



**PROYEK AKHIR TERAPAN RC146599**

# **KAPASITAS GESER DAN PERILAKU KEGAGALAN PADA BALOK BETON GEOPOLIMER**

**HERI KISWANTO**  
NRP. 3115.040.511

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D  
Dr. Ridho Bayu Aji, ST, MT

**PROGAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL**  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT RC146599**

# **SHEAR CAPACITY AND FAILURE BEHAVIOUR OF GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS**

**HERI KISWANTO  
NRP. 3115.040.511**

**Consellor Lecture  
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D  
Dr. Ridho Bayu Aji, ST, MT.**

**DIPLOMA CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engginering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PROYEK AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan  
Pada  
Program Studi Lanjut Jenjang DIV Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Juli 2016

Disusun Oleh :

Mahasiswa



**Heri Kiswanto**  
**NRP. 3115040511**

Disetujui oleh pembimbing proyek akhir :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



03 AUG 2016

**Prof. Ir. M. Sigit D. M. EngSc. Ph.D** **Dr. Ridho Bayu Aji, ST, MT**  
NIP. 19630726 198903 1 003 NIP. 19730710 199802 1 002

**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMUAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya:

Nama : Heri Kiswanto  
Nrp : 3115040511  
Jurusan / Fak. : D.IV. T. SIPIL / FTSP  
Alamat Kontak : Pd. Pejangkungan 18/03  
Prambon, Sidoarjo  
a. Email : herikiswanto21@gmail.com  
b. Telp/HP : 085852260542

Menyatakan bahwa semua yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusif Royalti Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul:

"KAPASITAS GESER DAN PERILAKU KEGAGALAN PADA BALOK  
BETON GEOPOLIMER"

Dengan Hal Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

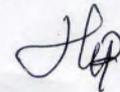
Dosen Pembimbing 1 \_\_\_\_\_ Dosen pembimbing 2 \_\_\_\_\_

NIP. \_\_\_\_\_

RIDHO BATUASI

NIP. 1998021998021002

Dibuat di : Surabaya  
Pada tanggal : 28 Juli 2016  
Yang menyatakan,



Heri Kiswanto

Nrp 3115040511

**KETERANGAN:**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan ke bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi

# **KAPASITAS GESER DAN PERILAKU KEGAGALAN PADA BALOK BETON GEOPOLIMER**

Nama Mahasiswa : Heri Kiswanto  
NRP : 3115040511  
Jurusan : Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M Sigit D, M.Eng.Sc, Ph.D  
2. Dr. Ridho Bayu Aji, ST. MT

## **ABSTRAK**

Seperti yang telah diketahui bahwasanya beton sangat sering digunakan dalam pembangunan teknik sipil karena harganya yang relatif murah, namun akhir-akhir ini penggunaan beton sering mendapat kritik karena emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembuatan semen. Kedua, sebagian besar wilayah di Indonesia adalah lautan. Merujuk dari rencana besar pemerintah yang akan meningkatkan pembangunan infrastruktur dengan memanfaatkan sektor laut. Namun kenyataannya air laut memiliki kandungan garam yang sangat tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan pada. Seiring dengan berkembangnya teknologi. Ahli material memikirkan beton yang ramah lingkungan namun juga memiliki mutu yang tinggi dan kuat dalam korosi, dan salah satu yang dikembangkan adalah beton geopolimer.

Beton geopolimer adalah beton ramah lingkungan karena tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya melainkan menggunakan fly ash yang merupakan limbah batu bara sebagai bahan penggantinya. Dalam penelitian ini, balok beton bertulang geopolimer dibuat dengan menggunakan bahan dasar abu terbang dan agregat yang dicampur dengan larutan alkali yaitu sodium hidroksida 8M dan sodium silikat dan rawat di lingkungan air laut

dan juga disuhu ruang sebagai pembanding. Balok beton bertulang ini berdimensi dengan lebar 10 cm, tinggi 15 cm dan panjang 150 cm.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dengan dua perawatan mempunyai kapasitas geser yang hampir sama, tetapi balok yang di curing suhu ruang sedikit lebih unggul dari pada yang di curing di air laut mungkin hal ini disebabkan oleh pengaruh suhu ruang yang cukup panas.

**Kata Kunci :** Beton Geopolimer, Kuat Geser, Lingkungan Korosif

# **SHEAR CAPACITY AND FAILURE BEHAVIOUR OF GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS**

Student Name : Heri Kiswanto  
NRP : 3115040511  
Major : Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS  
Consellor Lecture : 1. Prof. Ir. M Sigit D, M.Eng.Sc, Ph.D  
2. Dr. Ridho Bayu Aji, ST. MT

## **ABSTRAK**

As it is known that concrete is very often used in the construction of civil engineering because the price is relatively cheap, but lately the use of concrete is often criticized for the greenhouse gas emissions resulting from the manufacture of cement. Second, most areas in Indonesia is the ocean. Referring to the government of the great plan which will promote the development of the infrastructure by utilizing the marine sector. But the reality of sea water has a very high salt content which may cause the damage on. As the technology advances. Experts think of concrete materials that are environmentally friendly, but also has a high quality and strong in corrosion, and one that is developed is geopolymer concrete.

Geopolymer concrete is an environmentally friendly concrete for not using cement as the binder material but using fly ash which is a waste of coal as a substitute. In this study, geopolymer concrete beams made using basic ingredients of the fly ash and aggregate mixed with an alkaline solution is sodium hydroxide and sodium silicate 8M and cared for in the marine environment and also at a temperature of room for comparison.

This reinforced concrete beam dimensions with a width of 10 cm, height 15 cm and a length of 150 cm.

From the testing that has been done with the two treatments have a shear capacity which is almost the same, but the beam that is in the curing room temperature slightly superior to that in the curing in seawater may be this is caused by the influence of the room-temperature hot enough.

**Keywords:** Geopolymer Concrete, Strong Scroll, Corrosive Environment

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GRAFIK .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
NOTASI .....	xvii
BAB I_ PENDAHULUAN .....	1
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Rumusan Masalah .....	2
1.3.    Batasan Masalah.....	3
1.4.    Tujuan dan Manfaat .....	3
BAB II_ TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1.    Definisi Balok Beton Bertulang .....	5
2.1.1. Perilaku balok akibat gaya geser .....	5
2.1.2. Perencanaan penulangan geser.....	6
2.1.3. Perencanaan beban yang digunakan untuk gagal geser .....	7
2.2.    Beton Geopolimer .....	9
2.2.1. Umum.....	9
2.2.2. Definisi bahan penyusun dan polimerisasi pada Beton Geopolimer .....	9
2.2.3. Sifat-sifat Geopolimer.....	11
2.2.4. Kelebihan dan kekurangan beton Geopolimer ....	11

2.2.5.	Material penyusun beton geopolimer .....	12
2.2.6.	Perawatan beton geopolimer .....	24
2.2.7.	Literatur tentang balok beton geopolimer geser..	24
2.2.8.	Pengujian beton geopolimer .....	25
<b>BAB III_ METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>29</b>
3.1	DIAGRAM ALIR PENELITIAN .....	29
3.2.	DESAIN EKSPERIMEN .....	32
3.3.	PERSIAPAN MATERIAL .....	32
3.3.1	Fly Ash .....	32
3.3.2	Uji komposisi Fly Ash .....	32
3.3.3	Jenis alkali aktivator.....	32
3.3.4	Agregat kasar .....	33
3.3.5	Agregat halus .....	33
3.4.	PENGUJIAN MATERIAL .....	33
3.4.1.	Standart pengujian material pasir .....	34
3.4.2.	Pengujian material pasir .....	36
3.4.3.	Standart pengujian material kerikil .....	41
3.4.4.	Pengujian material kerikil .....	42
3.5.	PERHITUNGAN CAMPURAN DAN TULANGAN.....	47
3.5.1	Perhitungan Mix Desain.....	47
3.5.2.	Perhitungan penulangan gagal geser .....	50
3.6.	METODE PEMBUATAN BENDA UJI.....	53
3.6.1.	Pembuatan campuran beton .....	53
3.6.2.	Pengujian Beton Geopolimer .....	56
<b>BAB IV_ HASIL DAN ANALISA.....</b>		<b>63</b>

4.1.	UMUM.....	63
4.2.	HASIL PENGUJIAN MATERIAL .....	63
4.4.1.	Fly Ash.....	63
4.4.2.	Agregat Halus (Pasir).....	66
4.4.3.	Agregat Kasar (Kerikil).....	67
4.3.	HASIL UJI SILINDER BETON GEOPOLIMER.....	69
4.3.1.	Pengujian sewaktu beton masih segar.....	69
4.3.2.	Pengujian beton sewaktu berusia 28 hari .....	70
4.4.	HASIL PENGUJIAN BALOK BETON GEOPOLIMER .....	87
4.4.1.	Kuat Geser.....	87
4.4.2.	Defleksi dan Daktilitas Balok Beton Geopolimer.... .....	89
4.4.3.	Perilaku Keruntuhan Gagal Geser (Pola Retak)..	92
BAB V_ KESIMPULAN DAN SARAN .....		95
5.1.	Kesimpulan .....	95
5.2.	Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....		97
BIODATA		
LAMPIRAN		

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel komposisi kimia fly ash dalam persen berat ....	15
Tabel 2. 2 Tabel komposisi kimia fly ash tipe C (PLTU Paiton)	16
Tabel 2. 3 Tabel persyaratan kandungan kimia fly ash .....	16
Tabel 2. 4 Tabel susunan sifat fisik fly ash .....	17
Tabel 2. 5 Tabel persyaratan fisik fly ash.....	17
Tabel 3. 1 Tabel Persyaratan material pasir yang akan dipakai ..	33
Tabel 3. 2 Tabel Persyaratan material pasir yang akan dipakai ..	41
Tabel 4. 1 Tabel kandungan material uji XRD pada fly ash .....	64
Tabel 4. 2 Tabel komposisi material uji XRF pada fly ash .....	65
Tabel 4. 3 Tabel hasil pengujian fisik material pasir.....	67
Tabel 4. 4 Tabel hasil pengujian fisik material kerikil.....	68
Tabel 4. 5 Tabel pengujian kuat tekan pada silinder beton geopolimer.....	70
Tabel 4. 6 Tabel hasil pengujian porosity kubus 5x5x5 cm <sup>3</sup> .....	83
Tabel 4. 7 Hasil pengujian UPV pada silinder .....	74
Tabel 4. 8 Hasil pengujian UPV pada balok .....	76
Tabel 4. 9 Hasil pengujian Hammer Test pada silinder .....	78
Tabel 4. 10 Hasil pengujian Hammer Test pada balok .....	79
Tabel 4. 11 Hasil pengujian Resistivity Test pada silinder .....	82
Tabel 4. 12 Hasil pengujian Resistivity Test pada balok .....	83
Tabel 4. 13 Hasil pengujian Kuat Belah.....	85
Tabel 4. 14 Hasil pengujian Kuat Geser.....	87
Tabel 4. 15 Nilai Daktilitas balok pada masing-masing perawatan .....	90

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perilaku Geser Elemen Lentur.....	6
Gambar 2. 2 Skema Pembentukan Beton Geopolimer .....	10
Gambar 2. 3 Ikatan Polimerisasi $\text{SiO}_4$ dan $\text{AlO}_4$ .....	10
Gambar 2. 4 Ikatan Polimerisasi Si dan Al (Davidovids,1994) ..	10
Gambar 2. 5 Macam- macam bentuk Agregat.....	13
Gambar 2. 6 Scanning Electron Microscopy (SEM) dari campuran antara fly ash dengan sodium silikat .....	20
Gambar 2. 7 Scanning Electron Microscopy (SEM) dari campuran antara fly ash dengan sodium hidroksida. .....	22
Gambar 2. 8 Balok sederhana yang di bebani 2 buah gaya P/2...	28
Gambar 2. 9 Diagram Gaya Lintang .....	28
Gambar 2. 10 Diagram Momen Lentur .....	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3. 2 Sketsa penulangan benda uji balok beton geopolimer ...	52
Gambar 3. 3 Sketsa pembebanan kuat tekan .....	57
Gambar 3. 4 Sketsa pengujian kuat geser.....	61
Gambar 3. 5 Set-up pengujian kuat geser.....	61
Gambar 4. 1 Hasil test uji XRD pada fly ash .....	64
Gambar 4. 2 Pengujian Slump.....	69
Gambar 4. 3 Pengujian Kuat Tekan .....	71
Gambar 4. 4 Pengujian Porosity kubus (5cm x 5cm x 5cm) .....	73
Gambar 4. 5 Pengujian UPV Silinder dan Balok .....	77
Gambar 4. 6 Pengujian Hammer Silinder dan Balok .....	81
Gambar 4. 7 Pengujian Resistivity pada Silinder.....	84
Gambar 4. 8 Pengujian Kuat Belah pada Silinder.....	86
Gambar 4. 9 Pengujian Kuat Geser pada balok.....	88
Gambar 4.10 Keruntuhan yang terjadi benar-benar runtuh geser	93

Gambar 4. 11 Pencatatan beban yang paling atas adalah beban <i>ultimate</i> .....	93
Gambar 4. 12 Pola retak yang terjadi pada balok yang dirawat di suhu ruang.....	94
Gambar 4. 13 Pola retak yang terjadi pada balok yang dirawat di air laut .....	94

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Grafik perbandingan pengujian kuat tekan silinder terhadap masing-masing perawatan.....	71
Grafik 4. 2 Grafik perbandingan pengujian porosity rata-rata terhadap masing-masing perawatan .....	73
Grafik 4. 3 Grafik perbandingan pengujian UPV silinder masing-masing perawatan.....	75
Grafik 4. 4 Grafik perbandingan pengujian UPV Balok 10x15x150 cm <sup>3</sup> masing-masing perawatan.....	76
Grafik 4. 5 Grafik rata-rata pengujian Hammer Test Silinder terhadap masing-masing perawatan.....	79
Grafik 4. 6 Grafik rata-rata pengujian Hammer Test Balok terhadap masing-masing perawatan.....	80
Grafik 4. 7 Grafik rata-rata pengujian Resistivity Silinder terhadap masing-masing perawatan .....	83
Grafik 4. 8 Grafik rata-rata pengujian Resistivity balok terhadap masing-masing perawatan.....	84
Grafik 4. 9 Grafik perbandingan pengujian kuat belah rata-rata terhadap masing-masing perawatan.....	86
Grafik 4. 10 Grafik rata-rata pengujian Kuat Geser terhadap masing-masing perawatan.....	87
Grafik 4. 11 Grafik hubungan beban (Kg) terhadap lendutan (mm) pada balok perawatan dalam suhu ruang. ....	89
Grafik 4. 12 Grafik hubungan beban (Kg) terhadap lendutan (mm) pada balok perawatan di air laut. ....	90

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## NOTASI

- $A$  = Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ )  
 $A_s$  = Luas penampang tulangan ( $\text{mm}^2$ )  
 $A_v$  = Luas tulangan sengkang ( $\text{mm}^2$ )  
 $b$  = Lebar penampang (mm)  
 $b_w$  = lebar efektif penampang balok (mm)  
 $D$  = Diameter benda uji (mm)  
 $f'_c$  = Kuat Tekan Beton (MPa)  
 $F$  = Gaya aksial (N)  
 $f_y$  = Tegangan leleh minimum (MPa)  
 $h$  = Tinggi penampang (mm)  
 $l$  = Jarak tempuh /tinggi benda uji (m)  
 $L$  = Panjang bentang balok (mm)  
 $L$  = Tinggi benda uji (mm)  
 $M_n$  = Momen nominal (Nmm)  
 $M_u$  = momen akibat beban luar yang bekerja (Nmm)  
 $n$  = Jumlah  
 $P$  = Beban pengujian (N)  
 $P$  = Total porositas (%)  
 $P_u$  = Beban maksimum (N)  
 $q_u$  = Berat sendiri beton (N/mm)  
 $t$  = Waktu tempuh ( $\mu\text{s}$ )  
 $v$  = Kecepatan tempuh (m/s)  
 $V_c$  = kuat geser beton (N)

- $V_c$  = kuat geset beton (N)
- $V_n$  = kuat geser ideal atau nominal (N)
- $V_s$  = kuat geser nominal yang dapat disediakan oleh tulangan geser (N)
- $V_u$  = beban geser terfaktor (N)
- $W_d$  = Berat benda uji kering setelah dioven (gram)
- $W_{sa}$  = Berat benda uji jenuh air di udara (gram)
- $W_{sw}$  = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gram)
- $\rho_w$  = rasio luas tulangan lentur dengan luas penampang balok
- $\sigma_c$  = Kuat belah (N/mm<sup>2</sup>)
- $\phi$  = faktor reduksi kuat geser

## **DAFTAR LAMPIRAN**

### **Lampiran 1**

Uraian Kegiatan yang dilakukan selama penelitian

### **Lampiran 2**

Kelembapan Pasir

### **Lampiran 3**

Berat Jenis Pasir SSD

### **Lampiran 4**

Air Resapan Pasir

### **Lampiran 5**

Pengembangan Volume Pasir

### **Lampiran 6**

Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik

### **Lampiran 7**

Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur

### **Lampiran 8**

Kelembapan Kerikil

### **Lampiran 9**

Kadar Air Resapan Kerikil

### **Lampiran 10**

Berat Volume Isi Kerikil

**Lampiran 11**

Berat Volume Isi (Dirojok) Kerikil

**Lampiran 12**

Kebersihan Kerikil Terhadap Lumpur (Kering)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pada umumnya beton dikenal sebagai material yang tersusun dari komposisi utama batuan (agregat), air, dan semen portland. Beton sangat populer dan digunakan secara luas, karena bahan pembuatnya mudah didapat, harganya relatif murah, dan teknologi pembuatannya relatif sederhana. Namun, akhir-akhir ini beton tersebut makin sering mendapatkan kritik, karena emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen karena proses pembakarannya yang memerlukan energi hingga 1400<sup>0</sup>C. Pembakaran 1 ton semen menghasilkan 0,55 ton CO<sub>2</sub> kimia (Davidovius, J. 1991).

Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silikon dan aluminium. Untuk melarutkan unsur-unsur silikon dan aluminium, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, digunakan larutan yang bersifat alkalis. Material geopolimer ini digabungkan dengan agregat batuan kemudian menghasilkan beton geopolimer, tanpa menggunakan semen lagi. Melihat dari senyawa yang dihasilkan dari geopolimer tersebut tidaklah berbahaya, selain itu manfaat lainnya yaitu, Geopolimer dapat menggunakan bahan-bahan buangan industri seperti *fly ash* yang didapat dari sisa dari pembakaran batubara.

Sebagaimana yang kita ketahui Indonesia adalah negara kepulauan dengan wilayah laut yang sangat luas sehingga pengembangan infrastruktur untuk transportasi dan jasa pengiriman barang melalui laut merupakan kebutuhan yang sangat penting. Ditambah lagi dengan rencana

pemerintah yang akan mulai membangun infrastruktur laut seperti dermaga dan tol laut (Kompas,31 Oktober 2014). Namun demikian, infrastruktur yang dibangun untuk penghubung antar pulau tersebut umumnya terbuat dari beton yang memiliki kelemahan terhadap korosi air laut. Bahan utaman dalam beton tersebut adalah Portland dimana pengikat pada semen Portland rentan terhadap serangan kimia, terutama asam, garam sulfat, dan klorida.

Oleh karena itu dalam penelitian ini, peneliti akan menggunakan material lain yang memiliki sifat mekanis dan ketahanan kimia yang lebih tinggi daripada beton semen Portland, material tersebut adalah geopolimer. Geopolimer merupakan polimer anorganik dengan susunan atom Si dan Al dalam jaringan 3 dimensi sehingga memiliki kekuatan dan ketahanan yang sangat baik. Geopolimer juga telah diteliti memiliki ketahanan (*durability*) terhadap serangan asam sulfat dan klorida.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan pokok yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana mengetahui beban *ultimate* yang terjadi pada balok beton geopolimer.
- b. Bagaimana mengetahui perilaku defleksi yang terjadi pada balok beton geopolimer.

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini meliputi :

- a. Prosedur pengujian dan analisis beton geopolimer sama seperti prosedur pengujian dan analisis pada beton normal.
- b. Fly Ash yang digunakan berasal dari PLTU PAITON.
- c. Sodium Hidroksida (NaOH) yang digunakan adalah 8 Molar.
- d. Agregat kasar berukuran <20mm.
- e. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari.
- f. Beban maksimum pada alat pengujian balok sebesar 100T.
- g. Tidak membahas reaksi kimia

### **1.4. Tujuan**

Tujuan dari penelitian proyek akhir ini adalah

- a. Mengetahui beban ultimate serta pola retak yang terjadi pada balok beton geopolimer.
- b. Mengetahui perilaku defleksi yang terjadi pada balok beton geopolimer.

### **1.5. Manfaat**

- a. Dapat mengganti beton portland yang rentan di lingkungan air laut dengan beton geopolimer yang lebih tahan di lingkungan air laut.

- b. Dapat mengganti bahan dasar semen dengan bahan limbah pembakaran batu bara yaitu *fly ash*.
- c. Mengurangi produksi CO<sub>2</sub> sebagai hasil samping produksi semen portland.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

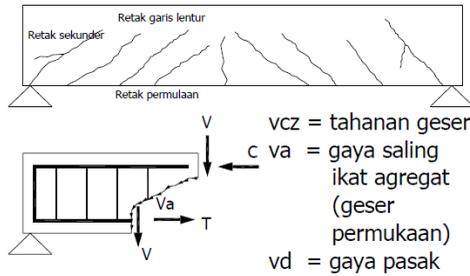
#### **2.1. Definisi Balok Beton Bertulang**

Beton merupakan material yang kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Beton itu akan retak ketika mendapatkan tegangan tarik yang melebihi kekuatan tariknya. Sehingga untuk menahan gaya tarik, beton dikombinasikan dengan tulangan baja yang akan memberikan kelebihan dalam menahan adanya tegangan tarik. Dengan menanamkan tulangan baja pada beton seperlunya diperoleh beton bertulang dengan baja pemikul tarik sedangkan beton untuk pemikul tekan.

Balok beton bertulang akan mengalami geser ketika beban bekerja. Lentur ini sebagai akibat dari regangan deformasi yang disebabkan oleh beban eksternal. Pada saat beban ditingkatkan, balok tersebut akan menahan regangan dan defleksi tambahan, sehingga terjadi retak lentur di sepanjang bentang balok. Penambahan yang terus menerus terhadap tingkat beban maka akan mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut (Ahmad dan Hanafi, 2011).

##### **2.1.1. Perilaku balok akibat gaya geser**

Untuk kasus balok akibat adanya tegangan geser yang tinggi akan mengakibatkan terjadinya retak miring. Untuk mencegah pembentukan retak miring digunakan penulangan transversal yang dikenal dengan penulangan geser, yang berbentuk sengkang tertutup atau yang berbentuk U di arah vertikal atau miring untuk menutupi penulangan memanjang utama di sekeliling muka balok.



**Gambar 2. 1** Perilaku Geser Elemen Lentur

**2.1.2. Perencanaan penulangan geser**

Perencanaan geser untuk komponen-komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihanannya atau kekuatan geser di atas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser. Untuk komponen-komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja (SNI-03-2847-2002), memberikan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser adalah  $V_c$ ,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} bw d \dots \dots \dots (2.1)$$

atau dengan menggunakan Persamaan yang lebih terperinci sebagai berikut:

$$V_c = \left( \sqrt{f'c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{bw d}{7} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.3)$$

$$V_c \leq (0,3 \sqrt{f'c}) bw d \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\phi V_n \geq V_u \dots \dots \dots (2.5)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Sehingga: } V_u \leq \phi V_c + \phi V_s \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk sengkang vertikal,  $V_s$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$V_s = A_s f_y d S \dots\dots\dots(2.8)$$

Kuat tulangan geser nominal yang diperlukan ( $V_s$ ) dapat ditentukan dari diagram gaya geser terfaktor  $V_u$ .

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s \dots\dots\dots(2.9)$$

Selanjutnya diperoleh:

$$V_s \text{ perlu} = V_s \leq \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$V_s \text{ perlu} = V_s \leq \frac{V_u}{\phi} - V_c \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.1.3. Perencanaan beban yang digunakan untuk gagal geser

#### a. Beban yang digunakan untuk gagal lentur

1. Menghitung luas tulangan lentur yang dipasang pada suatu penampang

$$A_s (\text{actual}) = n \times A_s \dots\dots\dots(2.12)$$

$$A_s = 2 \frac{1}{4} \pi d^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

2. Menghitung tinggi efektif

Tinggi efektif = Tinggi balok – selimut beton – diameter tulangan geser – 0,5 diameter tulangan lentur

3. Menghitung nilai  $a$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \dots\dots\dots(2.14)$$

4. Menghitung momen nominal

$$Mn = As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

5. Menghitung momen ultimate

$$Mu = \varphi Mn \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\varphi = 1$$

6. Menghitung beban pengujian

$$Pu = \frac{2 \times (Mu - \frac{1}{8} \times qu \times l^2)}{\text{jarak tumpuan ke beban}} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$qu = b \times h \times BJ \text{ Beton} \dots\dots\dots(2.18)$$

b. Beban yang digunakan untuk gagal geser

1. Mencari geser nominal (Vn)

$$Vn = Vc + Vs \dots\dots\dots(2.19)$$

2. Mencari kuat geser komponen beton (Vc)

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d \dots\dots\dots(2.20)$$

3. Mencari kuat geser komponen baja tulangan (Vs)

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s} \dots\dots\dots(2.21)$$

4. Mencari luas tulangan sengkang

$$Av = n \times 0,25 \times \pi \times d^2 \dots\dots\dots(2.22)$$

5. Mencari beban yang dibutuhkan agar beton retak

$$Vn = \frac{1}{2} P \dots\dots\dots(2.23)$$

$$P = 2 Vn$$

Syarat :  $P \text{ lentur} > P \text{ geser}$  (agar terjadi kegagalan pada tulangan geser)

## **2.2. Beton Geopolimer**

### **2.2.1. Umum**

Beton geopolimer atau beton dengan bahan dasar pozzolan yang mengandung  $\text{SiO}_2$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  umumnya digunakan fly ash merupakan salah satu alternatif pengganti beton yang pada umumnya menggunakan semen sebagai bahan dasar dengan reaksi pengikatan yang disebut polimerisasi. Penggunaan geopolimer ini dipelopori oleh seorang ilmuwan Prancis, Prof. Joseph Davidovits pada tahun 1978.

Oleh karena itu, banyak riset yang telah dilakukan lembaga penelitian atau universitas di berbagai negara untuk mengkaji serta mempelajari manfaat dari beton geopolimer tersebut.

### **2.2.2. Definisi bahan penyusun dan polimerisasi pada Beton Geopolimer**

Beton geopolimer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesiskan dari bahan – bahan produk sampingan seperti abu terbang (fly ash) abu sekam padi (risk husk ash) dan lain – lain, yang banyak mengandung silicon dan aluminium (Davidovits, 1997) Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 1994) Reaksi Al dan Si dengan alkaline akan menghasilkan  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$ .

Peranan unsur silikat dan aluminium sangat penting dalam proses polimerisasi. Hal ini ditunjukkan dalam bentuk rasio perbandingan Si/Al, semakin besar ratio



### 2.2.3. Sifat-sifat Geopolimer

Beton geopolimer memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

#### a. Pada beton segar (fresh concrete)

- Memiliki waktu setting 10 jam pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$ , dan mencapai 7 – 60 menit pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$
- Penyusutan selama setting kurang dari 0.05%,
- Kehilangan masa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0.1%.

#### b. Pada beton keras (hardened concrete)

- Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 Mpa pada umur 28 hari,
- Memiliki kuat tarik sebesar 10-15 Mpa pada umur 28 hari,
- Memiliki water absorption kurang dari 3%

### 2.2.4. Kelebihan dan kekurangan beton Geopolimer

#### a. Kelebihan-kelebihan beton geopolimer (Frantisek Skvara, dkk, 2006) :

- Tahan terhadap api,
- Tahan terhadap lingkungan korosif,
- Tahan terhadap reaksi alkali silika.
- Tidak menggunakan semen sebagai bahan perekatnya, maka dapat mengurangi polusi udara.
- Mempunyai rangkai susut yang kecil.

#### b. Kekurangan-kekurangan beton geopolimer :

- Pembuatan beton geopolimer lebih rumit dibandingkan beton semen, karena membutuhkan alkaline activator,
- Belum ada rancang campuran yang pasti.
- Memiliki water absorption kurang dari 3%

## 2.2.5. Material penyusun beton geopolimer

### 2.2.5.1 Agregat

Dalam SNI T-15-1991-03 Agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Pada beton semen biasanya volume agregat yang digunakan adalah 50-80% volume total beton, sehingga kondisi agregat yang digunakan sangat berpengaruh pada karakteristik beton. Semakin bagus agregat yang digunakan, maka akan lebih memberikan kekuatan pada beton. Kriteria agregat bergantung pada karakteristik – karakteristik di bawah ini :

#### 1. Ukuran Agregat

Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi :

- a.) Agregat halus (*fine aggregate*) diameter 0–5 mm disebut pasir, yang dapat dibedakan lagi menjadi :
  - Pasir halus:  $\emptyset$  0 – 1 mm
  - Pasir kasar:  $\emptyset$  1 – 5 mm
- b.) Agregat kasar (*coarse aggregate*) diameter > 5 mm, biasanya berukuran antara 5 hingga 40 mm, disebut kerikil.

#### 2. Visual Bentuk

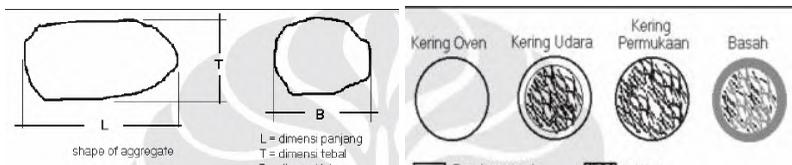
Oleh karena bentuknya yang bervariasi, agregat diklasifikasikan bentuk menjadi bulat, lonjong, pipih atau kubikal. Bentuk yang paling baik dalam pembuatan beton adalah kubikal, karena bentuk ini memiliki kekuatan yang lebih besar dari bentuk yang pipih dan akan saling mengunci antar agregat (*interlocking*). Namun bentuk kubikal akan mempersulit pekerjaan, karena kemampuan mengalir (*flowability*) yang rendah.

### 3. Visual Tekstur Permukaan

Secara visual dapat dibedakan menjadi kasar, halus, rata atau bergelombang. Tekstur yang kasar akan memberikan pengikatan yang lebih baik oleh semen, hal ini disebabkan karena luas permukaan yang lebih besar pada agregat bertekstur kasar.

### 4. Berat Jenis dan Absorpsi

Berat jenis dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan kondisinya. Kondisi tersebut adalah kering oven (oven dry), kering permukaan (saturated surface dry), kering udara dan kondisi basah. Biasanya pada pekerjaan beton digunakan kondisi kering permukaan karena pada saat pencampuran pasta semen akan diserap masuk oleh permukaan agregat, namun karena bagian dalam agregat terisi air maka penyerapan air tidak berlebihan. Hal ini akan memperkuat ikatan antar agregat.



**Gambar 2. 5** Macam- macam bentuk Agregat

#### 2.2.5.2 Fly Ash

##### 1. Pengertian

Fly ash merupakan bagian dari sisa abu pembakaran yang berupa bubuk halus dan ringan yang diambil dari campuran gas tungku pembakaran menggunakan bahan batubara pada boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Fly ash diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan elektrostatis (Hidayat,1986)

Fly ash adalah mineral admixture yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai. Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik (Himawan dan Darma,2000 : 25)

Dalam penelitian Ardha (2003), secara kimia fly ash merupakan material oksida anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain dalam komposisinya untuk membentuk material baru (mulite) yang tahan terhadap suhu tinggi.

Fly ash memiliki butiran yang lebih halus daripada butiran semen dan mempunyai sifat hidrolik. Fly ash bila digunakan sebagai bahan tambah atau pengganti sebagian semen maka tidak sekedar menambah kekuatan mortar, tetapi secara mekanik fly ash ini akan mengisi ruang kosong (rongga) di antara butiran-butiran dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolik pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi, dimana mortar hidrolik ini akan lebih kuat daripada mortar udara (kapur mati dan air) (Suhud,1993)

Dengan adanya tambahan air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh fly ash akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada (Malhotra,2001) mempelopori riset penggunaan fly ash dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65% dari total semen portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan mortar.

Fly ash termasuk bahan pozzolan buatan karena sifatnya yang pozzolanik, partikel halus tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air sehingga membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Fly ash dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pemakaian sebagian semen, baik untuk adukan (mortar) maupun untuk campuran beton. Keuntungan lain dari pemakaian fly ash adalah dapat meningkatkan ketahanan/keawetan mortar terhadap ion sulfat. (Hidayat,1986).

Dalam perkembangannya, fly ash tidak hanya digunakan untuk mengganti sebagian semen tetapi dapat juga digunakan sebagai pengganti seluruh semen. Dengan demikian fly ash difungsikan dengan bahan alkaline dan sebagai aktivatornya digunakan NaOH dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sehingga terjadi proses polimerisasi yang selanjutnya dapat mengikat agregat-agregat.

## 2. Karakteristik Fly Ash

### a. Sifat kimia fly ash

**Tabel 2. 1** Tabel komposisi kimia fly ash dalam persen berat

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	LOI
52.16	36.08	8.4	1.38	0.12	1.91

**Tabel 2. 2** Tabel komposisi kimia fly ash tipe C PLTU Paiton  
(Rahmi, 2005)

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1.	Berat Jenis	g / cm <sup>3</sup>	1.43
2.	Kadar Air	% berat	0.20
3.	Hilang Pijar	% berat	0.43
4.	SiO <sub>2</sub>	% berat	62.49
5.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% berat	6.36
6.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% berat	16.71
7.	CaO	% berat	5.69
8.	MgO	% berat	0.79
9.	S(SO <sub>4</sub> )	% berat	7.93

**Tabel 2. 3** Tabel persyaratan kandungan kimia fly ash  
(ASTM C 618-96 volume 04.02)

Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
	F (%)	N (%)	C (%)
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70	70	50
SO <sub>3</sub>	4	5	5
Moisture content	3	3	3
Loss of Ignition	10	6	6
Alkali Na <sub>2</sub> O	1.5	1.5	1.5

b. Sifat fisik fly ash

Sifat fisik fly ash menurut **ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-6** adalah :

1. Specific gravity 2.2 – 2.8
2. Ukuran  $\phi$  1 mikron -  $\phi$  1 mm dengan kehalusan 70% - 80% lolos saringan no.200 (75 mikron)

## 3. Kehalusan :

% tertahan ayakan 0.075 mm	: 3.5
% tertahan ayakan 0.045 mm	: 19.3
% sampai ke dasar	: 77.2

**Tabel 2. 4** Tabel susunan sifat fisik fly ash  
(ASTM C 618 – 91)

No.	Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
1.	Kehalusan sisa di atas ayakan 45 $\mu\text{m}$	34.0	34.0
2.	Indeks keaktifan pozolan dengan PC (kelas I) pada umur 28 hari	75.0	75.0
3.	Air	105.0	105.0
4.	Pengembangan dengan Autoclave	0.8	0.8

**Tabel 2. 5** Tabel persyaratan fisik fly ash  
(ASTM C 618 – 96 volume 04.02)

No.	Persyaratan Fisika	Kelas Campuran Mineral		
		F (%)	N (%)	C (%)
1.	Jumlah yang tertahan ayakan 45 $\mu\text{m}$ (ro.325)	34	34	34
2.	Indeks aktivitas kekuatan :			
	Dengan semen umur 7 hari	75	75	75
	Dengan semen umur 28 hari	75	75	75
3.	Kebutuhan air	115	105	105
4.	Autoclave ekspansion atau contraction	0.8	0.8	0.8
5.	Density	5	5	5
6.	% tertahan ayakan 45 $\mu\text{m}$	5	5	5

### 3. Klasifikasi Jenis Fly Ash

Fly ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis ( **ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3**), yaitu :

a. Kelas C

1. Fly ash yang mengandung CaO lebih dari 10%, dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batubara.
2. Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 50%
3. Kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  mencapai 10%
4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder.

b. Kelas F

1. Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10%, dihasilkan dari pembakaran anthrachite atau bitumen batubara.
2. Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 70%
3. Kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  < 5%
4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder.

c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, tuff dan abu vulkanik, dimana bisa diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Dari ketiga jenis fly ash di atas yang bisa digunakan sebagai geopolimer adalah jenis fly ash yang memiliki kandungan CaO rendah dan kandungan Si dan Al lebih dari 50% yaitu fly ash tipe C dan F karena Si dan Al merupakan unsur yang utama dalam terjadinya proses geopolimerisasi.

Dari penelitian terdahulu (Kosnatha dan Prasetio,2007) geopolimer yang menggunakan fly ash tipe C menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan fly ash tipe F baik yang menggunakan curing dengan oven maupun pada suhu ruang.

### 2.2.5.3 Alkali activator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

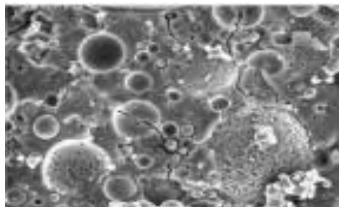
Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai alkaline activator (Hardjito, et.al, 2004). Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

#### 1. Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Sodium silikat merupakan salah satu bahan tertua dan yang paling aman yang sering digunakan di dalam industri kimia. Proses produksinya yang lebih sederhana menyebabkan sodium silikat berkembang dengan cepat sejak tahun 1818. Sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir ( $\text{SiO}_2$ ) dicampur dengan sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) atau dengan potassium carbonate ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) pada temperatur 1100 - 1200°C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (cullets) yang dilarutkan ke dalam air dengan tekanan tinggi menjadi cairan yang kering dan agak kental. Sedangkan pada proses pembuatan basah, pasir ( $\text{SiO}_2$ ) dicampur dengan sodium hidroksida (NaOH) melalui proses filtrasi sehingga menghasilkan sodium silikat yang murni.

Sodium silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran mortar lebih banyak digunakan sodium silikat dengan bentuk larutan. Sodium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat serta dalam beberapa keperluan seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (Hartono.F.,Budi.G.,2002). Dalam penelitian ini, sodium silikat digunakan sebagai alkali activator.

Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang berperan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silika seperti sodium silikat, dibandingkan reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida. Pada **Gambar 2.6** ditunjukkan campuran fly ash dengan sodium silikat yang diamati dalam ukuran mikrostruktur. Terlihat bahwa campuran antara fly ash dan sodium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur.



**Gambar 2. 6** Scanning Electron Microscopy (SEM) dari campuran antara fly ash dengan sodium silikat

## 2. Sodium Hidroksida (NaOH)

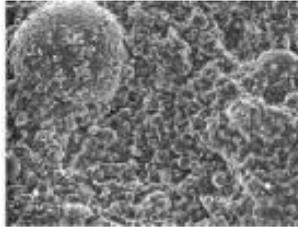
Sodium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik atau natrium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Sodium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Digunakan di berbagai macam bidang industry, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Sodium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia.

Sodium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pellet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas. NaOH sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan. NaOH juga larut dalam etanol dan methanol, walaupun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH. NaOH tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non-polar lainnya. Larutan sodium hidroksida akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas.

Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polymer yang kuat. Sebagai activator, sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum pemakaian. (Hardjito et.al,2005).

Pada **Gambar 2.7** menunjukkan campuran fly ash dengan sodium hidroksida yang diamati dalam ukuran mikrostruktur. Terlihat bahwa campuran antara fly ash dan sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat

tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan seperti pada campuran sodium silikat dan fly ash.



**Gambar 2. 7** Scanning Electron Microscopy (SEM) dari campuran antara fly ash dengan sodium hidroksida

#### 2.2.5.4 Superplaztilizer

*Admixture* merupakan bahan tambah yang berbentuk cair, namun berfungsi didalam campuran beton untuk mempercepat proses pengikatan beton ataupun memperlambat proses pengikatan beton.

Tujuan pemakaian *Admixture* dalam campuran beton geopolimer ini adalah untuk :

- a. Kemudahan pekerjaan ( *Workability* )
- b. Menghambat laju pengikatan binder geopolimer .

Berdasarkan *ASTM C494-81*, *admixture* dibedakan menjadi tujuh tipe, yaitu sebagai berikut :

##### 1. **Tipe A : *Water Reducing admixture***

Adalah bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi pencampuran air yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

##### 2. **Tipe B : *Retarding Admixture***

Adalah bahan tambah yang digunakan untuk menghambat laju pengikatan beton (*setting time*), dikarenakan

kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu pematangan.

**3. Tipe C : *Accelerating Admixture***

Adalah bahan tambah yang digunakan untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton, bahan ini digunakan untuk mengurangi lama waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan beton.

**4. Tipe D : *Water Reducing and Retarding Admixtures***

Adalah bahan tambah yang berfungsi ganda dan digunakan untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal, namun bahan ini juga dapat digunakan sebagai pengontrol pengeringan dan penambah kekuatan beton, serta akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air.

**5. Tipe E: *Water Reducing and Accelerating Admixtures***

Adalah bahan tambah yang berfungsi ganda dan digunakan untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang berkonsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal, serta dapat digunakan untuk menambah kekuatan beton.

**6. Tipe F : *Water Reducing, High Range Admixture***

Adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Kadar pengurangan air dalam bahan ini lebih tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit.

## 7. **Tipe G: Water Reducing, High Range Retarding Admixtures**

Adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan dari *superplasticizer* dengan bahan penunda waktu pengikatan beton.

### 2.2.6. Perawatan beton geopolimer

Sama seperti pada beton semen, proses perawatan pada beton geopolimer juga akan menentukan kualitas betonnya. Ada tiga jenis metoda perawatan yang dapat dilakukan terhadap beton geopolimer, yaitu :

1. Rawat normal, yaitu merawat dengan cara membiarkan betok berada dalam ruangan selama 28 hari, pada suhu ruang  $\pm 34^{\circ}$  C.
2. Perawatan dengan air laut, yaitu memasukkan beton ke dalam ruangan air lau yang bersifat korosif selama 26 hari sesuai dengan penelitian sebelumnya.

### 2.2.7. Literatur tentang perilaku balok beton geopolimer

Pada penelitian perilaku balok beton geopolimer yang sudah ada sebelumnya seperti yang ditulis oleh Rousstia, K. D dalam artikelnya yang berjudul “**Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Dinamis Dengan Pile Integrity Test**” membahas tentang perilaku balok beton bertulang geopolimer dengan beban dinamis sedangkan dalam buku ini membahas perilaku kegagalan gagal geser dengan beban statis serta diamati keretakan dan lendutan yang terjadi pada balok tersebut.

## 2.2.8. Pengujian beton geopolimer

### 1. Kuat Tekan

Tes ini didasarkan pada ASTM Designation: C 39 – 94 tahun 1996 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens). Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Secara matematis kuat tekan beton dinyatakan sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.24)$$

### 2. Porosity

Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam beton terhadap volume benda. Prosedur pengujian porositas menurut ASTM C 642 – 90, “ Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete”. Porositas dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{W_{sa} - W_d}{W_{sa} - W_{sw}} \times 100 \dots \dots \dots (2.25)$$

### 3. UPV (Ultraviolet Pulse Velocity)

Test UPV ini adalah test yang digunakan untuk mengetahui kepadatan beton dengan cara mengubah energi gelombang listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit pulsa *transducer* pengirim/*transmitter* (T) menjadi energi gelombang mekanik yang selanjutnya merambat pada beton.

Setelah sampa pada *transducer* penerima/*receiver* (R) energi gelombang tadi diubah menjadi energi gelombang listrik yang selanjutnya melewati penguat dan akhirnya dihitung/ditampilkan dalam satuan waktu tempuh.

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots(2.26)$$

#### 4. Hammer Test

Hammer Test yaitu suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Metode pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban intact(tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu masa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa tersebut pada saat terjadi tumbukan dengan permukaan benda uji dapat memberikan indikasi kekerasan setelah dikalibrasi.

#### 5. Pengujian sampel kuat tarik belah

Pengujian kuat tarik dengan cara uji tarik belah (*splitting test*) dengan mengambil standar pengujian berdasarkan ASTM C 496 – 90 di lakukan pada saat beton berumur 28 hari.Untuk menghitung besarnya nilai kuat belah, digunakan rumus:

$$T = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2.25)$$

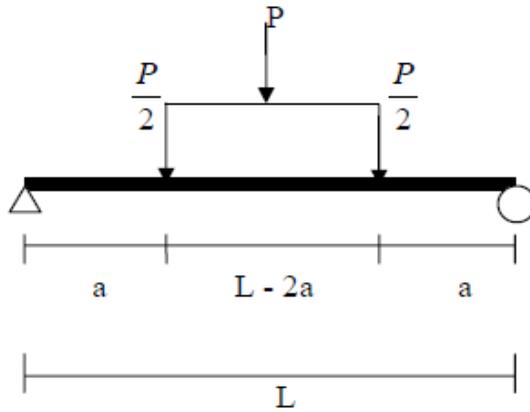
## 6. Resistivity Test

Pengujian Resistivity Test terhadap beton adalah untuk mengetahui seberapa besar ketahanan korosi pada beton. Pengukuran ketahanan permukaan memberikan informasi yang sangat berguna tentang keadaan struktur beton. Bukan saja telah terbukti bahwa ketahanan permukaan berhubungan langsung dengan kemungkinan terjadinya korosi dan laju korosi, hasil penyelidikan akhir-akhir ini telah menunjukkan bahwa terdapat korelasi langsung antara ketahanan dan laju difusi klorida dan bahkan untuk menentukan kuat tekan awal. Hal tersebut membuatnya menjadi salah satu dari metode pengujian tanpa merusak yang paling serbaguna untuk beton.

## 7. Kuat Geser

Pengujian Kuat Geser terhadap struktur beton adalah untuk mengetahui seberapa besar kekuatan beton Geopolimer dalam menahan gaya geser dibanding beton normal.

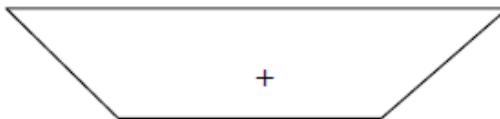
Untuk memberikan gambaran tentang definisi tersebut, akan ditinjau sebuah balok sederhana yang dibebani secara simetris oleh dua buah gaya  $P/2$  yang dapat dilihat pada gambar 2.5. Gaya lintang ( $V$ ) yang bersangkutan dan diagram momen lentur diperlihatkan **gambar 2.8, 2.9 dan 2.10.**



**Gambar 2.8** Balok sederhana yang di bebani 2 buah gaya  $P/2$



**Gambar 2.9.** Diagram Gaya Lintang

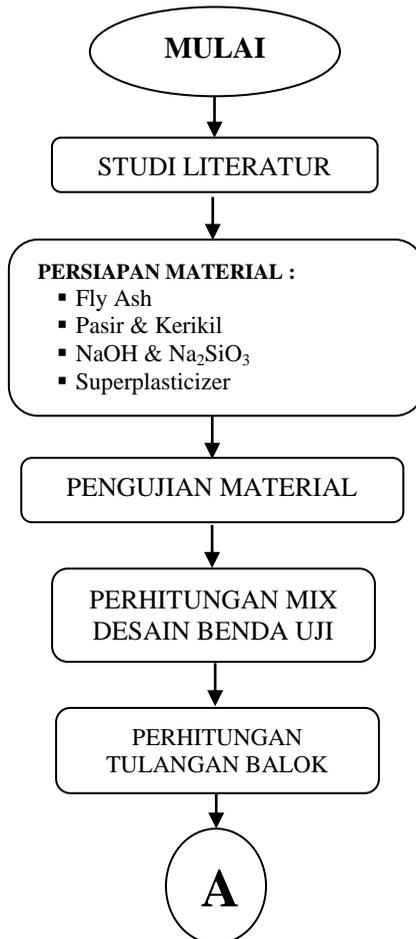


**Gambar 2.10.** Diagram Momen Lentur

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Proses penyusunan penelitian ini meliputi perencanaan teknis pembuatan beton sebagai berikut :



**A**

**PEMBUATAN BENDA UJI**

1. SILINDER GEOPOLIMER  
- Ukuran 10 cm x 20 cm
2. KUBUS GEOPOLIMER  
- Ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm
3. BALOK BETON GEOPOLIMER  
- Ukuran 10 cm x 15 cm x 150 cm

**PERAWATAN (*Curing*) 28 hari :**

- Di rendam dalam air laut  
(6 Silinder, 3 kubus dan 2 Balok Beton Geopolimer)
- Di biarkan dalam suhu ruang [34°C]  
(6 Silinder, 3 kubus dan 2 Balok Beton Geopolimer)

**PENGUJIAN UMUR 28 hari**

Silinder Geopolimer  
Ukuran 10 cm x 20 cm

- Kuat Tekan
- Kuat Belah
- UPV
- Hammer
- Resistivity

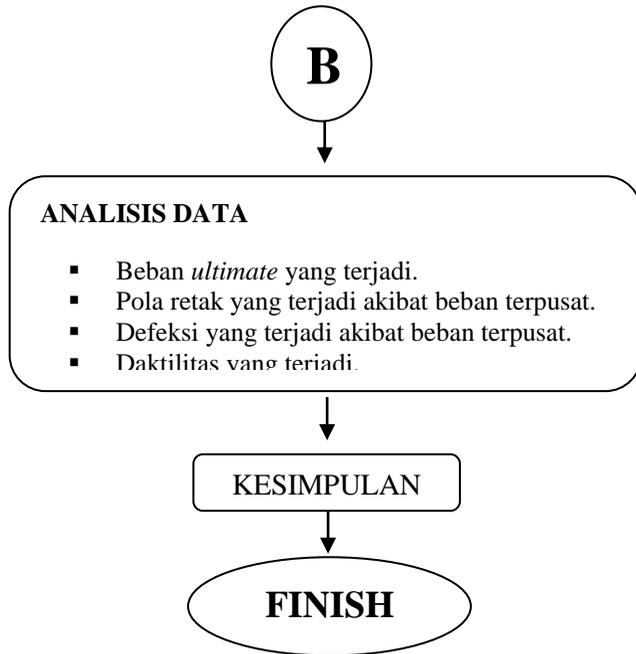
Balok Geopolimer  
Uk 10cmx15cmx150cm

- Kuat Geser
- UPV
- Hammer
- Resistivity

Kubus Geopolimer  
Ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm

- Porosity

**B**



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2. DESAIN EKSPERIMEN

Untuk menjawab tujuan dari penelitian diatas desain eksperimen yang dipakai adalah desain eksperimen laboratory, karena semua kegiatan yang akan dilakukan ini dilakukan di laboratorium.

### 3.3. PERSIAPAN MATERIAL

#### 3.3.1 *Fly Ash*

Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai material dasar untuk pembuatan *geopolymer*. *Fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU PAITON. Untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam *fly ash* tersebut, akan dilakukan tes *XRD* (*X-Ray Diffraction*) di Laboratorium.

#### 3.3.2. Uji Komposisi *Fly Ash*

Komposisi *fly ash* dapat diketahui melalui suatu uji yang bernama *XRD* (*X-Ray Diffraction*) dimana *fly ash* yang mengandung kadar oksida tinggi dan bersifat amorf yang bisa dibuat binder dan beton *geopolymer*. Hal ini dimaksudkan agar bahan tersebut bisa bereaksi membentuk suatu reaksi polimerisasi dengan aktivatornya.

#### 3.3.3. Jenis alkali aktivator

Jenis alkali aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ). Larutan sodium hidroksida yang digunakan yaitu larutan  $\text{NaOH}$  8 M

### 3.3.4. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pasir alami ( *Uncrushed* ).

### 3.3.5. Agregat Kasar

Agregat kasar yang di gunakan adalah batu pecah yang berukuran <20mm

## 3.4. PENGUJIAN MATERIAL

### 3.4.1. Standart Pengujian material pasir

Material pasir yang akan digunakan harus, pasir yang memenuhi standart sesuai yang ditetapkan berdasarkan.

**Tabel 3.1** Persyaratan material pasir yang akan dipakai

No.	Pengujian Bahan	Jenis Pengujian	STANDAR	Syarat
1.	Pasir	Kelembapan	ASTM C556-89	Kelembaban harus 1%-5%
		Berat Jenis	ASTM C128-93	Berat jenis harus 1,66-3,30
		Air Resapan	ASTM C128-93	Air resapan maksimal adalah 4%
		Berat Volume	ASTM C29/C29 M-91	Berat volume pasir adalah 0,4-1,9 kg/lt

No.	Pengujian Bahan	Jenis Pengujian	STANDAR	Syarat
		Kebersihan pasir terhadap bahan organik	ASTM C40-92	Keruh kadar organik lebih tinggi, jika tidak keruh kadar organik rendah
		Kebersihan terhadap lumpur	ASTM C117-9	Maksimal 5%
		Analisa saringan	ASTM C136-85 A	Modulus kehalusan harus diantara 2,3 - 3,1

### 3.4.2 Pengujian Material Pasir

Sebelum digunakan untuk proses produksi material harus dilakukan pengujian guna mengetahui karakteristik material seperti **ASTM** di atas, adapun material yang akan diuji yaitu:

#### 3.4.2.1 BERAT JENIS PASIR

➤ **TUJUAN**

Untuk mengetahui atau menentukan kelembaban pasir dengan cara kering.

➤ **STANDART UJI**

ASTM C 556 – 89

➤ **ALAT DAN BAHAN**

1. Oven
2. Neraca Orchaus
3. Neraca digital ( 4 MD GF – 6000)
4. Sarung tangan tebal
5. Dua buah loyang
6. Pasir

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Pasir dalam keadaan asli ditimbang sebanyak 500 gram.
2. Pasir dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatur ( $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ).
3. Keluarkan pasir dari oven, setelah dingin pasir ditimbang beratnya.

### **3.4.2.2 BERAT JENIS PASIR**

➤ **TUJUAN**

Menentukan berat jenis pasir pada kondisi SSD (Saturated Surface Dry

➤ **STANDART UJI**

ASTM C 128 - 93

➤ **ALAT DAN BAHAN**

1. Labu takar 1000 Cc
2. Timbang digital
3. Loyang
4. Pasir SSD
5. Air

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Penyiapan pasir untuk kondisi SSD :
  - a. Rendam pasir 24 jam, selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang.
  - b. Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak menghisap air.

- c. Isi kerucut SSd  $\frac{1}{3}$  tingginya dan rojok 9 kali, isi lagi  $\frac{1}{3}$  tinggi dan rojok 8 kali, isi lagi  $\frac{1}{3}$  tinggi dan rojok 8 kali.
  - d. Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, bila pasir masih berbentuk kerucut maka pasir belum SSD.
  - e. Keringkan lagi bila dan ulangi lagi pengisian dengan prosedur sebelumnya, bila kerucut diangkat dan pasir gugur tetapi berpuncak maka pasir sudah dalam kondisi SSD dan siap untuk digunakan dalam pengujian.
2. Timbang labu takar 1000 cc.
  3. Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram, dan masukkan pasir kedalam labu takar dan timbang.
  4. Isi labu takar yang berisi pasir dengan air bersih hingga penuh.
  5. Pegang labu takar yang sudah berisi air dan pasir posisi miring, putar kiri dan kanan hingga gelembung-gelembung udara dalam pasir keluar.
  6. Sesudah gelembung-gelembung keluar tambahkan air kedalam labu takar hingga batas kapasitas dan timbang (w1).
  7. Keluarkan pasir dan air dalam labu takar kemudian labu takar bersihkan, lalu isi labu takar dengan air sampai batas kapasitas dan timbang.

### **3.4.2.3 AIR RESPAN PASIR**

- **TUJUAN**  
Menentukan kadar air resapan pasir.
- **STANDART UJI**  
ASTM C 128 -93

➤ **ALAT DAN BAHAN**

- a) Loyang
- b) Timbangan
- c) Oven
- d) Pasir

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Timbang Loyang dalam keadaan kosong.
2. Timbang pasir SSD pada loyang sebanyak 500 gr ( tidak termasuk berat loyang ).
3. Masukkan pasir dan loyang kedalam oven selama 24 jam ( $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ c}$ ).
4. Setelah 24 jam pasir dikeluarkan dan didinginkan lalu ditimbang.

### 3.4.2.4 BERAT VOLUME PASIR

➤ **TUJUAN**

Menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat.

➤ **STANDART UJI**

ASTM 129-91

➤ **ALAT DAN BAHAN**

Alat :

1. Silinder volume 3 liter
2. Silinder volume 10 liter
3. Timbangan

Bahan :

1. Pasir

➤ **LANGKAH KERJA**

1. *Tanpa rojokan atau lepas.*

- a. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
- b. Silinder diisi dengan pasir sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm jatuhkan ke lantai

sebanyak 3 kali, kemudian ratakan permukaannya.

- c. Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh.

2. *Dengan rojokan.*

- a. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
- b. Silinder diisi dengan pasir 1/3 bagian, kemudian dirojok sebanyak 25 kali demikian hingga penuh dan tiap bagian dirojok 25 kali.
- c. Permukaannya diratakan.
- d. Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh.

### **3.4.2.5 KEBERSIHAN PASIR TERHADAP BAHAN ORGANIK**

➤ **TUJUAN**

Penentuan kadar zat organik di dalam agregat yang digunakan di dalam adukan beton.

➤ **STANDART UJI**

ASTM C 40-92

➤ **ALAT DAN BAHAN**

1. Botol bening
2. Pasir
3. Larutan NaOH 3%

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Isikan agregat halus yang diuji ke dalam botol sampai  $\pm 130$  ml.
2. Tambahkan larutan NaOH 3% sampai 200 ml dan tutup rapat dan kocok botol  $\pm 10$  menit.
3. Diamkan selama 24 jam.

4. Selanjutnya amati warna cairan di atas permukaan agregat halus yang ada dalam botol, kemudian bandingkan warnanya.
5. Jika warna cairan dalam botol berisi agregat lebih tua warnanya dari pembanding, berarti data agregat berkadar zat organik yang terlalu tinggi.

#### **3.4.2.6 KEBERSIHAN PASIR TERHADAP LUMPUR (PENCUCIAN)**

- **TUJUAN :**  
Untuk menentukan banyaknya kadar lumpur dalam pasir.
- **STANDART UJI**  
ASTM C 33-93
- **ALAT DAN BAHAN**
  1. Alat
    - Timbangan analitis.
    - Saringan berdiameter 0,297.
    - Pan atau cawan terbuat dari porselin atau logam tahan karat.
    - Oven pemanas.
  2. Bahan
    - Pasir kondisi kering oven.
    - Air PAM
- **LANGKAH KERJA**
  1. Timbang pasir kering oven sebanyak 500 gram ( $W_1$ ).
  2. Pasir dicuci dengan air PAM hingga bersih, dengan cara mengaduk pasir dengan air berkali-kali hingga tampak bening.
  3. Tuangkan air cucian ke dalam saringan berdiameter 0,297 berkali-kali.

4. Pasir yang ikut tertuang dan tinggal di atas saringan dikembalikan ke pan.
5. Masukkan pasir ke dalam oven dengan suhu  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
6. Setelah 24 jam, pasir diangkat dan dinginkan lalu timbang beratnya ( $W_2$ ).

### 3.4.2.7 ANALISA SARINGAN PASIR

➤ **TUJUAN**

Untuk menentukan distribusi ukuran butir/gradasi pasir.

➤ **STANDART UJI**

ASTM C 1366-95

➤ **ALAT DAN BAHAN**

1. Alat

- a) Ayakan dengan 7 (tujuh) tingkat
- b) No. 1 berdiameter 4,75 mm
- c) No. 2 berdiameter 2,36 mm
- d) No. 3 berdiameter 1,18 mm
- e) No. 4 berdiameter 0,6 mm
- f) No. 5 berdiameter 0,3 mm
- g) No. 6 berdiameter 0,15 mm
- h) No. 7 ayakan tertutup
- i) Timbangan
- j) Loyang
- k) Alat penggetar listrik

2. Bahan

Pasir kering oven sebesar 1000 gram

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Timbang pasir sebanyak 1000 gram.
2. Bersihkan saringan dengan kuas atau sikat kemudian disusun.
3. Masukkan pasir ke dalam ayakan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan di

atas dan digetarkan dengan mesin penggetar selama 10 menit.

4. Pasir yang tertinggal pada tiap-tiap ayakan ditimbang.
5. Perlu untuk kontrol berat pasir keseluruhan = 1000 gram.
6. Menggambar hasil presentase saringan pada grafik.

### 3.4.3 Standart Pengujian Material Kerikil

Material kerikil yang akan digunakan harus kerikil yang memenuhi standart sesuai yang ditetapkan berdasarkan.

**Tabel 3.2** Persyaratan material kerikil yang akan dipakai

No.	Pengujian Bahan	Jenis Pengujian	STANDAR	Syarat
2.	Kerikil	Kelembapan	ASTM C556-71	Kelembapan jika kering harus kurang dari 0,1%
		Berat Jenis	ASTM C128-93	Berat jenis harus 1,66-3,30
		Air Resapan	ASTM C33-93	Air resapan maksimal adalah 4%
		Berat Volume	ASTM C29-78	Berat volume pasir adalah 1,4-1,7
		Kebersihan pasir terhadap bahan	ASTM C40-92	Keruh kadar organik

No.	Pengujian Bahan	Jenis Pengujian	STANDAR	Syarat
		organik		lebih tinggi, jika tidak keruh kadar organik rendah
		Kebersihan terhadap lumpur	ASTM C117-76	Maksimal 5%
		Analisa saringan	ASTM C136-85 A	Modulus kehalusan harus diantara 2,3-3,1

### 3.4.4 Pengujian Material Kerikil

Sebelum kerikil (batu pecah) digunakan, kerikil harus diuji terlebih dahulu. Adapun langkah – langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

#### 3.4.4.1 KELEMBABAN BATU PECAH

##### ➤ TUJUAN

Untuk mengetahui atau menentukan kelembaban kerikil dengan cara kering.

##### ➤ STANDART UJI

ASTM C 556 - 89

##### ➤ ALAT DAN BAHAN

1. Oven
2. Timbangan
3. Loyang / pan

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Tempat ditimbang
2. kerikil dalam keadaan asli ditimbang sebanyak 1000 gram
3. Pasir dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatur ( $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ).
4. Keluarkan pasir dari oven, setelah dingin kerikil + tempat ditimbang beratnya.
5. Untuk menemtukan kerikil setelah dioven yaitu berat kerikil + tempat dikurangi berat tempat timbang itu sendiri

**3.4.4.2 BERAT JENIS BATU PECAH**

➤ **TUJUAN**

Untuk memperoleh serta mengetahui berat jenis SSD kerikil atau batu pecah..

➤ **STANDART UJI**

ASTM C 127-88-93)

➤ **ALAT DAN BAHAN**

1. Alat :
  - a) Kain lap
  - b) Ember
  - c) Loyang
  - d) Neraca
2. Bahan :
  1. Kerikil atau betu pecah
  2. Air

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Kerikil di rendam di dalam bak selama 24 jam.
2. Setelah melewati 24 jam kemudian kerikil diangkat dan dilap satu per satu.
3. Kemudian timbang kerikil sebanyak 3000 gram.
4. Masukkan keranjang yang berisi kelrikil SSD dalam air.
5. Timbang berat dalam air (keranjang dan kerikil)

### 3.4.4.3 AIR RESAPAN BATU PECAH

- **TUJUAN**  
Menentukan kadar air resapan kerikil.
- **STANDART UJI**  
ASTM C 127 - 88
- **ALAT DAN BAHAN**
  1. Alat :
    - a) Timba
    - b) Oven
    - c) Lap kain
    - d) Timbangan
  2. Bahan :
    - a) Kerikil 3000 gram
    - b) Air
- **LANGKAH KERJA**
  1. Timbang kerikil kondisi SSD sebanyak 3000 gram.
  2. Masukkan oven selama 24 jam.
  3. Kerikil atau batu pecah dikeluarkan dan setelah dingin ditimbang beratnya.

### 3.4.4.4 BERAT VOLUME BATU PECAH

- **TUJUAN**  
Menentukan berat volume batu pecah atau kerikil baik dalam keadaan lepas maupun padat.
- **STANDART UJI**  
ASTM C 29/C 29M – 91a
- **ALAT DAN BAHAN**
  - Alat :
    1. Takaran 10L (10000cc)
    2. Timbangan atau neraca
    3. Alat perojok
  - Bahan :
    1. Kerikil

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Tanpa rojokan atau lepas
  - a) Takaran dalam keadaan kosong ditimbang.
  - b) Takaran diisi dengan kerikil sampai penuh dan diangkat setinggi 1 cm jatuhkan ke lantai sebanyak 3 kali, kemudian ratakan permukaannya.
  - c) Timbang takaran yang sudah terisi kerikil penuh.
2. Dengan rojokan
  - a) Takaran dalam keadaan kosong ditimbang.
  - b) Takaran berisi kerikil  $\frac{1}{3}$  bagian, kemudian dirojok 25 kali (lakukan seperti tersebut 2kali lagi sampai penuh).
  - c) Permukaannya diratakan.
  - d) Timbang takaran yang sudah terisi kerikil penuh.

### 3.4.4.5 **KEBERSIHAN BATU PECAHTERHADAP LUMPUR**

➤ **TUJUAN**

Mengetahui kadar lumpur pada kerikil.

➤ **STANDART UJI**

ASTM C 117 - 95

➤ **ALAT DAN BAHAN :**

1. Alat :
  - a) Saringan # 0,063 mm
  - b) Loyang
  - c) Timbangan
  - d) Ember
  - e) Oven
2. Bahan :
  - a) Kerikil
  - b) Air

➤ **LANGKAH KERJA** :

1. Timbang batu pecah kering oven sebanyak 1000 gram.
2. Batu pecah dicuci hingga bersih, yaitu dengan mengaduk kerikil dengan air berkali-kali hingga tampak bening.
3. Tuangkan air cucian ke dalam saringan No. 200 berkali-kali.
4. Kerikil yang ikut tertuang dan tinggal di atas saringan kembalikan ke Loyang.
5. Kemudian kerikil dioven dengan suhu  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
6. Setelah 24 jam, keluarkan kerikil dari oven dan timbang lagi, lalu catat hasil timbangan.

**3.4.4.6 KEBERSIHAN BATU PECAH TERHADAP LUMPUR**

➤ **TUJUAN**

1. Untuk mengetahui jumlah dan prosentase kerikil yang lolos datertinggal di ayakan.
2. Untuk menganalisa ukuran kerikil menurut zona ayakan.

➤ **STANDART UJI**

ASTM C 136 -95 a

➤ **ALAT DAN BAHAN**

1. Saringan
2. Saringan 1 ½”
3. Saringan ¾”
4. Saringan 3/8”
5. Timba 2 buah
6. Loyang 1 buah
7. Neraca 1 buah
8. Kerikil 16 kg

➤ **LANGKAH KERJA**

1. Timbang kerikil sebanyak 16 kg
2. Masukkan ke dalam susunan saringan:
3. 1½"; ¾"; 3/8";
4. Getarkan ayakan / saringan dengan tangan selama beberapa menit lalu timbang berat kerikil yang tertinggal pada masing-masing saringan.
5. Masing-masing yang tertinggal pada saringan ditimbang dan dicatat.

### **3.5 PERHITUNGAN CAMPURAN BETON DAN DESAIN TULANGAN**

#### **3.5.1 Perhitungan Mix Desain**

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan desain beton geopolimer sesuai dengan beton semen konvensional. Hal ini berarti kedua jenis beton tersebut didesain dengan kuat tekan rencana yang sama menurut standar perhitungan beton konvensional. Karena sampai saat ini belum terdapat standar mengenai desain campuran (mix design) beton geopolimer, maka untuk mencapai target kuat tekan beton geopolimer tertentu, peran pasta semen pada beton semen diganti dengan pasta geopolimer.

Mengacu pada penelitian terdahulu, maka komposisi yang dipakai dalam beton geopolimer ini terdiri dari kemolaran sebesar 8 Molar, dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  sebesar 2, Fly Ash : Alkali sebesar 65 : 35, Agregat : Binder 70 : 30 dan Agregat kasar : halus 60 : 40.



6. Massa alkali = massa sodium silikat + massa sodium hidroksida.

(Sodium hidroksida yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 8M.)

Untuk menentukan berapa besar massa sodium hidroksida dan sodium silikat yang digunakan, dapat dihitung menggunakan perbandingan  $\text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1 : 2$

Maka :

$$\begin{aligned}\text{NaOH} &= \frac{1}{3} \times \text{Massa Alkali} \\ &= \frac{1}{3} \times 252 \text{ kg} \\ &= \mathbf{84 \text{ kg}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Na}_2\text{SiO}_3 &= \frac{2}{3} \times \text{Massa Alkali} \\ &= \frac{2}{3} \times 252 \text{ kg} \\ &= \mathbf{168 \text{ kg}}\end{aligned}$$

7. Superplastisizer = 2% x massa fly Ash  
= 2% x 468 kg  
= **9,36 kg**

Jadi material yang dibutuhkan untuk membuat  $1\text{m}^3$  beton geopolimer adalah

Kerikil	= <b>1008 kg</b>
Pasir	= <b>672 kg</b>
Fly Ash	= <b>468 kg</b>
NaOH	= <b>84 kg</b>
$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	= <b>168 kg</b>
Superplazticier	= <b>9,36 kg</b>

### 3.5.2 Perhitungan Penulangan Gagal Geser

Untuk mendapatkan beton yang mengalami gagal geser maka, tulangan lentur pada beton harus diperkuat dan berikut adalah perhitungannya :

1. Perhitungan P ultimate pada lentur:

Direncanakan:

➤	Tulangan Lentur	= 13 mm	
➤	Tulangan Geser	= 6 mm	
➤	Cover	= 20 mm	
➤	$f'_c$	= 40 Mpa	
➤	$f_y$ (Lentur)	= 500 Mpa	
➤	$f_y$ (Geser)	= 500 Mpa	
➤	b	= 100 mm	
➤	h	= 150 mm	
➤	l	= 1500 mm	
➤	a	= 350 mm	( Jarak beban ke tumpuan )

$$\begin{aligned}
 \text{As (aktual)} &= n \cdot A_s \\
 &= n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 13^2 \\
 &= 265,465 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi efektif (d)} &= h - \text{cover-tulangan geser} - 0,5 \text{ tulangan lentur} \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 6 \text{ mm} - 0,5 \cdot 13 \text{ mm} \\
 &= 118 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{265,46 \cdot 500}{0,85 \cdot 40 \cdot 10}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 39,039 \text{ mm} \\
 Mn &= As \cdot fy \cdot (d - \frac{a_s}{2}) \\
 &= 265,465 \cdot 500 \cdot (118 - \frac{39,039}{2}) \\
 &= 13005182,2 \text{ Nmm} \\
 \phi Mn &= Mu \\
 Mu &= 1 * 13005182,2 \text{ Nmm} \\
 &= 13005182,2 \text{ Nmm} \\
 Mu &= 1/2 Pu \cdot a + 1/8 qu \cdot L^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di peroleh Pu sebesar :

$$Pu = 7,379 \text{ Ton (Lentur)}$$

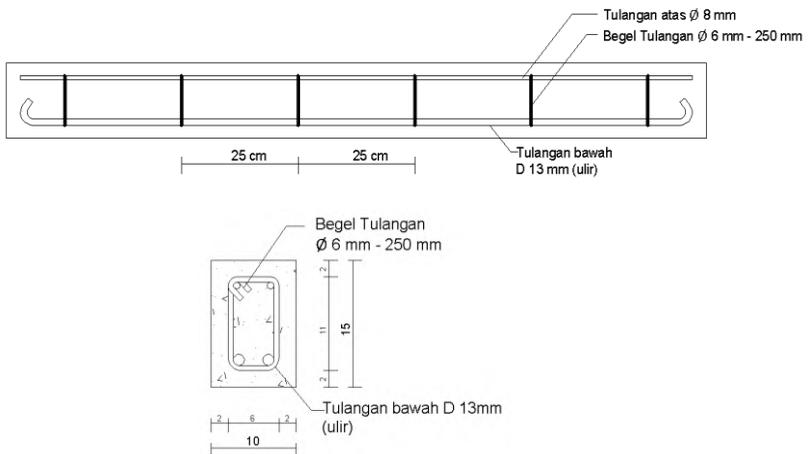
## 2. Perhitungan P ultimate untuk Geser

$$\begin{aligned}
 Vc &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} bw d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 10 \cdot 118 \\
 &= 12385,58 \text{ N} \\
 Av &= n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 6^2 \\
 &= 56,5 \text{ mm}^2 \\
 Vs &= \frac{Av \cdot fy \cdot d}{S} \\
 &\text{(Direncanakan jarak } S = 250 \text{ mm)} \\
 &= \frac{Av \cdot fy \cdot d}{S} \\
 &= \frac{56,5 \cdot 300 \cdot 163}{250} \\
 &= 13288,93692 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 12385,58 + 13288,93692 \\
 &= 25674,52443 \text{ N} \\
 V_n &= \frac{1}{2} P \\
 P &= 2 \cdot V_n \\
 &= 2 \cdot 25674,52443 \text{ N} \\
 &= 51349,04885 \text{ N} \\
 &= 5,1349 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Agar terjadi gagal geser, maka P lentur harus lebih besar dari pada P geser

$$\begin{aligned}
 P \text{ Lentur} &> P \text{ Geser} \\
 7,379 \text{ Ton} &> 5,1349 \text{ Ton (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$



**Gambar 3.2** Sketsa penulangan benda uji balok beton geopolimer.

### 3.6 Metode Pembuatan Benda Uji Dan Pengujian

#### 3.6.1 Pembuatan campuran beton

##### 3.6.1.1 Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap penunjang di awal proses produksi. Hal-hal yang termasuk di dalamnya diantaranya :

##### 1) Persiapan Peralatan

- a) *Concrete mixer*, dengan volume *concrete mixer* yang akan dipakai adalah  $\pm 1 \text{ m}^3$ .
- b) Bekisting, sesuai dengan ukuran benda uji yang telah disebutkan di atas. Sebelum pencetakan, dinding – dinding bekisting diberi pelumas agar mempermudah pembukaan bekisting.
- c) Sendok semen, wadah (baskom), dan peralatan penunjang lainnya.
- d) *Oven*, untuk *curing* beton geopolimer.

##### 2) Persiapan Bahan

##### a) Prekursor

Bahan prekursor yang digunakan adalah abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari PLTU Paiton. Sebelum digunakan untuk produksi, *fly ash* terlebih dahulu digiling untuk mendapatkan luas permukaan yang besar. Setelah digiling, *fly ash* disaring dengan menggunakan saringan No. 200. Hal ini bertujuan agar reaksi polimerisasi dapat berlangsung dengan baik.

##### b) Aktivator alkali

Aktivator yang digunakan pada percobaan ini adalah campuran natriumsilikat dengan natrium hidroksida. Natrium hidroksida yang berbentuk padatan kristal kecil dilarutkan dalam natrium silikat yang berbentuk cairan. Komposisi

natrium hidroksida dan natrium silikat pada saat pencampurandihitung agar didapatkan komposisi larutan dengan molaritas tertentu. Hal ini berpengaruh dalam reaksi polimerisasi yang akan terjadi.

c] Agregat

Agregat mineral yang digunakan berupa agregat kasar dan agregat halus dari hasil penyaringan limbah sisa beton semen dan agregat non-limbah.

d] Superplasticizier

Superplasticizier yang digunakan adalah tipe F untuk sebagai penghambat *setting time* dari beton geopolimer tersebut agar tidak cepat mengeras waktu pelaksanaan.

### 3.6.1.2 Pembuatan Campuran Beton (Mixing)

Proses pencampuran dilakukan setelah melakukan proses desain, dimana komposisi berat tiap bahan beton telah ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan menurut standart desain beton konvensional. Proses pencampuran meliputi rangkaian kegiatan berikut ini :

- 1) Mencampur agregat kasar dan *fly ash* dalam keadaan kering. Masukkan hasil pencampuran ke dalam concrete mixer.
- 2) Membuat larutan aktivator alkali dalam wadah. Setelah terjadi reaksi dalam larutan (ditandai dengan kenaikan suhu), masukkan fly ash dan air ke dalam larutan kemudian aduk merata, sehingga setiap butiran fly ash bersentuhan dengan larutan. Bahan ini merupakan material geopolimer yang berfungsi sebagai matriks (mortar).
- 3) Masukkan agregat halus ke dalam concrete mixer dan aduk sampai mendapatkan kondisi homogen.

4) Memasukkan beton kedalam cetakan yang sudah disiapkan.

#### 3.6.1.3 Pencetakan (Moulding)

Metode pencetakan berperan dalam menentukan kepadatan dan homogenitas beton pada saat keras, serta besar pori yang timbul. Proses pencetakan meliputi rangkaian kegiatan berikut ini:

- 1) Pastikan dinding-dinding bekisting telah diberi pelumas bekisting beton geopolimer, dan bekisting telah bersih dari segala macam benda asing.
- 2) Beton segar yang telah tercampur dengan baik dimasukkan ke dalam bekisting. Proses pencetakan dibagi menjadi tiga lapisan, tiap lapisan dipadatkan dengan menggunakan batang besi, banyaknya tusukan yang diberikan ditentukan sampai kondisi beton terlihat padat.
- 3) Beton segar yang telah tercampur dengan baik dimasukkan ke dalam bekisting. Proses pencetakan dibagi menjadi tiga lapisan, tiap lapisan dipadatkan dengan menggunakan batang besi sebanyak 60 kali tusukan. Perilaku balok beton. Pada bekisting geser, banyak tusukan yang diberikan ditentukan sampai kondisi beton terlihat padat.

#### 3.6.1.4 Proses Pengerasan (*Hardening*)

Berbeda dengan material semen yang menghasilkan panas hidrasi tinggi, material geopolimer membutuhkan energi aktivasi tambahan untuk mempercepat proses polimerisasi. Hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan kurang tinggi. Agar proses perkerasan berlangsung cepat, benda uji yang telah dicetak ditempatkan pada suhu ruangan 34°C selama  $\pm$  24 jam sampai mengeras, dimana beton yang telah mengeras diindikasikan

dengan kondisi pada saat pelepasan bekisting beton tidak mengalami keruntuhan.

### 3.6.1.5 Perawatan (*Curing*)

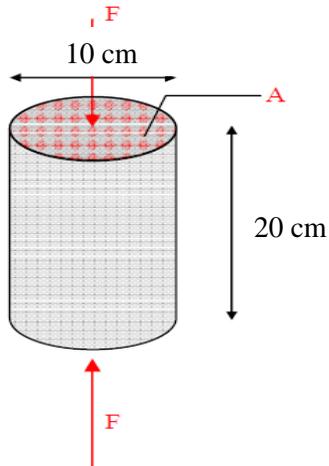
Pada proses perawatan beton geopolimer ini disamakan dengan proses perawatan pada beton yang menggunakan semen, yaitu, sampel uji dibiarkan pada dua tempat, masing-masing suhu ruangan dan air laut hingga  $\pm 28$  hari.

## 3.6.2 Pengujian Beton Geopolimer

### 3.6.2.1 Melakukan Uji Kuat Tekan

- TUJUAN
  - Untuk mengetahui besar kuat tekan beton
- STANDART UJI
  - ASTM C 823-75
- ALAT
  - Universal Testing Machine
- LANGKAH KERJA
  1. Ratakan permukaan beton yang akan di test tekan dengan belerang cair atau lebih dikenal dengan istilah caping agar gaya tekan pada beton lebih merata pada semua permukaan beton. Tunggu sampai caping mengering.
  2. Angkat beton dan letakkan pada alat tekan dan pilih permukaan yang telah di caping tadi sebagai beban yang terbebani.
  3. Mesin diturunkan secara perlahan dengan kecepatan konstan.
  4. Catat berapa besar kuat tekannya yang muncul pada layar digital
  5. Beban yang keluar dalam satuan Ton, hitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$



**Gambar 3. 3** Sketsa pembebanan kuat tekan.

### 3.6.2.2 Melakukan test uji Porosity

- TUJUAN
  - Mengetahui besar pori – pori pada beton
- STANDAR UJI
  - RILEM CPC (11.3)
- ALAT
  - Timbangan
  - Oven
  - Piknometer
- LANGKAH KERJA
  1. Beton yang sudah di curing selama 28 hari lalu beton di letakkan pada alat vacum selama 24 jam guna menghilangkan udara di dalamnya

2. Kemudian tambahkan air ke dalam alat vacum hingga semua bagian beton terendam oleh air, kemudian vacum lagi selama minimal 16 jam
3. Setelah itu ambil beton yang sudah di vacum dalam air, keringkan guna mengetahui beton sewaktu SSD, dan timbang beton di dalam air guna mengetahui berat jenis beton
4. Setelah ditimbang masukan beton ke dalam oven, oven beton selama 24 jam pada suhu 105<sup>0</sup>C
5. Timbang dan catat beton dalam keadaan kering, hitung porositas dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{W_{sa} - W_d}{W_{sa} - W_{sw}} \times 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

### 3.6.2.3 Melakukan test uji UPV (*ULTRASONIC PULSE VELOCITY*)

- TUJUAN  
Mengetahui kerapatan struktur beton
- STANDAR UJI  
**BS 1881-203; ASTM C597**
- ALAT  
Alat uji UPV
- LANGKAH KERJA
  1. Persiapkan benda uji yang akan di test
  2. Olesi kedua alat permukaan UPV dengan stamped, sebagai perantara penyalur gelombang
  3. Letakan permukaan alat yang sudah di beri stamped pada permukaan beton, tunggu hingga gelombang transversal dapat diterima alat UPV
  4. Catat nilai yang muncul pada alat UPV dan hitung dengan rumus:

$$v = \frac{l}{t} \dots \dots \dots (3.3)$$

#### **3.6.2.4 Melakukan *Hammer Test***

- TUJUAN
  - Mengetahui kuat tekan beton
- STANDAR UJI
  - ASTM G80S-89
- ALAT
  - Alat uji Hammer Test
- LANGKAH KERJA
  1. Persiapkan beton yang akan di uji
  2. Cari permukaan yang rata agar beton tidak bergoyang
  3. Lakukan hammer test pada permukaan beton sebanyak 10 kali
  4. Catat rata – rata hasil pengujian tersebut

#### **3.6.2.5 Melakukan *Resistivity Test***

- TUJUAN
  - Mengetahui ketahanan korosi pada beton
- STANDAR UJI
  - AASHTO TP 95
- ALAT
  - Alat uji Resistivity Test (Resipod)
- LANGKAH KERJA
  1. Persiapkan beton yang akan di uji
  2. Bashi alat dengan air
  3. Letakkan alat pada permukaan beton, lakukan sebanyak 3 kali dan catat hasilnya.

#### **3.6.2.6 Melakukan test kuat tarik belah beton geopolimer (test sifat mekanik) (ASTM C 496-94)**

- TUJUAN
  - Mengetahui kerapatan struktur beton
- STANDAR UJI
  - ASTM C 496-94

➤ ALAT

Alat uji Universal Testing Machine

➤ LANGKAH KERJA

1. Persiapkan benda uji yang akan di test
2. Letakan beton diatas Bending Test Machine dengan posisi tidur
3. Uji beton tersebut hingga beton terbagi menjadi 2
4. Catat nilai yang muncul pada layar digital dan hitung dengan cara:

$$\sigma_c = \frac{2.P}{\pi.L.d}$$

### 3.6.2.7 Uji Kuat Geser

➤ TUJUAN

Mengetahui kapasitas geser beton geopolimer

➤ STANDAR UJI

**ASTM C78-96**

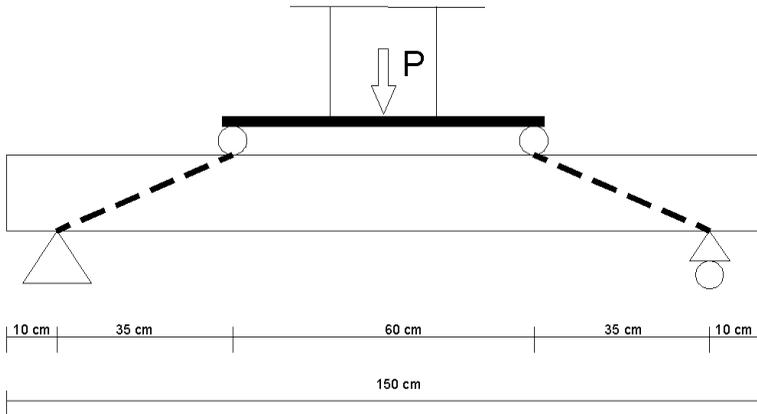
➤ ALAT

Alat uji Bending testing machine

➤ LANGKAH KERJA

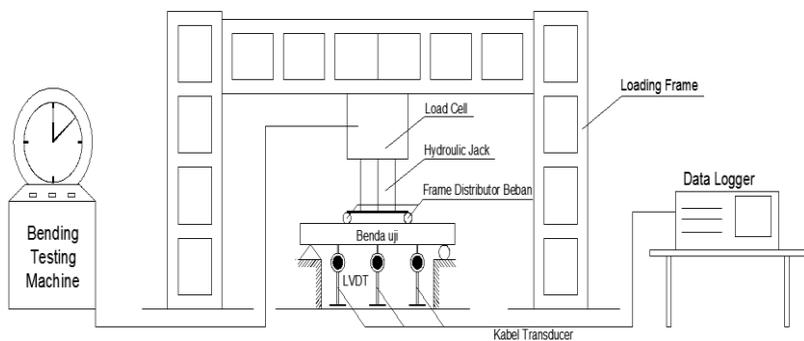
- 1 Balok beton bertulang diuji terhadap beban statik.
- 2 Tumpuan benda uji balok adalah sendi-rol.
- 3 Pembebanan dilakukan dengan sistim *two point load* dengan jarak antar titik pembebanan 60 cm dan sejauh 35cm dari masing-masing tumpuan di kedua sisi, untuk jarak tepi ke tumpuan di ambil 10cm.
- 4 Pembebanan dilakukan dengan bantuan *hydraulic jack* dan *load cell* yang masing-masing mempunyai kapasitas 100 ton.
- 5 Pasang LVDT kapasitas 5cm untuk mengukur lendutan yang terjadi.
- 6 Pencatatan beban dan defleksi dicatat dalam data logger.

- 7 Penandaan retak di lakukan bertujuan untuk mengetahui perilaku geser balok beton bertulang geopolimer.



**Gambar 3. 4** Sketsa pengujian kuat geser.

Set-up Pengujian bisa di lihat dari gambar berikut ini :



**Gambar 3. 5** Set-up pengujian kuat geser.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA**

#### **4.1. UMUM**

Pada bab ini akan menjelaskan bagaimana hasil dari beton geopolimer berdasarkan masing - masing komposisi yang telah di rencanakan.

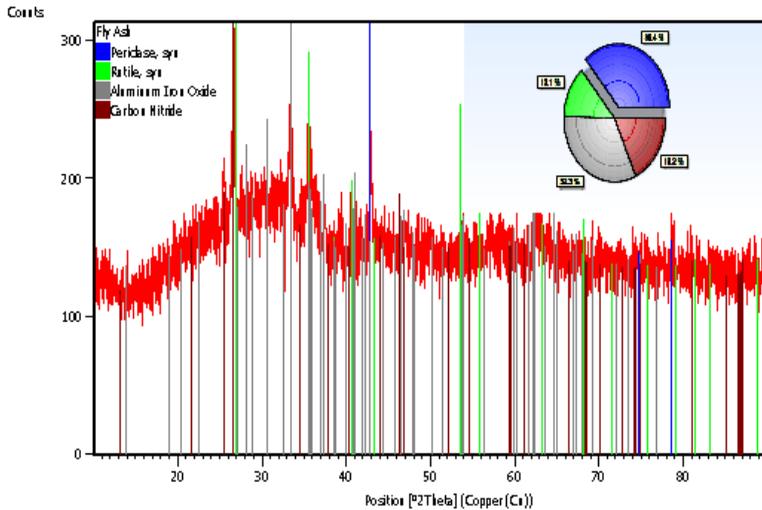
Bab ini juga disajikan dalam bentuk tabel dan grafik kemudian dilakukan pembahasan mengenai hasil dari berbagai pengujian dari beton geopolimer.

#### **4.2. HASIL PENGUJIAN MATERIAL**

Pada sub bab ini menjelaskan berbagai hasil dari jenis material dari beton geopolimer sebelum pengerjaan dari beton geopolimer. Adapun hasil dari tes pemeriksaan material beton geopolimer adalah sebagai berikut:

##### **4.4.1. Fly Ash**

Penelitian ini menggunakan Fly Ash dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Tes yang dilakukan terhadap material fly ash ialah tes XRD dan XRF. Tes ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang dikandung oleh fly ash. Ada beberapa tes Fly ash untuk mengetahui komposisi dari fly ash tersebut. Adapun tes tersebut adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 1** Hasil test uji XRD pada fly ash.

**Tabel 4. 1** Tabel kandungan material uji XRD pada fly ash

Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale Fac.
Chem. Formula					
*	00-045-0946	57	Magnesium Oxide	-0.035	0.599
Mg O					
*	01-078-4187	26	Titanium Oxide	-0.445	0.703
Ti O2					
*	00-030-0024	5	Aluminum Iron Oxide	-0.221	0.553
Al Fe O3					
*	01-087-1526	26	Carbon Nitride	0.050	0.788
C3 N4					

**Tabel 4. 2** Tabel komposisi material uji XRF pada fly ash

Senyawa	Kadar %
SiO <sub>2</sub>	24,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,24
CaO	11,01
MgO	2,58
Na <sub>2</sub> O	0,47
K <sub>2</sub> O	1,10
TiO <sub>2</sub>	0,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,51
SO <sub>3</sub>	1,26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14
MnO	0,1
SrO	0,33

Syarat sesuai ASTM C 618 – 03 :

SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 70%

Diperoleh 43,60 < 70%  
Maka Fly Ash Tipe C

SO<sub>3</sub> < 5%

Diperoleh 1,26 % < 5%  
Maka Fly Ash Tipe F

CaO < 10%

Diperoleh 11,01 % > 10%  
Maka Fly Ash Tipe C

Maka dari hasil perhitungan yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa Fly Ash yang digunakan adalah **Tipe C**.

#### 4.4.2. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus yang digunakan berupa pasir pertambangan dari daerah lumajang. Pengujian terhadap bahan pasir berupa uji fisik yang dilakukan di laboratorium beton diploma teknik sipil FTSP ITS surabaya. Dengan beberapa pengujian yang tertera sebagai berikut :

- a. Kelembaban pasir (ASTM C556-89)  
Lampiran 2
- b. Berat jenis pasir (ASTM C128-93)  
Lampiran 3
- c. Air Resapan Pasir (ASTM C128-93)  
Lampiran 4
- d. Pengembangan volume pasir (ASTM C29/C29 M-91)  
Lampiran 5
- e. Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C40-92)  
Lampiran 6
- f. Test Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117-95 )  
Lampiran 7

Adapun hasil dari tes pemeriksaan Agregat halus dari material beton geopolimer akan tertera pada tabel 4.3 sebagai berikut:

**Tabel 4. 3** Tabel hasil pengujian fisik material pasir

Jenis pengujian	Hasil Pengujian Pasir	Standart ASTM	Keterangan
Kelembaban	1,96 %	5%	Memenuhi
Berat jenis	2,76 gr/cm <sup>3</sup>	3,30 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
Resapan pasir	3 %	4%	Memenuhi
Pengembangan Volume Pasir	20%	25%	Memenuhi
Kadar Organik	No.2	No.6	Memenuhi
Kadar lumpur	1,638 %	5,00 %	Memenuhi

#### 4.4.3. Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20mm. Pengujian terhadap agregat kasar berupa uji fisik yang dilakukan di laboratorium beton diploma teknik sipil FTSP ITS surabaya. Dengan beberapa pengujian yang tertera sebagai berikut :

- a. Kelembaban batu pecah (ASTM C556-89)  
Lampiran 8
- b. Berat jenis batu pecah (ASTM C127-88)  
Lampiran 9
- c. Air Resapan batu becah (ASTM C127-88)  
Lampiran 10

- d. Berat volume batu pecah (ASTM C29/C29 M-91)  
Lampiran 11
- e. Test Kebersihan batu pecah Terhadap Lumpur  
(Pencucian) ( ASTM C 117-95 )  
Lampiran 12

**Tabel 4. 4** Tabel hasil pengujian fisik material kerikil

Jenis pengujian	Hasil batu pecah	Standart ASTM	Keterangan
Kelembaban	1,296%	2%	Memenuhi
Berat jenis	2,68 gr/cm <sup>3</sup>	3,20 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
Resapan kerikil	1,52 %	1-2%	Memenuhi
Berat volume (Rojok)	1,25 gr/dm <sup>3</sup>	0,4-1,9 gr/dm <sup>3</sup>	Memenuhi
Berat volume (Lepas)	1,37 gr/dm <sup>3</sup>	0,4-1,9 gr/dm <sup>3</sup>	Memenuhi
Kadar lumpur	0,64 %	1 %	Memenuhi

### 4.3. HASIL UJI SILINDER BETON GEOPOLIMER

Pada sub bab ini dibagi menjadi 2 (dua) pengujian, yaitu pengujian sewaktu beton masih segar dan pengujian setelah beton telah berusia 28 hari.

#### 4.3.1. Pengujian sewaktu beton masih segar

Pengujian yang dimaksud ini adalah pengujian yang dilakukan sewaktu produksi di tempat, pengujian dapat dilakukan dengan cara test slump. Uji Slump ini dilakukan untuk menentukan konsistensi/kekakuan (dapat dikerjakan atau tidak)dari campuran beton segar(fresh concrete) untuk menentukan tingkat workability nya.

Dari pengujian slump didapatkan penurunan sebesar 190 mm jika dibandingkan dengan standart tes slump untuk balok sangatlah rendah, karena pada standart tes slump untuk balok adalah 75-150mm. Hal ini disebabkan karena pengaruh Supperplastilizer yang senyawa kimia yang dapat menyebabkan nilai slump tidak sesuai dengan standart yang diberikan.



**Gambar 4. 2** Pengujian Slump

#### 4.3.2. Pengujian beton sewaktu berusia 28 hari

Pengujian ini dilakukan pada usia beton telah mencapai kekuatan maksimum yaitu telah berusia 28 hari. Pengujian yang dilakukan antara lain:

##### 4.3.2.1 Kuat tekan

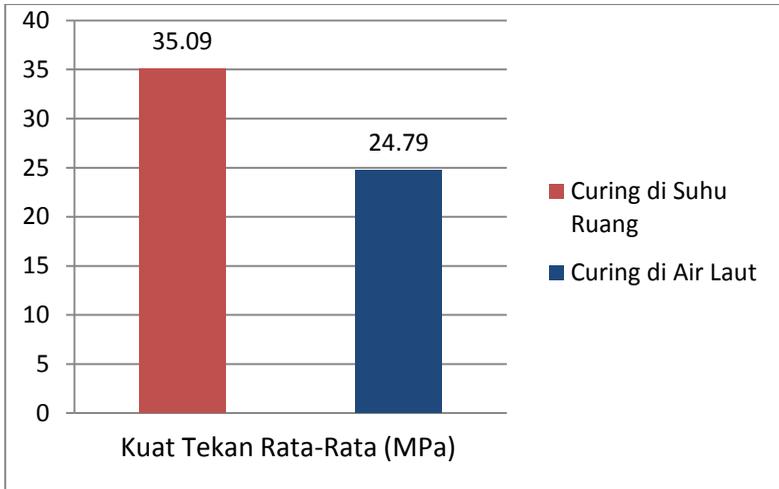
Pengujian ini digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton usia 28 hari yang di lakukan di Lab Beton Diploma Teknik Sipil ITS.

#### **Pengujian kuat tekan silinder $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}^2$**

**Tabel 4. 2** Tabel pengujian kuat tekan pada silider beton geopolimer

No	Kode Benda Uji	Curing	Beban (Ton)	Mutu beton (N/mm <sup>2</sup> )	Mutu rata rata (N/mm <sup>2</sup> )
1	SR1	Ruang	20,4	25,97	35,09
2	SR4	Ruang	25,8	32,84	
3	SR5	Ruang	36,5	46,47	
4	SL3	Laut	17,3	22,02	24,78
5	SL4	Laut	19,5	24,82	
6	SL5	Laut	21,6	27,50	

Berdasarkan **Tabel 4.5** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan kuat tekan rata-rata adalah 35,09 MPa untuk yang dirawat di suhu ruang dan 24,78 untuk yang di rawat di air laut. Jika kedua beton tersebut dibandingkan terlihat beton yang rawat di suhu ruang kuat tekannya lebih besar dari pada yang di rawat di air laut dengan rasio perbandingan 41%, hal tersebut mungkin dikarenakan oleh suhu ruang yang cukup panas yaitu 34 °C.



**Grafik 4. 1** Grafik perbandingan pengujian kuat tekan silinder rata-rata terhadap masing-masing perawatan



**Gambar 4. 3** Pengujian Kuat Tekan.

#### 4.3.2.2 Porosity

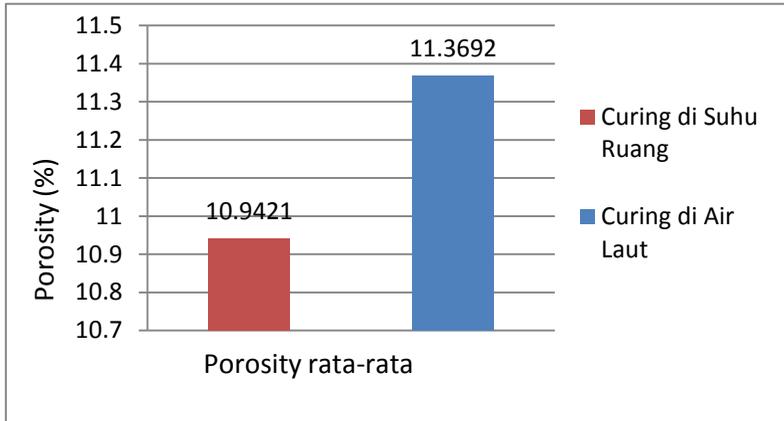
Tes porosity merupakan tes untuk mengetahui kadar pori dari suatu beton, dimana semakin besar kadar porinya maka semakin rendah mutu beton itu. Dalam pengerjaan tes porosity menggunakan empat perawatan yaitu oven ruang, oven laut, tanpa oven ruang dan tanpa oven laut. Adapun hasil dan analisa mengenai kadar pori adalah sebagai berikut :

#### **Pengujian porosity beton geopolimer kubus 5x5x5 cm<sup>3</sup>**

**Tabel 4. 3** Tabel hasil pengujian porosity kubus 5x5x5 cm<sup>3</sup>

No	Kode Benda Uji	Curing	Porosity	Porosity
			%	Rata-rata %
1	K1	Suhu Ruang	10,3321	10,9421
2	K2		11,06557	
3	K3		11,42857	
4	K4	Air Laut	10,8871	11,3692
5	K5		11,11111	
6	K6		12,10938	

Dari **Tabel 4.6** diatas dapat diketahui bahwa beton geopolimer yang dirawat di air laut mempunyai porositas 11,36 % sedikit lebih unggul dari pada beton geopolimer yang dirawat di suhu ruang yang porositas sebesar 10,94 %.



**Grafik 4. 2** Grafik perbandingan pengujian porosity rata-rata terhadap masing-masing perawatan



**Gambar 4. 4** Pengujian Porosity kubus (5cm x 5cm x 5cm).

#### 4.3.2.3 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

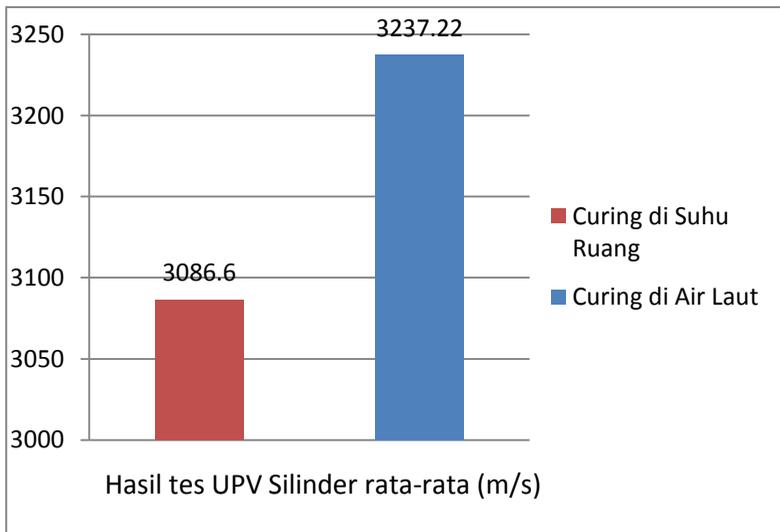
UPV adalah pengujian kepadatan beton secara tidak langsung, melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada media beton. Tes ini dilakukan di laboraorium beton Diploma Sipil FTSP ITS. Hasilnya adalah sebagai berikut:

##### A) Pengujian UPV silinder $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}^2$

**Tabel 4. 4** Hasil pengujian UPV silinder  $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}^2$

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	t	l	v	Rata-rata
			( $\mu\text{s}$ )	(m)	(m/s)	(m/s)
1	SR1	Suhu Ruang	77,6	0,2	2580	3086,6
2	SR2	Suhu Ruang	74,1	0,2	2696,6	
3	SR3	Suhu Ruang	63,1	0,2	3180	
4	SR4	Suhu Ruang	82,2	0,2	2636,6	
5	SR5	Suhu Ruang	52	0,2	3846,6	
6	SR6	Suhu Ruang	55,9	0,2	3580	
7	SL1	Air Laut	69,7	0,20	2966,6	3237,2
8	SL2	Air Laut	58,5	0,20	3086,6	
9	SL3	Air Laut	59,1	0,20	3386,6	
10	SL4	Air Laut	58,3	0,20	3430	
11	SL5	Air Laut	59,7	0,20	3346,6	
12	SL6	Air Laut	62,5	0,20	3206,6	

Berdasarkan **Tabel 4.7** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan hasil UPV rata-rata adalah 3086,6 m/s untuk yang dirawat di suhu ruang dan 3237,2 m/s untuk yang di rawat di air laut. Jika kedua beton tersebut dibandingkan terlihat beton yang rawat di air laut nilai UPV-nya lebih besar dari pada yang di rawat di suhu ruang dengan rasio perbandingan 4,87%, hal ini membuktikan bahwa beton geopolimer yang di rawat di air laut lebih padat dari pada beton geopolimer yang di rawat di suhu ruang.



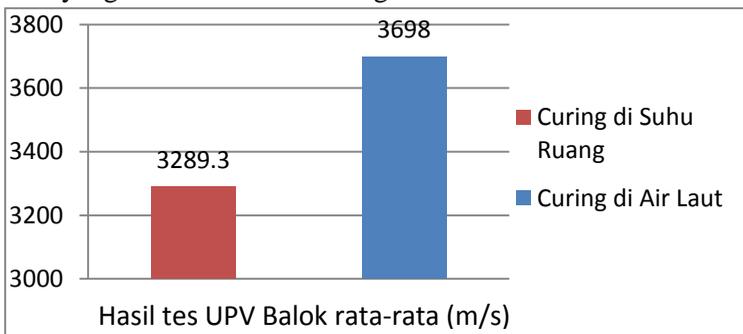
**Grafik 4. 1** Grafik perbandingan pengujian UPV silinder  $\varnothing 10 \times 20 \text{cm}^2$  masing-masing perawatan

### B) Pengujian UPV pada Balok (10 x 15 x 150 cm)<sup>3</sup>

**Tabel 4. 8** Hasil pengujian UPV silinder  $\varnothing$ 10 x 20 cm<sup>2</sup>

No	Kode Benda Uji	Perawatan	t	l	v	Rata-rata
			( $\mu$ s)	(m)	(m/s)	(m/s)
1	B1	Suhu Ruang	44,98	0,15	3339	3289,3
2	B2	Suhu Ruang	45,32	0,15	3313	
3	B3	Suhu Ruang	46,7	0,15	3216	
4	B4	Air Laut	40,74	0,15	3684	3698
5	B5	Air Laut	40,46	0,15	3712	

Berdasarkan **Tabel 4.8** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan hasil UPV rata-rata pada balok beton geopolimer adalah 3289,3 m/s untuk yang dirawat di suhu ruang dan 3698 m/s untuk yang di rawat di air laut. Jika kedua balok beton tersebut dibandingkan terlihat beton yang rawat di air laut nilai UPV-nya lebih besar dari pada yang di rawat di suhu ruang dengan rasio perbandingan 12%, hal ini membuktikan bahwa beton geopolimer yang di rawat di air laut lebih padat dari pada beton geopolimer yang di rawat di suhu ruang.



**Grafik 4. 4** Grafik perbandingan pengujian UPV Balok 10x15x150 cm<sup>3</sup> masing-masing perawatan



**Gambar 4. 5** Pengujian UPV Silinder dan Balok.

#### 4.3.2.4 Hammer Test

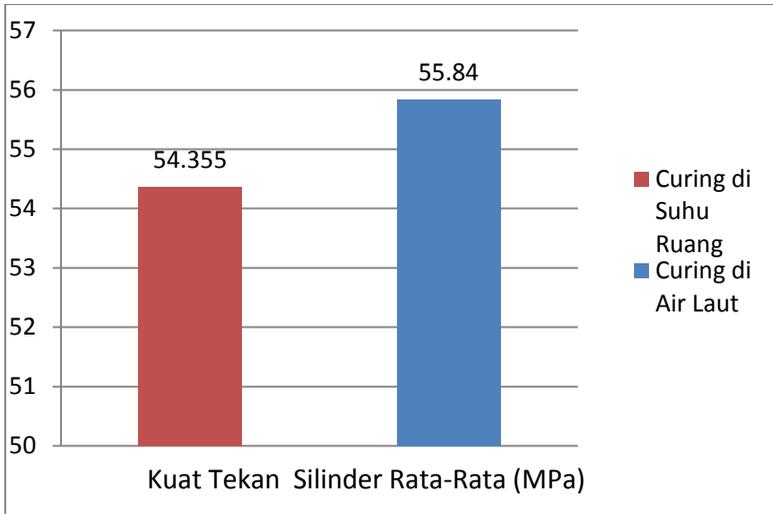
Hammer test adalah pengujian kuat tekan beton tanpa merusak struktur beton sendiri yang dilakukan pada permukaan beton. Tes ini dilakukan di laboraorium beton Diploma Sipil FTSP ITS. Berikut adalah hasil test tersebut:

### A) Pengujian Hammer Tes pada silinder $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}^2$

**Tabel 4. 9** Hasil pengujian Hammer Test pada silinder

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	Hasil Pengujian	Rata-rata
			MPa	MPa
1	SR1	Suhu Ruang	48,7	54,355
2	SR2	Suhu Ruang	48,4	
3	SR3	Suhu Ruang	50,6	
4	SR4	Suhu Ruang	59,58	
5	SR5	Suhu Ruang	63,45	
6	SR6	Suhu Ruang	55,4	
7	SL1	Air Laut	53,9	55,84
8	SL2	Air Laut	55,45	
9	SL3	Air Laut	57,63	
10	SL4	Air Laut	55,5	
11	SL5	Air Laut	57,3	
12	SL6	Air Laut	55,3	

Berdasarkan **Tabel 4.9** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan hasil Hammer Tes rata-rata pada beton geopolimer adalah 55,84 MPa untuk yang dirawat di suhu ruang dan 55,84 MPa untuk yang di rawat di air laut. Jika kedua beton tersebut dibandingkan terlihat beton yang dirawat di air laut kuat tekan lebih besar sedikit dari pada yang di rawat di suhu ruang dengan rasio perbandingan 2,7%, hal ini membuktikan bahwa beton geopolimer yang di rawat di air laut memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan beton geopolimer yang di rawat di suhu ruang.



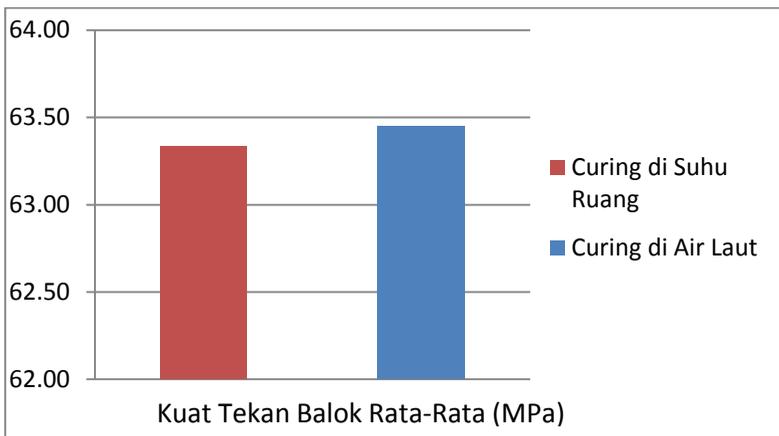
**Grafik 4. 5** Grafik rata-rata pengujian Hammer Test Silinder  $\varnothing 10 \times 20 \text{cm}^2$  terhadap masing-masing perawatan.

### B) Pengujian Hammer Pada Balok (10 x 15 x 150 cm)<sup>3</sup>

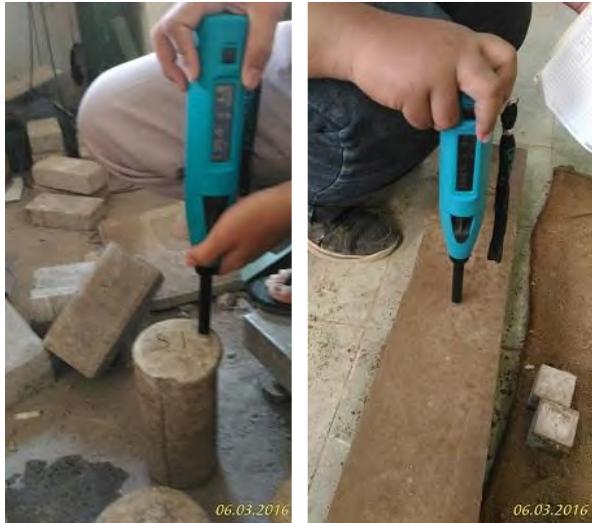
**Tabel 4. 10** Hasil pengujian Hammer Test pada balok

No	Kode Benda Uji	Perawatan	Hasil Pengujian	
			MPa	Rata-rata MPa
1	B1	Suhu Ruang	64,9	63,33
2	B2	Suhu Ruang	62,75	
3	B3	Suhu Ruang	62,35	
4	B4	Air Laut	62,55	63,45
5	B5	Air Laut	64,35	

Berdasarkan **Tabel 4.10** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan hasil Hammer Tes rata-rata pada balok beton geopolimer adalah 63,33 MPa untuk yang dirawat di suhu ruang dan 63,45 MPa untuk yang di rawat di air laut. Jika kedua balok beton tersebut dibandingkan terlihat beton yang rawat di air laut kuat tekan lebih besar sedikit dari pada yang di rawat di suhu ruang dengan rasio perbandingan 0,18%, hal ini membuktikan bahwa balok beton geopolimer yang di rawat di air laut memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan beton geopolimer yang di rawat di suhu ruang.



**Grafik 4. 6** Grafik rata-rata pengujian Hammer Test Balok (10 x 15 x 150 cm)<sup>3</sup> terhadap masing-masing perawatan



**Gambar 4. 6** Pengujian Hammer Silinder dan Balok.

#### 4.3.2.5 Resistivity Test

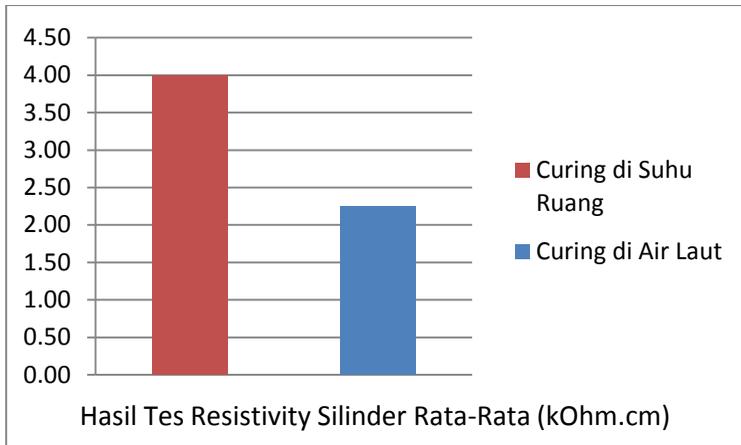
Tes resistivity ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan korosi pada beton. Alat yang di gunakan dalam pengujian ini bernama “Resipod”. Pengerjaan tes resistivity ini berada di laboratorium beton Diploma Sipil FTSP ITS.

### A) Pengujian Resistivity Tes pada silinder $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}^2$

**Tabel 4. 11** Hasil pengujian Resistivity Test

No	Kode Benda Uji	Perawatan	Hasil Pengujian	Rata-rata
			kOhm.cm	kOhm.cm
1	SR1	Suhu Ruang	3,9	
2	SR2	Suhu Ruang	3,33	
3	SR3	Suhu Ruang	3,03	3,99
4	SR4	Suhu Ruang	4,93	
5	SR5	Suhu Ruang	5,1	
6	SR6	Suhu Ruang	3,67	
7	SL1	Air Laut	2,23	
8	SL2	Air Laut	2,07	
9	SL3	Air Laut	2,23	2,25
10	SL4	Air Laut	2,30	
11	SL5	Air Laut	2,23	
12	SL6	Air Laut	2,43	

Berdasarkan **Tabel 4.11** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan hasil Resistivity rata-rata adalah 3,99 kOhm.cm untuk yang dirawat di suhu ruang dan 2,25 kOhm.cm untuk yang di rawat di air laut. Jika kedua beton tersebut dibandingkan terlihat beton yang rawat di air laut nilai resistivity lebih rendah dari pada yang di rawat di suhu ruang dengan rasio perbandingan 77%, sebenarnya beton geopolimer yang di rawat di air laut dan yang di rawat di suhu ruang kedua tergolong rawan korosi karena hasil nilai resistivity yang rendah.



**Grafik 4. 7** Grafik rata-rata pengujian Resistivity Silinder  $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}^2$  terhadap masing-masing perawatan.

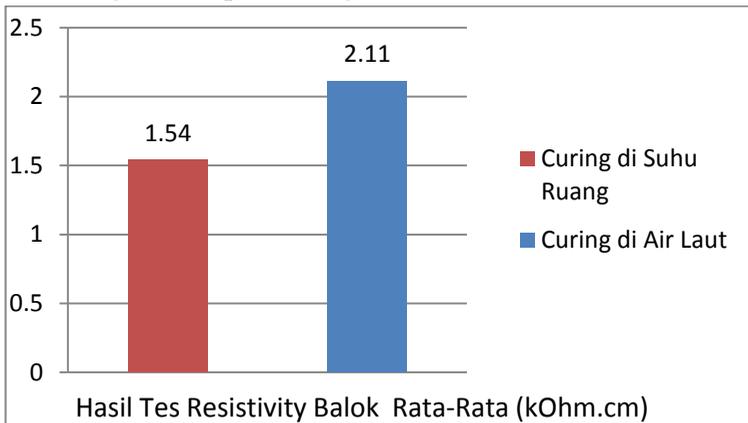
### B) Pengujian Resistivity Tes Balok (10 x 15 x 150 cm)<sup>3</sup>

**Tabel 4. 12** Hasil pengujian Resistivity Test pada Balok

No	Kode Benda Uji	Perawatan	Hasil Pengujian	Rata-rata
			kOhm.cm	kOhm.cm
1	B1	Suhu Ruang	1,29	1,54
2	B2	Suhu Ruang	1,67	
3	B3	Suhu Ruang	1,65	
4	B4	Air Laut	2,04	2,11
5	B5	Air Laut	2,18	

Berdasarkan **Tabel 4.12** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan hasil Resistivity rata-rata adalah 1,54 kOhm.cm untuk balok yang dirawat di suhu ruang dan 2,11 kOhm.cm untuk yang di rawat di air laut. Padahal dipengujian silinder beton geopolimer hasil resistivity

beton yang di curing di suhu ruan nilainya lebih besar dari pada yang dilaut hal ini dikarenakan pembuatan balok yang volumenya cukup besar sehingga pengecoran dilaksanakan dengan terburu-buru untuk menghindari beton mengeras sebelum masuk cetakkan. Hal ini bisa mempengaruhi kekuatan pada beton sehingga nilai resistivity balok yang disuhu ruang lebih rendah dari pada yang di rawat dilaut dengan rasio perbandingan 37%.



**Grafik 4. 8** Grafik rata-rata pengujian Resistivity pada balok ( $10 \times 15 \times 150 \text{ cm}$ )<sup>3</sup> terhadap masing-masing perawatan.



**Gambar 4. 7** Pengujian Resistivity pada Silinder.

#### 4.3.2.6 Kuat Belah

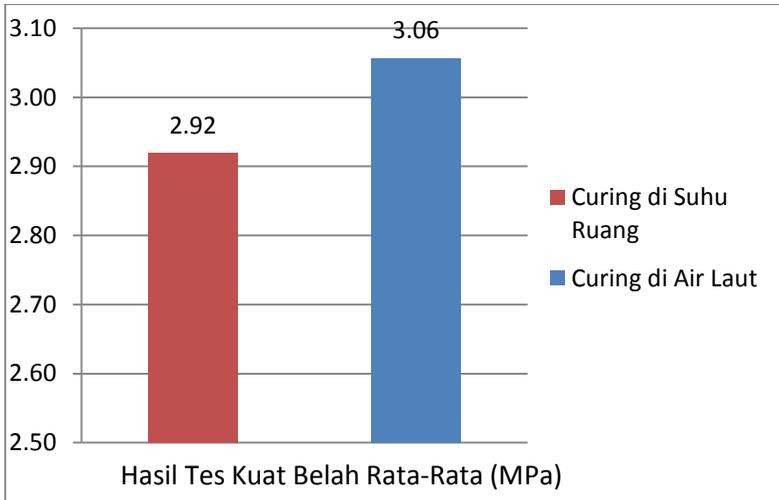
Pada test kuat tarik ini, benda uji akan terbelah menjadi 2 bagian. Sama seperti test tekan diatas., besarnya angka yang ditunjukkan dalam simpangan maksimum jarum merupakan beban garis yang membebani beton dengan resultan P. pengerjaan tes kuat tarik ini berada di laboratorium beton Diploma Sipil FTSP ITS.

### Pengujian kuat belah silinder $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}^2$

**Tabel 4. 13** Hasil pengujian Kuat Belah

No	Kode Benda Uji	Perawatan	Beban Uji (Ton)	Kuat belah (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	SR2	Suhu Ruang	7,5	2,38	
2	SR3	Suhu Ruang	8,6	2,73	2,91
3	SR6	Suhu Ruang	11,4	3,63	
4	SL1	Air Laut	9,3	2,96	
5	SL2	Air Laut	9,7	3,08	3,05
6	SL6	Air Laut	9,8	3,12	

Berdasarkan **Tabel 4.13** diatas dari dua perawatan yang berbeda didapatkan hasil tes kuat belah rata-rata pada beton geopolimer adalah 2,91 MPa untuk yang dirawat di suhu ruang dan 3,05 MPa untuk yang di rawat di air laut. Jika kedua balok beton tersebut dibandingkan terlihat beton yang rawat di air laut kuat belah sedikit lebih besar dari pada yang di rawat di suhu ruang dengan rasio perbandingan 4,7%.



**Grafik 4. 9** Grafik perbandingan pengujian kuat belah rata-rata terhadap masing-masing perawatan.



**Gambar 4. 8** Pengujian Kuat Belah pada Silinder.

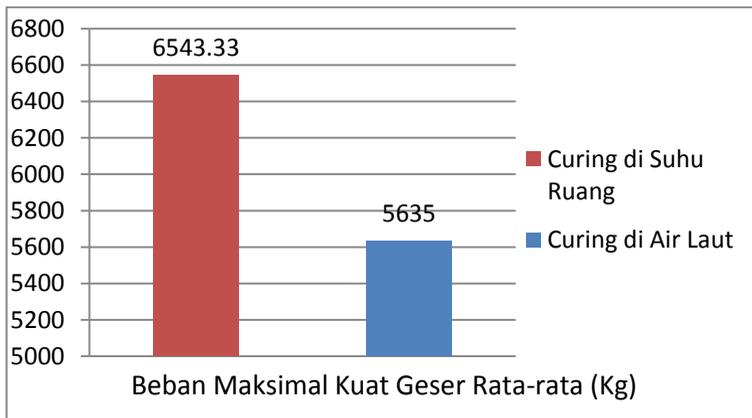
#### 4.4. HASIL PENGUJIAN BALOK BETON GEOPOLIMER

##### 4.4.1. Kuat Geser

Pada sub bab ini akan membahas tentang berapa gaya maksimal pada balok geopolimer yang telah dirancang gagal geser berdasarkan perawatan masing – masing, adapun data – datanya adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 14** Hasil pengujian Kuat Geser

No	Kode Balok	Curing	P Retak	P Ultimate	P Ultimate
			kg	kg	rata-rata
1	B1	Ruang	2500	7400	6543,33
2	B2	Ruang	1300	5350	
3	B3	Ruang	3200	6880	
4	B4	Laut	2500	4170	5635
5	B5	Laut	4600	7100	



**Grafik 4. 2** Grafik rata-rata pengujian Kuat Geser terhadap masing-masing perawatan.

Berdasarkan **Tabel 4.14** yang didapat dari pengujian kuat geser. Dapat dibandingkan gaya maksimal yang mampu ditahan oleh benda uji yang di rawat di suhu ruang dan di air laut. Balok beton geopolimer yang dirawat di suhu ruang hingga umur beton mencapai 28 hari mempunyai kapasitas geser yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton geopolimer yang dirawat di laut hingga umur beton mencapai 28 hari.

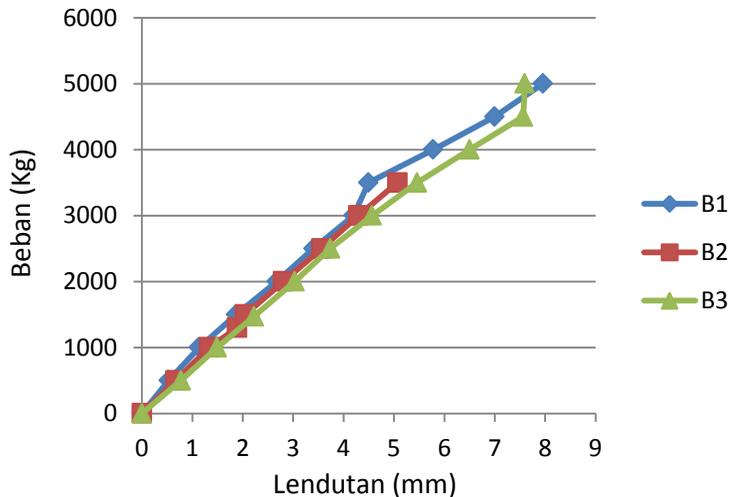


**Gambar 4. 9** Pengujian Kuat Geser pada balok.

#### 4.4.2. Defleksi Balok Beton Geopolimer

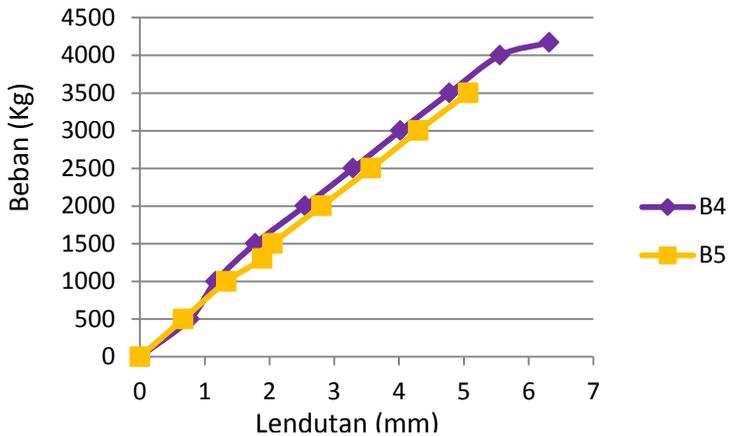
Defleksi yang dimaksud disini adalah perbandingan antara beban pada balok geopolimer terhadap lendutan balok tersebut. Dimana besarnya nilai defleksi berdasarkan pencatatan selama pengujian berlangsung. Dibawah ini akan dicantumkan grafik dari hasil penelitian.:

1. Defleksi pada balok beton geopolimer yang di rawat dalam suhu ruang



**Grafik 4. 11** Grafik hubungan beban (Kg) terhadap lendutan (mm) pada balok perawatan dalam suhu ruang.

## 2. Defleksi pada balok geopolimer yang di rawat di air laut



**Grafik 4. 12** Grafik hubungan beban (Kg) terhadap lendutan (mm) pada balok perawatan di air laut.

Dari grafik diatas dapat diketahui daktilitas sebagai berikut:

**Tabel 4. 5** Nilai Defleksi balok pada masing-masing perawatan

Name	Jenis Perawatan	P retak (Kg)	Lendutan (mm)	P Ultimate (Kg)	Lendutan Ultimate (mm)
B1	Suhu Ruang	2500	3,405	7400	7,955
B2		1300	1,890	5350	5,070
B3		3200	5,015	6880,	8,675
B4	Air	2500	3,290	4170	6,320
B5	Laut	4600	5,195	7100	8,250

#### 4.4.3. Perilaku Keruntuhan Gagal Geser

Akibat beban yang bekerja di atas balok bertambah besar sehingga tegangan tarik pada beton melampaui kekuatan tarik beton, maka timbul retakan-retakan di bagian yang tertarik dan retakan ini akan menyebar ke atas. Pada pengujian balok beton bertulang yang dibebani dengan 2 beban statis dengan jarak beban ke tumpuan adalah 35 cm.

Pola retak digambarkan secara manual, adapun angka yang terdapat pada pola tersebut menunjukkan urutan beban dimana retak tersebut terjadi. Dengan demikian angka paling kecil menunjukkan retak yang pertama kali terjadi dan angka terbesar menunjukkan retak pada kondisi sesaat sebelum runtuh.

Ambil contoh balok B1, retak terjadi pertama kali pada balok uji B1 pada saat beban P mencapai sekitar 2500 kg secara visual yang diawali dengan terjadinya retak miring / geser yang berada di sekitar daerah tumpuan pada daerah tarik beton pada saat itu lendutan yang terjadi sebesar 3,405 mm. Seiring dengan bertambahnya beban, retak terus memanjang naik menjalar keatas dengan arah diagonal dan membentuk sudut kurang lebih  $30^\circ$  sampai terjadi *spallin* /retak di daerah pembebanan, mencapai P Ultimate sebesar 7400 kg dengan panjang retak kurang lebih 40 cm dengan lendutan sebesar 7,955 mm sehingga rasio P retak dengan P Ultimate sebesar 0,33. Keruntuhan yang di alami balok beton geopolimer terjadi tiba-tiba hal ini disebabkan karena balok terlalu getas (daktail). Kesimpulan dari pengamatan yang dilakukan selama pengujian balok yaitu retak yang terjadi benar-benar retak geser, retak yang terjadi berada di sepertiga bentang diantara titik tumpuan dan titik pembebanan dan pola retak yang terjadi pada balok yang dirawat di suhu ruang hampir sama dengan yang dirawat di air laut.



**Gambar 4.10** Keruntuhan yang terjadi benar-benar runtuh geser.



**Gambar 4. 11** Pencatatan beban yang paling atas adalah beban *ultimate*.



**Gambar 4. 12** Pola retak yang terjadi pada balok yang dirawat di suhu ruang.



**Gambar 4. 13** Pola retak yang terjadi pada balok yang dirawat di air laut.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LAMPIRAN 1

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
1	20 Maret 2016	Membuat NaOH 8 Molar		1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A.	
2	22 Maret 2016	Menimbang Larutan Alkali		1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A	
3	22 Maret 2016	Percobaan pertama kali membuat silinder geopolimer Campuran 75 : 25	GAGAL, Permukaan silinder tidak rata/keropos	1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A. 4. Ilham K. 5. Fajaruddin	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
4	22 Maret 2016	Pengujian tes Slump		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Galih A.</li> <li>3. Rahmad A.</li> <li>4. Ilham K.</li> <li>5. Fajaruddin</li> </ol>	
5	28 Maret 2016	Percobaan membuat silinder geopolimer yang ke-2 Campuran 75 : 25 Sekali lagi	GAGAL, Permukaan silinder tidak rata/keropos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Galih A.</li> <li>3. Rahmad A.</li> <li>4. Ilham K.</li> <li>5. Fajaruddin</li> </ol>	
6	11 April 2016	Percobaan membuat silinder geopolimer Campuran 70 : 30	Berhasil pakai Agregat : Pasta = 70 : 30	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Galih A.</li> <li>3. Rahmad A..</li> <li>4. Fajaruddin</li> </ol>	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
7	12 Mei 2016	Pembuatan benda uji balok beton geopolimer	Karena setting time nya yang cepat dan volume balok yang besar, maka tenaga yang dibutuhkan cukup banyak.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Saiful K.</li> <li>3. M. Suprayitno</li> <li>4. Mahardika</li> <li>5. Fajaruddin</li> <li>6. Ilham</li> </ol>	
8	15 Mei 2016	Pembuatan benda uji balok beton geopolimer yang ke dua	Karena setting time nya yang cepat dan volume balok yang besar, maka tenaga yang dibutuhkan cukup banyak.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Saiful K.</li> <li>3. M. Suprayitno</li> <li>4. Mahardika</li> <li>5. Fajaruddin</li> <li>6. Ilham</li> </ol>	
9	20 April 2016	Tiba di lokasi perawatan air laut yang berlokasi di Perak, Surabaya	Tempatnya lumayan jauh.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. P. Buyung A.</li> <li>3. Irfan</li> </ol>	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
10	20 April 2016	Balok di rawat di air laut yang berlokasi di Perak, Surabaya	Prosesnya susah sekali karena balok yang berat dan diposisikan menggantung.	1. Heri K. 2. P. Buyung A. 3. Irfan	
11	21 April 2016	Balok di rawat di suhu ruang kurang lebih 34° C yang berad di lab kayu diploma T.Sipil ITS		1. Heri K. 2. Dika 3. Indra	
12	21 April 2016	Silinder di rawat di suhu ruang kurang lebih 34° C yang berad di lab kayu diploma T.Sipil ITS		1. Heri K. 2. Dika 3. Indra	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
13	20 Mei 2016	Penganmbilan benda uji yang di rawat di air laut.	Prosesnya susah sekali karena balok yang berat dan harus dinaikkan ke atas.	1. Heri K. 2. Kuli 2 orang	
14	3 Juni 2016	Uji kuat tekan silinder di lab beton diploma teknik sipil ITS		1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A.	
15	3 Juni 2016	Uji kuat belah silinder di lab beton diploma teknik sipil ITS		1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahad A.	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
16	3 Juni 2016	Uji UPV silinder di lab beton diploma teknik sipil ITS		1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A.	
17	3 Juni 2016	Uji Hammer silinder di lab beton diploma teknik sipil ITS		1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A.	
18	3 Juni 2016	Uji Hammer balok di lab kayu diploma teknik sipil ITS		1. Heri K.. 2. Rahmad A	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
19	3 Juni 2016	Uji Resistivity silinder di beton kayu diploma teknik sipil ITS		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Galih A.</li> <li>3. Rahmad A.</li> </ol>	
20	3 Juni 2016	Uji Resistivity balok di lab kayu diploma teknik sipil ITS		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K..</li> <li>2. Rahmad A</li> </ol>	
21	9 Juni 2016	Pengecatan balok		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Riki</li> </ol>	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
22	10 Juni 2016	Uji UPV balok di lab kayu diploma teknik sipil ITS		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Yossa</li> </ol>	
23	14 Juni 2016	Melakukan tes porositas pada kubus beton geopolimer		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Di bantu karyawan lab jalan</li> </ol>	
24	15 Juni 2016	Menimbang benda uji (uji porositas)		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri</li> <li>2. Di bantu karyawan lab jalan</li> </ol>	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
25	24 Juni 2015	Setting data logger untuk pengujian kuat geser balok		1. Karyawan lab struktur	
26	24 Juni 2015	Set-up pengujian kuat geser balok	Set-up lumayan lama	1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A. 4. Ilham K. 5. Fajaruddin 6. M. Choirul A.	
27	24 Juni 2015	Pencatatan beban pada pengujian kuat geser balok		1. Heri K. 2. Galih A. 3. Rahmad A. 4. Ilham K. 5. Fajaruddin 6. M. Choirul A.	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
28	24 Juni 2015	Setelah pengujian kuat geser balok disusun untuk diamati retakkan yang terjadi.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Galih A.</li> <li>3. Rahmad A.</li> <li>4. Ilham K.</li> <li>5. Fajaruddin</li> <li>6. M. Choirul A.</li> </ol>	
29	24 Juni 2015	Setelah pengujian kuat geser balok disusun untuk diamati retakkan yang terjadi.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Galih A.</li> <li>3. Rahmad A.</li> <li>4. Ilham K.</li> <li>5. Fajaruddin</li> <li>6. M. Choirul A.</li> </ol>	
30	1Juli 2016	Pengujian kuat tarik tulangan besi		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heri K.</li> <li>2. Wahyu Dwi.</li> <li>3. Eko Rahmad.</li> </ol>	

## LAMPIRAN 2

### KELEMBAPAN PASIR

Berat Pasir Asli (B) = 500 gr

Berat Cawan = 52,4 gr

Berat Pasir Oven + Cawan = 542,8 gr

Berat Pasir Oven (A) = 490,4 gr

Kelembapan =  $\frac{B-A}{A} \times 100\%$

$$= \frac{500 \text{ gr} - 490,4 \text{ gr}}{490,4 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$= 1,96 \%$$

## LAMPIRAN 3

### BERAT JENIS PASIR SSD

Berat labu takar 1000 cc = 222,3 gr

A = Berat Pasir SSD = 500,3 gr

B = Berat air + Pasir + Labu Takar = 1538 gr

C = Labu takar + Air = 1219 gr

Berat Jenis Pasir SSD =  $\frac{A}{A + C - B} \times \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$

$$= \frac{500,3 \text{ gr}}{500,3 \text{ gr} + 1219 \text{ gr} - 1538 \text{ gr}} \times \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$$
$$= 2,76 \text{ Kg/dm}^3$$

## LAMPIRAN 4

### AIR RESAPAN PASIR

Berat Pasir SSD (A) = 500 gr

Berat Cawan = 30,8

Berat Pasir Oven + Cawan = 529,3 gr

Berat Pasir Oven (B) = 498,5 gr

Air Resapan =  $\frac{A-B}{B} \times 100\%$

$$= \frac{500 \text{ gr} - 498,5 \text{ gr}}{498,5 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$= 3 \%$$

## LAMPIRAN 5

### **PENGEMBANGAN VOLUME PASIR**

A = Volume pasir  $\frac{3}{4}$  gelas ukur 1000 cc = 750 cc

B = Volume endapan pasir setelah diakasih air dan diaduk  
= 620 cc

$$\text{Faktor Pengembangan} = \frac{A - B}{B} \times 100\%$$

$$= \frac{750 \text{ cc} - 620 \text{ cc}}{620 \text{ cc}} \times 100\%$$

$$= 20,97 \%$$

## LAMPIRAN 6

### **KEBERSIHAN PASIR TERHADAP BAHAN ORGANIK**

Kebersihan pasir terhadap bahan organik masih bisa ditoleransi, pasir masih layak digunakan. Karena setelah ditambahkan larutan NaOH 3% sebesar 200 cc → dikocok-kocok → lalu didiamkan selama 24 jam. Hasil yang didapatkan warna larutan berubah menjadi coklat muda (nomor 3) sesuai standart warna organic plate.

## LAMPIRAN 7

### **KEBERSIHAN PASIR TERHADAP LUMPUR**

h1 (Tinggi endapan lumpur) = 1 mm

h2 (Tinggi endapan pasir) = 61 mm

Syarat :  $\frac{h1}{h2} \times 100\% \leq 5\%$

$$: \frac{1 \text{ mm}}{61 \text{ mm}} \times 100\% = 1,638\% \leq 5\% \dots\dots(\text{OKE})$$

## LAMPIRAN 8

### KELEMBAPAN KERIKIL

Berat Kerikil Asli (B) = 500 gr

Berat Cawan = 42,3 gr

Berat Kerikil Oven + Cawan = 535,9 gr

Berat Kerikil Oven (A) = 493,6 gr

Kelembapan =  $\frac{B-A}{A} \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \frac{500 \text{ gr} - 493,6 \text{ gr}}{493,6 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 1,2966 \% \end{aligned}$$

## LAMPIRAN 9

### BERAT JENIS KERIKIL

A = Berat Kerikil SSD = 3000 gr

B = Berat Dalam Air = 1888,3 gr

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Kerikil SSD} &= \frac{A}{A-B} \times \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} \\ &= \frac{3000 \text{ gr}}{3000 \text{ gr} - 1888,3 \text{ gr}} \times \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} \\ &= 2,6986 \text{ Kg/dm}^3 \end{aligned}$$

## LAMPIRAN 10

### KADAR AIR RESAPAN KERIKIL

Berat kerikil SSD (A) = 3000 gr

Berat Cawan = 572 gr

Berat Cawan + Kerikil Oven = 3527 gr

Berat Kerikil Oven (B) = 3527 gr - 572 gr = 2955 gr

Air Resapan =  $\frac{A-B}{B} \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \frac{3000 \text{ gr} - 2955 \text{ gr}}{2955 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 1,52 \% \end{aligned}$$

## LAMPIRAN 11

### BERAT VOLUME ISI KERIKIL

$$\begin{aligned}\text{Berat Tempat Takaran (A)} &= 5,367 \text{ kg} \\ \text{Berat Kerikil + Takaran (B)} &= 18,771 \text{ kg} \\ \text{Volume Takaran (C)} &= 9,577 \text{ cm}^3 \\ \text{Berat Volume Lepas} &= \frac{\text{B} - \text{A}}{\text{C}} \\ &= \frac{18,771 \text{ kg} - 5,367 \text{ kg}}{9,577 \text{ cm}^3} \\ &= 1,399 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

### BERAT VOLUME ISI (DIROJOK) KERIKIL

$$\begin{aligned}\text{Berat Tempat Takaran (A)} &= 5,367 \text{ kg} \\ \text{Berat Kerikil + Takaran Setelah dirojok (B)} &= 24,640 \text{ kg} \\ \text{Volume Takaran (C)} &= 9,577 \text{ cm}^3 \\ \text{Berat Volume Lepas} &= \frac{\text{B} - \text{A}}{\text{C}} \\ &= \frac{24,640 \text{ kg} - 5,367 \text{ kg}}{9,577 \text{ cm}^3} \\ &= 2,012 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

## LAMPIRAN 12

### KEBERSIHAN KERIKIL TERHADAP LUMPUR (KERING)

$$\begin{aligned}\text{Berat kerikil normal (A)} &= 1000 \text{ gr} \\ \text{Berat kerikil oven + loyang} &= 1180,99 \text{ gr} \\ \text{Berat loyang} &= 186,3 \text{ gr} \\ \text{Berat kerikil oven (B)} &= 994,69 \text{ gr} \\ \text{Kadar Lumpur} &= \frac{\text{A} - \text{B}}{\text{A}} \times 100\% \\ &= \frac{1000 \text{ gr} - 994,69 \text{ gr}}{1000 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 0,531 \%\end{aligned}$$

Dari hasil pengujian, jenis kerikil layak digunakan karena kadar lumpur  $\leq 1\%$

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari pengujian-pengujian yang sudah di lakukan terhadap silinder maupun balok beton geopolimer dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian kuat tekan silinder beton geopolimer bisa dilihat bahwa silinder yang dirawat di suhu ruang kuat tekannya lebih besar dari pada yang di dirawat di air laut, hal ini mungkin dikarenakan suhu rangan yang cukup panas yaitu kurang lebih 34° C.
2. Pada penelitian balok beton geopolimer didapatkan bahwa kapasitas geser dan defleksi balok yang dirawat di suhu ruang lebih besar dari pada balok yang dirawat di air laut. Kapasitas balok terbesar ada di balok B1 sebesar 7400 kg.
3. Keruntuhan yang terjadi benar-benar runtuh geser sedangkan untuk pola retak balok beton geopolimer dirawat di suhu ruang dan di air laut keduanya hampir sama.

#### **5.2. Saran**

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan *fly ash tipe F* karena kandungan Si dan Al nya lebih banyak, serta untuk proses proses pembuatannya lebih mudah karena setting timenya lebih lama daripada tipe C.

2. Desain tulangan geser difokuskan pada satu sisi agar lebih fokus pada satu sisi ketika pengamatan pada waktu pengujian.

## DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Material (2001), *Annual Book of ASTM Standart, Revision Issued Annually*, C 187-191

American Society for Testing and Material (2003), *Annual Book of ASTM Standart, Revision Issued Annually*, C 270

Apriyatno, Henry. **Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang Dengan Polypropylene Fiber Sebesar 4% Dari Volume Beton**. Jurusan Teknik Sipil , Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

CHANG, E. H., et al. *Shear behaviour of reinforced fly ash-based geopolymer concrete beams*. In: *Proceedings of the 23rd Biennial Conference of the Concrete Institute of Australia*. 2007. p. 679-688.

Davidovits, Joseph. 2011. *Geopolymer chemistry and application 3<sup>rd</sup> edition*. France: Institut Geopolymer

Rousstia, K. D. **Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Dinamis Dengan Pile Integrity Test**. Fakultas Teknik UI 2008

SK. SNI. 03-2847-2013. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Badan Standardisasi Nasional.

Tavio, R. Purwono, dan A. Rosyidah. **Peningkatan Daya Dukung Dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan Cfrp (Carbon Fiber Reinforced Polymer)**. Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.

Wang, Chu-Kia & Salmon, C.G., 1993. **Desain Beton Bertulang**, Erlangga, Jakarta.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 24 April 1993, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Dharmawanita Prambon Sidoarjo, SDN Pejangkungan Sidoarjo, SMP Wachid Hasyim 10 Prambon Sidoarjo, dan SMA Al-Islam Krian Sidoarjo, Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2011. Setelah lulus program Diploma III, Penulis mengikuti Ujian Masuk Lanjut Jenjang Diploma IV dan diterima di Program Studi Diploma IV Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 3115 040 511. Di Program Studi Diploma ini, Penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Transportasi. Penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Program Studi, Fakultas maupun Institut. Penulis juga aktif mengikuti organisasi yang ada di Jurusan, salah satunya adalah Jama'ah Masjid Al-Azhar (JMAA) serta aktif di UKM Catur ITS.