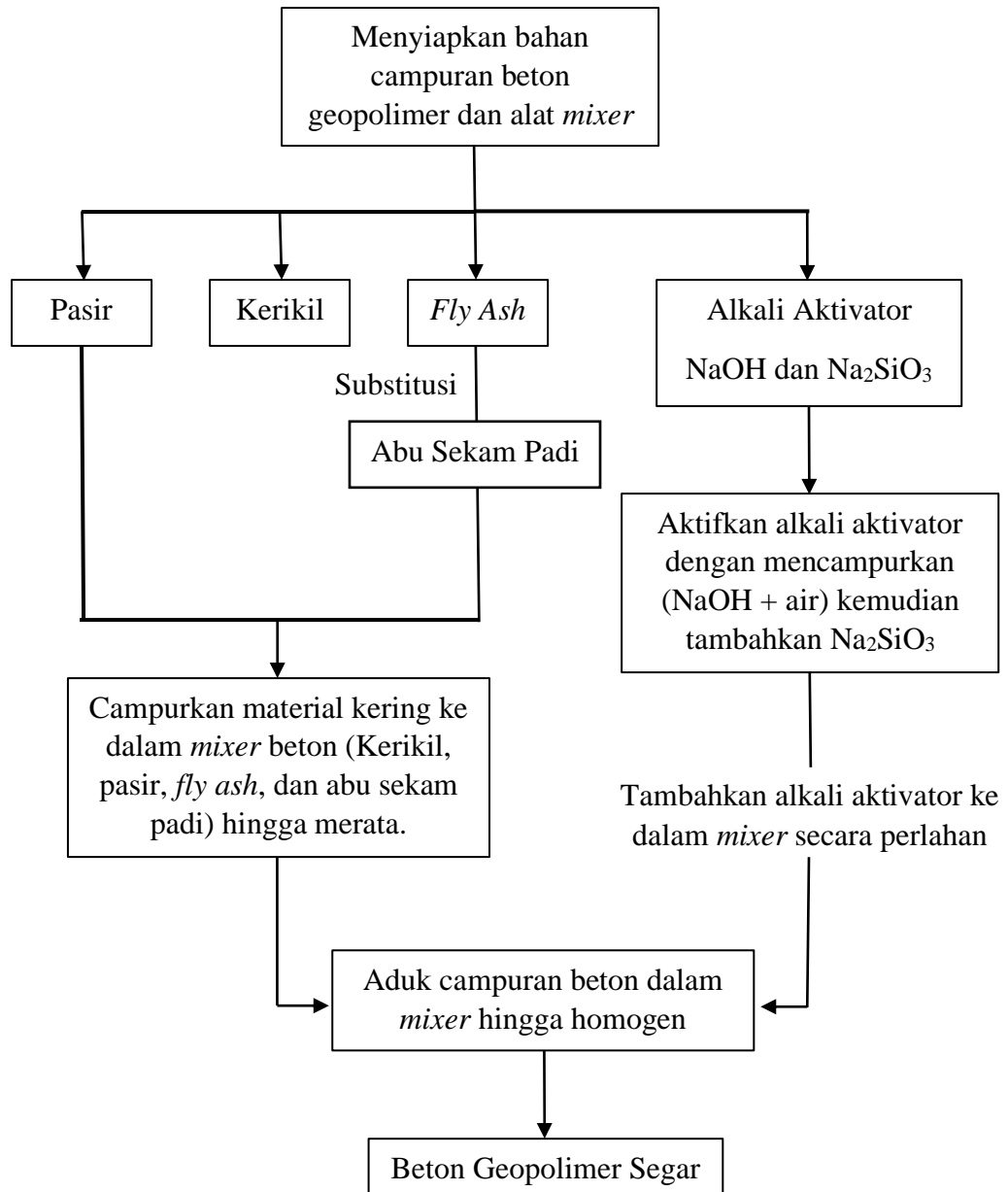
Perencanaan Campuran Beton Normal Konvensional

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (f^c)	25	MPa
2	Deviasi Standar	-	-
3	Nilai tambah (Margin)	12	MPa
4	Kekuatan rata – rata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	Faktor air semen (fas) digunakan	0,5	
9	Slump		cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	410	kg/m ³
13	Jumlah semen maksimum	-	
14	Jumlah semen minimum	275	kg/m ³
15	Jumlah semen digunakan	410	kg/m ³
16	Fas disesuaikan	0,5	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
18	Berat Jenis agregat halus (SSD)	2,54	
	Berat Jenis agregat kasar (SSD)	2,53	
19	Persen agregat halus	41,5	%
20	Persen agregat kasar	58,5	%
21	Berat Jenis relatif gabungan (SSD)	2,53	
22	Berat isi beton	2293,75	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1678,75	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	696,68	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	982,07	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	492	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	836,02	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1178,48	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	246	kg/m ³

Perencanaan Beton Geopolimer

Proporsi Campuran Beton Geopolimer per 1 m³			
Fly Ash (kg/m ³)	Alkali Aktivator (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)
410	205	696,68	982,07

Proporsi Campuran Beton Geopolimer per 1 m³ dengan Angka Penyusutan			
Fly Ash (kg/m ³)	Alkali Aktivator (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)
492	246	836,02	1178,48

Lampiran 6 Proses Pembuatan Beton Geopolimer



Gambar L-5.1 Pasir



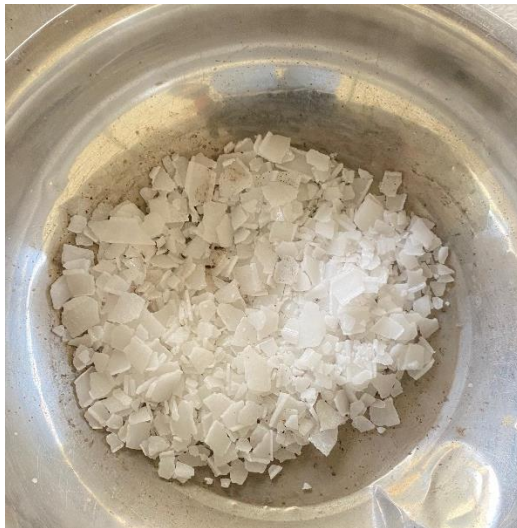
Gambar L-5.2 Kerikil



Gambar L-5.3 Fly Ash



Gambar L-5.4 Abu Sekam Padi



Gambar L-5.5 Natrium Hidroksida (NaOH)



Gambar L-5.6 Natrium Silikat (Na_2SiO_3)



Gambar L-5.7 Beton Geopolimer dalam Bekisting



Gambar L-5.8 Perawatan Benda Uji dalam Oven

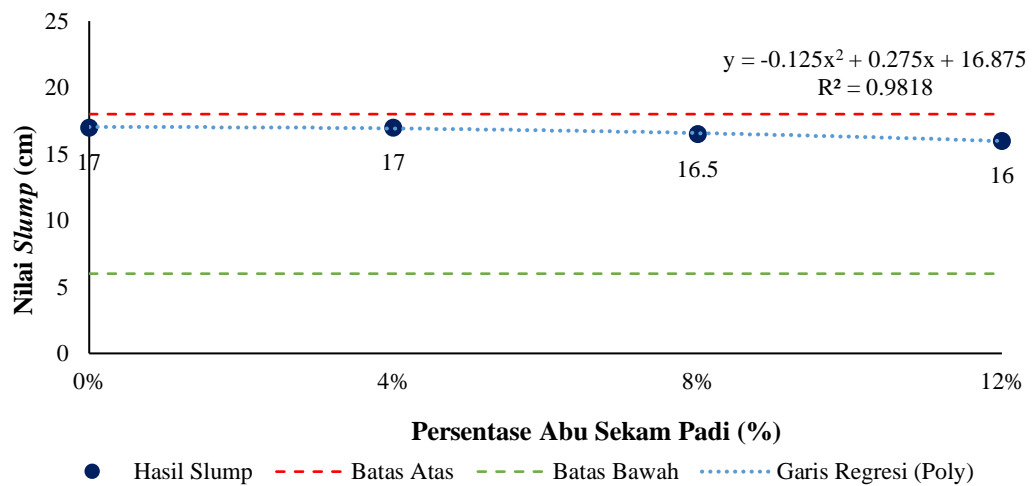


Gambar L-5.9 Beton Geopolimer

Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Keleccakan (*Workability*) Beton Geopolimer

Benda Uji	Variasi Abu Sekam Padi (%)	Tinggi <i>Slump</i> (cm)	Ketetapan <i>Slump</i> (cm)	Keterangan
BN	-	14	6 – 18	Memenuhi
BG0	0%	17	6 – 18	Memenuhi
BG4	4%	17	6 – 18	Memenuhi
BG8	8%	16.5	6 – 18	Memenuhi
BG12	12%	16	6 – 18	Memenuhi

GRAFIK NILAI SLUMP

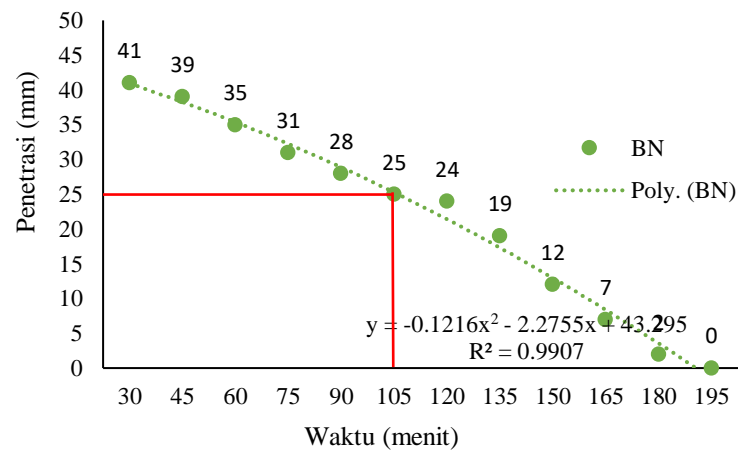


Lampiran 8 Data Hasil Pengujian *Setting Time* Beton Geopolimer

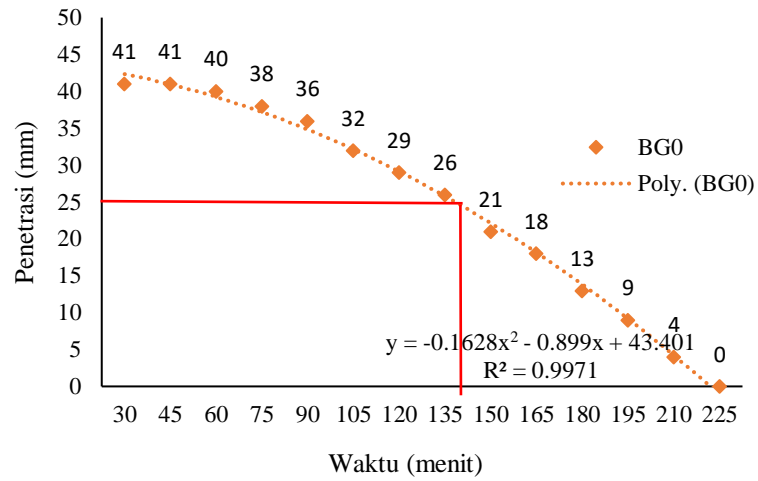
No	Waktu (menit)	Penurunan Jarum Vicat (mm)				
		BN	BG0	BG4	BG8	BG12
1	30	41	41	41	41	41
2	45	39	41	41	40	38
3	60	35	40	40	34	35
4	75	31	38	38	32	31
5	90	28	36	34	29	28
6	105	25	32	31	26	25
7	120	23	29	29	24	22
8	135	19	26	25	21	17
9	150	12	21	23	18	14
10	165	7	18	19	13	8
11	180	2	13	14	11	4
12	195	0	9	9	6	0
13	210	-	4	6	0	-
14	225	-	0	0	-	-

GRAFIK PENURUNAN JARUM VICAT

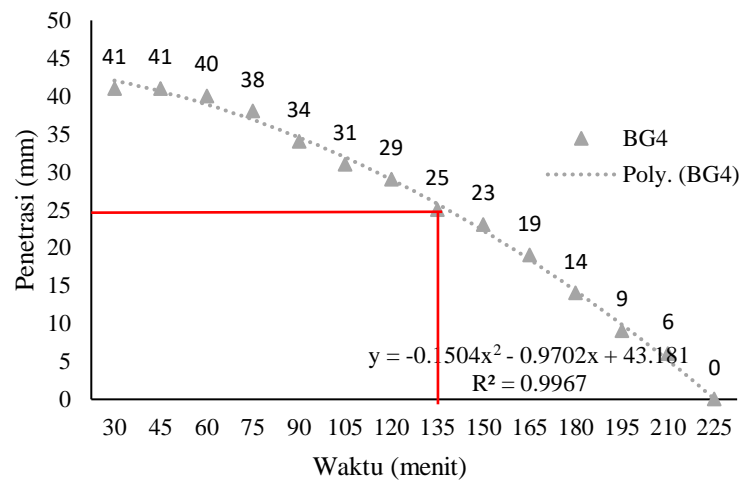
Grafik Pengujian *Setting Time* BN



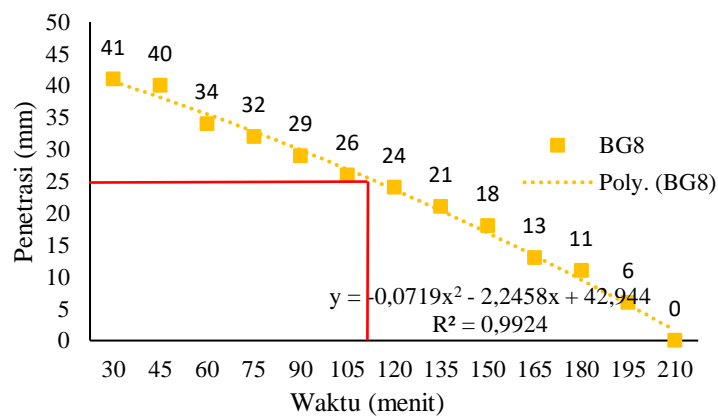
Grafik Pengujian *Setting Time* BG0



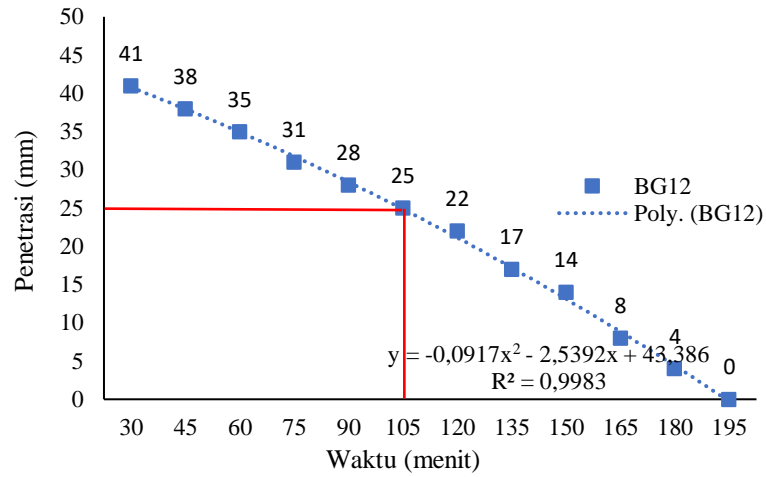
Grafik Pengujian *Setting Time* BG4



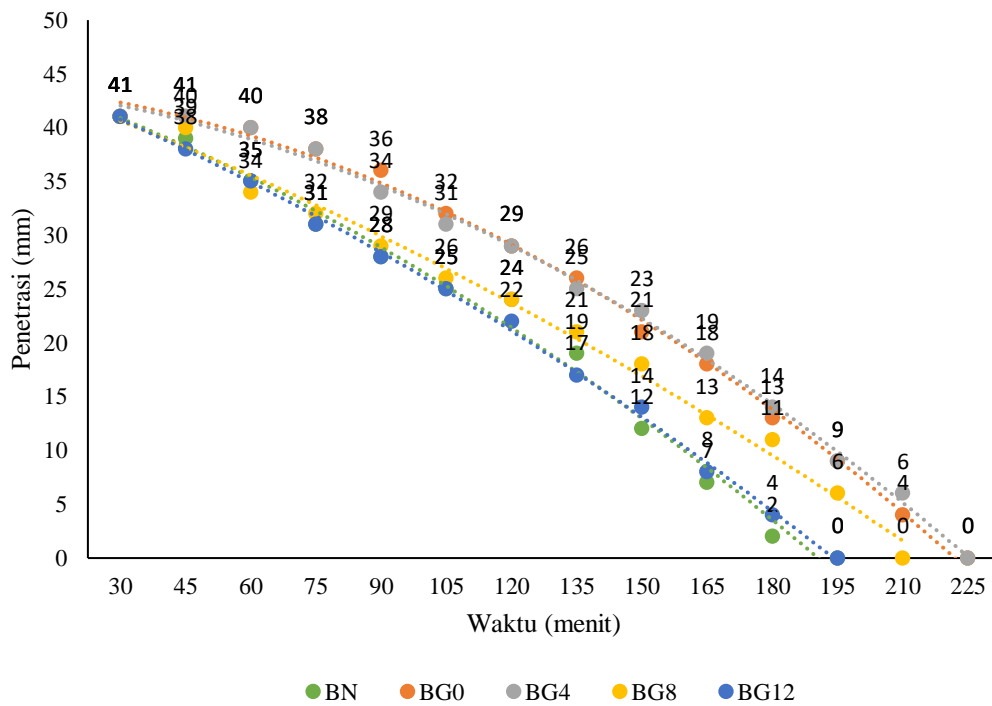
Grafik Pengujian *Setting Time* BG8



Grafik Pengujian *Setting Time* BG12



GRAFIK REKAPITULASI PENGUJIAN *SETTING TIME*



Lampiran 9 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Kode Benda Uji		Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan f'c = P/A (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
		Diameter (mm)	Tinggi (mm)				
BN	1	150,200	301,250	17718,614	381,9	21,554	22,060
	2	150,350	300,550	17754,022	396,4	22,327	
	3	150,350	300,550	17754,022	395,9	22,299	
BG0	1	151,000	302,050	17907,864	406,3	22,688	21,413
	2	151,200	302,850	17955,333	372,2	20,729	
	3	150,900	302,800	17884,152	372,4	20,823	
BG4	1	149,950	302,000	17659,680	441,2	24,983	22,152
	2	150,550	301,950	17801,287	399,8	22,459	
	3	150,400	301,800	17765,832	337,8	19,014	
BG8	1	150,800	302,000	17860,457	658,9	36,892	35,976
	2	150,700	302,100	17836,777	586,4	32,876	
	3	150,350	302,700	17754,022	677,5	38,160	
BG12	1	150,550	303,000	17801,287	519,6	29,189	29,804
	2	151,100	302,900	17931,590	514,7	28,704	
	3	151,050	301,650	17919,725	564,8	31,518	

Lampiran 10 Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Geopolimer

Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 1

I. Data Benda Uji

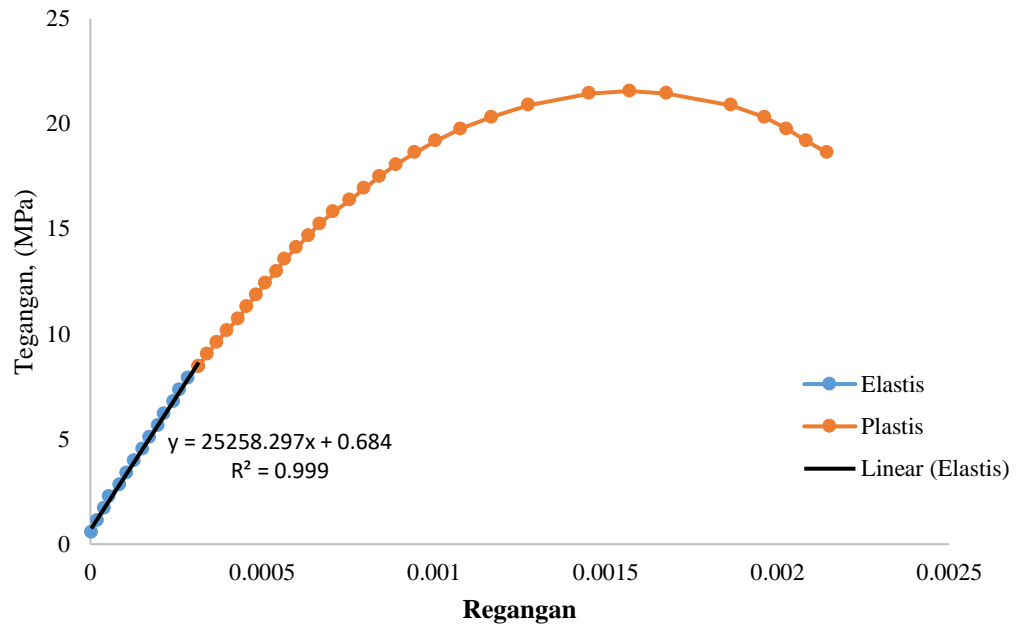
No. Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	-	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,55	MPa
Diameter	150,20	mm
Tinggi	301,25	mm
Luas Penampang	17718,61	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	1	0.0005	0.0000025	0.5644
20	20000	8	0.004	0.00002	1.1288
30	30000	16	0.008	0.000040	1.6931
40	40000	22	0.011	0.000055	2.2575
50	50000	34	0.017	0.000085	2.8219
60	60000	42	0.021	0.000105	3.3863
70	70000	51	0.0255	0.0001275	3.9506
80	80000	61	0.0305	0.0001525	4.5150
90	90000	69	0.0345	0.0001725	5.0794
100	100000	79	0.0395	0.0001975	5.6438
110	110000	86	0.043	0.000215	6.2082
120	120000	97	0.0485	0.0002425	6.7725
130	130000	104	0.052	0.00026	7.3369
140	140000	114	0.057	0.000285	7.9013
150	150000	126	0.063	0.000315	8.4657
160	160000	136	0.068	0.00034	9.0301
170	170000	147	0.0735	0.0003675	9.5944
180	180000	159	0.0795	0.0003975	10.1588

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
190	190000	172	0.086	0.00043	10.7232
200	200000	182	0.091	0.000455	11.2876
210	210000	193	0.0965	0.0004825	11.8519
220	220000	204	0.102	0.00051	12.4163
230	230000	217	0.1085	0.0005425	12.9807
240	240000	226	0.113	0.000565	13.5451
250	250000	240	0.12	0.0006	14.1095
260	260000	254	0.127	0.000635	14.6738
270	270000	267	0.1335	0.0006675	15.2382
280	280000	283	0.1415	0.0007075	15.8026
290	290000	302	0.151	0.000755	16.3670
300	300000	319	0.1595	0.0007975	16.9313
310	310000	337	0.1685	0.0008425	17.4957
320	320000	356	0.178	0.00089	18.0601
330	330000	378	0.189	0.000945	18.6245
340	340000	402	0.201	0.001005	19.1889
350	350000	431	0.2155	0.0010775	19.7532
360	360000	467	0.2335	0.0011675	20.3176
370	370000	510	0.255	0.001275	20.8820
380	380000	581	0.2905	0.0014525	21.4464
382	382000	628	0.314	0.00157	21.5592
380	380000	671	0.3355	0.0016775	21.4464
370	370000	746	0.373	0.001865	20.8820
360	360000	785	0.3925	0.0019625	20.3176
350	350000	811	0.4055	0.0020275	19.7532
340	340000	834	0.417	0.002085	19.1889
330	330000	858	0.429	0.002145	18.6245

**Grafik Modulus Elastisitas
BN Sampel 1**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	25258,297 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	21820.154 Mpa

Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 2

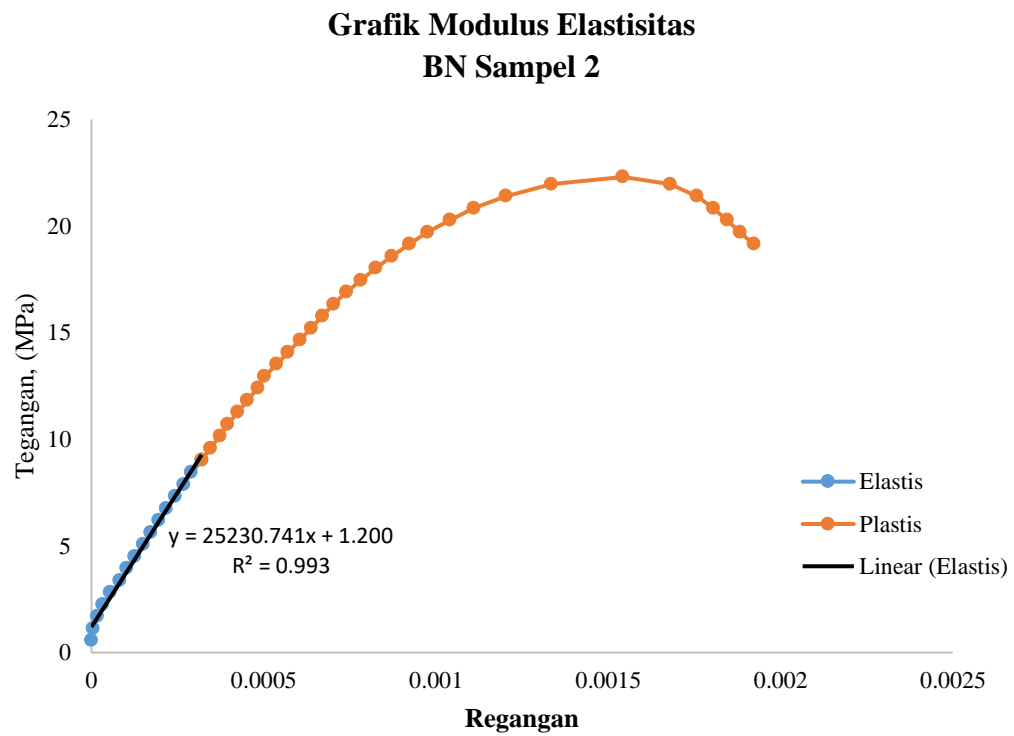
I. Data Benda Uji

No. Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	-	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,33	MPa
Diameter	150,35	mm
Tinggi	300,55	mm
Luas Penampang	17754,02	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0	0.5633
20	20000	2	0.001	0.000005	1.1265
30	30000	7	0.0035	0.0000175	1.6898
40	40000	13	0.0065	0.0000325	2.2530
50	50000	22	0.011	0.000055	2.8163
60	60000	33	0.0165	0.0000825	3.3795
70	70000	41	0.0205	0.0001025	3.9428
80	80000	50	0.025	0.000125	4.5060
90	90000	60	0.03	0.00015	5.0693
100	100000	69	0.0345	0.0001725	5.6325
110	110000	78	0.039	0.000195	6.1958
120	120000	87	0.0435	0.0002175	6.7590
130	130000	97	0.0485	0.0002425	7.3223
140	140000	107	0.0535	0.0002675	7.8855
150	150000	116	0.058	0.00029	8.4488
160	160000	128	0.064	0.00032	9.0120
170	170000	138	0.069	0.000345	9.5753
180	180000	149	0.0745	0.0003725	10.1385
190	190000	158	0.079	0.000395	10.7018
200	200000	170	0.085	0.000425	11.2651

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	181	0.0905	0.0004525	11.8283
220	220000	193	0.0965	0.0004825	12.3916
230	230000	201	0.1005	0.0005025	12.9548
240	240000	215	0.1075	0.0005375	13.5181
250	250000	228	0.114	0.00057	14.0813
260	260000	242	0.121	0.000605	14.6446
270	270000	255	0.1275	0.0006375	15.2078
280	280000	268	0.134	0.00067	15.7711
290	290000	281	0.1405	0.0007025	16.3343
300	300000	296	0.148	0.00074	16.8976
310	310000	313	0.1565	0.0007825	17.4608
320	320000	330	0.165	0.000825	18.0241
330	330000	349	0.1745	0.0008725	18.5873
340	340000	369	0.1845	0.0009225	19.1506
350	350000	390	0.195	0.000975	19.7138
360	360000	416	0.208	0.00104	20.2771
370	370000	444	0.222	0.00111	20.8403
380	380000	481	0.2405	0.0012025	21.4036
390	390000	534	0.267	0.001335	21.9669
396	396000	617	0.3085	0.0015425	22.3048
390	390000	672	0.336	0.00168	21.9669
380	380000	703	0.3515	0.0017575	21.4036
370	370000	722	0.361	0.001805	20.8403
360	360000	738	0.369	0.001845	20.2771
350	350000	753	0.3765	0.0018825	19.7138
340	340000	769	0.3845	0.0019225	19.1506



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	25230,741 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	22208,351 Mpa

Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 3

I. Data Benda Uji

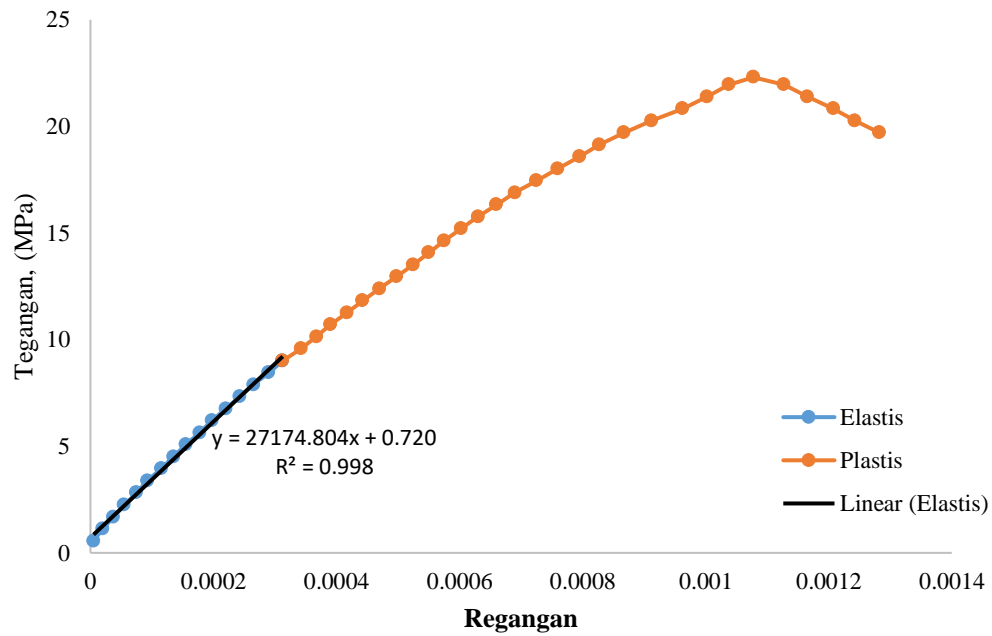
No. Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	-	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,30	MPa
Diameter	150,35	mm
Tinggi	300,55	mm
Luas Penampang	17754,02	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0.001	0.000005	0.5633
20	20000	8	0.004	0.00002	1.1265
30	30000	15	0.0075	0.0000375	1.6898
40	40000	22	0.011	0.000055	2.2530
50	50000	30	0.015	0.000075	2.8163
60	60000	37	0.0185	0.0000925	3.3795
70	70000	46	0.023	0.000115	3.9428
80	80000	54	0.027	0.000135	4.5060
90	90000	62	0.031	0.000155	5.0693
100	100000	71	0.0355	0.0001775	5.6325
110	110000	79	0.0395	0.0001975	6.1958
120	120000	88	0.044	0.00022	6.7590
130	130000	97	0.0485	0.0002425	7.3223
140	140000	106	0.053	0.000265	7.8855
150	150000	116	0.058	0.00029	8.4488
160	160000	125	0.0625	0.0003125	9.0120
170	170000	137	0.0685	0.0003425	9.5753
180	180000	147	0.0735	0.0003675	10.1385
190	190000	156	0.078	0.00039	10.7018
200	200000	167	0.0835	0.0004175	11.2651

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	177	0.0885	0.0004425	11.8283
220	220000	188	0.094	0.00047	12.3916
230	230000	199	0.0995	0.0004975	12.9548
240	240000	210	0.105	0.000525	13.5181
250	250000	220	0.11	0.00055	14.0813
260	260000	230	0.115	0.000575	14.6446
270	270000	241	0.1205	0.0006025	15.2078
280	280000	252	0.126	0.00063	15.7711
290	290000	264	0.132	0.00066	16.3343
300	300000	276	0.138	0.00069	16.8976
310	310000	290	0.145	0.000725	17.4608
320	320000	304	0.152	0.00076	18.0241
330	330000	318	0.159	0.000795	18.5873
340	340000	331	0.1655	0.0008275	19.1506
350	350000	347	0.1735	0.0008675	19.7138
360	360000	365	0.1825	0.0009125	20.2771
370	370000	385	0.1925	0.0009625	20.8403
380	380000	401	0.2005	0.0010025	21.4036
390	390000	415	0.2075	0.0010375	21.9669
396	396000	431	0.2155	0.0010775	22.3048
390	390000	451	0.2255	0.0011275	21.9669
380	380000	466	0.233	0.001165	21.4036
370	370000	483	0.2415	0.0012075	20.8403
360	360000	497	0.2485	0.0012425	20.2771
350	350000	513	0.2565	0.0012825	19.7138

**Grafik Modulus Elastisitas
BN Sampel 3**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	27174,804 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	22194,340 Mpa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 0% Sampel 1

I. Data Benda Uji

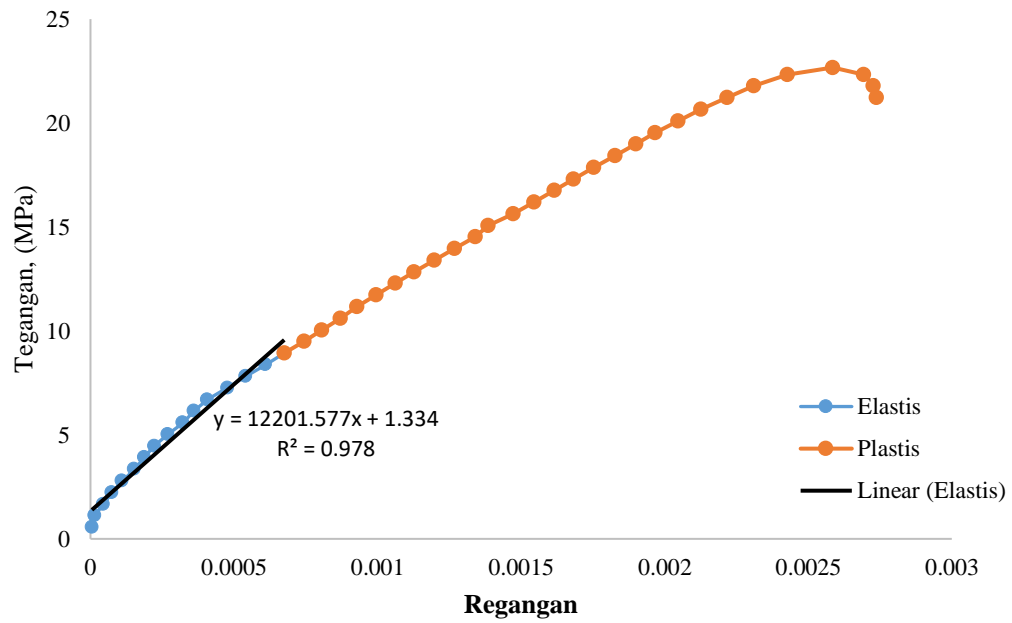
No. Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	0	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,69	MPa
Diameter	151,00	mm
Tinggi	302,05	mm
Luas Penampang	17907,86	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0.001	0.000005	0.5584
20	20000	6	0.003	0.000015	1.1168
30	30000	18	0.009	0.000045	1.6752
40	40000	30	0.015	0.000075	2.2337
50	50000	44	0.022	0.00011	2.7921
60	60000	61	0.0305	0.0001525	3.3505
70	70000	75	0.0375	0.0001875	3.9089
80	80000	89	0.0445	0.0002225	4.4673
90	90000	108	0.054	0.00027	5.0257
100	100000	129	0.0645	0.0003225	5.5841
110	110000	144	0.072	0.00036	6.1426
120	120000	163	0.0815	0.0004075	6.7010
130	130000	191	0.0955	0.0004775	7.2594
140	140000	216	0.108	0.00054	7.8178
150	150000	244	0.122	0.00061	8.3762
160	160000	270	0.135	0.000675	8.9346
170	170000	298	0.149	0.000745	9.4930
180	180000	322	0.161	0.000805	10.0515
190	190000	348	0.174	0.00087	10.6099
200	200000	371	0.1855	0.0009275	11.1683

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	398	0.199	0.000995	11.7267
220	220000	425	0.2125	0.0010625	12.2851
230	230000	451	0.2255	0.0011275	12.8435
240	240000	479	0.2395	0.0011975	13.4019
250	250000	507	0.2535	0.0012675	13.9603
260	260000	536	0.268	0.00134	14.5188
270	270000	554	0.277	0.001385	15.0772
280	280000	589	0.2945	0.0014725	15.6356
290	290000	618	0.309	0.001545	16.1940
300	300000	646	0.323	0.001615	16.7524
310	310000	673	0.3365	0.0016825	17.3108
320	320000	701	0.3505	0.0017525	17.8692
330	330000	731	0.3655	0.0018275	18.4277
340	340000	760	0.38	0.0019	18.9861
350	350000	787	0.3935	0.0019675	19.5445
360	360000	819	0.4095	0.0020475	20.1029
370	370000	851	0.4255	0.0021275	20.6613
380	380000	887	0.4435	0.0022175	21.2197
390	390000	924	0.462	0.00231	21.7781
400	400000	971	0.4855	0.0024275	22.3366
406	406000	1034	0.517	0.002585	22.6716
400	400000	1077	0.5385	0.0026925	22.3366
390	390000	1091	0.5455	0.0027275	21.7781
380	380000	1095	0.5475	0.0027375	21.2197

**Grafik Modulus Elastisitas
BG0 Sampel 1**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	12201,577 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	22387,179 MPa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	15632.920 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 0% Sampel 2

I. Data Benda Uji

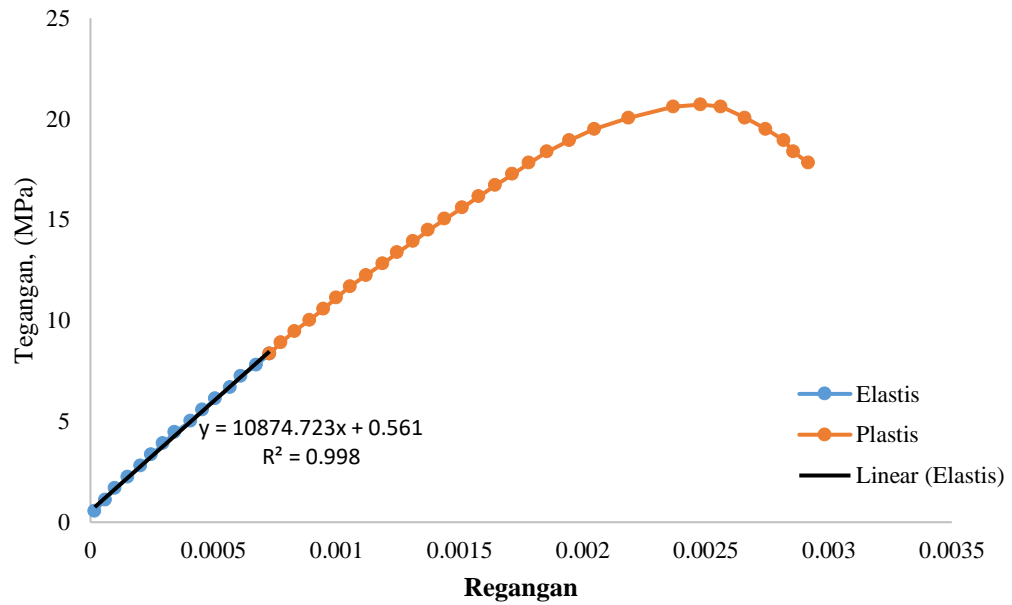
No. Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	0	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,73	MPa
Diameter	151,20	mm
Tinggi	302,85	mm
Luas Penampang	17955,33	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	7	0.0035	0.0000175	0.5569
20	20000	24	0.012	0.00006	1.1139
30	30000	40	0.02	0.0001	1.6708
40	40000	61	0.0305	0.0001525	2.2278
50	50000	82	0.041	0.000205	2.7847
60	60000	99	0.0495	0.0002475	3.3416
70	70000	118	0.059	0.000295	3.8986
80	80000	137	0.0685	0.0003425	4.4555
90	90000	163	0.0815	0.0004075	5.0124
100	100000	182	0.091	0.000455	5.5694
110	110000	203	0.1015	0.0005075	6.1263
120	120000	227	0.1135	0.0005675	6.6833
130	130000	245	0.1225	0.0006125	7.2402
140	140000	270	0.135	0.000675	7.7971
150	150000	291	0.1455	0.0007275	8.3541
160	160000	310	0.155	0.000775	8.9110
170	170000	332	0.166	0.00083	9.4679
180	180000	356	0.178	0.00089	10.0249
190	190000	379	0.1895	0.0009475	10.5818
200	200000	400	0.2	0.001	11.1388

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	422	0.211	0.001055	11.6957
220	220000	448	0.224	0.00112	12.2526
230	230000	475	0.2375	0.0011875	12.8096
240	240000	499	0.2495	0.0012475	13.3665
250	250000	525	0.2625	0.0013125	13.9234
260	260000	549	0.2745	0.0013725	14.4804
270	270000	576	0.288	0.00144	15.0373
280	280000	604	0.302	0.00151	15.5943
290	290000	631	0.3155	0.0015775	16.1512
300	300000	658	0.329	0.001645	16.7081
310	310000	686	0.343	0.001715	17.2651
320	320000	713	0.3565	0.0017825	17.8220
330	330000	742	0.371	0.001855	18.3789
340	340000	779	0.3895	0.0019475	18.9359
350	350000	819	0.4095	0.0020475	19.4928
360	360000	875	0.4375	0.0021875	20.0498
370	370000	948	0.474	0.00237	20.6067
372	372000	992	0.496	0.00248	20.7181
370	370000	1025	0.5125	0.0025625	20.6067
360	360000	1064	0.532	0.00266	20.0498
350	350000	1098	0.549	0.002745	19.4928
340	340000	1127	0.5635	0.0028175	18.9359
330	330000	1143	0.5715	0.0028575	18.3789
320	320000	1167	0.5835	0.0029175	17.8220

**Grafik Modulus Elastisitas
BG0 Sampel 2**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	10874,723 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	21397,795 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	14942,733 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 0% Sampel 3

I. Data Benda Uji

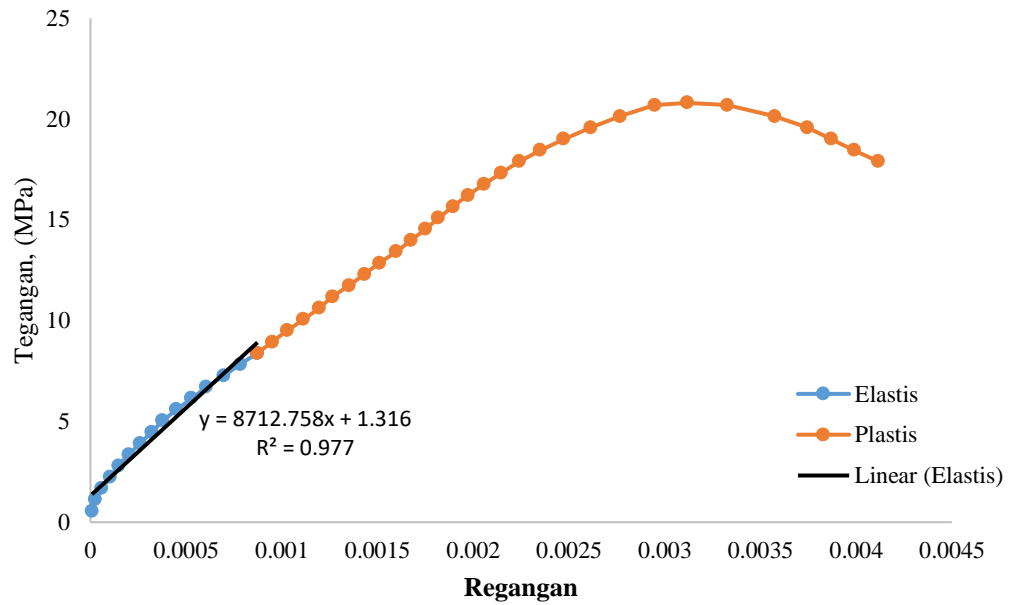
No. Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	0	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,82	MPa
Diameter	151,20	mm
Tinggi	302,85	mm
Luas Penampang	17955,33	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0.0015	0.0000075	0.5592
20	20000	10	0.005	0.000025	1.1183
30	30000	24	0.012	0.00006	1.6775
40	40000	41	0.0205	0.0001025	2.2366
50	50000	59	0.0295	0.0001475	2.7958
60	60000	80	0.04	0.0002	3.3549
70	70000	104	0.052	0.00026	3.9141
80	80000	128	0.064	0.00032	4.4732
90	90000	151	0.0755	0.0003775	5.0324
100	100000	180	0.09	0.00045	5.5915
110	110000	211	0.1055	0.0005275	6.1507
120	120000	242	0.121	0.000605	6.7099
130	130000	279	0.1395	0.0006975	7.2690
140	140000	313	0.1565	0.0007825	7.8282
150	150000	349	0.1745	0.0008725	8.3873
160	160000	380	0.19	0.00095	8.9465
170	170000	411	0.2055	0.0010275	9.5056
180	180000	445	0.2225	0.0011125	10.0648
190	190000	478	0.239	0.001195	10.6239
200	200000	506	0.253	0.001265	11.1831

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	541	0.2705	0.0013525	11.7422
220	220000	573	0.2865	0.0014325	12.3014
230	230000	604	0.302	0.00151	12.8605
240	240000	639	0.3195	0.0015975	13.4197
250	250000	670	0.335	0.001675	13.9789
260	260000	700	0.35	0.00175	14.5380
270	270000	727	0.3635	0.0018175	15.0972
280	280000	758	0.379	0.001895	15.6563
290	290000	789	0.3945	0.0019725	16.2155
300	300000	823	0.4115	0.0020575	16.7746
310	310000	859	0.4295	0.0021475	17.3338
320	320000	896	0.448	0.00224	17.8929
330	330000	940	0.47	0.00235	18.4521
340	340000	989	0.4945	0.0024725	19.0112
350	350000	1046	0.523	0.002615	19.5704
360	360000	1107	0.5535	0.0027675	20.1296
370	370000	1179	0.5895	0.0029475	20.6887
372	372000	1248	0.624	0.00312	20.8005
370	370000	1331	0.6655	0.0033275	20.6887
360	360000	1430	0.715	0.003575	20.1296
350	350000	1498	0.749	0.003745	19.5704
340	340000	1548	0.774	0.00387	19.0112
330	330000	1596	0.798	0.00399	18.4521
320	320000	1647	0.8235	0.0041175	17.8929

**Grafik Modulus Elastisitas
BG0 Sampel 3**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	8712,758 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	21447,357 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	14976,462 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 4% Sampel 1

I. Data Benda Uji

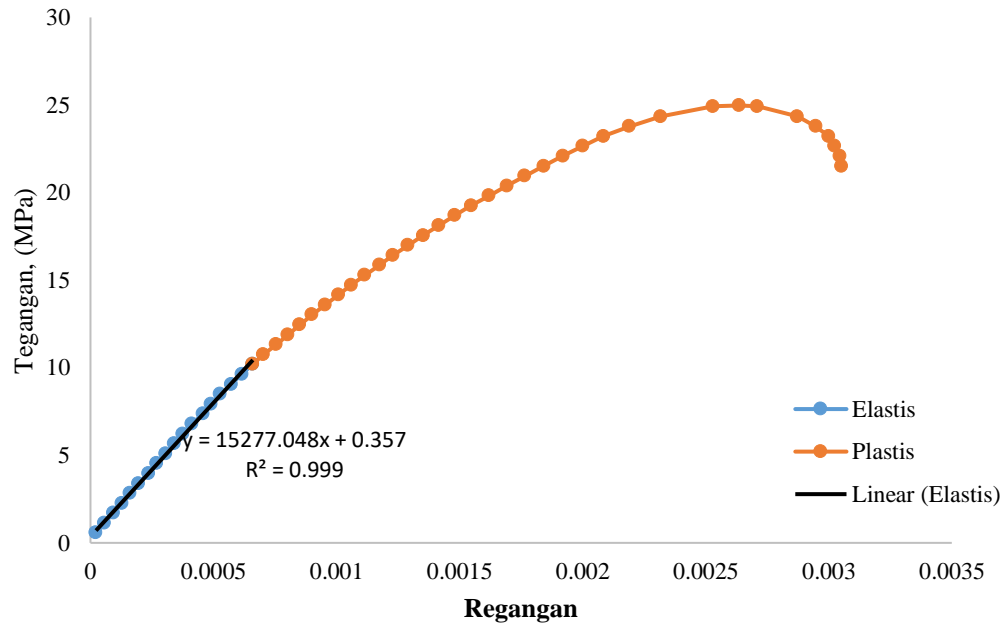
No. Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	4	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,98	MPa
Diameter	149,95	mm
Tinggi	302,00	mm
Luas Penampang	17659,68	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	9	0.0045	0.0000225	0.5663
20	20000	23	0.0115	0.0000575	1.1325
30	30000	37	0.0185	0.0000925	1.6988
40	40000	51	0.0255	0.0001275	2.2650
50	50000	64	0.032	0.00016	2.8313
60	60000	78	0.039	0.000195	3.3976
70	70000	95	0.0475	0.0002375	3.9638
80	80000	108	0.054	0.00027	4.5301
90	90000	122	0.061	0.000305	5.0964
100	100000	136	0.068	0.00034	5.6626
110	110000	150	0.075	0.000375	6.2289
120	120000	165	0.0825	0.0004125	6.7951
130	130000	183	0.0915	0.0004575	7.3614
140	140000	196	0.098	0.00049	7.9277
150	150000	211	0.1055	0.0005275	8.4939
160	160000	229	0.1145	0.0005725	9.0602
170	170000	246	0.123	0.000615	9.6264
180	180000	264	0.132	0.00066	10.1927
190	190000	281	0.1405	0.0007025	10.7590
200	200000	302	0.151	0.000755	11.3252

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	321	0.1605	0.0008025	11.8915
220	220000	340	0.17	0.00085	12.4578
230	230000	360	0.18	0.0009	13.0240
240	240000	382	0.191	0.000955	13.5903
250	250000	403	0.2015	0.0010075	14.1565
260	260000	424	0.212	0.00106	14.7228
270	270000	446	0.223	0.001115	15.2891
280	280000	470	0.235	0.001175	15.8553
290	290000	492	0.246	0.00123	16.4216
300	300000	516	0.258	0.00129	16.9879
310	310000	541	0.2705	0.0013525	17.5541
320	320000	566	0.283	0.001415	18.1204
330	330000	592	0.296	0.00148	18.6866
340	340000	619	0.3095	0.0015475	19.2529
350	350000	648	0.324	0.00162	19.8192
360	360000	677	0.3385	0.0016925	20.3854
370	370000	706	0.353	0.001765	20.9517
380	380000	737	0.3685	0.0018425	21.5179
390	390000	768	0.384	0.00192	22.0842
400	400000	800	0.4	0.002	22.6505
410	410000	834	0.417	0.002085	23.2167
420	420000	876	0.438	0.00219	23.7830
430	430000	927	0.4635	0.0023175	24.3493
440	440000	1012	0.506	0.00253	24.9155
441	441000	1054	0.527	0.002635	24.9721
440	440000	1084	0.542	0.00271	24.9155
430	430000	1149	0.5745	0.0028725	24.3493
420	420000	1179	0.5895	0.0029475	23.7830
410	410000	1200	0.6	0.003	23.2167
400	400000	1210	0.605	0.003025	22.6505
390	390000	1218	0.609	0.003045	22.0842
380	380000	1221	0.6105	0.0030525	21.5179

**Grafik Modulus Elastisitas
BG4 Sampel 1**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	15277,048 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	23492,228 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	16404,573 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 4% Sampel 2

I. Data Benda Uji

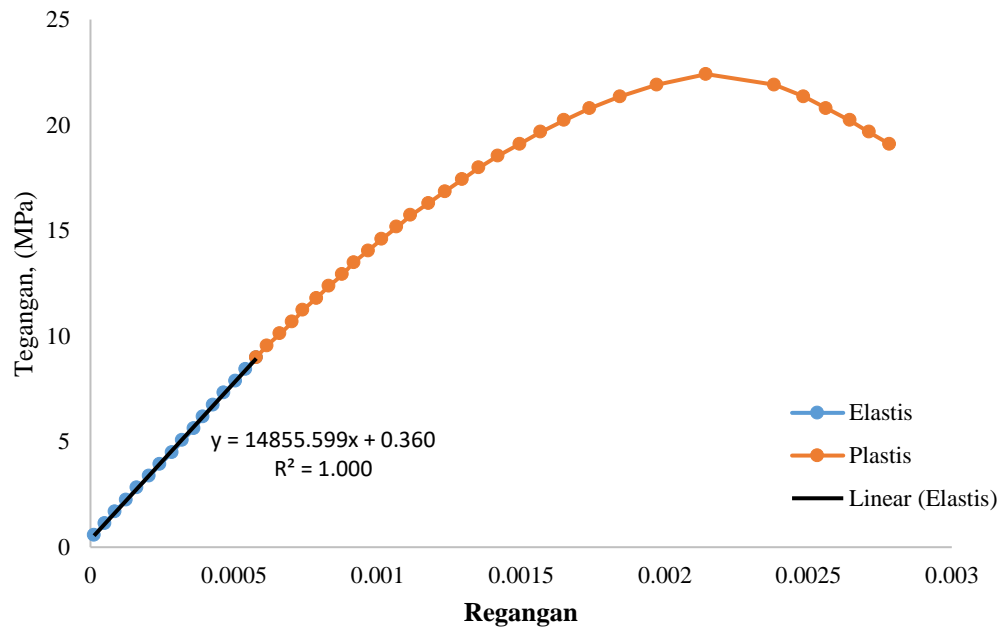
No. Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	4	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,46	MPa
Diameter	150,55	mm
Tinggi	301,95	mm
Luas Penampang	17801,29	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	5	0.0025	0.0000125	0.5618
20	20000	20	0.01	0.00005	1.1235
30	30000	34	0.017	0.000085	1.6853
40	40000	50	0.025	0.000125	2.2470
50	50000	65	0.0325	0.0001625	2.8088
60	60000	82	0.041	0.000205	3.3705
70	70000	97	0.0485	0.0002425	3.9323
80	80000	114	0.057	0.000285	4.4941
90	90000	128	0.064	0.00032	5.0558
100	100000	144	0.072	0.00036	5.6176
110	110000	157	0.0785	0.0003925	6.1793
120	120000	171	0.0855	0.0004275	6.7411
130	130000	186	0.093	0.000465	7.3028
140	140000	202	0.101	0.000505	7.8646
150	150000	216	0.108	0.00054	8.4264
160	160000	231	0.1155	0.0005775	8.9881
170	170000	246	0.123	0.000615	9.5499
180	180000	264	0.132	0.00066	10.1116
190	190000	281	0.1405	0.0007025	10.6734
200	200000	296	0.148	0.00074	11.2351

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	315	0.1575	0.0007875	11.7969
220	220000	332	0.166	0.00083	12.3587
230	230000	351	0.1755	0.0008775	12.9204
240	240000	367	0.1835	0.0009175	13.4822
250	250000	387	0.1935	0.0009675	14.0439
260	260000	406	0.203	0.001015	14.6057
270	270000	427	0.2135	0.0010675	15.1674
280	280000	446	0.223	0.001115	15.7292
290	290000	471	0.2355	0.0011775	16.2910
300	300000	494	0.247	0.001235	16.8527
310	310000	518	0.259	0.001295	17.4145
320	320000	541	0.2705	0.0013525	17.9762
330	330000	568	0.284	0.00142	18.5380
340	340000	598	0.299	0.001495	19.0997
350	350000	627	0.3135	0.0015675	19.6615
360	360000	660	0.33	0.00165	20.2233
370	370000	696	0.348	0.00174	20.7850
380	380000	738	0.369	0.001845	21.3468
390	390000	789	0.3945	0.0019725	21.9085
399	399000	858	0.429	0.002145	22.4141
390	390000	953	0.4765	0.0023825	21.9085
380	380000	994	0.497	0.002485	21.3468
370	370000	1025	0.5125	0.0025625	20.7850
360	360000	1058	0.529	0.002645	20.2233
350	350000	1085	0.5425	0.0027125	19.6615
340	340000	1113	0.5565	0.0027825	19.0997

**Grafik Modulus Elastisitas
BG4 Sampel 2**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	14855,599 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	22273,761 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	15553,720 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 4% Sampel 3

I. Data Benda Uji

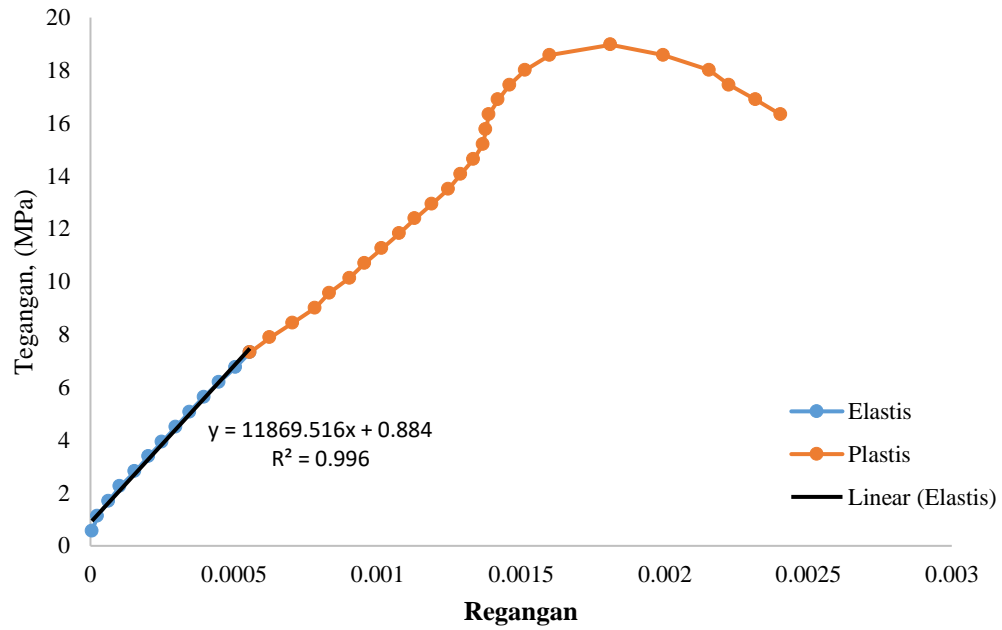
No. Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	4	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	19,01	MPa
Diameter	150,40	mm
Tinggi	301,80	mm
Luas Penampang	17765,83	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0.001	0.000005	0.5629
20	20000	10	0.005	0.000025	1.1258
30	30000	25	0.0125	0.0000625	1.6886
40	40000	41	0.0205	0.0001025	2.2515
50	50000	62	0.031	0.000155	2.8144
60	60000	81	0.0405	0.0002025	3.3773
70	70000	100	0.05	0.00025	3.9401
80	80000	119	0.0595	0.0002975	4.5030
90	90000	138	0.069	0.000345	5.0659
100	100000	158	0.079	0.000395	5.6288
110	110000	179	0.0895	0.0004475	6.1917
120	120000	202	0.101	0.000505	6.7545
130	130000	222	0.111	0.000555	7.3174
140	140000	250	0.125	0.000625	7.8803
150	150000	282	0.141	0.000705	8.4432
160	160000	313	0.1565	0.0007825	9.0061
170	170000	333	0.1665	0.0008325	9.5689
180	180000	361	0.1805	0.0009025	10.1318
190	190000	382	0.191	0.000955	10.6947
200	200000	406	0.203	0.001015	11.2576

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	430	0.215	0.001075	11.8204
220	220000	452	0.226	0.00113	12.3833
230	230000	476	0.238	0.00119	12.9462
240	240000	499	0.2495	0.0012475	13.5091
250	250000	516	0.258	0.00129	14.0720
260	260000	534	0.267	0.001335	14.6348
270	270000	547	0.2735	0.0013675	15.1977
280	280000	551	0.2755	0.0013775	15.7606
290	290000	555	0.2775	0.0013875	16.3235
300	300000	568	0.284	0.00142	16.8863
310	310000	584	0.292	0.00146	17.4492
320	320000	606	0.303	0.001515	18.0121
330	330000	640	0.32	0.0016	18.5750
337	337000	725	0.3625	0.0018125	18.9690
330	330000	798	0.399	0.001995	18.5750
320	320000	862	0.431	0.002155	18.0121
310	310000	890	0.445	0.002225	17.4492
300	300000	927	0.4635	0.0023175	16.8863
290	290000	962	0.481	0.002405	16.3235

**Grafik Modulus Elastisitas
BG4 Sampel 3**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	11869,516 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	20494,386 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	14311,186 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 8% Sampel 1

I. Data Benda Uji

No. Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	8	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	36,89	MPa
Diameter	150,80	mm
Tinggi	302,00	mm
Luas Penampang	17860,46	mm ²
Lo	200	mm

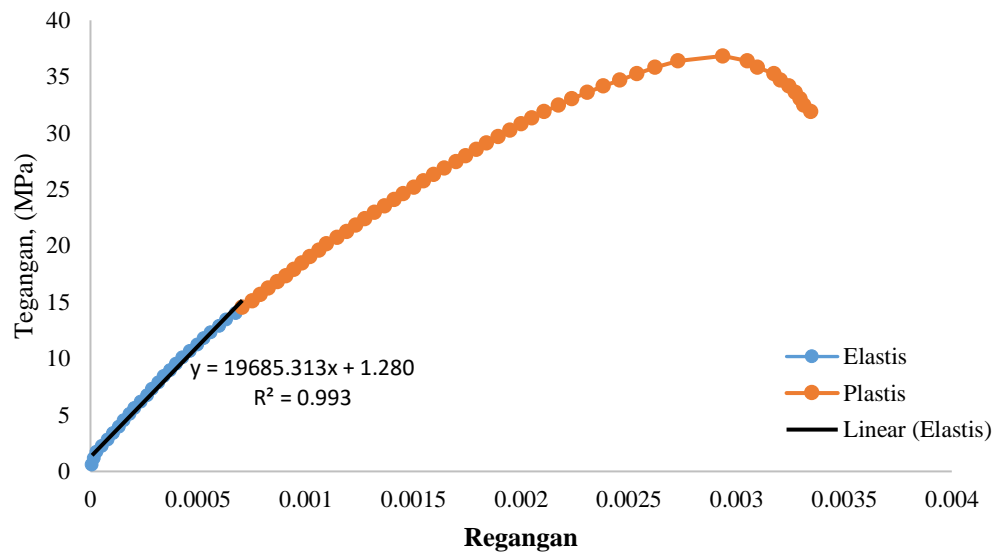
II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0.0015	0.000008	0.5599
20	20000	7	0.0035	0.000018	1.1198
30	30000	12	0.0060	0.000030	1.6797
40	40000	22	0.0110	0.000055	2.2396
50	50000	33	0.0165	0.000083	2.7995
60	60000	43	0.0215	0.000108	3.3594
70	70000	54	0.0270	0.000135	3.9193
80	80000	63	0.0315	0.000158	4.4792
90	90000	73	0.0365	0.000183	5.0391
100	100000	82	0.0410	0.000205	5.5990
110	110000	94	0.0470	0.000235	6.1589
120	120000	106	0.0530	0.000265	6.7188
130	130000	115	0.0575	0.000288	7.2786
140	140000	127	0.0635	0.000318	7.8385
150	150000	137	0.0685	0.000343	8.3984
160	160000	149	0.0745	0.000373	8.9583
170	170000	160	0.0800	0.000400	9.5182
180	180000	172	0.0860	0.000430	10.0781
190	190000	185	0.0925	0.000463	10.6380
200	200000	199	0.0995	0.000498	11.1979

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	211	0.1055	0.000528	11.7578
220	220000	224	0.1120	0.000560	12.3177
230	230000	240	0.1200	0.000600	12.8776
240	240000	253	0.1265	0.000633	13.4375
250	250000	271	0.1355	0.000678	13.9974
260	260000	282	0.1410	0.000705	14.5573
270	270000	301	0.1505	0.000753	15.1172
280	280000	316	0.1580	0.000790	15.6771
290	290000	331	0.1655	0.000828	16.2370
300	300000	347	0.1735	0.000868	16.7969
310	310000	363	0.1815	0.000908	17.3568
320	320000	378	0.1890	0.000945	17.9167
330	330000	393	0.1965	0.000983	18.4766
340	340000	408	0.2040	0.001020	19.0365
350	350000	425	0.2125	0.001063	19.5964
360	360000	439	0.2195	0.001098	20.1563
370	370000	458	0.2290	0.001145	20.7162
380	380000	476	0.2380	0.001190	21.2761
390	390000	493	0.2465	0.001233	21.8359
400	400000	510	0.2550	0.001275	22.3958
410	410000	528	0.2640	0.001320	22.9557
420	420000	547	0.2735	0.001368	23.5156
430	430000	564	0.2820	0.001410	24.0755
440	440000	581	0.2905	0.001453	24.6354
450	450000	601	0.3005	0.001503	25.1953
460	460000	619	0.3095	0.001548	25.7552
470	470000	638	0.3190	0.001595	26.3151
480	480000	658	0.3290	0.001645	26.8750
490	490000	679	0.3395	0.001698	27.4349
500	500000	697	0.3485	0.001743	27.9948
510	510000	717	0.3585	0.001793	28.5547
520	520000	736	0.3680	0.001840	29.1146
530	530000	758	0.3790	0.001895	29.6745
540	540000	779	0.3895	0.001948	30.2344
550	550000	800	0.4000	0.002000	30.7943
560	560000	820	0.4100	0.002050	31.3542
570	570000	843	0.4215	0.002108	31.9141
580	580000	870	0.4350	0.002175	32.4740
590	590000	894	0.4470	0.002235	33.0339

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
600	600000	923	0.4615	0.002308	33.5938
610	610000	953	0.4765	0.002383	34.1537
620	620000	984	0.4920	0.002460	34.7136
630	630000	1015	0.5075	0.002538	35.2735
640	640000	1049	0.5245	0.002623	35.8333
650	650000	1092	0.5460	0.002730	36.3932
658	658000	1175	0.5875	0.002938	36.8412
650	650000	1220	0.6100	0.003050	36.3932
640	640000	1239	0.6195	0.003098	35.8333
630	630000	1270	0.6350	0.003175	35.2735
620	620000	1282	0.6410	0.003205	34.7136
610	610000	1298	0.6490	0.003245	34.1537
600	600000	1310	0.6550	0.003275	33.5938
590	590000	1318	0.6590	0.003295	33.0339
580	580000	1325	0.6625	0.003313	32.4740
570	570000	1338	0.6690	0.003345	31.9141

**Grafik Modulus Elastisitas
BG8 Sampel 1**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	19685,313 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	28547,056 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	19934,349 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 8% Sampel 2

I. Data Benda Uji

No. Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	8	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	32,88	MPa
Diameter	150,70	mm
Tinggi	302,85	mm
Luas Penampang	17836,78	mm ²
Lo	200	mm

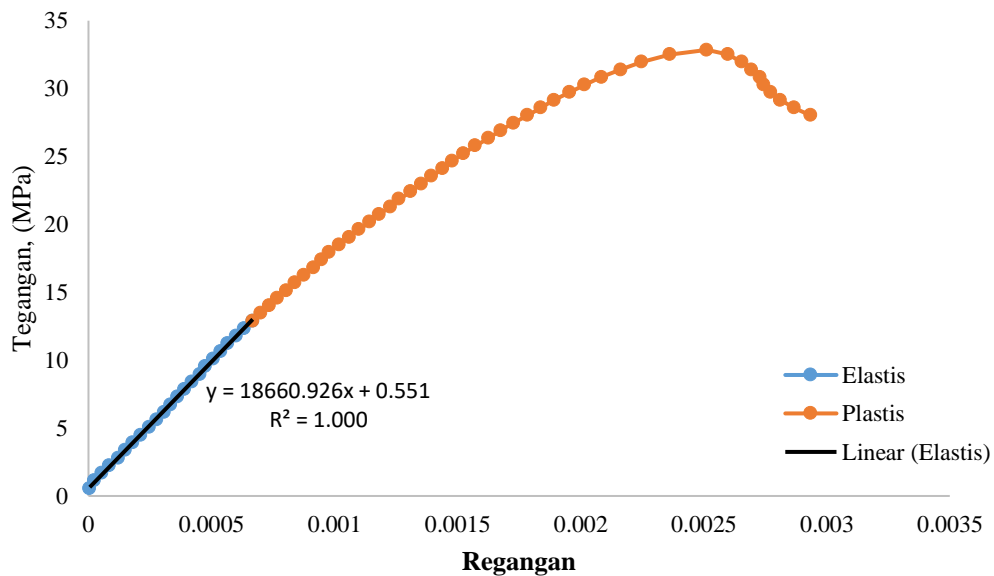
II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0.001	0.000005	0.5606
20	20000	10	0.005	0.000025	1.1213
30	30000	22	0.011	0.000055	1.6819
40	40000	34	0.017	0.000085	2.2426
50	50000	49	0.0245	0.0001225	2.8032
60	60000	60	0.03	0.00015	3.3638
70	70000	72	0.036	0.00018	3.9245
80	80000	85	0.0425	0.0002125	4.4851
90	90000	99	0.0495	0.0002475	5.0458
100	100000	111	0.0555	0.0002775	5.6064
110	110000	123	0.0615	0.0003075	6.1670
120	120000	134	0.067	0.000335	6.7277
130	130000	145	0.0725	0.0003625	7.2883
140	140000	156	0.078	0.00039	7.8490
150	150000	168	0.084	0.00042	8.4096
160	160000	181	0.0905	0.0004525	8.9702
170	170000	190	0.095	0.000475	9.5309
180	180000	203	0.1015	0.0005075	10.0915
190	190000	215	0.1075	0.0005375	10.6521
200	200000	226	0.113	0.000565	11.2128

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	240	0.12	0.0006	11.7734
220	220000	253	0.1265	0.0006325	12.3341
230	230000	267	0.1335	0.0006675	12.8947
240	240000	280	0.14	0.0007	13.4553
250	250000	294	0.147	0.000735	14.0160
260	260000	307	0.1535	0.0007675	14.5766
270	270000	322	0.161	0.000805	15.1373
280	280000	336	0.168	0.00084	15.6979
290	290000	350	0.175	0.000875	16.2585
300	300000	366	0.183	0.000915	16.8192
310	310000	379	0.1895	0.0009475	17.3798
320	320000	391	0.1955	0.0009775	17.9405
330	330000	408	0.204	0.00102	18.5011
340	340000	424	0.212	0.00106	19.0617
350	350000	440	0.22	0.0011	19.6224
360	360000	457	0.2285	0.0011425	20.1830
370	370000	473	0.2365	0.0011825	20.7437
380	380000	491	0.2455	0.0012275	21.3043
390	390000	505	0.2525	0.0012625	21.8649
400	400000	524	0.262	0.00131	22.4256
410	410000	541	0.2705	0.0013525	22.9862
420	420000	558	0.279	0.001395	23.5469
430	430000	576	0.288	0.00144	24.1075
440	440000	591	0.2955	0.0014775	24.6681
450	450000	610	0.305	0.001525	25.2288
460	460000	629	0.3145	0.0015725	25.7894
470	470000	650	0.325	0.001625	26.3501
480	480000	670	0.335	0.001675	26.9107
490	490000	691	0.3455	0.0017275	27.4713
500	500000	714	0.357	0.001785	28.0320
510	510000	735	0.3675	0.0018375	28.5926
520	520000	757	0.3785	0.0018925	29.1532
530	530000	782	0.391	0.001955	29.7139
540	540000	806	0.403	0.002015	30.2745
550	550000	834	0.417	0.002085	30.8352
560	560000	865	0.4325	0.0021625	31.3958
570	570000	899	0.4495	0.0022475	31.9564
580	580000	945	0.4725	0.0023625	32.5171

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
586	586000	1005	0.5025	0.0025125	32.8535
580	580000	1040	0.52	0.0026	32.5171
570	570000	1062	0.531	0.002655	31.9564
560	560000	1078	0.539	0.002695	31.3958
550	550000	1092	0.546	0.00273	30.8352
540	540000	1098	0.549	0.002745	30.2745
530	530000	1109	0.5545	0.0027725	29.7139
520	520000	1125	0.5625	0.0028125	29.1532
510	510000	1147	0.5735	0.0028675	28.5926
500	500000	1174	0.587	0.002935	28.0320

**Grafik Modulus Elastisitas
BG8 Sampel 2**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	18660,926 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	26948,627 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	18818,169 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 8% Sampel 3

I. Data Benda Uji

No. Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	8	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	38,16	MPa
Diameter	150,35	mm
Tinggi	302,70	mm
Luas Penampang	17754,02	mm ²
Lo	200	mm

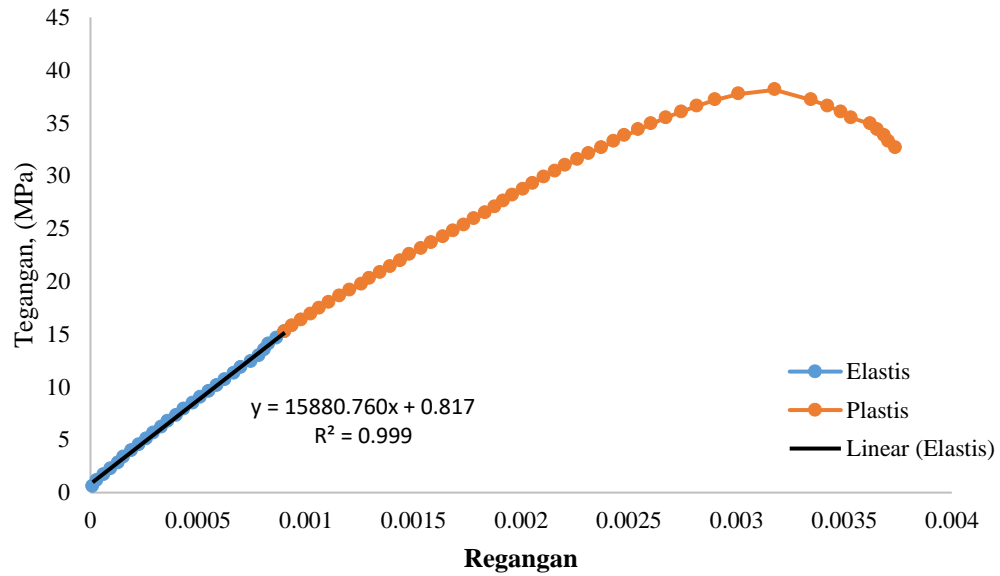
II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	4	0.002	0.00001	0.5633
20	20000	12	0.006	0.00003	1.1265
30	30000	25	0.0125	0.0000625	1.6898
40	40000	38	0.019	0.000095	2.2530
50	50000	52	0.026	0.00013	2.8163
60	60000	62	0.031	0.000155	3.3795
70	70000	76	0.038	0.00019	3.9428
80	80000	90	0.045	0.000225	4.5060
90	90000	104	0.052	0.00026	5.0693
100	100000	117	0.0585	0.0002925	5.6325
110	110000	132	0.066	0.00033	6.1958
120	120000	144	0.072	0.00036	6.7590
130	130000	160	0.08	0.0004	7.3223
140	140000	173	0.0865	0.0004325	7.8855
150	150000	190	0.095	0.000475	8.4488
160	160000	204	0.102	0.00051	9.0120
170	170000	220	0.11	0.00055	9.5753
180	180000	235	0.1175	0.0005875	10.1385
190	190000	250	0.125	0.000625	10.7018
200	200000	267	0.1335	0.0006675	11.2651

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	280	0.14	0.0007	11.8283
220	220000	298	0.149	0.000745	12.3916
230	230000	313	0.1565	0.0007825	12.9548
240	240000	323	0.1615	0.0008075	13.5181
250	250000	331	0.1655	0.0008275	14.0813
260	260000	346	0.173	0.000865	14.6446
270	270000	361	0.1805	0.0009025	15.2078
280	280000	375	0.1875	0.0009375	15.7711
290	290000	391	0.1955	0.0009775	16.3343
300	300000	409	0.2045	0.0010225	16.8976
310	310000	425	0.2125	0.0010625	17.4608
320	320000	443	0.2215	0.0011075	18.0241
330	330000	463	0.2315	0.0011575	18.5873
340	340000	482	0.241	0.001205	19.1506
350	350000	503	0.2515	0.0012575	19.7138
360	360000	518	0.259	0.001295	20.2771
370	370000	538	0.269	0.001345	20.8403
380	380000	557	0.2785	0.0013925	21.4036
390	390000	576	0.288	0.00144	21.9669
400	400000	593	0.2965	0.0014825	22.5301
410	410000	614	0.307	0.001535	23.0934
420	420000	633	0.3165	0.0015825	23.6566
430	430000	655	0.3275	0.0016375	24.2199
440	440000	674	0.337	0.001685	24.7831
450	450000	694	0.347	0.001735	25.3464
460	460000	713	0.3565	0.0017825	25.9096
470	470000	733	0.3665	0.0018325	26.4729
480	480000	751	0.3755	0.0018775	27.0361
490	490000	767	0.3835	0.0019175	27.5994
500	500000	784	0.392	0.00196	28.1626
510	510000	804	0.402	0.00201	28.7259
520	520000	822	0.411	0.002055	29.2891
530	530000	842	0.421	0.002105	29.8524
540	540000	863	0.4315	0.0021575	30.4156
550	550000	882	0.441	0.002205	30.9789
560	560000	905	0.4525	0.0022625	31.5421
570	570000	926	0.463	0.002315	32.1054
580	580000	949	0.4745	0.0023725	32.6687

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
590	590000	972	0.486	0.00243	33.2319
600	600000	992	0.496	0.00248	33.7952
610	610000	1018	0.509	0.002545	34.3584
620	620000	1042	0.521	0.002605	34.9217
630	630000	1069	0.5345	0.0026725	35.4849
640	640000	1098	0.549	0.002745	36.0482
650	650000	1127	0.5635	0.0028175	36.6114
660	660000	1160	0.58	0.0029	37.1747
670	670000	1204	0.602	0.00301	37.7379
677	677000	1271	0.6355	0.0031775	38.1322
660	660000	1339	0.6695	0.0033475	37.1747
650	650000	1370	0.685	0.003425	36.6114
640	640000	1394	0.697	0.003485	36.0482
630	630000	1413	0.7065	0.0035325	35.4849
620	620000	1449	0.7245	0.0036225	34.9217
610	610000	1462	0.731	0.003655	34.3584
600	600000	1475	0.7375	0.0036875	33.7952
590	590000	1482	0.741	0.003705	33.2319
580	580000	1495	0.7475	0.0037375	32.6687

**Grafik Modulus Elastisitas
BG8 Sampel 3**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	15880,760 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	29033,817 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	20274,253 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 12% Sampel 1

I. Data Benda Uji

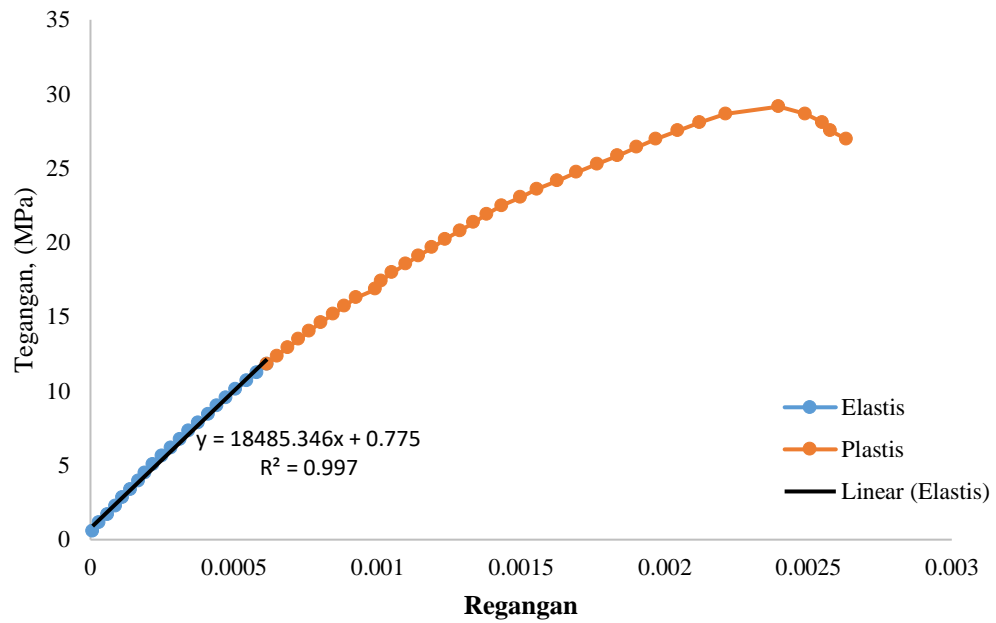
No. Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	12	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	29,19	MPa
Diameter	150,55	mm
Tinggi	303,00	mm
Luas Penampang	17801,29	mm ²
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0.0015	0.0000075	0.5618
20	20000	12	0.006	0.00003	1.1235
30	30000	24	0.012	0.00006	1.6853
40	40000	35	0.0175	0.0000875	2.2470
50	50000	45	0.0225	0.0001125	2.8088
60	60000	56	0.028	0.00014	3.3705
70	70000	67	0.0335	0.0001675	3.9323
80	80000	76	0.038	0.00019	4.4941
90	90000	87	0.0435	0.0002175	5.0558
100	100000	100	0.05	0.00025	5.6176
110	110000	112	0.056	0.00028	6.1793
120	120000	125	0.0625	0.0003125	6.7411
130	130000	137	0.0685	0.0003425	7.3028
140	140000	150	0.075	0.000375	7.8646
150	150000	164	0.082	0.00041	8.4264
160	160000	176	0.088	0.00044	8.9881
170	170000	189	0.0945	0.0004725	9.5499
180	180000	202	0.101	0.000505	10.1116
190	190000	218	0.109	0.000545	10.6734
200	200000	232	0.116	0.00058	11.2351

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	246	0.123	0.000615	11.7969
220	220000	260	0.13	0.00065	12.3587
230	230000	275	0.1375	0.0006875	12.9204
240	240000	290	0.145	0.000725	13.4822
250	250000	305	0.1525	0.0007625	14.0439
260	260000	321	0.1605	0.0008025	14.6057
270	270000	338	0.169	0.000845	15.1674
280	280000	354	0.177	0.000885	15.7292
290	290000	370	0.185	0.000925	16.2910
300	300000	397	0.1985	0.0009925	16.8527
310	310000	405	0.2025	0.0010125	17.4145
320	320000	420	0.21	0.00105	17.9762
330	330000	439	0.2195	0.0010975	18.5380
340	340000	457	0.2285	0.0011425	19.0997
350	350000	476	0.238	0.00119	19.6615
360	360000	494	0.247	0.001235	20.2233
370	370000	515	0.2575	0.0012875	20.7850
380	380000	534	0.267	0.001335	21.3468
390	390000	552	0.276	0.00138	21.9085
400	400000	573	0.2865	0.0014325	22.4703
410	410000	599	0.2995	0.0014975	23.0320
420	420000	622	0.311	0.001555	23.5938
430	430000	650	0.325	0.001625	24.1556
440	440000	677	0.3385	0.0016925	24.7173
450	450000	706	0.353	0.001765	25.2791
460	460000	734	0.367	0.001835	25.8408
470	470000	761	0.3805	0.0019025	26.4026
480	480000	788	0.394	0.00197	26.9643
490	490000	818	0.409	0.002045	27.5261
500	500000	849	0.4245	0.0021225	28.0879
510	510000	885	0.4425	0.0022125	28.6496
519	519000	959	0.4795	0.0023975	29.1552
510	510000	996	0.498	0.00249	28.6496
500	500000	1020	0.51	0.00255	28.0879
490	490000	1031	0.5155	0.0025775	27.5261
480	480000	1053	0.5265	0.0026325	26.9643

**Grafik Modulus Elastisitas
BG12 Sampel 1**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	18485,346 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	25392,574 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	17731,580 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 12% Sampel 2

I. Data Benda Uji

No. Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	12	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	28,70	MPa
Diameter	151,10	mm
Tinggi	302,90	mm
Luas Penampang	17931,59	mm ²
Lo	200	mm

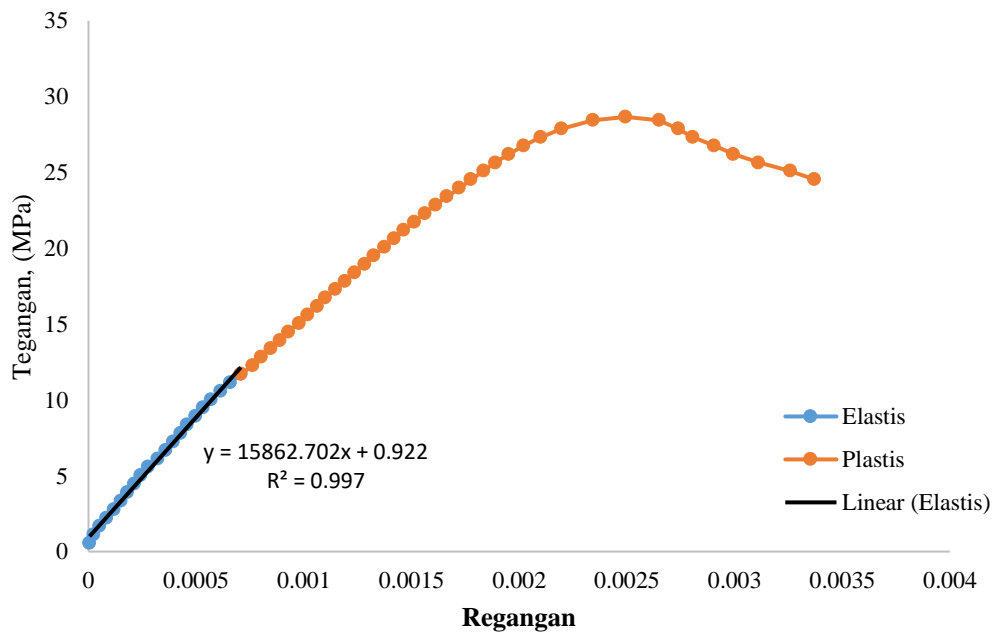
II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0.001	0.000005	0.5577
20	20000	10	0.005	0.000025	1.1154
30	30000	21	0.0105	0.0000525	1.6730
40	40000	34	0.017	0.000085	2.2307
50	50000	48	0.024	0.00012	2.7884
60	60000	61	0.0305	0.0001525	3.3461
70	70000	72	0.036	0.00018	3.9037
80	80000	85	0.0425	0.0002125	4.4614
90	90000	97	0.0485	0.0002425	5.0191
100	100000	111	0.0555	0.0002775	5.5768
110	110000	129	0.0645	0.0003225	6.1344
120	120000	144	0.072	0.00036	6.6921
130	130000	158	0.079	0.000395	7.2498
140	140000	172	0.086	0.00043	7.8075
150	150000	183	0.0915	0.0004575	8.3651
160	160000	199	0.0995	0.0004975	8.9228
170	170000	213	0.1065	0.0005325	9.4805
180	180000	228	0.114	0.00057	10.0382
190	190000	246	0.123	0.000615	10.5958
200	200000	264	0.132	0.00066	11.1535

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	283	0.1415	0.0007075	11.7112
220	220000	305	0.1525	0.0007625	12.2689
230	230000	321	0.1605	0.0008025	12.8265
240	240000	339	0.1695	0.0008475	13.3842
250	250000	356	0.178	0.00089	13.9419
260	260000	372	0.186	0.00093	14.4996
270	270000	391	0.1955	0.0009775	15.0572
280	280000	407	0.2035	0.0010175	15.6149
290	290000	425	0.2125	0.0010625	16.1726
300	300000	440	0.22	0.0011	16.7303
310	310000	459	0.2295	0.0011475	17.2879
320	320000	477	0.2385	0.0011925	17.8456
330	330000	495	0.2475	0.0012375	18.4033
340	340000	513	0.2565	0.0012825	18.9610
350	350000	530	0.265	0.001325	19.5186
360	360000	550	0.275	0.001375	20.0763
370	370000	568	0.284	0.00142	20.6340
380	380000	586	0.293	0.001465	21.1917
390	390000	606	0.303	0.001515	21.7493
400	400000	625	0.3125	0.0015625	22.3070
410	410000	645	0.3225	0.0016125	22.8647
420	420000	666	0.333	0.001665	23.4224
430	430000	689	0.3445	0.0017225	23.9800
440	440000	711	0.3555	0.0017775	24.5377
450	450000	734	0.367	0.001835	25.0954
460	460000	756	0.378	0.00189	25.6531
470	470000	781	0.3905	0.0019525	26.2107
480	480000	809	0.4045	0.0020225	26.7684
490	490000	840	0.42	0.0021	27.3261
500	500000	879	0.4395	0.0021975	27.8838
510	510000	937	0.4685	0.0023425	28.4414
514	514000	998	0.499	0.002495	28.6645
510	510000	1060	0.53	0.00265	28.4414
500	500000	1096	0.548	0.00274	27.8838
490	490000	1123	0.5615	0.0028075	27.3261
480	480000	1162	0.581	0.002905	26.7684

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
470	470000	1198	0.599	0.002995	26.2107
460	460000	1245	0.6225	0.0031125	25.6531
450	450000	1304	0.652	0.00326	25.0954
440	440000	1349	0.6745	0.0033725	24.5377

**Grafik Modulus Elastisitas
BG12 Sampel 2**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	15862,702 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	25180,569 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	17583,538 MPa

Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Variasi 12% Sampel 3

I. Data Benda Uji

No. Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu Sekam Padi	12	%
Mutu Beton Rencana	25	MPa
Mutu Beton Hasil Uji	31,52	MPa
Diameter	151,05	mm
Tinggi	301,65	mm
Luas Penampang	17919,72	mm ²
Lo	200	mm

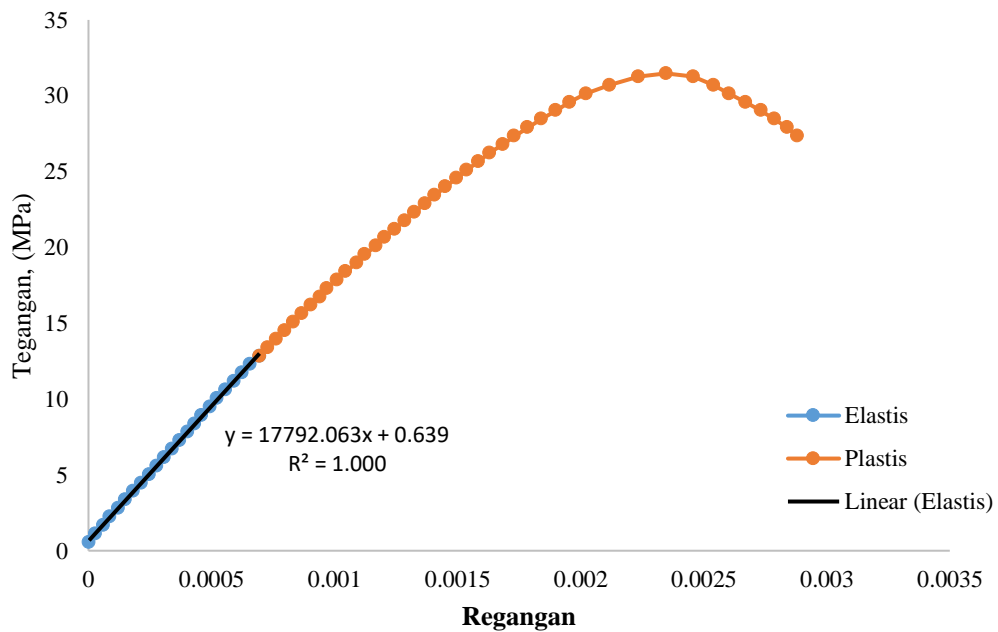
II. Data Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	1	0.0005	0.0000025	0.5580
20	20000	11	0.0055	0.0000275	1.1161
30	30000	24	0.012	0.00006	1.6741
40	40000	35	0.0175	0.0000875	2.2322
50	50000	49	0.0245	0.0001225	2.7902
60	60000	60	0.03	0.00015	3.3483
70	70000	73	0.0365	0.0001825	3.9063
80	80000	86	0.043	0.000215	4.4644
90	90000	99	0.0495	0.0002475	5.0224
100	100000	111	0.0555	0.0002775	5.5804
110	110000	123	0.0615	0.0003075	6.1385
120	120000	136	0.068	0.00034	6.6965
130	130000	148	0.074	0.00037	7.2546
140	140000	161	0.0805	0.0004025	7.8126
150	150000	173	0.0865	0.0004325	8.3707
160	160000	184	0.092	0.00046	8.9287
170	170000	198	0.099	0.000495	9.4868
180	180000	209	0.1045	0.0005225	10.0448
190	190000	223	0.1115	0.0005575	10.6028
200	200000	237	0.1185	0.0005925	11.1609

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
210	210000	250	0.125	0.000625	11.7189
220	220000	263	0.1315	0.0006575	12.2770
230	230000	278	0.139	0.000695	12.8350
240	240000	291	0.1455	0.0007275	13.3931
250	250000	305	0.1525	0.0007625	13.9511
260	260000	319	0.1595	0.0007975	14.5092
270	270000	333	0.1665	0.0008325	15.0672
280	280000	347	0.1735	0.0008675	15.6252
290	290000	362	0.181	0.000905	16.1833
300	300000	376	0.188	0.00094	16.7413
310	310000	388	0.194	0.00097	17.2994
320	320000	404	0.202	0.00101	17.8574
330	330000	418	0.209	0.001045	18.4155
340	340000	436	0.218	0.00109	18.9735
350	350000	449	0.2245	0.0011225	19.5315
360	360000	467	0.2335	0.0011675	20.0896
370	370000	481	0.2405	0.0012025	20.6476
380	380000	498	0.249	0.001245	21.2057
390	390000	514	0.257	0.001285	21.7637
400	400000	530	0.265	0.001325	22.3218
410	410000	547	0.2735	0.0013675	22.8798
420	420000	563	0.2815	0.0014075	23.4379
430	430000	580	0.29	0.00145	23.9959
440	440000	598	0.299	0.001495	24.5539
450	450000	615	0.3075	0.0015375	25.1120
460	460000	634	0.317	0.001585	25.6700
470	470000	652	0.326	0.00163	26.2281
480	480000	674	0.337	0.001685	26.7861
490	490000	692	0.346	0.00173	27.3442
500	500000	714	0.357	0.001785	27.9022
510	510000	736	0.368	0.00184	28.4603
520	520000	760	0.38	0.0019	29.0183
530	530000	782	0.391	0.001955	29.5763
540	540000	809	0.4045	0.0020225	30.1344
550	550000	847	0.4235	0.0021175	30.6924
560	560000	894	0.447	0.002235	31.2505
564	564000	939	0.4695	0.0023475	31.4737
560	560000	983	0.4915	0.0024575	31.2505
550	550000	1016	0.508	0.00254	30.6924

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
540	540000	1041	0.5205	0.0026025	30.1344
530	530000	1068	0.534	0.00267	29.5763
520	520000	1093	0.5465	0.0027325	29.0183
510	510000	1115	0.5575	0.0027875	28.4603
500	500000	1136	0.568	0.00284	27.9022
490	490000	1152	0.576	0.00288	27.3442

**Grafik Modulus Elastisitas
BG12 Sampel 3**



Nilai Modulus Elastisitas, E	
Modulus Elastisitas Pengujian, E uji	17792,063 MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E teoritis	26386,363 Mpa
Modulus Elastisitas Bellum, E bellum	18425,541 MPa

Lampiran 11 Data Hasil Pengujian Tarik Belah Beton Geopolimer

No	Kode Beton	Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm²)	Kuat Tarik Alat (kN)	Kuat Tarik $f'_c = 2P/\pi LD$ (MPa)	Kuat Tarik Rata - rata (MPa)
1	BN	1	150.950	302.000	143215.470	183	2,556	2,361
		2	151.500	300.700	143118.552	154	2,152	
		3	151.950	303.350	144808.674	172	2,376	
2	BG0	1	149.950	302.950	142714.237	120	1,682	1,641
		2	150.950	302.950	143665.982	118	1,643	
		3	151.050	303.200	143879.791	115	1,599	
3	BG4	1	150.000	303.850	143185.939	142	1,983	1,935
		2	150.000	304.900	143680.740	135	1,879	
		3	150.400	302.850	143095.273	139	1,943	
4	BG8	1	150.650	301.850	142859.850	143	2,002	2,282
		2	150.750	302.900	143451.954	197	2,747	
		3	150.150	303.300	143069.685	150	2,097	
5	BG12	1	150.600	304.200	143924.276	134	1,862	2,225
		2	152.350	303.450	145237.737	176	2,424	
		3	150.950	301.900	143168.048	171	2,389	