



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

PENGARUH SUHU PEMANASAN 60°C PADA BALOK LENTUR BETON GEOPOLIMER DI LINGKUNGAN KOROSIF

MUCHAMMAD SAIFUL KIROM
NRP. 3112 030 055

Dosen Pembimbing I
Dr. Ridho Bayu Aji, ST, MT.
NIP. 19730710 199802 1 002

Dosen Pembimbing II
Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

PENGARUH SUHU PEMANASAN 60⁰C PADA BALOK LENTUR BETON GEOPOLIMER DI LINGKUNGAN KOROSIF

MUCHAMMAD SAIFUL KIROM
NRP. 3112 030 055

Dosen Pembimbing I
Dr. Ridho Bayu Aji, ST, MT.
NIP. 19730710 199802 1 002

Dosen Pembimbing II
Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

**PROGAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - RC 145501

THE EFFECT OF 60°C HEATING TEMPERATURE ON GEOPOLYMER FLEXURAL BEAM CONCRETE IN THE CORROSIVE ENVIRONMENT

MUCHAMMAD SAIFUL KIROM
NRP. 3112 030 055

1st Supervisor

Dr. Ridho Bayu Aji, ST, MT.
NIP. 19730710 199802 1 002

2nd Supervisor

Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

DIPLOMA CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
CIVIL ENGINEERING AND PLANNING FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015



FINAL PROJECT - RC 145501

THE EFFECT OF 60⁰C HEATING TEMPERATURE ON GEPOLYMER FLEXURAL BEAM CONCRETE IN THE CORROSIVE ENVIRONMENT

MUCHAMMAD SAIFUL KIROM
NRP. 3112 030 055

1st Supervisor
Dr. Ridho Bayu Aji, ST, MT.
NIP. 19730710 199802 1 002

2nd Supervisor
Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003

DIPLOMA CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
CIVIL ENGINEERING AND PLANNING FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik

Pada

Program Studi Diploma Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Mahasiswa

MUCHAMMAD SAIFUL KIROM

NRP. 3112 030 055

Disetujui oleh pembimbing tugas akhir terapan:

Dosen Pembimbing I

13 III 2015
Dosen Pembimbing II



Ir. Ridho Bayu Aji, ST, MT.

Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc, Ph.D.

NIP. 19730710 199802 1 002

NIP. 19630726 198903 1 003

PENGARUH SUHU PEMANASAN 60⁰ C PADA BALOK LENTUR BETON GEOPOLIMER DI LINGKUNGAN KOROSIF

Nama Mahasiswa : Muchammad Saiful Kirom
NRP : 3112 030 055
Jurusan : Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing I : Dr. Ridho Bayuaji ST. MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D

Abstrak

Indonesia memiliki luas lautan yang lebih besar daripada luas daratan. Untuk itu diperlukan infrastruktur yang menunjang mobilitas antar pulau, salah satunya dengan membangun jembatan dan tol diatas laut. Namun, beton Portland sebagai bahan struktur utama fasilitas tersebut memiliki kelemahan yaitu rentan terhadap serangan korosi air laut. Untuk itu perlu dikembangkan bahan struktur lain yang memiliki ketahanan lebih tinggi seperti beton geopolimer.

Selain memiliki ketahanan yang tinggi, beton geopolimer juga ramah lingkungan. Beton geopolimer tidak menggunakan semen Portland yang dikenal sebagai salah satu penghasil gas CO₂ terbesar. Pada penelitian ini beton geopolimer disusun dari campuran abu terbang tipe C dari PT.Paiton, alkali aktifator berupa sodium hidroksida 14M dan sodium silikat, serta agregat kasar dan halus. Benda uji berupa silinder dan balok akan melalui proses pemanasan dan tanpa pemanasan kemudian dirawat pada suhu ruang dan air laut sampai umur 28 hari. Kemudian untuk mengetahui sifat mekanik, maka dilakukan pengujian kuat tekan, kuat belah, porositas, UPV, dan hammer test. Selain itu, untuk benda uji balok dilakukan pengujian kuat lentur.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perawatan dengan oven 60⁰C selama 24 jam pada beton geopolimer cenderung menaikkan sifat mekanik dan kuat lentur.

Kata kunci : Abu terbang, Beton, Geopolimer, Oven, Lingkungan Air Laut

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

THE EFFECT OF 60⁰ C HEATING TEMPERATURE ON GEOPOLYMER FLEXIBLE BEAM CONCRETE IN THE CORROSIVE ENVIRONMENT

Student Name : Muchammad Saiful Kirom
Student Number : 3112 030 055
Major : Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS
1st Supervisor : Dr. Ridho Bayuaji ST. MT.
2nd Supervisor : Ir. M. Sigit Darmawan M.EngSc, Ph.D

Abstract

Indonesia's ocean area is larger than the land area. So, it is necessary to have an infrastructure that supports mobility between the islands, one of them is by build bridges and tolls above the sea. However, Portland concrete as the main structural material has a disadvantage that is vulnerable to sea water corrosion attack. For this condition, it is necessary to develop other structural material that has a higher resistance such as geopolymer concrete.

In addition to having high durability, geopolymer concrete is also environmentally friendly. Geopolymer concrete is not using Portland cement that is known as one of the largest producer of CO₂. In this study, the geopolymer concrete composed from a mixture of type C fly ash from PT.Paiton, an alkaline activator such as 14M sodium hydroxide and sodium silicate, as well as coarse and fine aggregate. The test specimen in the form of cylinders and beams going through a process of heating and without heating and then treated at room temperature and sea water up to the age of 28 days. Then to determine the mechanical properties, the researcher did a compressive strength testing, strong sides, porosity, UPV, and hammer test. Moreover, to the beam test object, the researcher did a flexural strength testing.

The result of this study indicates that a treatment with 60⁰C oven for 24 hours at geopolymer concrete tends to increase the mechanical properties and flexural strength.

Keywords : Fly ash, Concrete, Geopolymer, Oven, Sea Water Environment

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir dengan judul “*Pengaruh Suhu Pemanasan 60^oC pada Balok Lentur Beton Geopolimer di Lingkungan Korosif*” sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md) pada jurusan Diploma III Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan proyek akhir ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, dan dukungan moral serta materiil. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua penulis yang tiada hentinya memberikan semangat dan doa.
2. Bapak Dr. Ridho Bayuaji, ST. MT. selaku dosen pembimbing I yang selalu bijaksana memberikan nasehat dan bimbingan serta waktunya selama penelitian dan penulisan proyek akhir.
3. Bapak Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. Ph.D. Selaku dosen pembimbing II sekaligus Koordinator Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS yang selalu memberikan bimbingan dan motivasinya selama penelitian dan penulisan proyek akhir.
4. Bapak Ir. Boedi Wibowo, CES. selaku dosen wali selama kuliah di Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS yang telah memberikan perhatian, bimbingan, serta kepercayaan kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS.
6. Teman-teman yang sudah mengorbankan tenaga dan waktunya demi membantu penelitian berlangsung.
7. Teman-teman mahasiswa Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS angkatan 2012 yang selalu menjadi penyemangat penulis.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan proyek akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan proyek akhir ini.

Akhir kata, besar harapan penulis semoga laporan proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, 23 Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Grafik	xv
Daftar Lampiran	xxi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Geopolimer	5
2.1.1 Definisi	5
2.1.1.1 Perbedaan Beton Geopolimer dengan Beton Portland	5
2.1.1.2 Sifat Beton Geopolimer	6
2.1.2 Bahan Penyusun	7
2.1.2.1 Binder	7
A. Fly Ash	7
B. Alkali Aktifator	8
a. Sodium Hidroksida (NaOH)	8
b. Sodium Silikat (Na_2SiO_3)	9
2.1.2.2 Bahan Pengisi (Filler)	9
A. Agregat Kasar	10
B. Agregat Halus	10
2.1.2.3 Bahan Tambahan (Admixture)	10
2.1.3 Perawatan	12
2.1.3.1 Direndam Dalam Air Laut	12
2.1.3.2 Diletakkan pada Suhu Ruang	12
2.1.3.3 Dioven 60^0C Selama 24 Jam	12
2.1.4 Pengujian	13
2.1.4.1 Kondisi Basah	13

2.1.4.2	Kondisi Kering.....	13
A.	Kuat Tekan	13
B.	Kuat Belah.....	14
C.	Porositas	14
D.	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	15
E.	Hammer Test	15
2.2	Balok Beton Bertulang.....	16
2.3	Penelitian Balok Beton Geopolimer.....	18
2.3.1	Pengujian Kuat Lentur	18
BAB III. METODOLOGI		21
3.1	Umum.....	21
3.2	Persiapan Bahan Penyusun.....	25
3.2.1	Binder.....	25
3.2.1.1	Fly Ash.....	25
3.2.1.2	Alkali Aktifator.....	25
A.	Sodium Hidroksida (NaOH)	25
B.	Sodium Silikat (Na ₂ SiO ₃).....	26
3.2.2	Bahan Pengisi.....	26
3.2.2.1	Agregat Kasar	26
3.2.2.2	Agregat Halus	30
3.2.3	Bahan Tambahan.....	36
3.3	Mix Desain	36
3.4	Pembuatan Benda Uji.....	37
3.4.1	Silinder.....	38
3.4.1.1	Ukuran 10 cm x 20 cm.....	38
3.4.1.2	Ukuran 5 cm x 10 cm.....	39
3.4.2	Balok.....	40
3.4.2.1	Tidak Bertulang	40
3.4.2.2	Bertulang.....	41
3.5	Perawatan Benda Uji.....	42
3.5.1	Dioven 60 ⁰ C Selama 24 Jam (O)	42
3.5.1.1	Suhu Ruang (R).....	43
3.5.1.2	Air Laut(L).....	43
3.5.2	Tanpa Dioven 60 ⁰ C Selama 24 Jam (TO).....	43
3.5.2.1	Suhu Ruang (R).....	43
3.5.2.2	Air Laut(L).....	43
3.6	Pengujian.....	44

3.6.1	Beton Geopolimer.....	44
3.6.1.1	Keadaan Basah (Segar).....	44
3.6.1.2	Keadaan Kering	45
A.	Kuat Tekan	45
B.	Kuat Belah.....	45
C.	Porositas	46
D.	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	47
E.	Hammer Test	47
3.6.2	Balok Beton Geopolimer	48
BAB IV. HASIL DAN ANALISA DATA.....		49
4.1	Umum	49
4.2	Bahan Penyusun.....	49
4.2.1	Fly Ash.....	49
4.2.1.1	X-Ray Diffraction.....	49
4.2.1.2	X-Ray Fluorescence	50
4.2.2	Agregat Kasar	50
4.2.3	Agregat Halus	50
4.3	Beton Geopolimer	50
4.3.1	Kondisi Basah.....	52
4.3.2	Kondisi Kering.....	52
4.3.2.1	Kuat Tekan.....	52
4.3.2.2	Kuat Belah	59
4.3.2.3	Porositas.....	65
4.3.2.4	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).....	71
4.3.2.5	Hammer Test.....	77
4.4	Balok Beton Geopolimer	83
4.4.1	Beban Pengujian	83
4.4.1.1	Beban Retak.....	84
4.4.1.2	Beban Leleh.....	89
4.4.1.3	Beban Maksimal	93
4.4.2	Defleksi.....	99
4.4.3	Pola Retak	101
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		105
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA		
BIODATA PENULIS		

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi kualitas beton	15
Tabel 3.1 Kebutuhan bahan penyusun beton geopolimer untuk volume 1m ³	37
Tabel 3.2 Kebutuhan benda uji silinder ukuran 10 cm x 20 cm..	38
Tabel 3.3 Kebutuhan benda uji silinder ukuran 5 cm x 10 cm....	39
Tabel 3.5 Kebutuhan benda uji balok tidak bertulang ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm	40
Tabel 4.1 Hasil pengujian X-Ray Fluorescence	50
Tabel 4.2 Hasil Pengujian slump beton geopolimer.....	52
Tabel 4.3 Hasil Pengujian kuat tekan beton geopolimer	53
Tabel 4.4 Hasil pengujian kuat belah beton geopolimer	59
Tabel 4.5 Hasil pengujian porositas beton geopolimer	65
Tabel 4.6 hasil pengujian ultrasonic pulse velocity (UPV) beton geopolimer.....	71
Tabel 4.7 Hasil hammer test beton geopolimer.....	77
Tabel 4.8 rata-rata beban pengujian dari berbagai kombinasi perawatan	83
Tabel 4.9 beban retak balok beton geopolimer	84
Tabel 4.10 beban leleh balok beton geopolimer.....	89
Tabel 4.11 beban runtuh balok beton geopolimer	93

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses hidrasi dan polimerisasi.....	6
Gambar 2.2 Fly ash	7
Gambar 2.3 NaOH.....	8
Gambar 2.4 Hubungan beban – defleksi pada balok (E.G. Nawy : 1990).....	17
Gambar 2.5 Metode pengujian balok beton dengan satu titik beban.....	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	24
Gambar 4.1 Hasil pengujian X-Ray Difrraction.....	49
Gambar 4.2 Slump test	52
Gambar 4.3 Titik tumpuan dan titik beban pada benda uji	102
Gambar 4.4 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R).....	102
Gambar 4.5 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-laut (O-L)	103
Gambar 4.6 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven-ruang (TO-R)...	103
Gambar 4.7 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven-laut (TO-L).....	104

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah Negara kepulauan yang memiliki luas lautan yang melebihi luas daratannya sendiri. Sehingga untuk menghubungkan tiap pulau dibutuhkan infrastruktur yang menunjang mobilisasi seperti dermaga, pelabuhan, jembatan, tol di atas laut, dan lain sebagainya. Namun seiring dengan berkembangnya infrastruktur tersebut, muncul pula berbagai masalah. Masalah umum yang terjadi adalah adanya korosi pada beton yang berbahan semen Portland, terlebih lagi semen Portland yang menjadi bahan perekat utama beton mulai menuai banyak perhatian karena proses pembuatannya.

Semen Portland sebagai bahan perekat utama pada beton menuai banyak perhatian karena untuk membuat 1 Ton semen Portland akan dihasilkan 1 Ton karbon dioksida pula (Davidovits, 1994). Semen Portland dibuat dengan memanaskan campuran kapur dan tanah liat, atau bahan lain yang serupa dengan komposisi dan reaktivitas yang cukup kemudian dibakar dengan suhu sekitar 1450°C (Taylor, 1997). Karena kedua faktor inilah semen Portland sebagai bahan perekat pada beton perlu diinovasi.

Inovasi yang telah dilakukan adalah mengganti sebagian semen dengan bahan pozzolan, menurut Neville (1998) sifat pozzolan adalah sifat yang dimiliki bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Jika semen inovasi tersebut bereaksi dengan air, maka akan membentuk senyawa CSH dan CAH, sehingga pozzolan tersebut akan mempunyai sifat seperti semen. Hingga pada tahun 1978 Joseph Davidovits memperkenalkan istilah geopolimer untuk pertama kalinya.

Beton geopolimer ini adalah beton yang 100% tidak menggunakan semen (Ekaputri, 2007). Perkembangan beton geopolimer berbasis fly ash adalah jawaban untuk kebutuhan beton hijau untuk mengurangi emisi karbon dioksida dari

produksi semen. Ia menawarkan peluang yang sangat besar untuk mewujudkan beton yang ramah lingkungan karena mampu memanfaatkan produk sampingan industry seperti fly ash dengan menggantikan sepenuhnya semen Portland.(Hardjito, 2005). Geopolimer telah diteliti memiliki ketahanan terhadap asam sulfat dan klorida. Sifat ketahanan ini sangat dipengaruhi oleh sifat larutan alkali kuat, kondisi perawatan, dan komposisi bahan dasar (Allahverdi dan Skvara, 2004; Miranda dkk, 2005). Oleh sebab itu, penelitian mengenai beton geopolimer ini perlu dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada literatur disebutkan bahwa beton geopolimer sangat sensitif terhadap suhu, namun pada penelitian sebelumnya belum menyinggung masalah suhu, oleh karena itu permasalahan pokok yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh perawatan suhu perawatan 60°C selama 24 jam pada sifat mekanik beton geopolimer di lingkungan air laut dan di suhu ruang.
- b. Bagaimana perilaku kuat lentur pada balok beton geopolimer dengan suhu perawatan 60° C selama 24 jam di lingkungan air laut dan di suhu ruang.

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 14 Molar.
- d. Agregat kasar berukuran <10mm.
- e. Oven yang digunakan adalah oven yang berada pada laboratorium hidrologi Diploma Teknik Sipil ITS.
- f. Tidak membahas reaksi kimia

1.4 Tujuan

Tujuan dan manfaat dari penelitian proyek akhir ini adalah :

- a. Mengetahui pengaruh perawatan suhu perawatan 60°C selama 24 jam pada sifat mekanik beton geopolimer di lingkungan air laut dan di suhu ruang.
- b. Mengetahui perilaku kuat lentur pada balok beton geopolimer dengan suhu perawatan 60°C selama 24 jam di lingkungan air laut dan di suhu ruang.

1.5 Manfaat

- a. Menjadi bahan struktur yang ramah lingkungan.
- b. Memiliki ketahanan yang lebih tinggi.
- c. Menjadi alternatif beton untuk konstruksi di daerah korosif seperti di lingkungan air laut
- d. Mengurangi produksi CO_2 sebagai hasil samping produksi semen portland.
- e. Memanfaatkan limbah pembakaran batu bara yaitu fly ash sebagai pengganti semen Portland.
- f. Memahami kapasitas beton geopolimer.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolimer

2.1.1 Definisi

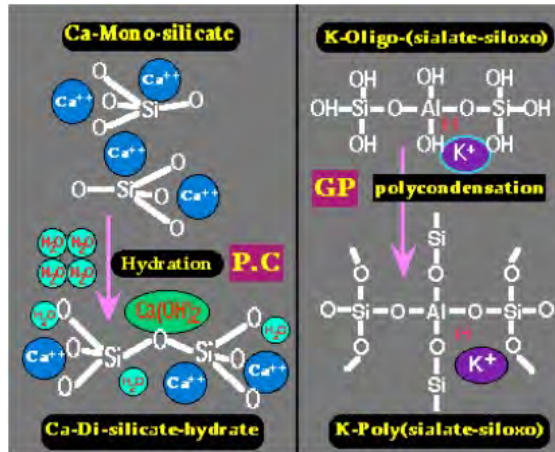
Beton merupakan campuran dari binder dan agregat, baik berupa agregat halus maupun kasar. Pada umumnya beton menggunakan semen sebagai perekat, namun beton geopolimer tidak menggunakan semen sama sekali. Beton geopolimer menggunakan bahan yang kaya akan silika dan alumina sebagai perekat. Beton geopolimer merupakan sebuah jawaban dari bahaya pemanasan global akibat proses produksi semen. Karena untuk membuat 1 ton semen, akan dihasilkan 1 ton karbon dioksida (CO_2) ke udara (Davidovits, 1994).

Isitalah geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978 untuk menggambarkan jenis pengikat mineral yang memiliki komposisi kimia menyerupai zeolit tetapi memiliki mikrostruktur yang amorf.

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).

2.1.1.1 Perbedaan Beton Geopolimer dengan Beton Portland

Beton geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton Portland (Davidovits, 1999). Proses pengerasan yang berbeda antara beton portland dan beton geopolimer. Dijelaskan oleh Davidovits dalam ulasan semen geopolimer pada tahun 2013 seperti gambar 1 berikut.



Gambar 2. 1 Proses hidrasi dan polimerisasi

Proses pembentukan beton geopolimer disebut dengan proses polimerisasi kondensasi, yaitu reaksi gugus fungsi banyak (molekul yang mengandung dua gugus fungsi atau lebih yang dapat bereaksi) yang menghasilkan satu molekul besar bergugus fungsi banyak pula dan diikuti oleh pelepasan molekul kecil.

2.1.1.2 Sifat Beton Geopolimer

Geopolimer telah diteliti memiliki ketahanan kimia yang lebih baik daripada semen Portland, termasuk terhadap perendaman air laut (Fernandez-Jimenez dkk, 2007).

Dilaporkan oleh Davidovits (2008), berikut ini adalah sifat fisik yang umumnya dimiliki beton geopolimer:

- Penyusutan selama setting: <0.05%, tidak dapat diukur
- Kuat tekan (uniaxial): >90 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 20 Mpa setelah 4 jam)
- Kuat flexural: 10-15 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 10 Mpa setelah 24 jam)
- Modulus young: >2 Gpa
- Freeze-thaw: massa yang hilang <0.1 % (ASTM 4842), kekuatan yang hilang <5% setelah 180 siklus.
- Wet-dry: massa yang hilang <0.1% (ASTM 4843).

2.1.2 Bahan Penyusun

2.1.2.1 Binder

A. Fly Ash



Gambar 2. 2 Fly ash

Menurut *American Concrete Institute (ACI)* Komite 116R, fly ash didefinisikan sebagai residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau bubuk batu bara yang diangkut oleh gas buang dari zona pembakaran menuju sistem pembuangan

(*ACI Committee 232 2004*).

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 Na_2O 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 Na_2O < 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. Dilaporkan oleh 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.

B. Alkali aktifator

Alkali aktifator yang umum digunakan dalam penelitian geopolimer adalah sodium hidroksida dan sodium silikat, seperti yang digunakan oleh Palomo,dkk (1999) yang menggunakan kombinasi aktifator sodium hidroksida dan sodium silikat untuk mencapai kekuatan tertinggi. Sodium silikat digunakan untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga menghasilkan polimer yang kuat.

Dengan rasio perbandingan sodium silikat dibanding sodium hidroksida semakin tinggi maka semakin tinggi pula kuat tekannya. Dilaporkan oleh srie subekti (2009) bahwa kuat tekan tertinggi didapatkan dengan perbandingan 1,5.

a. Sodium Hidroksida (NaOH)



Natrium hidroksida juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api, ataupun sodium hidroksida adalah sejenis basa logam kaustik. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan kedalam air.

Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash

Gambar 2. 3 NaOH

sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sebagai aktifator, sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum digunakan. (Hardjito et.al. 2005).

Menghitung molar pada sodium hidroksida mengikuti rumus sebagai berikut:

$$M = \left(\frac{\text{gram}}{Mr} \right) \times \left(\frac{1000}{v} \right)$$

M = Molaritas yang diinginkan

Mr = Jumlah Ar dari unsur senyawa

b. Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sodium silikat adalah nama umum untuk natrium metasilicate, juga dikenal sebagai waterglass. Sodium silikat bisa digunakan dalam semen (mempercepat adukan), perlindungan kebakaran pasif, pengolahan kayu, dan mobil.

Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang berperan penting dalam proses polimerisasi. Karena sodium silikat ini berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silika.

2.1.2.2 Bahan Pengisi (Filler)

Agregat ialah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat yang baik seharusnya memiliki bentuk beragam (bulat atau mendekati kubus) selain itu agregat yang dipakai harus bersih dari kotoran, kuat, keras dan gradasinya baik, agregat juga mempunyai kestabilan kimiawi yang tahan aus dan tahan cuaca selain itu kekuatannya harus melebihi pasta semen yang mengeras. Semua agregat yang digunakan harus dalam keadaan kering permukaan. (D.Sumajouw, 2006).

Dalam praktek agregat pada umumnya dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu:

1. Batu, untuk butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
3. Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

A. Agregat Kasar

Agregat yang mempunyai ukuran butir lebih besar daripada 4,75 mm yaitu berupa kerikil dan batu pecah. (Susilorini R dan Suwarno D, 2001).

Syarat agregat kasar adalah:

1. Agregat kasar pada umumnya lebih dari 5 mm.
2. Harus berbutir keras dan tidak berpori
3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dari berat kering.
4. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton seperti alkali.
5. Butirnya harus bervariasi, dan lain sebagainya.

(PBI 1971)

B. Agregat Halus

Agregat yang mempunyai butir lebih kecil daripada 4,75 mm yaitu berupa pasir alami dan buatan. (Susilorini R dan Suwarno D, 2001).

Syarat agregat halus adalah:

1. Berupa pasir yang berfungsi sebagai bahan pengisi, harus bebas dari bahan organik dan lempung.
2. Tersaring dalam ukuran 4-100.
3. Gradasi berukuran $n < 100$ dapat merusak campuran beton.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat kering.

(PBI 1971)

2.1.2.3 Bahan Tambahan (Admixture)

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 pematatan.

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.

2.1.3 Perawatan

2.1.3.1 Direndam Dalam Air Laut

Tahan terhadap lingkungan korosif adalah sesuatu yang ingin dicapai untuk bahan struktur dilingkungan korosif seperti pertambangan, dermaga, ataupun jembatan diatas laut.

Perawatan ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan beton geopolimer dalam lingkungan yang korosif. Seperti yang dilaporkan oleh Fernandez dkk (2004), bahwa beton geopolimer memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap air laut daripada beton yang menggunakan semen portland.

Penelitian Heri dan Aprilia (2014) menyebutkan bahwa hasil kuat lentur tertinggi adalah pada balok dengan perawatan direndam dalam air laut.

2.1.3.2 Diletakkan pada Suhu Ruang

Perawatan jenis ini berarti meletakkan benda uji pada suhu ruang berkisar 32⁰C, terhindar dari panas matahari dan air hujan secara langsung. Perawatan ini digunakan sebagai pembanding perawatan dalam air laut.

2.1.3.3 Dioven 60⁰C Selama 24 Jam

Bakharev mempelajari kekuatan tekan geopolimer yang dibuat dari abu terbang kelas C pada temperature *curing* yang

meningkat. Nilai kuat tekan beton geopolimer mengalami peningkatan seiring penambahan *curing time*, dimana kuat tekan yang maksimum terjadi pada *curing time* selama 24 jam dengan proses *curing oven*.

Kemudian Palomo, dkk (1999) melakukan penelitian geopolimer dan mendapatkan kuat tekan tertinggi pada benda uji setelah curing selama 24 jam pada suhu 65⁰C, yaitu mencapai lebih dari 60 Mpa.

2.1.4 Pengujian

2.1.4.1 Kondisi Basah

Pengujian pada kondisi basah (segar) adalah melakukan uji slump. Uji slump adalah suatu uji empiris yang digunakan untuk menentukan konsistensi dari campuran beton tersebut untuk meningkatkan *workability* nya. Geopolimer cenderung susah dalam pelaksanaannya, *workability* sangat rendah sehingga sangat susah untuk dilakukan pengecoran dalam kondisi banyak.

Pada penelitian Heri dan Aprilia (2014), pengujian slump beton geopolimer basah (segar) diperoleh nilai 140mm yang dilaporkan memenuhi SNI balok yaitu berkisar antara 75-150 mm.

2.1.4.2 Kondisi Kering

A. Kuat Tekan

Salah satu sifat mekanik yang digunakan sebagai parameter geopolimer adalah kuat tekan. Kuat tekan beton geopolimer dapat dipengaruhi oleh umur geopolimer, temperatur dan lama waktu curing, kadar air dalam geopolimer.

Curing time dapat mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer. Hasil penelitian membuktikan bahwa semakin lama proses curing, maka akan meningkatkan kuat tekan geopolimer. Seperti dilaporkan Faizin dan Rahadian (2014) bahwa kuat tekan beton geopolimer tertinggi diakibatkan perawatan di air laut.

Kuat tekan silinder adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Kuat tekan dihitung dengan rumus :

$$F = \frac{P}{A}$$

- F = Kuat tekan beton (N/mm²)
 P = Beban maksimum (N)
 A = Luas penampang tertekan (mm²)

B. Kuat Belah

Pengujian kuat belah akan membuat beton terbelah menjadi dua. Metode perawatan dapat sangat mempengaruhi kuat belah ini. Dilaporkan oleh Faizin dan Rahadian (2014), hasil pengujian kuat belah tertinggi adalah beton dengan komposisi memakai molaritas NaOH 14M.

Untuk menghitung besarnya nilai kuat belah, digunakan rumus:

$$T = \frac{2P}{\pi LD}$$

- T = Kuat belah (N/mm²)
 P = Beban pengujian (N)
 L = Tinggi benda uji (mm)
 D = Diameter benda uji (mm)

C. Porositas

Porositas adalah banyaknya ruang kosong dalam benda uji yang dalam penelitian ini adalah beton geopolimer. Menurut Faizin dan Rahadian (2014), porositas terkecil terdapat pada beton dengan komposisi memakai molaritas NaOH 14M dan dirawat dalam air laut. Porositas dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{W_{sa} - W_d}{W_{sa} - W_{sw}} \times 100$$

- P = Total porositas (%)
 W_{sa} = Berat benda uji jenuh air di udara (gram)

Wsw = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gram)

Wd = Berat benda uji kering setelah dioven

D. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Tes UPV dapat digunakan untuk:

1. Mengetahui keseragaman kualitas beton
2. Mengetahui kualitas struktur beton setelah umur beberapa tahun
3. Mengetahui kekuatan tekan beton
4. Menghitung modulus elastisitas dan koefisien poisson beton (*International Atomic Energy Agency*, 2002)

Kecepatan gelombang ultrasonic dipengaruhi oleh kekakuan beton. Pada beton yang pematatannya kurang baik, atau mengalami kerusakan butiran mineral, gelombang UPV akan mengalami penurunan kecepatan. Perubahan kekuatan beton pada tes UPV ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan gelombangnya. Jika turun adalah tanda bahwa beton mengalami penurunan kekuatan, sebaliknya jika kecepatannya naik adalah tanda bahwa kekuatan beton meningkat (Hamidian dkk, 2012).

Menurut *International Atomic Energy Agency*, berikut ini adalah kalsifikasi kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang:

Tabel 2. 1 Klasifikasi kualitas beton

Kecepatan gelombang longitudinal		Kualitas beton
Km/ (detik. 10^3)	Ft/detik	
>4,5	>15	Sangat bagus
3,5-4,5	12-15	Bagus
3,0-3,5	10-12	Diragukan
2,0-3,0	7-10	Jelek
<2,0	<7	Sangat jelek

E. Hammer test

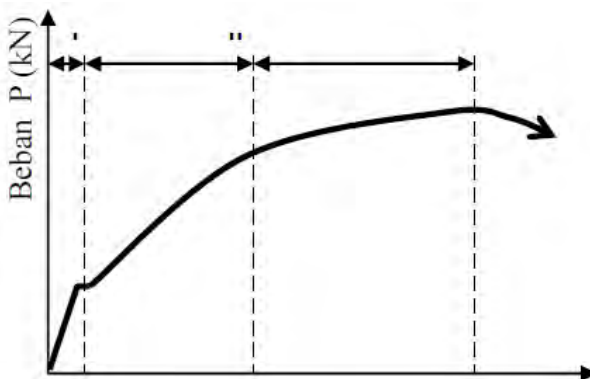
Hammer test adalah suatu metode pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Disamping itu dengan menggunakan

metode ini akan diperoleh cukup banyak data dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang murah. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban impact (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa tersebut pada saat terjadi tumbukan dengan permukaan beton benda uji dapat memberikan indikasi kekerasan juga setelah dikalibrasi, dapat memberikan pengujian ini adalah jenis "Hammer".

Kelebihannya adalah pengukuran bisa dilakukan dengan cepat, mudah diaplikasikan, tidak merusak, murah. Sedangkan kekurangannya adalah hasil pengujian kurang akurat, sulit mengkalibrasi hasil pengujian.

2.2 Balok Beton Bertulang

Balok beton bertulang akan mengalami lentur 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).



Gambar 2. 4 Hubungan Beban-Defleksi pada Balok (E.G.Nawy : 1990)

Hubungan beban-defleksi balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear sebelum terjadi rupture seperti pada diagram Gambar 2.1 (Edward G. Nawy, 1990)

Daerah I :Tarf praretak, dimana batang-batangnya strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari kurva beban-defleksi berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok lebih kecil dari kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari 5 modulus rupture (f_r) beton. Kekakuan lentur EI balok dapat diestimasi dengan menggunakan modulus Young E_c dari beton, dan momen inersia penampang balok tak retak. Untuk estimasi akurat momen inersia (I) memerlukan peninjauan kontribusi tulangan A_s . Ini dapat dilakukan dengan mengganti luas baja dengan luas beton ekivalen (E_s/E_c) A_s karena E_s lebih besar dari E_c .

Daerah II :Tarf beban pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Balok pada tumpuan sederhana retak akan terjadi semakin lebar pada daerah lapangan ,sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur maka kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekakuan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban – defleksi didaerah ini akan semakin landai dibanding pada taraf praretak. Momen Inersia retak disebut I_{cr} .

Daerah III :Tarf retak pasca-serviceability, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh lebih datar dibanding daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika beban terus ditambah ,maka regangan ϵ_s pada tulangan sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi

regangan lelehnya ϵ_y tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa adanya penambahan beban dan retaknya semakin terbuka sehingga garis netral terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan skunder yang mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya rupture.

2.3 Penelitian Balok Beton Geopolimer

Pada penelitian Heri dan Aprilia (2014), balok beton geopolimer yang dirawat dalam air laut memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi daripada balok beton geopolimer yang dirawat pada suhu ruang.

Sedangkan pola retak yang terjadi pada balok beton geopolimer cenderung sama dengan balok beton normal yang menggunakan semen Portland.

2.3.1 Pengujian Kuat Lentur

Sebelum dilakukan pengujian, maka balok perlu didesain agar terjadi kegagalan sesuai dengan tujuan. Untuk menjadikan balok yang gagal lentur, maka perlu didapatkan beban maksimum lentur yang lebih kecil daripada beban maksimum untuk gagal geser. Tahapan perhitungan beban maksimum beban lentur dan geser mengikuti rumusan sebagai berikut:

Beban lentur:

$$A_s \text{ aktual} = n \times A_s \text{ Tulangan}$$

$$a = \frac{A_s \text{ aktual} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$M_u = \left(\frac{1}{4} P_u \times L\right) + \left(\frac{1}{8} q_u \times L^2\right)$$

Dimana :

As akt	= Luas tulangan terpasang (mm ²)
n	= Jumlah tulangan terpasang (buah)
f _y	= Mutu tulangan baja (N/mm ²)
f _c '	= Mutu beton (N/mm ²)
b	= Lebar balok (mm)
M _n	= Momen Nominal (Nmm)
M _u	= Momen ultimate (Nmm)
P _u	= Beban ultimate (N)

Maka P_u atau beban maksimal lentur dapat dihitung, kemudian menghitung beban maksimal untuk geser, mengikuti rumus sebagai berikut:

$$V_n = V_s + V_c$$

$$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c' \times b \times d}$$

$$V_u = 2 \times V_n$$

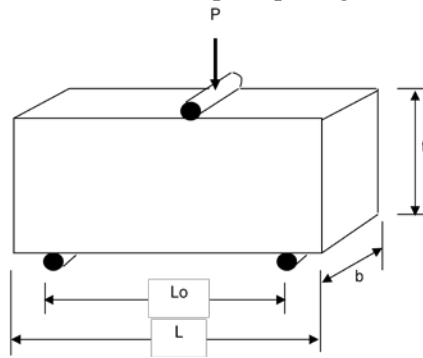
Dimana:

V _n	= Geser nominal (N)
V _s	= Geser dari tulangan (N)
V _c	= Geser dari beton (N)
A _v	= Luas tulangan geser terpasang (mm ²)
F _y	= Mutu tulangan baja (N/mm ²)

- d = Tinggi efektif balok (mm)
- s = Jarak pemasangan tulangan geser (mm)
- f_c' = Mutu beton (N/mm^2)
- b = Lebar balok (mm)
- V_u = Geser Ultimate (N)

Maka V_u atau beban maksimal geser dapat dihitung. Harus dipastikan ketika benda uji balok didesain gagal lentur, maka beban maksimal lentur harus lebih kecil daripada beban maksimal geser.

Pengujian kuat lentur balok beton geopolimer menggunakan satu titik beban seperti pada gambar berikut:

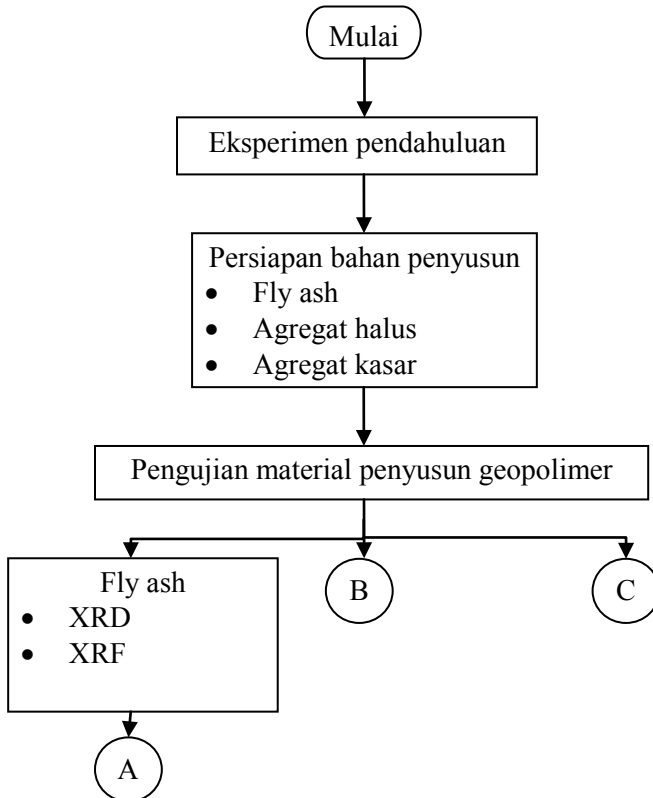


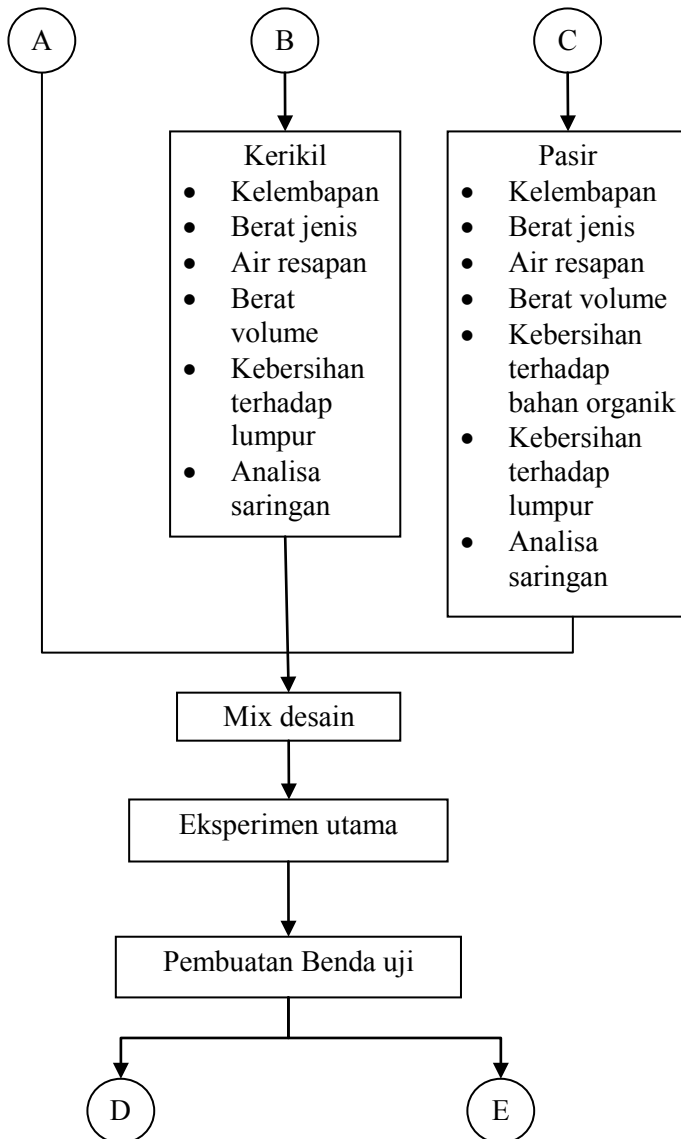
Gambar 2. 5 Metode pengujian balok beton dengan satu titik beban

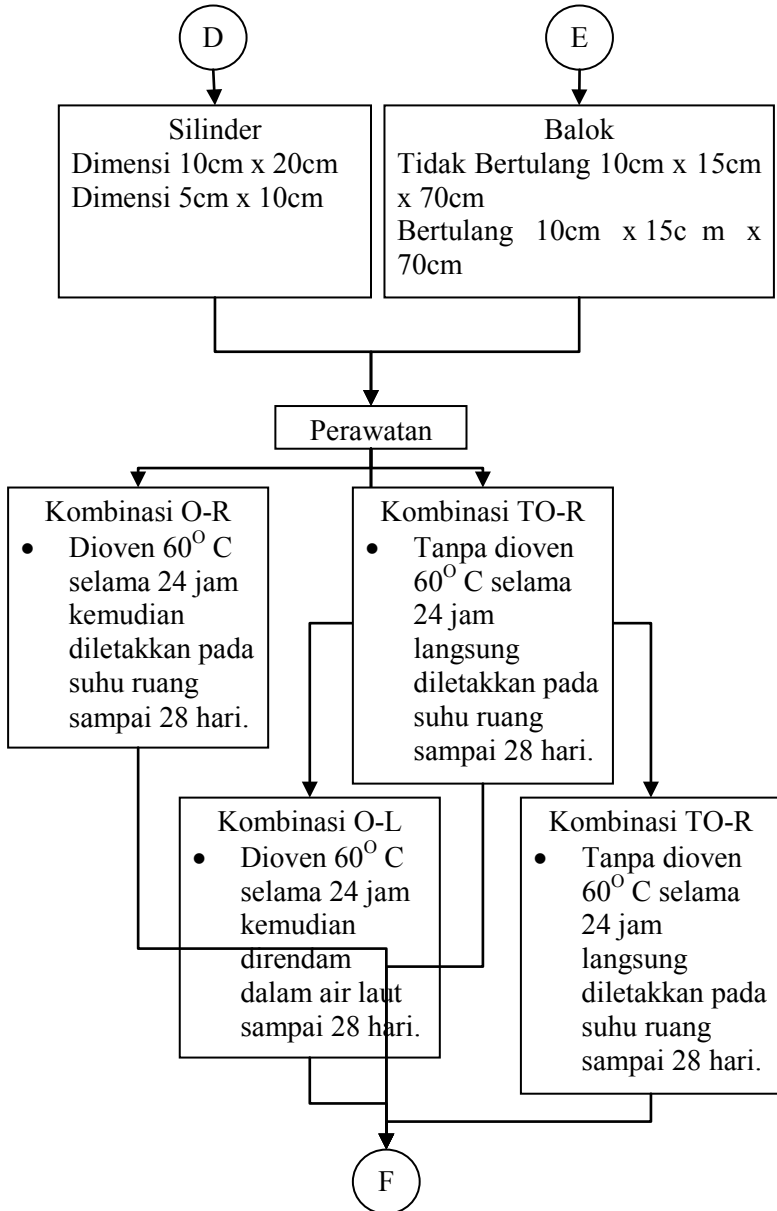
BAB III METODOLOGI

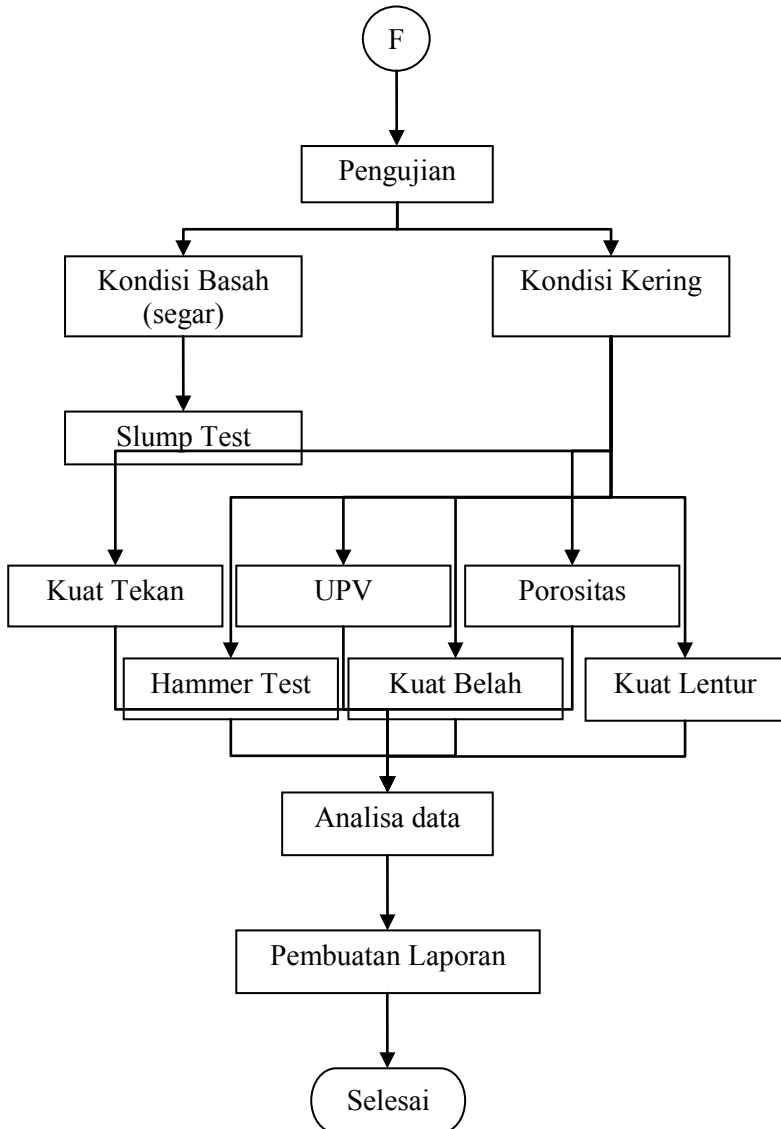
3.1 Umum

Metodologi penelitian ini merupakan langkah – langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Metodologi yang digunakan adalah desain eksperimen laboratorium, yaitu desain eksperimen dengan data yang diperoleh berasal dari praktikum di laboratorium. Adapun metodologi penelitian yang dibuat adalah mengikuti diagram alir sebagai berikut:









Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Persiapan Bahan Penyusun

3.2.1 Binder

Binder adalah material pengikat yang terdapat dalam beton. Binder pada beton geopolimer terdiri dari fly ash dan larutan alkali aktifator.

3.2.1.1 Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sisa pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton, Probolinggo, Jawa timur. Sebelum digunakan sebagai bahan utama penyusun beton geopolimer, perlu dilakukan tes XRD (X-Ray Diffraction) dan XRF (X-Ray Fluorescence) untuk menganalisis komposisi kimia dan unsur yang terdapat dalam fly ash.

3.2.1.2 Alkali Aktifator

A. Sodium Hidroksida (NaOH)

Sodium hidroksida yang digunakan dalam penelitian ini adalah sodium hidroksida 14M. Dengan keadaan molar yang tinggi, larutan ini sangat pekat dan panas serta mudah mengkristal. Maka sebelum digunakan, harus didiamkan selama 24 jam. Adapun cara pembuatan sodium hidroksida 14M ini adalah sebagai berikut:

1. Hitung kebutuhan Kristal NaOH untuk membuat larutan NaOH 14M dengan rumus:

$$M = \left(\frac{\text{gram}}{Mr}\right) \times \left(\frac{1000}{v}\right)$$

$$14 = \left(\frac{\text{gram}}{40}\right) \times \left(\frac{1000}{1000}\right)$$

$$\text{gram} = 560$$

M : Molaritas

Mr : Jumlah Ar dari unsur senyawa

V : Volume larutan

2. Masukkan kristal NaOH sebanyak 560 gram kedalam labu ukur dengan kapasitas 1 liter.
3. Larutkan kristal NaOH dengan air sedikit demi sedikit hingga mencapai volume larutan 1 liter.
4. Simpan larutan dalam wadah yang tertutup rapat, diamkan selama 24 jam.

B. Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sodium silikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbentuk larutan berwarna bening dan kental, larutan ini dijual di pasaran dengan nama waterglass.

3.2.2 Bahan Pengisi

3.2.2.1 Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerikil yang lolos ayakan 10 mm. Sebelum kerikil digunakan sebagai bahan pengisi pada penelitian ini, diperlukan pengujian material sebagai berikut:

- a. 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. Kerikil dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatur ($110^\circ \pm 5^\circ$).

4. Keluarkan kerikil dari oven, setelah dingin kerikil beserta tempat ditimbang beratnya.
 5. Untuk menentukan kerikil setelah dioven yaitu berat kerikil beserta tempat dikurangi berat tempat timbang itu sendiri
- b. 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. Kain lap
 2. Ember
 3. Loyang
 4. Neraca
 5. Kerikil atau betu pecah
 6. 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)
- c. Air resapan batu pecah
- Tujuan
Menentukan kadar air resapan kerikil.
 - Standart uji
ASTM C 127 - 88
 - Alat dan bahan

1. Timba
 2. Oven
 3. Lap kain
 4. Timbangan
 5. Kerikil 3000 gram
 6. 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.
- d. 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
 1. Takaran 10l (10000cc)
 2. Timbangan atau neraca
 3. Alat perojok
 4. Kerikil
 - Langkah kerja

Tanpa rojokan atau lepas

 1. Takaran dalam keadaan kosong ditimbang.
 2. Takaran diisi dengan kerikil sampai penuh dan diangkat setinggi 1 cm jatuhkan ke lantai sebanyak 3 kali, kemudian ratakan permukaannya.
 3. Timbang takaran yang sudah terisi kerikil penuh.

Dengan rojokan

 1. Takaran dalam keadaan kosong ditimbang.

2. Takaran berisi kerikil 1/3 bagian, kemudian dirojok 25 kali (lakukan seperti tersebut 2kali lagi sampai penuh).
 3. Permukaannya diratakan.
 4. Timbang takaran yang sudah terisi kerikil penuh.
- e. Kebersihan batu pecah terhadap lumpur
- Tujuan
Mengetahui kadar lumpur pada kerikil.
 - Standart uji
ASTM C 117 - 95
 - Alat dan bahan :
 1. Saringan # 0,063 mm
 2. Loyang
 3. Timbangan
 4. Ember
 5. Oven
 6. Kerikil
 7. 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.

- f. Analisa saringan batu pecah
- 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.

3.2.2.2 Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alami Lumajang. Sebelum pasir digunakan sebagai bahan pengisi pada penelitian ini, diperlukan pengujian material sebagai berikut:

- a. Kelembaban 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. 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.
- b. 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 :
 - Rendam pasir 24 jam, selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang.
 - Tempatkan kerucut ssd pada bidang datar yang tidak menghisap air.

- 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.
 - Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, bila pasir masih berbentuk kerucut maka pasir belum ssd.
 - 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.
- c. Air resapan pasir
- Tujuan
Menentukan kadar air resapan pasir.
 - Standart uji
ASTM C 128 -93
 - Alat dan bahan
 1. Loyang

2. Timbangan
 3. Oven
 4. 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.
- d. Berat volume pasir
- Tujuan
Menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat.
 - Standart uji
ASTM 129-91
 - Alat dan bahan
 1. Silinder volume 3 liter
 2. Silinder volume 10 liter
 3. Timbangan
 4. Pasir
 - Langkah kerja
Tanpa rojokan atau lepas.
 1. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 2. Silinder diisi dengan pasir sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm jatuhkan ke lantai sebanyak 3 kali, kemudian ratakan permukaannya.
 3. Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh.
Dengan rojokan.
 1. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.

2. Silinder diisi dengan pasir $\frac{1}{3}$ bagian, kemudian dirojok sebanyak 25 kali demikian hingga penuh dan tiap bagian dirojok 25 kali.
 3. Permukaannya diratakan.
 4. Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh.
- e. 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 ± 130 ml.
 2. Tambahkan larutan naoh 3% sampai 200 ml dan tutup rapat dan kocok botol ± 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.
- f. Kebersihan pasir terhadap lumpur (pencucian)
- Tujuan
Untuk menentukan banyaknya kadar lumpur dalam pasir.

- Standart uji
ASTM C 33-93
 - Alat dan bahan
 1. Timbangan analitis.
 2. Saringan berdiameter 0,297.
 3. Pan atau cawan terbuat dari porselin atau logam tahan karat.
 4. Oven.
 5. Pasir kondisi kering oven.
 6. Air.
 - 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).
- g. Analisa saringan pasir
- Tujuan
Untuk menentukan distribusi ukuran butir/gradasi pasir.
 - Standart uji
ASTM C 1366-95
 - Alat dan bahan
 1. Ayakan dengan 7 (tujuh) tingkat
 2. No. 1 berdiameter 4,75 mm
 3. No. 2 berdiameter 2,36 mm
 4. No. 3 berdiameter 1,18 mm

5. No. 4 berdiameter 0,6 mm
 6. No. 5 berdiameter 0,3 mm
 7. No. 6 berdiameter 0,15 mm
 8. No. 7 ayakan tertutup
 9. Timbangan
 10. Loyang
 11. Alat penggetar listrik
 12. 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.

3.2.3 Bahan Tambahan

Bahan tambahan (admixture) yang digunakan dalam penelitian ini adalah superplasticizer dengan merk dagang masterbuilder dengan kode rheobuild 900i.

3.3 Mix Desain

Untuk membuat beton geopolimer, dibutuhkan komposisi yang baik untuk mencapai hasil yang kuat. Komposisi beton geopolimer pada penelitian ini mengacu pada penelitian Rahadian (2014) yang menyebutkan bahwa komposisi ini memiliki kuat tekan yang tinggi. Perbandingan bahan penyusun adalah sebagai berikut:

Perbandingan agregat : binder = 70% : 30%

Perbandingan agregat [kasar : halus]	= 60% : 40%
Perbandingan binder [fly ash : alkali]	= 70% : 30%
Perbandingan alkali [Na_2SiO_3 : NaOH]	= 1,5
Penambahan superplasticizer (SP)	= 3% dari berat fly ash
Penambahan air untuk SP	= 1% dari berat fly ash
Penambahan air untuk NaOH	= 1% dari berat fly ash

Untuk membuat beton geopolimer sebanyak 1m^3 , maka diperlukan bahan penyusun sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Kebutuhan bahan penyusun beton geopolimer untuk volume 1m^3

Bahan	Fly ash	Kerikil	Pasir	NaOH	Na_2SiO_3	SP	Air
Berat (Kg)	630	1260	840	108	162	18,9	12,6

3.4 Pembuatan Benda Uji

Pada setiap pembuatan benda uji dibutuhkan alat dan bahan sebagai berikut:

a. Alat

- Seperangkat mixer
- Cetok
- Kapi
- Perojok
- Tempat adukan beton
- Timbangan
- Timba
- Cetakan

b. Bahan

- Fly ash
- Sodium hidroksida 14M (sudah didiamkan selama 24 jam)
- Sodium silikat
- Kerikil lolos ayakan 1cm
- Pasir

- Superplasticizer

3.4.1 Silinder

3.4.1.1 Ukuran 10 cm x 20 cm

Pembuatan benda uji silinder ukuran 10 cm x 20 cm ini sesuai dengan kebutuhan benda uji sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Kebutuhan benda uji silinder ukuran 10 cm x 20 cm

No	Pengujian	Perawatan				Jumlah
		1	2	3	4	
1	Kuat Tekan	3	3	3	3	12
2	Hammer test, UPV, Kuat Belah	3	3	3	3	12
Jumlah keseluruhan						24

Pembuatan benda uji silinder ukuran 10 cm x 20 cm adalah mengikuti langkah sebagai berikut:

1. Persiapkan alat sesuai kebutuhan.
2. Persiapkan bahan sesuai mix desain.
3. Lumuri cetakan silinder 10 cm x 20 cm dengan oli.
4. Campurkan bahan berbentuk cairan (sodium hidroksida, sodium silikat, superplasticizer, dan air) menjadi satu didalam timba.
5. Masukkan kerikil dan pasir kedalam mixer, kemudian aduk hingga bercampur.
6. Tambahkan fly ash kedalam mixer, kemudian aduk lagi hingga semua bahan padatan bercampur menjadi satu didalam mixer.
7. Setelah bahan padatan bercampur menjadi satu, tambahkan bahan berbentuk cairan kedalam mixer sedikit demi sedikit. Aduk hingga semua bahan bercampur dengan rata.
8. Tuangkan adukan dari mixer tersebut kedalam adukan beton. Aduk secara manual menggunakan cangkul agar lebih merata.

9. Masukkan beton kedalam cetakan silinder 10 cm x 20 cm dengan disertai rojokan.
10. Setelah cetakan penuh terisi, ratakan permukaan cetakan menggunakan cetok dan kapi.
11. Cetakan dapat dibuka setelah 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan perawatan sesuai prosedur.

3.4.1.2 Ukuran 5 cm x 10 cm

Pembuatan benda uji silinder ukuran 5 cm x 10 cm ini sesuai dengan kebutuhan benda uji sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Kebutuhan benda uji silinder ukuran 5 cm x 10 cm

No	Pengujian	Perawatan				Jumlah
		1	2	3	4	
1	Porositas	3	3	3	3	12

Pembuatan benda uji silinder ukuran 5 cm x 10 cm adalah mengikuti langkah sebagai berikut:

1. Persiapkan alat sesuai kebutuhan.
2. Persiapkan bahan sesuai mix desain.
3. Lumuri cetakan silinder 5 cm x 10 cm dengan oli.
4. Campurkan bahan berbentuk cairan (sodium hidroksida, sodium silikat, superplasticizer, dan air) menjadi satu didalam timba.
5. Masukkan kerikil dan pasir kedalam mixer, kemudian aduk hingga bercampur.
6. Tambahkan fly ash kedalam mixer, kemudian aduk lagi hingga semua bahan padatan bercampur menjadi satu didalam mixer.
7. Setelah bahan padatan bercampur menjadi satu, tambahkan bahan berbentuk cairan kedalam mixer sedikit demi sedikit. Aduk hingga semua bahan bercampur dengan rata.

8. Tuangkan adukan dari mixer tersebut kedalam adukan beton. Aduk secara manual menggunakan cangkul agar lebih merata.
9. Masukkan beton kedalam cetakan silinder 5 cm x 10 cm dengan disertai rojokan.
10. Setelah cetakan penuh terisi, ratakan permukaan cetakan menggunakan cetok dan kapi.
11. Cetakan dapat dibuka setelah 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan perawatan sesuai prosedur.

3.4.2 Balok

3.4.2.1 Tidak bertulang

Pembuatan benda uji balok tidak bertulang ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm ini sesuai dengan kebutuhan benda uji sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Kebutuhan benda uji balok tidak bertulang ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm

No	Pengujian	Perawatan				Jumlah
		1	2	3	4	
1	Kuat lentur	3	3	3	3	12

Pembuatan benda uji balok tidak bertulang ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm adalah mengikuti langkah sebagai berikut:

1. Persiapkan alat sesuai kebutuhan.
2. Persiapkan bahan sesuai mix desain.
3. Lumuri cetakan balok 10 cm x 15 cm x 70 cm dengan oli.
4. Campurkan bahan berbentuk cairan (sodium hidroksida, sodium silikat, superplasticizer, dan air) menjadi satu didalam timba.
5. Masukkan kerikil dan pasir kedalam mixer, kemudian aduk hingga bercampur.
6. Tambahkan fly ash kedalam mixer, kemudian aduk lagi hingga semua bahan padatan bercampur menjadi satu didalam mixer.

7. Setelah bahan padatan bercampur menjadi satu, tambahkan bahan berbentuk cairan kedalam mixer sedikit demi sedikit. Aduk hingga semua bahan bercampur dengan rata.
8. Tuangkan adukan dari mixer tersebut kedalam adukan beton. Aduk secara manual menggunakan cangkul agar lebih merata.
9. Masukkan beton kedalam cetakan balok 10 cm x 15 cm x 70 cm dengan disertai rojokan.
10. Setelah cetakan penuh terisi, ratakan permukaan cetakan menggunakan cetok dan kapi.
11. Cetakan dapat dibuka setelah 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan perawatan sesuai prosedur.

3.4.2.2 Bertulang

Sebelum pembuatan benda uji, perlu dilakukan perhitungan beban yang akan dikenakan pada saat pengujian untuk memastikan benda uji balok tersebut akan mengalami gagal lentur. Dengan menjauhkan jarak beban gagal geser dan gagal lentur, maka dapat dipastikan desain akan memenuhi. Beban tersebut mengikuti rumus yang sudah tertera pada tinjauan pustaka, dan mendapatkan nilai 2.4 ton untuk beban hancur lentur dan 5,5 ton untuk beban hancur geser.

Pembuatan benda uji balok bertulang ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm ini sesuai dengan kebutuhan benda uji sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Kebutuhan benda uji balok bertulang ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm

No	Pengujian	Perawatan				Jumlah
		1	2	3	4	
1	Kuat lentur	3	3	3	3	12

Pembuatan benda uji balok bertulang ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm adalah mengikuti langkah sebagai berikut:

1. Persiapkan alat sesuai kebutuhan.
2. Persiapkan bahan sesuai mix desain.
3. Lumuri cetakan balok 10 cm x 15 cm x 70 cm dengan oli.
4. Pasang tulangan kedalam cetakan, gunakan beton decking setebal 1 cm sebagai acuan.
5. Campurkan bahan berbentuk cairan (sodium hidroksida, sodium silikat, superplasticizer, dan air) menjadi satu didalam timba.
6. Masukkan kerikil dan pasir kedalam mixer, kemudian aduk hingga bercampur.
7. Tambahkan fly ash kedalam mixer, kemudian aduk lagi hingga semua bahan padatan bercampur menjadi satu didalam mixer.
8. Setelah bahan padatan bercampur menjadi satu, tambahkan bahan berbentuk cairan kedalam mixer sedikit demi sedikit. Aduk hingga semua bahan bercampur dengan rata.
9. Tuangkan adukan dari mixer tersebut kedalam adukan beton. Aduk secara manual menggunakan cangkul agar lebih merata.
10. Masukkan beton kedalam cetakan balok 10 cm x 15 cm x 70 cm dengan disertai rojokan.
11. Setelah cetakan penuh terisi, ratakan permukaan cetakan menggunakan cetok dan kapi.
12. Cetakan dapat dibuka setelah 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan perawatan sesuai prosedur.

3.5 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji ini dilakukan untuk mengetahui perilaku beton pada kondisi tertentu.

3.5.1 Dioven 60⁰C Selama 24 Jam (O)

Oven yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven listrik yang berada pada laboratorium hidrologi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS. Perawatan ini dilakukan dengan cara meletakkan benda uji didalam sebuah oven dengan suhu 60⁰C selama 24 jam

kemudian dikeluarkan dari oven untuk dilanjutkan perawatannya sebagai berikut:

3.5.1.1 Suhu Ruang (R)

Setelah dikeluarkan dari oven kemudian benda uji diletakkan didalam sebuah ruangan yang terlindungi dari sinar matahari dan air hujan secara langsung. Ruang yang digunakan untuk menyimpan benda uji adalah ruang workshop kerja baja Diploma Teknik Sipil ITS. Kombinasi perawatan dioven kemudian diletakkan pada suhu ruang ini disebut kombinasi oven-ruang (O-R).

3.5.1.2 Air Laut (L)

Setelah dikeluarkan dari oven kemudian benda uji direndam dalam air laut. Perendaman benda uji ini dilakukan dengan cara dibungkus menggunakan karung kemudian direndam dalam air laut. Air laut yang digunakan adalah air laut disekitar pantai kenjeran Surabaya. Kombinasi perawatan dioven kemudian direndam dalam air laut ini disebut kombinasi oven-laut (O-L).

3.5.2 Tanpa Dioven 60⁰C Selama 24 Jam (TO)

Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian dilanjutkan perawatan sebagai berikut:

3.5.2.1 Suhu Ruang (R)

Setelah dikeluarkan dari cetakan, kemudian benda uji diletakkan didalam sebuah ruangan yang terlindungi dari sinar matahari dan air hujan secara langsung. Ruang yang digunakan untuk menyimpan benda uji adalah ruang workshop kerja baja Diploma Teknik Sipil ITS. Kombinasi perawatan tanpa dioven kemudian diletakkan pada suhu ruang ini disebut kombinasi tanpa oven-ruang (TO-R).

3.5.2.2 Air Laut (L)

Setelah dikeluarkan dari cetakan, kemudian benda uji direndam dalam air laut. Perendaman benda uji ini dilakukan dengan cara dibungkus menggunakan karung kemudian direndam

dalam air laut. Air laut yang digunakan adalah air laut disekitar pantai kenjeran Surabaya. Kombinasi perawatan tanpa dioven kemudian direndam dalam air laut ini disebut kombinasi tanpa oven-laut (TO-L).

3.6 Pengujian

Pengujian silinder sendiri adalah untuk mendapatkan properties dari beton geopolimer tersebut. Dilakukan pengujian dalam kondisi basah (segar) dan kondisi kering. Kemudian pengujian pada balok adalah untuk mendapatkan data kekuatan lentur dari balok beton geopolimer.

3.6.1 Beton Geopolimer

3.6.1.1 Keadaan basah (segar)

Pengujian dalam keadaan basah (segar) ini adalah dengan melakukan slump test, yaitu untuk mengetahui tingkat workability dari beton geopolimer pada penelitian ini.

- Tujuan
 - Mengetahui tingkat workability
- Standart uji
 - ASTM C143-78
- Alat dan bahan
 1. Keucut Abrams
 2. Rojokan besi silinder
 3. Alas plat baja
- Langkah kerja
 1. Letakkan alas plat baja pada permukaan yang datar
 2. Pasang kecurut Abrams diatas alas tersebut
 3. Masukkan beton geopolimer segar kedalam kerucut Abrams sampai 1/3 tinggi, kemudian rojok 25 kali.
 4. Lanjutkan 1/3 berikutnya diikuti dengan rojokan sampai penuh
 5. Angkat kerucut Abrams dengan sangat hati-hati
 6. Ukur perbedaan ketinggian dari beton segar dengan tinggi kerucut Abrams.

3.6.1.2 Keadaan Kering

A. Kuat Tekan

- Tujuan
Untuk mengetahui mutu kuat tekan beton dari benda uji
- Standart uji
ASTM C 823-75
- Alat dan bahan
 1. Benda uji silinder 10 cm x 20 cm yang telah dirawat dalam kombinasi perawatan tertentu.
 2. Belerang
 3. Timbangan digital
 4. Seperangkat alat caping
 5. Universal testing machine
- Langkah kerja
 1. Timbang benda uji menggunakan timbangan digital.
 2. Ratakan permukaan benda uji dengan belerang yang sudah dicairkan, tunggu hingga kering dan keras.
 3. Letakkan benda uji pada mesin tes dengan posisi vertical atau berdiri.
 4. Penekan mesin diturunkan secara perlahan dengan kecepatan konstan.
 5. Catat beban maksimum yang tertera pada mesin.

B. Kuat Belah

- Tujuan
Untuk mengetahui kuat belah dari benda uji.
- Standart uji
ASTM C 496-94
- Alat dan bahan
 1. Benda uji silinder 10 cm x 20 cm yang telah dirawat dalam kombinasi perawatan tertentu.
 2. Timbangan digital
 3. Universal testing machine
- Langkah kerja

1. Timbang benda uji menggunakan timbangan digital.
2. Letakkan benda uji pada mesin tes dengan posisi horizontal atau tertidur.
3. Penekan mesin diturunkan secara perlahan dengan kecepatan konstan.
4. Catat beban maksimum yang tertera pada mesin.

C. Porositas

- Tujuan
Untuk mengetahui porositas dari benda uji.
- Standart uji
RILEM CPC 11.3
- Alat dan bahan
 1. Benda uji silinder ukuran 5 cm x 10 cm
 2. Timbangan digital
 3. Oven
 4. Alat vakum
- Langkah kerja
 1. Masukkan benda uji kedalam alat vakum.
 2. Vakum benda uji selama 24 jam untuk mengeluarkan udara yang ada dalam benda uji.
 3. Setelah 24 jam, rendam benda uji didalam vakum menggunakan air sampai terendam 20mm diatas benda uji.
 4. Vakum benda uji yang terendam air selama minimal 16 jam.
 5. Setelah 16 jam, angkat benda uji kemudian keringkan benda uji dengan cara di lap dan diangin-anginkan sampai kondisi SSD.
 6. Timbang benda uji dalam kondisi SSD untuk mendapatkan berat jenuh di udara.
 7. Masukkan benda uji kedalam keranjang, celupkan dala air, kemudian timbang berat jenuh benda uji didalam air.
 8. Oven benda uji selama 24 jam.

9. Timbang benda uji yang sudah dioven untuk mendapatkan berat kering.

D. UPV

- Tujuan
Untuk mengetahui kepadatan didalam benda uji.
- Standart uji
ASTM C597
- Alat dan bahan
 1. Benda uji silinder ukuran 10 cm x 20 cm
 2. Gel / stemped
 3. Seperangkat alat UPV
- Langkah kerja
 1. Persiapkan seperangkat alat UPV
 2. Lakukan pengaturan pada tinggi benda uji di alat UPV yang akan menjadi jarak tempuh (L).
 3. Oleskan gel atau stemped pada permukaan alat UPV
 4. Mulai pengujian sampai alat membaca kecepatan rambat gelombang ultrasonic.

E. Hammer Test

- Tujuan
Untuk mengetahui mutu beton tanpa menghancurkan benda uji
- Standart uji
ASTM C805
- Alat dan bahan
 1. Benda uji silinder ukuran 10 cm x 20 cm
 2. Seperangkat alat hammer test manual ataupun digital
- Langkah kerja
 1. Letakkan benda uji pada permukaan yang datar, pastikan benda uji tidak bergoyang
 2. Tekan alat hammer test sampai menimbulkan bunyi, lihat hasilnya

3. Lakukan sebanyak sepuluh (10) kali penekanan untuk pengambilan data.
4. Selalu perhatikan hasil hammer test, ketika terlalu jauh dengan hasil sebelumnya maka data dihapus kemudian dilakukan pengambilan data lagi.

3.6.2 Balok Beton Geopolimer

- Tujuan
Mengetahui kuat lentur balok beton geopolimer
- Standart uji
ASTM C78-96
- Alat dan bahan
 1. Benda uji balok ukuran 10 cm x 15 cm x 70 cm yang telah dirawat dalam kombinasi perawatan tertentu.
 2. Universal Testing Machine
- Langkah kerja
 1. Persiapkan perletakkan benda uji balok sesuai dengan ukuran rencana
 2. Atur penurunan beban pada UTM secara konstan
 3. Letakkan benda uji balok sesuai dengan ukuran perletakkannya
 4. Lakukan pengujian dengan hati-hati
 5. Amati grafik yang tertera pada monitor hingga muncul tanda retak pertama (crack), tandai pada benda uji balok menggunakan spidol
 6. Lakukan pengujian sampai tulangan putus atau grafik yang tertera pada monitor sudah tidak mengalami naik dan turun
 7. Setelah pengujian selesai, tandai semua retakan yang terjadi pada benda uji balok tersebut.

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Umum

Pada bab ini akan diuraikan hasil dari praktikum tugas akhir mengenai beton geopolimer berdasarkan kombinasi perawatan yang dilakukan.

Hasil tersebut akan disajikan dalam bentuk gambar, tabel, dan grafik kemudian dilakukan pembahasan.

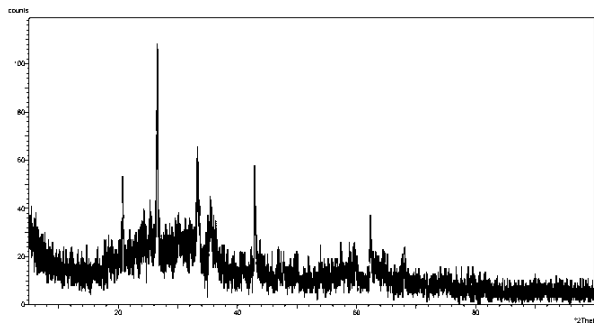
4.2 Bahan Penyusun

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil pengujian dari bahan penyusun beton geopolimer. Adapun pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

4.2.1 Fly ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sisa pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton, Probolinggo, Jawa timur. Sebelum digunakan sebagai bahan utama penyusun beton geopolimer, perlu dilakukan pengujian sebagai berikut:

4.2.1.1 X-Ray Diffraction



Gambar 4. 1 Hasil pengujian X-Ray Diffraction

Dari hasil pengujian XRD ini diketahui bahwa fly ash yang digunakan dalam penelitian ini bersifat amorf.

4.2.1.2 X-Ray Fluorescence

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui analisa komposisi unsur dalam suatu bahan. Pengujian ini tidak merusak sehingga tidak memerlukan banyak bahan.

Adapun hasil pengujian dari fly ash yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table 4. 1 Hasil Pengujian X-Ray Fluorescence

Jenis Senyawa	Kadar (%)
SiO ₂	23,32
Al ₂ O ₃	6,74
CaO	10,74
MgO	2,28
Na ₂ O	0,27
K ₂ O	1,20
TiO ₂	0,68
Fe ₂ O ₃	11,62
SO ₃	0,94
P ₂ O ₅	0,17
MnO	0,10
SrO	0,51

Kadar CaO dari fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10,74 %, menurut ASTM C 618-84 fly ash yang memiliki kadar CaO lebih dari 10% digolongkan kedalam fly ash tipe C.

4.2.2 Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah dengan ukuran maksimum 10mm. Pengujian terhadap agregat kasar ini berupa uji fisik yang dilakukan di laboratorium diploma teknik sipil FTSP ITS Surabaya. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

LAMPIRAN 2

- Kelembaban batu pecah (ASTM C 556 – 89)

- b. Berat jenis batu pecah (ASTM C 127-88-93)
- c. Air resapan batu pecah (ASTM C 127 – 88)
- d. Berat volume batu pecah (ASTM C 29/C 29M – 91)
- e. Kebersihan batu pecah terhadap lumpur (ASTM C 117 – 95)
- f. Analisa saringan batu pecah (ASTM C 136 -95 A)

Dari hasil pengujian bahan penyusun agregat kasar di atas, semua jenis pengujian memenuhi standar yang sudah ditetapkan.

4.2.3 Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alami Lumajang. Pengujian terhadap agregat kasar ini berupa uji fisik yang dilakukan di laboratorium diploma teknik sipil FTSP ITS Surabaya. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

LAMPIRAN 3

- a. Kelembaban pasir (ASTM C 556 – 89)
- b. Berat jenis pasir (ASTM C 128 – 93)
- c. Air resapan pasir (ASTM C 128 -93)
- d. Berat volume pasir (ASTM 129-91)
- e. Kebersihan pasir terhadap bahan organik (ASTM C 40-92)
- f. Kebersihan pasir terhadap lumpur (pencucian) (ASTM C 33-93)
- g. Analisa saringan pasir (ASTM C 1366-95)

Dari hasil pengujian bahan penyusun agregat kasar di atas, semua jenis pengujian memenuhi standar yang sudah ditetapkan.

4.3 Beton Geopolimer

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil pengujian dari beton geopolimer pada kondisi basah dan kering. Adapun pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

4.3.1 Kondisi basah



Gambar 4. 2 Slump test

Pengujian pada kondisi basah adalah dengan melakukan tes slump pada beton geopolimer segar. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat workability dari beton geopolimer tersebut. Adapun hasil pengujian dari fly ash yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table 4. 2 Hasil Pengujian Slump Beton Geopolimer

No	Hasil tes slump (mm)	Rata-rata (mm)
1	260	
2	240	230
3	190	

Dari tiga pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil rata-rata nilai slump adalah sebesar 230 mm. Hal ini dapat dikarenakan penggunaan superplasticizer dengan merk dagang Rheobuild 900i yang bersifat meningkatkan pumpability beton segar dengan penurunan minimal 200 mm atau lebih. Penggunaan superplasticizer ini membuat beton mengalir dengan mudah, tanpa terjadinya segregasi.

4.3.2 Kondisi Kering

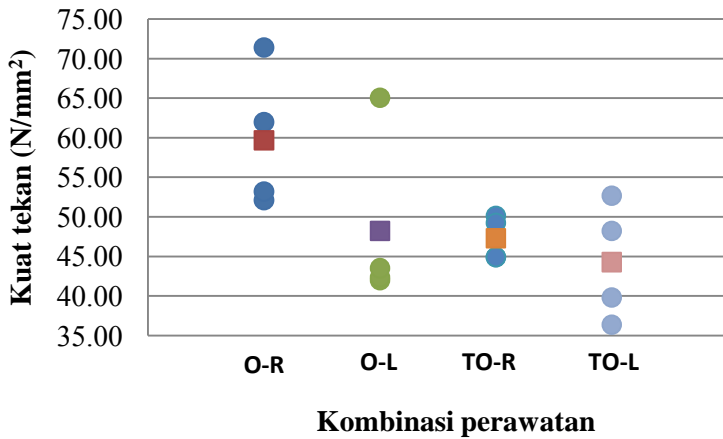
4.3.2.1 Kuat Tekan

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 10 cm x 20 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Pengujian kuat tekan ini dilakukan di laboratorium uji material diploma

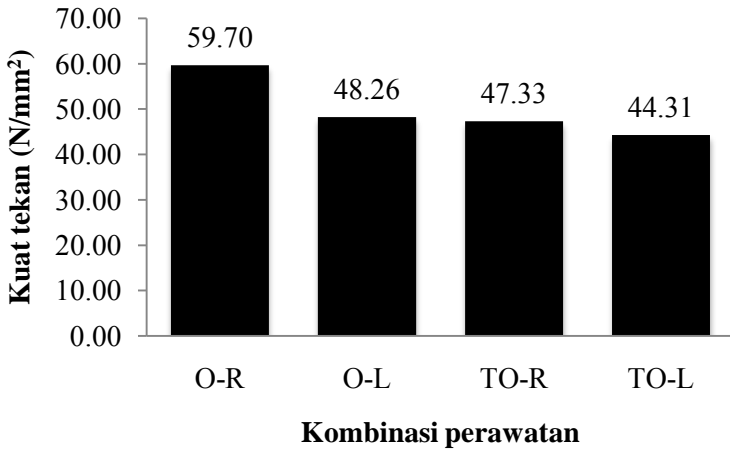
teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer adalah sebagai berikut:

Table 4. 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	Beban Uji (N)	Luas (mm ²)	Kuat tekan (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
1	S1	O-R	561000	7853.98	71.43	59.70
2	S2	O-R	487000	7853.98	62.01	
3	S9	O-R	409400	7853.98	52.13	
4	S10	O-R	418000	7853.98	53.22	
5	S3	O-L	511000	7853.98	65.06	48.26
6	S4	O-L	330000	7853.98	42.02	
7	S11	O-L	333000	7853.98	42.40	
8	S12	O-L	342000	7853.98	43.54	
9	S5	TO-R	394000	7853.98	50.17	47.33
10	S6	TO-R	353000	7853.98	44.95	
11	S13	TO-R	353000	7853.98	44.95	
12	S14	TO-R	387000	7853.98	49.27	
13	S7	TO-L	414000	7853.98	52.71	44.31
14	S8	TO-L	379000	7853.98	48.26	
15	S15	TO-L	286000	7853.98	36.41	
16	S16	TO-L	313000	7853.98	39.85	



Grafik 4. 1 Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan



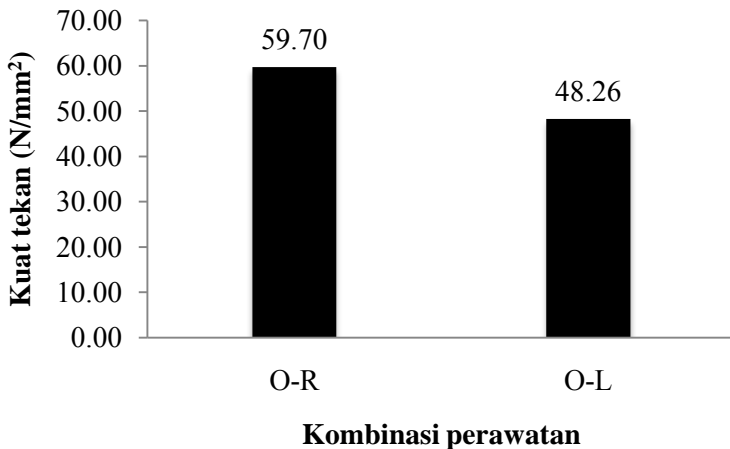
Grafik 4. 2 Rata-rata kuat tekan beton geopolimer dari berbagai perawatan

Pada penelitian yang dilakukan Faizin dan Rahadian (2014), hasil rata-rata kuat tekan belum mencapai kekuatan yang maksimal, hanya mencapai mencapai 25 M Pa. Hal ini dapat dikarenakan jenis sodium silikat yang digunakan berbeda, secara

fisik dapat dilihat bahwa sodium silikat (Na_2SiO_3) yang digunakan Faizin dan Rahadian cenderung encer, sedangkan sodium silikat (Na_2SiO_3) yang digunakan dalam penelitian ini cenderung kental dan lengket.

Dari data yang didapatkan, hasil rata-rata kuat tekan dapat dianalisa menurut kombinasi perawatan benda uji sebagai berikut:

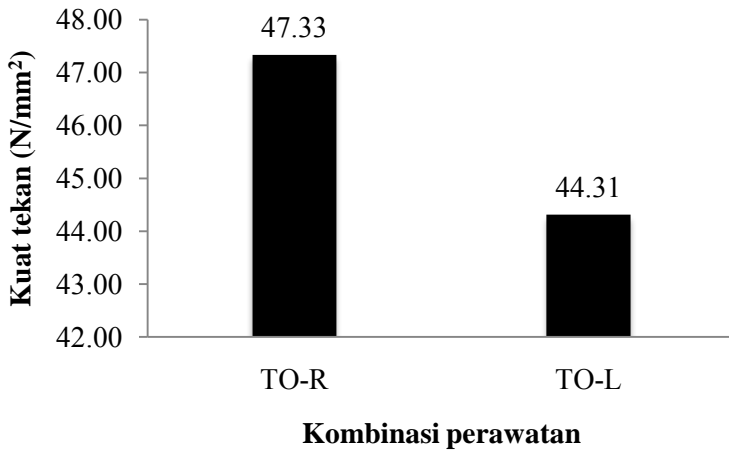
a. Dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 3 Rata-rata kuat tekan beton geopolimer dengan perawatan dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.3 di ketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L). Perendaman dalam air laut ini menurunkan kuat tekan beton geopolimer sebanyak 19,2%.

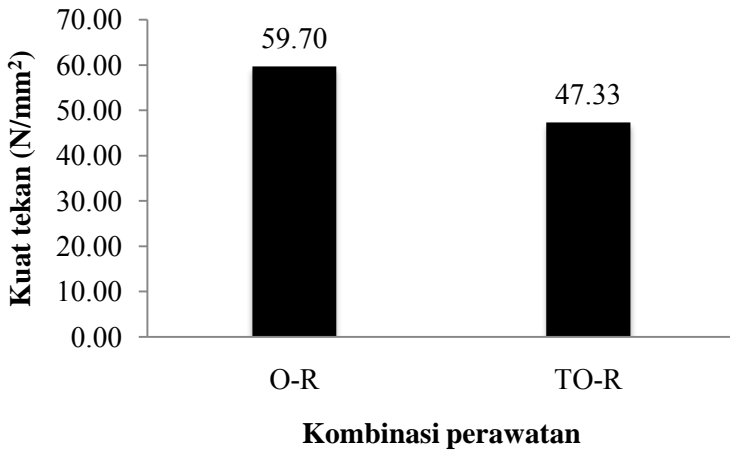
b. Tanpa Dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 4 Rata-rata kuat tekan beton geopolimer dengan perawatan tanpa dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.4 di ketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji yang dirawat tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L). Perendaman dalam air laut ini menurunkan kuat tekan beton geopolimer sebanyak 7%.

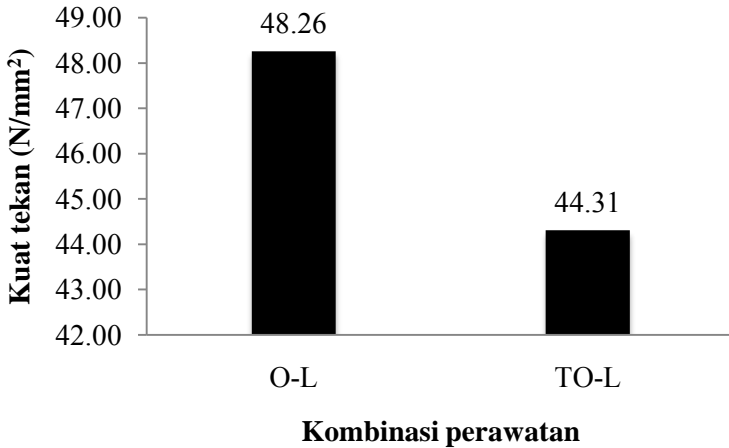
c. Diletakkan pada suhu ruang.



Grafik 4. 5 Rata-rata kuat tekan beton geopolimer dengan perawatan oven 60⁰C dan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang.

Dari grafik 4.5 di ketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji yang dirawat dengan dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R). Perawatan dengan dioven 60⁰C selama 24 jam menaikkan kuat tekan beton geopolimer sebanyak 26,12%.

d. Direndam dalam air laut.



Grafik 4. 6 Rata-rata kuat tekan beton geopolimer dengan perawatan oven 60⁰C dan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada air laut.

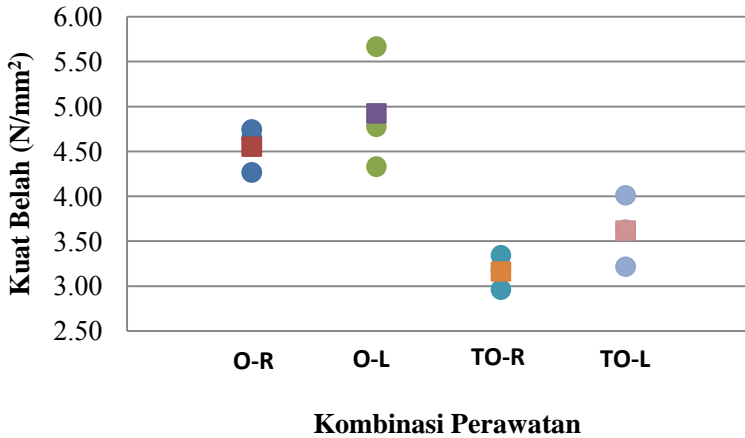
Dari grafik 4.6 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji yang dirawat dengan dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L). Perawatan dengan dioven 60⁰C selama 24 jam menaikkan kuat tekan beton geopolimer sebanyak 8,9%.

4.3.2.2 Kuat Belah

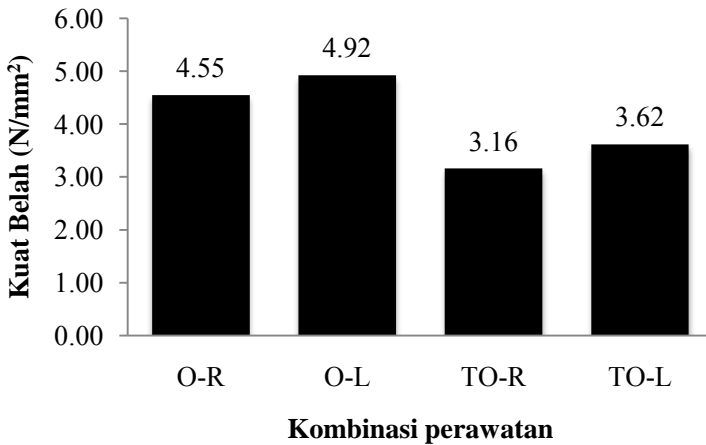
Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari pengujian kuat belah beton geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 10 cm x 20 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Pengujian kuat tekan ini dilakukan di laboratorium uji material diploma teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil pengujian kuat belah beton geopolimer adalah sebagai berikut:

Table 4. 4 Hasil Pengujian Kuat Belah Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	Beban Uji (N)	Kuat belah (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
1	1A	O-R	146000	4.65	
2	1B	O-R	149000	4.74	4.55
3	1C	O-R	134000	4.27	
4	2A	O-L	136000	4.33	
5	2B	O-L	150000	4.77	4.92
6	2C	O-L	178000	5.67	
7	3A	TO-R	93000	2.96	
8	3B	TO-R	105000	3.34	3.16
9	3C	TO-R	100000	3.18	
10	4A	TO-L	101000	3.21	
11	4B	TO-L	114000	3.63	3.62
12	4C	TO-L	126000	4.01	



Grafik 4. 7 Hasil pengujian kuat belah beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan



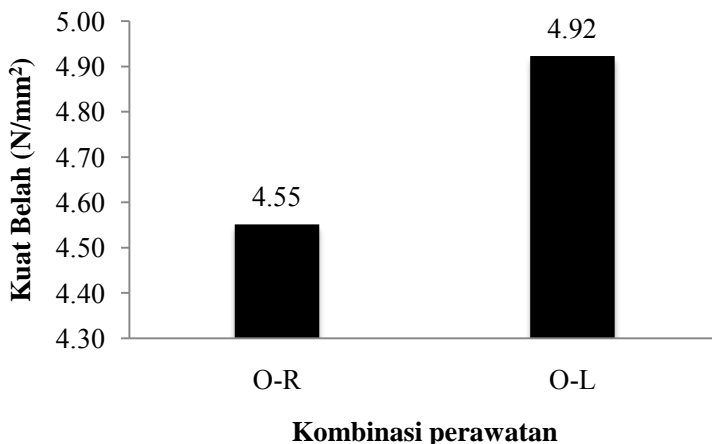
Grafik 4. 8 Rata-rata kuat belah beton geopolimer dari berbagai perawatan

Pada penelitian yang dilakukan Faizin dan Rahadian pada tahun 2014, hasil rata-rata kuat belah yang didapatkan belum mencapai kekuatan yang maksimal, hanya mencapai 8,20 N/mm².

Hal ini dapat dikarenakan jenis sodium silikat yang digunakan berbeda, secara fisik dapat dilihat bahwa sodium silikat (Na_2SiO_3) yang digunakan Faizin dan Rahadian cenderung encer, sedangkan sodium silikat (Na_2SiO_3) yang digunakan dalam penelitian ini cenderung kental dan lengket.

Dari data yang didapatkan, hasil rata-rata kuat belah dapat dianalisa menurut kombinasi perawatan benda uji sebagai berikut:

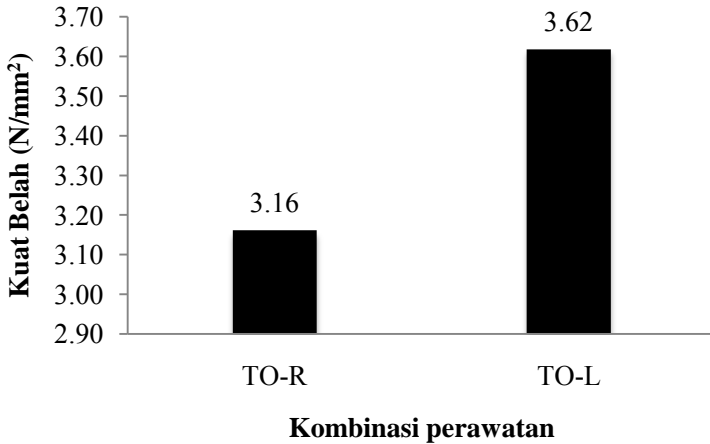
a. Dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 9 Rata-rata kuat belah beton geopolimer dengan perawatan oven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.9 di ketahui bahwa rata-rata kuat belah benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki kuat belah yang lebih rendah daripada benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L). Perendaman dalam air laut ini menaikkan kuat belah beton geopolimer sebanyak 8,15%.

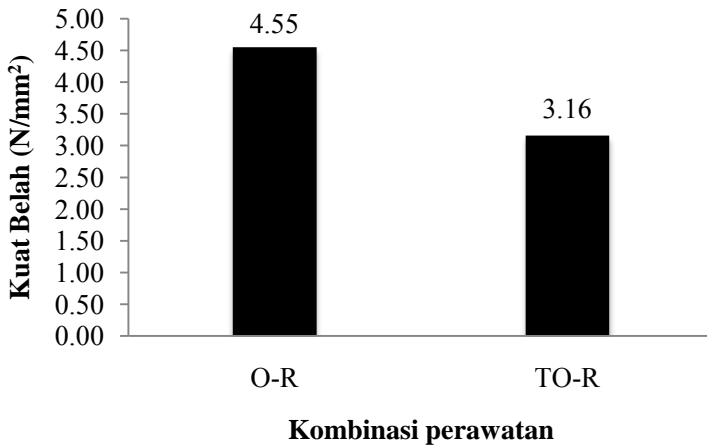
b. Tanpa Dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 10 Rata-rata kuat belah beton geopolimer dengan perawatan tanpa oven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.10 diketahui bahwa rata-rata kuat belah benda uji yang dirawat tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R) memiliki kuat tekan yang lebih rendah daripada benda uji yang dirawat tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L). Perendaman dalam air laut ini menaikkan kuat belah beton geopolimer sebanyak 14,43%.

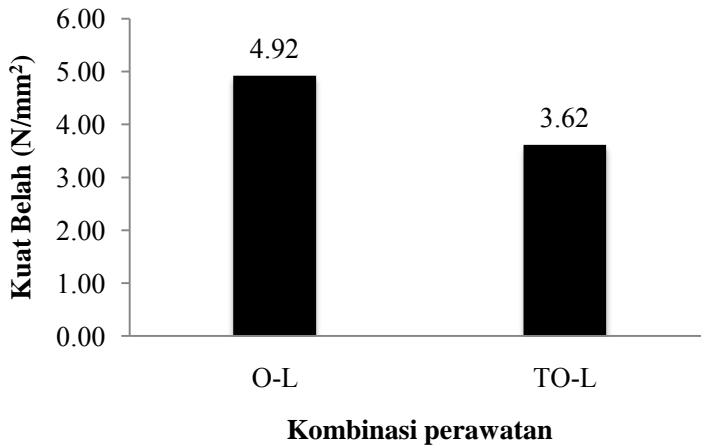
c. Diletakkan pada suhu ruang.



Grafik 4. 11 Rata-rata kuat beton geopolimer dengan perawatan oven 60⁰C dan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang.

Dari grafik 4.11 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji yang dirawat dengan dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki kuat belah yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R). Perawatan dengan dioven 60⁰C selama 24 jam menaikkan kuat belah beton geopolimer sebanyak 43,96%.

d. Direndam dalam air laut.



Grafik 4. 12 Rata-rata kuat belah beton geopolimer dengan perawatan oven 60⁰C dan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada air laut.

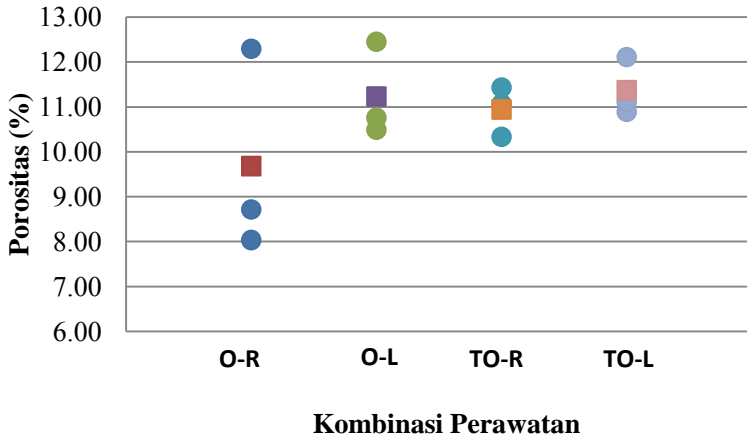
Dari grafik 4.12 diketahui bahwa rata-rata kuat belah benda uji yang dirawat dengan dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L) memiliki kuat belah yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L). Perawatan dengan dioven 60⁰C selama 24 jam menaikkan kuat belah beton geopolimer sebanyak 36,07%.

4.3.2.3 Porositas

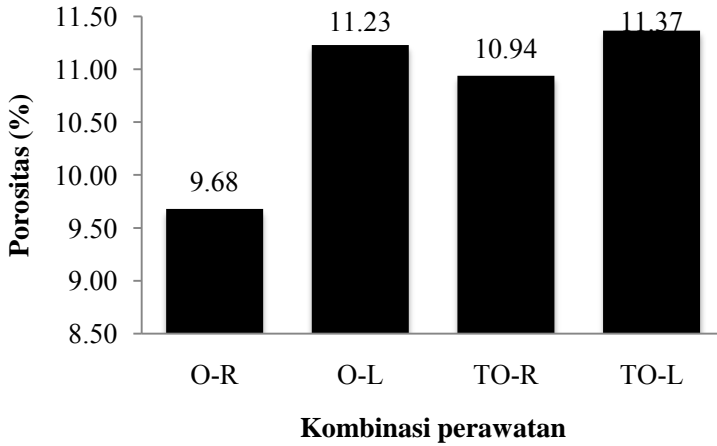
Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari pengujian porositas beton geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 5 cm x 10 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Pengujian porositas merupakan pengujian untuk mengetahui kadar pori dari suatu beton, dimana semakin besar kadar porinya maka semakin rendah mutu beton itu. Pengujian porositas ini dilakukan di laboratorium uji material jalan diploma teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil dan analisa mengenai kadar pori tersebut adalah sebagai berikut :

Table 4. 5 Hasil Pengujian Porositas Beton Geopolimer

No	Kode benda uji	Kode perawatan	Berat Jenuh di Udara	Berat Jenuh di Air	Berat kering	Porositas %	Rata-rata
			gram	gram	gram		%
1	1	O-R	590	349	569	8.71	9.68
2	2	O-R	614	365	594	8.03	
3	25	O-R	603	359	573	12.30	
4	3	O-L	654	387	626	10.49	11.23
5	4	O-L	616	365	589	10.76	
6	26	O-L	597	356	567	12.45	
7	5	TO-R	660	389	632	10.33	
8	6	TO-R	600	356	573	11.07	10.94
9	27	TO-R	612	367	584	11.43	
10	7	TO-L	605	357	578	10.89	
11	8	TO-L	589	346	562	11.11	11.37
12	28	TO-L	629	373	598	12.11	



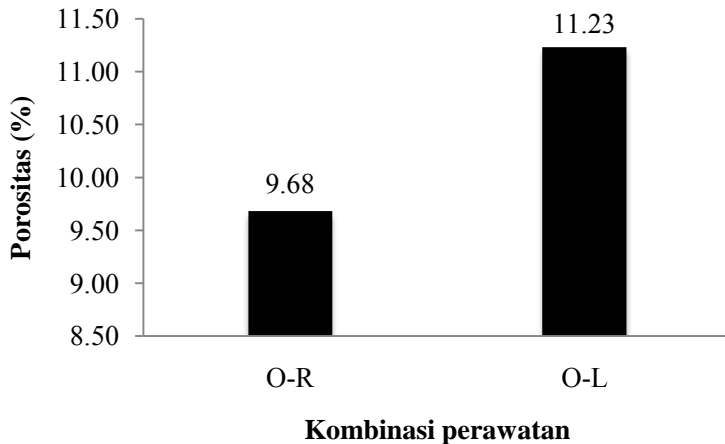
Grafik 4. 13 Hasil pengujian porositas beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan



Grafik 4. 14 rata-rata porositas beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan

Dari data yang didapatkan, maka dapat dibandingkan hasil porositas benda uji beton geopolimer berdasarkan kombinasi perawatan sebagai berikut:

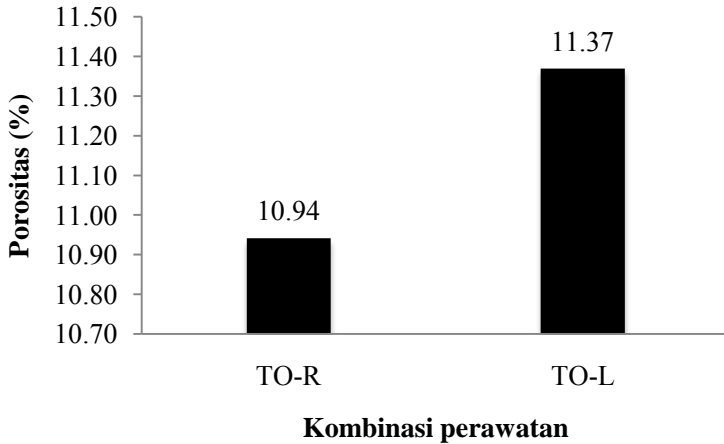
a. Dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 15 Rata-rata porositas geopolimer dengan perawatan oven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.15 di ketahui bahwa rata-rata porositas benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki porositas yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L). Selisih porositas benda uji dari dua kombinasi perawatan ini adalah 1,55%.

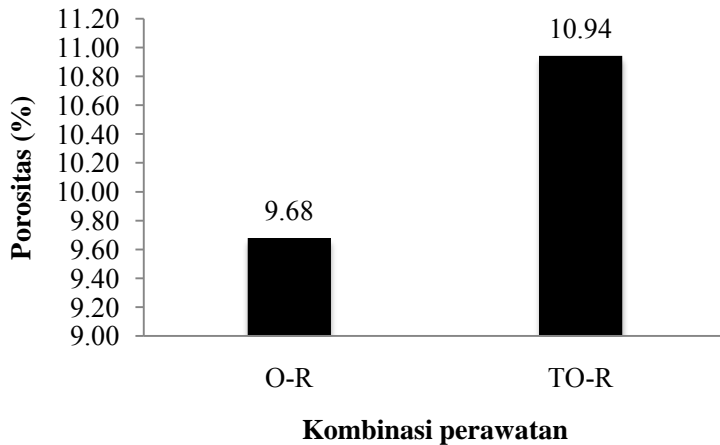
- b. Tanpa dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 16 rata-rata porositas geopolimer dengan perawatan tanpa oven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.16 di ketahui bahwa rata-rata porositas benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R) memiliki porositas yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L). Selisih porositas benda uji dari dua kombinasi perawatan ini adalah 0,43%.

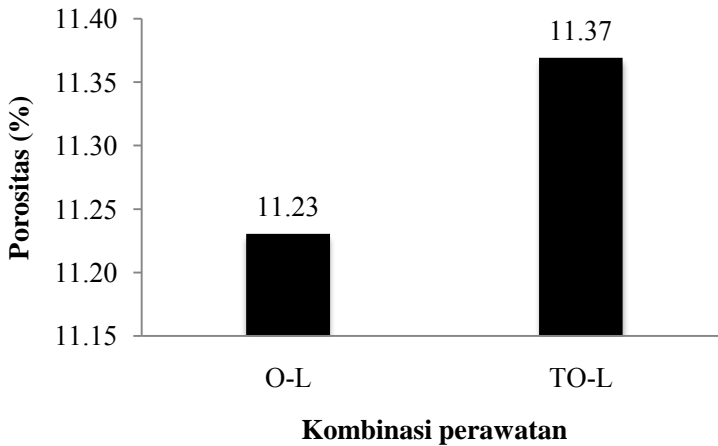
c. Diletakkan pada suhu ruang.



Grafik 4. 17 Rata-rata porositas geopolimer dengan perawatan oven 60⁰C dan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang.

Dari grafik 4.16 di ketahui bahwa rata-rata porositas benda uji yang dirawat dengan dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki porositas yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R). Selisih porositas benda uji dari dua kombinasi perawatan ini adalah 1,26%.

d. Direndam dalam air laut.



Grafik 4. 18 Rata-rata porositas geopolimer dengan perawatan oven 60°C dan tanpa oven 60°C selama 24 jam pada air laut.

Dari grafik 4.16 di ketahui bahwa rata-rata porositas benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki porositas yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R). Selisih porositas benda uji dari dua kombinasi perawatan ini adalah 0,14%.

4.3.2.4 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

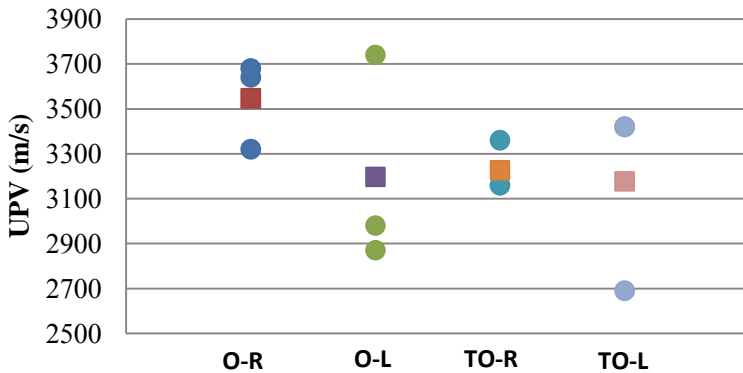
Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari UPV beton geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 10 cm x 20 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Pengujian kuat tekan ini dilakukan di laboratorium uji material diploma teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil pengujian kuat belah beton geopolimer adalah sebagai berikut:

Table 4. 6 Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	T	L	V	Rata-rata
			(μ s)	(m)	(m/s)	
1	1A	O-R	60.2	0.20	3320	3546.67
2	1B	O-R	54.9	0.20	3640	
3	1C	O-R	54.3	0.20	3680	
4	2A	O-L	67.2	0.20	2980	3196.67
5	2B	O-L	53.5	0.20	3740	
6	2C	O-L	69.7	0.20	2870	
7	3A	TO-R	59.6	0.20	3360	3226.67
8	3B	TO-R	63.4	0.20	3160	
9	3C	TO-R	63.3	0.20	3160	
10	4A	TO-L	58.5	0.20	3420	3176.67
11	4B	TO-L	74.5	0.20	2690	
12	4C	TO-L	58.5	0.20	3420	

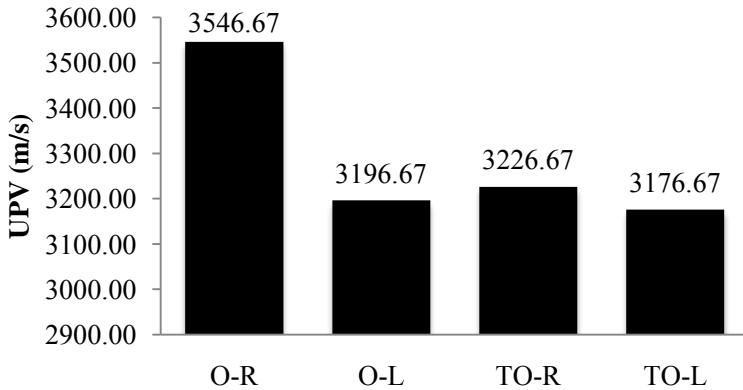
Dimana :

- T = Waktu tempuh (μ s)
 L = Jarak tempuh yang merupakan tinggi benda uji (m)
 V = Kecepatan tempuh (m/s)



Kombinasi Perawatan

Grafik 4. 19 Hasil pengujian UPV beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan

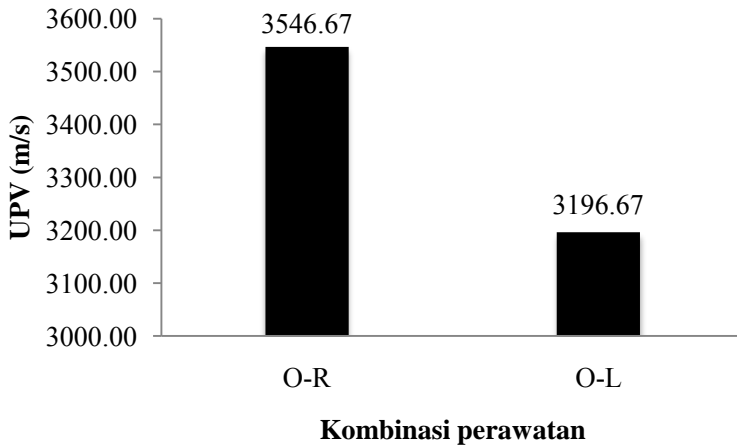


Kombinasi perawatan

Grafik 4. 20 Rata-rata hasil pengujian UPV beton geopolimer dari berbagai perawatan

Dari data yang didapatkan, maka dapat dianalisa hasil UPV benda uji beton geopolimer berdasarkan kombinasi perawatan sebagai berikut:

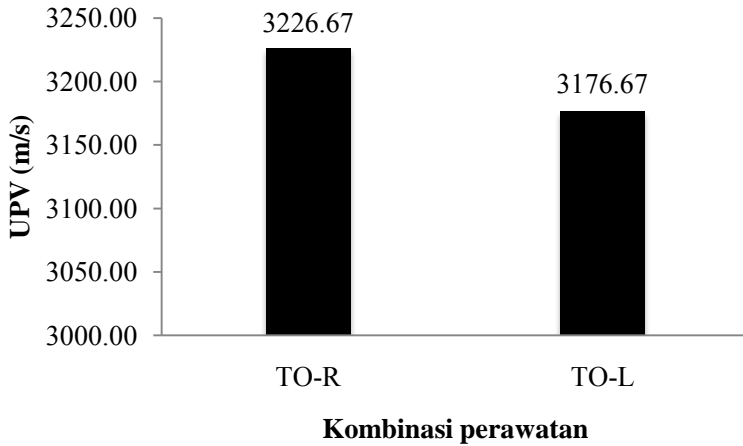
a. Dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 21 Rata-rata hasil UPV beton geopolimer dengan perawatan oven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.21 diketahui bahwa rata-rata hasil UPV benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki hasil UPV yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L).

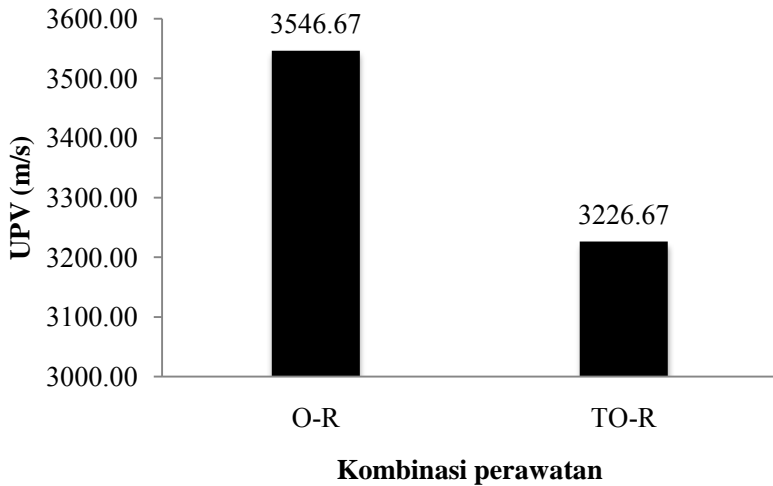
b. Tanpa Dioven 60⁰C selama 24 jam.



Grafik 4. 22 Rata-rata hasil UPV beton geopolimer dengan perawatan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.22 diketahui bahwa rata-rata hasil UPV benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R) memiliki hasil UPV yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L).

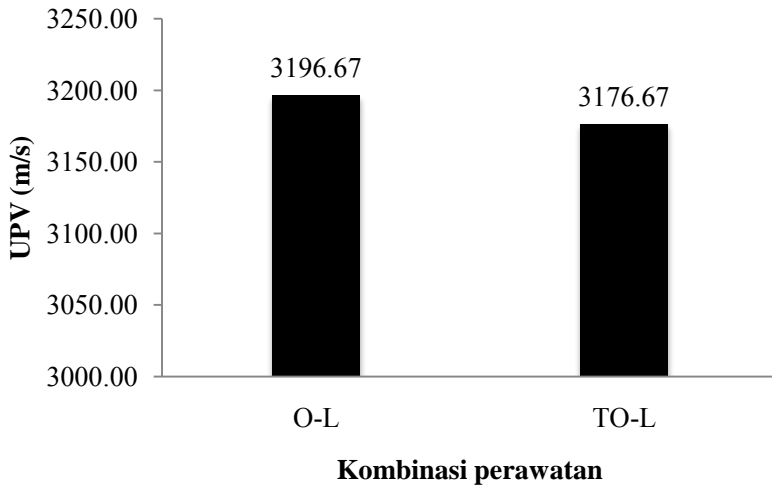
c. Diletakkan pada suhu ruang.



Grafik 4. 23 Rata-rata hasil UPV dengan perawatan oven 60°C dan tanpa oven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang.

Dari grafik 4.23 diketahui bahwa rata-rata hasil UPV benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki hasil UPV yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R).

d. Direndam dalam air laut.



Grafik 4. 24 Rata-rata hasil UPV beton geopolimer dengan perawatan oven 60°C dan tanpa oven 60°C selama 24 jam pada air laut.

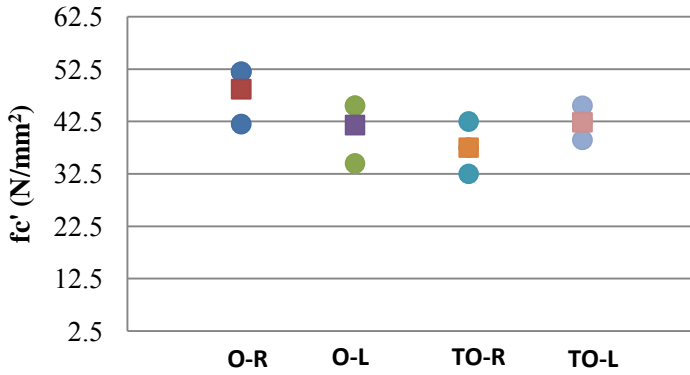
Dari grafik 4.24 diketahui bahwa rata-rata hasil UPV benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L) memiliki hasil UPV yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L).

4.3.2.5 Hammer Test

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari hammer test beton geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 10 cm x 20 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Hammer test ini dilakukan di laboratorium uji material diploma teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil hammer test beton geopolimer adalah sebagai berikut:

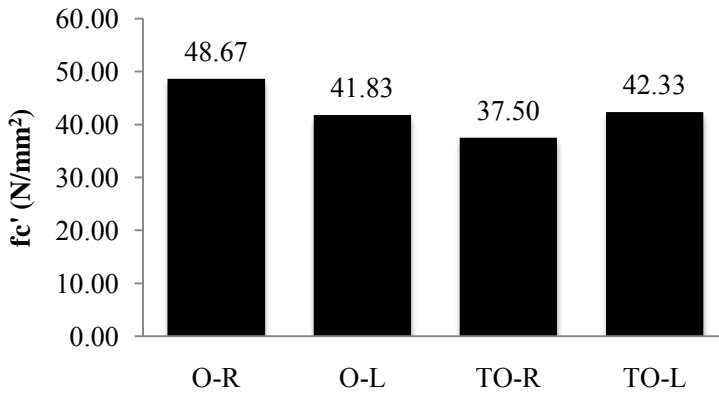
Table 4. 7 Hasil Hammer Test Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	Hasil	Rata-
			Pengujian N/mm ²	rata N/mm ²
1	1A	O-R	42	
2	1B	O-R	52	48.67
3	1C	O-R	52	
4	2A	O-L	45.5	
5	2B	O-L	34.5	41.83
6	2C	O-L	45.5	
7	3A	TO-R	37.5	
8	3B	TO-R	42.5	37.50
9	3C	TO-R	32.5	
10	4A	TO-L	45.5	
11	4B	TO-L	42.5	42.33
12	4C	TO-L	39	



Kombinasi Perawatan

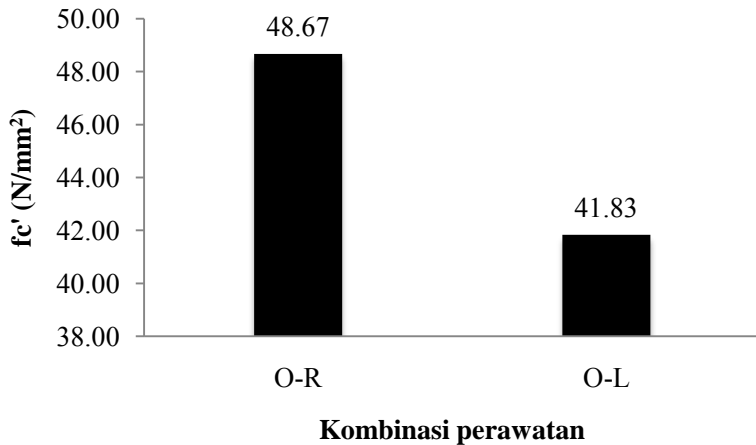
Grafik 4. 25 Hasil hammer test beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan



Kombinasi perawatan

Grafik 4. 26 Rata-rata hasil hammer test beton geopolimer dari berbagai perawatan

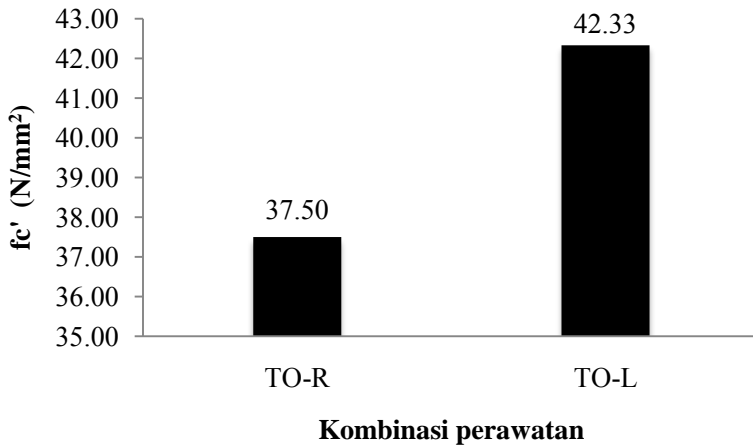
a. Dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 27 Rata-rata mutu f_c' beton geopolimer dengan perawatan dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.27 diketahui bahwa rata-rata mutu f_c' benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki mutu f_c' yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L).

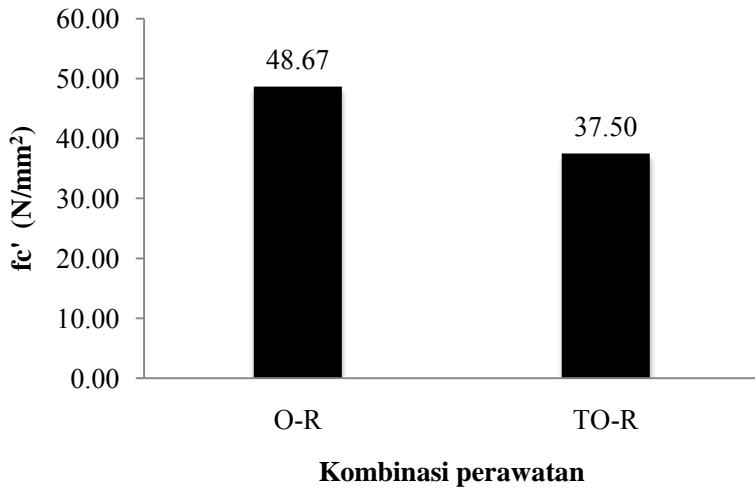
- b. Tanpa dioven 60°C selama 24 jam.



Grafik 4. 28 Rata-rata mutu f_c' beton geopolimer dengan perawatan tanpa dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.28 diketahui bahwa rata-rata mutu f_c' benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R) memiliki mutu f_c' yang lebih rendah daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L).

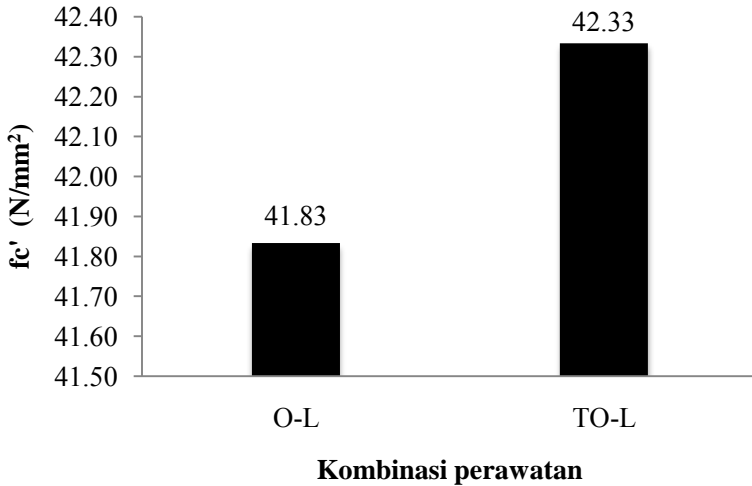
c. Diletakkan pada suhu ruang



Grafik 4. 29 Rata-rata mutu f_c' beton geopolimer dengan perawatan oven 60⁰C dan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang.

Dari grafik 4.29 diketahui bahwa rata-rata mutu f_c' benda uji yang dirawat dengan dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (O-R) memiliki mutu f_c' yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam kemudian diletakkan pada suhu ruang (TO-R).

d. Direndam dalam air laut



Grafik 4. 30 Rata-rata mutu f_c' beton geopolimer dengan perawatan oven 60°C dan tanpa oven 60°C selama 24 jam pada air laut.

Dari grafik 4.30 diketahui bahwa rata-rata mutu f_c' benda uji yang dirawat dengan dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (O-L) memiliki mutu f_c' yang lebih rendah daripada benda uji yang dirawat dengan tanpa dioven 60°C selama 24 jam kemudian direndam dalam air laut (TO-L).

4.4 Balok Beton Geopolimer

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari pengujian kuat lentur balok beton geopolimer dengan benda uji berbentuk balok 15 cm x 10 cm x 70 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Pengujian kuat lentur ini dilakukan di laboratorium beton S1 Teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil pengujian kuat lentur beton geopolimer adalah sebagai berikut:

4.4.1 Beban Pengujian

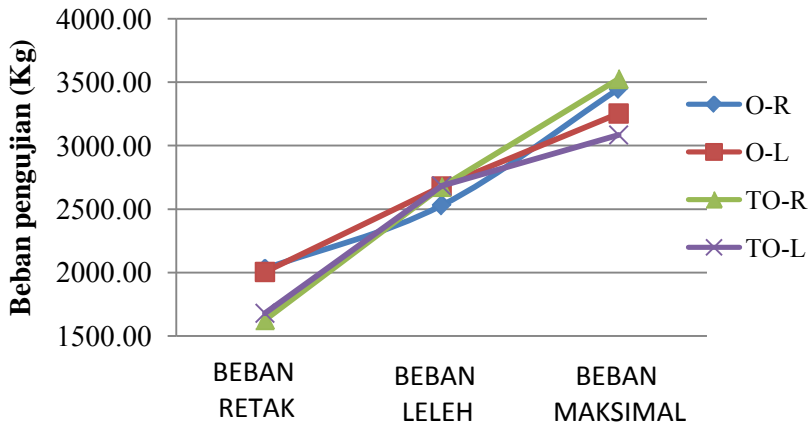
Data beban pengujian ini didapatkan dari catatan computer yang tersambung dengan mesin pengujian. Data beban yang didapatkan adalah beban retak, beban leleh, dan beban maksimal.

Dari tabel 4.8 diketahui bahwa beban retak pada balok dengan kombinasi perawatan oven memiliki nilai yang lebih tinggi daripada balok dengan kombinasi perawatan tanpa oven. Kemudian nilai beban leleh yang hamper sama pada setiap perawatan dikarenakan tipe tulangan yang digunakan sama, dan dengan perawatan dioven 60⁰C tidak mempengaruhi tulangan tersebut. Sedangkan beban maksimal balok tertinggi terlihat pada kombinasi perawatan tanpa oven ruang.

Adapun perbandingan dari rata-rata beban tersebut menurut kombinasi perawatannya adalah sebagai berikut:

Table 4. 8 Rata-rata beban pengujian dari berbagai kombinasi perawatan

No	Kode perawatan	Beban retak	Beban leleh	Beban maksimal	Beban maksimal teoritis
		Kg	Kg	Kg	Kg
1	O-R	2031.45	2529.11	3447.91	2400
2	O-L	2005.97	2678.88	3255.13	2400
3	TO-R	1626.77	2676.76	3526.52	2400
4	TO-L	1679.35	2685.12	3085.7	2400



Grafik 4. 31 Perbandingan rata-rata beban pengujian dari berbagai perawatan

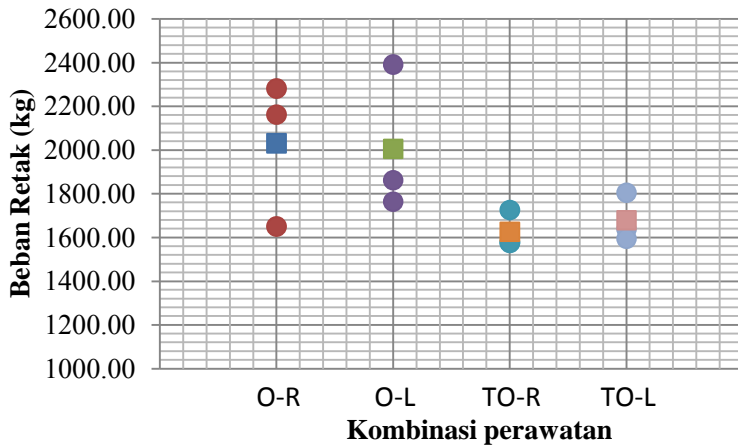
4.4.1.1 Beban Retak

Data ini didapatkan dari mesin ketika balok beton geopolimer mengalami keretakan pada pertama kalinya. Adapun data beban retak yang tercatat adalah sebagai berikut:

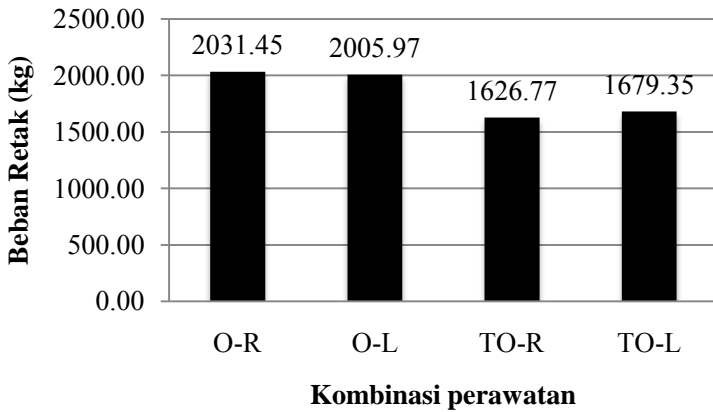
Table 4. 9 Beban Retak Balok Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode perawatan	Beban Retak	Rata-rata
			kgf	kgf
1	B-9	O-R	2281.62	2031.45
2	B-10	O-R	2162.12	
3	B-41	O-R	1650.60	
4	B-11	O-L	2391.55	2005.97
5	B-12	O-L	1862.58	
6	B-42	O-L	1763.79	
7	B-13	TO-R	1575.78	1626.77
8	B-14	TO-R	1725.55	
9	B-43	TO-R	1578.97	

No	Kode Benda Uji	Kode perawatan	Beban Retak	Rata-rata
			kgf	kgf
10	B-15	TO-L	1805.22	1679.35
11	B-16	TO-L	1637.92	
12	B-44	TO-L	1594.90	



Grafik 4. 32 Beban retak yang terjadi pada balok beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan



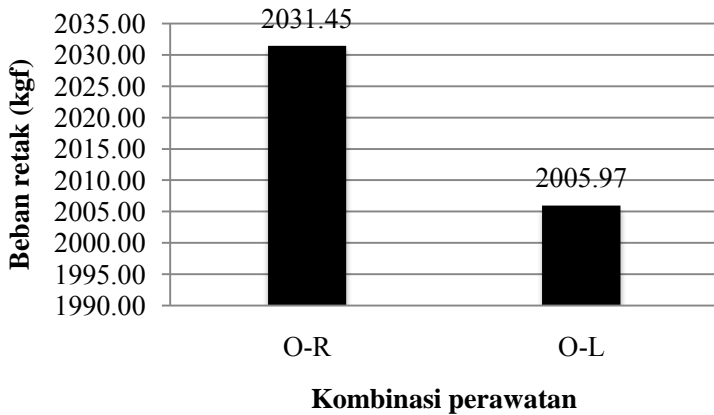
Grafik 4. 33 Rata-rata beban retak yang terjadi pada balok beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan

Dari grafik 4.33 di atas dapat dilihat bahwa beban retak pada benda uji balok dengan perawatan oven memiliki nilai yang hampir sama, begitu juga dengan perawatan tanpa oven.

Hal ini membuktikan bahwa beban retak pada balok beton geopolimer dipengaruhi oleh perawatan dengan dioven 60°C selama 24 jam.

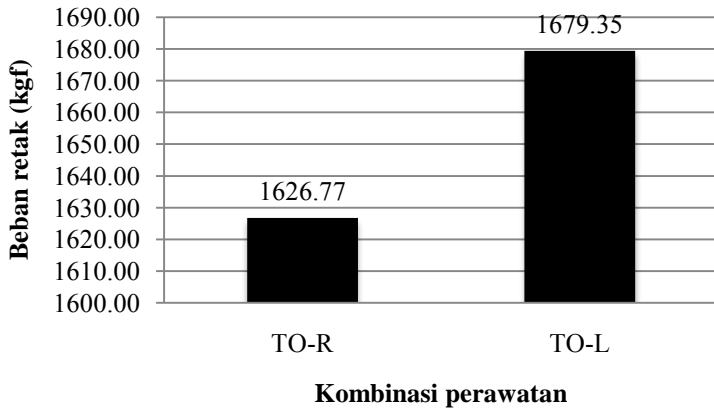
Dari data yang didapatkan, hasil rata-rata beban retak dapat dianalisa menurut kombinasi perawatan benda uji sebagai berikut:

a. Dioven 60°C selama 24 jam.



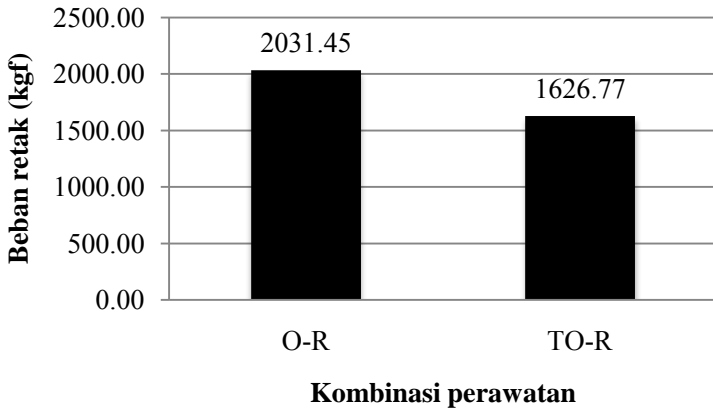
Grafik 4. 34 Rata-rata beban retak balok beton geopolimer dengan perawatan dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

b. Tanpa dioven 60°C selama 24 jam.



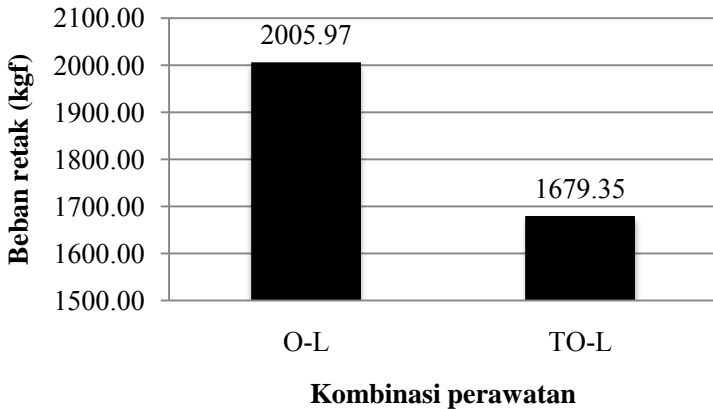
Grafik 4. 35 Rata-rata beban retak balok beton geopolimer dengan perawatan tanpa dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

- c. Diletakkan pada suhu ruang.



Grafik 4. 36 Rata-rata beban retak balok beton geopolimer dengan perawatan dioven 60⁰C dan tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang.

- d. Diredam dalam air laut.



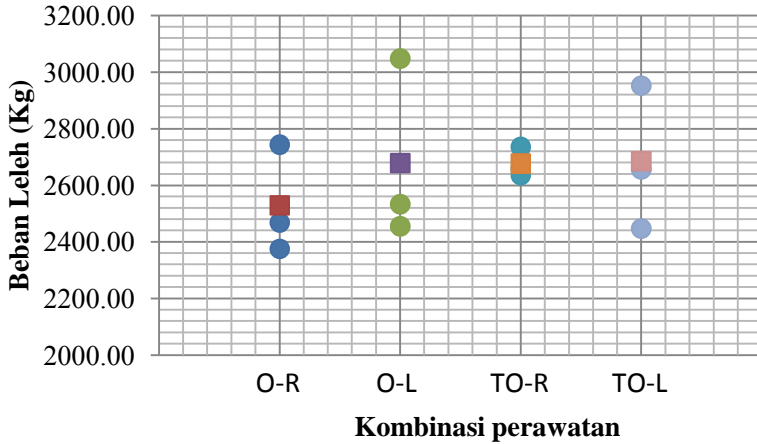
Grafik 4. 37 Rata-rata beban retak balok beton geopolimer dengan perawatan dioven 60⁰C dan tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam pada air laut.

4.4.1.1 Beban Leleh

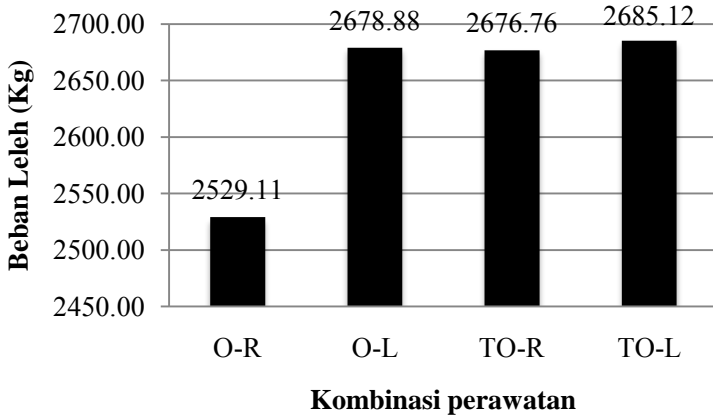
Data ini didapatkan dari mesin ketika tulangan balok beton geopolimer mengalami kondisi leleh dan grafik mulai tidak linier pada pertama kalinya. Adapun data beban leleh yang tercatat adalah sebagai berikut:

Table 4. 10 Beban Leleh Balok Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode perawatan	Beban leleh	Rata-rata
			kgf	kgf
1	B-9	O-R	2468.03	
2	B-10	O-R	2743.67	2529.11
3	B-41	O-R	2375.62	
4	B-11	O-L	3048.00	
5	B-12	O-L	2455.29	2678.88
6	B-42	O-L	2533.36	
7	B-13	TO-R	2735.71	
8	B-14	TO-R	2659.23	2676.76
9	B-43	TO-R	2635.33	
10	B-15	TO-L	2447.32	
11	B-16	TO-L	2656.04	2685.12
12	B-44	TO-L	2952.00	



Grafik 4. 38 Beban leleh yang terjadi pada balok beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan



Grafik 4. 39 Rata-rata beban leleh yang terjadi pada balok beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan

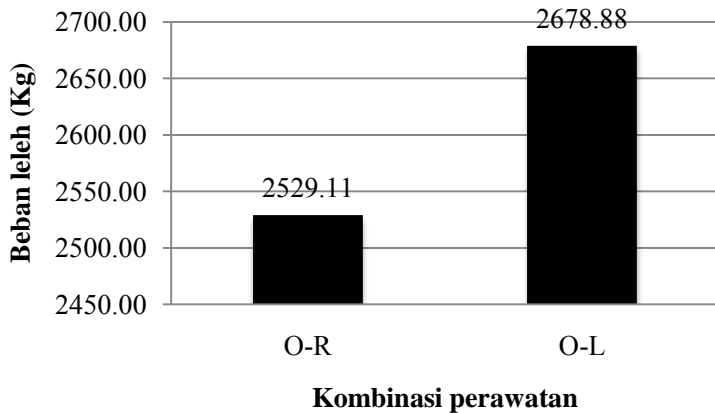
Dari grafik 4.38 dapat diketahui bahwa data beban leleh balok beton geopolimer dengan perawatan air laut sedikit lebih

menyebarkan, sehingga dapat dikatakan bahwa air laut memiliki pengaruh pada beban leleh balok beton geopolimer.

Sedangkan untuk rata-rata dari beban leleh sendiri tidak berbeda jauh dan cenderung sama, hal ini dikarenakan tulangan yang dipakai adalah dengan tipe yang sama.

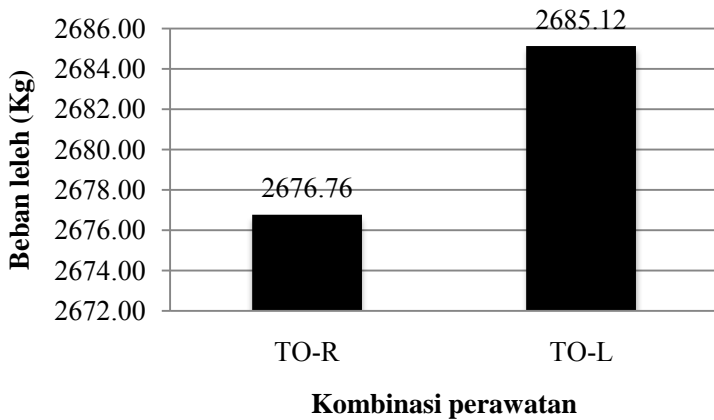
Dari data yang didapatkan, hasil rata-rata beban leleh dapat dianalisa menurut kombinasi perawatan benda uji sebagai berikut:

- a. Dioven 60°C selama 24 jam.



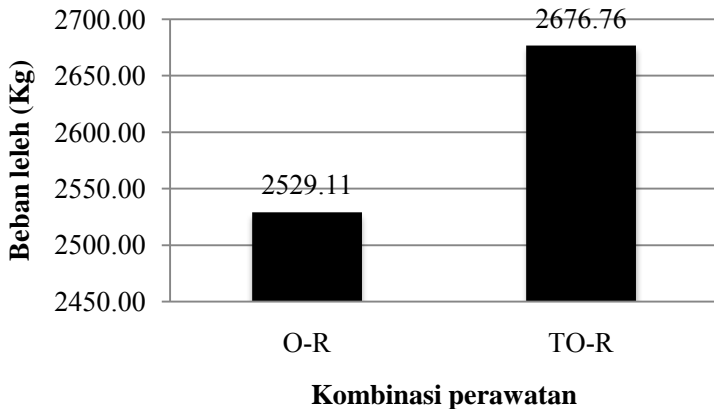
Grafik 4. 40 Rata-rata beban leleh balok beton geopolimer dengan perawatan dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut.

- b. Tanpa dioven 60°C selama 24 jam.



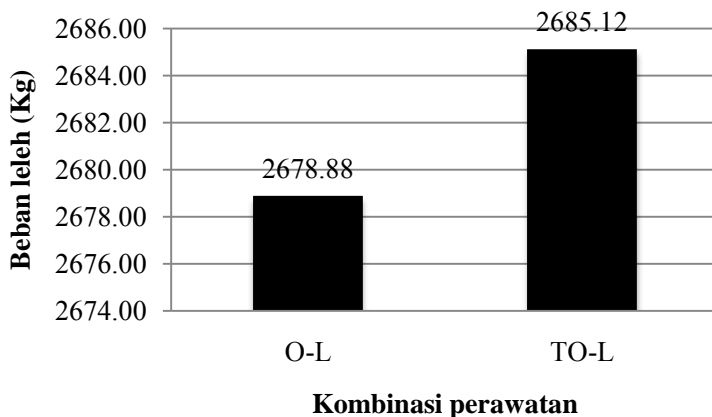
Grafik 4. 41 Rata-rata beban leleh balok beton geopolimer dengan perawatan tanpa dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut.

- c. Diletakkan pada suhu ruang.



Grafik 4. 42 Rata-rata beban leleh balok beton geopolimer dengan perawatan dioven 60°C dan tanpa dioven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang.

d. Direndam dalam air laut.



Grafik 4. 43 Rata-rata beban leleh balok beton geopolimer dengan perawatan dioven 60°C dan tanpa dioven 60°C selama 24 jam pada air laut.

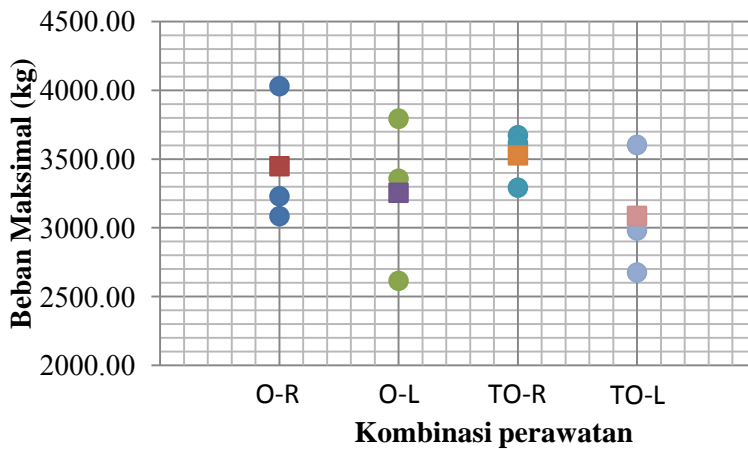
4.4.1.1 Beban Maksimal

Data ini didapatkan dari mesin ketika balok beton geopolimer mengalami keruntuhan. Adapun data beban maksimal yang tercatat adalah sebagai berikut:

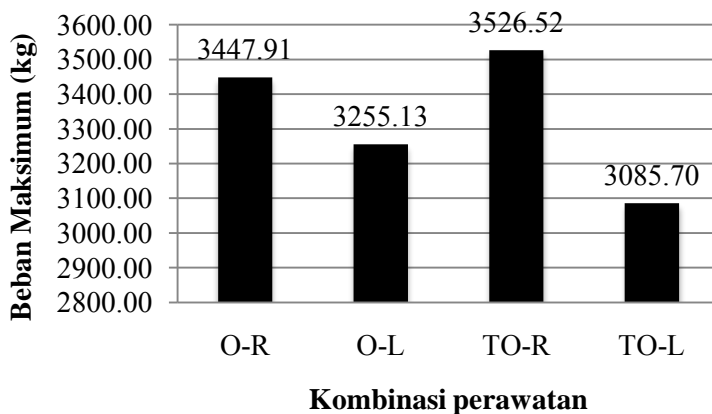
Table 4. 11 Beban Runtuh Balok Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode perawatan	Max Force	Rata-rata
			kgf	kgf
1	B-9	O-R	3084.64	
2	B-10	O-R	4029.47	3447.91
3	B-41	O-R	3229.63	
4	B-11	O-L	3793.66	
5	B-12	O-L	2614.62	3255.13
6	B-42	O-L	3357.10	

No	Kode Benda Uji	Kode perawatan	Max Force	Rata-rata
			kgf	kgf
7	B-13	TO-R	3672.57	
8	B-14	TO-R	3615.21	3526.52
9	B-43	TO-R	3291.77	
10	B-15	TO-L	2675.16	
11	B-16	TO-L	2979.48	3085.70
12	B-44	TO-L	3602.47	



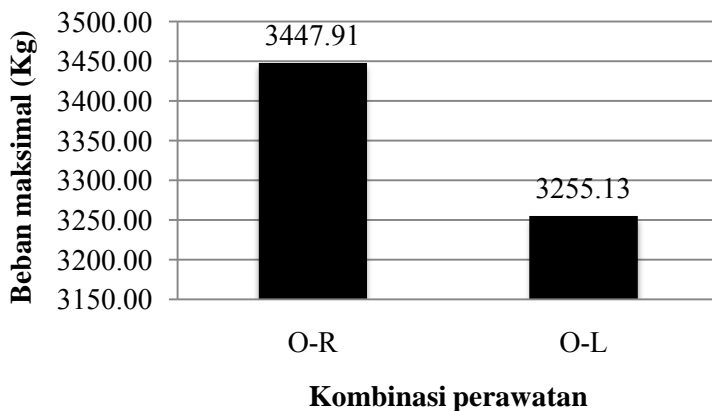
Grafik 4. 44 Beban maksimal yang terjadi pada balok beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan



Grafik 4. 45 Rata-rata beban maksimal yang terjadi pada balok beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan

Dari data yang didapatkan, hasil rata-rata beban maksimal dapat dianalisa menurut kombinasi perawatan benda uji sebagai berikut:

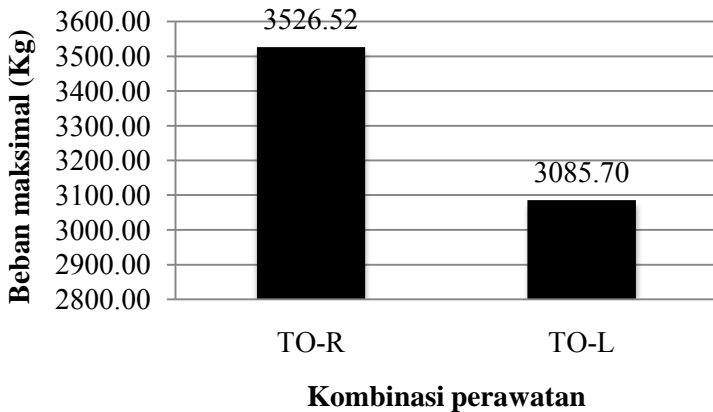
- a. Dioven 60⁰C selama 24 jam.



Grafik 4. 46 Rata-rata beban maksimal balok beton geopolimer dengan perawatan dioven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut

Dari grafik 4.46 di ketahui bahwa benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R) memiliki rata-rata beban maksimal yang rebih tinggi daripada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-laut (O-L).

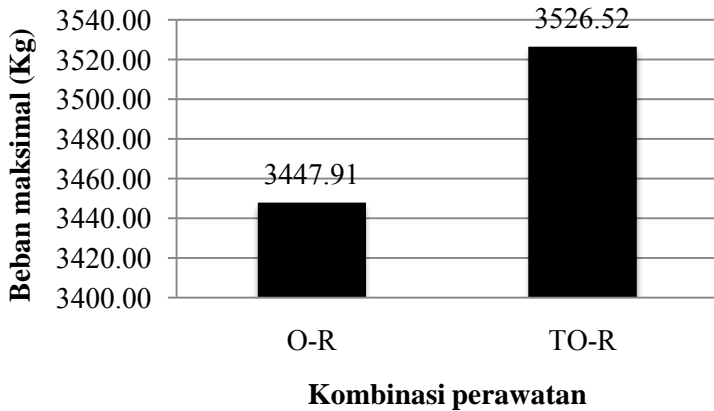
b. Tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam.



Grafik 4. 47 Rata-rata beban maksimal balok beton geopolimer dengan perawatan tanpa dioven 60⁰C selama 24 jam pada suhu ruang dan air laut.

Dari grafik 4.47 di ketahui bahwa benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven-ruang (TO-R) memiliki rata-rata beban maksimal yang rebih tinggi daripada benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven-laut (TO-L).

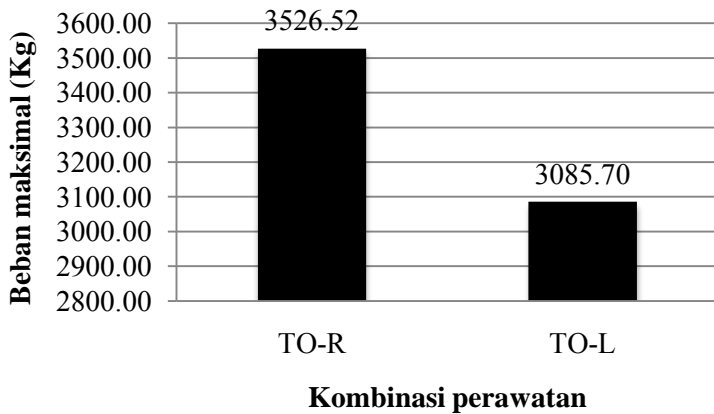
c. Diletakkan pada suhu ruang.



Grafik 4. 48 Rata-rata beban maksimal balok beton geopolimer dengan perawatan oven 60°C dan tanpa oven 60°C selama 24 jam pada suhu ruang.

Dari grafik 4.48 diketahui bahwa benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R) memiliki rata-rata beban maksimal yang lebih rendah daripada benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven-ruang (TO-R).

d. Direndam dalam air laut.

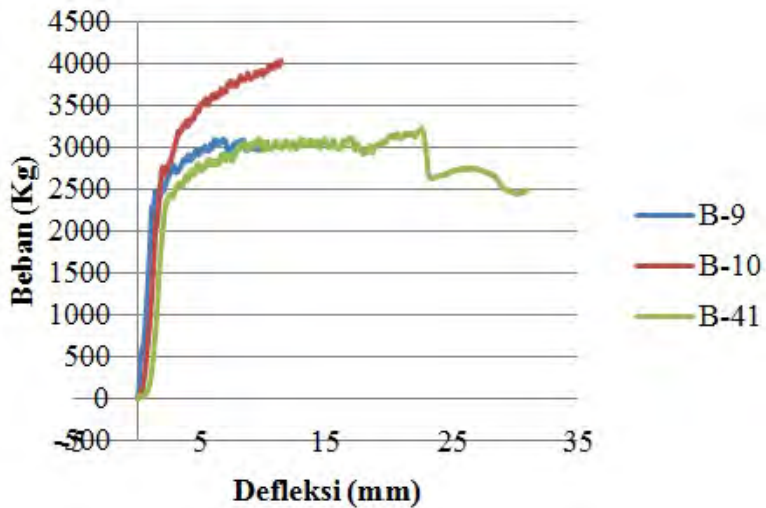


Grafik 4. 49 Rata-rata beban maksimal balok beton geopolimer dengan perawatan oven 60⁰C dan tanpa oven 60⁰C selama 24 jam pada air laut.

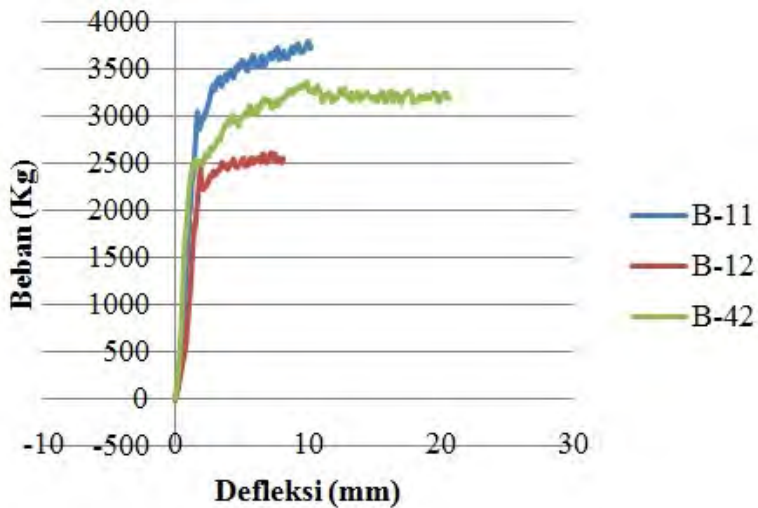
Dari grafik 4.49 di ketahui bahwa benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven-ruang (TO-R) memiliki rata-rata beban maksimal yang lebih tinggi daripada benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven-laut (TO-L).

4.4.2 Defleksi

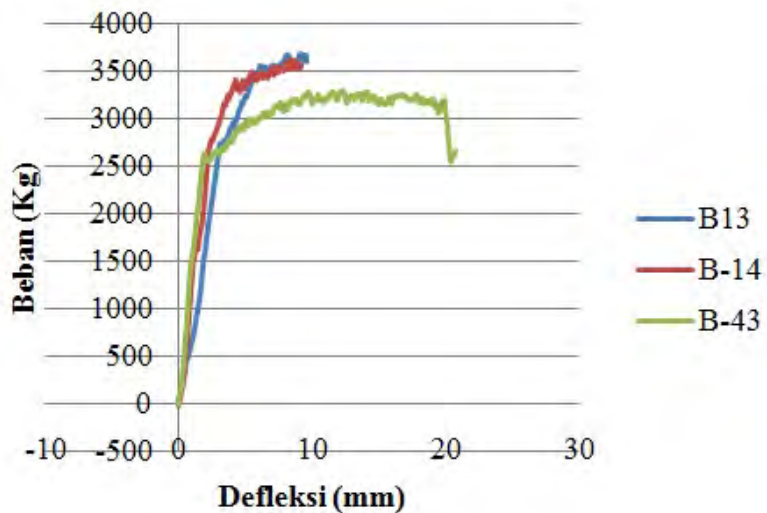
Pada pengujian balok beton geopolimer ini, selain mendapatkan data beban didapatkan juga data defleksi yang terekam secara grafik pada computer yang terhubung dengan mesin. Berikut ini adalah grafik defleksi balok beton geopolimer berdasarkan kombinasi perawatan:



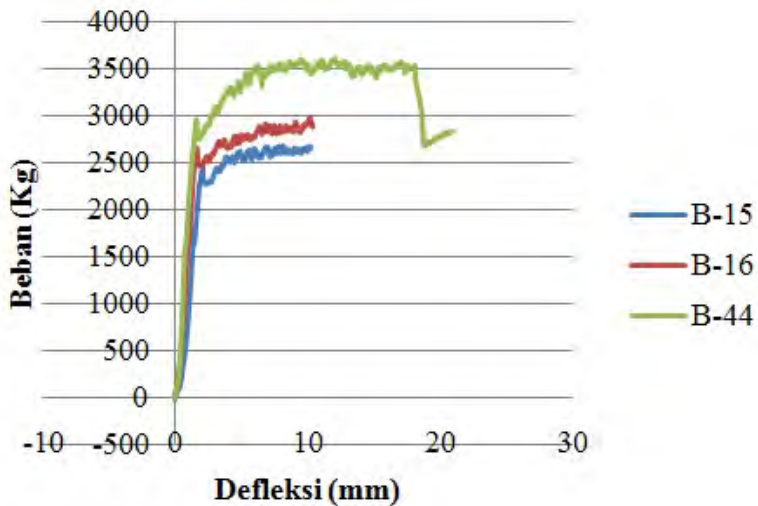
Grafik 4. 50 Hubungan beban dan defleksi pada balok beton geopolimer dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R).



Grafik 4. 51 Hubungan beban dan defleksi pada balok beton geopolimer dengan kombinasi perawatan oven-laut (O-L).



Grafik 4. 52 Hubungan beban dan defleksi pada balok beton geopolimer dengan kombinasi perawatan tanpa oven-ruang (TO-R).

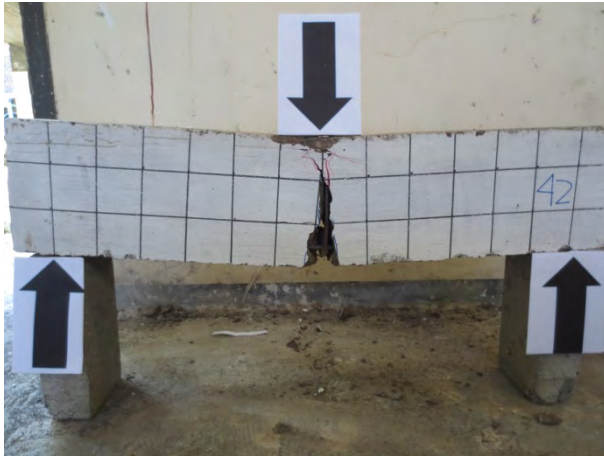


Grafik 4.53 Hubungan beban dan defleksi pada balok beton geopolimer dengan kombinasi perawatan tanpa oven-laut (TO-L).

4.4.3 Pola Retak

Balok beton geopolimer pada penelitian ini didesain untuk gagal lentur, kemudian diuji dengan satu titik beban pada tengah bentang. Pola retak yang terjadi adalah pola retakan lentur, yaitu ditandai dengan retakan yang tepat terjadi dibawah beban atau pada tengah bentang. Hal tersebut sama dengan balok beton normal yang di desain untuk gagal lentur dan diuji dengan menggunakan satu beban di tengah bentang.

Untuk mempermudah melihat pola retakan maka sebelum diuji maka benda uji balok beton geopolimer ini diberikan garis atau grid. Adapun pola retak yang terjadi pada benda uji balok pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Titik tumpuan dan titik beban pada benda uji



Gambar 4. 4 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R)



Gambar 4. 5 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-laut (O-L)



Gambar 4. 6 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven – ruang (TO-R)



Gambar 4. 7 Pola retak yang terjadi pada benda uji dengan kombinasi perawatan tanpa oven – laut (TO-L)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dengan 12 benda uji balok dan 36 benda uji silinder ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Beton geopolimer dengan pengaruh suhu perawatan 60°C selama 24 jam pada suhu ruang cenderung memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi baik pada suhu ruang maupun air laut.
 - Kuat tekan tertinggi adalah pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R).
 - Kuat belah tertinggi adalah pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-laut (O-L).
 - Porositas terkecil adalah pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R).
 - UPV tercepat adalah pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R).
 - Mutu tertinggi hammer test adalah pada benda uji dengan kombinasi perawatan oven-ruang (O-R).

2. Balok beton geopolimer dengan suhu perawatan 60°C selama 24 jam pada suhu ruang cenderung memiliki beban uji maksimal dibandingkan pada air laut, namun memiliki pola retak yang sama.
 - Beban retak tertinggi adalah pada benda uji dengan perawatan oven-ruang (O-R) dan oven-laut (O-L).
 - Beban maksimal tertinggi adalah pada benda uji dengan perawatan tanpa oven-ruang (TO-R) dan oven-ruang(O-R).

5.2 Saran

1. Setting time dari beton geopolimer berbahan dasar fly ash tipe C terlalu cepat, lebih baik diganti dengan fly ash tipe F.
2. Ganti fly ash tipe F untuk menaikkan kuat tekan, karena memiliki kandungan Si dan Al lebih banyak.
3. Proses pembuatan benda uji harus lebih hati-hati dan presisi, agar data yang didapatkan valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakharev, T. (2003, 06). Resistance of geopolymer materials to acid attack. *Cement and concrete research* .
- Davidovits, J. (1994). Gobal Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries.
- Davidovits, J. (1994). *Properties of Geopolimer Cements*. France: Geopolymer Institute.
- Hardjito, D. (2005). Introducing Fly Ash - Based Geopolymer Concrete. *Our World in Concrete & Structures*. Singapore.
- Hardjito, D., & Rangan, B. (2005). *Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete*. Curtin University of Technology, Faculty of Engineering, Perth.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. (2014). Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash). *Jurnal sipil statik* .
- Neville. (1998). *Properties of Concrete, Fourth edition*.
- Rangan, B. V., Hardjito, D., Wallah, S. E., & Sumajouw, D. M. (n.d.). Studies on fly ash-based geopolymer concrete. *Geopolymer : green chemistry and sustainable developepment solutions* .
- Subekti, S. (2009). Ketahanan Kuat Tekan Pasta Geopolimer Molaritas 8 Mol dan 12 Mol Terhadap Agresifitas NaCl. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah* .
- Subekti, S., Triwulan, & Irmawan, M. (n.d.). Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dengan Molaritas 8 Mol 1,5 dan 12 Mol 1,5 Tahan Terhadap Agresifitas Air Laut Selat Madura.

Suyudi, F. M., & Wiranata, R. A. (2014). *Pengaruh Perawatan di Lingkungan Air Laut pada Beton Geopolimer*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Diploma III Teknik Sipil, Surabaya.

Taylor, H. (1997). *Cement chemistry 2nd edition*. London: Thomas telford.

Triwulan, Ekaputri, J. J., & Adiningtyas, T. (2007). Analisa sifat mekanik beton geopolimer berbahan dasar fly ash dan lumpur porong kering sebagai pengisi. *Jurnal teknologi dan rekayasa sipil "TORSI"*.

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Log Book Penelitian

LAMPIRAN 2




Hasil Uji Material Agregat Kasar

Lampiran 3




Hasil Uji Material Agregat Halus

“Halaman ini sengaja dikosongkan”




LAMPIRAN 1

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
1	6 Februari 2015	<ul style="list-style-type: none">• Percobaan pemanasan oven ruang	Setelah 2 jam berlangsung, terdapat tetesan dari tungku pemanas, percobaan dihentikan	<ol style="list-style-type: none">1. M. Saiful Kirom2. Dimas A3. Dimas S.P	
2	13 Februari 2015	<ul style="list-style-type: none">• Pengambilan fly ash di bendul merisi Surabaya	Gerimis, tapi kondisi fly ash tetap kering	<ol style="list-style-type: none">1. M. Saiful Kirom2. Dimas A3. Dimas S.P4. Reza	
3	27 Februari 2015	<ul style="list-style-type: none">• Pembelian material kerikil dan pasir• Pembuatan ayakan kerikil 1cm• Pengayakan kerikil• Pencucian kerikil• Kerikil disimpan dalam karung		<ol style="list-style-type: none">1. M. Saiful Kirom2. Dimas A3. Dimas S.P4. Fauzan kurnianto	



No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
4	12 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengayakan kerikil • Pengayakan pasir • Pencucian • Penimbangan • Kerikil dan pasir disimpan dalam karung 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. Rio Lega A 6. Adi Firmansyah 7. Ryan 	
5	16 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pencucian kerikil • Kerikil disimpan dalam karung 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 	




No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
6	18 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pembuatan larutan NaOH 14M sebanyak 1 liter 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 	
7	19 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pembuatan pasta geopolimer dengan perbandingan 70:30 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 	
8	20 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Asistensi tulangan • Survei tulangan • Pelepasan cetakan pasta geopolimer 	<ul style="list-style-type: none"> • Tulangan di pasaran tidak sesuai diameter 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 	



No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
9	26 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Persiapan trial mix 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 	
10	27 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Trial mix geopolimer 8 buah silinder menggunakan SP viscocrete 7060 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton sangat cepat mengeras • Susah dimasukkan cetakan • Gagal 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
11	28 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Trial mix geopolimer 4 buah silinder menggunakan SP viscocrete 7060, dengan harapan sedikit benda uji 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton tetap cepat mengeras 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	




No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
		<p>mudah dilaksanakan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluasi trial mix, gunakan SP rheobuild 900i 			
12	30 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran silinder S5, S6, S13, S14 	<ul style="list-style-type: none"> • Lancar 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
13	31 Maret 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran silinder S1, S2, S3, S4, S9, S10, S11, S12 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
14	1 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran silinder S7, S8, S15, S16 • Mengoven silinder S1, S2, S3, S4, S9, S10, S11, S12 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	


No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
15	8 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran balok kode B5 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 	
16	9 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pelepasan bekisting B5 • Pengecoran balok kode B7 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton sedikit lengket didalam mixer 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 	
17	10 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pelepasan bekisting B7 • Pengecoran balok kode B21 	<ul style="list-style-type: none"> • Kerikil terlalu basah, perlu diangin-anginkan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 	



No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
18	14 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pelepasan bekisting B21 • Pengecoran balok kode B17 dan B19 • Membenarkan tulangan lentur yang tidak sesuai 	<ul style="list-style-type: none"> • Panjang tulangan lentur tidak sesuai 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
19	15 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pelepasan bekisting balok kode B17 dan B19 • Pengovenan balok kode B17 dan B19 • Pengecoran balok kode B9, B10, B13, B23 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
20	16 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran balok kode B18, B11, B1, B3 • Pelepasan bekisting balok kode B9, B10, B13, B23 • Pemindahan balok kode B7 dan B19 ke kenjeran 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	 
19	17 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan SP Rheobuild 900i • Pengecoran balok kode B20, B22, B15, B12 • Pelepasan bekisting balok kode B18, B11, B1, B3 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	




No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
					
	<p>21 April 2015</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran balok kode B6, B8 • Pelepasan bekisting balok kode B20, B22, B15, B12 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
	<p>22 April 2015</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran balok kode B24, B2, B4 • Pelepasan bekisting balok kode B6, B8 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	



No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
					
	<p>23 April 2015</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran balok kode B14, B16 • Pelepasan bekisting balok kode B24, B2, B4 • Pengecoran silinder kode S17 – S24 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	 

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
	24 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pelepasan bekisting balok kode B14, B16 • Pemindahan balok kode B3, B4, B8, B11, B12, B15, B16, B19, B20, B24 ke kenjeran 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	 
	29 April 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian tekan silinder 	<ul style="list-style-type: none"> • Seharusnya pengujian tekan 8 buah dan pengujian belah 8 buah, tapi terjadi kesalahan benda uji di uji tekan semua 	<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Fauzan kurnianto 	



No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
					
	<p>30 April 2015</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran silinder untuk uji belah (8 buah silinder) 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	




No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
	4 Mei 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran 1 balok polos • Pengecoran 4 silinder 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
	6 Mei 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecoran 1 balok geser, 1 balok lentur 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
	8 Mei 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Mengeluarkan balok kode B51, B52, B41, B42, B31, B32 dari oven • Mengeluarkan silinder dari oven • Pemindahan 6 balok dan 6 silinder 10 cm x 20 cm ke kenjeran 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
					
	<p>19 Mei 2015</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan balok dari kenjeran 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Fauzan kurnianto 4. A.F. Afif 	
	<p>20 Mei 2015</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecatan 12 balok 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
	25 Mei 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pemindahan 24 balok ke laboratorium beton S1 Sipil ITS 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Fauzan kurnianto 5. A.F. Afif 	
	27 Mei 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan silinder 5 cm x 10 cm dari laut • Pengujian porositas silinder 5 cm x 10 cm pemvakuman kering 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 	
	28 Mei 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian porositas silinder 5 cm x 10 cm pemvakuman basah 	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi kesalahan penimbangan dalam air 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dimas A 2. Dimas S.P 	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
	1 Juni 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian lentur balok di laboratorium beton S1 Sipil ITS 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 	
	4 Juni 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan balok dan silinder dari laut • Pengecatan dan pemberian grid balok 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Satria P.S 5. M. Yusri M.I 6. Biantoro P 7. Lilianto R.P 8. R. Andriyono 9. Giri Danuarto 	
	8 Juni 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian porositas ulang (pembakuan kering) 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
					
	<p>9 Juni 2015</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pemvakuman basah • Pengecoran 3 silinder untuk uji permeabilitas 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 	

No	Tanggal	Kegiatan	Kendala	Pelaksana	Dokumentasi
	10 Juni 2015	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian porositas , penimbangan dalam air, pengovenan • Pengujian balok di laboratorium beton S1 Sipil ITS 		<ol style="list-style-type: none"> 1. M. Saiful Kirom 2. Dimas A 3. Dimas S.P 4. Biantoro P 5. 	  

LAMPIRAN 2

HASIL UJI MATERIAL AGREGAT KASAR (KERIKIL)

NO	NAMA KEGIATAN	NILAI	SATUAN	KETERANGAN
1.	Kelembaban Kerikil	1,2966	%	(ASTM C 556-71)
2.	Berat Jenis Kerikil	2,6986	Kg/cm ³	(ASTM C 128-93)
3.	Kadar Air Resapan Air	1,52	%	(ASTM C 127 – 88)
4.	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur	0,531	%	Syarat : 0,531% < 1 % ASTM C 117-76
5.	Berat Volume (Berat isi) kerikil	1,399	Kg/cm ³	ASTM C 29-78
6.	Berat Volume (Berat isi) dirojok	2,012	Kg/cm ³	-

KEBERSIHAN KERIKIL TERHADAP LUMPUR (KERING)

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

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

KADAR AIR RESAPAN KERIKIL

$$\begin{aligned} \text{Berat kerikil SSD (A)} &= 3000 \text{ gr} \\ \text{Berat Cawan} &= 572 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Cawan + Kerikil Oven} &= 3527 \text{ gr} \\
 \text{Berat Kerikil Oven (B)} &= 3527 \text{ gr} - 572 \text{ gr} = 2955 \text{ gr} \\
 \text{Air Resapan} &= \frac{A - B}{B} \times 100\% \\
 &= \frac{3000 \text{ gr} - 2955 \text{ gr}}{2955 \text{ gr}} \times 100\% \\
 &= 1,52 \%
 \end{aligned}$$

BERAT JENIS KERIKIL

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

KELEMBAPAN KERIKIL

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kerikil Asli (B)} &= 500 \text{ gr} \\
 \text{Berat Cawan} &= 42,3 \text{ gr} \\
 \text{Berat Kerikil Oven + Cawan} &= 535,9 \text{ gr} \\
 \text{Berat Kerikil Oven (A)} &= 493,6 \text{ gr} \\
 \text{Kelembapan} &= \frac{B - A}{A} \times 100\% \\
 &= \frac{500 \text{ gr} - 493,6 \text{ gr}}{493,6 \text{ g}} \times 100\% \\
 &\rightarrow = 1,2966 \%
 \end{aligned}$$

BERAT VOLUME ISI (DIROJOK) KERIKIL

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Tempat Takaran (A)} &= 5,367 \text{ kg} \\
 \text{Berat Kerikil + Takaran Setelah dirojok (B)} &= 24,640 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

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

BERAT VOLUME ISI KERIKIL

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

LAMPIRAN 3

HASIL UJI MATERIAL AGREGAT HALUS (PASIR)

NO	NAMA KEGIATAN	NILAI	SATUAN	KETERANGAN
1.	Kelembaban Pasir	1,96	%	(ASTM C 556-71)
2.	Berat Jenis Pasir	2,76	Kg/cm ³	(ASTM C 128-93)
3.	Air Resapan Air	3	%	(ASTM C 128-93)
4.	Pengembangan Volume Pasir	20,97	%	-
5.	Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik	-	-	Larutan berwarna coklat muda (nomor 3 standart warna organik plate) ASTM C 40-92
6.	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur	1,638	%	Syarat : 1,638% < 5 % ASTM C 117-76

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

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

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

$$= 2,76 \text{ Kg/dm}^3$$

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.

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

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

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

$$= 20,97 \%$$

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

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

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

$$= 3 \%$$

KEBERSIHAN PASIR TERHADAP LUMPUR

h1 (Tinggi endapan lumpur) = 1 mm

h2 (Tinggi endapan pasir) = 61 mm

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

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

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

$$= \frac{500 \text{ gr} - 490,4\text{gr}}{490,4 \text{ gr}} \times 100\%$$
$$= 1,96 \%$$

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Mojokerto, 4 Desember 1993, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Blooto 2 M ojkerto, SMPN 1 Mojokerto, SMAN 1 Puri Mojokerto. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis mengikuti Ujian Masuk Diploma III dan diterima di Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun yang sama dan terdaftar dengan NRP. 3112 030 055. D i Program Studi

Diploma ini, penulis mengambil bidang studi bangunan gedung. Penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Program Studi, Fakultas dan Institut, serta aktif mengikuti organisasi yang ada, yaitu pada Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS.