



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC-145501

PENGARUH SUHU TINGGI TERHADAP PASTA GEOPOLIMER

Fathirul Rachman
NRP. 3112.030.030

Taufan Kurniawan
NRP.3112.030.049

Dosen Pembimbing I
Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D
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 2016



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC-145501

PENGARUH SUHU TINGGI TERHADAP PASTA GEOPOLIMER

Fathirul Rachman
NRP. 3112.030.030

Taufan Kurniawan
NRP.3112.030.049

Dosen Pembimbing I
Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D
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 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - RC-145501

HIGH TEMPERATURES EFFECT TO GEOPOLYMER PASTE

Fathirul Rachman
NRP. 3112.030.030

Taufan Kurniawan
NRP.3112.030.049

Consellor Lecture I
Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

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

DIPLOMA III PROGRAM of CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RC-145501

HIGH TEMPERATURES EFFECT TO GEOPOLYMER PASTE

Fathirul Rachman
NRP. 3112.030.030

Taufan Kurniawan
NRP.3112.030.049

Consellor Lecture I
Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

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

DIPLOMA III PROGRAM of CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

PENGARUH SUHU TINGGI TERHADAP PASTA GEOPOLIMER

Nama Mahasiswa I : Fathirul Rachman
NRP : 3112 030 030
Nama Mahasiswa II : Taufan Kurniawan
NRP : 3112 030 049
Jurusan : Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing I : Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D
Dosen Pembimbing II : Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. Ph.D

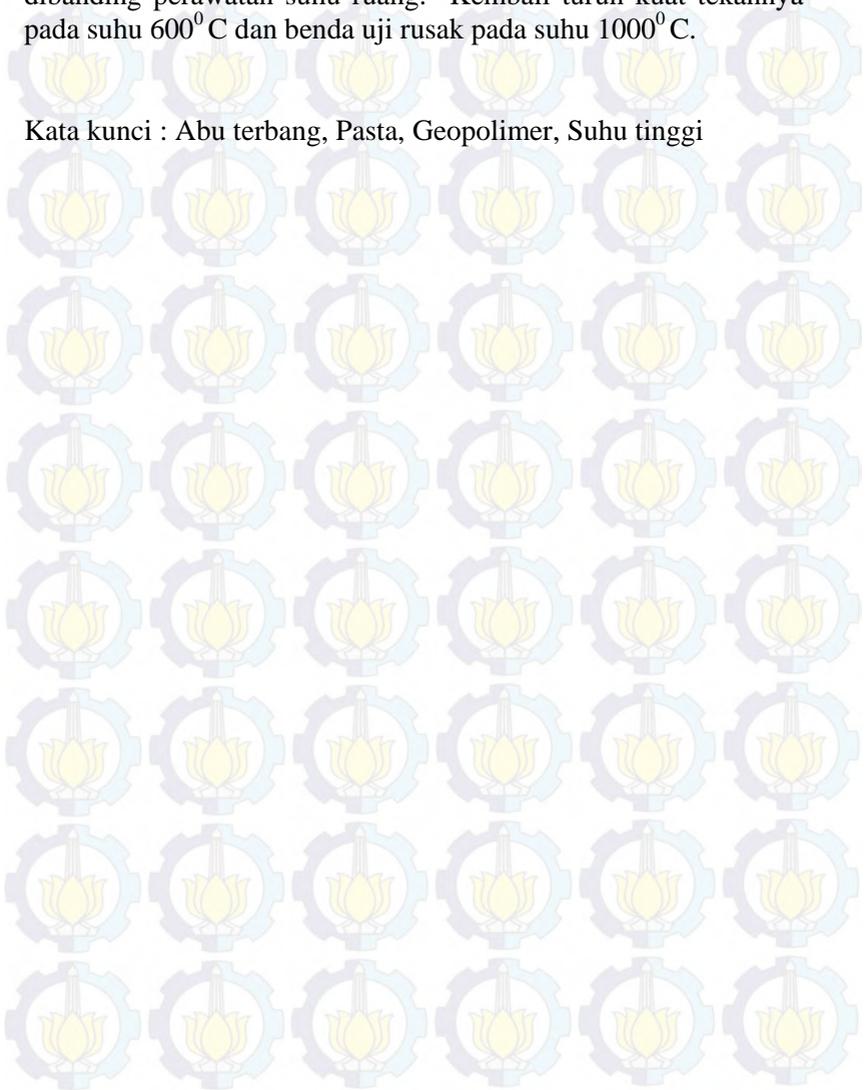
Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kepadatan penduduk tertinggi di dunia. berkembangnya infrastruktur tersebut, muncul pula berbagai masalah seperti kurang diimbangnya perkembangan infrastruktur dan pertumbuhan di bidang peraturan keselamatan kebakaran. Ketimpangan laju pertumbuhan tersebut, pada akhirnya memicu tingginya angka kebakaran bangunan. Kebakaran yang terjadi pada bangunan seringkali menyebabkan kerusakan pada elemen-elemen strukturnya. Kualitas dan kekuatan beton portland akan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan suhu dan lama terjadinya kebakaran tersebut. 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 benda yang diuji adalah pasta geopolimer disusun dari campuran abu terbang tipe C dari PT.Petrokimia Gresik, alkali aktifator berupa sodium hidroksida 6, 10 dan 14 Molar. Benda uji berupa silinder 2,5 cm x 5 cm dan kubus 5 cm x 5 cm akan melalui proses perawatan pada suhu ruang sampai umur 28 hari dan di uji bakar pada suhu 200°C, 600°C dan 1000°C selama 4 jam. Kemudian untuk mengetahui kuat tekan dan ketahanan, maka dilakukan pengujian kuat tekan, porositas, UPV, dan hammer test.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Kuat tekan pasta geopolimer (6,10 dan 14 molar) pada suhu 200⁰ C lebih kuat dibanding perawatan suhu ruang. Kembali turun kuat tekannya pada suhu 600⁰ C dan benda uji rusak pada suhu 1000⁰ C.

Kata kunci : Abu terbang, Pasta, Geopolimer, Suhu tinggi



HIGH TEMPERATURES EFFECT TO GEOPOLYMER PASTE

Name : 1. Fathirul Rachman
2. Taufan Kurniawan
Register Number : 1. 3112030030
2. 3112030049
Department : Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS
Counsellor Lecturer : 1. Ridho Bayuaji, ST. MT. Ph.D
2. Ir. M.Sigit Darmawan, M.EngSc. Ph.D

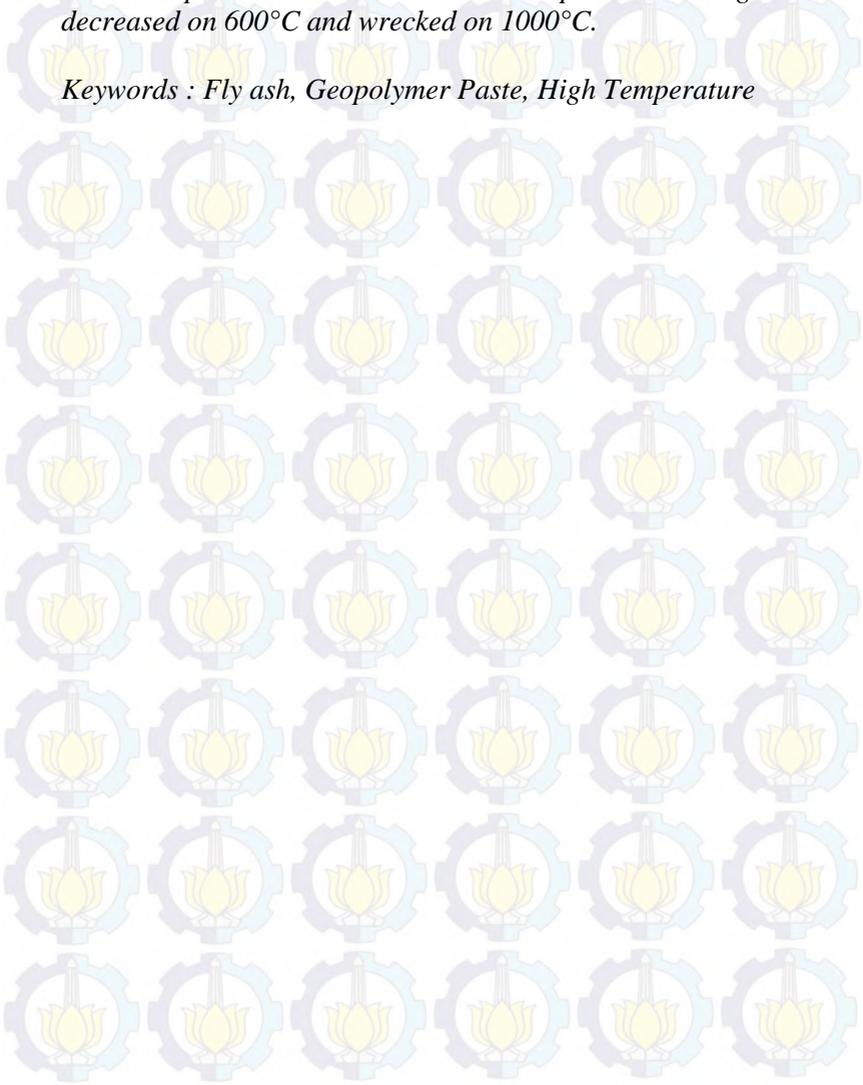
Abstract

Indonesia is a developing country which has the highest population density in the world, lack of Infrastructure development gives sorts of problems, such as low adaptable infrastructure development and less innovation of fire safety regulations. Both of two reasons that have been mentioned can impact high rates of fire accident. As we know that fire accident will make some elements the of building structure become weaker. Quality and strength of Portland concrete can be decreased not only by the increasing temperature but also about duration of fire accident. It is necessary to improve other structural material that has a higher resistance such an example is geopolymer concrete.

Moreover, geopolymer concrete is high resistance of high temperature and also environmentally friendly. Geopolymer concrete doesn't contain Portland cement which is one of the highest CO₂ gas producer. On this research, specimen that we used is geopolymer pasta that composed of fly-ash type C from PT. Petrokimia Gresik, the alkali activator is sodium hydroxide 6,10,14 Molar. Forms of the specimen are, cylinder 2,5 cm x 5 cm and in a form of cube which dimension is 5 cm x 5 cm. Both will have treatment process in room temperature up to 28 days. Specimens will be tested in a burning process on 200°C,600°C,1000°C temperatures for 4 hours. Then, some methods to measure the compressive strength and resistance are compressive strength test, porosity, UPV and also hammer test.

The result of this research shows that, compressive test of geopolymer pasta (6,10,14 Molar) on 200°C is stronger than in a room temperature treatment. The compressive strength was decreased on 600°C and wrecked on 1000°C.

Keywords : Fly ash, Geopolymer Paste, High Temperature



LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya Teknik

Pada
Program Studi DIII Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun oleh:

MAHASISWA I



Fathirul Rachman

NRP. 3112 030 030

MAHASISWA II



Taufan Kurniawan

NRP. 3112 030 049

Disetujui Oleh:

20 JAN 2016

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II



Ridho Bayuaji, ST., MT. Ph.D. — Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D.

NIP. 19730710 199802 1 002

NIP. 19630726 198903 1 003

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karuniannya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir dengan judul ***“Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Pasta”*** 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 tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, dan dukungan moral serta materiil. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, Tuhan sekaligus pengatur kehidupan yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini hingga selesai
2. Kedua Orang Tua, yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan kepada penulis
3. Bapak Ir.M Sigit Darmawan, MEng, SC., Phd. selaku Kepala Prodi Jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS dan dosen pembimbing II
4. Bapak Dr. Ridho Bayuaji, ST. MT selaku dosen pembimbing I
5. Bapak Ir. Boedi Wibowo, Ces. dan Ibu Ir. Kusumastutiselaku dosen wali
6. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya
7. Staf Laboratorium Uji Material Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya
11. Bapak dan Ibu penguji
12. Serta semua pihak dan teman-teman yang telah membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tak lepas dari berbagai kesalahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna untuk kesempurnaan penulisan selanjutnya.

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

Surabaya, Januari 2016

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAAAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Geopolimer.....	5
2.1.1 Perbedaan Geopolimer dengan Beton Semen.....	6
2.1.2 Sifat Beton Geopolimer.....	7
2.1.3 Kelebihan dan Kekurangan Geopolimer.....	8
2.2 Penelitian Tentang Geopolimer Sebelumnya.....	9
2.2.1 Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Beton.....	9
2.2.2 Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Geopolimer.....	12
2.3 Bahan Penyusun.....	14
2.3.1 Fly Ash.....	14
2.3.2 Alkali Aktivator.....	17
2.3.3 Bahan Tambahan (Admixture).....	19
2.4 Perawatan.....	21
2.4.1 Diletakkan Pada Suhu Ruang.....	21
2.4.2 Dibakar Pada Suhu Tinggi.....	21
2.5 Pengujian.....	21
2.5.1 Kuat Tekan.....	21

2.5.2 Porositas	22
2.5.3 XRD.....	22
2.5.4 XRF	23
2.5.5 UPV	23
2.5.6 Hammer Test	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur.....	28
3.2 Persiapan Bahan dan Praktikum Penelitian Laboratorium ..	28
3.2.1 Fly Ash	28
3.2.2 Uji Komposisi Fly Ash.....	28
3.2.3 Jenis Alkali Aktivator.....	29
3.3 Membuat Mix Desain Binder Silinder 2,5cm x 5cm.....	31
3.4 Membuat Benda Uji Binder Silinder 2,5cm x 5cm	33
3.5 Metode Pembuatan Benda Uji.....	35
3.5.1 Melakukan Curing Benda Uji.....	38
3.6 Melakukan Uji Bakar	38
3.7 Melakukan Tes UPV	39
3.8 Melakukan Tes Porositas.....	40
3.9 Melakukan Tes Hammer	42
3.10 Melakukan Tes Kuat Tekan.....	43

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Umum	45
4.2 Bahan Penyusun	45
4.2.1 Fly Ash	45
4.2.1.1 Hasil XRD	45
4.2.1.2 Hasil XRF	46
4.3 Hasil Pengujian.....	47
4.3.1 Kuat Tekan	47
4.3.2 Porositas	55
4.3.3 UPV	63
4.3.4 Hammer Test	72

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

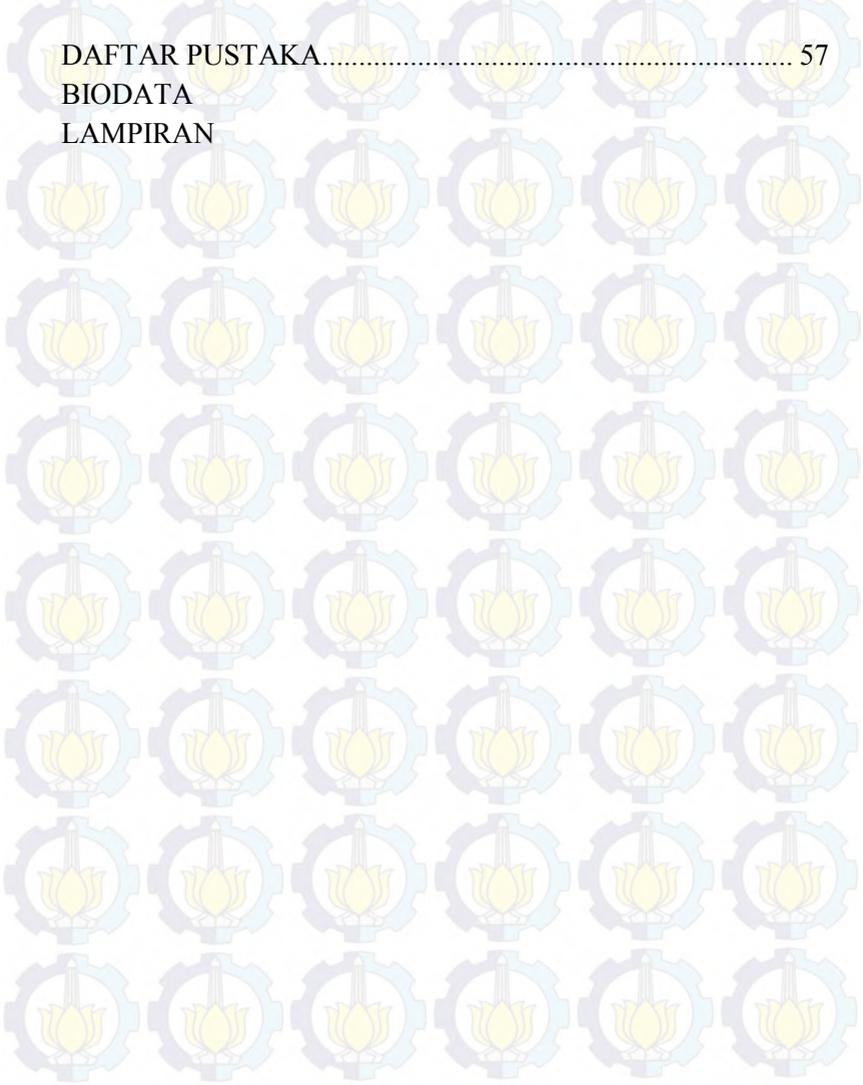
5.1 Kesimpulan..... 73

5.2 Saran..... 74

DAFTAR PUSTAKA..... 57

BIODATA

LAMPIRAN





DAFTAR GAMBAR

2.1 Skema Pembentukan Beton Geopolimer.....	5
2.2 Ikatan Polimerisasi SiO_4 dan AlO_4	6
2.3 Ikatan Polimerisasi Si dan Al.....	6
2.4 Proses Hidrasi dan Polimerisasi.....	7
2.5 Fly Ash Tipe C.....	15
2.6 Fly Ash Tipe F.....	15
2.7 Fly Ash Tipe N.....	16
2.8 Natrium Hidroksida.....	18
2.9 Sodium Silikat.....	19
3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	27
3.2 Fly Ash.....	35
3.3 Alkali Aktivator.....	36
3.4 Memasukkan Fly Ash kedalam mixer.....	36
3.5 Memasukkan Aktivator kedalam mixer.....	37
3.6 Memasukkan Adonan kedalam Bekisting.....	38
3.7 Alat Furnace.....	39
3.8 Alat UPV.....	40
3.9 Alat Porositas.....	41
3.10 Alat Hammer.....	42
3.11 Alat Tes Tekan.....	43
4.1 Hasil Pengujian X-Ray Difrraction.....	46
4.2 Hasil Pengujian Hammer Test.....	72



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

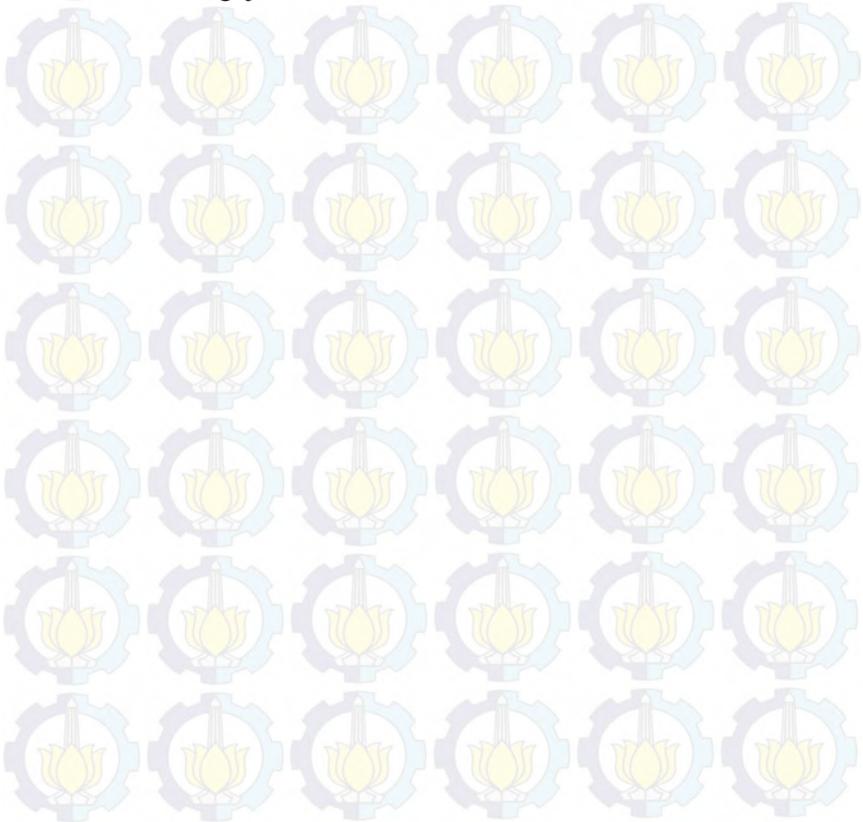
2.1 Penurunan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Temperatur ..	12
2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Terhadap Suhu	13
2.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Terhadap Suhu	13
4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan dari Berbagai Perawatan.....	49
4.2 Kuat Tekan 14 Molar dari Berbagai Kondisi Perawatan.....	50
4.3 Kuat Tekan 10 Molar dari Berbagai Kondisi Perawatan.....	51
4.4 Kuat Tekan 6 Molar dari Berbagai Kondisi Perawatan.....	52
4.5 Kuat Tekan Pada Suhu Ruang dari Molar yang Berbeda	53
4.6 Kuat Tekan Pada Suhu 200 ⁰ C dari Molar yang Berbeda	54
4.7 Kuat Tekan Pada Suhu 600 ⁰ C dari Molar yang Berbeda ..	55
4.8 Hasil Pengujian Porositas dari Berbagai Perawatan.....	57
4.9 Hasil Porositas 14 Molar dari Berbagai Perawatan.....	58
4.10 Hasil Porositas 10 Molar dari Berbagai Perawatan.....	59
4.11 Hasil Porositas 6 Molar dari Berbagai Perawatan.....	60
4.12 Hasil Porositas Pada Suhu	61
4.13 Hasil Porositas Pada Suhu 200 ⁰ C.....	62
4.14 Hasil Porositas Pada Suhu 600 ⁰ C.....	63
4.15 Hasil Pengujian UPV dari Berbagai Kondisi Perawatan...	65
4.16 Hasil UPV 14 Molar dari Berbagai Kondisi Perawatan....	66
4.17 Hasil UPV 10 Molar dari Berbagai Kondisi Perawatan....	67
4.18 Hasil UPV 6 Molar dari Berbagai Kondisi Perawatan.....	68
4.19 Hasil UPV Pada Suhu Ruang dari Molar yang Berbeda ...	69
4.20 Hasil UPV Pada Suhu 200 ⁰ C dari Molar yang Berbeda....	70
4.21 Hasil UPV Pada Suhu 600 ⁰ C dari Molar yang Berbeda..	71



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

2.1 Klasifikasi Kualitas Rambat Beton	24
3.1 Komposisi Binder 6 Molar	33
3.2 Komposisi Binder 10 Molar	33
3.3 Komposisi Binder 14 Molar	34
4.1 Hasil Pengujian X-Ray Fluorescence	46
4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan	47
4.3 Hasil Pengujian Porositas	56
4.4 Hasil Pengujian UPV	64





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kepadatan penduduk tertinggi di dunia. Hal ini juga diikuti dengan laju pembangunan infrastruktur yang mengalami peningkatan. Namun seiring dengan berkembangnya infrastruktur tersebut, muncul pula berbagai masalah seperti kurang diimbangnya perkembangan infrastruktur dan pertumbuhan di bidang peraturan keselamatan kebakaran. Ketimpangan laju pertumbuhan tersebut, pada akhirnya memicu tingginya angka kebakaran bangunan .

Kebakaran yang terjadi pada bangunan seringkali menyebabkan kerusakan pada elemen-elemen strukturnya. Kualitas dan kekuatan beton akan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan suhu dan lama terjadinya kebakaran tersebut. Penelitian pada gedung di makasar mall tercatat suhu akibat kebakaran dapat mencapai 1400°C (Subhan,2012). Kebakaran pada gedung dapat mengakibatkan berbagai macam kerusakan struktur, bahkan kerusakan yang terberat adalah beton pecah/terkelupas sehingga tampak tulangan bajanya, atau bahkan sampai tulangan putus/tertekuk dan beton inti hancur. Masalah lain yang dihadapi adalah efek dari pembuatan bahan baku beton, yaitu semen portland.

Semen Portland sebagai bahan perekat utama pada beton menuai banyak perhatian karena emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen karena proses pembakarannya yang memerlukan energi hingga 1400°C , untuk 1 ton semen menghasilkan 0,55 ton CO_2 (Davidovius, J.1991). Hal ini mengakibatkan semen Portland sebagai bahan

perekat pada beton perlu diinovasi. Salah satu inovasi yang banyak diteliti adalah beton geopolimer

Beton Geopolimer merupakan beton dengan material dari bahan alami sebagai pengikat yang memiliki kandungan silika dan alumina tinggi (Davidovits, 1994). Kandungan silika dan alumina perlu dilarutkan dengan larutan yang bersifat alkalis sehingga dapat menghasilkan suatu proses kimia yang bisa digunakan sebagai pengganti bahan pengikat pada beton. Selain itu material lain yang digunakan sebagai bahan beton geopolimer adalah limbah dari proses pembakaran batu bara (*Fly Ash*) sehingga menjadikan beton geopolimer ini ramah lingkungan juga.

Dalam penelitian ini, penulis akan menjelaskan bagaimana efek dari pasta beton geopolimer terhadap suhu tinggi yang dikondisikan dengan dibakar. Sehingga nantinya beton geopolimer ini akan menggantikan beton konvensional yang menggunakan semen dengan lebih baik dari berbagai kondisi yang biasanya terjadi pada struktur bangunan beton.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pokok yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh suhu tinggi terhadap pasta geopolimer yang dibakar pada suhu sebesar 200°C , 600°C , 1000°C ditinjau dari:

- a. Kekuatan bahan pengikat binder geopolimer.
- b. Porositas binder geopolimer.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini meliputi :

- a. Prosedur pengujian dan analisis pasta geopolimer sama seperti prosedur pengujian dan analisis pada pasta normal.
- b. Fly Ash yang digunakan berasal dari Petrokimia Gresik.
- c. Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) yang digunakan sebanyak 6 M, 10 M, 14 M.
- d. Benda uji pasta geopolimer berbentuk silinder berukuran 2,5 cm x 5 cm dan kubus dengan sisi 5 cm.
- e. Uji bakar dilakukan dengan menggunakan alat (*furnace*) dengan suhu 200⁰C, 600⁰C, 1000⁰C selama 4 Jam.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian proyek akhir ini adalah Mengetahui pengaruh suhu tinggi terhadap pasta beton geopolimer yang dibakar dengan suhu sebesar 200⁰C, 600⁰C, 1000⁰C ditinjau dari kekuatan dan daya tahan pasta geopolimer. Sehingga nantinya beton geopolimer ini dapat menggantikan beton konvensional dengan keunggulan dari berbagai kondisi yang biasanya terjadi pada struktur bangunan beton.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

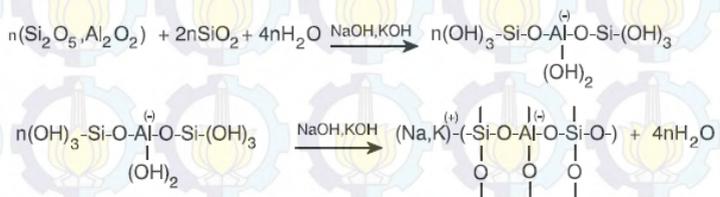
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Geopolimer

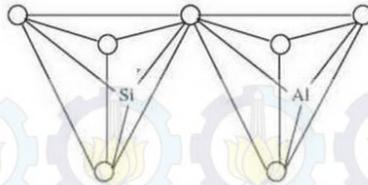
Istilah geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978 untuk menggambarkan jenis pengikat mineral yang memiliki komposisi kimia menyerupai zeolit tetapi memiliki mikrostruktur yang amorf.

Geopolimer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis 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 Alumunium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi Hal ini ditunjukkan dalam bentuk rasio perbandingan Si/Al, semakin besar ratio Si/Al karakter polimer semakin terbentuk kuat. (Davidovits, 1994).

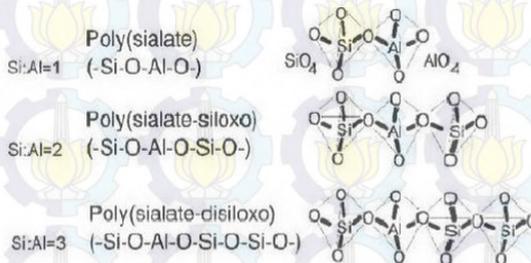
Skema pembentukkan beton geopolimer dapat dilihat pada persamaan (2 – 1) dan (2 – 2) (van Jaarsveld dkk, 1997 ; Davidovits,1999)



Gambar 2.1 Skema Pembentukan Beton Geopolimer



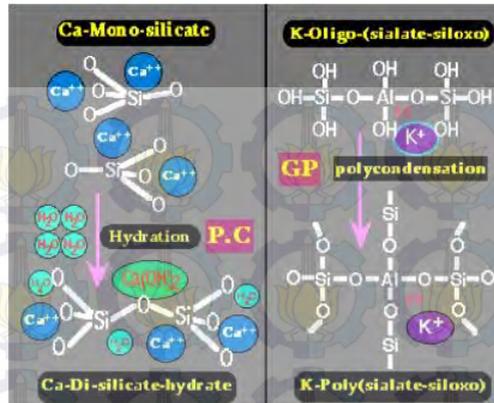
Gambar 2. 2 Ikatan Polimerisasi SiO_4 dan AlO_4



Gambar 2. 3 Ikatan Polimerisasi Si dan Al (Davidovits, 1994)

2.1.1 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. 4 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.

2.1.2 Sifat Beton Geopolimer

Geopolimer memiliki sifat-sifat yang membedakannya dengan material lain, baik sifat fisik maupun kimia. Sifat fisik merupakan sifat yang dimiliki material tanpa bereaksi dengan bahan lain, termasuk sifat mekanik. Sedangkan sifat kimia adalah perilaku material apabila bereaksi secara kimia dengan bahan lain.

a. Sifat fisik

Data di bawah ini merupakan sifat fisik yang umumnya dimiliki geopolimer (Davidovit, 2008)

Binder Geopolimer

- Ekspansi linier: $< 5.10^{-6}/K$
- Konduktivitas panas: 0.2 sampai 0.4 W/K.m
- Specific heat : 0.7-1.0 KJ/kg

- Densitas bulk 1 samapi 1.9 g/mL
 - Porositas terbuka 15-30 %
 - Penyusutan geopolimerisasi 0.2 – 0.4 %
 - D.T.A : endotermik pada 250°C (air zeolitik)
 - Dan lain-lain
- b. Sifat kimia

Data di bawah ini merupakan sifat kimia yang umumnya dimiliki geopolimer (Davidovit, 2008)

- Ketahanan kimia geopolimer
- Geopolimer yang direndam asam sulfat 10% hanya mengalami penyusutan massa 0.1 % perhari dan asam klorida 5% hanya menyebabkan penyusutan 1% perhari. Perendaman dengan KOH 50% hanya menyusut 0.02% perhari, larutan sulfat menyebabkan penyusutan 0.02% pada 28 hari, sedangkan larutan amonia tidak menyebabkan penyusutan massa pada geopolimer. Reaksi alkali agregat tidak terjadi pada geopolimer.
- Nilai pH antara 11,5-12,5. Bandingkan dengan pasta semen Portland yang memiliki pH antara 12-13.
 - Pelarutan (leaching) dalam air, setelah 180 hari: $K_2O < 0.015 \%$
 - Absorpsi air: $< 3\%$, tidak terkait pada permeabilitas

2.1.3 Kelebihan dan kekurangan beton Geopolimer

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

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

b. Kekurangan-kekurangan beton geopolimer :

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

2.2 Penelitian Tentang Geopolimer Sebelumnya

Beton geopolimer diyakini dapat mampu bertahan lebih baik terhadap api dari beton normal. Sifat api yang dapat menjadi penyebab hancurnya struktur bangunan dan hilangnya umur bangunan harus diantisipasi dan dikembangkan untuk menciptakan material dari struktur bangunan yang lebih tahan terhadap api (kebakaran).

2.2.1 Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Beton

Peningkatan temperatur akibat kebakaran menyebabkan material beton mengalami perubahan sifat. Suhu yang dapat dicapai pada suatu ruangan gedung yang terbakar adalah $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ dengan lama kebakaran umumnya lebih dari 1 jam. Kebanyakan beton struktural dapat digolongkan ke dalam tiga jenis agregat : karbonat, silikat, dan beton berbobot ringan. Agregat karbonat meliputi batu kapur dan dolomit dan dimasukkan dalam satu golongan karena kedua zat ini mengalami perubahan susunan kimia pada suhu antara 700°C sampai 980°C . Agregat silikat yang meliputi granit, kuarsit, batu pasir, tidak mengalami perubahan kimia pada suhu yang biasa dijumpai dalam kebakaran (Norman Ray, 2009).

Beton yang dipanaskan hingga di atas 800°C , mengalami degradasi berupa pengurangan kekuatan yang cukup signifikan yang mungkin tidak akan kembali lagi (recovery) setelah proses pendinginan. Tingginya kehilangan kekuatan dan dapat tidaknya kekuatan material kembali seperti semula ditentukan oleh jenis material yang digunakan, tingkat keparahan pada proses

kebakaran dan lama waktu pembakaran. Universitas Sumatera Utara Tingginya tingkat keparahan (temperatur) dan lamanya waktu pembakaran menyebabkan berkurangnya kekuatan tekan suatu material beton, terlebih lagi timbulnya tegangan geser dalam (Internal Shear Stress) sebagai akibat adanya perbedaan sifat thermal antara semen dan agregat.

Fenomena yang dapat dilihat pada beton yang terkena beban panas (kebakaran) yang ekstrim adalah terjadinya sloughing off (pengelupasan), retak rambut dan retak lebar serta warna beton. Dari pengamatan secara visual dapat diperkirakan suhu yang pernah dialami oleh beton. Pengaruh temperatur tinggi terhadap beton dapat mengakibatkan perubahan, antara lain (Nugraha, P., 2007) :

Pada suhu 100°C → air kapiler menguap.

Pada suhu 200°C → air yang terserap di dalam agregat menguap.

Penguapan menyebabkan penyusutan pasta.

Pada suhu 400°C → pasta semen yang sudah terhidrasi terurai kembali sehingga kekuatan beton mulai terganggu.

Bila kebakaran terjadi pada suatu konstruksi beton bertulang maka struktur kolom, balok, lantai, dinding akan mengalami siklus pemanasan dan pendinginan. Karena adanya fase secara fisik maupun kimia yang kompleks. Akibatnya dengan adanya perubahan mikrostruktur beton dan secara keseluruhan maka terjadi perubahan perilaku material beton yang mengakibatkan menurunnya kekuatan struktur. Warna beton juga dapat berubah sebagai akibat dari pemanasan, yang mana akan terlihat dengan jelas pada saat inspeksi visual. Pada banyak kejadian perubahan warna pink/merah terjadi pada suhu diatas 300°C , yang mana menjadi penting karena bertepatan dengan mulai terjadinya penurunan kekuatan yang signifikan akibat kebakaran. Perubahan warna pink/merah pada beton merupakan ciri utama dan menjadi indikasi terjadinya perlemahan. Perubahan

warnamerupakan akibat daripada oksidasi kandungan besi pada agregat, perlu dicatat bahwa karena perbedaan kandungan besi pada agregat sehingga tidak semua terjadi perubahan warna. Pada umumnya, perubahan warna terjadi pada agregat yang bersilika dan hanya sedikit pada batu kapur (*limestone*) dan granit.

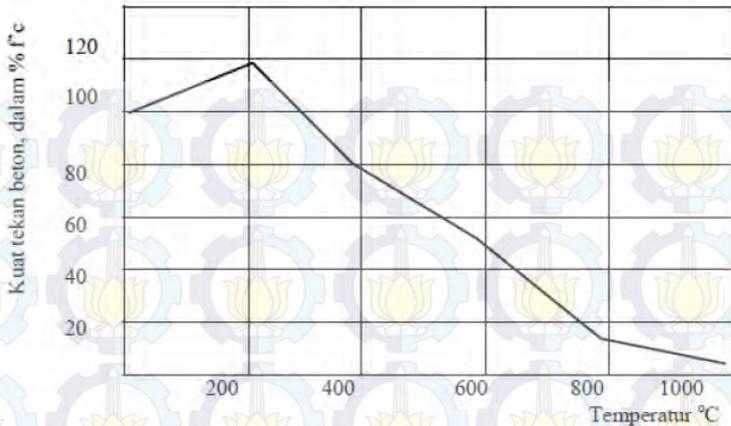
Perubahan warna yang terjadi pada permukaan beton yaitu (Nugraha, P., 2007) :

- $< 300^{\circ}\text{C}$ - tidak berubah
- $300^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ - merah muda
- $600^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$ - putih keabu-abuan
- $> 900^{\circ}\text{C}$ - kekuning-kuningan

Ciri di atas tidak mutlak, tergantung jenis agregat di dalam beton. Warna beton yang terbakar, dapat menentukan tingkat kebakaran, seperti warna mulai merah hingga putih dapat menunjukkan bahwa kebakaran tersebut cukup parah. Ciri-ciri struktur yang terjadi pada beton karena pengaruh temperatur yang tinggi adalah (Nugraha, P., 2007) :

- Kekuatan menurun.
- Mengelupasnya beton.
- Terjadinya retak-retak.

Kekuatan beton setelah dingin bervariasi tergantung pada temperatur yang dicapai, lamanya pemanasan, proporsi campuran, agregat yang digunakan dan beban yang bekerja selama pemanasan. Untuk temperatur sampai pada 300°C , penurunan kekuatan dari struktur beton tidak signifikan, sementara untuk temperatur diatas 500°C kekuatannya menurun hanya dengan persentase yang kecil dari kekuatan awalnya. Temperatur 300°C biasanya diambil sebagai temperatur kritis dimana beton memperlihatkan kerusakan yang mulai signifikan.



Grafik 2. 1 Penurunan Kuat Tekan Beton pada berbagai temperatur (Suhendro, 2000)

2.2.2 Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Geopolimer

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Shweta Mane dan H.S. Jadhav, menemukan bahwa geopolimer memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap api dibandingkan dengan beton semen. Penelitian yang dilakukan yaitu membandingkan ketahanan api antara beton semen dengan geopolimer dan mortar semen dengan mortar geopolimer. Pada percobaannya, geopolimer yang digunakan berbahan agregat kasar dan halus sama seperti beton semen, tapi mengganti semen dengan fly ash dan alkali aktivator Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3). Berikut merupakan komposisi dari campuran beton dan geopolimer yang digunakan:

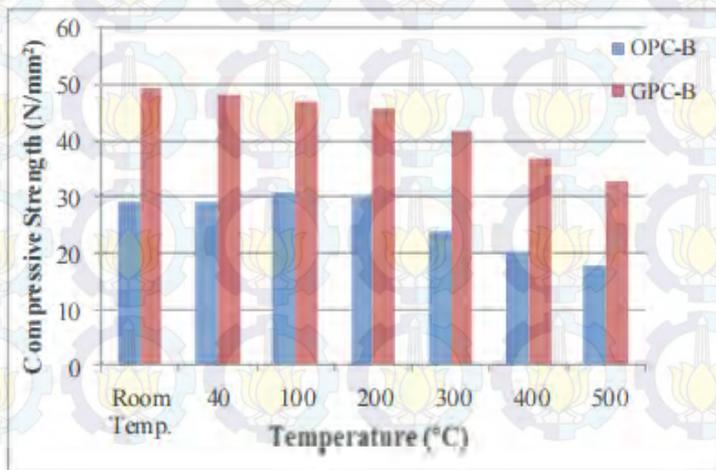
Tabel 2.1 Mix Desain Campuran Beton

Ingredients	GPC-B	OPC-B
Cement	-	392 kg/m ³
Fly Ash	408 kg/m ³	-
Combined Aggregates	1848 kg/m ³	-
Coarse Aggregates	1294 kg/m ³	1293,86 kg/m ³
Fine Aggregates	554 kg/m ³	622 kg/m ³
Alkaline liquid/Fly Ash	0,35	-
Na ₂ SiO ₃ /NaOH	2,5	-
Molarity of NaOH	14M	-
Water	-	193 kg/m ³

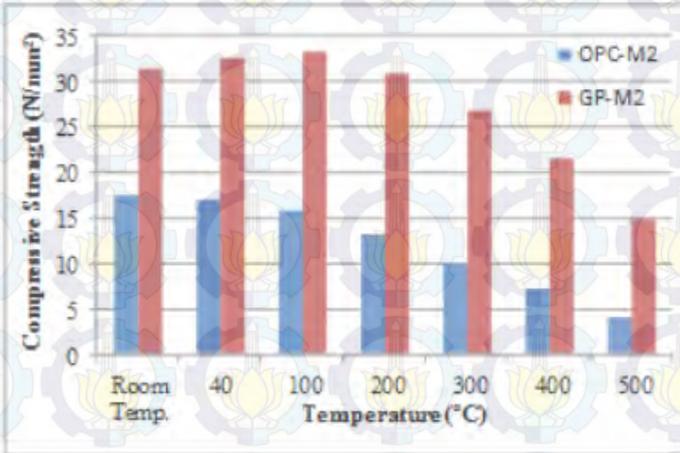
Tabel 2.2 Mix Desain Campuran Mortar

Ingredients	GP-M2	OPC-M2
Proportion	1 : 2,75	1 : 5
Fluid/Fly Ash Ratio	0,6	0,6 (w/c ratio)

Berikut merupakan hasil dari pengujian kuat tekan beton dari berbagai suhu:

**Grafik 2.2** Hasil Pengujian kuat tekan beton terhadap suhu

Dari grafik diatas, dapat diketahui bahwa geopolimer mempunyai kuat tekan yang lebih besar dari beton semen. Pada suhu ruang ke suhu 500⁰C nilai kuat tekan pada geopolimer sebesar 33,34%, sedangkan penurunan nilai kuat tekan pada beton semen sebesar 39,00%.



Grafik 2.3 Hasil Pengujian kuat tekan mortar terhadap suhu

Dari grafik diatas, dapat diketahui bahwa mortar geopolimer mempunyai kuat tekan yang lebih besar dari mortar beton semen. Pada suhu ruang ke suhu 500⁰C, penurunan nilai kuat tekan pada geopolimer sebesar 52,56%, sedangkan penurunan nilai kuat tekan pada mortar beton semen sebesar 76,37%.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa efek pembakaran pada geopolimer lebih kecil dari efek pembakaran pada beton semen. Dalam penelitian ini material lokal yang digunakan tidak sama seperti material yang digunakan pada penelitian yang sudah ada sebelumnya.

2.3 Bahan Penyusun

2.3.1 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.



Gambar 2. 5 Fly Ash Tipe C

b. Kelas F

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



Gambar 2. 6 Fly Ash Tipe F

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.



Gambar 2. 7 Fly Ash Tipe N

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.

2.3.2 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 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:

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

Dimana:

M = Molaritas yang diinginkan

Mr = Jumlah Ar dari unsur senyawa



Gambar 2. 8 Natrium Hidroksida

b. Natrium 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.



Gambar 2. 9 Sodium Silikat

2.3.3 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 pematangan.
3. Tipe C : Accelerating Admixture
Adalah bahan tambah yang digunakan untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton, bahan ini digunakan untuk mengurangi lama waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan beton.
4. Tipe D : Water Reducing and Retarding Admixtures

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

5. Tipe E: Water Reducing and Accelerating Admixtures

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

6. Tipe F : Water Reducing, High Range Admixture

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

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

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

Dalam penelitian ini superplaztilizer yang digunakan adalah Plastimen VZ dari Sika dengan fungsi untuk

memperlambat setting time dan mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan.

2.4 Perawatan

2.4.1 Diletakkan pada Suhu Ruang

Perawatan jenis ini berarti meletakkan benda uji pada suhu ruang berkisar 32°C , terhindar dari panas matahari dan air hujan secara langsung.

2.4.2 Dibakar pada suhu 200°C , 600°C , 1000°C .

Untuk merekayasa kondisi kebakaran pada beton, digunakan benda uji pasta geopolimer yang dimasukkan pada sebuah alat untuk membakar benda uji (*Furnace*) hingga 1000 derajat celcius selama 4 jam.

2.5 Pengujian

2.5.1 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)

2.5.2 Porositas

Pengujian porositas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya porositas. Semakin besar porositas pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya. Penelitian terhadap porositas lebih didasarkan dari segi keawetan dan kekuatan beton itu sendiri. Meningkatnya nilai porositas menunjukkan bahwa beton memiliki pori yang cukup besar akibat terjadinya penguapan air dan pemuai material pengisi beton. Hal ini merupakan salah satu penyebab turunya kualitas beton dalam memikul beban, khususnya kemampuan beton dalam memikul beban tekan. (Retno Angraini, 2008)

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)

W_{sw} = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gram)

W_d = Berat benda uji kering setelah dioven

2.5.3 XRD

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf.

2.5.4 XRF (X-Ray Fluorescence)

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.

2.5.5 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*)

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

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

$$V = \frac{L}{T}$$

Dimana :

- V = Kec. Rambat gelombang *ultrasonic* (km/sec)

- L = Jarak tempuh (mm)
- T = Waktu tempuh gelombang *ultrasonic* (sec)

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. 3 Klasifikasi kualitas rambat 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

F. Test Hammer

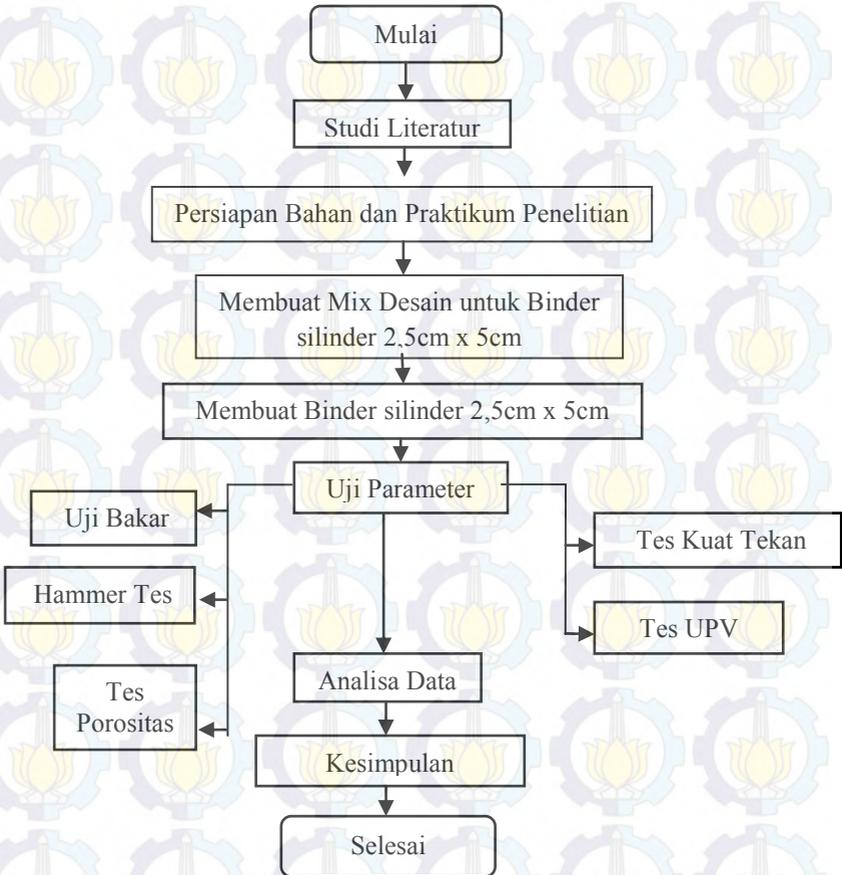
Hammer test yaitu suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Metode ini akan diperoleh cukup banyak data dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang murah. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban intact (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang 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". Alat ini sangat berguna untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur. Karena kesederhanaannya, pengujian dengan menggunakan alat ini sangat cepat, sehingga dapat mencakup area pengujian yang luas dalam waktu yang singkat.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi penelitian yang akan di lakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.1 Studi Literatur

Yang dilakukan pertama kali dalam menyusun tugas akhir ini adalah melakukan studi literatur mengenai beton *geopolymer* dan segala macam jurnal penelitian yang telah membahas masalah beton *geopolymer* sebelumnya. Studi Literatur terutama berasal dari laporan penelitian “*Development and Properties Of Low Calcium Fly Ash – Based Geopolymer Concrete*” (Hardjito and Rangan, 2005).

3.2 Persiapan Bahan dan Praktikum Laboratorium.

3.2.1 Fly Ash

Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai material dasar untuk pembuatan *geopolymer*. *Fly ash* yang digunakan berasal dari Petrokimia, Gresik, Jawa Timur. Untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam *fly ash* tersebut, akan dilakukan tes *XRD* (*X-Ray Diffraction*) dan *XRF* (*X-Ray Fluoresence*) di laboratorium.

3.2.2. Uji Komposisi Fly Ash

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

3.2.3 Jenis alkali aktivator

Jenis alkali aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Larutan sodium hidroksida yang digunakan yaitu larutan NaOH 6 M, 10 M dan 14 M.

Cara membuat 1 liter larutan NaOH 6 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$\begin{aligned} n &= M \times v \\ &= 1 \text{ liter} \times 6 \text{ mol/liter} \\ &= 6 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} n &= \text{jumlah mol zat terlarut} \\ M &= \text{kemolaran larutan} \\ v &= \text{volume larutan} \end{aligned}$$

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, $\text{Na}=23$, $\text{O}=16$, $\text{H}=1$)

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times M_r \\ &= 6 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\ &= 240 \text{ gram} \end{aligned}$$

2. Menimbang NaOH seberat 240 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc / liter
4. Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.
6. Diamkan selama 24 jam

Cara membuat 1 liter larutan NaOH 10 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$\begin{aligned} n &= M \times v \\ &= 1 \text{ liter} \times 10 \text{ mol/liter} \\ &= 10 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

v = volume larutan

M_r NaOH = 40 (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, Na=23, O=16, H=1)

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times M_r \\ &= 10 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\ &= 400 \text{ gram} \end{aligned}$$

2. Menimbang NaOH seberat 400 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc / liter
4. Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.
6. Diamkan selama 24 jam

Cara membuat membuat 1 liter larutan NaOH 14 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$\begin{aligned} n &= M \times v \\ &= 1 \text{ liter} \times 14 \text{ mol/liter} \\ &= 14 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

v = volume larutan

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, $\text{Na}=23$, $\text{O}=16$, $\text{H}=1$)

Massa NaOH = $n \text{ mol} \times M_r$
 = $14 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol}$
 = 560 gram

2. Menimbang NaOH seberat 560 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc / liter
4. Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.
6. Diamkan selama 24 jam

3.3 Membuat Mix Desain untuk Binder *Geopolymer* ukuran 25mm x 50mm

Dalam penelitian ini akan digunakan 3 buah variasi komposisi campuran beton yang terbagi menjadi 3 kelompok. Pengelompokan ini berdasarkan molaritas NaOH yang digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Natrium Hidroksida (NaOH) 6 M dengan perbandingan antara natrium hidroksida dengan natrium silikat 1:1,5
2. Natrium Hidroksida (NaOH) 10 M dengan perbandingan antara natrium hidroksida dengan natrium silikat 1:1,5
3. Natrium Hidroksida (NaOH) 14 M dengan perbandingan antara natrium hidroksida dengan natrium silikat 1:1,5

Setiap komposisi campuran tersebut, akan dibuat 9 benda uji. Mix desain binder *geopolymer* berukuran 25 x 50 mm² sebagai berikut :

a. Massa 1 silinder binder *geopolymer* ukuran 25 x 50 mm²

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 binder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 2,5^2 \times 5 \\ &= 24,54 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa 1 binder} &= \text{berat volume beton} \times \text{vol. beton} \\ &= 2,4 \text{ gr/cm}^3 \times 24,54 \text{ cm}^3 \\ &= 58,89 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa fly ash} &= 74\% \times \text{massa 1 binder} \\ &= 74\% \times 58,89 \text{ gram} \\ &= 43,58 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Menentukan massa aktivator

Direncanakan massa aktivator 26% dari massa 1 binder sedangkan perbandingan massa antara sodium silikat dengan sodium hidroksida sebagai contoh perhitungan direncanakan sebesar 1,5. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Massa aktivator} &= 26\% \times \text{massa 1 binder} \\ &= 26\% \times 58,89 \text{ gram} \\ &= 15,31 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Massa aktivator} = \text{massa sodium silikat} + \text{massa sodium hidroksida}$$

Sodium hidroksida yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 3 macam molaritas yaitu 6 M, 10 M dan 14 M. Untuk menentukan berapa besar massa sodium hidroksida dan sodium silikat yang digunakan, dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan sebagai berikut :

- Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 1,5$

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \longrightarrow 1 \text{ NaOH} = 1,5 \text{ Na}_2\text{SiO}_3$$

$$\frac{15,31}{15,31} = 1 \text{ NaOH} / 2,5$$

$$15,31 = 0,4 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = 6,12 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 9,19 \text{ gram}$$

3.4 Membuat Binder *Geopolymer* ukuran 25 mm x 50 mm

Setelah melakukan perhitungan mix desain seperti perhitungan di atas, maka selanjutnya yang akan dilakukan yaitu membuat binder *geopolymer*. Untuk setiap komposisi campuran, akan dibuat 3 benda uji dan tiap komposisi campuran akan dibakar pada suhu 200^0 C , 600^0 C , 1000^0 C .

Adapun data-data tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Komposisi Binder Geopolimer 6 Molar

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1 Binder (gram)	Fly Ash (gram)	Larutan NaOH 6 Molar (gram)	Na_2SiO_3
B 6 – 1.5	58,89	43,58	6,12	9,19

Tabel 3.2 Komposisi Binder Geopolimer 10 Molar

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1 Binder (gram)	Fly Ash (gram)	Larutan NaOH 10 Molar (gram)	Na_2SiO_3
B 10 – 1.5	58,89	43,58	6,12	9,19

Tabel 3.3 Komposisi Binder Geopolimer 14 Molar

Komposisi Binder Geopolimer	Massa 1 Binder (gram)	Fly Ash (gram)	Larutan NaOH 14 Molar (gram)	Na ₂ SiO ₃
B 14 – 1.5	58,89	43,58	6,12	9,19

Keterangan :

Kondisi I : Binder Dibakar pada suhu 200⁰ C

Kondisi II : Binder Dibakar pada suhu 600⁰ C

Kondisi III : Binder Dibakar pada suhu 1000⁰ C

Kondisi IV : Binder diletakkan disuhu ruang (32⁰ C)

Untuk kode penamaan benda uji digunakan sebagai berikut:

B6-0 : Binder 6 molar tanpa dibakar

B6-200 : Binder 6 molar Dibakar pada suhu 200⁰ C

B6-600 : Binder 6 molar Dibakar pada suhu 600⁰ C

B6-1000 : Binder 6 molar Dibakar pada suhu 1000⁰ C

B10-0 : Binder 10 molar tanpa dibakar

B10-200 : Binder 10 molar Dibakar pada suhu 200⁰ C

B10-600 : Binder 10 molar Dibakar pada suhu 600⁰ C

B10-1000 : Binder 10 molar Dibakar pada suhu 1000⁰ C

B14-0 : Binder 14 molar tanpa dibakar

B14-200 : Binder 14 molar Dibakar pada suhu 200⁰ C

B14-600 : Binder 14 molar Dibakar pada suhu 600⁰ C

B14-1000 : Binder 14 molar Dibakar pada suhu 1000⁰ C

3.5 Metode Pembuatan Benda Uji

- Pembuatan campuran beton

1) Persiapan Alat

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

1) Persiapan Peralatan

- a] *Mixer*, dalam tahap persiapan ini *Mixer* harus dibersihkan dulu, dipastikan bebas material – material lain yang tidak digunakan.
- b] Bekisting, sesuai dengan ukuran benda uji yang telah disebutkan di atas. Sebelum pencetakan, dinding – dinding bekisting diberi pelumas agar mempermudah sewaktu membuka bekisting.

2) Persiapan Bahan

a] *Fly Ash*

Fly Ash yang digunakan berasal dari PT. Petrokimia. Sebelum digunakan, *fly ash* terlebih dahulu diuji XRD untuk mengetahui tipe *fly ash* yang nantinya akan berpengaruh pada proses polimerisasi.



Gambar 3.2 Fly Ash

b] Alkali Aktivator

Aktivator yang digunakan pada percobaan ini adalah campuran natrium silikat dengan natrium hidroksida. Natrium hidroksida yang digunakan adalah yang sudah dicampur ke air dengan kadar kemolaran adalah 6M, 10M, dan 14M dilarutkan dalam natrium silikat yang berbentuk seperti cairan lem.



Gambar 3.3 Alkali Aktivator

3) Pembuatan Campuran Pasta (Mixing)

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

- 1) Memasukkan *Fly Ash* kedalam mixer sesuai dengan komposisi yang telah dihitung.



Gambar 3.4 Memasukkan Fly Ash Kedalam Mixer

- 2) Membuat larutan alkali aktivator. Masukkan Sodium Silikat yang sudah diukur sesuai perhitungan kedalam timba lalu masukan Sodium Hidroksida kedalam timba yang sudah berisi Sodium Silikat, aduk hingga kedua larutan tersebut menjadi homogen (biasanya ditandai dengan kenaikan suhu), kemudian tunggu sampai larutan aktivator dingin.
- 3) Masukkan alkali aktivator dan SP ke dalam mixer yg berisi *Fly Ash*, nyalakan hingga kedua larutan tersebut dalam kondisi homogen.



Gambar 3.5 Memasukkan Alkali Aktivator

- 4) Setelah campuran sudah menjadi homogen, tuangkan larutan tersebut ke dalam bekisting, kemudian tutup bekisting dan diamkan selama 24 jam.



Gambar 3.6 Memasukkan Adonan Kedalam Bekisting

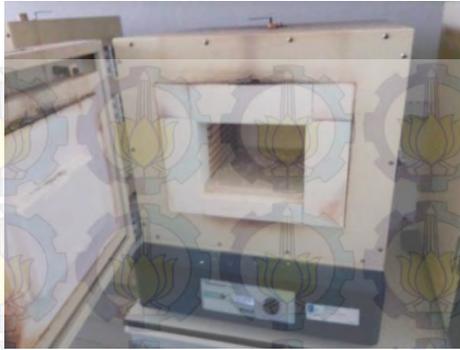
- 5) Buka cetakan bekisting, kemudian simpan pasta geopolimer selama 28 hari disuhu ruang (32°C)

3.5.1 Melakukan Curing untuk Binder Geopolymer ukuran 25 mm x 50 mm

Curing (perawatan) ini dilakukan untuk mencegah penguapan air yang berlebihan pada binder. Karena kandungan air atau pencampur dalam beton sangat mempengaruhi kekuatan dari beton itu sendiri. Curing ini dilakukan dengan cara menutupi sampel beton dengan plastik dan dibiarkan dalam suatu ruangan selama 28 hari.

3.6 Melakukan Uji Bakar

Uji bakar dilakukan dengan alat *furnace* yang ada di laboratium energi ITS. Proses pembakaran dilakukan selama 4 Jam. setelah itu binder didiamkan sampai dingin untuk proses pengetesan selanjutnya.



Gambar 3.7 Alat furnace

3.7 Uji UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity Test*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui mutu beton dan homogenitas beton. Pada penelitian beton digunakan frekuensi antara 50 sampai dengan 60 KHz.

Pulsa dari vibrasi longitudinal dihasilkan oleh electro accustical transducers, yang dihubungkan dengan salah satu permukaan beton yang diteliti. Setelah pulsa vibrasi longitudinal menyebrangi panjang (L) beton, pulsa vibrasi tersebut diubah menjadi signal elastik oleh transducers penerima dan *electronic timing circuit* mengubah waktu T dari pulsa yang diukur.

Untuk langkah-langkah dalam menggunakan uji UPV sebagai berikut:

1. Siapkan Alat UPV dan pelumas.
2. Ambil benda uji yang telah berumur 28 hari kemudian beri pelumas pada sisi atas dan bawahnya.
3. Pasang alat UPV ke benda uji, kemudian tekan start
4. Catat nilai V dan T pada bacaan UPV.



Gambar 3.8 Uji UPV

3.8 Melakukan test porositas binder

Pengujian porositas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya porositas. Semakin besar porositas pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya. Penelitian terhadap porositas lebih didasarkan dari segi keawetan dan kekuatan beton itu sendiri. Meningkatnya nilai porositas menunjukkan bahwa beton memiliki pori yang cukup besar akibat terjadinya penguapan air dan pemuaiian material pengisi beton. Hal ini merupakan salah satu penyebab turunya kualitas beton dalam memikul beban, khususnya kemampuan beton dalam memikul beban tekan. (Retno Anggraini, 2008)

Untuk mengetahui besar porositas pada binder digunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

- P = Total Porositi (%)
- W_{sa} = Berat benda uji jenuh air di udara (gr)
- W_{sw} = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gr)
- W_d = Berat benda uji setelah dioven pada suhu 105°C selama 24 jam (gr)

Untuk langkah-langkah dalam uji porositas sebagai berikut:

1. Siapkan vakum dan wadah untuk benda uji.
2. Ambil benda uji yang telah berumur 28 hari dan masukkan ke wadah kemudian vakum selama 24 jam.
3. Setelah di vakum dalam keadaan kering, tambahkan air ke wadah sampai benda uji terendam penuh kemudian vakum lagi selama 24 jam.
4. Ambil benda uji yang telah di vakum kemudian timbang di dalam air.
5. Setelah di timbang dalam air, kemudian timbang dalam keadaan SSD. Oven benda uji yang telah ditimbang selama 24 jam. kemudian timbang lagi dalam kondisi kering seluruhnya.



Gambar 3.9 Uji Porositas

3.9 Melakukan Test Hammer

Hammer test yaitu suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Metode ini akan diperoleh cukup banyak data dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang murah. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban intact (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". Alat ini sangat berguna untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur. Karena kesederhanaannya, pengujian dengan menggunakan alat ini sangat cepat, sehingga dapat mencakup area pengujian yang luas dalam waktu yang singkat.



Gambar 3.10 Hammer Test

3.10 Melakukan test kuat tekan binder

Test kuat tekan binder *geopolymer* ini akan dilakukan pada usia beton 28 hari. Untuk setiap tes kuat tekan, digunakan 3 benda uji dari setiap komposisi. Hal ini dilakukan untuk keakuratan data tes tekan masing masing komposisi.

Alat yang digunakan dalam melakukan test kuat tekan ini adalah *universal testing machine AU-5* dengan kapasitas beban 5 ton. Untuk mengetahui besar kuat tekan binder digunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

dimana :

σ = besar kuat tekan beton *geopolymer* (kg/cm²)

P = besar beban beton yang membebani beton *geopolymer* (kg)

A = luas yang terbebani oleh P (cm²)

G = percepatan gravitasi = 9,8 m/s



Gambar 3.11 Strenght Test



BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Umum

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

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

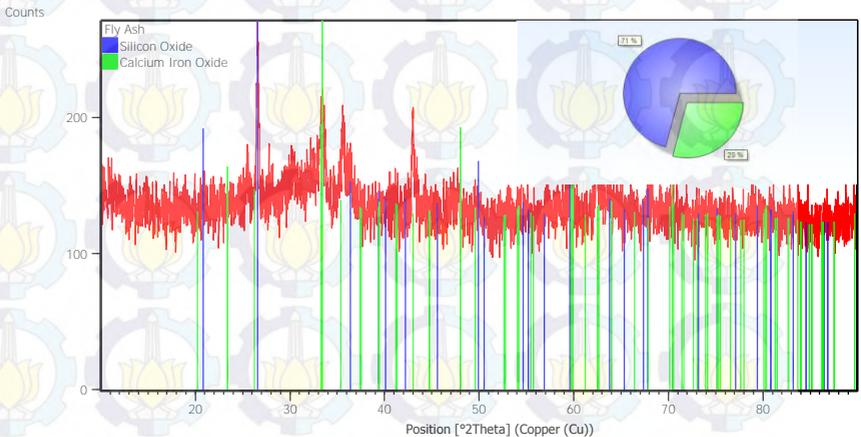
4.2 Bahan Penyusun

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

4.2.1 Fly ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Petrokimia Gresik. Sebelum digunakan sebagai bahan utama penyusun beton geopolimer, perlu dilakukan pengujian sebagai berikut:

4.2.1.1 X-Ray Diffraction



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-8938	38	Silicon Oxide	0.124	0.992	Si O ₂
*	01-070-6815	20	Calcium Iron Oxide	-0.171	0.467	Ca (Fe O ₃)

Gambar 4. 1 Hasil pengujian X-Ray Diffraction

Dari hasil pengujian XRD ini diketahui bahwa fly ash yang digunakan dalam penelitian ini bersifat amorf dengan kandungan SiO₂ + Ca(FeO₃) 58% sehingga untuk fly ash yang digunakan ini merupakan tipe C.

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	18,32
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
Ca(FeO ₃)	20,62
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.

4.3 Hasil Pengujian

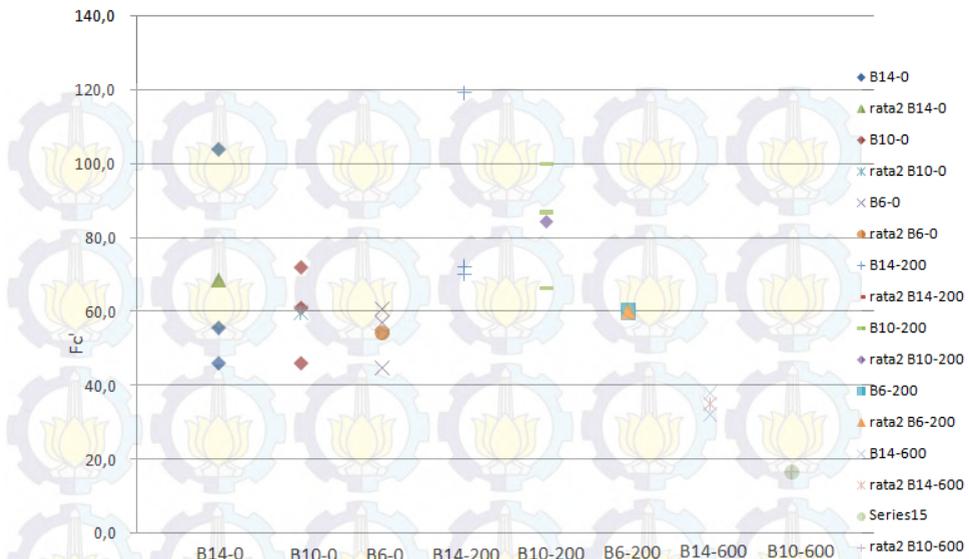
4.3.1 Kuat Tekan

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari pengujian kuat tekan pasta geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 2.5 cm x 5 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Pengujian kuat tekan ini dilakukan di laboratorium uji material teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer adalah sebagai berikut:

Table 4. 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	Kuat tekan	Kuat tekan	Rata-rata
			Kg	Mpa	Mpa
1	1	14-0	2780	55.6	
2	2	14-0	2300	46.0	68.5
3	3	14-0	5200	103.9	
4	1	10-0	3600	72.0	
5	2	10-0.	2300	46.0	59.6
6	3	10-0.	3050	61.0	
7	1	6-0.	3040	60.8	
8	2	6-0.	2850	57.0	54.2
9	3	6-0.	2240	44.8	
10	1	14-200	5960	119.1	
11	2	14-200	3608	72.1	87.1
12	3	14-200	3509	70.1	

No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	Kuat tekan	Kuat tekan	Rata-rata
			Kg	Mpa	Mpa
13	1	10-200	3309	66.1	
14	2	10-200	4343	86.8	84.3
15	3	10-200	5000	99.9	
16	1	6-200	3020	60.4	
17	2	6-200	2980	59.6	60.0
18	3	6-200	3000	60	
19	1	14-600	1600	32.0	
20	2	14-600	1750	35	35.0
21	3	14-600	1900	38.0	
22	1	10-600	830	16.6	
23	2	10-600	0	0	16.6
24	3	10-600	0	0	
25	1	6-600	0	0	
26	2	6-600	0	0	0
27	3	6-600	0	0	
28	1	14-1000	0	0	
29	2	14-1000	0	0	0
30	3	14-1000	0	0	
31	1	10-1000	0	0	
32	2	10-1000	0	0	0
33	3	10-1000	0	0	
34	1	6-1000	0	0	
35	2	6-1000	0	0	0
36	3	6-1000	0	0	

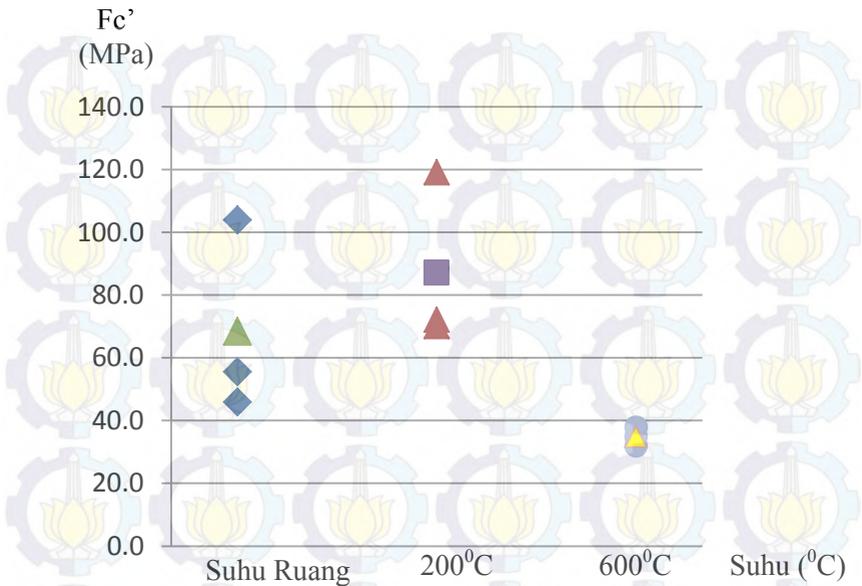


Grafik 4. 1 Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dari berbagai perawatan

Dari grafik 4.1 diketahui bahwa kuat tekan benda uji yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan mengalami penurunan kekuatan pada suhu pembakaran 600°C atau 1000°C .

Dari data yang didapatkan, hasil rata-rata kuat tekan dapat dianalisa menurut molaritas dan suhu yang berbeda sebagai berikut:

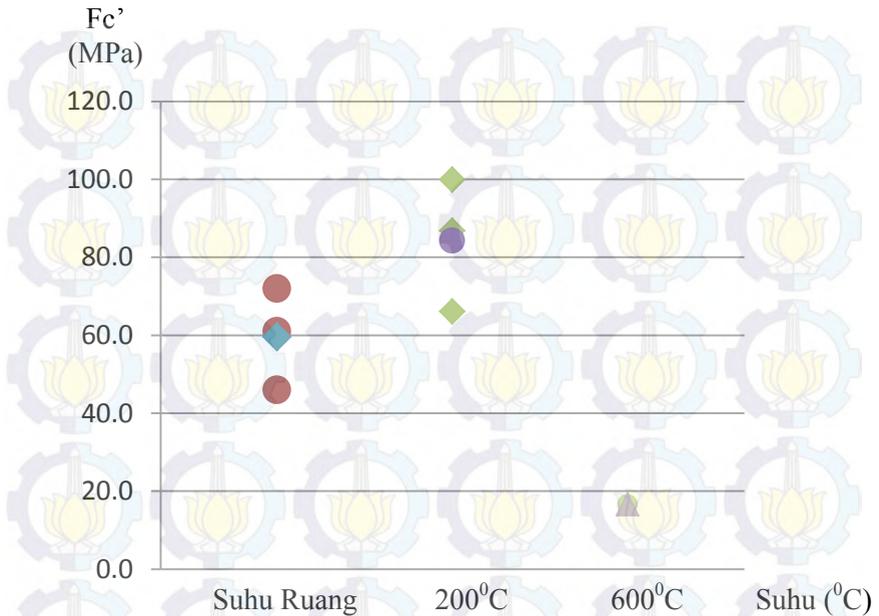
a. Molar 14



Grafik 4. 2 Kuat tekan pasta geopolimer 14 molar dari berbagai perawatan

Dari grafik 4.2 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji pasta geopolimer 14 molar yang dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan mengalami penurunan kekuatan pada suhu pembakaran 600°C atau 1000°C. Kenaikan pada suhu 200°C sebesar 27%, kembali turun 60% pada suhu 600°C dan benda uji hancur ketika dibakar dengan suhu 1000°C.

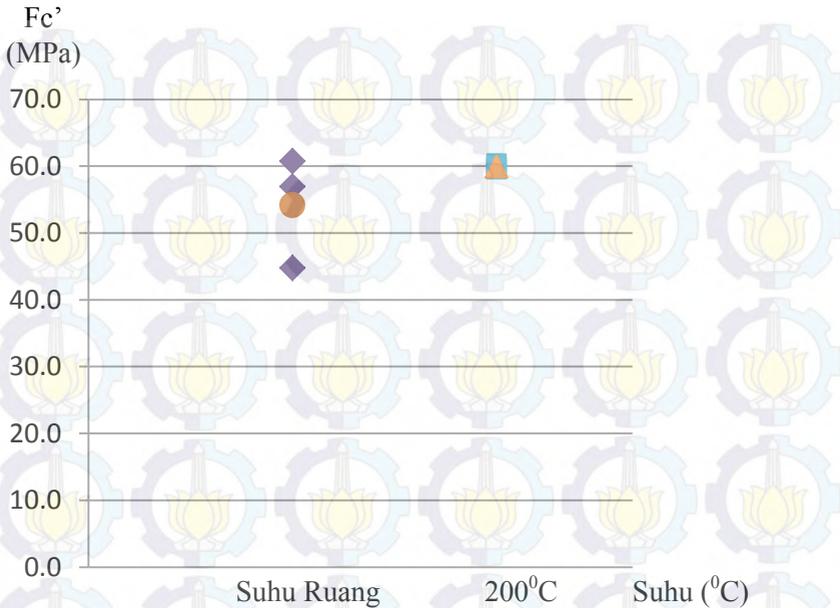
b. Molar 10.



Grafik 4.3 kuat tekan pasta geopolimer 10 molar dari berbagai perawatan

Dari grafik 4.3 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji pasta geopolimer 10 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan mengalami penurunan kekuatan pada suhu pembakaran 600°C atau 1000°C. Kenaikan pada suhu 200°C sebesar 41%, kembali turun 80% pada suhu 600°C dan benda uji hancur ketika dibakar dengan suhu 1000°C.

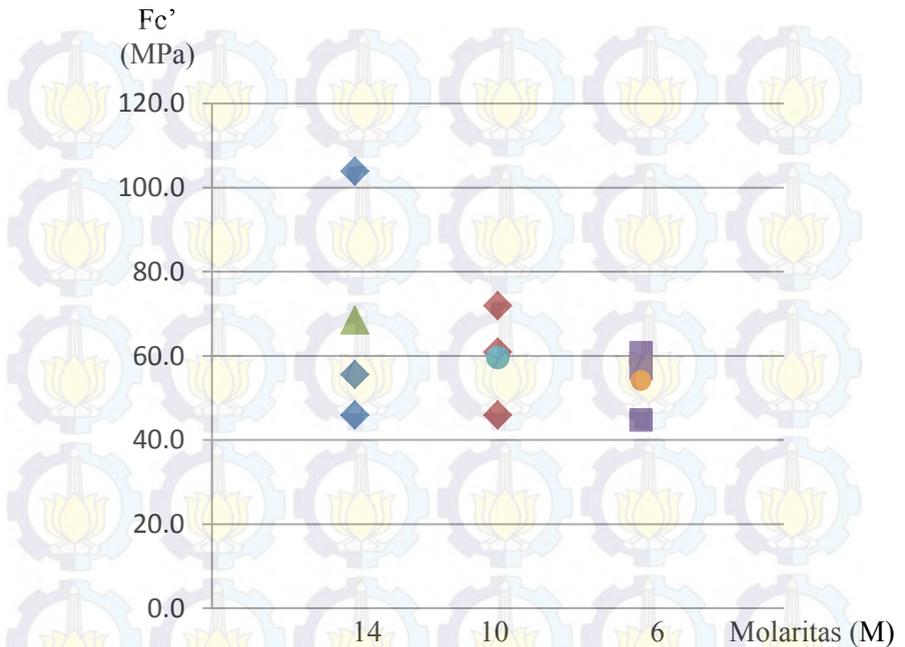
c. Molar 6.



Grafik 4. 4 Kuat tekan pasta geopolimer 6 molar dari berbagai perawatan

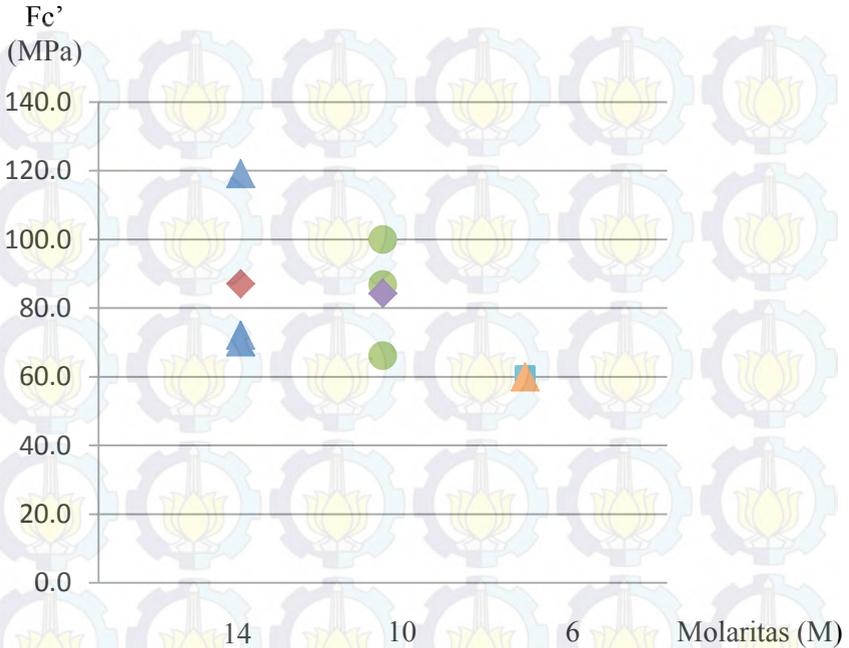
Dari grafik 4.4 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji pasta geopolimer 6 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan benda uji hancur pada suhu pembakaran 600°C atau 1000°C. Kenaikan pada suhu 200°C sebesar 11% .

d. Suhu Ruang



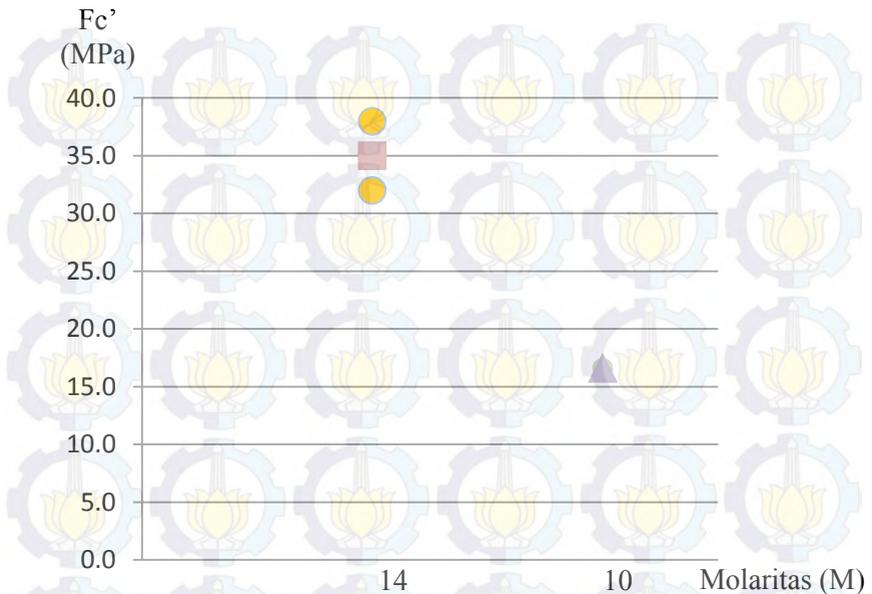
Grafik 4. 5 Kuat tekan pasta geopolimer suhu ruang dari molar yang berbeda

Dari grafik 4.5 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan suhu ruang kuat tekannya akan semakin meningkat apabila molar pada aktifator di perbesar. Kenaikan pada 6 molar ke 10 molar sebesar 9% dan 10 molar ke 14 molar mengalami kenaikan 13%. Kuat tekan tertinggi di suhu ruang adalah 14 molar.

e. Suhu 200⁰C

Grafik 4. 6 Kuat tekan pasta geopolimer suhu 200⁰C dari molar yang berbeda

Dari grafik 4.6 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan dibakar suhu 200⁰C kuat tekannya akan memiliki pola yang berbeda dengan suhu normal. Pada 6 molar ke 10 molar mengalami penurunan kuat tekan sebesar 7% dan 10 molar ke 14 molar mengalami kenaikan 3%. Kuat tekan tertinggi di suhu 200⁰C adalah 14 molar.

f. Suhu 600⁰C

Grafik 4.7 Kuat tekan pasta geopolimer suhu 600⁰C dari molar yang berbeda

Dari grafik 4.7 diketahui bahwa rata-rata kuat tekan benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan dibakar suhu 600⁰C kuat tekannya akan semakin meningkat apabila molar pada aktifator di perbesar. Pada 6 molar benda uji hancur dan 10 molar ke 14 molar mengalami kenaikan 68% . Kuat tekan tertinggi di suhu 600⁰C adalah 14 molar.

4.3.2 Porositas

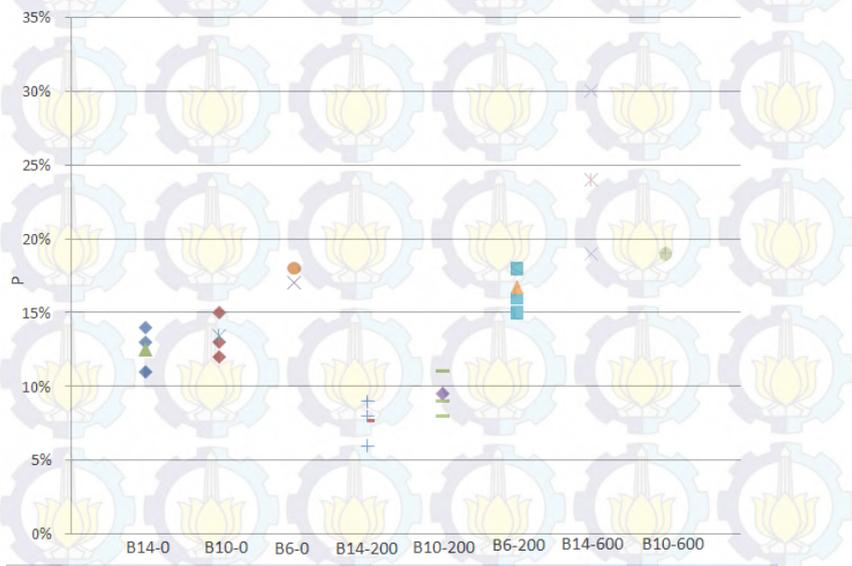
Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari pengujian kuat tekan pasta geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 2.5 cm x 5 cm yang dirawat dengan kondisi tertentu. Pengujian porositas merupakan pengujian untuk mengetahui kadar pori dari

suatu pasta, dimana semakin besar kadar porinya maka semakin rendah mutu beton itu dan tingkat keawetan juga semakin rendah. 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. 3 Hasil Pengujian Porositas Beton Geopolimer

No	Kode benda uji	Kode perawatan (molar-suhu)	Berat Jenuh di Udara (gram)	Berat Jenuh di Air (gram)	Berat SSD (gram)	Porositas (%)	Rata-rata (%)
1	1	14-0	48.7	0.029	51.6	13%	
2	2	14-0	50.1	0.03	53.2	14%	12.50%
3	3	14-0	50.5	0.029	53.2	11%	
4	1	10-0	48.1	0.029	50.7	12%	
5	2	10-0.	49.1	0.03	51.9	13%	13.40%
6	3	10-0.	47.5	0.032	50.3	15%	
7	1	6-0.	47.2	0.028	51.1	17%	
8	2	6-0.	48.7	0.029	53.2	19%	18%
9	3	6-0.	47.3	0.028	51.5	18%	
10	1	14-200	46.7	0.023	48.2	6%	
11	2	14-200	45.8	0.026	47.5	8%	7.70%
12	3	14-200	46.7	0.026	48.8	9%	
13	1	10-200	45.8	0.027	48.1	11%	
14	2	10-200	47.2	0.027	49.0	8%	9.50%
15	3	10-200	46.6	0.027	48.5	9%	
16	1	6-200	45.9	0.028	49.2	15%	
17	2	6-200	45.4	0.028	49.3	18%	16.70%
18	3	6-200	45.6	0.028	49.0	16%	

No	Kode benda uji	Kode perawatan (molar-suhu)	Berat Jenuh di Udara (gram)	Berat Jenuh di Air (gram)	Berat SSD (gram)	Porositas (%)	Rata-rata (%)
19	1	14-600	41.4	0.03	46.2	30%	
20	2	14-600	42.5	0.029	46.7	24%	24%
21	3	14-600	43.5	0.03	46.7	19%	
22	1	10-600	42.4	0.026	46.2	19%	
23	2	10-600	0	0	0	0%	19%
24	3	10-600	0	0	0	0%	
25	1	6-600	0	0	0	0%	
26	2	6-600	0	0	0	0%	0%
27	3	6-600	0	0	0	0%	

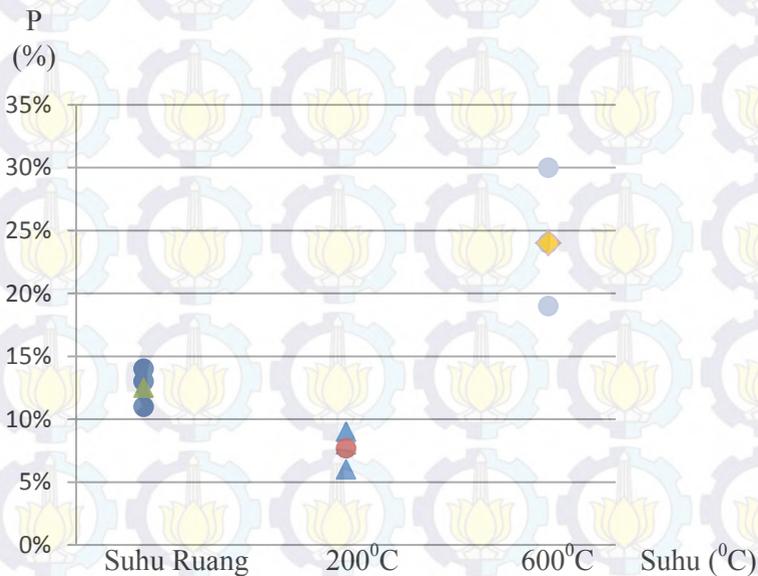


Grafik 4. 8 Hasil uji porositas beton geopolimer dengan berbagai perawatan

Dari grafik 4.8 diketahui bahwa nilai porositas benda uji yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki tingkat porositas yang lebih rendah daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan mengalami peningkatan pada suhu pembekaran 600°C .

Dari data yang didapatkan, maka dapat dibandingkan hasil porositas benda uji pasta geopolimer dianalisa menurut molaritas yang berbeda dengan kombinasi perawatan benda uji sebagai berikut :

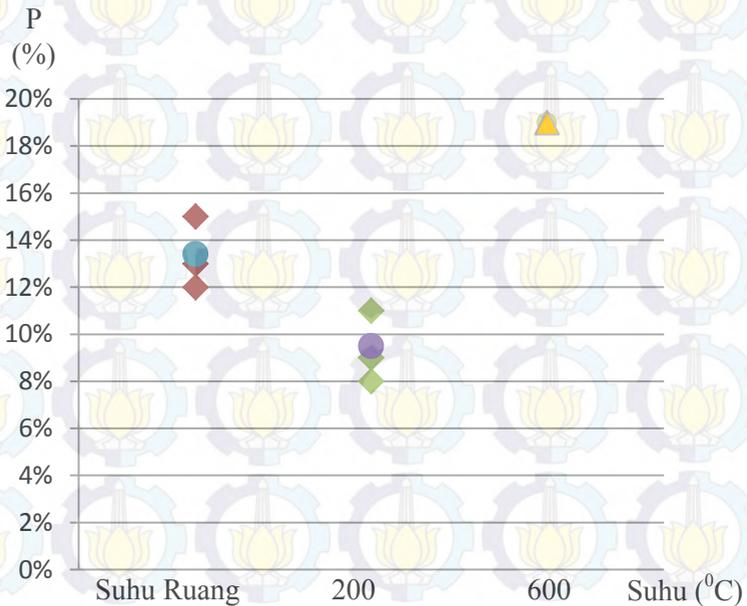
a. Molar 14.



Grafik 4. 9 Hasil uji porositas pasta geopolimer 14 molar dari berbagai perawatan

Dari grafik 4.9 diketahui bahwa rata-rata porositas benda uji pasta geopolimer 14 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki porositas yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan mengalami peningkatan porositas pada suhu pembakaran 600°C atau 1000°C .

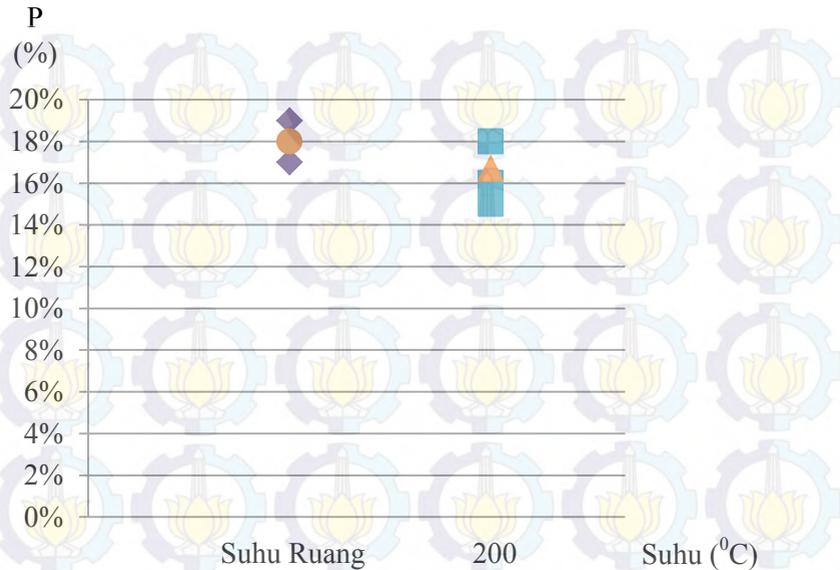
b. Molar 10



Grafik 4. 10 Hasil uji porositas pasta geopolimer 10 molar dari berbagai perawatan

Dari grafik 4.10 diketahui bahwa rata-rata porositas benda uji pasta geopolimer 10 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki porositas yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan mengalami peningkatan porositas pada suhu pembakaran 600°C .

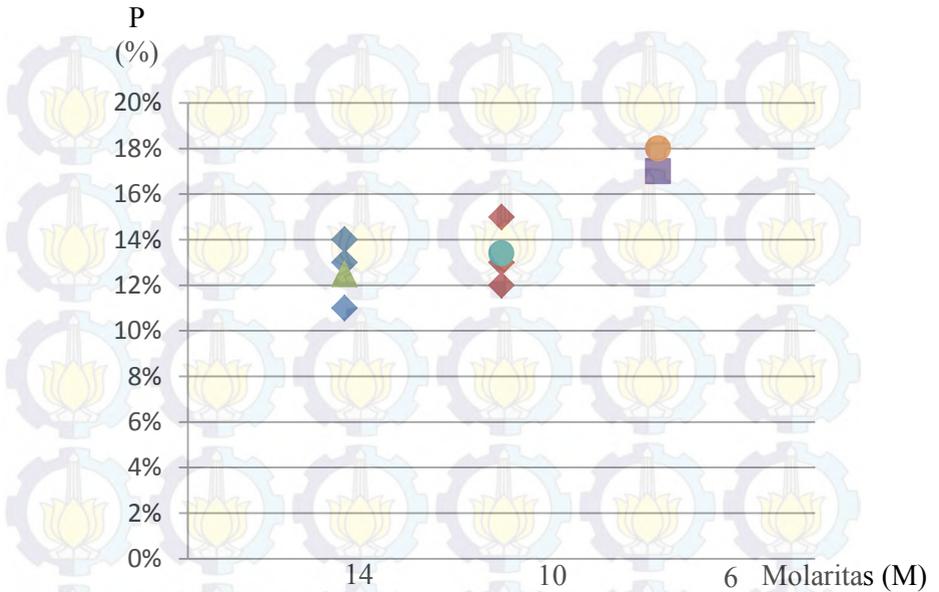
c. Molar 6



Grafik 4. 11 Hasil uji porositas pasta geopolimer 6 molar dari berbagai perawatan

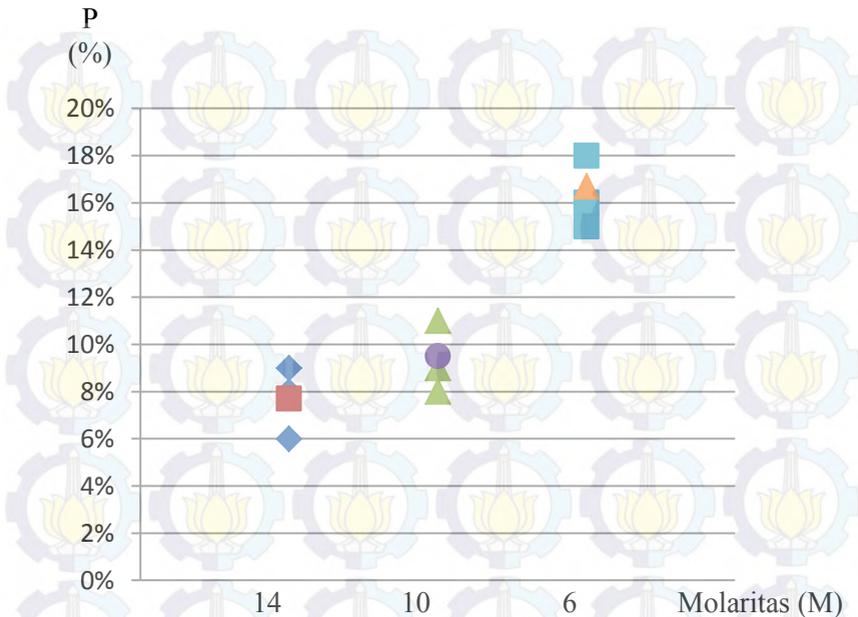
Dari grafik 4.11 diketahui bahwa rata-rata porositas benda uji pasta geopolimer 6 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki porositas yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang.

d. Suhu Ruang



Grafik 4. 12 Hasil uji porositas pasta geopolimer suhu ruang dari molar yang berbeda

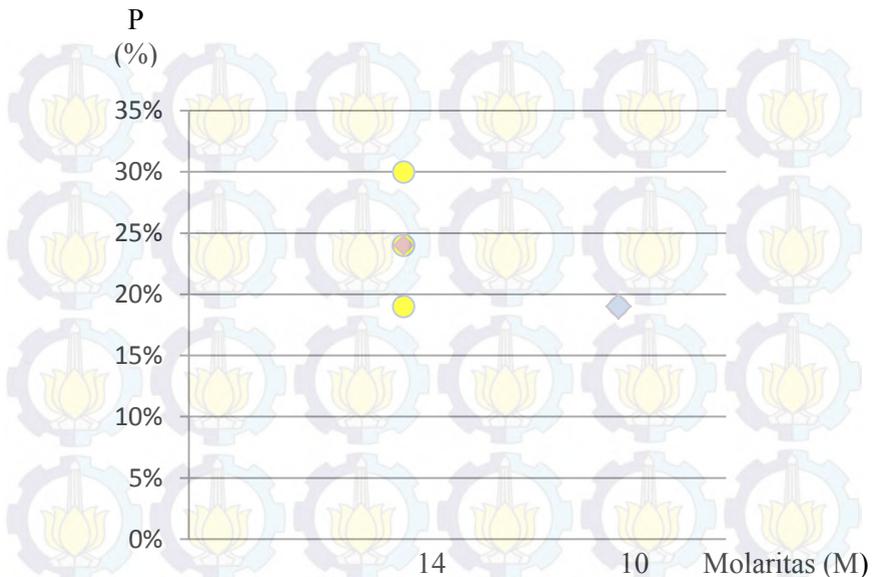
Dari grafik 4.12 diketahui bahwa rata-rata porositas benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan suhu ruang porositas pada 6 molar ke 10 molar mengalami penurunan sebesar 34% dan 10 molar ke 14 molar mengalami penurunan 7% . Porositas terendah di suhu ruang adalah 14 molar.

e. Suhu 200⁰C

Grafik 4. 12 Hasil uji porositas pasta geopolimer suhu 200⁰C dari molar yang berbeda

Dari grafik 4.13 diketahui bahwa rata-rata porositas benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan suhu ruang porositas pada 6 molar ke 10 molar mengalami penurunan sebesar 76% dan 10 molar ke 14 molar mengalami penurunan 22%. Porositas terendah di suhu 200⁰C adalah 14 molar.

f. Suhu 600°C



Grafik 4. 14 Hasil uji porositas pasta geopolimer suhu 600°C dari molar yang berbeda

Dari grafik 4.14 diketahui bahwa rata-rata porositas benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan dibakar suhu 600°C porositas pada 6 molar benda uji hancur dan 10 molar ke 14 molar mengalami kenaikan 21% . porositas tertinggi di suhu 600°C adalah 10 molar.

4.3.3 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari UPV beton geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 2.5 cm x 5 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 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)
Pasta Geopolimer

No	Kode Benda	Kode Perawatan	T	L	V	Rata-rata
	Uji		(μ s)	(m)	(m/s)	
1	1	14-0	25	0.05	2000	2053.3
2	2	14-0	24.9	0.05	2010	
3	3	14-0	23.3	0.05	2150	
4	1	10-0	15	0.05	3330	2696.7
5	2	10-0.	15	0.05	3330	
6	3	10-0.	35	0.05	1430	
7	1	6-0.	25.3	0.05	1980	1606.7
8	2	6-0.	34	0.05	1470	
9	3	6-0.	36.6	0.05	1370	
10	1	14-200	18.8	0.05	2660	2196.7
11	2	14-200	21.7	0.05	2300	
12	3	14-200	30.7	0.05	1630	
13	1	10-200	39.5	0.05	1270	2003.3
14	2	10-200	19.7	0.05	2540	
15	3	10-200	22.7	0.05	2200	
16	1	6-200	20.4	0.05	2450	2103.3
17	2	6-200	25.8	0.05	1940	
18	3	6-200	26	0.05	1920	
19	1	14-600	23.6	0.05	2120	1950
20	2	14-600	25.85	0.05	1950	
21	3	14-600	28.1	0.05	1780	
22	1	10-600	31.2	0.05	1600	1600
23	2	10-600	0	0.05	0	
24	3	10-600	0	0.05	0	

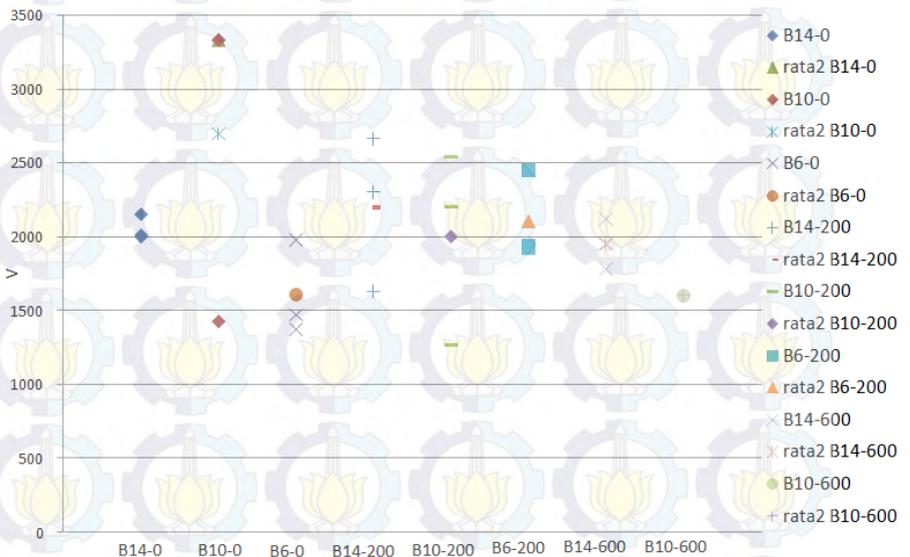
No	Kode Benda Uji	Kode Perawatan	T	L	V	Rata-rata
			(μs)	(m)	(m/s)	
25	1	6-600	0	0.05	0	0
26	2	6-600	0	0.05	0	
27	3	6-600	0	0.05	0	

Dimana :

T = Waktu tempuh (μs)

L = Jarak tempuh yang merupakan tinggi benda uji (m)

V = Kecepatan tempuh (m/s)



Grafik 4. 15 Hasil uji UPV beton geopolimer dari berbagai kombinasi perawatan

Dari data yang didapatkan, maka dapat dianalisa hasil UPV benda uji pasta geopolimer dianalisa menurut molaritas dan suhu yang berbeda sebagai berikut :

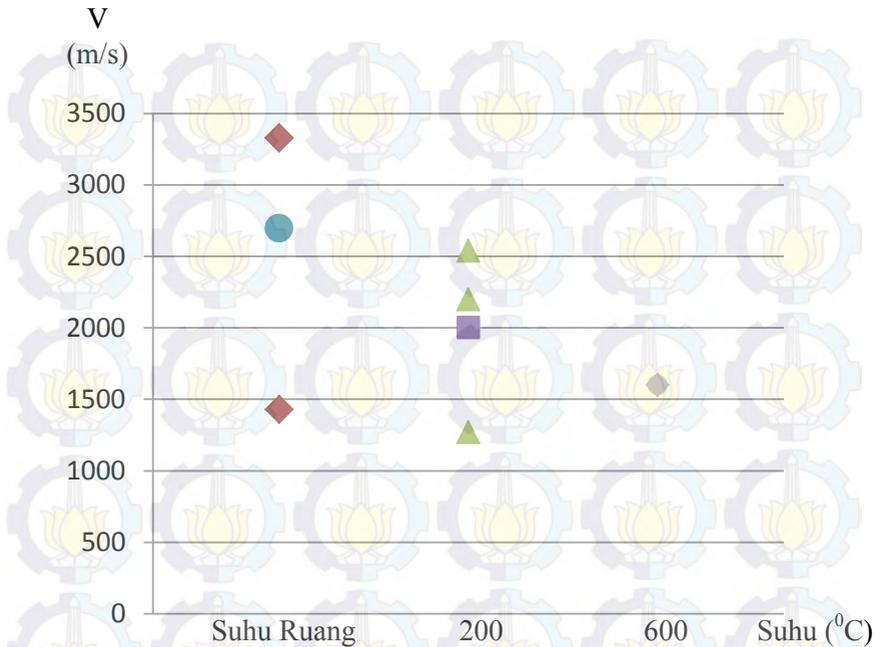
a. Molar 14



Grafik 4. 16 Hasil uji UPV pasta geopolimer 14 molar dari berbagai perawatan

Dari grafik 4.16 diketahui bahwa rata-rata hasil UPV benda uji pasta geopolimer 14 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki hasil UPV yang lebih besar daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan mengalami penurunan pada suhu pembakaran 600°C. Kenaikan pada suhu 200°C sebesar 7%, kembali turun 11% pada suhu 600°C.

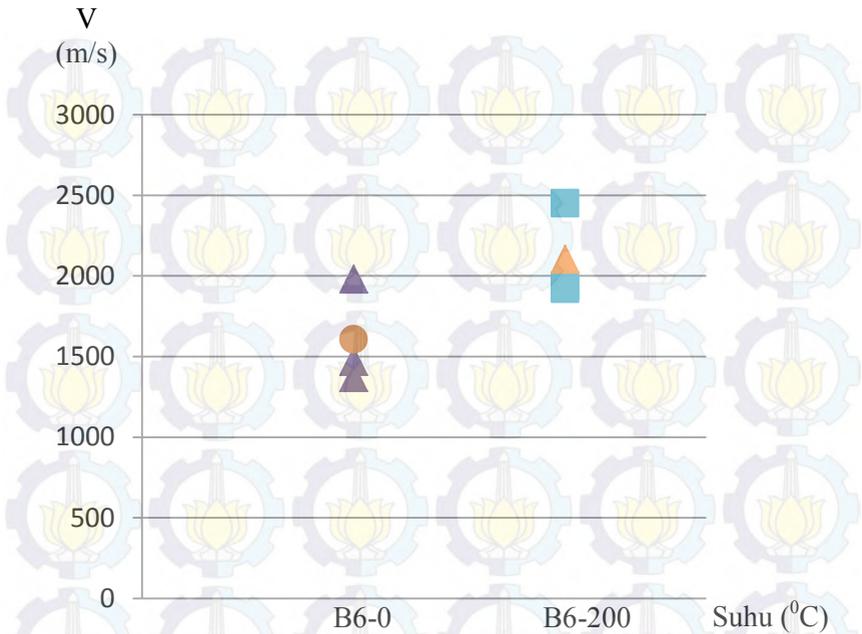
b. Molar 10.



Grafik 4. 17 Hasil uji UPV pasta geopolimer 10 molar dari berbagai perawatan

Dari grafik 4.17 diketahui bahwa rata-rata hasil UPV benda uji pasta geopolimer 10 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki hasil UPV yang lebih kecil daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang dan 600°C . Penurunan pada suhu 200°C sebesar 26% ,kembali turun 20% pada suhu 600°C .

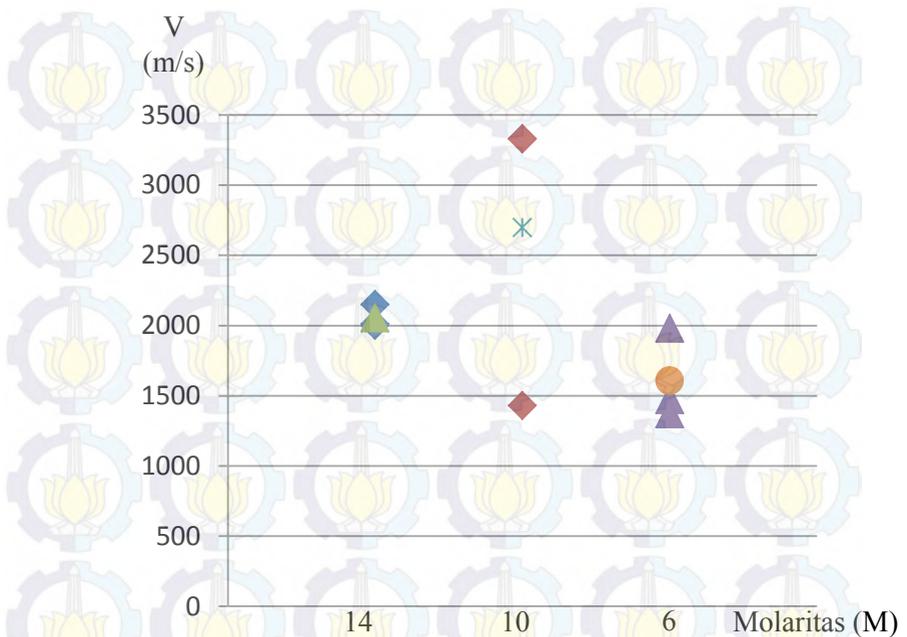
c. Molar 6.



Grafik 4.18 Hasil uji UPV pasta geopolimer 6 molar dari berbagai perawatan

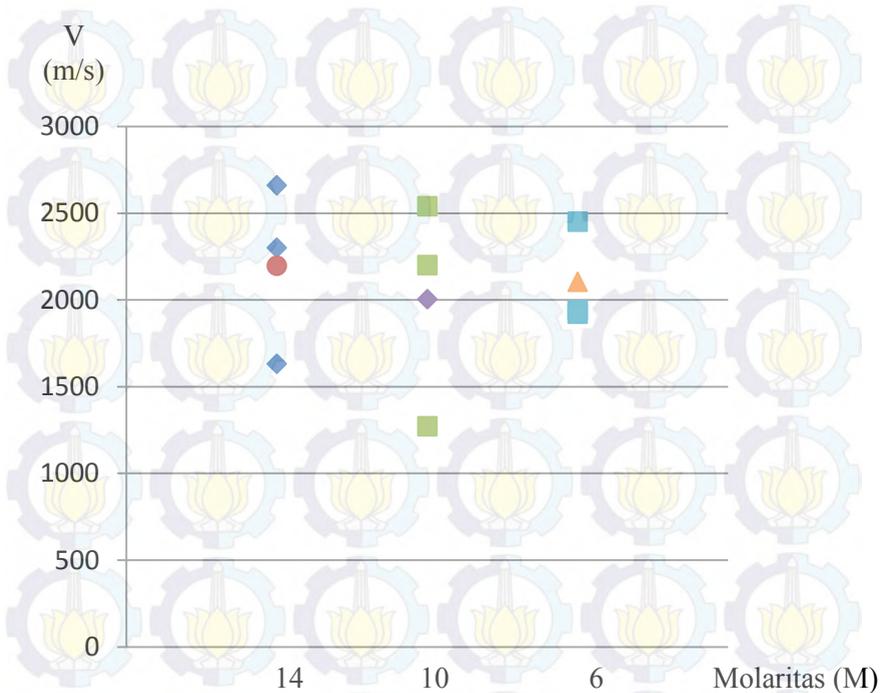
Dari grafik 4.18 diketahui bahwa rata-rata hasil UPV benda uji pasta geopolimer 6 molar yang dirawat dengan dibakar dengan suhu 200°C selama 4 jam memiliki hasil UPV yang lebih besar daripada benda uji yang dirawat dengan suhu ruang. Kenaikan pada suhu 200°C sebesar 31% .

d. Suhu Ruang



Grafik 4. 19 Hasil uji UPV pasta geopolimer suhu ruang dari molar yang berbeda

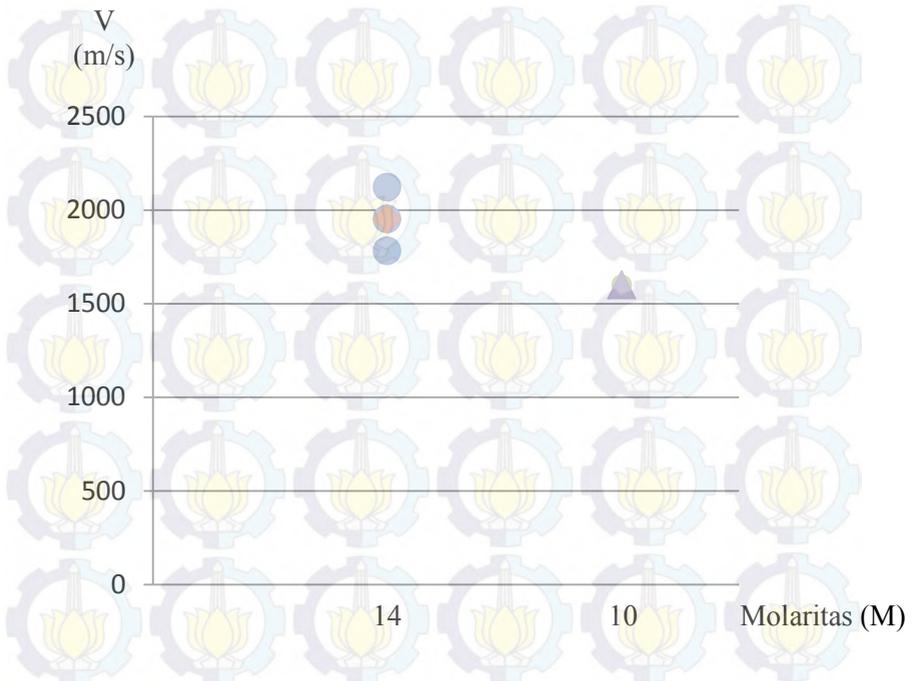
Dari grafik 4.19 diketahui bahwa rata-rata UPV benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan suhu ruang UPV pada 6 molar ke 10 molar mengalami kenaikan sebesar 40% dan 10 molar ke 14 molar mengalami penurunan 31%. UPV tertinggi di suhu ruang adalah 10 molar.

e. Suhu 200⁰C

Grafik 4. 20 Hasil uji UPV pasta geopolimer suhu 200⁰C dengan molar yang berbeda

Dari grafik 4.20 diketahui bahwa rata-rata UPV benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan suhu 200⁰C UPV pada 6 molar ke 10 molar mengalami penurunan sebesar 5% dan 10 molar ke 14 molar mengalami kenaikan 9%. UPV tertinggi di suhu 200⁰C adalah 14 molar.

f. Suhu 600°C



Grafik 4. 21 Hasil UPV pasta geopolimer suhu 600°C dengan molar yang berbeda

Dari grafik 4.21 diketahui bahwa rata-rata UPV benda uji pasta geopolimer yang dirawat dengan dibakar suhu 600°C UPV pada 6 molar benda uji hancur dan 10 molar ke 14 molar mengalami kenaikan 18% . UPV tertinggi di suhu 600°C adalah 14 molar.

4.3.4 Hammer Test

Pada sub bab ini akan diuraikan hasil dari hammer test beton geopolimer dengan benda uji berbentuk silinder 5 cm x 5 cm yang dirawat dengan kombinasi tertentu. Hammer test ini dilakukan di laboratorium uji material diploma teknik sipil FTSP ITS. Adapun hasil hammer test pasta geopolimer adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Hammer Test

Pada pengujian dengan benda uji pasta geopolimer 14 molar berbentuk kubus dengan sisi 5cm hancur akibat alat uji hamer. Benda uji hancur pada pukulan pertama. Sehingga tidak didapatkan nilai dari mutu pasta geopolimer dengan alat uji hammer test yang seharusnya benda uji minimal dapat menerima 10 pukulan untuk bisa mendapatkan hasil dari mutu beton tersebut

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dengan benda uji silinder dan benda uji kubus ini dapat disimpulkan bahwa:

- Pasta geopolimer (6, 10 dan 14 molar) pada suhu normal semakin tinggi molarnya akan mengalami peningkatan kuat tekan , porositasnya juga semakin rendah jika molarnya diperbesar . Akan tetapi berbeda dengan percobaan UPV, hasil percobaan UPV pada 10 molar lebih besar dari pada 14 molar.
- Kuat tekan pasta geopolimer (6,10 dan 14 molar) pada suhu 200°C mengalami kenaikan, kembali turun kekuatannya pada suhu 600°C dan benda uji rusak pada suhu 1000°C . kuat tekan tertinggi adalah benda uji dengan 14 molar dan dibakar pada suhu 200°C (14-200).
- Porositas pasta geopolimer (6,10 dan 14 molar) pada suhu 200°C mengalami penurunan dan kembali naik porositasnya pada suhu 600°C . porositas terkecil adalah benda uji dengan 14 molar dan dibakar pada suhu 200°C (14-200).
- UPV pasta geopolimer (6 dan 14 molar) pada suhu 200°C mengalami kenaikan dan kembali turun pada suhu 600°C . berbeda dengan pasta geopolimer 10 molar yang cenderung mengalami penurunan disetiap suhu pembakaran. UPV terbesar adalah pada benda uji dengan 10 molar dan terdapat pada suhu ruang (10-0).
- Pengujian hammer test tidak bisa dilakukan karena benda uji kuat tekan dan ukuran benda uji terlalu kecil .

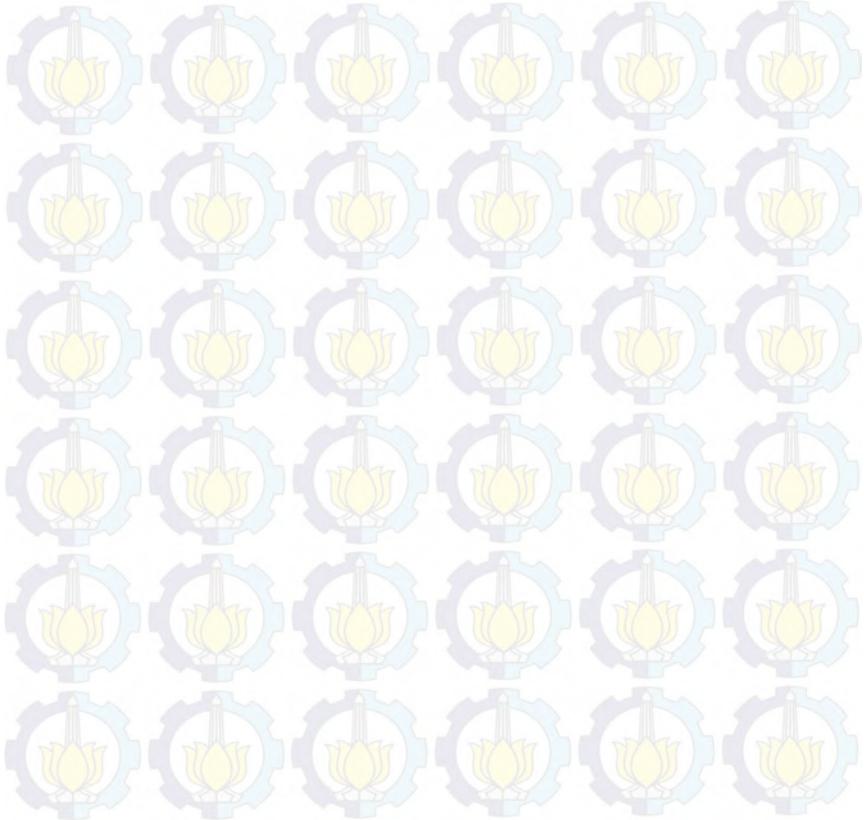
5.2 Saran

1. Mengganti fly ash tipe F untuk menaikkan kuat tekan, karena memiliki kandungan Si dan Al lebih banyak.
2. Proses pembuatan benda uji harus lebih hati-hati dan presisi, agar data yang didapatkan valid.
3. Perlu ditingkatkan pengujian benda uji pada beton geopolimer.
4. Membandingkan dengan pengaruh suhu tinggi terhadap pasta semen portland.

DAFTAR PUSTAKA

1. Davidovits, J., 1994. *Properties of Geopolymer Cements. Geopolymer Institute. France : Saint-Quentin*
2. D. Hardjito., Steenie E. Wallah., Dody M.J Sumajouw., B.V Rangan, Sep 2004. **“Factors Influencing the Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete”**. Jurnal Dimensi Teknik Sipil 6, 2:88-93
3. Hardjito, Djwantoro and Rangan, B.V. (2005). **“Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash – Based Geopolymer Concrete”**. *Research Report GC I Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia.*
4. Neville A. M., 1975, **“Properties of Concrete”**, *The English Language Book Society & Pitman Publishing, London*
5. Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil ITS, (1995). **Praktikum Teknologi Beton, Petunjuk Praktikum, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya**
6. Tjokrodimuljo, Kardiono. 1996. **Teknologi Beton, Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.**
7. Srie Subekti, 2009. **“Ketahanan Kuat Tekan Pasta Geopolymer Molaritas 8 Mol dan 12 Mol terhadap Agresifitas NaCl”**.
8. Suhendro B., 1999, **“Dasar-Dasar Metode Penaksiran Kekuatan Sisa Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran”**, *Studium General Analisis Struktur Gedung Pasca Kebakaran, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.*
9. Triyono A., 1998, **”Analisis Degradasi Dan Perbaikan Struktur Beton Pasca Kebakaran”**, *Studium General Analisis Struktur Gedung Pasca Kebakaran, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

10. Shweta Mane, H.S. Jadhav. 2012, “ **Investigation of Geopolymer Mortar and Concrete Under High Temperature**”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.
11. Daniel L.Y. Kong, Jay G. Sanjayan.2010. “**Effect Of Elevated Temperatures On Geopolymer Paste, Mortar And Concrete**”, *Cement and Concrete Research* 40,334–339.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1

Logbook pekerjaan praktikum

Lampiran 2

Perhitungan Mix Design

Lampiran 3

Hasil Uji XRF

Lampiran 4

Hasil Uji XRD

Lampiran 5

Hasil Uji SEM Fly Ash

Lampiran 6

Hasil Uji SEM Binder

Lampiran 7

Alat dan Bahan

Lampiran 1

no	tanggal	kegiatan	kendala	absen	dokumentasi
1	3/9/2015	survey furnish di lab energi		taufan k fathirul r	
2	20/9/2015	ambil fly ash. Fly ash tersebut diambil di lab beton sipil ITS. Dan fly ash di produksi oleh petro	Wadah untuk mengangku fly ash tidak ada, dan akomodasi dari kampus ITS sukolilo ke ITS	taufan k fathirul r	

		kimia gresik	manyar terlampau jauh	
3	21/0/2015	pembelian bahan kimia di daerah took kimia tidar surabaya		taufan k fathirul r
4	6/10/2015	persiapan pembuatan bahan uji (latihan pembuatan)		taufan k fathirul r



5

7/10/2015

percobaan
pembuatan
bahan uji

Waktu
seting time
terlalu
cepat.
Sengga
pasta
geopolimer
mengeras
terlalu
cepat dan
menyulitka
n ketika
penuangan
pasta ke
bekisting

taufan k
fathirul r



6	8/10/2015	uji tekan benda uji	kuat tekan terlalu kecil (130N)	taufan k fathirul r	
7	9/10/2015	UJI tekan benda uji	Alat uji rusak sehingga dial berhenti pada angka 130 N	taufan k fathirul r	

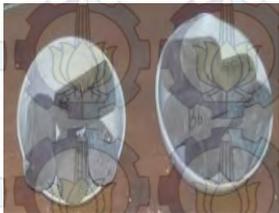
8	15/10/2015	Membuat benda uji dengan molar 6, 10 dan 14. dengan ukuran 2,5cm x 5 cm		taufan k fathirul r	
9	16/10/2015	Membuat benda uji dengan molar 6, 10 dan 14. dengan ukuran 2,5cm x 5 cm		taufan k fathirul r	

10	20/10/2015	Membuat benda uji dengan molar 6, 10 dan 14 untuk ukuran kubus 5 x5 cm		taufan k fathirul r	
11	26/11/2015	Survey tempat pengujian furnish, XRF dan SEM	untu pengujian SEM , ITS tidak memiliki alatnya	taufan k fathirul r	

12	27/11/2015	Survey tempat pengujian furnish,XRD, XRF dan SEM	penjaga lab material metalurgi (XRD) sedang tidak ada	taufan k fathirul r
13	4/11/2015	mengirim sample fly ash dan abu ampas tebu (XRF)		taufan k fathirul r



14	5/11/2015	uji XRD di laboratorium material metalurgi ITS		taufan k fathirul r	
15	13/11/2015	Uji furnish suhu 200,600,100 0 derajat celcius. Pengujian ini di lakukan di lab energy ITS	cawan untuk alas furnish kurang 1	taufan k fathirul r	

16	15/11/2015	<p>membawakan cawan untuk alas uji furnish. Cawan tersebut berfungsi untuk wadah benda uji di furnish</p>		taufan k fathirul r	
17	18/11/2015	<p>melihat hasil tes furnishes pada suhu 200 dan 600 derajat celcius</p>	<p>cawan porselen pecah akibat suhu tinggi,</p>	taufan k fathirul r	

18

19/11/2015

membawa
n gerabah
untuk alas
uji furnish
pada suhu
1000 derajat
celcius

taufan k
fathirul r



19

20/11/2015

uji porositas
dilakukan di
lab jalan
diploma sipil
ITS

taufan k
fathirul r



20	21/11/2015	uji porositas dilakukan di lab jalan diploma sipil ITS	taufan k fathirul r	
21	23/11/2015	uji porositas dilakukan di lab jalan diploma sipil ITS	taufan k fathirul r	

22	26/11/2015	uji UPV	Toko penjual stempet yang sesuai untuk pengujian UPV susah di temukan	taufan k fathirul r	
23	2/12/2015	Uji hamer test dan mengambil hasil pengujian xrd	bahan uji hancur dalam sekali pukulan pengujian hamer	taufan k fathirul r	

24

3/12/2015

pengujian
benda uji
terhadap
kuat tekan

taufan k
fathirul r



Lampiran 2

Mix PERHITUNGAN MIX DESAIN PASTA GEOPOLIMER

Cara membuat 1 liter larutan NaOH 6 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$\begin{aligned}n &= M \times v \\&= 1 \text{ liter} \times 6 \text{ mol/liter} \\&= 6 \text{ mol}\end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}n &= \text{jumlah mol zat terlarut} \\M &= \text{kemolaran larutan} \\v &= \text{volume larutan}\end{aligned}$$

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, $\text{Na}=23$, $\text{O}=16$, $\text{H}=1$)

$$\begin{aligned}\text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times M_r \\&= 6 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\&= 240 \text{ gram}\end{aligned}$$

2. Menimbang NaOH seberat 240 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc / liter
4. Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.
6. Diamkan selama 24 jam

Cara membuat membuat 1 liter larutan NaOH 10 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$$\begin{aligned}n &= M \times v \\&= 1 \text{ liter} \times 10 \text{ mol/liter} \\&= 10 \text{ mol}\end{aligned}$$

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

v = volume larutan

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, $\text{Na}=23$, $\text{O}=16$, $\text{H}=1$)

Massa NaOH = $n \text{ mol} \times M_r$
= $10 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol}$
= 400 gram

2. Menimbang NaOH seberat 400 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc / liter
4. Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.
6. Diamkan selama 24 jam

Cara membuat membuat 1 liter larutan NaOH 14 M adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan.

$n = M \times v$
= $1 \text{ liter} \times 14 \text{ mol/liter}$
= 14 mol

Dimana :

n = jumlah mol zat terlarut

M = kemolaran larutan

v = volume larutan

$M_r \text{ NaOH} = 40$ (penjumlahan A_r dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, $\text{Na}=23$, $\text{O}=16$, $\text{H}=1$)

Massa NaOH = $n \text{ mol} \times M_r$
= $14 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol}$
= 560 gram

2. Menimbang NaOH seberat 560 gram
3. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc / liter
4. Menambahkan aquades ke dalam labu ukur sampai volumenya 1 liter.
5. Aduk hingga larut.
6. Diamkan selama 24 jam

Membuat Mix Desain untuk Binder *Geopolymer* ukuran 25mm x 50mm

a. Massa 1 silinder binder *geopolymer* ukuran 25 x 50 mm²

$$\begin{aligned}
 \text{Volume 1 binder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 2,5^2 \times 5 \\
 &= 24,54 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 1 binder} &= \text{berat volume beton} \times \text{vol.beton} \\
 &= 2,4 \text{ gr/cm}^3 \times 24,54 \text{ cm}^3 \\
 &= 58,89 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa fly ash} &= 74\% \times \text{massa 1 binder} \\
 &= 74\% \times 58,89 \text{ gram} \\
 &= 43,58 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan massa aktivator

Direncanakan massa aktivator 26% dari massa 1 binder sedangkan perbandingan massa antara sodium silikat dengan sodium hidroksida sebagai contoh perhitungan direncanakan sebesar 1,5. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa aktivator} &= 26\% \times \text{massa 1 binder} \\
 &= 26 \% \times 58,89 \text{ gram} \\
 &= 15,31 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa activator} = \text{massa sodium silikat} + \text{massa sodium hidroksida}$$

Sodium hidroksida yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 3 macam molaritas yaitu 6 M, 10 M dan 14 M.

Untuk menentukan berapa besar massa sodium hidroksida dan sodium silikat yang digunakan, dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan sebagai berikut :

- Perbandingan Na_2SiO_3 : $\text{NaOH} = 1,5$
$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 1,5 \longrightarrow 1 \text{ NaOH} = 1,5 \text{ Na}_2\text{SiO}_3$$
$$15,31 = 1 \text{ NaOH} / 2,5$$
$$15,31 = 0,4 \text{ NaOH}$$
$$\text{NaOH} = 6,12 \text{ gram}$$
$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 9,19 \text{ gram}$$

Lampiran 3

Hasil Pengujian Fly Ash PT. Petrokimia Gresik dengan Analisa XRF.

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri didapat hasil sebagai berikut :

Hasil Uji Komposisi Fly Ash PT. Petrokimia Gresik

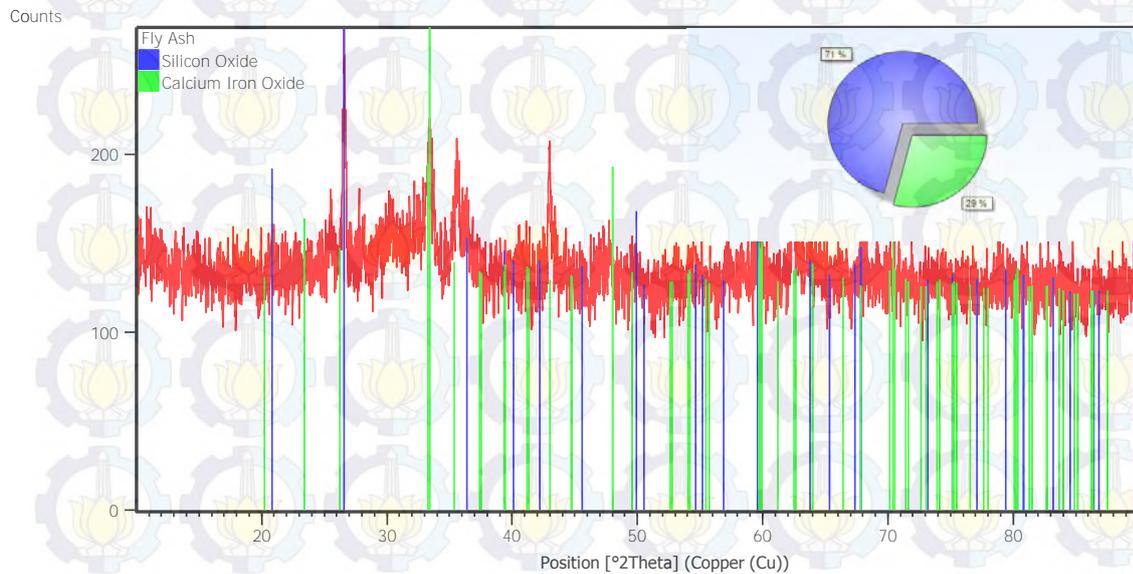
Jenis Senyawa	Kadar (%)
SiO ₂	38,32
Al ₂ O ₃	6,74
CaO	10,74
MgO	2,28
Na ₂ O	0,27
K ₂ O	1,20
TiO ₂	0,68
Ca(FeO ₃)	20,62
SO ₃	0,94
P ₂ O ₅	0,17
MnO	0,10
SrO	0,51
Total	75,57

Sumber : Hasil Analisa Fly Ash PT. Petrokimia Gresik

Hasil analisa uji komposisi senyawa kimia fly ash ini diperoleh dari hasil uji komposisi fly ash. Kadar kalsium dari fly ash PT. Petrokimia Gresik adalah 10,74%, menurut ASTM C 618-84 fly ash yang memiliki kadar kalsium lebih dari 10% digolongkan dalam fly ash kelas C.

Lampiran 4

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.6132	112.06	0.2342	3.34955	100.00
33.4602	60.01	0.2342	2.67813	53.55
35.6326	59.24	0.2676	2.51968	52.87
42.9853	77.98	0.1673	2.10419	69.59
59.7073	17.46	0.4015	1.54873	15.58
62.4247	28.61	0.4015	1.48769	25.53
67.9340	14.19	0.5353	1.37984	12.66

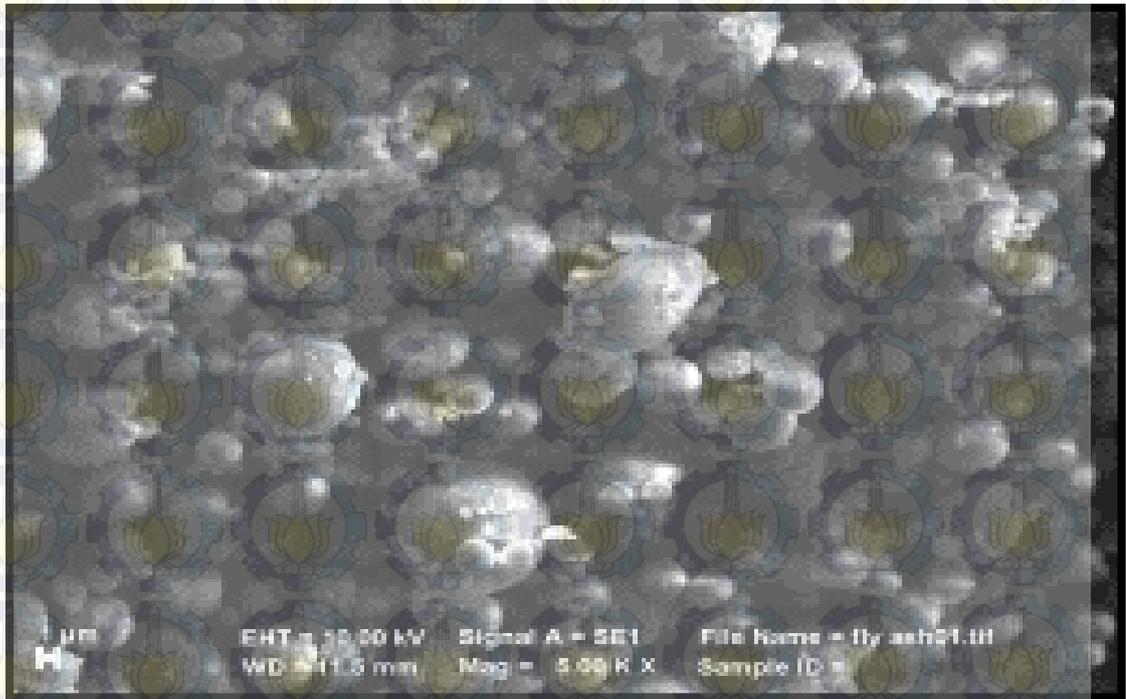
Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-8938	38	Silicon Oxide	0.124	0.992	Si O ₂
*	01-070-6815	20	Calcium Iron Oxide	-0.171	0.467	Ca (Fe O ₃)

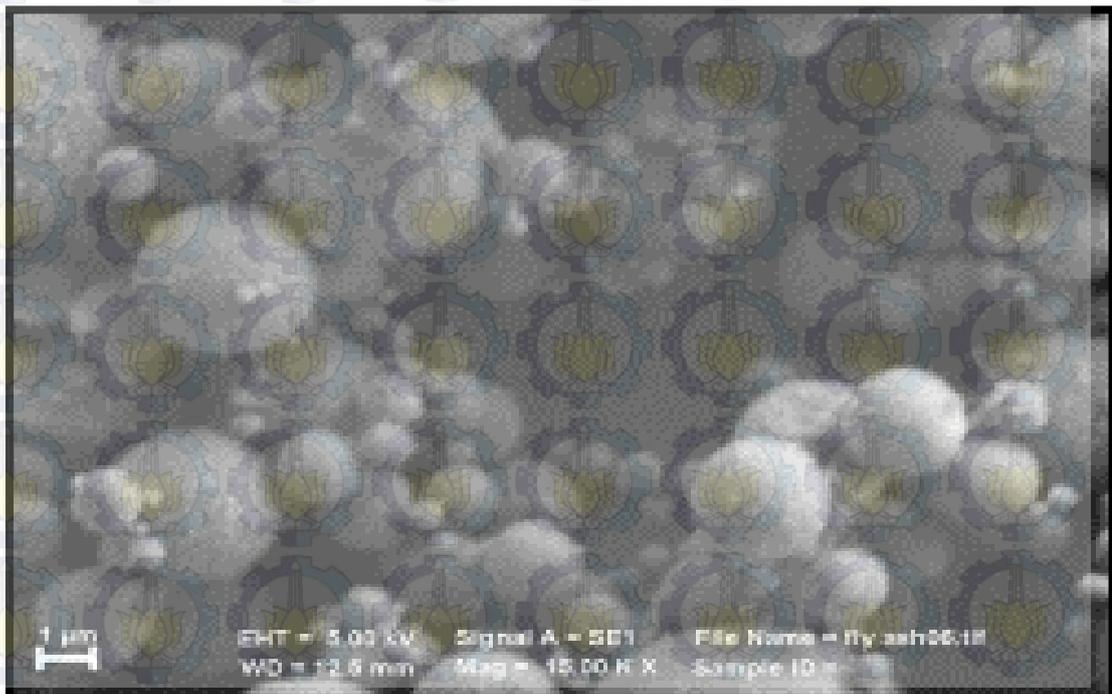
Lampiran 5

Hasil Uji Kandungan Scanning Electron Microscopy (SEM) Fly Ash PT. Petrokimia Gresik

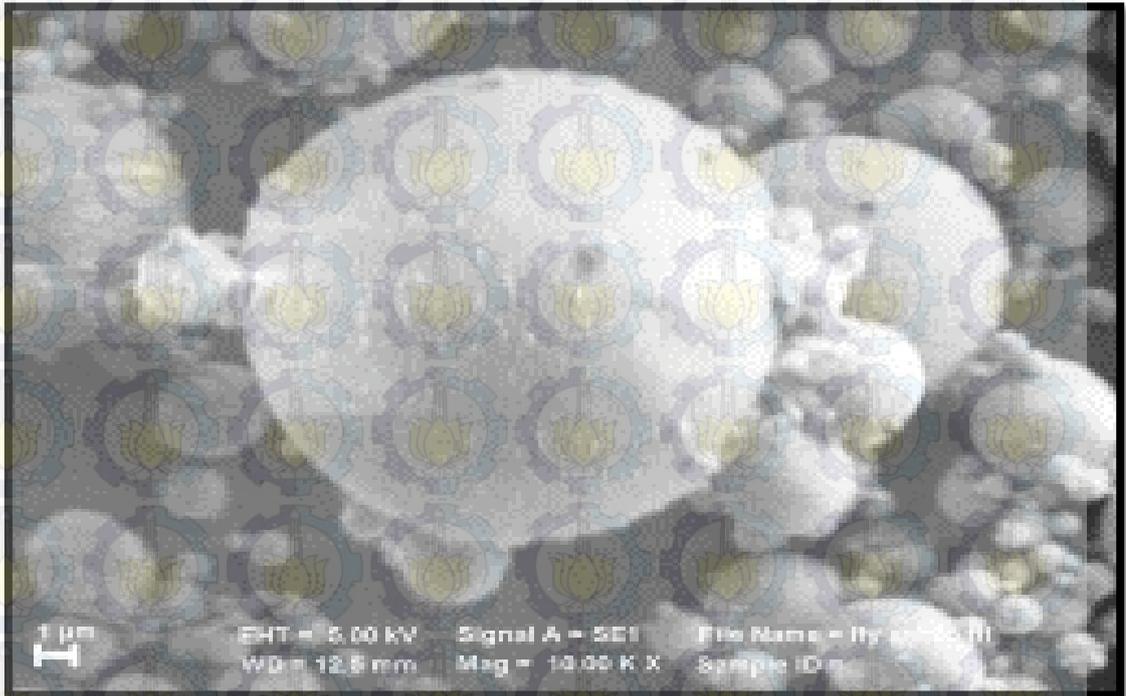
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash PT. Petrokimia Gresik dengan perbesaran 5000 kali dengan skala 1 μm



- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash PT. Petrokimia Gresik dengan perbesaran 15000 kali dengan skala 1 μm



- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash PT. Petrokimia Gresik dengan perbesaran 10000 kali dengan skala 1 μ m

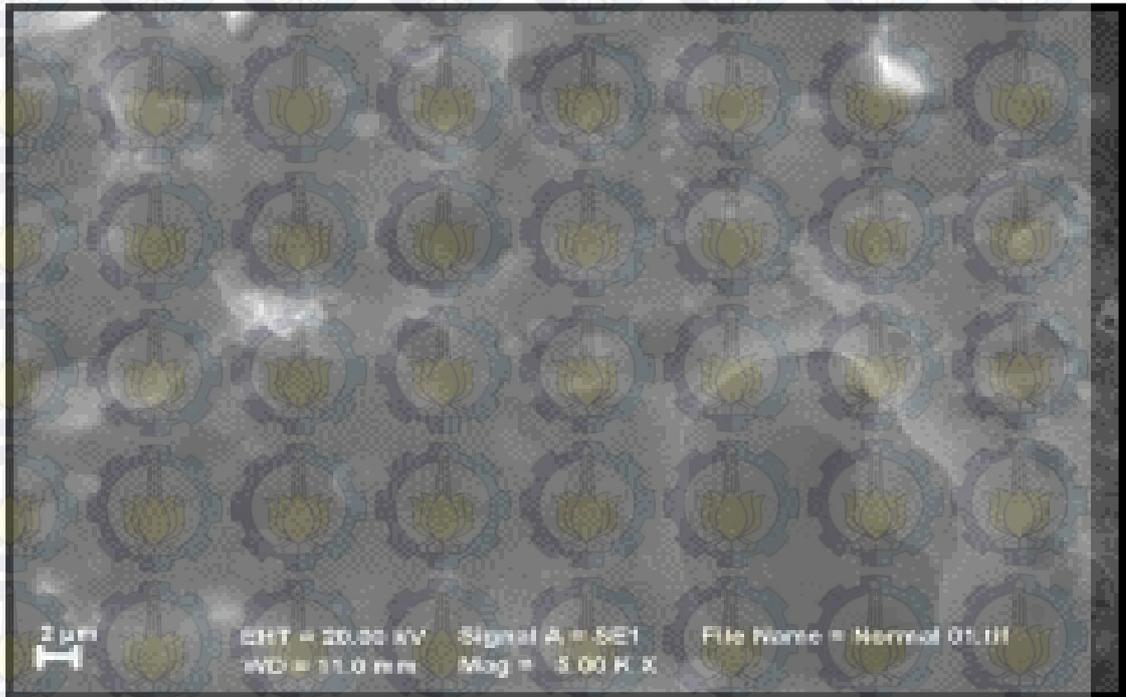


Lampiran 6

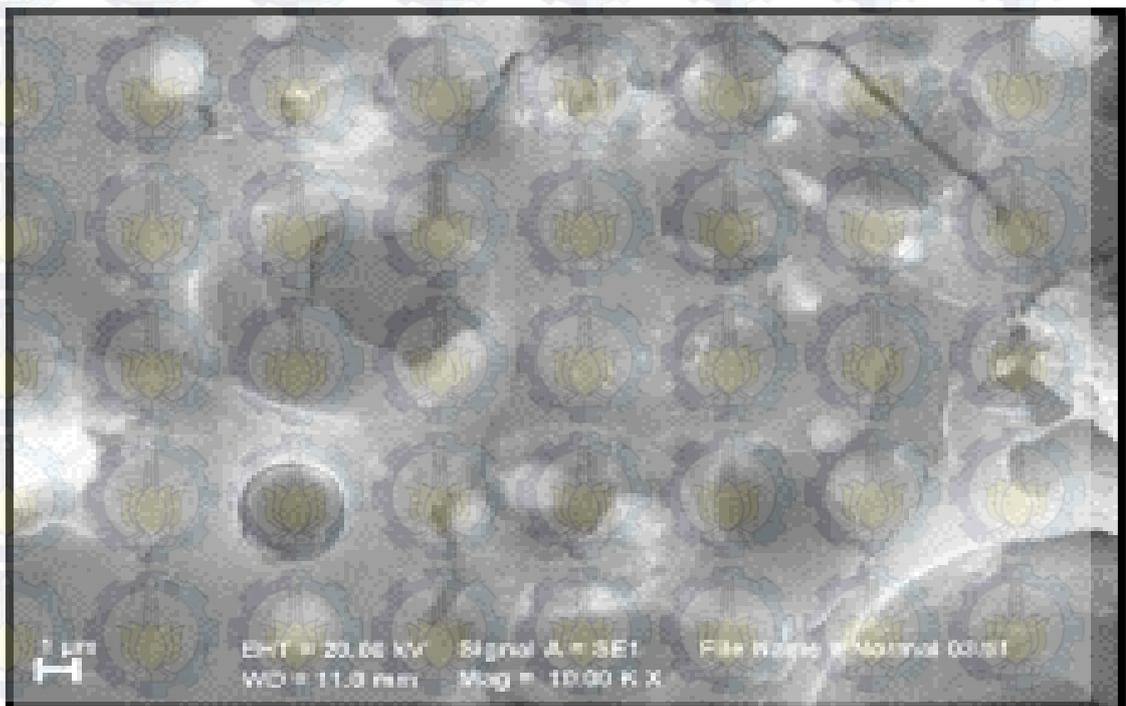
Hasil Uji Kandungan Scanning Electron Microscopy (SEM) Binder *Geopolymer*

Kondisi normal

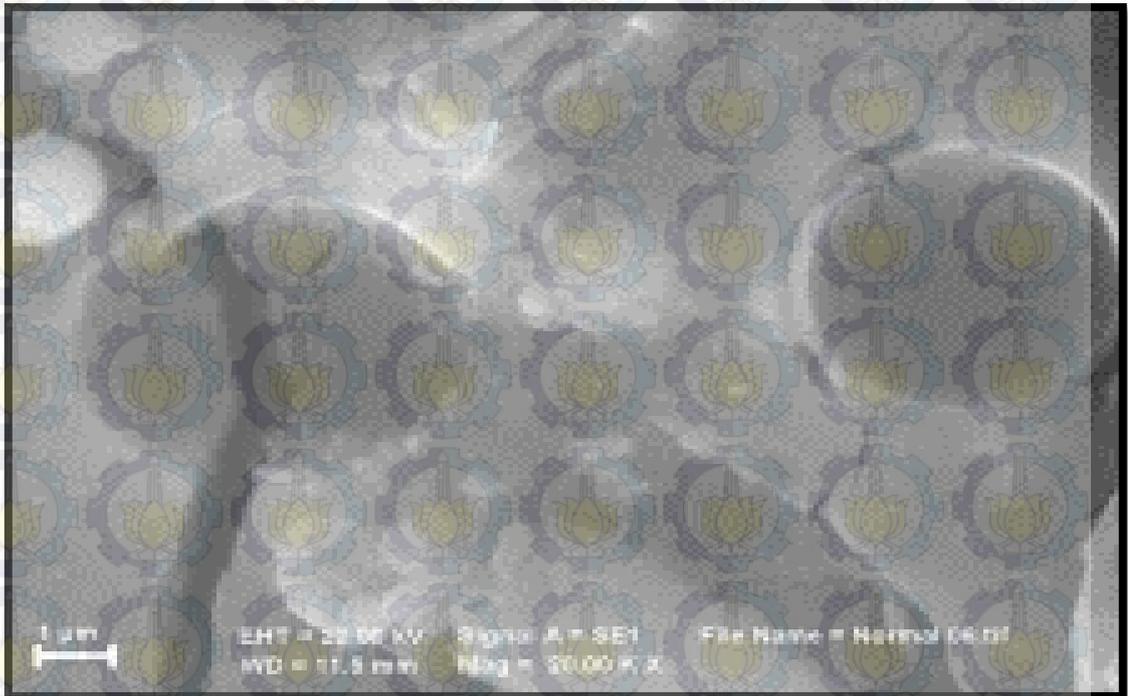
- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash PT. Petrokimia Gresik dengan perbesaran 5000 kali dengan skala $2\mu\text{m}$



- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash PT. Petrokimia Gresik dengan perbesaran 10000 kali dengan skala $1\mu\text{m}$



- Visualisasi mikrostruktur partikel fly ash PT. Petrokimia Gresik dengan perbesaran 20000 kali dengan skala 1 μ m

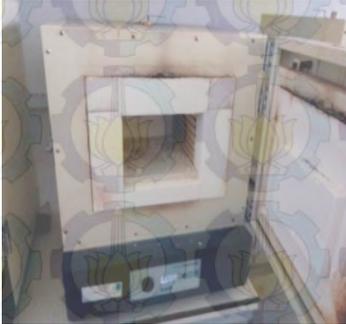


Lampiran 7

Alat dan Bahan

No	Gambar	Gambar	Gambar
1			
Keterangan	Cawan	Kepi	Timbangan Digital
No	Gambar	Gambar	Gambar
2			
Keterangan	Tabung Ukur	Timbangan Analitis	Flya Ash
No	Gambar	Gambar	Gambar
3			
Keterangan	Cetakan Binder	Mixer Pengaduk	Mesin Uji Kuat Tekan

No	Gambar	Gambar	Gambar
4			
Keterangan	Alat Uji UPV	Stempet	Alat Uji Porositas
No	Gambar	Gambar	Gambar
5			
Keterangan	Penimbangan dalam air	Oven	Binder Setelah Di Oven
No	Gambar	Gambar	Gambar
6			
Keterangan	Pembuatan NaOH	NaOH	Na ₂ SiO ₃
No	Gambar	Gambar	Gambar
7			
Keterangan	Pembuatan Pasta	Penuangan Pasta	Uji Hammer

No	Gambar	Gambar	Gambar
8			
Keterangan	Binder Kubus Geopolimer	Pengujian Kuat Tekan	Pemvakuman Binder
No	Gambar	Gambar	Gambar
9			
Keterangan	Perendaman dalam air	Alat Furnace	Binder setelah di bakar



Penulis dengan nama lengkap Fathirul Rachman dilahirkan di Jombang, 05 Maret 1994, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kapanjen 1 Jombang, SMP Negeri 1 Jombang, kemudian SMA Negeri 3 Jombang. Setelah lulus

dari pendidikan Sekolah Menengah Atas pada tahun 2012, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma ITS dan diterima di jurusan DIII Teknik Sipil pada tahun 2012, terdaftar dengan NRP 3112.030.030. Di jurusan DIII Teknik Sipil ini penulis mengambil Program Studi Bangunan Gedung. Penulis Aktif dalam beberapa organisasi mahasiswa dan Aktif dalam kegiatan kepanitiaan mahasiswa.



Penulis dengan nama lengkap Taufan Kurniawan dilahirkan di Pasuruan, 11 juni 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Bungurasih 1 Sidoarjo, SMP Negeri 22 Surabaya, kemudian SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus dari pendidikan sekolah menengah atas pada tahun 2012, penulis mengikuti ujian masuk Diploma ITS dan diterima di jurusan DIII Teknik Sipil pada 2012, terdaftar dengan NRP 3112030049. Di jurusan DIII Teknik Sipil penulis mengambil jurusan bangunan gedung. Penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan organisasi mahasiswa .