



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC181819

PROTOTYPE KOMPOSISI BETON GEOPOLIMER: PENGARUH VARIASI RASIO AKTIVATOR PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH TIPE C DENGAN MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TINGGI TERHADAP KUAT TEKAN DAN DURABILITY

HERMAWAN SYAHIRUL ALIM

NRP. 10111610013092

Dosen Pembimbing I

Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

NIP. 19730710 199802 1 002

Dosen Pembimbing II

Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.

NIP. 19720115 199802 1 001

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC181819

PROTOTYPE KOMPOSISI BETON GEOPOLIMER: PENGARUH VARIASI RASIO AKTIVATOR PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH TIPE C DENGAN MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TINGGI TERHADAP KUAT TEKAN DAN DURABILITY

HERMAWAN SYAHIRUL ALIM
NRP. 10111610013092

Dosen Pembimbing I
Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

Dosen Pembimbing II
Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
NIP. 19720115 199802 1 001

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN PEMELIHARAAN
BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



APPLIED FINAL PROJECT - VC181819

GEOPOLYMER CONCRETE COMPOSITION PROTOTYPE: THE EFFECT OF ACTIVATOR RATIO VARIATION ON FLY ASH TYPE C BASED GEOPOLYMER CONCRETE WITH HIGH SODIUM HYDROXIDE ON COMPRESSIVE STRENGTH AND DURABILITY

HERMAWAN SYAHIRUL ALIM
NRP. 10111610013092

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

Supervisor II
Nur Ahmad Husin, S.T., M.T.
NIP. 19720115 199802 1 001

**STUDY PROGRAM OF CIVIL BUILDING MANAGEMENT AND MAINTENANCE
TECHNOLOGY ENGINEERING
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

“Halaman sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
PROTOTYPE KOMPOSISI BETON GEOPOLIMER:
PENGARUH VARIASI RASIO AKTIVATOR PADA
BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH TIPE C
DENGAN MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TINGGI
TERHADAP KUAT TEKAN DAN DURABILITY

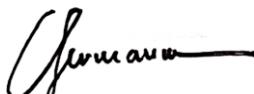
TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
pada

Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan
Pemeliharaan Bangunan Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 21 Agustus 2020

Disusun Oleh:
Mahasiswa



Hermawan Syahirul Alim
NRP. 10111610013092

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



“Halaman sengaja dikosongkan”

**PROTOTYPE KOMPOSISI BETON GEOPOLIMER:
PENGARUH VARIASI RASIO AKTIVATOR PADA
BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH TIPE C
DENGAN MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TINGGI
TERHADAP KUAT TEKAN DAN DURABILITY**

Nama Mahasiswa : Hermawan Syahirul Alim
NRP : 10111610013092
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil
Dosen Pembimbing I : Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D
NIP : 19730710 199802 1 002
Dosen Pembimbing II : Nur Achmad Husin, ST., MT
NIP : 19720115 199802 1 001

ABSTRAK

Saat ini Indonesia sedang memasuki masa pembangunan infrastruktur besar-besaran. Salah satu material utama di dalam infrastruktur adalah beton. Beton adalah material yang terbuat dari semen sebagai bahan pengikat. Penggunaan semen yang semakin bertambah memiliki dampak negatif bagi lingkungan dan juga kesehatan. Maka dari itu, perlu inovasi salah satunya adalah beton geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Penggunaan *fly ash* tipe C untuk kebutuhan massal masih sulit diimplementasikan. *Fly ash* tipe C memiliki kadar CaO lebih besar dari 10% yang berarti memiliki kadar kalsium yang tinggi menyebabkan setting time yang cepat. Selain itu, beton geopolimer juga memiliki nilai *workability* dan kelecakan yang kecil. Hal tersebut dapat berpengaruh ke dalam *durability* beton geopolimer. Banyak peneliti telah mempelajari pengaruh penggunaan *superplasticizer* terhadap *workability* dan *durability*, namun hal tersebut masih belum bisa menjadi kesimpulan akhir dalam permasalah *fly ash* tipe C.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis memiliki inovasi di penggunaan alkali aktivator dalam beton geopolimer *high-*

calcium. Alkali aktivator ini dilakukan variasi untuk menemukan kadar yang efektif untuk mengatasi kuat tekan, *workability*, dan *durability*. Variasi Na_2SiO_3 : NaOH dalam penelitian ini menggunakan rasio sebesar 1,5; 2; dan 2,5. Ketiga nilai tersebut akan dianalisa pengaruhnya terhadap kuat tekan, *workability*, dan *durability*. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari dengan metode pencampuran kering serta perawatan (*curing*) dalam suhu ruang $33 \pm 3^\circ\text{C}$. Dalam pembuatan nantinya akan ditambahkan *superplasticizer* sebagai admixture yang berupa sukrosa. Molaritas NaOH yang digunakan sebesar 16 M untuk mendapatkan mutu beton yang tinggi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi rasio alkali aktivator mempunyai pengaruh terhadap pengujian beton geopolimer. Nilai slump pada variasi rasio 1,5; 2; dan 2,5 berturut turut adalah 20 cm, 19 cm, dan 18 cm. Nilai kuat tekan rata-rata 3 silinder beton geopolimer usia 28 hari berturut-turut adalah 52,00 MPa, 61,58 MPa, dan 39,10 MPa. Menunjukkan bahwa rasio 2 memiliki nilai kuat tekan yang paling tinggi. Dalam pengujian *resistivity* menunjukkan semakin besar dengan semakin bertambahnya umur. Variasi yang dikategorikan baik (tingkat korosi rendah) pada umur 28 hari adalah variasi rasio 1,5 yaitu sebesar 14,7 $\text{k}\Omega\text{cm}$. Pengujian *porosity* menunjukkan semakin bertambah hari semakin kecil nilai porosity yang berarti pori beton semakin rapat. Nilai *porosity* terkecil umur 28 hari terdapat pada variasi rasio 1,5 dan 2 dengan hasil berturut-turut 8,80% dan 8,96%.

Kata kunci : Beton Geopolimer, NaOH , Na_2SiO_3 , Sukrosa, Kuat Tekan, Workability, Durability

***GEOPOLYMER CONCRETE COMPOSITION PROTOTYPE:
THE EFFECT OF ACTIVATOR RATIO VARIATION ON
FLY ASH TYPE C BASED GEOPOLYMER CONCRETE
WITH HIGH SODIUM HYDROXIDE ON COMPRESSIVE
STRENGTH AND DURABILITY***

<i>Student's Name</i>	: Hermawan Syahirul Alim
<i>NRP</i>	: 10111610013092
<i>Department</i>	: Teknik Infrastruktur Sipil
<i>Supervisor 1</i>	: Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D
<i>NIP</i>	: 19730710 199802 1 002
<i>Supervisor II</i>	: Nur Achmad Husin, ST., MT
<i>NIP</i>	: 19720115 199802 1 001

ABSTRACT

Currently, Indonesia is entering a period of massive infrastructure development. One of the main materials in infrastructure is concrete. Concrete is a material made of cement as a binder. The increasing use of cement has negative impacts on the environment and health. Therefore, innovation is needed, one of which is geopolymers concrete made from fly ash. The use of type C fly ash for mass needs is still difficult to implement. Type C fly ash has a CaO content greater than 10%, which means it has high calcium levels which causes a fast setting time. In addition, geopolymers concrete also has little workability and wearability. This can affect the durability of geopolymers concrete. Many researchers have studied the effect of using superplasticizers on workability and durability, but this is still not the final conclusion in the problem of type C fly ash.

Based on these problems, the authors have an innovation in the use of alkaline activators in high-calcium geopolymers concrete. Alkali activator is varied to find levels that are effective in overcoming compressive strength, workability, and durability. Variations of Na₂SiO₃: NaOH in this study used a ratio of 1.5; 2;

and 2.5. The three values will be analyzed for their influence on compressive strength, workability, and durability. Tests were carried out at the age of 7, 14, 28, and 56 days using the dry mixing method and curing at room temperature 33 ± 3 °C. In the production process, a superplasticizer will be added as an admixture in the form of sucrose. The molarity of NaOH used is 16 M to get high concrete quality.

The results of this study indicate that the variation in the ratio of the alkaline activator has an influence on the geopolymers concrete test. The slump value at the ratio variation is 1.5; 2; and 2.5 are 20 cm, 19 cm, and 18 cm, respectively. The average compressive strength values of 3 cylinders of geopolymers concrete aged 28 days were 52.00 MPa, 61.58 MPa, and 39.10 MPa, respectively. This indicates that the ratio 2 has the highest compressive strength value. In testing the resistivity shows that it is getting bigger with age. The variation that is categorized as good (low corrosion rate) at the age of 28 days is the variation ratio of 1.5, namely 14.7 kΩcm. The porosity test shows that the smaller the porosity value, which means the concrete pores are getting tighter. The smallest porosity value at 28 days was found in the ratio variation of 1.5 and 2 with results of 8.80% and 8.96%, respectively.

Keywords : Geopolymer Concrete, NaOH, Na₂SiO₃, Sucrose, Compressive Strength, Workability, Durability

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir Terapan dengan judul “**“PROTOTYPE KOMPOSISI BETON GEOPOLIMER: PENGARUH VARIASI RASIO AKTIVATOR PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH TIPE C DENGAN MOLARITAS SODIUM HIDROOKSIDA TINGGI TERHADAP KUAT TEKAN DAN DURABILITY”** ini dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan pembawa kebenaran dan ilmu pengetahuan. Segala bentuk hambatan dan rintangan telah penulis hadapi selama proses penyusunan laporan ini dan hal tersebut telah menjadi sebuah pelajaran bagi penulis sehingga diharapkan laporan yang telah penulis susun menjadi laporan yang baik.

Keberhasilan penyusunan laporan ini merupakan kerja keras penulis yang tentunya tidak lepas dari pengarahan dan pembinaan dari beberapa pihak. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan kekuatan dan kelancaran bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Kedua orang tua, yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan moral maupun material serta doa-doanya,
3. Bapak Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D dan Bapak Nur Achmad Husin, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dukungan serta semangat hingga selesainya Tugas Akhir ini,
4. Bapak M. Khoiri, ST., MT., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

5. Bapak / Ibu Dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, yang telah memberikan ilmu selama penulis belajar di bangku perkuliahan,
6. Yosi, Ferdi, Ian, Syafiq, Jihad, Nisar, Atho, Yusuf, Tosan dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan pada laporan yang telah penulis kerjakan. Karena semua kesempurnaan yang ada di alam semesta ini hanyalah milik Allah SWT, untuk itu penulis selalu menerima kritik dan saran bagi para pembaca yang tentunya sangat bermanfaat bagi penulis untuk kedepannya.

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

Surabaya, 21 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum.....	7
2.2 Beton Geopolimer	7
2.2.1 Pengertian Beton Geopolimer.....	7
2.2.2 Perbedaan Beton Geopolimer dengan Beton Portland..	9
2.2.3 Sifat-Sifat Beton Geopolimer	10
2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer	11
2.3 <i>Fly Ash</i>	12
2.3.1 Pengertian <i>Fly Ash</i>	12
2.3.2 Karakteristik <i>Fly Ash</i>	13
2.3.3 Klasifikasi <i>Fly Ash</i>	15
2.3.4 Keuntungan dan Kelemahan <i>Fly Ash</i>	17
2.4 Alkali Aktivator.....	17
2.4.1 Sodium Hidroksida (NaOH)	18
2.4.2 Sodium Silikat (Na ₂ SiO ₃)	20
2.5 <i>Superplasticizer</i>	22
2.6 Agregat	23
2.6.1 Agregat Kasar	23
2.6.2 Agregat Halus	24
2.7 XRF (<i>X-Ray Flourosence</i>).....	24
2.8 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	24

2.9 SEM-EDX	26
2.10 <i>Curing</i>	27
2.11 Jenis Pengujian yang Dilakukan.....	27
2.11.1 Pengujian <i>Slump</i>	27
2.11.2 Pengujian Kuat Tekan.....	28
2.11.3 Pengujian <i>pH</i>	28
2.11.4 Pengujian <i>Resistivity</i>	29
2.11.5 Pengujian <i>Porosity</i>	30
2.11.6 Pengujian <i>Permeability</i>	30
BAB III METODOLOGI	33
3.1 Umum.....	33
3.2 Studi Literatur.....	35
3.3 Persiapan Material	36
3.3.1 <i>Fly Ash</i>	36
3.3.2 Alkali Aktivator.....	36
3.3.3 <i>Superplasticizer</i>	37
3.4 Analisa / Uji Karakteristik Material	37
3.4.1 Analisa <i>Fly Ash</i>	37
3.4.1.1 Uji XRF (<i>X-Ray Flourescence</i>).....	37
3.4.1.2 Uji XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	38
3.4.1.3 Uji SEM-EDX	38
3.4.2 Analisa Agregat Kasar (Kerikil)	38
3.4.3 Analisa Agregat Halus (Pasir)	43
3.5 Pembuatan <i>Mix Design</i> Benda Uji Geopolimer	46
3.5.1 Perhitungan <i>Mix Design</i> Benda Uji	47
3.5.2 Perhitungan Perbandingan <i>Fly Ash</i> terhadap Padatan Aktivator	51
3.5.3 Perhitungan Perbandingan Padatan NaOH terhadap Padatan Na ₂ SiO ₃	53
3.5.4 Perhitungan Perbandingan Air Terhadap Semen Geopolimer	53
3.6 Pembuatan Benda Uji Geopolimer	54
3.6.1 Pembuatan Semen Geopolimer.....	55
3.6.2 Pembuatan Beton Geopolimer	59
3.7 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	63

3.8 Pengujian Beton.....	64
3.8.1 Pengujian <i>Slump</i> (SNI 1972-2008 dan AASHTO T 119-99).....	64
3.8.2 Pengujian Kuat Tekan (ASTM C 39-04, AASHTO T22-15, dan SNI 1974-2011)	65
3.8.3 Pengujian <i>Resistivity</i> (AASHTO T 358-15)	66
3.8.4 Pengujian <i>Porosity</i> (ASTM C20-00)	67
3.8.5 Pengujian <i>Permeability</i> (ACI 301-72 revisi 1975)	68
3.9 Analisa Data	69
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA.....	71
4.1 Umum	71
4.2 Pengujian Karakteristik Material.....	71
4.2.1 Pengujian XRF (<i>X-Ray Flourescence</i>)	71
4.2.2 Pengujian XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	72
4.2.3 Pengujian SEM-EDX.....	73
4.2.4 Pengujian Berat Jenis <i>Fly Ash</i>	74
4.3 Hasil Pengujian Beton Geopolimer	75
4.3.1 Pengujian <i>Slump</i>	75
4.3.2 Pengujian Kuat Tekan.....	76
4.3.3 Pengujian <i>Resistivity</i>	84
4.3.4 Pengujian <i>Porosity</i>	89
4.3.5 Pengujian <i>Permeability</i>	94
4.3.6 Pengujian <i>pH</i>	95
4.4 Hubungan antara <i>Slump</i> , Kuat Tekan, <i>Resistivity</i> , <i>Porosity</i> , dan <i>Permeability</i>	96
4.4.1 Hubungan Kuat tekan terhadap Nilai <i>Slump</i> dengan Pengaruh <i>Superplasticizer</i>	96
4.4.2 Hubungan antara Kuat Tekan dan <i>Porosity</i>	98
4.4.3 Hubungan antara Kuat Tekan dan <i>Resistivity</i>	99
4.4.4 Hubungan antara Kuat Tekan dan <i>Permeability</i>	102
BAB V PENUTUP	105
5.1 Kesimpulan.....	105
5.2 Saran	107
DAFTAR PUSTAKA.....	109
BIODATA PENULIS.....	115

LAMPIRAN	117
----------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kimia Polysiliate (Davidovits, 1994).....	8
Gambar 2.2 Skema Pembentukan Beton Geopolimer (Sumber: Jaarsveld, 1997).....	8
Gambar 2.3 Ikatan Polimerisasi SiO_4 dan AlO_4 (Sumber: Davidovits, 1999)	8
Gambar 2.4 SEM dari Campuran <i>Fly Ash</i> dengan Sodium Hidroksida (Dr. Neil B. Milestone dan Dr. Cyril Lynsade, 2004).....	20
Gambar 2.5 SEM dari Campuran Fly Ash dengan Sodium Hidroksida (Dr. Neil B. Milestone dan Dr. Cyril Lynsade, 2004).....	21
Gambar 2.6 Bentuk-bentuk <i>Slump</i> (SNI 1972-2008).....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tahap 1	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Tahap 2	34
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian Tahap 3	35
Gambar 3.4 Grafik Lengkung Ayakan Batu Pecah.....	42
Gambar 3.5 Grafik Lengkung Ayakan Pasir.....	46
Gambar 3.6 Grafik Kuat Tekan 28 Hari Dengan Rasio AAS / FA	48
Gambar 3.7 Menimbang Material Semen Geopolimer	57
Gambar 3.8 Memasukkan Material Semen Geopolimer.....	58
Gambar 3.9 Menutup Mesin <i>Grinder</i> Semen Geopolimer.....	58
Gambar 3.10 Memasukkan Material Semen ke Dalam Plastik..	58
Gambar 3.11 Menimbang Material Beton Geopolimer	61
Gambar 3.12 Memasukkan Kerikil dan Pasir ke Dalam <i>Mixer</i> .	61
Gambar 3.13 Memasukkan <i>Superplasticizer</i> ke Dalam <i>Mixer</i> ..	62
Gambar 3.14 Memasukkan Semen Geopolimer ke Dalam <i>Mixer</i>	62
Gambar 3.15 Melumuri <i>Bekisting</i> dengan Oli	62
Gambar 3.16 Meratakan Permukaan Beton Geopolimer	63
Gambar 3.17 Menyimpan Beton yang Sudah Diberi Tanda.....	63
Gambar 3.18 Pengujian <i>Slump</i>	64
Gambar 3.19 Pengujian Kuat Tekan	66

Gambar 3.20 Pengujian <i>Resistivity</i>	67
Gambar 3.21 Pengujian <i>Porosity</i>	68
Gambar 3.22 Pengujian <i>Permeability</i>	69
Gambar 4.1 Pola XRD <i>Fly Ash</i> Lab. Material dan Metalurgi ITS yang Digunakan dalam Penelitian ini.....	72
Gambar 4.2 Hasil Pengujian SEM-EDX LPPM ITS, Surabaya	73
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai <i>Slump</i> antara SP 0% dan SP 2%	75
Gambar 4.4 Grafik Nilai Kuat Tekan Variasi A16-1,5 (Perbandingan 1:1,5)	79
Gambar 4.5 Grafik Nilai Kuat Tekan Variasi A16-2 (Perbandingan 1:2)	79
Gambar 4.6 Grafik Nilai Kuat Tekan Variasi A16-2,5 (Perbandingan 1:2,5)	80
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kuat Tekan Seluruh Variasi Beton Geopolimer.....	80
Gambar 4.8 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan <i>Superplasticizer</i> 0% Umur 28 hari	82
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%	83
Gambar 4.10 Grafik Nilai <i>Resistivity</i> Variasi A16-1,5 (Perbandingan 1:1,5)	85
Gambar 4.11 Grafik Nilai <i>Resistivity</i> Variasi A16-2 (Perbandingan 1:2)	85
Gambar 4.12 Grafik Nilai <i>Resistivity</i> Variasi A16-2,5 (Perbandingan 1:2,5)	86
Gambar 4.13 Grafik Nilai <i>Resistivity</i> Seluruh Variasi Beton Geopolimer.....	86
Gambar 4.14 Grafik Nilai <i>Resistivity</i> Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan <i>Superplasticizer</i> 0% Umur 28 hari	87
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai <i>Resistivity</i> Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%	88
Gambar 4.16 Grafik Nilai <i>Porosity</i> Variasi A16-1,5 (Perbandingan 1:1,5)	90

Gambar 4.17 Grafik Nilai <i>Porosity</i> Variasi A16-2 (Perbandingan 1:2)	91
Gambar 4.18 Grafik Nilai <i>Porosity</i> Variasi A16-2,5 (Perbandingan 1:2,5)	91
Gambar 4.19 Grafik Nilai <i>Porosity</i> Seluruh Variasi Beton Geopolimer	92
Gambar 4.20 Grafik Nilai <i>Porosity</i> Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan <i>Superplasticizer</i> 0% Umur 28 hari.....	93
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai <i>Porosity</i> Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%	94
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Nilai <i>Slump</i> dengan Pengaruh <i>Superplasticizer</i>	96
Gambar 4.23 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan <i>Porosity</i>	98
Gambar 4.24 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan <i>Resistivity</i>	99
Gambar 4.25 Grafik Hubungan antara <i>Resistivity</i> dan <i>Porosity</i>	101
Gambar 4.26 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan <i>Permeability</i>	102

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> Dalam Persen Berat Tipe C (PLTU Paiton)	13
Tabel 2.2 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> Tipe F (PLTU Paiton)	14
Tabel 2.3 Persyaratan Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i>	14
Tabel 2.4 Susunan Sifat Fisik <i>Fly Ash</i>	15
Tabel 2.5 Persyaratan Fisik <i>Fly Ash</i>	15
Tabel 2.6 Klasifikasi Mutu Beton Berdasarkan Nilai Kuat Tekan (DPU, 2007)	28
Tabel 2.7 Klasifikasi Pengujian pH	29
Tabel 2.8 Klasifikasi Pengujian <i>Resistivity</i>	29
Tabel 2.9 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Koefisien Permeabilitas	31
Tabel 3.1 <i>Density</i> NaOH.....	37
Tabel 3.2 Berat Jenis Kerikil	39
Tabel 3.3 Berat Volume Kerikil.....	40
Tabel 3.4 Keausan Kerikil	41
Tabel 3.5 Hasil Analisa Saringan Kerikil	42
Tabel 3.6 Berat Jenis Pasir.....	44
Tabel 3.7 Berat Volume Pasir.....	45
Tabel 3.8 Hasil Analisa Saringan Pasir.....	46
Tabel 3.9 Komposisi Variasi Perbandingan Alkali Aktivator	47
Tabel 3.10 Kadar Air Maksimum dari Presentase Udara Per Meter Kubik Beton	47
Tabel 3.11 Hasil Kandungan NaOH dan Na ₂ SiO ₃	49
Tabel 3.12 Hasil Kandungan Agregat Halus dan Agregat Kasar	50
Tabel 3.13 Rangkuman Hasil <i>Mix Design</i>	51
Tabel 3.14 % Kandungan Oksida dalam Larutan Na ₂ SiO ₃	51
Tabel 3.15 % Perbandingan berat NaOH padat dan air dalam beberapa konsentrasi molar larutan (Hardjito, 2005)	51
Tabel 3.16 % Kandungan Oksida dalam Larutan Na ₂ SiO ₃ (Hardjito, 2005)	52

Tabel 3.17 Rangkuman Hasil <i>Mix Design</i> Pencampuran Kering	54
Tabel 3.18 Jumlah Benda Uji Beton Geopolimer	55
Tabel 3.19 Alat Pembuat Semen Geopolimer	55
Tabel 3.20 Bahan Pembuat Semen Geopolimer	56
Tabel 3.21 Alat Pembuat Beton Geopolimer	59
Tabel 3.22 Bahan Pembuat Beton Geopolimer	60
Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRF <i>Fly Ash</i>	71
Tabel 4.2 Hasil Pengujian XRF <i>Fly Ash</i> yang digunakan dengan Parameter ASTM C618-12.....	72
Tabel 4.3 Kandungan Mineral Hasil Pengujian XRD Terhadap <i>Fly Ash</i> yang Digunakan.....	73
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Fly Ash</i>	74
Tabel 4.5 Hasil Pengujian <i>Slump</i> dengan SP 2%.....	75
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Slump</i> dengan SP 0%.....	75
Tabel 4.7 Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) dengan Diameter (D)	76
Tabel 4.8 Estimasi Korelasi Kuat Tekan Silinder Beton Berdasarkan Diameter Benda Uji.....	77
Tabel 4.9 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi A16-1,5 (Perbandingan 1:1,5)	77
Tabel 4.10 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi A16-2 (Perbandingan 1:2)	78
Tabel 4.11 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi A16-2,5 (Perbandingan 1:2,5)	78
Tabel 4.12 Nilai Kuat Tekan Seluruh Variasi Beton Geopolimer	80
Tabel 4.13 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan <i>Superplasticizer</i> 0% Umur 28 hari	82
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%	83
Tabel 4.15 Nilai <i>Resistivity</i> Beton Geopolimer Variasi A16-1,5 (Perbandingan 1:1,5)	84

Tabel 4.16 Nilai <i>Resistivity</i> Beton Geopolimer Variasi A16-2 (Perbandingan 1:2)	84
Tabel 4.17 Nilai <i>Resistivity</i> Beton Geopolimer Variasi A16-2,5 (Perbandingan 1:2,5)	85
Tabel 4.18 Nilai <i>Resistivity</i> Seluruh Variasi Beton Geopolimer	86
Tabel 4.19 Nilai <i>Resistivity</i> Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan <i>Superplasticizer</i> 0% Umur 28 hari	87
Tabel 4.20 Perbandingan Nilai <i>Resistivity</i> Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%	88
Tabel 4.21 Nilai <i>Porosity</i> Beton Geopolimer Variasi A16-1,5 (Perbandingan 1:1,5)	89
Tabel 4.22 Nilai <i>Porosity</i> Beton Geopolimer Variasi A16-2 (Perbandingan 1:2)	89
Tabel 4.23 Nilai <i>Porosity</i> Beton Geopolimer Variasi A16-2,5 (Perbandingan 1:2,5)	90
Tabel 4.24 Nilai <i>Porosity</i> Seluruh Variasi Beton Geopolimer ...	91
Tabel 4.25 Nilai <i>Porosity</i> Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan <i>Superplasticizer</i> 0% Umur 28 hari	92
Tabel 4.26 Perbandingan Nilai <i>Porosity</i> Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%	93
Tabel 4.27 Nilai <i>Permeability</i> Beton Geopolimer Variasi A16-1,5 (Perbandingan 1:1,5)	94
Tabel 4.28 Nilai <i>Permeability</i> Beton Geopolimer Variasi A16-2 (Perbandingan 1:2)	95
Tabel 4.29 Nilai <i>Permeability</i> Beton Geopolimer Variasi A16-2,5 (Perbandingan 1:2,5)	95

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah salah satu material struktural yang sangat penting dalam pembangunan infrastruktur. Hampir seluruh bangunan infrastruktur yang ada sekarang menggunakan beton sebagai bahan dasarnya. Komposisi dan kekuatan dari material pembentuk beton sangat berpengaruh terhadap kekuatan suatu beton. Salah satu komposisi utama beton adalah semen *portland*. Pembuatan semen ini dengan cara membakar secara bersamaan campuran *calcareous* (batu gamping) dan *argillaceous* (batuan yang mengandung alumunia) pada suhu $\pm 1555^{\circ}\text{C}$. Di dalam pembuatan semen tiap 1 ton semen akan menghasilkan 1 ton karbon dioksida juga (Davidovits, 1994). Proses penguapan dari pembakaran semen tersebut apabila dilakukan terus-menerus berpotensi sebagai sumber pencemaran partikel (Wardhana, 2001). Industri semen juga melepaskan gas sulfur dioksida (SO_2) dan gas oksida nitrat (NO_x) yang membahayakan kesehatan memiliki efek iritasi pada kulit, mata, dan sistem pernafasan (Meo, 2003). Untuk menekan gas karbon dioksida yang dihasilkan oleh produksi semen tersebut, maka dilakukan usaha untuk mencari bahan pengganti semen.

Seiring berkembangnya ilmu dan teknologi para peneliti mulai melakukan usaha untuk mencari bahan pengganti kebutuhan semen dan salah satunya adalah beton geopolimer. Beton geopolimer pada awalnya diperkenalkan oleh Davidovits (1970) untuk menggambarkan polimer aluminosilikat anorganik diproduksi dengan mensintesis bahan-bahan alami seperti *fly ash* dengan aktuator yang sangat basa. Di dalam geopolimer material semen sebagai pengikat yang biasa digunakan digantikan dengan *fly ash*. SNI 03-6414-2002 mendefinisikan pengertian *fly ash* / abu terbang : Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik (Lauw, 2008). Di Indonesia, *fly ash*

atau limbah batu bara terdapat di PLTU Paiton unit 1 dan 2, Probolinggo. Berdasarkan web *industry.bisnis.com*, jumlah batu bara Paiton berkisar 3,47 juta per tahun dan diperkirakan semakin meningkat sejalan dengan program penyediaan tenaga listrik 35.000 MW yang dioperasikan PLTU di Indonesia. Pemanfaatan limbah menjadi material bermanfaat inilah yang menyebabkan *fly ash* merupakan salah satu material yang ramah lingkungan. Menurut C. Gokhale (2001) telah memverifikasi bahwa pembuatan geopolimer dipancarkan rata-rata CO₂ lima kali lebih sedikit daripada pembuatan semen *portland* biasa (OPC).

Di dalam pembuatan beton geopolimer ini, selain *fly ash* yang digunakan sebagai konten pengikat pengganti semen juga menggunakan larutan alkali aktivator. Alkali aktivator yang paling banyak digunakan adalah sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH). Kelarutan ion Al³⁺ dan Si⁴⁺ dalam kelarutan sodium hidroksida lebih tinggi dibandingkan dengan larutan kalium hidroksida (Van Jaarsveld dkk, 1999). Sodium silikat (Na₂SiO₃) sebagai aktivator berperan dalam percepatan reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida (NaOH) berperan dalam pengikatan antar partikel (Paramita, 2014). Konsentrasi NaOH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 16 M dimana dalam geopolimer konsentrasi larutan NaOH harus dalam kisaran 8 M sampai 16 M (Rangan dkk, 2016). Penggunaan konsentrasi larutan NaOH yang lebih tinggi akan lebih efektif dalam pelarutan partikel *fly ash* dan dapat menghasilkan geopolimerisasi yang lebih baik (Alvarez dkk, 2008). Semakin tingginya konsentrasi larutan NaOH, maka kuat tekan beton akan semakin tinggi (Chindaprasirt dkk, 2014). Sehingga konsentrasi NaOH 16 M yang digunakan dalam penelitian ini.

Akali aktivator harus memiliki komposisi yang sesuai untuk mendapatkan kuat tekan beton yang maksimal. Rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida yang direncanakan adalah 1,5; 2; dan 2,5. Rasio *fly ash* terhadap alkali aktivator dan rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH menunjukkan parameter yang mempengaruhi kekuatan geopolimer (Hardjito dkk, 2004). Efek dari rasio

aktivator ini pernah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Palomo dkk, 1999. Mereka menyimpulkan bahwa rasio alkali aktivator bukan merupakan parameter relevan yang mempengaruhi kuat tekan. Sedangkan peneliti lain memiliki kesimpulan yang berbeda, seperti Memon dkk, 2012 meneliti tentang pengaruh rasio aktivator pada kekuatan beton geopolimer dan didapatkan rasio 2,06 adalah yang paling optimum. Hardjito dkk, 2004 menyimpulkan bahwa rasio 2,5 memberikan hasil kuat tekan tinggi, sedangkan rasio 0,4 memberikan hasil kuat tekan rendah. Sebuah penelitian yang dilakukan Abdullah dkk, 2011 menunjukkan bahwa rasio 2,0 menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 70,27 MPa. Namun penelitian Rattanasak dkk, 2009 menyatakan bahwa kuat tekan 70 MPa dihasilkan oleh rasio 1.

Berdasarkan permasalahan pengaruh rasio alkali aktivator dalam kekuatan beton geopolimer, maka penelitian ini membahas variasi rasio alkali aktivator agar beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C menghasilkan kuat tekan yang optimum. Selain kuat tekan, terdapat uji lain yang digunakan sebagai parameter dalam penelitian ini yaitu *slump*, *PH*, *permeability*, *resistivity*, dan *porosity* selama proses pengikatan. Dengan inovasi ini diharapkan dapat memperoleh variasi aktivator yang optimum pada beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C dengan molaritas NaOH 16 M.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam pembuatan beton geopolimer, permasalahan yang sering dihadapi pada saat pengecoran adalah nilai *workability* yang sangat rendah. *Workability* yang rendah disebabkan karena *setting time* yang cepat akibat tingginya kandungan kalsium dalam *fly ash*. Permasalahan yang ditinjau disini adalah pengaruh variasi rasio aktivator terhadap *workability*. Selain itu, pengaruh variasi rasio aktivator terhadap daya tahan beton (*durability*) juga akan ditinjau. Dengan perbandingan rasio aktivator berbeda tersebut diharapkan dapat ditentukan rasio untuk menimbulkan sifat reaktif pada silika oksida dan alumina yang paling optimum. Sehingga nantinya dapat memperbaiki nilai *workability*.

1.3 Batasan Masalah

Penulis akan membatasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- a. *Fly Ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Paiton Probolinggo Jawa Timur dan merupakan jenis *fly ash* tipe C.
- b. Perbandingan alkali aktuator massa antara sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan sodium hidroksida (NaOH) adalah sebesar 1,5; 2; dan 2,5.
- c. Molaritas sodium hidroksida (NaOH) yang dipakai 16 M.
- d. *Superplasticizer* menggunakan sukrosa dengan kadar 2%.
- e. Variabel kontrol menggunakan kadar *superplasticizer* 0% umur 28 hari.
- f. Pelaksanaan tugas akhir dilakukan pada skala laboratorium.
- g. Analisa yang dilakukan tidak meninjau segi biaya.
- h. Benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
- i. Uji standar yang dilakukan adalah kuat tekan, *slump*, *porosity*, *permeability*, *PH* dan *resistivity*.
- j. Umur pengujian beton pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari.
- k. Perawatan beton geopolimer dilakukan pada suhu ruang sebesar $\pm 31^\circ\text{C}$.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini meliputi :

- a. Mengetahui kandungan material dan karakteristik *fly ash* tipe C dengan pengujian XRF dan XRD.
- b. Mengetahui rasio alkali aktuator yang optimum dalam *workability* dan kuat tekan beton geopolimer.
- c. Mengetahui pengaruh variasi rasio alkali aktuator terhadap *durability* beton geopolimer (*resistivity*, *porosity*, dan *permeability*).

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini meliputi :

- a. Mengurangi masalah atas ketergantungan semen dengan cara memanfaatkan limbah industri.
- b. Menghasilkan suatu inovasi baru dalam hal beton ramah lingkungan yang memiliki kuat tekan yang tinggi untuk menunjang pembangunan infrastruktur di Indonesia.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

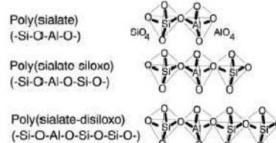
2.1 Umum

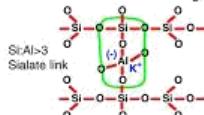
Secara umum pada bab ini akan menjelaskan pengaruh variasi komposisi alkali aktivator dengan penambahan *superplasticizer* sukrosa bagi campuran beton geopolimer. Penggunaan *fly ash* juga akan dibahas lebih lanjut di dalam penelitian beton geopolimer. Meliputi diantaranya kandungan material yang terdapat pada *fly ash* dan sifat-sifat *fly ash*. Serta pengujian yang dilakukan dalam penelitian beton *geopolymer* ini.

2.2 Beton Geopolimer

2.2.1 Pengertian Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah senyawa silikat alumino anorganik, yang disintesiskan dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), *silica fume*, abu sekam padi yang banyak mengandung alumina dan silica (Davidovits, 1997). Beton geopolimer ini dalam penggunaannya sama sekali tidak menggunakan semen. Larutan alkaline dalam beton geopolimer bisa dibuat dengan berbahan dasar *fly ash* agar menghasilkan binder. Geopolimer merupakan produk beton yang reaksi pengikatannya adalah reaksi polimerisasi. Proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara Aluminium (Al) dan Silika (Si) sehingga menghasilkan rantai *polymeric* tiga – dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten (Davidovits, 1999). Davidovits (1978) menyarankan penggunaan istilah ‘*poly(sialate)*’ disingkat *silicon-oxo-aluminate* sebagai nama kimia dari beton geopolimer yang berbahan dasar *siliko-aluminate*.

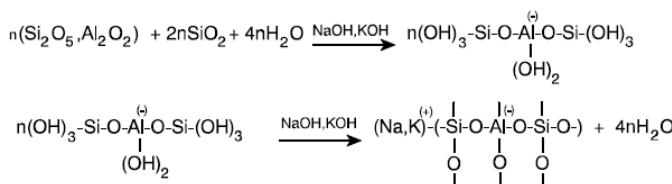




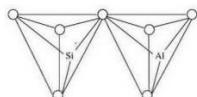
Gambar 2.1 Struktur Kimia Polysilicate (Davidovits, 1994)

Gambar 2.1 di atas menunjukkan proses polimerisasi yang menghasilkan suatu rantai dalam bentuk tiga tipe struktur dimensional dimana masing-masing terdiri dari bentuk ikatan-ikatan *polymeric Si-O-* O-Al (Polysialate). Polysialate-polysialate ini dibagi dalam 3 jenis yaitu polysialate (Si-O-Al-O), polysialate-siloxo (Si-O-Al-O-Si-O) dan polysialate-disiloxo (Si-O-Al-O-Si-O-Si-O).

Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia dari alumina-silikat oksida (Si_2O_5 , Al_2O_2) dengan alkali polisilikat yang akan menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat yang disuplai oleh pabrik-pabrik kimia atau bubuk silica halus sebagai produk sampingan dari proses *ferro-silicon metallurgy*. Skema pembentukan beton geopolimer dapat dilihat persamaan Gambar 2.1. dan Gambar 2.2. (Jaarsveld, 1997; Davidovits, 1999).



Gambar 2.2 Skema Pembentukan Beton Geopolimer (Sumber: Jaarsveld, 1997)



Gambar 2.3 Ikatan Polimerisasi SiO_4 dan AlO_4 (Sumber: Davidovits, 1999)

Persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa pada reaksi kimia pembentukan senyawa geopolimer juga menghasilkan air yang dikeluarkan selama proses *curing* (Garcia-Loreido dkk, 2007). Perawatan beton geopolimer adalah perawatan (*curing*) pada suhu ruang atau pada oven. Suhu dan waktu perawatan merupakan faktor penting yang dapat berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer.

2.2.2 Perbedaan Beton Geopolimer dengan Beton Portland

Tidak seperti beton portland/*pozzolanic* biasa, geopolimer ini tidak membentuk *calcium-silicate-hydrates* (CSHs) untuk membentuk matriks dan kekuatan, tetapi merupakan hasil polikondensasi dari prekusor silika dan alumina serta kandungan alkali yang tinggi untuk mencapai kekuatan strukturalnya (Davidovits, 1999). Beton geopolimer memang dapat digunakan sebagai substitusi dari beton *portland* karena memiliki sifat yang mirip. Perbedaan mendasar antara beton geopolimer dan beton *portland* ini diantaranya.

- Proses pengerasan yang berbeda antara beton *portland* dan beton geopolimer.

Di dalam beton *portland*, semen mengandung kalsium silikat yang dicampur air akan terhidrolisis menjadi kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan kalsium silikat hidrat $(3\text{CaO}.2\text{SiO}_2.3\text{H}_2\text{O})$ pada suhu ruang seperti yang dijelaskan dalam skema berikut.



Sedangkan untuk beton geopolimer mengeras karena reaksi polimerisasi kondensasi, yaitu reaksi molekul yang mengandung dua gugus fungsi atau lebih yang dapat bereaksi satu molekul besar bergugus fungsi banyak pula dan diikuti pelepasan molekul kecil (Davidovits, 2013). Hal ini yang mengakibatkan pembentukan semen geopolimer tidak membutuhkan pembakaran pada suhu tinggi. Berbeda dengan semen *portland* yang membutuhkan fase pembakaran dalam proses pembuatannya.

- Beton geopolimer memiliki nilai *creep* yang rendah penyusutan saat pengerasan sangat kecil.

Beton geopolimer mampu mencapai 70% dari kekuatannya pada 4 jam pertamanya, walaupun hal ini juga tergantung dari sifat bahan baku yang digunakan (Khale & Chaudhary, 2007). Namun untuk *modulus young*, *poisson ratio*, dan *tensile strength relative* sama dengan beton *portland*.

- Karbonasi di sekeliling baja.

Proses karbonasi pada beton *portland* dapat menghilangkan ion hidroksil dan menurunkan pH, sehingga menyebabkan korosi di sekeliling baja tulangan. Karena pada beton *portland* memiliki ion hidroksil bebas yang mengalami karbonasi dari $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menjadi CaCO_3 . Sedangkan karbonasi beton geopolimer menghasilkan kalium karbonat atau natrium karbonat dengan pH minimum 10-10,5 dapat melindungi korosi dengan proses kimia.

2.2.3 Sifat-Sifat Beton Geopolimer

Geopolimer memiliki kekuatan awal yang tinggi penyusutan (shrinkage) yang rendah *freezethaw resistance*, reaksi agregat alkali yang tidak berbahaya, ketahanan terhadap sulfat, korosi, dan asam. Sifat-sifat di dalam beton geopolimer memiliki perbedaan dengan material lainnya, baik sifat fisik maupun sifat kimia.

- a. Sifat fisik beton geopolimer.

Berikut ini merupakan sifat fisik yang umumnya dimiliki geopolimer (Davidovit, 2008).

Semen Geopolimer

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

siklus.

- Wet-dry : massa yang hilang <0.1%
(ASTM 4843)

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 sampai 1.9 g/Ml
- Porositas terbuka : 15-30 %
- Penyusutan geopolimerisasi : 0.2 – 0.4 %
- D.T.A : endotermik pada 250°C
(air zeolitik)

b. Sifat kimia beton geopolimer

Berikut ini merupakan sifat kimia yang umumnya dimiliki geopolimer (Davidovit, 2008)

- Ketahanan beton 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. Sedangkan pasta beton *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.

2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer

- a. Kelebihan-kelebihan beton geopolimer (Skvara, 2006) :
- Tahan terhadap serangan asam sulfat,

- Tahan terhadap reaksi alkali silika,
 - Tahan terhadap api,
 - Mempunyai rangkak dan susut yang kecil,
 - Dapat mengurangi polusi udara.
- b. Kekurangan-kekurangan beton geopolimer :
- Pembuatan beton geopolimer lebih rumit dibandingkan beton semen karena membutuhkan alkaline aktivator,
 - Belum ada perhitungan *mix design* yang pasti,
 - Memiliki *water absorption* kurang dari 3%.

2.3 Fly Ash

2.3.1 Pengertian Fly Ash

Menurut ASTM C618 (ASTM, 1995;304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. *Fly ash* diambil dari campuran gas tungku pembakaran menggunakan bahan batubara pada boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly ash* diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan elektrostatik (Hidayat, 1986). Material ini mempunyai kadar semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozolan, yaitu sifat bahan dalam keadaan halus dapat bereaksi dengan kapur padam (aktif) dan air pada suhu kamar, membentuk senyawa yang padat dan tidak larut dalam air (SK SNI S – 15 -1990 –F).

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

Dengan adanya tambahan air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh *fly ash* akan bereaksi

secara kimia dengan kalsium hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada mempelopori riset penggunaan *fly ash* dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65% dari total semen portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan mortar (Malhotra, 2001).

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

Komposisi dari *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO_2), alumunium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, sulfur, dalam jumlah yang kecil. Komposisinya tergantung dari tipe batu bara. *Fly ash* sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus oksida silika yang dikandung oleh *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan Sodium hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (Hardjito, 2001). Selain itu secara mekanik, butiran *fly ash* yang lebih halus daripada semen ini akan mengisi ruang kosong (rongga) diantara butiran – butiran agregat halus.

2.3.2 Karakteristik *Fly Ash*

a. Karakteristik Kimia *Fly Ash*

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Fly Ash* Dalam Persen Berat

Tipe C (PLTU Paiton)					
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	LOI
52,16	26,08	8,4	1,38	0,12	1,91

(Sumber: Rahmi, 2005)

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Fly Ash Tipe F (PLTU Paiton)

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	g/cm ³	1,43
2	Kadar Air	% berat	0,2
3	Hilang Pijar	% berat	0,43
4	SiO ₂	% berat	62,49
5	Al ₂ O ₃	% berat	6,36
6	Fe ₂ O ₃	% berat	16,71
7	CaO	% berat	5,69
8	MgO	% berat	0,79
9	S(SO ₄)	% berat	7,93

(Sumber: Rahmi, 2005)

Tabel 2.3 Persyaratan Kandungan Kimia Fly Ash

Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
	F (%)	N (%)	C (%)
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	70	70	50
SO ₃	4	5	5
Moisture Content	3	3	3
Loss of Ignition	10	6	6
Alkali Na ₂ O	1,5	1,5	1,5

(Sumber: ASTM C 618-96 Vol. 04.02)

b. Karakteristik Fisik *Fly Ash*

Sifat fisik *fly ash* menurut (*ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts I 226.3R-6*) adalah

1. *Specific gravity* 2.2 – 2.8
2. Ukuran ϕ 1 mikron - ϕ 1 mm dengan kehalusan 70% - 80% lolos saringan no.200 (75 mikron)
3. Kehalusan :
 - % tertahan ayakan 0.075 mm : 3.5
 - % tertahan ayakan 0.045 mm : 19.3
 - % sampai ke dasar : 77.2

Tabel 2.4 Susunan Sifat Fisik Fly Ash

No	Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
1	Kehalusan sisa di atas ayakan 45 μm	34,0	34,0
2	Indeks keaktifan pozolan dengan PC (kelas I) pada umur 28 hari	75,0	75,0
3	Air	105,0	105,0
4	Pengembangan dengan Autoclave	0,8	0,8

(Sumber: ASTM C 618 – 91 (1998))

Tabel 2.5 Persyaratan Fisik Fly Ash

No	Persyaratan Fisika	Kelas Campuran Mineral		
		F (%)	N (%)	C (%)
1	Jumlah yang tertahan ayakan 45 μm (ro.325)	34	34	34
2	Indeks aktivitas kekuatan :			
	Dengan semen umur 7 hari	75	75	75
	Dengan semen umur 28 hari	75	75	75
3	Kebutuhan air	115	105	105
4	Autoclave ekspansion atau contraction	0,8	0,8	0,8
5	Density	5	5	5
6	% tertahan ayakan 45 μm	5	5	5

(Sumber: ASTM C 618 – 96 volume 04.02)

2.3.3 Klasifikasi Fly Ash

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

- a. Kelas C
 1. *Fly ash* yang mengandung CaO lebih dari 10%, dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batubara dengan kadar karbon 60% atau sub bitumen.
 2. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) >50%
 3. Kadar Na_2O mencapai 10%
 4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari

- total berat binder.
- b. Kelas F
1. *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10%, dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara jenis anthracite pada suhu 1560°C.
 2. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%
 3. Kadar $\text{Na}_2\text{O} < 5\%$
 4. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder.
- c. Kelas N

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

Dari ketiga jenis *fly ash* di atas yang bisa digunakan sebagai geopolimer adalah jenis *fly ash* yang memiliki kandungan CaO rendah dan kandungan Si dan Al lebih dari 50% yaitu *fly ash* tipe C dan F karena Si dan Al merupakan unsur yang utama dalam terjadinya proses geopolimerisasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kosnatha dan Prasetyo (2007) kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan *fly ash* tipe C ternyata lebih tinggi daripada *fly ash* tipe F, baik yang menggunakan curing dengan oven maupun suhu ruangan.

Namun, untuk *fly ash* tipe C ini memiliki masalah yaitu dalam *setting time* yang cepat. *Setting time* yang cepat ini disebabkan oleh tingginya kadar CaO dalam *fly ash* tipe C yaitu >10%. Kadar CaO berkaitan dengan fasa amorf *fly ash* dalam pengujian XRD. Semakin tinggi kadar CaO maka mengakibatkan tingginya fasa amorf *fly ash*. Dengan tingginya fasa amorf dari *fly ash*, maka laju reaksi polimerisasi berlangsung cepat. Hal itu yang mengakibatkan *fly ash* tipe C memiliki *setting time* yang cepat (E.I. Diaz dkk, 2009).

2.3.4 Keuntungan dan Kelemahan Fly Ash

Ada keuntungan dan kerugian dalam pemakaian *fly ash*, adapun keuntungan dalam penggunaan *fly ash* antara lain :

1. Beton akan mempunyai sifat lebih kedap air karena kapur bebas yang dilepas pada hidrasi akan terikat oleh silikat dan alumina aktif yang terkandung dalam *fly ash* dan menambah pembentukan silica gel yang berubah menjadi kalsium silikat hidrat (CSH) dan akan menutupi pori-pori yang terbentuk akibat dibebaskannya Ca(OH)_2 .
2. Mempermudah pengerjaan beton karena beton bersifat lebih plastis.
3. Menurunkan panas hidrasi yang terjadi, sehingga dapat mencegah terjadinya keretakan.
4. Mengurangi jumlah air (fas) yang digunakan.
5. Mengurangi pemakaian semen sehingga mengurangi biaya.

Adapun kelemahan dalam penggunaan *fly ash* antara lain :

1. Pemakaian *fly ash* kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan betonnya agak lambat yang disebabkan karena terjadi reaksi pozzolan.
2. Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu *fly ash* (abu terbang) sangat tergantung pada proses (suhu pembakarannya) serta jenis batu baranya.

Penggunaan *fly ash* dalam beton segar dapat mengurangi terjadinya *bleeding* (beton berair) dan segregasi. Selain itu dapat meningkatkan *workability* karena bentuk *fly ash* yang bulat. Penggunaan *fly ash* juga dapat meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan durabilitas beton, kepadatan (*density*), dan mengurangi terjadinya penyusutan.

2.4 Alkali Activator

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Beton geopolimer disintesis dengan

mencampur aktivator basa kuat seperti sodium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), kalium silikat atau natrium silikat dengan bahan reaktif aluminosilikat (Somna dkk, 2011). Yip dkk, 2005 menyatakan bahwa pembentukan beton geopolimer sangat dipengaruhi oleh komposisi alkali aktivator. Dalam pembuatan beton geopolimer, aktivator yang sering digunakan adalah unsur akali yang terhidrasi yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3). Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

Untuk dapat digunakan pada campuran geopolimer, aktivator yang berupa padatan harus dilarutkan ke dalam air disesuaikan dengan molaritas larutan aktivator yang dikehendaki (Davidovits, 2008).

2.4.1 Sodium Hidroksida (NaOH)

Larutan alkali yang digunakan dalam beton geopolimer adalah logam alkali yang dapat larut. Logam alkali yang sering digunakan sebagai reagen reaksi geopolimerisasi adalah Natrium (Na) dan Kalium (K). Di dalam penelitian ini digunakan sodium hidroksida (NaOH) karena kelarutan ion Al^{3+} dan Si^{4+} dalam NaOH lebih tinggi dibandingkan dengan kalium hidroksida (Van Jaarsveld dkk, 1999). Konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 16 M dimana dalam geopolimer konsentrasi larutan NaOH harus dalam kisaran 8 M sampai 16 M (Rangan dkk, 2016). Menurut (Choudhary dkk, 2008), kuat tekan beton akan meningkat dengan meningkatnya molaritas beton dari 8 M menjadi 16 M. Peningkatan tersebut dikarenakan kandungan silika dan alumina lebih banyak disaring dalam NaOH yang lebih pekat (Chindaprasirt, 2009). Selain itu, konsentrasi sodium hidroksida tinggi akan melepaskan ion Si dan Al pada *fly ash* yang lebih banyak sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Rattanasak dkk, 2009). Oleh karena itu, konsentrasi NaOH 16 M yang digunakan dalam penelitian ini.

Konsentrasi NaOH memiliki pengaruh yang lebih besar pada nilai kuat tekan daripada suhu *curing* dan waktu *curing* (Bakharev, 2005). Konsentrasi NaOH yang ideal akan memiliki kekuatan beton yang baik.

NaOH, merupakan oksidasi alkali yang reaktif dan bersifat basa yang kuat. NaOH dihasilkan melalui elektrolisis larutan NaCl. Massa molekul relative NaOH adalah 40 gram/mol. Na termasuk logam alkali pada golongan 1 pada tabel periodik kecuali hidrogen dan semua unsur ini sangat reaktif sehingga secara alami tidak ditemukan dalam bentuk tunggal. Sodium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pellet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Sodium hidroksida dapat mengabsorbsi CO₂ dari udara, bersifat sangat korosif pada jaringan hewan dan tumbuhan serta pada logam alumunium. NaOH menghasilkan panas (eksotermis) saat dilarutkan dalam air atau ketika dilarutkan dalam asam. NaOH berbentuk pellet dapat mencapai kemurnian 97-98% (Windholtz, 1976).

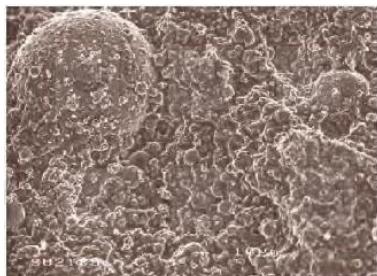
Sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum pemakaian (Hardjito, 2005).

Menghitung molar pada sodium hidroksida mengikuti rumus sebagai berikut:

Dimana :

M = Molaritas

Mr = Jumlah Ar dari unsur senyawa



Gambar 2.4 Scanning Electron Microscopy (SEM) dari Campuran *Fly Ash* dengan Sodium Hidroksida (Dr. Neil B. Milestone dan Dr. Cyril Lynsade, 2004)

Gambar 2.4. di atas menunjukkan campuran *fly ash* dengan sodium hidroksida yang diamati dengan ukuran mikrostruktur. Terlihat bahwa campuran antara *fly ash* dengan sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan lebih padat dan tidak terjadi retakan antara mikrostrukturnya.

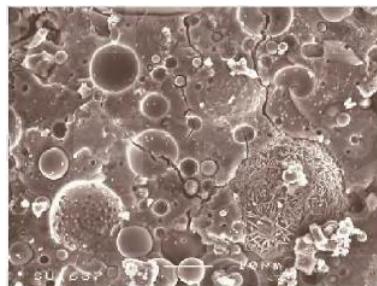
2.4.2 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sodium silikat (Na_2SiO_3) atau *waterglass* adalah nama umum dari sodium metasilikat. Bentuknya bening sampai putih atau putih keabu-abuan, kristalin atau seperti lem. Natrium silikat juga dapat mengiritasi kulit. Natrium silikat dalam bentuk larutannya adalah alkalin kuat (Windholtz, 1976).

Sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium carbonate (Na_2SiO_3) atau dengan potassium carbonate (K_2CO_3) pada temperatur 1100 - 1200°C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (*cullents*) yang dilarutkan ke dalam air dengan tekanan tinggi menjadi cairan yang kering dan agak kental. Sedangkan pada proses basah, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium hidroksida (NaOH) melalui proses filtrasi sehingga menghasilkan sodium silikat yang murni.

Sodium silikat memiliki 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran mortar lebih banyak digunakan sodium silikat

dengan bentuk larutan sebagai katalisator yang berperan untuk mempercepat reaksi kimia. Sodium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat serta dalam beberapa keperluan seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (Hartono, 2002). Dalam penelitian ini, sodium silikat digunakan sebagai alkali *aktivator*.



Gambar 2.5 Scanning Electron Microscopy (SEM) dari Campuran *Fly Ash* dengan Sodium Silikat (Dr. Neil B. Milestone dan Dr. Cyril Lynsade, 2004)

Gambar 2.5. di atas ditunjukkan campuran *fly ash* dengan sodium silikat yang diamati dalam ukuran mikrostruktur. Terlihat bahwa campuran antara *fly ash* dan sodium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak retakan-retakan antar mikrostruktur. Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang berperan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silika seperti sodium silikat ataupun potassium silikat, dibandingkan reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida.

2.5 Superplasticizer

Superplasticizer adalah bahan *admixture* yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton atau mortar dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan beton (ASTM C125). Selain itu tambahan *superplasticizer* bertujuan untuk mengurangi kadar air sambil mempertahankan hasil kerja yang konstan (*workability*) dalam kekuatan dan daya tahan beton. Di dalam penelitian ini menggunakan *high calcium fly ash*, dimana adanya kandungan kalsium yang tinggi bisa mengganggu proses geopolimerisasi yang menghasilkan pengurangan mekanisme pengikat beton geopolimer (Gourley, 2003). Sehingga penggunaan *superplasticizer* diperlukan dalam penelitian ini. Tujuan pemakaian *superplasticizer* dalam campuran beton adalah untuk meningkatkan :

- Penampilan (*performance*)
- Mutu (*quality*)
- Keawetan (*durability*)
- Kemudahan pekerjaan (*workability*)

Di dalam *superplasticizer* terdapat partikel mikrostruktur yang dapat mencairkan adonan beton geopolimer (Nuruddin dkk, 2013). Partikel dengan gaya ikat permukaan akan mengumpul dan partikel yang tersebar terjadi karena efek pengurangan atau penghilangan gaya permukaan. Partikel air yang terikat dengan partikel semen akan terlepas sehingga menghasilkan viskositas/kekentalan adukan pasta semen atau beton segar yang lebih rendah.

Di dalam penelitian ini digunakan *superplasticizer* jenis sukrosa. Jenis *superplasticizer* lain seperti *naphthalene* dan *polycarboxylate* tidak efektif untuk beton geopolimer jika dibandingkan untuk beton normal (Xie dkk, 2016). Di dalam penelitian (Rattansak dkk, 2011) menyebutkan bahwa penambahan sukrosa sebagai *superplasticizer* dapat memperlambat pengerasan beton dan meningkatkan performa beton. Penambahan sukrosa juga dapat menutup partikel *fly ash* dari larutan alkali (Rattanasak, Pankhet, & Chindaprasirt, 2011).

Penggunaan *superplasticizer* yang optimum berada pada angka 0.2% sampai 2% (Sumajow, 2014). Kadar *sukrosa* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2%. Pada kandungan *superplasticizer* 2% yang dicampur beton segar memiliki temperatur kecil yang bisa menghambat larutnya alkali aktivator (Antonovic, 2013). Selain itu juga digunakan variabel kontrol dengan kadar *superplasticizer* 0%.

2.6 Agregat

Dalam pembuatan beton geopolimer, agregat yang dipakai dalam pembuatan beton harus bersih dari kotoran karena berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Kandungan lumpur yang lebih dari 2,5% pada agregat halus maka harus dicuci terlebih dahulu. Pada agregat kasar kandungan lumpurnya tidak boleh lebih dari 1%. Pemilihan agregat yang digunakan dalam pencampuran beton dalam keadaan jenuh kering muka. Hal ini disebabkan karena keadaan jenuh kering muka merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastanya, selain itu kadar air di lapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD daripada yang kering tungku (Tjokrodimuljo (2007) dalam Pujiyanto, dkk. 2013).

2.6.1 Agregat Kasar

Persyaratan agregat kasar berdasarkan **SNI-03-2461-1991/2002** adalah sebagai berikut :

- Tidak mengandung lumpur >1% berat kering,
- Penyerapan air < 3%,
- Agregat pipih dan agregat panjang 20%,
- Keausan dengan los angeles 500 putaran, bagian yang hancur < 1,7 mm: < 50% untuk mutu < 20Mpa, < 40% untuk mutu 21-40Mpa, dan 27% untuk mutu > 40Mpa.

2.6.2 Agregat Halus

Sedangkan persyaratan agregat kasar berdasarkan **SNI-03-2461-1991/2002** dan **ASTM C33** adalah sebagai berikut :

- Kadar lumpur maks. 3% berat kering (beton yang mengalami abrasi) dan maks. 5% berat kering (beton yang tidak mengalami abrasi)
- Penyerapan air maks. 2%
- Hilang pijar (*loss on ignition*) maks. 5%
- Modulus kehalusan (*fineness modulus*) = 1,5-3,8. Variasi modulus kehalusan agregat haus yang digunakan dalam *mix desain* tidak boleh lebih dari 7%

2.7 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF (*X-Ray Fluorescence*) digunakan secara luas untuk menentukan komposisi unsur dari suatu material dengan menggunakan metode spektrometri. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisa jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.

Prinsip kerja XRF dengan pemancaran sinar-X berkecepatan tinggi dan berenergi dari tabung sinar-X. Material yang terkena radiasi sinar-X tersebut, electron kulit terluarnya akan terpantul dari orbitalnya menuju kulit yang lebih dalam dan menimbulkan kekosongan. Kekosongan tersebut menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil, sehingga electron orbital luat akan turun mengisi kekosongan untuk menuju keadaan atom yang lebih stabil. Proses pemancaran sinar-X tersebut disebut dengan fluoresensi sinar-X.

2.8 XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui tingkat kristalinitas dan identifikasi fasa secara kualitatif dari suatu bahan padat. Pengujian XRD ini bertujuan untuk mengetahui apakah prekursor dan geopolimer yang kristalin. Saat dianalisa dengan menggunakan XRD, semua bahan yang mengandung

kristal tertentu akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf.

Fly ash dan pasta geopolimer, dilakukan uji XRD yang bertujuan untuk mengetahui hasil polimerisasi geopolimer yang diintrepresentasikan melalui kristalinitas hasil uji XRD. Hasil polimerisasi *fly ash* ini diperoleh melalui data uji XRD. Data XRD berbeda dengan data XRF yang memunculkan kuantitas total unsur-unsur dan nama mineral-mineral yang terkandung di dalam sampel. Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh *International Centre for Diffraction Data* berupa PDF Powder Diffraction File (PDF).

Prinsip kerja XRD melibatkan sinar-X yang berinteraksi dengan bentuk kristal struktur material. Mineral dalam bentuk kristalin akan terbaca oleh alat XRD. Ketika sinar-X menyentuh suatu permukaan kristal struktur mineral dengan sudut tertentu, dimana sebagian akan berpendar pada lapisan pertama dan bagian yang tidak berpendar akan berpendar akibat menghantam atom pada lapisan kedua dan seterusnya yang di bawahnya.

XRD (*X-Ray Diffraction*) mempunyai kegunaan sebagai berikut:

Penentuan struktur kristal:

1. Bentuk dan ukuran sel satuan kristal (d, sudut, dan panjang ikatan),
2. Pengideks-an bidang kristal,
3. Jumlah atom per-sel satuan.

Analisis kimia:

1. Identifikasi/penentuan jenis kristal,
2. Penentuan kemurnian relatif dan derajat kristalinitas sampel,
3. Deteksi senyawa baru,
4. Deteksi kerusakan oleh suatu perlakuan.

2.9 SEM-EDX

Pengujian mikrostruktur dilakukan dengan cara *SEM* (*Scanning Electron Microscope* untuk melihat bentuk dan ukuran partikel penyusunnya. *SEM* (*Scanning Electron Microscope* merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk menganalisis permukaan material. Selain itu, *SEM* juga dapat digunakan untuk menganalisis data kristalogi sehingga dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.

Sampel pecahan geopolimer dianalisis morfologinya lebih mendetail dengan menggunakan *SEM*. Sampel dilapisi emas sebelum dilakukan pengujian. Prinsip kerja dari *SEM* ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah. Dari semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Elektron berintensitas tinggi tersebut dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis dengan detektor yang terdapat di dalam *SEM*.

Perbedaan *SEM* dengan mikroskop optik terletak pada resolusi yang lebih tinggi dan kedalaman area yang lebih besar (*depth of field*). Hal ini di sebabkan oleh panjang gelombang *de Broglie* yang memiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik. Semakin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop. Topografi dan morfologi dapat diamati menggunakan instrument ini karena kedalaman area yang bisa dipakai puluhan *micrometer* pada perbesaran 1000 kali dan *orde micrometer* pada perbesaran 10000 kali (Ardiansyah, 2012).

SEM mempunyai kegunaan yakni pengamatan dan pengkajian morfologi material padatan berskala mikro dengan resolusi hingga 3 nm dan pembesaran hingga 1 juta kali. Detektor *Energy Dispersive X-ray (EDX)* memungkinkan dilakukannya mikroanalisis secara kualitatif dan semi kuantitatif untuk unsur-unsur mulai dari litium (Li) sampai uranum (U).

2.10 Curing Beton Geopolimer

Perawatan ini dilakukan setelah lebih dari 24 jam, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Total sampel yang dilakukan *curing* adalah 36 sampel. Perawatan pada beton geopolimer dilakukan pada suhu ruang atau sekitar $33\pm3^{\circ}\text{C}$. Umur perawatan ini mengacu pada standart **ASTM C 39-40** dan **AASHTO T22-15¹**.

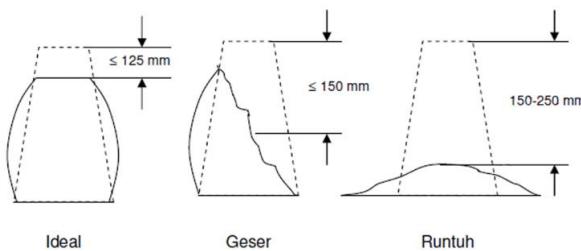
2.11 Jenis Pengujian yang Dilakukan

2.11.1 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* ini dilakukan berdasarkan **SNI 1972-2008** dan **AASHTO T 119-99**. Pengujian nilai *slump* beton merupakan metode pemeriksaan kelecanan beton segar yang paling sering dilaksanakan karena mudah dilakukan di lapangan dengan alat uji sederhana dan hasilnya dapat memberikan gambaran yang baik tentang tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, dituang dan dipadatkan.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai *slump* beton adalah :

- Faktor air semen,
- Rasio agregat semen, dan
- Jumlah air yang digunakan.



Gambar 2.6 Bentuk-bentuk *slump* (SNI 1972-2008)

2.11.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini mengacu pada standart **ASTM C 39-04, AASHTO T22-15¹, dan SNI 1974:2011**. Salah satu sifat mekanik yang digunakan sebagai parameter geopolimer adalah kuat tekan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton karakteristik (kuat tekan maksimum yang dapat diterima oleh beton sampai beton mengalami kehancuran).

Kuat tekan geopolimer dapat dipengaruhi oleh :

- Umur geopolimer,
 - Temperatur dan lama waktu *curing*, dan
 - Kadar air dalam geopolimer.

Untuk perhitungan beton pada umur 28 hari, menggunakan perhitungan sebagai berikut :

Dengan :

F = Beban maksimum (kg).

A = Luas penampang benda uji (cm^2)

fci = Kuat tekan beton yang didapat dari hasil pengujian (kg/cm^2)

Klasifikasi mutu beton berdasarkan nilai kuat tekan dapat dilihat dari tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6 Klasifikasi Mutu Beton Berdasarkan Nilai Kuat Tekan

Level	fc' (MPa)	σbk' (Kg/cm²)
Mutu tinggi struktural	40 < fc' < 65	500 < K ≤ 800
Mutu sedang struktural	20 < fc' < 40	250 < K ≤ 450
Non struktural	10 < fc' < 20	125 < K ≤ 250

(DPU, 2007)

2.11.3 Pengujian pH

Prinsip kerja pengujian pH ini adalah pengukuran pH berdasarkan aktifitas ion hidrogen secara potensiometri atau elektrometri dengan menggunakan pH meter. Cara pengujian pH menggunakan acuan ASTM D1293-2012. Benda uji yang dipakai

adalah beton geopolimer dengan cetakan silinder. Pengujian dilakukan di Laboratorium Material dan Metalurgi ITS.

Untuk mengetahui perubahan derajat keasaman atau pH yang terkandung pada benda uji terdapat kriteria pH seperti pada tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Klasifikasi Pengujian pH

pH	Keterangan
pH < 7	Asam
pH = 7	Normal
pH > 7	Basa

(ASTM D1293-2012)

2.11.4 Pengujian Resistivity

Pengujian resistivity dilakukan berdasarkan standart **AASTHO T 358-15**. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui nilai resistivitas (ρ) dari beton dalam melindungi baja tulangan dari korosi. Korosi yang terjadi pada beton disebabkan proses kimia yang terjadi di dalam beton. Korosi pada beton terjadi akibat terbentuknya *ettringite* akibat reaksi kimia antara unsur kalsium di dalam beton dengan garam sulfat dari luar.

Resistivity yang diselidiki adalah *resistivity* beton karena fungsinya adalah sebagai pelindung baja dari korosi sehingga resistivitas beton dapat mempengaruhi laju aliran ion.

Karakteristik kualitas beton berdasarkan hasil uji *resistivity* dapat diklasifikasikan seperti tabel 2.8 berikut :

Tabel 2.8 Klasifikasi Pengujian Resistivity

<i>Operating Instruction Resistivity Tester PROCEQ</i>	
$\rho \geq 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$	<i>Corrosion is unlikely</i>
$\rho = 8-12 \text{ k}\Omega\text{cm}$	<i>Corrosion is possible</i>
$\rho \leq 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$	<i>Corrosion is fairly certain</i>

(*Resistivity Tester PROCEQ*)

2.11.5 Pengujian Porosity

Pengujian porositas ini mengacu pada standart **ASTM C20-00**. Porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton. Porositas dapat dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{W_{sa} - W_d}{W_{sa} - W_{sw}} \times 100 \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

P = Total porosity (%)

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)

2.11.6 Pengujian Permeability

Pengujian *permeability* beton dilakukan berdasarkan standar **ACI 301-72 (revisi 1975)**. *Permeability* beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan impermeabel, maka sifat *permeability* yang penting pada beton adalah *permeability* terhadap air (Nurchasanah, 2010).

Prinsip kerja tes *permeability* beton akan diletakkan di bawah vakum. Fitur penting dari metode pengukuran adalah sel vakum dua ruang dan regulator tekanan yang menjamin aliran udara pada sudut kanan ke permukaan dan ke ruang dalam. permukaan kering tanpa retak harus dipilih untuk pengujian.

Permeability beton geopolimer dapat dipengaruhi oleh :

- Mutu dan porositas dari agregat yang digunakan dalam adukan beton,
- Umur beton,
- Gradiasi agregat dalam adukan beton, dan tingkat perawatan (*curing*) beton.

Kelas kualitas permukaan beton kering ditentukan dari kT menggunakan tabel 2.9 berikut :

Tabel 2.9 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Koefisien Permeabilitas

Kualitas Permukaan Beton	Indeks	$kT (10^{-16} \text{m}^2)$
Sangat Jelek	5	> 10
Jelek	4	1,0 - 10
Normal	3	0,1 - 1,0
Baik	2	0,01 - 0,1
Sangat Baik	1	< 0,01

(*Operating Instructions Permeability Tester TORRENT*)

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB III

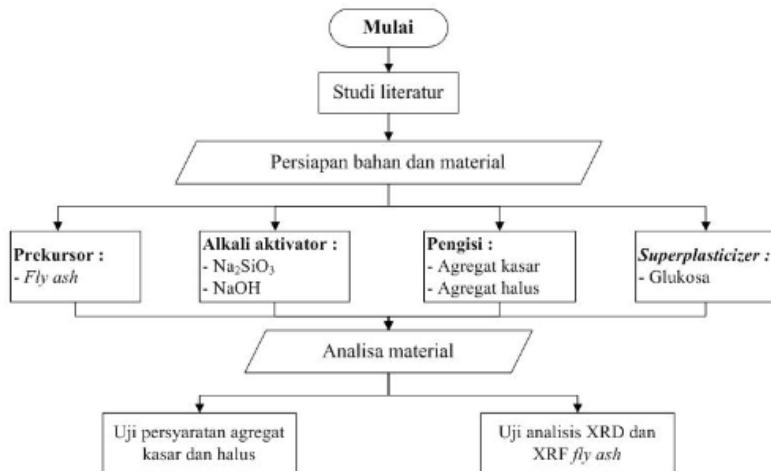
METODOLOGI

3.1 Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental, yaitu dengan melakukan percobaan secara langsung di laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi rasio aktivator pada beton geopolimer terhadap kuat tekan dan *durability*. Alkali aktivator yang digunakan adalah sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) dengan perbandingan 1,5; 2; dan 2,5. Prosedur kerja dilakukan melalui 3 tahap dan dapat dijelaskan melalui diagram alir sebagai berikut :

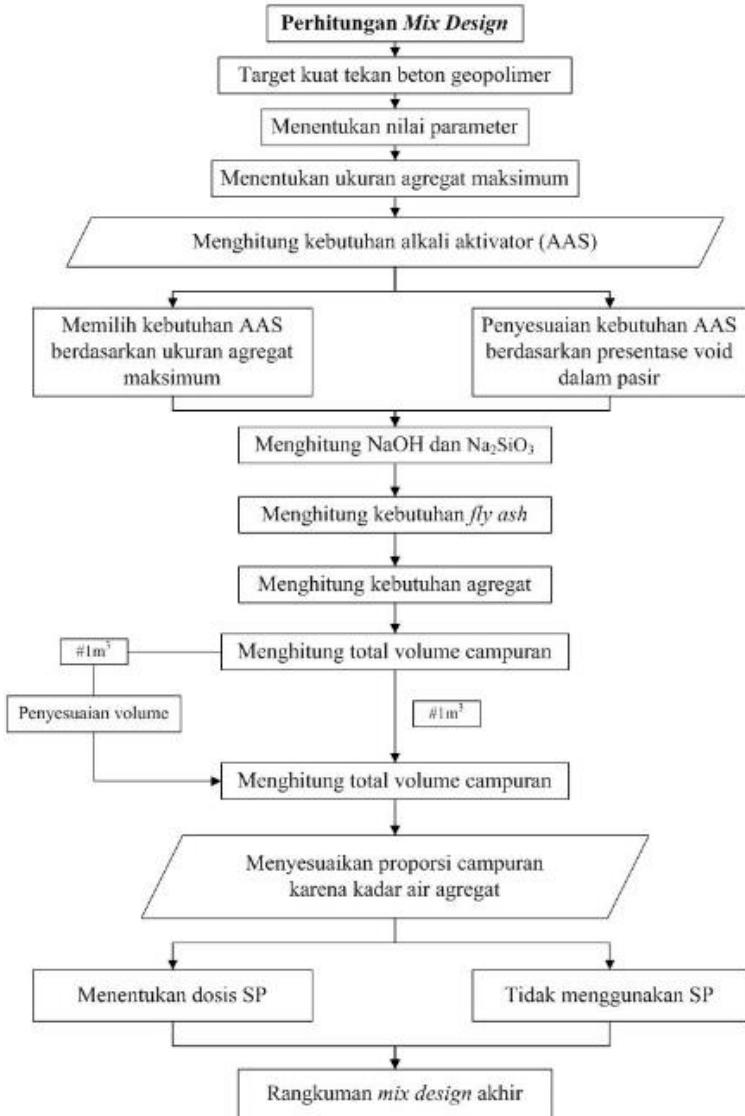


- **Tahap 1**



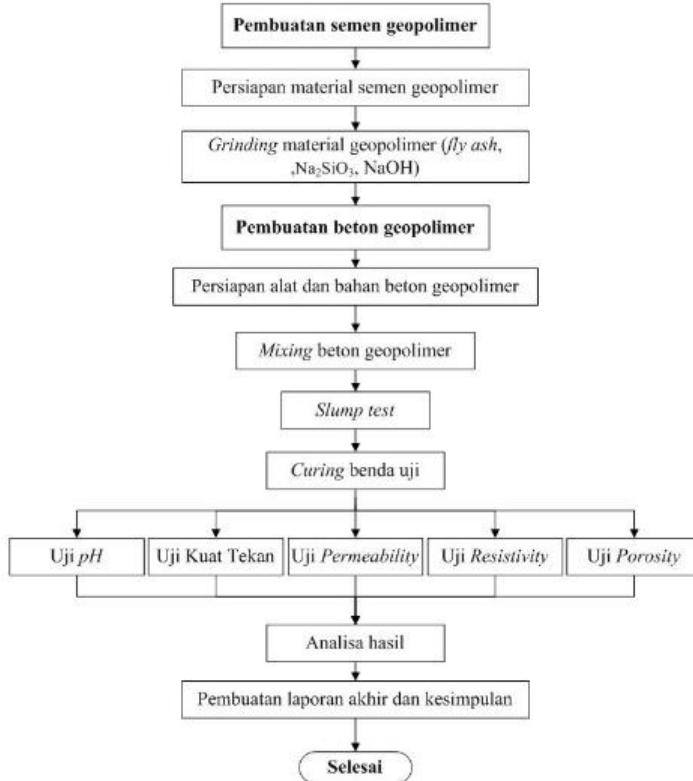
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Tahap 1

- **Tahap 2**



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian Tahap 2

- **Tahap 3**



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian Tahap 3

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan pertama kali dalam menyusun tugas akhir mengenai beton geopolimer dan segala macam jurnal penelitian yang membahas masalah geopolimer sebelumnya. Studi ini dilakukan dengan cara mencari, mempelajari, serta memahami jurnal, buku-buku, dan referensi dari berbagai sumber yang relevan dengan penelitian. Sumber yang didapatkan nantinya akan digunakan sebagai bahan penelitian dan menentukan data apa saja yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3.3 Persiapan Material

Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan dalam penelitian ini meliputi :

3.3.1 Fly Ash

Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai material dasar untuk pembuatan geopolimer. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian beton geopolimer ini didapatkan dari PLTU (PJB) Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Kemudian dilakukan pengujian terkait berat jenis *fly ash* dan analisa XRF (*X-Ray Flourescence*) untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada *fly ash* yang digunakan dalam penelitian geopolimer ini. Selain itu dilakukan juga pengujian lain yaitu tes XRD (*X-Ray Diffraction*) dan tes SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope*).

3.3.2 Alkali Aktivator

Alkali aktivator yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji geopolimer adalah campuran antara 2 senyawa. Senyawa yang digunakan adalah sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) 16 M. Perbandingan antara sodium silikat dan sodium hidroksida terdapat 3 variasi yaitu 1,5; 2; 2,5.

Berikut adalah langkah-langkah menghitung *density* NaOH :

1. Menghitung kebutuhan NaOH yang akan digunakan

$$\begin{aligned} n &= V \times M \\ &= 1 \text{ liter} \times 16 \text{ mol/liter} \\ &= 16 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana :

n = Jumlah mol zat tersebut

M = Kemolaran larutan

V = Volume larutan (ml)

$\text{Mr NaOH} = 40 \text{ gram/mol}$ (Penjumlahan Ar dari unsur-unsur senyawa yaitu, Na = 23, O = 16, H = 1)

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times M_r \\
 &= 16 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\
 &= 640 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

2. Menimbang NaOH seberat 640 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. Tunggu selama 24 jam (Larutan NaOH dapat digunakan setelah didiamkan 24 jam).

Hasil Perhitungan :

Tabel 3.1 Density NaOH

Percobaan 1	1438,6 kg/m ³
Percobaan 2	1441,9 kg/m ³
Percobaan 3	1447,3 kg/m ³

Dari tabel di atas didapatkan *density* NaOH rata-rata sebesar $\frac{1438,6 + 1441,9 + 1447,3}{3} = 1442,6 \text{ gr/cm}^3$.

3.3.3 Superplasticizer

Superplasticizer berfungsi menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar, melepaskan air yang terikat pada kelompok partikel semen, untuk menghasilkan viskositas/kekentalan adukan pasta semen atau beton segar yang lebih rendah. Di dalam penelitian ini menggunakan *superplasticizer* yaitu sukrosa kadar 2%. Variabel kontrol dalam penelitian ini menggunakan kadar *superplasticizer* 0%.

3.4 Analisa / Uji Karakteristik Material

3.4.1 Analisa Fly Ash

3.4.1.1 Uji XRF (X-Ray Flourence)

X-Ray Flourence (XRF) bertujuan untuk menganalisis komposisi kimia (senyawa oksida) beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel. Dari hasil analisa ini

didapatkan data prosentase senyawa semacam SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , dll. Pengujian XRF dilakukan di LPPM ITS, Surabaya.

3.4.1.2 Uji XRD (*X-Ray Diffraction*)

X-Ray Diffraction (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material. Dilakukan dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

3.4.1.3 Uji SEM-EDX

SEM (Scanning Electron Microscope) bertujuan untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Dilakukan dengan cara menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dari energi tinggi.

3.4.2 Analisa Agregat Kasar (Kerikil)

I. Percobaan Berat Jenis Kerikil (ASTM-C127-15-2015)

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis kerikil dalam kondisi SSD.

Alat :

1. Timbangan.
2. Keranjang kawat yang tergantung pada timbangan.
3. Oven.
4. Kain lap.

Bahan :

1. Kerikil dalam kondisi SSD.

Prosedur :

1. Kerikil yang telah direndam selama 24 jam diangkat kemudian dilap satu per satu.
2. Timbang sebanyak 3000 gram (w1).
3. Masukkan keranjang yang berisi kerikil SSD ke dalam air. Timbang berat dalam air (keranjang dan kerikil) (w2).

$$\text{Berat jenis kerikil} = \frac{wa}{(wa - wb)} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

Dimana :

W_a = Berat kerikil di udara (gram)

W_b = Berat kerikil di air (gram)

Hasil Perhitungan :

Tabel 3.2 Berat Jenis Kerikil

Percobaan	1 (gram)	2 (gram)	3 (gram)
Berat kerikil di udara (w_1)	3000,7	3000,7	3000,5
Berat kerikil di air (w_2)	1889,6	1867,8	1883,3
Berat jenis = $w_1 / (w_1 - w_2)$	2,701	2,649	2,686

Dari percobaan didapatkan hasil sebagai berikut. Sehingga didapatkan berat jenis kerikil rata-rata sebesar $\frac{2.701+2.649+2.686}{3} = 2,678 \text{ gr/cm}^3$. Berdasarkan **ASTM-C127-15-2015** berat jenis batu pecah yang disyaratkan sebesar $2,4 - 2,7 \text{ gr/cm}^3$. Jadi kerikil yang digunakan memenuhi persyaratan.

II. Percobaan Berat Volume Lepas Kerikil (ASTM-C29-2009)

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan berat volume kerikil.

Alat :

1. Timbangan.
2. Takaran berbentuk silinder (volume 10 liter).

Bahan :

1. Kerikil dalam kondisi kering.

Prosedur :

1. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang (w_1).
2. Silinder diisi dengan batu pecah sampai penuh dan angkat setinggi 10 mm jatuhkan ke lantai sebanyak 3 kali kemudian ratakan permukaannya.
3. Timbang silinder yang sudah terisi batu pecah penuh (w_2).

$$\text{Berat volume kerikil} = \frac{(w_2 - w_1)}{v} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

Dimana :

W_c = Berat silinder (kg)

W_d = Berat silinder + batu pecah (kg)

v = Volume (liter)

Hasil Perhitungan :

Tabel 3.3 Berat Volume Kerikil

Percobaan	1	2	3
Berat silinder (w_1) (kg)	5,39	5,39	5,39
Berat silinder + batu pecah (w_2) (kg)	19,12	19,32	19,08
Berat batu pecah ($w_2 - w_1$) (kg)	13,730	13,930	13,690
Volume silinder (ltr)	10	10	10
Berat volume (kg/ltr)	1,373	1,393	1,369

Dari tabel di atas didapatkan berat jenis kerikil rata-rata sebesar $\frac{1,373+1,393+1,369}{3} = 1,378 \text{ gr/cm}^3$.

III. Percobaan Keausan Kerikil (ASTM-C131-2003)

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui prosentase keausan batu pecah / kerikil untuk beton dengan menggunakan mesin Los Angeles.

Alat :

1. Mesin aus Los Angeles.
2. Bola baja 11 buah.
3. Timbangan.
4. Saringan no. 200.

Bahan :

1. Kerikil oven dengan gradasi.

Prosedur :

1. Menimbang kerikil sebanyak 5000 gram.
2. Masukkan bola baja (11 buah untuk gradasi)
3. Tutup mesin dan baut sekrup dikerasakan.
4. Putar mesin sebanyak 500 kali.
5. Tutup mesin dibuka, kerikil dan bola dikeluarkan.
6. Kerikil disaring dengan ayakan no. 200.
7. Cuci yang tertinggal, oven 24 jam, kemudian timbang.

$$\text{Keausan kerikil} = \frac{(w_e - w_f)}{w_1} \times 100 \% \dots \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

Dimana :

We = Berat sebelum diabrasasi (gram)

Wf = Berat setelah diabrasasi (gram)

Hasil Perhitungan :

Tabel 3.4 Keausan Kerikil

Percobaan	1	1	1
	gram	gram	gram
Berat sebelum diabrasasi (w1)	5000	5000	5000
Berat sesudah diabrasasi (w2)	3918,6	4029,4	3992,8
Keausan	21,628	19,412	20,144

Berdasarkan **ASTM C-131 2003**, agregat yang baik harus mempunyai tingkat keausan kurang dari 35%. Dari tabel di atas didapatkan tingkat keausan kerikil rata-rata sebesar $\frac{21,628+19,412+20,144}{3} = 20,39 \text{ gr/cm}^3$. Maka, kerikil yang digunakan memenuhi persyaratan.

IV. Percobaan Analisa Saringan Kerikil (ASTM-C136-2004)

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir / gradasi batu pecah.

Alat :

1. Timbangan.
2. Satu set ayakan ASTM dengan diameter $1 \frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $3/8$ ", ditambah 4,76 ; 2,78 ; pan.

Bahan :

1. Kerikil dalam keadaan kering oven.

Prosedur :

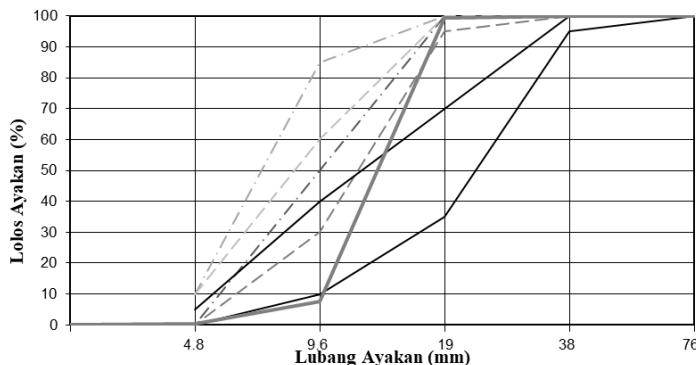
1. Masukkan batu pecah (15 kg) ke dalam ayakan yang telah disusun dari ayakan yang paling besar (di atas) sampai pada ayakan yang paling kecil (paling bawah), kemudian diguncang – guncang selama 10 menit.
2. Timbang batu pecah yang tertinggal pada setiap ayakan.

3. Timbang dan catat berat kerikil pada tiap-tiap nomor saringan, ketelitian dalam menimbang diijinkan dengan kesalahan lebih dan kurang 0,5-1%.
4. Gambar hasil prosentase pada grafik.

Hasil Perhitungan :

Tabel 3.5 Hasil Analisa Saringan Kerikil

Lubang Ayakan inc/mm	Batu Pecah		
	Gram	%	E %
2 "			
1 1/2 "	0	0	0
3/4 "	25,2	0,16	0,16
3/8 "	14680	91,95	92,10
4,76	1157,6	7,25	99,35
2,38	28,8	0,18	99,53
1,19		100,00	
0,59		100,00	
0,297		100,00	
0,149		100,00	
0	74,3		
Jumlah	15965,9		691,15
	FKr =	6,91	



Gambar 3.4 Grafik Lengkung Ayakan Batu Pecah

3.4.3 Analisa Agregat Halus (Pasir)

I. Percobaan Berat Jenis Pasir (ASTM-C128-15-2015)

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis pasir dalam kondisi SSD.

Alat :

1. Labu takar 1000 cc.
2. Timbangan.
3. Oven.
4. Pan.
5. Kerucut / rojokan SSD.

Bahan :

1. Pasir.

Prosedur :

1. Timbang labu takar 1000 cc.
2. Timbang pasir kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) 500 gram.
3. Pasir dimasukkan ke dalam labu takar, ditimbang lagi.
4. Labu takar diisi air sampai batas kapasitas, dan diputar-putar dengan posisi tangan miring supaya gelembung udara keluar.
5. Sesudah itu ditambah air hingga batas kapasitas dan ditimbang (w_1).
6. Pasir dan air dikeluarkan dari labu takar diisi air hingga batas kapasitas dan ditimbang (w_2).

$$\text{Berat jenis pasir SSD} = \frac{500}{500 + wh - wg} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.4)$$

Dimana :

W_g = Berat labu + pasir + air (gram)

W_h = Berat labu + air (gram)

Hasil Perhitungan :

Tabel 3.6 Berat jenis pasir

Percobaan	1 (gram)	2 (gram)	3 (gram)
Berat labu + pasir + air (w1)	1579,1	1578,9	1578,5
Berat pasir SSD	500	500	500
Berat labu + air (w2)	1258,5	1258,5	1258,5
Berat jenis pasir (gr/cm ³)	2,787	2,784	2,778

Berdasarkan **ASTM-C128-15-2015** berat jenis pasir yang disyaratkan adalah yang berada dalam batas 2,4 sampai dengan 2,7.

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan pada tabel 3.5 didapatkan hasil sebesar $\frac{2,787+2,784+2,778}{3} = 2,783 \text{ gr/cm}^3$. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

II. Percobaan Berat Volume Lepas Pasir (ASTM-C29-2009)

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan berat volume pasir.

Alat :

1. Timbangan.
 2. Takaran berbentuk silinder dengan volume 3 liter .

Bahan :

- 1 Pasir

IV. Task:

1. Silinder dalam keadaan kosong ditimbang (w1).
 2. Silinder diisi dengan pasir sampai penuh dan angkat setinggi 10 mm jatuhkan ke lantai sebanyak 3 kali, ratakan permukaannya.
 3. Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh (w2).

$$\text{Berat volume kerikil} = \frac{(wj - wi)}{v} \quad \dots \dots \dots \quad (3.5)$$

Dimana :

Wi = Berat silinder (kg)

Wj = Berat silinder + pasir (kg)

v = Volume (liter)

Hasil Perhitungan :

Tabel 3.7 Berat Volume Pasir

Percobaan	1	2	3	4
Berat silinder (w1) (kg)	2,44	2,44	2,44	2,44
Berat silinder + pasir (w2) (kg)	7,22	6,98	7,8	6,64
Berat pasir (w2-w1) (kg)	4,780	4,540	5,360	4,200
Volume silinder (ltr)	3	3	3	3
Berat volume (kg/ltr)	1593,3	1513,3	1786,7	1400

Dari tabel 3.7 didapatkan berat jenis pasir rata-rata sebesar $\frac{1593,3+1513,3+1786,7+1400}{4} = 1573,3 \text{ kg/ltr.}$

III. Percobaan Analisa Saringan Pasir (ASTM-C136-2004)

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan gradasi atau pembagian ukuran butir tanah (*grain size distribution*).

Alat :

1. Timbangan.
2. 1 set ayakan.
3. Oven.
4. Alat penggetar.

Bahan :

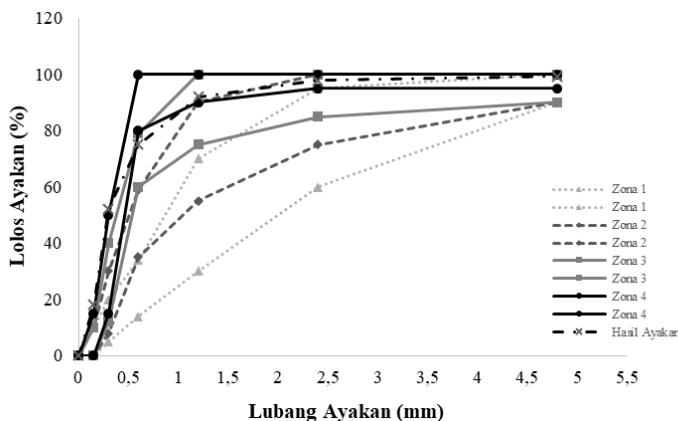
1. Pasir.

Prosedur :

1. Bersihkan saringan dan urutkan dari paling bawah pan, 0.149, 0.297, 0.59, 1.19, 2.38, 4.76.
2. Timbang pasir kering oven 1000 gram.
3. Memasukkan pasir yang telah ditimbang dalam susunan saringan.
4. Saringan digetarkan dengan alat penggetar ± 10 menit.
5. Timbang dan catat berat pasir pada tiap-tiap nomor saringan.
6. Gambar hasil prosentase pada grafik.

Tabel 3.8 Hasil Analisa Saringan Pasir

Lubang ayakan (inc)	Ayakan Agregat Halus			
	Tertinggal		Kumulatif	
	Gram	% tertinggal	% tertinggal	% lolos
4,86	6,60	0,66	0,66	99,34
2,38	15,30	1,53	2,19	97,81
1,19	58,60	5,86	8,06	91,94
0,59	168,80	16,89	24,95	75,05
0,29	228,20	22,84	47,79	52,21
0,149	341,70	34,20	81,99	18,01
pan	180,00	18,01	100,00	0,00
Jumlah	999,20		265,63	

**Gambar 3.5 Grafik Lengkung Ayakan Pasir**

3.5 Pembuatan *Mix Design* Benda Uji Geopolimer

Pembuatan *mix design* ini dilakukan sesuai dengan penelitian terdahulu oleh (Tanakorn Phoo-ngernkham dkk, 2018). Menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm dan diameter 10 cm tinggi 20 cm. Komposisi alkali aktivator adalah :

Tabel 3.9 Komposisi Variasi Perbandingan Alkali Aktivator

		Variasi	Kode Variasi
SP 2%	Perbandingan	1 : 1,5	A16-1,5
	Perbandingan	1 : 2	A16-2
	Perbandingan	1 : 2,5	A16-2,5
SP 0%	Perbandingan	1 : 1,5	B16-1,5
	Perbandingan	1 : 2	B16-2
	Perbandingan	1 : 2,5	B16-2,5

3.5.1 Perhitungan *Mix Design* Benda Uji

Langkah dalam perhitungan *mix design* ini mengikuti langkah menurut jurnal yang dibuat oleh Tanakorn Phoo-ngernkham dkk, 2018. Berikut adalah tahapan dalam perhitungan *mix design* :

1. Pemilihan ukuran maksimum kasar agregat.

Langkah ini adalah untuk memilih ukuran maksimum agregat kasar untuk pencampuran AAHFAC. Terdapat tiga ukuran agregat kasar, yaitu, 4,5 – 9.5mm atau rata-rata 7 mm, 9.5 - 12.5mm atau rata-rata 10 mm, dan 12.5 – 20.0mm atau rata-rata 16 mm.

Tabel 3.10 Kadar Air Maksimum dan Presentase Udara Per Meter Kubik Beton

Ukuran maksimum agregat (mm)	Kadar air maksimum (kg/m3)	Presentase void (%)
10	225	3
12,5	215	2,5
20	200	2

2. Pemilihan larutan alkali aktivator (AAS) dan kandungan udara.

Kandungan AAS dan kandungan udara didasarkan pada ukuran maksimum agregat kasar sesuai standar ACI. AAS maksimum dan persentase udara per meter kubik beton dalam penelitian ini dipilih dengan menggunakan kondisi penurunan sekitar 20 mm sesuai standar ACI. Adalah kondisi yang dirangkum dalam Tabel 3.10.

3. Penyesuaian larutan aktivator alkali (AAS) karena persentase void dalam agregat halus.

Penyesuaian larutan alkali aktivator karena presentase void dalam agregat halus dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$AASadjustment = \left| \left\{ \left[1 - \frac{\rho_{RS}}{SG\rho_W} \right] \times 100 \right\} - 35 \right| \times 4.75 \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana :

ρ_{RS} = Densitas agregat halus dalam kondisi SSD (kg/m^3).

SG = *Specific gravity* agregat halus.

ρ_W = Densitas air (kg/m^3).

$$AASadjustment = \left| \left\{ \left[1 - \frac{1573,33}{2782,94} \right] \times 100 \right\} - 35 \right| \times 4.75$$

$$AASadjustment = 40,2 \text{ kg/m}^3$$

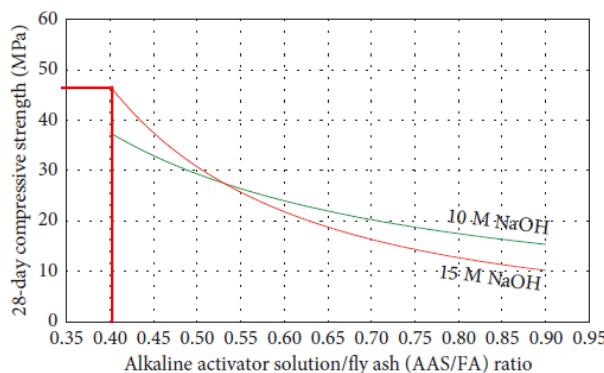
Kemudian kandungan AAS didapatkan dengan rumus :

$$AAS = AASadjustment + \text{kadar air maksimum}$$

$$AAS = 40,2 + 200$$

$$AAS = 240,2 \text{ kg/m}^3$$

4. Memilih larutan aktivator alkali untuk rasio abu terbang (AAS / FA).



Gambar 3.6 Grafik Kuat Tekan 28 Hari Dengan Rasio AAS / FA.

Dari gambar 3.6, untuk tekan minimum 28 hari kekuatan 47 MPa, ditentukan bahwa rasio AAS/FA adalah 0,4 dengan larutan NaOH 16 M. Dilakukan dengan menggunakan kurva terdekat dengan 16 M yaitu 15 M.

5. Menentukan kandungan *fly ash*.

Berat pengikat yang dibutuhkan per meter kubik AAHFAC dapat ditentukan dengan membagi nilai kandungan AAS setelah penyesuaian AAS karena persentase kekosongan dalam agregat halus dengan rasio AAS/FA.

$$FA \text{ content} = \frac{AAS \text{ content}}{\frac{AAS}{FA} \text{ ratio}} = \frac{240,2}{0,4} = 600,52 \text{ kg/m}^3 \dots \dots \dots (3.7)$$

6. Menentukan kandungan NaOH dan Na_2SiO_3 .

NaOH dan Na₂SiO₃ adalah alkali aktivator yang umum digunakan (R.R.Lloyd dkk, 2010). Berat jenis NaOH didapatkan dengan melalui percobaan secara manual. Didapatkan massa jenis NaOH 16 M adalah 1438,6 kg/m³. Massa larutan aktivator alkali dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = \frac{\text{AAS}}{[1 + (1 / (\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}))]} \quad \dots \dots \dots \quad (3.8)$$

$$\text{NaOH} = AAS - \frac{AAS}{1 + (1/(Na_2SiO_3/\text{NaOH}))} \dots \dots \dots (3.9)$$

Dari rumus di atas didapatkan :

Tabel 3.11 Hasil Kandungan NaOH dan Na₂SiO₃

No	Perbandingan		Hasil	
	NaOH	Na ₂ SiO ₃	NaOH (kg/m ³)	Na ₂ SiO ₃ (kg/m ³)
1	1	1,5	96,083	144,125
2	1	2	80,070	160,139
3	1	2,5	68,631	171,578

7. Menentukan kandungan agregat halus dan kasar.

Massa konten agregat halus dan kasar ditentukan sesuai metode volume absolut. Persentase dari agregat halus dalam total

agregat adalah 30% dan agregat kasar adalah 70%. Kandungan agregat kasar dan halus ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$MRS = 0,3SG(RS)[1 - VFA - VNaOH - VNa2SiO3 - Vair]x1000.....(3.10)$$

$$MLS = 0,7SG(RS)[1 - VFA - VNaOH - VNa2SiO3 - Vair]x1000.....(3.11)$$

Tabel 3.12 Hasil Kandungan Agregat Halus dan Agregat Kasar

Perbandingan 1,5	Perbandingan 2	Perbandingan 2,5
$S_G(RS) = 2,78$	$S_G(RS) = 2,78$	$S_G(RS) = 2,78$
$S_G(LS) = 2,68$	$S_G(LS) = 2,68$	$S_G(LS) = 2,68$
$V_{FA} = 600,5$	$V_{FA} = 600,5$	$V_{FA} = 600,5$
$V_{NaOH} = 96,08$	$V_{NaOH} = 80,07$	$V_{NaOH} = 68,63$
$V_{Na2SiO3} = 144,13$	$V_{Na2SiO3} = 160,14$	$V_{Na2SiO3} = 171,58$
$V_{AIR} = 2,0$	$V_{AIR} = 2,0$	$V_{AIR} = 2,0$
$M_{RS} = 516,26$	$M_{RS} = 517,19$	$M_{RS} = 517,86$
$M_{LS} = 1159,34$	$M_{LS} = 1161,43$	$M_{LS} = 1162,93$

8. Menentukan dosis *superplasticizer*.

AAS memiliki viskositas lebih tinggi daripada air keran saat digunakan untuk membuat AAHFAC. Dosis superplasticizer efektif untuk berkisar antara 0,8 dan 2% dari konten pengikat untuk meningkatkan pengeraan beton pengikat yang diaktifkan alkali (Hardjito dkk, 2005). Penggunaan dosis *superplasticizer* memiliki dampak pada perilaku alkali segar yang diaktifkan pengikat beton. Namun, itu sedikit berpengaruh pada kekuatan dan properti lainnya (Pavithra dkk, 2006). Karena itu, untuk meningkatkan kemampuan kerja AAHFAC, *superplasticizer* itu tergabung dalam campuran.

$$SP dosage = \left(\frac{2}{100}\right) x 600,52 = 12,01 kg/m^3(3.12)$$

9. Rangkuman hasil *mix design*.

Tabel 3.13 Rangkuman Hasil Mix Design

	Perbandingan 1,5	Perbandingan 2	Perbandingan 2,5	Ket
Fa	600,522	600,522	600,522	kg/m3
MRS	516,26	517,19	517,86	kg/m3
MLS	1159,34	1161,43	1162,93	kg/m3
NaOH	96,083	80,070	68,631	kg/m3
Na ₂ SiO ₃	144,125	160,139	171,578	kg/m3
SP	12,010	12,010	12,010	kg/m3
BJ Beton	2528,336	2531,362	2533,524	kg/m3

3.5.2 Perhitungan Perbandingan Fly Ash Terhadap Padatan Aktivator

Berdasarkan langkah *mix design* oleh Tanakorn Phoongernkham dkk, 2018 adalah menggunakan pencampuran basah. Maka diperlukan konversi dari metode pencampuran basah ke metode pencampuran kering. Langkah-langkah perubahan pencampuran basah ke kering adalah sebagai berikut :

1. Desain campuran bahan pengikat geopolimer metode pencampuran basah.

Tabel 3.14 % Kandungan Oksida dalam Larutan Na₂SiO₃

Oksida	%
SiO ₃	29,4
Na ₂ O	14,7
Air (H ₂ O)	46,44

2. Tabel spesifikasi larutan alkali aktivator yang digunakan.

Tabel 3.15 % Perbandingan berat NaOH padat dan air dalam beberapa konsentrasi molar larutan NaOH (Hardjito, 2005)

Molaritas	Padatan (gr)	Air (gr)	Padatan/ Larutan	Padatan/ Air
16	444	556	44%	80%
14	404	596	40%	68%
12	361	639	36%	56%
10	314	686	31%	46%
8	262	738	26%	36%

Tabel 3.16 % Kandungan Oksida dalam Larutan Na₂SiO₃
 (Hardjito, 2005)

Oksida	Notasi
SiO ₂	%SiO ₂
Na ₂ O	%Na ₂ O
Air (H ₂ O)	%H ₂ O

3. Perhitungan massa padatan dari aktivator dan prosentase perbandingan *fly ash* terhadap padatan aktivator.

- Menghitung NaOH dalam wujud padat (Wph), dengan persamaan :

$$\text{NaOH}_{\text{Padat}}(\text{Wph}) = \text{Wlh} \times \text{Rasio padatan / larutan}(3.13)$$

$$\text{NaOH}_{\text{Padat}}(\text{Wph}) = 96.083 \times 44\% = 42.27 \text{ kg}$$

- Menghitung Na₂SiO₃ dalam wujud padat (Wps), dengan persamaan :

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3_{\text{Padat}}(\text{Wps}) = \text{Wls} \times \left(\frac{(86,85 - \%H_2O)}{86,85} \right)(3.14)$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3_{\text{Padat}}(\text{Wps}) = 144.125 \times \left(\frac{(86,85 - 46,44)}{86,85} \right) = 67.06 \text{ kg}$$

- Menghitung % *Fly Ash* dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode pencampuran kering, dengan persamaan :

$$\% \text{ Fly Ash} = \frac{Wfa}{Wfa + Wph + Wps} \times 100\%(3.15)$$

$$\% \text{ Fly Ash} = \frac{600,522}{600,522 + 42.27 + 77,06} \times 100\% = 83.5\%$$

- Menghitung % aktivator dalam suatu campuran bahan pengikat geopolimer metode pencampuran kering, dengan persamaan :

$$\% \text{ Aktivator Padat} = \frac{Wph + Wps}{Wfa + Wph + Wps} \times 100\%(3.16)$$

$$\% \text{ Aktivator Padat} = \frac{42.27 + 77.06}{600,522 + 42.27 + 77.06} \times 100\% = 16.5\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh perbandingan *fly ash* terhadap bahan alkali aktivator dalam wujud padat adalah:

83.5% FA : 16.5% Aktivator Padat

3.5.3 Perhitungan Perbandingan Padatan NaOH terhadap Padatan Na₂SiO₃

- Menghitung % NaOH padat dalam suatu kesatuan aktuator padat

$$\% \text{ NaOH}_{\text{Padat}} = \frac{W_{ph}}{W_{ph} + W_{ps}} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (3.17)$$

$$\% \text{ NaOH}_{\text{Padat}} = \frac{\frac{W_{\text{NaOH}} + W_{\text{H}_2\text{O}}}{42.27}}{\frac{42.27 + 77.06}{42.27 + 77.06}} \times 100\% = 35.4\%$$

- Menghitung % Na_2SiO_3 padat dalam suatu kesatuan aktuator padat

$$\% \text{ Na}_2\text{SiO}_3 \text{ Padat} = \frac{77.06}{42.27+77.06} \times 100\% = 64.6\% \dots\dots\dots(3.18)$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh perbandingan NaOH dan Na_2SiO_3 wujud padat adalah:

35.4% NaOH Padat : 64.6% Na₂SiO₃ Padat

3.5.4 Perhitungan Perbandingan Air Terhadap Semen Geopolymer (Rasio W/C)

- Menghitung massa air dalam suatu larutan NaOH (W_{wh}), dengan persamaan

$$\text{Air dalam larutan NaOH (W}_{\text{wlh}}) = \text{Wlh} - \text{Wph} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$\text{Air dalam larutan NaOH (W}_{\text{wh}}\text{)} = 96.083 - 42.27 = 53.807 \text{ kg}$$

- Menghitung massa air dalam suatu larutan Na_2SiO_3 (W_{wls}), dengan persamaan :

$$\text{Air dalam larutan } \text{Na}_2\text{SiO}_4 (\text{W}_{\text{wts}}) = \text{Wls} - \text{Wps} \quad (3.20)$$

$$\text{Air dalam larutan Na}_2\text{SiO}_3 (\text{W}_{\text{wls}}) = 144.125 - 67.06 = 77.066 \text{ kg}$$

- Menghitung massa air total (W_{total}) dalam suatu larutan aktivator NaOH dan Na_2SiO_3 , dengan persamaan :

Air total dalam larutan aktivator

$$(W_{\text{tot}}) = (W_{\text{wlh}}) + (W_{\text{wls}}) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.21)$$

$$(W_{\text{tot}}) = 53.807 + 77.066 = 130.873 \text{ kg}$$

Dimana :

W_{ph}	= Massa NaOH padat (kg)
W_{ps}	= Massa Na_2SiO_3 padat (kg)
W_{lh}	= Kebutuhan NaOH padat (kg/m^3)
W_{ls}	= Kebutuhan Na_2SiO_3 padat (kg/m^3)
W_{fa}	= Kebutuhan <i>fly ash</i> (kg/m^3)
W_{wlh}	= Massa air dalam larutan NaOH (kg)
W_{wls}	= Massa air dalam larutan Na_2SiO_3 (kg)
W_{tot}	= Massa air total (kg)

Sehingga diperoleh rangkuman *mix design* untuk semua perbandingan dalam metode kering adalah :

Tabel 3.17 Rangkuman Hasil *Mix Design* Pencampuran Kering

	Perbandingan 1,5	Perbandingan 2	Perbandingan 2,5	Ket
Fa	600,522	600,522	600,522	kg/m^3
MRS	516,26	517,19	517,86	kg/m^3
MLS	1159,34	1161,43	1162,93	kg/m^3
NaOH	42,277	35,231	30,198	kg/m^3
Na_2SiO_3	67,059	74,510	77,857	kg/m^3
SP	12,010	12,010	12,010	kg/m^3
Air	130,873	130,468	132,154	kg/m^3
BJ Beton	2528,336	2531,362	2533,524	kg/m^3

3.6 Pembuatan Benda Uji Geopolimer

Setelah dilakukan perhitungan *mix design*, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji geopolimer. Untuk setiap komposisi silinder, masing-masing 3 benda uji pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Selain itu juga dibuat variabel kontrol umur 28 hari. Sehingga menjadi 45 benda uji seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.18 Jumlah Benda Uji Beton Geopolimer

Umur	Perbandingan 1,5	Perbandingan 2	Perbandingan 2,5	Variabel Kontrol (Semua Variasi)	Jumlah
7 hari	3 sampel	3 sampel	3 sampel	-	9 sampel
14 hari	3 sampel	3 sampel	3 sampel	-	9 sampel
28 hari	3 sampel	3 sampel	3 sampel	9 sampel	18 sampel
56 hari	3 sampel	3 sampel	3 sampel	-	9 sampel
Total Jumlah					45 sampel

3.6.1 Pembuatan Semen Geopolimer

Sebelum melakukan *mixing*, terlebih dahulu membuat semen geopolimer. Pembuatan semen geopolimer ini dilakukan dengan proses *grinding* menggunakan mesin *grinder* semen. Tahapan yang harus dilakukan antara lain :

1. Persiapan alat

Tabel 3.19 Alat Pembuat Semen Geopolimer

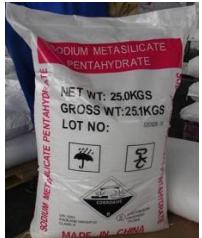
No.	Nama Alat	Gambar Alat
1.	Mesin <i>grinder</i> semen	
2.	Bola baja	

3.	Kain lap penutup	
4.	Kuas	
5.	Timbangan	

2. Persiapan bahan

Tabel 3.20 Bahan Pembuat Semen Geopolimer

No.	Nama Bahan	Gambar Bahan
1.	<i>Fly ash</i>	

2.	Sodium hidroksida (NaOH)	
3.	Sodium silikat (Na ₂ SiO ₃)	

3. Prosedur :

- Timbang *fly ash*, NaOH, dan Na₂SiO₃ sesuai ukuran dalam perhitungan *mix design*.



Gambar 3.7 Menimbang Material Semen Geopolimer

- Masukkan *fly ash*, NaOH, dan Na₂SiO₃ yang telah ditimbang ke dalam mesin *grinder*. Kemudian masukkan bola baja.



Gambar 3.8 Memasukkan Material Semen Geopolimer

- Tutup mesin *grinder* yang sebelumnya telah ditambahi kain lap supaya material tidak bocor.



Gambar 3.9 Menutup Mesin *Grinder* Semen Geopolimer

- Nyalakan / putar mesin *grinder* dengan kecepatan $\pm 13,31$ rpm sebanyak 500 putaran (sekitar 15 menit).
- Setelah selesai, matikan mesin *grinder* kemudian keluarkan material dengan bantuan kuas.
- Masukkan ke dalam wadah plastik dan tutup rapat supaya material tidak bereaksi dengan udara.



Gambar 3.10 Memasukkan Material Semen ke dalam Plastik

3.6.2 Pembuatan Beton Geopolimer

Setelah melakukan *grinding* semen geopolimer, kemudian melakukan pembuatan beton geopolimer dengan proses *mixing* menggunakan alat *mixer*. Tahapan yang dilakukan adalah :

1. Persiapan alat

Tabel 3.21 Alat Pembuat Beton Geopolimer

No.	Nama Alat	Gambar Alat
1.	Alat <i>mixer</i> beton	
2.	Alat uji <i>slump</i>	
3.	Cetakan beton geopolimer 30 x 15 cm	
4.	Cetok	

2. Persiapan bahan

Tabel 3.22 Bahan Pembuat Beton Geopolimer

No.	Nama Bahan	Gambar Bahan
1.	Semen Geopolimer	
2.	<i>Superplasticizer</i> (sukrosa)	
3.	Agregat kasar (kerikil)	
4.	Agregat halus (pasir)	

5.	Air	
----	-----	---

3. Prosedur :

- Timbang agregat kasar, agregat halus, *superplasticizer*, dan air sesuai ukuran dalam perhitungan *mix design*.



Gambar 3.11 Menimbang Material Beton Geopolimer

- Nyalakan alat *mixer* beton dengan kecepatan $\pm 33,16$ rpm.
- Masukkan kerikil ke dalam *mixer* beton kemudian diikuti dengan memasukkan pasir. Tunggu hingga semua agregat tercampur dengan rata.



Gambar 3.12 Memasukkan Kerikil dan Pasir ke Dalam *Mixer*

- Masukkan *superplasticizer* ke dalam campuran, tunggu hingga *superplasticizer* tercampur ke dalam agregat.



Gambar 3.13 Memasukkan *Superplasticizer* ke Dalam *Mixer*

- Masukkan semen geopolimer ke dalam campuran. Kemudian tutup *mixer* dengan menggunakan papan supaya *fly ash* tidak keluar. Setelah tercampur, masukkan air ke dalam campuran. Campur hingga menjadi *homogeny*.



Gambar 3.14 Memasukkan Semen Geopolimer ke Dalam *Mixer*

- Lumuri cetakan dengan oli, sebelum adonan dimasukkan ke dalam cetakan agar saat melepas cetakan tidak lengket.



Gambar 3.15 Melumuri *Bekisting* dengan Oli

- Masukkan adonan tersebut ke dalam cetakan (*bekisting*). Lalu ratakan permukaan beton tersebut dengan palu.



Gambar 3.16 Meratakan Permukaan Beton Geopolimer

- Cetakan bisa dilepas setelah beton sudah mengeras. Setelah itu, simpan beton di dalam ruangan dengan suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ lalu diberi tanda.



Gambar 3.17 Menyimpan Beton yang Sudah Diberi Tanda

- Simpan dalam suhu ruang selama 56 hari, 28 hari, 14 hari, dan 7 hari.

3.7 Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan benda uji (*curing*) ini dilakukan untuk mencegah penguapan air yang berlebihan pada beton. *Curing* dilakukan dengan perawatan paparan udara sekitar (*ambient curing*). Kondisi suhu udara sekitar adalah $33\pm3^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban 50%. Untuk waktu penyimpanan binder selama 56 hari, 28 hari, 14 hari, dan 7 hari. Benda uji yang dilakukan perawatan adalah 45 benda uji.

3.8 Pengujian Beton

3.8.1 Pengujian *Slump* (SNI 1972-2008 dan AASHTO T 119-99)

Bertujuan untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump*.

Alat

1. Kerucut *Abrams*.
2. Batang rojokan.
3. Alas pelat dari besi.
4. Penggaris / meteran.
5. Sekop dan wadah.

Bahan

1. Beton geopolimer.
2. Oli.

Prosedur :

1. Membasahi cetakan dan pelat dengan oli.
2. Letakkan cetakan di atas pelat.
3. Mengisi cetakan sampai penuh dalam 3 lapisan dimana tiap lapisan berisi kira-kira $\frac{1}{3}$ isi cetakan, kemudian setiap lapis dirojok dengan perojok sebanyak 25 x rojokan.
4. Setelah selesai merojok, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang ada di sekitar cetakan harus disingkirkan.
5. Mengangkat cetakan perlahan-lahan tegak lurus ke atas.
6. Mengukur nilai *slump* yang terjadi dengan penggaris.



Gambar 3.18 Pengujian *Slump*

3.8.2 Pengujian Kuat Tekan (ASTM C 39-04, AASHTO T22-15, dan SNI 1974-2011)

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton keras untuk menahan gaya tekan dalam setiap satu satuan luas permukaan beton. Tes kuat tekan beton geopolimer ini akan dilakukan pada umur beton 56 hari, 28 hari, 14 hari, dan 7 hari. Untuk setiap tes kuat tekan, digunakan 3 benda uji dari setiap komposisi dan setiap umur beton.

Alat

1. Alat uji kuat tekan.
2. Timbangan.
3. Mesin gerinda.

Bahan

1. Benda uji beton geopolimer

Prosedur :

1. Ratakan permukaan beton yang akan di uji kuat tekab dengan mesin gerinda agar gaya tekan pada beton lebih merata pada semua permukaan beton.
2. Timbang beton geopolimer.
3. Letakkan beton secara berdiri (vertikal) pada alat tekan dan pilih permukaan yang telah diratakan tadi sebagai permukaan yang terbebani.
4. Mesin diturunkan secara perlahan dengan kecepatan konstan.
5. Catat berapa besar kuat tekannya.

Besarnya angka yang ditunjukkan pada alat kuat tekan merupakan beban (P) yang mampu dipikul beton dalam satuan ton, sehingga untuk mendapatkan kuat tekan yang diinginkan maka besarnya beban dalam satuan ton tersebut harus dibebani dengan luas permukaan beton yang terbebani (A). Sehingga secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$fci = \frac{F}{A} \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.22)$$

Dimana :

- fci = kuat tekan beton geopolimer (kg/cm^2)
 F = beban beton yang membebani beton geopolimer (ton)
 A = luas yang terbebani oleh P (cm^2)
 G = percepatan gravitasi = 9,8 m/s



Gambar 3.19 Pengujian Kuat Tekan

3.8.3 Pengujian Resistivity (AASTHO T 358-15)

Resistivity yang diselidiki adalah *resistivity* beton karena fungsinya adalah sebagai pelindung baja dari korosi sehingga *resistivity* beton dapat mempengaruhi laju aliran ion.

Alat

1. Resipod.

Bahan

1. Beton geopolimer.
2. Air.

Prosedur :

1. Persiapkan permukaan pelat beton.
2. Basahi permukaan area pelat beton yang akan diuji dengan air, bertujuan untuk menghasilkan arus yang dibawa oleh ion dalam bentuk cairan.
3. Basahi ujung alat ke dalam air sebelum melakukan pengukuran.
4. Letakan alat resispod di atas permukaan beton yang akan diuji.

5. Tekan alat dengan kuat sehingga ujung probe tertekan pada permukaan beton hingga keluar besaran angka *resistivity* pada bagian permukaan layar alat resipod.
6. Catat hasil pada form yang telah ditentukan.



Gambar 3.20 Pengujian Resistivity

3.8.4 Pengujian Porosity (ASTM C20-00)

Pengujian porosity dilakukan pada sampel berbentuk silinder. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya prosentase pori-pori beton terhadap volume beton padat.

Alat

1. Mesin gerinda.
2. Oven.
3. Timbangan.

Bahan

1. Beton geopolimer ukuran 10 x 20 cm.

Prosedur :

1. Siapkan benda uji beton lalu dipotong dengan mesin gerinda dengan tinggi 5 cm. Jumlah potongan untuk setiap variasi adalah 3 benda uji.
2. Masukkan beton ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam.
3. Benda uji dikeluarkan dari oven dan diangin-anginkan pada suhu kamar (25°C) kemudian ditimbang. Kemudian masukkan kembali beton ke dalam oven suhu 100°C selama 24 jam.

4. Keluarkan beton lalu ditimbang dan didapatkan berat beton kondisi kering oven.
5. Rendam beton dalam air selama 2x24 jam.
6. Setelah perendaman selama 24 jam kemudian ditimbang dalam air dan didapatkan berat beton dalam air.
7. Benda uji dikeluarkan dari dalam air dan dilap permukaannya untuk mendapatkan kondisi SSD kemudian sampel ditimbang dan didapatkan berat beton kondisi SSD setelah perendaman.



Gambar 3.21 Pengujian Porosity

3.8.5 Pengujian Permeability (ACI 301-72 (revisi 1975)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton.

Alat :

1. *Permeability Tester Torrent.*

Bahan

2. Beton geopolimer.

Prosedur :

1. Selang *permeability* bertekanan dipasang pada permukaan pelat kalibrasi. Kemudian tahan hingga alat dinyalakan.
2. Nyalakan tombol *on* setelah itu pilih *start, calibration* kemudian ikuti perintah yang tertera pada layar.
3. Setelah data terekam, pilih *print out*.
4. Jika kalibrasi selesai, maka lakukan pengetesan pada benda uji silinder.

5. Untuk pengecekan data *output* maka pilih *menu, start, start*.
6. Catat data yang muncul pada layar.
7. Setelah data tercatat pilih tombol *end*.
8. Jika ingin melakukan penggerjaan ulang silinder maka pilih tombol *start* dan lakukan ulang seperti prosedur di atas.



Gambar 3.22 Pengujian Permeability

3.9 Analisa Data

Tahap analisa data adalah hasil pengecekan produk pengujian. Analisa data berperan dalam pembuatan kesimpulan dari penggerjaan tugas akhir ini. Analisa data dilakukan dengan cara membandingkan variabel-variabel yang ada dengan kemampuan geopolimer yang dicapai. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efek dari variabel tersebut terhadap kemampuan yang ingin dianalisa yang meliputi kuat tekan dan *durability*.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Umum

Berikut ini merupakan hasil dan analisa data dari seluruh kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan di laboratorium, meliputi; pengujian karakteristik material, pengujian *slump*, pengujian kuat tekan, pengujian *permeability*, pengujian *resistivity*, pengujian *porosity*, dan pengujian *pH*.

Hasil dan analisa data ini akan disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan pembahasan. Berikut rinciannya:

4.2 Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material ini dilakukan pada material pengikat beton geopolimer yaitu *fly ash*. *Fly ash* adalah bahan dengan kandungan alumina silika yang sangat halus bisa bereaksi kimia dengan kapur dan air membentuk bahan pengikat. Berikut adalah beberapa pengujian pada *fly ash* :

4.2.1 Pengujian XRF (*X-Ray Flourence*)

Pengujian XRF dilakukan di LPPM ITS, Surabaya. Dari hasil pengujian XRF tersebut, didapatkan persentase komposisi senyawa yang terkandung dalam *fly ash* pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRF *Fly Ash*

Senyawa	Massa (%)
MgO	1,30
Al ₂ O ₃	6,70
SiO ₂	21,20
SO ₃	0,50
K ₂ O	1,09
CaO	29,60
TiO ₂	1,00
V ₂ O ₅	0,06
MnO	0,26
Fe ₂ O ₃	32,50
MoO ₃	3,80
BaO	0,50
HgO	1,50
Na ₂ O	No intensity

Dari tabel di atas, untuk menentukan tipe *fly ash* tersebut maka dapat dilihat kandungan senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO . Kemudian hasil pengujian XRF dapat ditinjau dari literatur ASTM C618-12 pada tabel 4.2.

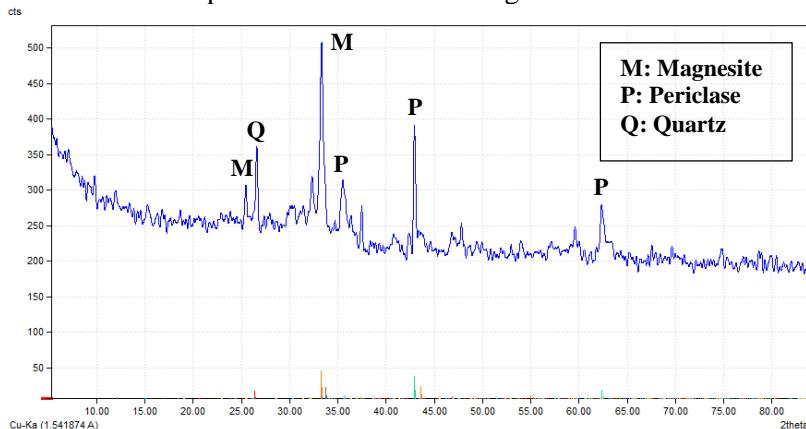
Tabel 4.2 Hasil Pengujian XRF *Fly Ash* yang digunakan dengan Parameter ASTM C618-12

No.	Parameter	Nilai
1	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, % Aktiv	60,40
2	CaO , % Aktivator	29,60

Berdasarkan tabel di atas, parameter 1 dan 2 menunjukkan bahwa *fly ash* yang digunakan adalah tipe C, dikarenakan nilai $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 < 70\%$ dan kadar CaO *fly ash* > 15%.

4.2.2 Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian XRD *fly ash* dilakukan di Laboratorium Material dan Metalurgi ITS, Surabaya. Hasil pengujian XRD *fly ash* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Pola XRD *Fly Ash* Lab. Material dan Metalurgi ITS yang Digunakan dalam Penelitian ini

Berikut ini adalah kandungan mineral hasil pengujian XRD terhadap *fly ash* yang digunakan pada tabel 4.3.

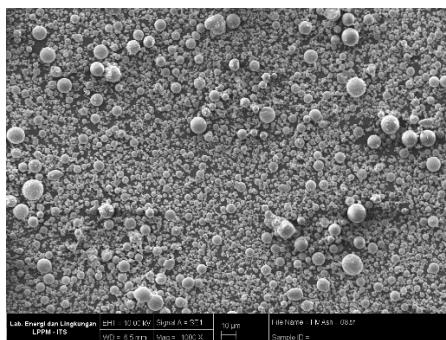
Tabel 4.3 Kandungan Mineral Hasil Pengujian XRD Terhadap *Fly Ash* yang Digunakan

Mineral	Senyawa	Kuantitas (%)
Magnesite	CMgO ₃	18,36
Periclase	Mg O	9,25
Brownmillerite	SiMG	7,43
Quartz	O ₂ Si	4,35
Anhydrate	CaO ₄ Si	2,99
Maghemite	Fe ₂ O ₃	1,5
Lime	CaO	1,41
Amorphous	Hkl Amorph	54,71

Berdasarkan informasi hasil pengujian XRD *fly ash* di atas dan telah diidentifikasi dengan software match, diketahui bahwa prosentase kristalin terbesar adalah Magnesite sebesar 18,38%. Selain itu kandungan total kristalin sebesar 45,29%, sedangkan amorphous sebesar 54,71%.

4.2.3 Pengujian SEM-EDX

Pengujian SEM-EDX dilakukan di LPPM ITS, Surabaya. Hasil pengujian SEM-EDX adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 Hasil Pengujian SEM-EDX LPPM ITS, Surabaya

Berdasarkan informasi hasil pengujian SEM-EDX oleh LPPM ITS di atas, dapat dilihat bahwa bentuk partikel *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini bulat sempurna. Bahkan hampir seluruh partikel *fly ash* memiliki bentuk yang bulat, menunjukkan bahwa partikel *fly ash* yang digunakan memiliki sifat yang sangat reaktif. Sampel *fly ash* sebagian besar terdiri dari bola silikat alumino amorf dengan jumlah zat besi yang lebih sedikit (Kutchko dkk, 2006). Fasa amorf yang semakin banyak akan mempercepat laju reaksi dari *fly ash* yang digunakan.

4.2.4 Pengujian Berat Jenis *Fly Ash*

Pengujian berat jenis *fly ash* dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$BJ = \frac{wk}{wk + wl - wm} \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.22)$$

Dimana :

Wk = Berat *fly ash* (gram)

Wl = Berat labu ukur + minyak (gram)

Wm = Berat labu ukur + minyak + *fly ash* (gram)

Hasil perhitungan :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Fly Ash*

Percobaan	1 (gram)	2 (gram)	3 (gram)
Berat <i>fly ash</i> (wk)	250	250	250
Berat labu + minyak (wl)	572,9	586	586
Berat labu + minyak + <i>fly ash</i>	754,7	767,6	767,6
Berat jenis <i>fly ash</i> (gr/cm ³)	2,93	2,92	2,92

Dari tabel 4.4 didapatkan berat jenis *fly ash* rata-rata adalah sebesar $\frac{2,93+2,92+2,92}{3} = 2,93 \text{ gram/cm}^3$.

4.3 Hasil Pengujian Beton Geopolimer

4.3.1 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat homogenitas dan *workability* dari beton geopolimer. Berikut adalah hasil pengujian *slump* pada seluruh variabel :

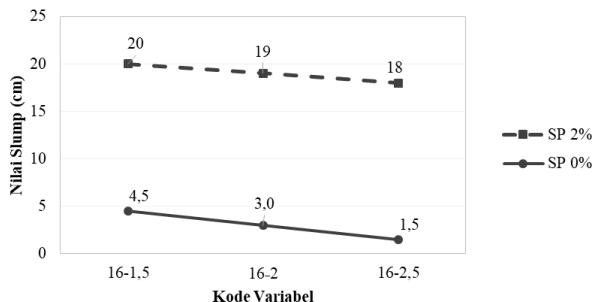
Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Slump* dengan SP 2%

No	Kode Variabel	Nilai Slump (cm)
1	A16-1,5	20
2	A16-2	19
3	A16-2,5	18

Tabel 4.6 Hasil Pengujian *Slump* dengan SP 0%

No	Kode Variabel	Nilai Slump (cm)
1	B16-1,5	4,5
2	B16-2	3,0
3	B16-2,5	1,5

Perbandingan nilai *slump* antara *superplasticizer* 0% dengan *superplasticizer* 2%, adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai *Slump* antara SP 0% dan SP 2%

Dari hasil pengujian *slump* di atas, variasi dengan nilai *slump* terbesar baik dalam SP 0% dan SP 2% adalah variasi 16-1,5. Perbandingan alkali aktivator berbanding terbalik terhadap nilai *slump* dimana semakin besar perbandingan alkali aktivator, nilai

slump yang dihasilkan kecil dan *workability* jelek dan sebaliknya. Penambahan viskositas yang terjadi pada penambahan sodium silikat berakibat pada menurunnya nilai *slump* pada beton (Topark-Ngarm dkk, 2015). Pada penelitian (Gomaa dkk, 2017) juga menyebutkan bahwa kandungan sodium silikat memiliki nilai viskositas yang tinggi yang berakibat buruknya *workability* beton. Berdasarkan SNI 1972-2008, nilai *slump* beton geopolimer telah memenuhi standar dengan rentang nilai 150-230 mm.

Sedangkan jika dilihat dari pengaruh SP, beton geopolimer yang ditambahi SP memiliki nilai *slump* yang lebih besar pada semua variasi alkali aktivator. Penambahan SP pada beton geopolimer mengakibatkan bertambahnya nilai *slump* yang berarti bahwa nilai homogenitas *workability* beton tersebut semakin bagus. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa penambahan *superplasticizer* merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penambahan nilai *slump* beton geopolimer (Chindaprasirt dkk, 2006)

4.3.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton geopolimer dalam menahan gaya tekan. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan di LMSG, Kampus ITS Manyar. Setiap pengujian menggunakan 3 buah sampel beton. Sampel benda uji memiliki ukuran 10 x 20 cm dan 15 x 30 cm. Perbedaan ukuran ukuran sampel dikarenakan jumlah *fly ash* yang tidak mencukupi jika menggunakan semua sampel menggunakan ukuran 15 x 30 cm. Jumlah *fly ash* yang kurang diakibatkan kendala dalam pengambilan *fly ash* di Mesh *Fly Ash* Paiton selama pandemi virus korona. Perbedaan ukuran sampel ini menyebabkan terdapat faktor koreksi berdasarkan SNI 1974-2011 seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) dengan Diameter (D)

L/D	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Faktor	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

Tabel 4.8 Estimasi Korelasi Kuat Tekan Silinder Beton Berdasarkan Diamater Benda Uji

Diameter (D) mm	Tinggi (L) mm	Faktor Koreksi
50	100	1,09
75	150	1,06
100	200	1,04
125	250	1,02
150	300	1,00
175	350	0,98
200	400	0,96
250	500	0,93
300	600	0,91

(SNI 1974-2011)

Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan beton seluruh variasi yang disajikan dalam tabel dan grafik :

a. Variasi dengan *Superplasticizer* 2%

Tabel 4.9 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi A16-1,5
(Perbandingan 1:1,5)

Analisis Struktural Beton (Prestressing) 11x30						
Umur	No. Kode Beton	Berat Beton (kg)	Luas Permukaan Beton (A) (cm²)	Kuat Tekan (P) (ton)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Standar Deviasi
7 hari	1	4,04	78,540	29,9	38,80	
	2	4,02	78,540	33,4	43,34	
	3	4,06	78,540	40,2	52,17	6,80
	Rata-rata			34,5	44,77	
Klasifikasi				Mutu Tinggi Struktural		
14 hari	1	4,06	78,540	41,0	53,21	
	2	4,02	78,540	39,3	51,00	
	3	4,14	78,540	43,3	56,19	2,61
	Rata-rata			41,2	53,46	
Klasifikasi				Mutu Tinggi Struktural		
28 hari	1	13,80	176,715	91,1	50,52	
	2	13,60	176,715	95,5	52,96	
	3	13,60	176,715	94,7	52,52	1,30
	Rata-rata			93,8	52,00	
Klasifikasi				Mutu Tinggi Struktural		
56 hari	1	10,44	176,715	145,4	77,41	
	2	10,28	176,715	133,4	71,02	
	3	10,42	176,715	132,0	70,27	3,92
	Rata-rata			136,9	72,90	
Klasifikasi				Mutu Tinggi Struktural		

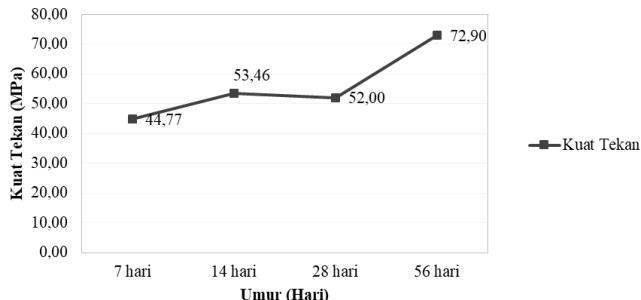
Tabel 4.10 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi A16-2
(Perbandingan 1:2)

Umur	No. Kode Beton	Berat Beton (kg)	Luas Permukaan Beton (A) (cm ²)	Kuat Tekan (P) (ton)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Standar Deviasi
7 hari	1	4,10	78,540	26,8	34,78	
	2	4,04	78,540	29,5	38,28	
	3	4,12	78,540	29,7	38,54	2,10
Rata-rata Klasifikasi				28,7	37,20	
				Mutu Sedang Struktural		
14 hari	1	4,20	78,540	37,9	49,18	
	2	4,06	78,540	30,4	39,45	
	3	4,08	78,540	39,8	51,65	6,45
Rata-rata Klasifikasi				36,0	46,76	
				Mutu Tinggi Struktural		
28 hari	1	10,32	176,715	131,1	69,80	
	2	10,54	176,715	113,4	60,37	
	3	10,26	176,715	102,5	54,57	7,68
Rata-rata Klasifikasi				115,7	61,58	
				Mutu Tinggi Struktural		
56 hari	1	10,24	176,715	139,9	74,48	
	2	10,30	176,715	142,4	75,81	
	3	10,28	176,715	124,6	66,34	5,13
Rata-rata Klasifikasi				135,6	72,21	
				Mutu Tinggi Struktural		

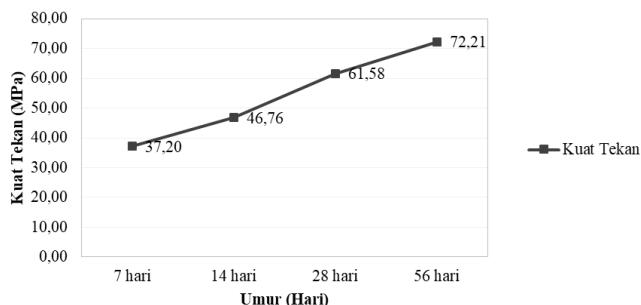
Tabel 4.11 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi A16-2,5
(Perbandingan 1:2,5)

Umur	No. Kode Beton	Berat Beton (kg)	Luas Permukaan Beton (A) (cm ²)	Kuat Tekan (P) (ton)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Standar Deviasi
7 hari	1	4,10	78,540	6,0	7,79	
	2	4,02	78,540	6,6	8,56	
	3	4,04	78,540	6,4	8,31	0,40
Rata-rata Klasifikasi				6,3	8,22	
				Non-Struktural		
14 hari	1	4,10	78,540	21,1	27,38	
	2	4,06	78,540	22,4	29,07	
	3	4,00	78,540	16,6	21,54	3,95
Rata-rata Klasifikasi				20,0	26,00	
				Mutu Sedang Struktural		
28 hari	1	4,02	78,540	30,7	39,84	
	2	4,02	78,540	29,7	38,54	
	3	4,16	78,540	30,0	38,93	0,67
Rata-rata Klasifikasi				30,1	39,10	
				Mutu Sedang Struktural		
56 hari	1	3,96	78,540	27,9	36,21	
	2	4,00	78,540	26,8	34,78	
	3	3,98	78,540	30,6	39,71	2,54
Rata-rata Klasifikasi				28,4	36,90	
				Mutu Sedang Struktural		

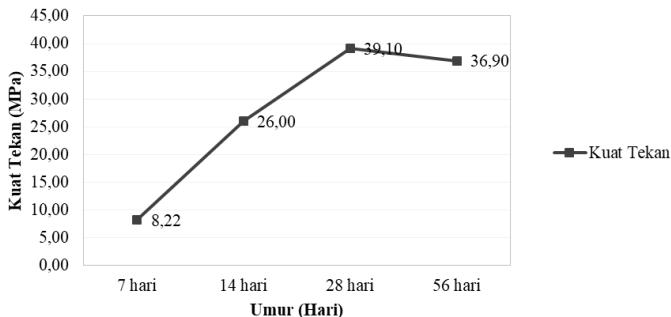
Dari hasil pengujian, maka pengujian kuat tekan tiap variabel memiliki grafik sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik Nilai Kuat Tekan Variasi A16-1,5
(Perbandingan 1:1,5)



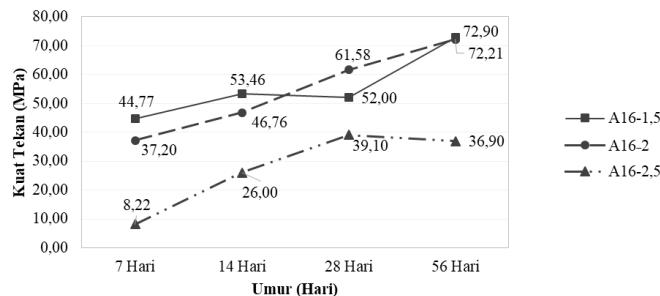
Gambar 4.5 Grafik Nilai Kuat Tekan Variasi A16-2
(Perbandingan 1:2)



Gambar 4.6 Grafik Nilai Kuat Tekan Variasi A16-2,5
(Perbandingan 1:2,5)

Tabel 4.12 Nilai Kuat Tekan Seluruh Variasi Beton Geopolimer

No	Kode Variabel	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)			
		7 Hari	14 Hari	28 Hari	56 Hari
1	A16-1,5	44,77	53,46	52,00	72,90
2	A16-2	37,20	46,76	61,58	72,21
3	A16-2,5	8,22	26,00	39,10	36,90



Gambar 4.7 Grafik Nilai Kuat Tekan Seluruh Variasi Beton Geopolimer

Dari hasil pengujian kuat tekan di atas, variasi dengan nilai kuat tekan rencana 35 MPa tertinggi umur 28 hari adalah variasi A16-2 sebesar 61,58 MPa. Sedangkan kuat tekan umur 56 hari tertinggi pada variasi A16-1,5 sebesar 72,90 MPa. Hal ini

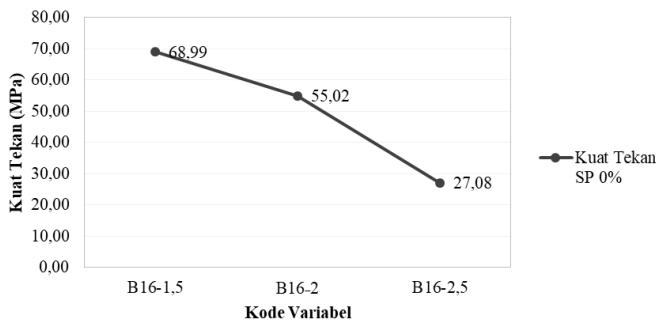
menunjukkan bahwa variasi kuat tekan yang paling optimum dalam kandungan *superplasticizer* 2% adalah pada perbandingan A16-1,5. Yang berarti bahwa semakin kecil perbandingan alkali aktivator, maka semakin tinggi mutu kuat tekan yang dihasilkan. Perbandingan alkali aktivator yang besar memiliki kandungan sodium silikat yang semakin besar juga. Sodium silikat yang larut tinggi menghambat proses geopolimerisasi (Bignozzi dkk, 2014). Kandungan sodium silikat berlebih dalam campuran menghambat pembentukan struktur geopolimer menyebabkan penurunan kuat tekan (Cheng dkk, 2003).

Jika dilihat dari grafik, beton geopolimer variasi A16-2,5 umur 56 hari dan pada variasi A16-1,5 umur 28 hari mengalami penurunan kuat tekan. Dugaan turunnya kuat tekan diantaranya pada saat proses *mixing* keadaan agregat halus cenderung basah atau tidak dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Tjokrodimuldjo, 1996 mengatakan bahwa dalam perhitungan kebutuhan air untuk adukan beton, agregat dianggap dalam keadaan kering permukaan. Selain itu, saat pelaksanaan menggunakan sampel dengan ukuran berbeda. Benda uji yang mengalami penurunan kuat tekan menggunakan sampel besar (15 cm x 30 cm). Semakin besar ukuran penampang benda uji maka semakin kecil kuat tekan yang dihasilkan beton tersebut (Ozyildirim & Carino, 2006). Hal tersebut dinamakan dengan *size effect* atau pengaruh ukuran. Dengan bertambahnya ukuran sampel maka akan memunculkan variasi hasil pengujian. Saat ukuran sampel bertambah maka kemungkinan terjadinya *bleeding* (naiknya air) dan *segregasi* (pemisahan) akan semakin meningkat (Bazant, 1984). Proses *mixing* juga tidak dilakukan dalam sekali proses (waktu bersamaan). Saat proses *mixing* tidak dilakukan perhitungan waktu pengadukan, sehingga menyebabkan perbedaan waktu pengadukan. R. Segel, 1993 mengatakan bahwa faktor pengadukan menjadi salah satu kegiatan penting untuk memenuhi kekentalan (konsistensi), kekuatan, dan ketahanan (*durability*) beton. Adukan beton yang terlalu lama akan menyebabkan beton kental dan memiliki *workability* yang rendah.

b. Variasi Kontrol dengan *Superplasticizer* 0%

Tabel 4.13 Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan *Superplasticizer* 0% Umur 28 Hari

Kode Beton	Umur	No. Kode Beton	Berat Beton (kg)	Luas Permukaan	Kuat Tekan (P) (ton)	Kuat Tekan (f'c) (MPa)	Standar Deviasi
B16-1,5	28 hari	1	4,02	78,540	56,4	73,19	
		2	4,14	78,540	56,4	73,19	
		3	4,12	78,540	46,7	60,60	
		Rata-rata			53,2	68,99	7,27
Klasifikasi				Mutu Tinggi Struktural			
B16-2	28 hari	1	4,04	78,540	49,6	64,37	
		2	3,98	78,540	34,4	44,64	
		3	4,00	78,540	43,2	56,06	
		Rata-rata			42,4	55,02	9,90
Klasifikasi				Mutu Tinggi Struktural			
B16-2,5	28 hari	1	4,04	78,540	21,2	27,51	
		2	3,88	78,540	19,3	25,05	
		3	3,94	78,540	22,1	28,68	
		Rata-rata			20,9	27,08	1,85
Klasifikasi				Mutu Sedang Struktural			



Gambar 4.8 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan *Superplasticizer* 0% Umur 28 hari

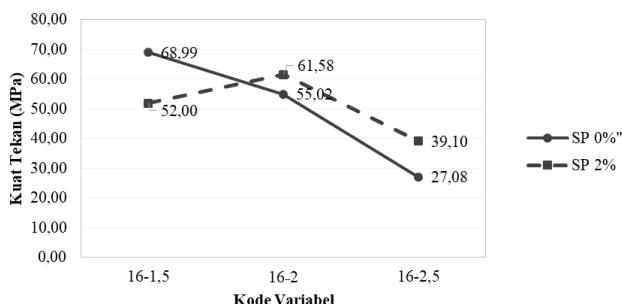
Dari hasil pengujian kuat tekan pada kandungan SP 0% di atas, variasi dengan nilai kuat tekan tertinggi adalah variasi B16-1,5 yaitu sebesar 68,99 MPa. Sedangkan untuk kuat tekan terendah yaitu pada variasi B16-2,5 sebesar 27,08 MPa umur. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kuat tekan yang paling optimum

dalam kandungan *superplasticizer* 0% adalah pada variasi B16-1,5. Sama dengan kadar SP 2%, pada kadar SP 0% ini kuat tekan beton geopolimer cenderung semakin bagus dengan perbandingan alkali aktikator yang semakin kecil.

Perbandingan nilai kuat tekan umur 28 hari dalam kandungan *superplasticizer* 0% dengan *superplasticizer* 2%, adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%

Perbandingan	Kandungan <i>Superplasticizer</i>	
	SP 0%	SP 2%
16-1,5	68,99	52,00
16-2	55,02	61,58
16-2,5	27,08	39,10



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%

Gambar 4.9 di atas adalah perbandingan rata-rata kuat tekan umur 28 hari antara SP 0% dan SP 2%. Dari grafik terlihat bahwa kuat tekan pada variasi 16-2 dan 16-2,5 dengan SP 2% berada diatas kuat tekan dengan SP 0%. Sedangkan pada variasi 16-1,5 SP 2% kuat tekan berada di bawah SP 0%. Penyebabnya sama dengan analisis pada penurunan kuat tekan sebelumnya.

4.3.3 Pengujian Resistivity

Pengujian *resistivity* dilakukan untuk mengetahui nilai resistivitas dari beton dalam melindungi baja tulangan dari korosi. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Berikut ini adalah hasil pengujian *resistivity* beton geopolimer pada seluruh variabel :

- Variasi dengan *Superplasticizer* 2%

Tabel 4.15 Nilai *Resistivity* Beton Geopolimer Variasi A16-1,5
(Perbandingan 1:1,5)

Umur	7 hari			14 hari			28 hari			56 hari			
	Kode Beton	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
A16-1,5		2,7	3,4	3,0	7,9	10,2	9,2	15,8	15,4	12,8	15,1	17,5	16,4
		2,8	3,4	3,3	8,0	12,1	9,3	12,9	12,6	13,5	14,3	13,9	15,7
		2,9	3,0	3,2	7,7	9,8	10,0	15,6	13,9	17,5	16,8	15,7	21,0
		2,9	3,5	3,2	7,3	9,5	8,2	13,6	12,5	14,2	15,4	16,6	16,9
		2,8	3,3	3,3	7,8	9,0	7,9	13,7	18,8	12,4	13,6	12,7	15,6
		2,9	3,3	3,1	6,8	10,3	9,1	18,3	12,9	17,5	19,4	16,6	17,1
Rata-rata		2,8	3,3	3,2	7,6	10,2	9,0	15,0	14,4	14,7	15,8	15,5	17,1
					3,1		8,9		14,7			16,1	
Tk. Korosi		Tinggi		Sedang			Rendah			Rendah			
St. Deviasi		0,242		1,317			2,130			1,993			

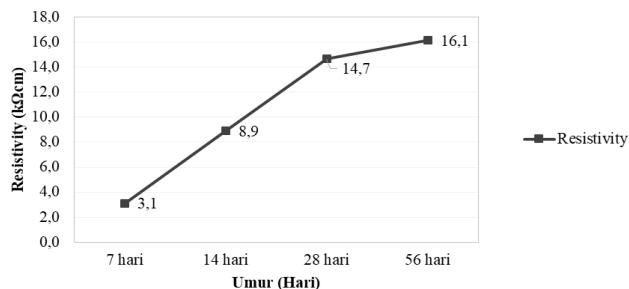
Tabel 4.16 Nilai *Resistivity* Beton Geopolimer Variasi A16-2
(Perbandingan 1:2)

Umur	7 hari			14 hari			28 hari			56 hari			
	Kode Beton	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
A16-2		1,8	1,8	2,2	6,8	5,1	6,1	9,7	10,3	11,1	15,3	16,7	18,4
		1,8	1,7	2,1	5,4	5,7	6,1	7,7	8,1	8,2	13,1	15,6	17,6
		1,9	1,9	2,0	5,9	5,3	6,4	10,0	9,6	10,4	15,7	16,0	18,3
		1,7	1,8	1,9	6,2	5,3	6,3	9,1	10,7	11,0	15,5	14,3	16,4
		1,6	1,8	2,0	6,1	5,3	6,4	8,2	8,2	8,5	12,8	12,7	14,0
		1,7	1,8	2,0	6,0	5,0	5,8	10,4	10,0	10,7	14,4	16,9	14,0
Rata-rata		1,8	1,8	2,0	6,1	5,3	6,2	9,2	9,5	10,0	14,5	15,4	16,5
					1,9		5,8		9,6			15,4	
Tk. Korosi		Tinggi		Tinggi			Sedang			Rendah			
St. Deviasi		0,154		0,512			1,135			1,768			

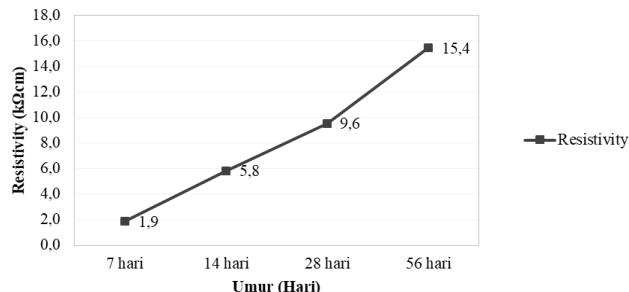
Tabel 4.17 Nilai Resistivity Beton Geopolimer Variasi A16-2,5
(Perbandingan 1:2,5)

Umur	7 hari			14 hari			28 hari			56 hari			
	Kode Beton	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
A16-2,5	-	-	-	-	-	-	-	2,3	1,7	2,0	5,7	6,1	5,6
	-	-	-	-	-	-	-	1,9	1,8	1,9	6,0	5,2	5,6
	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,7	1,9	6,8	6,2	5,2
	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,7	1,7	5,3	5,4	5,3
	-	-	-	-	-	-	-	1,9	1,8	1,7	5,9	5,4	5,0
	Rata-rata	-	-	-	-	-	-	2,0	1,7	2,1	5,7	5,5	5,3
Tk. Korosi	Tinggi				Tinggi			Tinggi			Tinggi		
St. Deviasi	-				-			0,170			0,444		

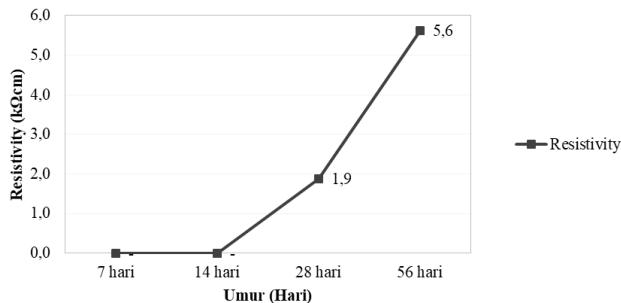
Dari hasil pengujian, maka pengujian resistivity tiap variabel memiliki grafik sebagai berikut :



Gambar 4.10 Grafik Nilai Resistivity Variasi A16-1,5
(Perbandingan 1:1,5)



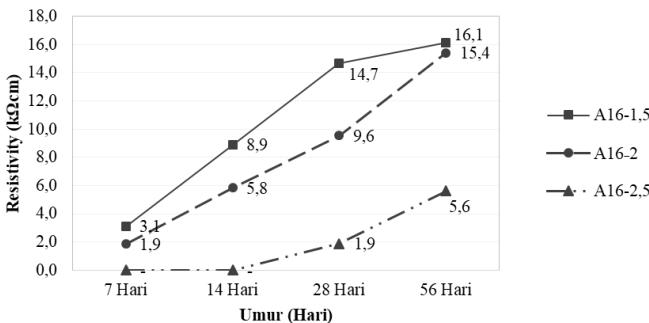
Gambar 4.11 Grafik Nilai Resistivity Variasi A16-2
(Perbandingan 1:2)



Gambar 4.12 Grafik Nilai Resistivity Variasi A16-2,5
(Perbandingan 1:2,5)

Tabel 4.18 Nilai Resistivity Seluruh Variasi Beton Geopolimer

No	Kode Variabel	Resistivity Rata-Rata (kΩcm)			
		7 Hari	14 Hari	28 Hari	56 Hari
1	A16-1,5	3,1	8,9	14,7	16,1
2	A16-2	1,9	5,8	9,6	15,4
3	A16-2,5	-	-	1,9	5,6



Gambar 4.13 Grafik Nilai Resistivity Seluruh Variasi Beton Geopolimer

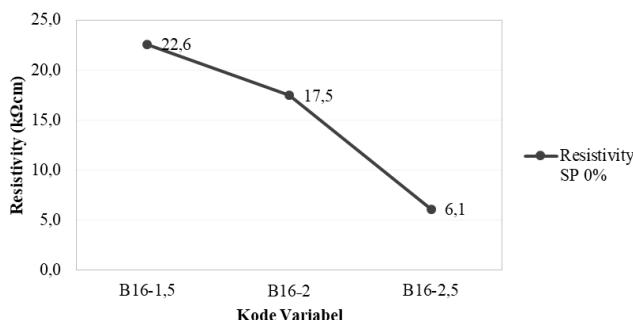
Dari hasil pengujian *resistivity* di atas, terlihat bahwa nilai *resistivity* meningkat seiring bertambahnya umur beton. Nilai *resistivity* tertinggi adalah pada variasi A16-1,5 yaitu 16,1 kΩcm, disusul variasi A16-2 dan A16-2,5. Pada grafik, nilai *resistivity*

semakin bagus pada perbandingan alkali aktuator yang semakin kecil. Peningkatan kandungan alkali mengakibatkan peningkatan *resistivity* (David W Law dkk, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil perbandingan alkali aktuator (kandungan alkali tinggi) maka nilai *resistivity* semakin bagus. Nilai *resistivity* yang tinggi berkaitan dengan resiko korosi rendah sementara *resistivity* rendah berkaitan dengan resiko korosi tinggi (Zainal dkk, 2015). Sehingga kemungkinan terjadi korosi baja tulangan pada variasi A16-1,5 adalah sangat kecil.

b. Variasi Kontrol dengan *Superplasticizer* 0%

Tabel 4.19 Nilai *Resistivity* Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan *Superplasticizer* 0% Umur 28 hari

Variasi	B16-1,5			B16-2			B16-2,5				
	Kode Beton	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Umur 28 Hari	20,2	24,2	22,5	15,2	18,4	19,3	6,3	6,3	7,1		
	23,6	22,6	26,6	18,8	17,5	18,3	6,1	6,8	5,8		
	24,5	24,2	22,8	16,2	18,5	18,3	5,8	7,1	6,3		
	21,0	26,4	20,9	17,8	16,9	17,6	5,0	6,3	6,0		
	21,7	22,9	19,6	16,5	16,4	16,7	5,4	6,3	6,2		
	19,7	21,3	21,3	16,5	17,7	18,0	6,1	5,8	5,3		
	21,8	23,6	22,3	16,8	17,6	18,0	5,8	6,4	6,1		
Rata-rata		22,6			17,5			6,1			
Tk. Korosi	Rendah			Rendah			Tinggi				
St. Deviasi	2,073			1,074			0,559				



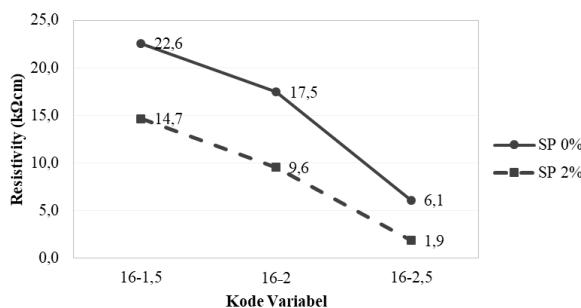
Gambar 4.14 Grafik Nilai *Resistivity* Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan *Superplasticizer* 0% Umur 28 hari

Dari hasil pengujian *resistivity* pada kandungan SP 0% di atas, variasi dengan nilai *resistivity* tertinggi adalah variasi B16-1,5 yaitu sebesar 22,6 k Ω cm. Sedangkan untuk *resistivity* terendah yaitu pada variasi B16-2,5 sebesar 6,1 k Ω cm. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *resistivity* yang paling optimum dalam kandungan *superplasticizer* 0% adalah pada variasi B16-1,5.

Perbandingan nilai *resistivity* umur 28 hari dalam kandungan *superplasticizer* 0% dengan *superplasticizer* 2%, adalah sebagai berikut :

Tabel 4.20 Perbandingan Nilai *Resistivity* Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%

Perbandingan	Kandungan <i>Superplasticizer</i>	
	SP 0%	SP 2%
16-1,5	22,6	14,7
16-2	17,5	9,6
16-2,5	6,1	1,9



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai *Resistivity* Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%

Gambar 4.15 di atas adalah perbandingan rata-rata *resistivity* umur 28 hari antara SP 0% dan SP 2%. Dari grafik terlihat bahwa nilai *resistivity* SP 0% berada di atas SP 2% pada semua variasi perbandingan. Hal itu menunjukkan bahwa kadar SP 0% memberikan hasil *resistivity* yang lebih baik dari kadar SP 2%.

4.3.4 Pengujian Porosity

Pengujian *porosity* dilakukan untuk mengetahui mengetahui besarnya prosentase pori-pori beton terhadap volume beton padat. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari dan 56 hari. Berikut ini adalah hasil pengujian *porosity* beton geopolimer pada seluruh variabel :

- a. Variasi dengan *Superplasticizer* 2%

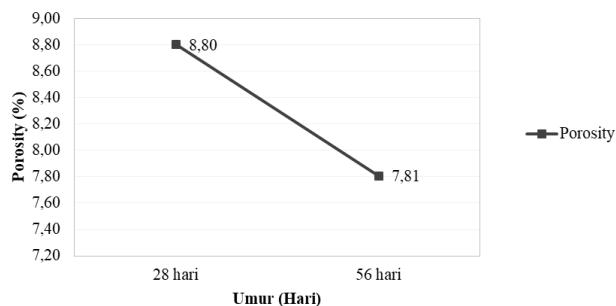
Tabel 4.21 Nilai Porosity Beton Geopolimer Variasi A16-1,5
(Perbandingan 1:1,5)

Tabel 4.22 Nilai Porosity Beton Geopolimer Variasi A16-2
(Perbandingan 1:2)

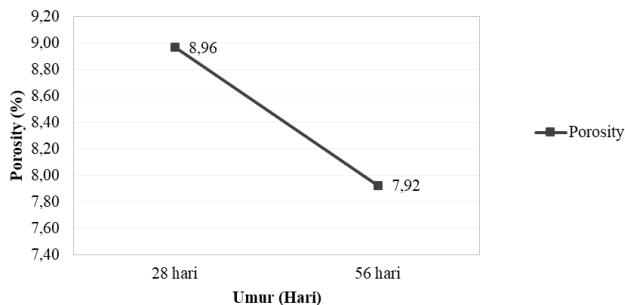
Tabel 4.23 Nilai *Porosity* Beton Geopolimer Variasi A16-2,5
(Perbandingan 1:2,5)

Umur	No. Kode Beton	Berat (gr)				Porositas
		Benda Uji Awal (W0)	Benda Uji Kering Oven	Benda Dalam Air (W2)	Berat SSD (W3)	
28 hari	1	941,2	925,2	588,1	978,6	13,675
	2	987,4	942,8	602,2	989,2	11,990
	3	935,0	890,0	565,1	944,9	14,455
Rata-rata						13,373
Standar Deviasi						1,260
56 hari	1	1001,2	959,0	605,7	1017,1	14,123
	2	997,9	966,4	615,6	1009,5	10,942
	3	860,6	826,0	523,0	869,7	12,605
Rata-rata						12,556
Standar Deviasi						1,591

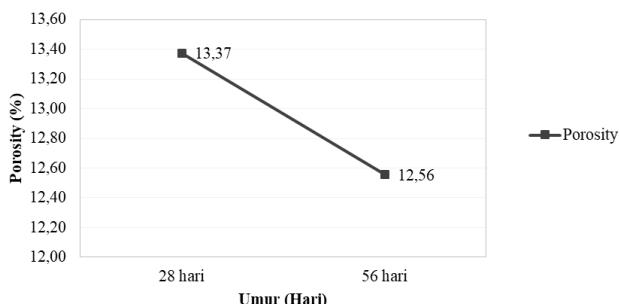
Dari hasil pengujian, maka pengujian *porosity* tiap variabel memiliki grafik sebagai berikut :



Gambar 4.16 Grafik Nilai *Porosity* Beton Geopolimer Variasi A16-1,5
(Perbandingan 1:1,5)



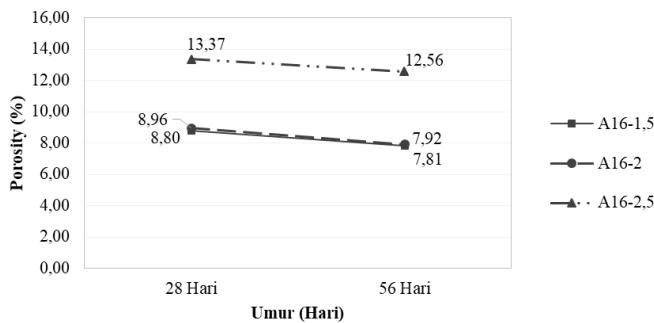
Gambar 4.17 Grafik Nilai *Porosity* Beton Geopolimer Variasi A16-2
(Perbandingan 1:2)



Gambar 4.18 Grafik Nilai *Porosity* Beton Geopolimer Variasi A16-2,5
(Perbandingan 1:2,5)

Tabel 4.24 Nilai *Porosity* Seluruh Variasi Beton Geopolimer

No	Kode Variabel	Porosity Rata-Rata (%)	
		28 Hari	56 Hari
1	A16-1,5	8,80	7,81
2	A16-2	8,96	7,92
3	A16-2,5	13,37	12,56



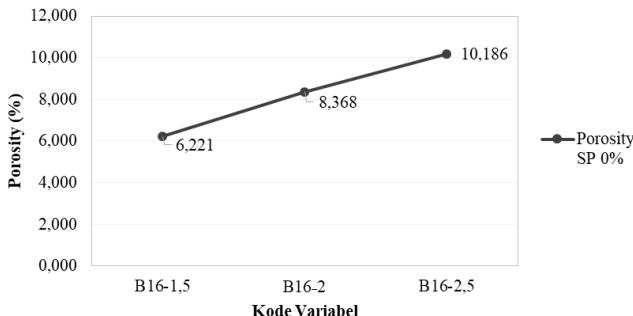
Gambar 4.19 Grafik Nilai Porosity Seluruh Variasi Beton Geopolimer

Dari hasil pengujian *porosity* di atas, variasi dengan nilai *porosity* terbaik adalah variasi A16-1,5 sebesar 7,81% umur 56 hari. Kandungan alkali yang lebih tinggi memberikan reaktivitas yang lebih baik yang menghasilkan struktur mikro yang lebih padat (Suresh Thokchom dkk, 2009). Dari grafik menunjukkan bahwa semakin kecil perbandingan alkali aktivator (kandungan alkali tinggi), maka semakin kecil juga prosentase pori dalam beton, yang berarti memiliki nilai *porosity* yang bagus.

b. Variasi Kontrol dengan *Superplasticizer* 0%

Tabel 4.25 Nilai Porosity Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan Superplasticizer 0% Umur 28 hari

Kode Beton	Umur	No. Kode Beton	Berat (gr)				Porositas
			Benda Uji Awal (W0)	Benda Uji Kering Oven	Benda Dalam Air (W2)	Berat SSD (W3)	
B16-1,5	28 hari	1	1041,1	1017,3	635,6	1043,7	6,469
		2	1014,0	992,6	624,9	1016	5,983
		3	937,0	916,5	576,8	939	6,212
	Rata-rata						6,221
Standar Deviasi							0,243
B16-2	28 hari	1	906,8	879,8	555,1	908,8	8,199
		2	977,8	949,5	595,2	980,1	7,950
		3	952,9	923,3	584,7	956,6	8,954
	Rata-rata						8,368
Standar Deviasi							0,523
B16-2,5	28 hari	1	975,7	948,8	606,7	986,7	9,974
		2	912,3	884,1	561,5	922,1	10,538
		3	927,2	903,1	578,1	939,4	10,047
	Rata-rata						10,186
Standar Deviasi							0,307

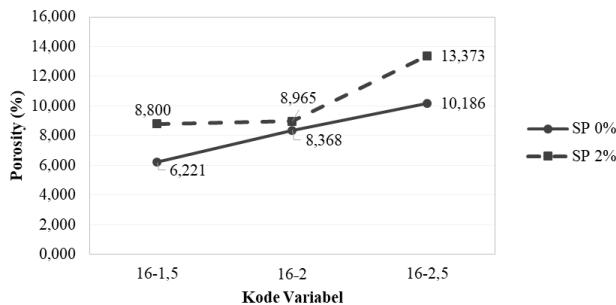


Gambar 4.20 Grafik Nilai *Porosity* Beton Geopolimer Variasi Alkali Aktivator dengan *Superplasticizer* 0% Umur 28 hari

Dari hasil pengujian *porosity* pada kandungan SP 0% di atas, variasi dengan nilai *porosity* terkecil adalah variasi B16-1,5 yaitu sebesar 6,221%. Sedangkan untuk *porosity* tertinggi yaitu pada variasi B16-2,5 sebesar 10,186%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *porosity* yang paling optimum dalam kandungan *superplasticizer* 0% adalah pada variasi B16-1,5. Perbandingan nilai *porosity* umur 28 hari dalam kandungan *superplasticizer* 0% dengan *superplasticizer* 2%, adalah sebagai berikut :

Tabel 4.26 Perbandingan Nilai *Porosity* Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%

Perbandingan	Kandungan <i>Superplasticizer</i>	
	SP 0%	SP 2%
16-1,5	6,221	8,800
16-2	8,368	8,965
16-2,5	10,186	13,373



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai *Porosity* Umur 28 Hari antara SP 0% dan SP 2%

Gambar 4.21 di atas adalah perbandingan rata-rata *porosity* umur 28 hari antara SP 0% dan SP 2%. Dari grafik terlihat bahwa nilai *porosity* SP 0% berada di bawah SP 2% pada semua variasi perbandingan. Hal itu menunjukkan bahwa kadar SP 0% memberikan hasil *porosity* yang lebih baik dari kadar SP 2%.

4.3.5 Pengujian *Permeability*

Pengujian *permeability* dilakukan untuk mengetahui ketahanan permukaan beton terhadap cairan. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Berikut ini adalah hasil pengujian *permeability* beton geopolimer pada seluruh variabel :

Tabel 4.27 Nilai *Permeability* Beton Geopolimer Variasi A16-1,5
(Perbandingan 1:1,5)

Umur	No. Kode Beton	L (mm)	Rata-rata L	kT (x 10-16 m ²)	Rata-rata kT	Kualitas Beton
7 hari	1	4,9	4,30	0,005	0,004	Sangat Baik
	2	3,7		0,003		Sangat Baik
	3	-		-		Sangat Baik
14 hari	1	44,5	43,90	0,476	0,445	Normal
	2	43,1		0,392		Normal
	3	44,1		0,468		Normal
28 hari	1	10,7	8,57	0,024	0,017	Baik
	2	10,2		0,022		Baik
	3	4,8		0,005		Sangat Baik

Tabel 4.28 Nilai *Permeability* Beton Geopolimer Variasi A16-2
(Perbandingan 1:2)

Umur	No. Kode Beton	L (mm)	Rata-rata L	kT (x 10-16 m ²)	Rata-rata kT	Kualitas Beton
7 hari	1	45,3	42,33	0,545	0,447	Normal
	2	36,6		0,282		Normal
	3	45,1		0,514		Normal

Tabel 4.29 Nilai *Permeability* Beton Geopolimer Variasi A16-2,5
(Perbandingan 1:2,5)

Umur	No. Kode Beton	L (mm)	Rata-rata L	kT (x 10-16 m ²)	Rata-rata kT	Kualitas Beton
7 hari	1	52,3	38,97	0,007	0,005	Sangat Baik
	2	59,6		0,004		Sangat Baik
	3	5,0		0,005		Sangat Baik
14 hari	1	52,3	55,10	1,154	1,327	Buruk
	2	59,6		1,630		Buruk
	3	53,4		1,198		Buruk
28 hari	1	66,5	59,97	3,182	2,175	Buruk
	2	65,5		2,700		Buruk
	3	47,9		0,643		Normal
56 hari	1	125,3	121,57	19,790	18,610	Sangat Buruk
	2	110,2		15,180		Sangat Buruk
	3	129,2		20,860		Sangat Buruk

Tabel di atas adalah hasil pengujian *permeability* yang dilakukan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini pengujian *permeability* sudah dilakukan, namun ditengah jalannya penelitian alat *permeability* mengalami kerusakan. Sehingga menyebabkan kurang lengkapnya data untuk dilakukan analisa. Data yang ada juga terdapat keanehan dimana hasil *permeability* mengalami naik turun. Setelah dilakukan analisa, hal tersebut disebabkan oleh kerusakan alat *permeability* yang sering error saat dilakukan kalibrasi.

4.3.6 Pengujian pH

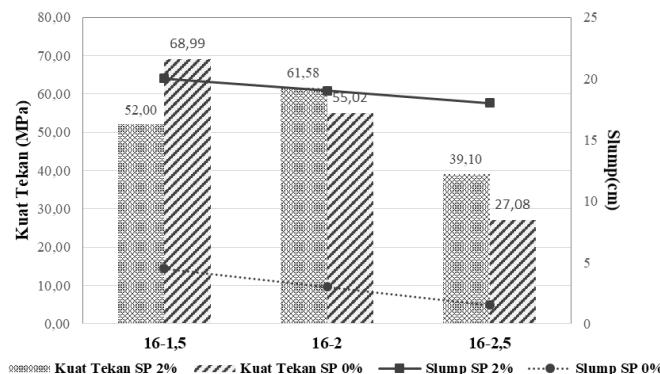
Pada penelitian ini hasil pengujian *pH* belum dapat dilampirkan. Hal tersebut dikarenakan terdapat kendala yaitu laboratorium tempat pengujian *pH* ini tidak menerima pengujian akibat pandemi corona.

4.4 Hubungan antara *Slump*, Kuat Tekan, *Resistivity*, *Porosity*, dan *Permeability*

Berikut ini adalah penjelasan mengenai hubungan antara nilai *slump*, kuat tekan, *resistivity*, *porosity*, dan *permeability* yang akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.4.1 Hubungan Kuat Tekan terhadap Nilai *Slump* dengan Pengaruh *Superplasticizer*

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hubungan nilai kuat tekan yang dihasilkan terhadap nilai *slump* yang tinggi atau rendah dengan pengaruh *superplasticizer* yang disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Nilai *Slump* dengan Pengaruh *Superplasticizer*

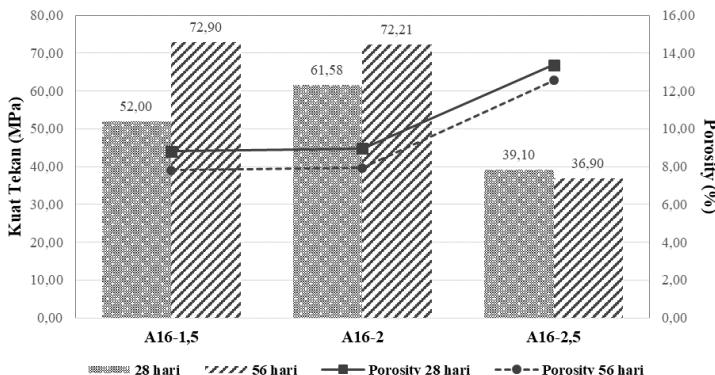
Dari hubungan antara kuat tekan dan *slump* dengan pengaruh *superplasticizer* di atas, terlihat penambahan *superplasticizer* berupa sukrosa pada variasi 16-2 dan variasi 16-2,5 menyebabkan penambahan pada nilai kuat tekan dan juga memperbesar nilai *slump*. Sedangkan pada variasi 16-1,5 terlihat bahwa penggunaan SP 2% menyebabkan nilai *slump* yang lebih besar dari penggunaan SP 0% namun pada penggunaan SP 2% memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dari penggunaan SP 0%. Pada kadar SP 2%

memiliki kuat tekan sebesar 52,00 MPa sedangkan pada kadar SP 0% memiliki kuat tekan 68,99 MPa. Dugaan sementara penyebab nilai kuat tekan SP 2% yang lebih rendah adalah hampir sama pada analisis kuat tekan yang turun sebelumnya. Diantaranya adalah pada saat proses *mixing* keadaan agregat halus cenderung basah atau tidak dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Selain itu, saat pelaksanaan menggunakan sampel dengan ukuran berbeda. Benda uji yang mengalami penurunan kuat tekan menggunakan sampel besar (15 cm x 30 cm). Pertambahan ukuran sampel akan memunculkan variasi hasil pengujian. Proses *mixing* juga tidak dilakukan dalam sekali proses (waktu bersamaan). Saat proses *mixing* tidak dilakukan perhitungan waktu pengadukan, sehingga menyebabkan perbedaan waktu pengadukan. Adukan beton yang terlalu lama akan menyebabkan beton kental dan memiliki *workability* yang rendah.

Penambahan sukrosa pada variasi 16-2 dan variasi 16-2,5 memiliki pengaruh baik terhadap kuat tekan beton gopolimer. Penambahan sukrosa ini mempengaruhi ukuran mikrostruktur pada reaksi polimerisasi sehingga adonan beton menjadi encer (Muh. Fadhil dkk, 2013). Dengan encernya adonan beton, maka *workability* beton tersebut baik yang ditunjukkan dengan besarnya nilai *slump* pada SP 2%. Meningkatnya nilai *workability* ini memudahkan interaksi alkali dengan *fly ash*, sehingga reaksi polimerisasi dapat menjadi lebih rata (Chindaprasirt, 2014). Selain itu nilai *workability* yang bagus menyebabkan beton mudah untuk dikerjakan dan dipadatkan (Paul Nugraha dan Antoni, 2007). Beton yang padat menunjukkan bahwa pori dalam beton kecil. Pada penggunaan SP 0% memiliki temperature tinggi sehingga terjadi pengendapan kalsium aluminat dan menyebabkan flash setting time. Sedangkan SP 2% memiliki temperature yang kecil akan menghambat larutnya alkali aktuator padat (Antonovic dkk, 2013).

4.4.2 Hubungan antara Kuat Tekan dan *Porosity*

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hubungan nilai kuat dengan nilai *porosity* yang disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 4.23 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan *Porosity*

Berdasarkan perbandingan kuat tekan dan *porosity* variasi A16-1,5, nilai kuat tekan umur 56 hari lebih besar dari umur 28 hari. Kuat tekan umur 56 hari sebesar 72,90 MPa dan umur 28 hari sebesar 52,00 MPa. Sedangkan nilai *porosity* umur 28 hari lebih besar dari umur 56 hari. Nilai *porosity* umur 28 hari sebesar 8,800% dan umur 56 hari sebesar 7,807%.

Hasil perbandingan kuat tekan dan *porosity* variasi A16-2 cenderung sama dengan variasi A16-1,5. Nilai kuat tekan umur 56 hari lebih besar dari umur 28 hari. Kuat tekan umur 56 hari sebesar 72,21 MPa dan umur 28 hari sebesar 61,58 MPa. Sedangkan nilai *porosity* umur 28 hari lebih besar dari umur 56 hari. Nilai *porosity* umur 28 hari sebesar 8,965% dan umur 56 hari sebesar 7,922%.

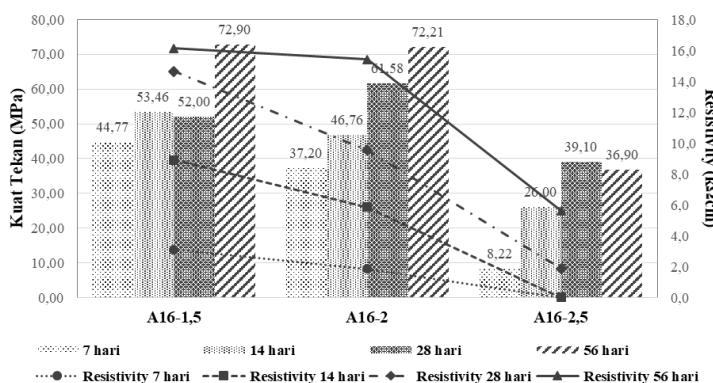
Pada perbandingan kuat tekan dan *porosity* variasi A16-2,5, nilai kuat tekan umur 28 hari lebih besar dari umur 56 hari. Nilai kuat tekan umur 28 hari sebesar 39,1 MPa dan umur 56 hari sebesar 34,81 MPa. Sedangkan nilai *porosity* umur 28 hari lebih besar dari umur 56 hari. Nilai *porosity* umur 28 hari sebesar 13,373% dan

umur 56 hari sebesar 12,556%. Kuat tekan umur 56 hari mengalami penurunan memiliki analisis yang sama pada kuat tekan yang turun sebelumnya. Hal-hal tersebut diantaranya kondisi pasir yang tidak SSD, perbedaan ukuran sampel, dan pengecoran yang tidak dalam waktu sama menyebabkan perbedaan lama waktu pengadukan beton.

Nilai *porosity* memiliki hubungan dimana semakin kecil nilai *porosity* maka semakin besar nilai kuat tekan beton (Lian C dkk, 2011). Semakin kecil nilai *porosity* menunjukkan bahwa prosentase pori di dalam beton semakin kecil. Jika pori dalam beton kecil, maka beton tersebut padat. Beton yang padat akan sulit untuk dilewati unsur yang bisa menyebabkan baja tulangan korosif. Yang berarti beton tersebut tahan terhadap korosif. Beton dengan penyerapan air dan porositas air yang lebih tinggi berpotensi kurang tahan lama (Zainal dkk, 2015). Prosentase pori kecil akan membuat kuat tekan beton lebih bagus dikarenakan beton padat dan ikatan antar material penyusun beton kuat.

4.4.3 Hubungan antara Kuat Tekan dan *Resistivity*

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hubungan nilai kuat tekan dengan nilai *resistivity* yang disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 4.24 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan *Resistivity*

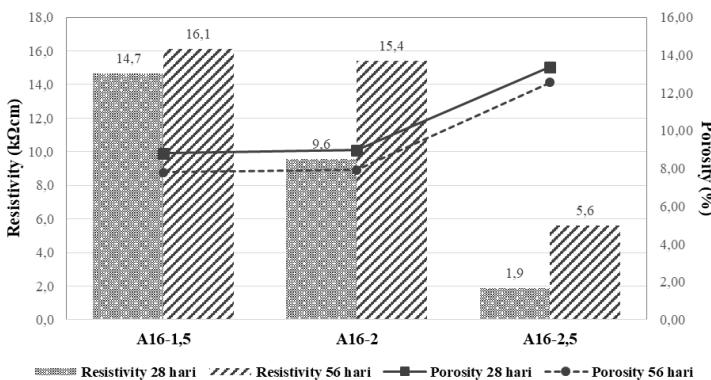
Berdasarkan perbandingan kuat tekan dan *resistivity* variasi A16-1,5, nilai kuat tekan dan *resistivity* terbesar berada pada umur 56 hari yaitu sebesar 72,90 MPa dan 16,1 k Ω cm. Sedangkan nilai kuat tekan dan *resistivity* terkecil berada pada umur 7 hari yaitu sebesar 44,77 MPa dan 3,1 k Ω cm. Pada umur pengujian 28 hari, nilai kuat tekan mengalami penurunan, namun nilai *resistivity* tetap naik. Sama seperti analisis sebelumnya, kuat tekan yang turun tersebut diakibatkan karena kondisi pasir yang tidak SSD, perbedaan ukuran sampel, dan pengecoran yang tidak dalam waktu sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa hal-hal yang menyebabkan kuat tekan turun, tidak berpengaruh kepada nilai *resistivity*. Nilai *resistivity* akan semakin besar berbanding lurus dengan nilai kuat tekan.

Dari perbandingan kuat tekan dan *resistivity* variasi A16-2, nilai kuat tekan dan *resistivity* terbesar berada pada umur 56 hari yaitu sebesar 72,21 MPa dan 15,4 k Ω cm. Sedangkan nilai kuat tekan dan *resistivity* terkecil berada pada umur 7 hari yaitu sebesar 37,20 MPa dan 1,9 k Ω cm. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *resistivity*, maka semakin besar kuat tekan yang dihasilkan.

Pada perbandingan kuat tekan dan *resistivity* variasi A16-2,5, nilai kuat tekan terbesar berada pada umur 28 hari sebesar 39,1 MPa. Nilai *resistivity* terbesar berada pada umur 56 hari sebesar 5,6 k Ω cm. Sedangkan nilai kuat tekan terkecil berada pada umur 7 hari yaitu sebesar 8,22 MPa. Nilai *resistivity* terkecil berada pada umur 7 dan 14 hari, dimana nilai tersebut masih sangat kecil sehingga belum dapat terbaca. Kuat tekan umur 56 hari mengalami penurunan seperti variasi sebelumnya dengan penyebab yang sama. Pada variasi A16-2,5 ini memiliki tingkat nilai korosi yang masih tinggi termasuk pada umur beton 56 hari. Sehingga variasi ini belum menunjukkan keunggulan beton dari sisi ketahanan terhadap bahan yang bersifat korosif seperti yang disebutkan pada penelitian Tajunnisa dkk, 2016.

Pada penelitian sebelumnya (Gupta dkk, 2017) menyatakan bahwa terdapat hubungan antara kenaikan angka *resistivity* dengan

nilai kuat tekan beton. Nilai *resistivity* meningkat ketika beton mengering, sampel menjadi lebih padat dan meningkatkan kristalinitas (Zainal dkk, 2015). Besarnya nilai *resistivity* ini disebabkan oleh nilai *porosity* beton yang baik atau prosentase *porosity* yang semakin kecil. Hubungan antara *resistivity* dan *porosity* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.25 Grafik Hubungan antara *Resistivity* dan *Porosity*

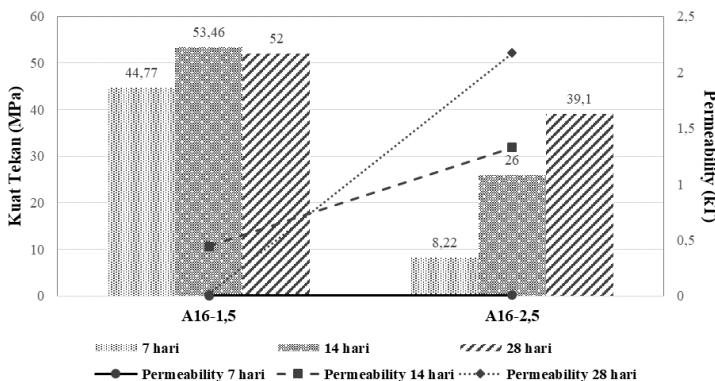
Grafik di atas merupakan hubungan antara nilai *resistivity* dan *porosity* pada umur 28 dan 56 hari. Berdasarkan grafik terlihat bahwa nilai *resistivity* berbanding terbalik dengan nilai *porosity*. Semakin besar nilai *resistivity* maka semakin kecil nilai *porosity* dan sebaliknya. Nilai *porosity* yang kecil menunjukkan bahwa beton tersebut memiliki prosentase pori-pori yang kecil. Ukuran pori beton yang semakin mengecil menyebabkan komponen mikro dalam beton saling mendekat (Zainal dkk, 2015). Pori dalam beton yang kecil mempengaruhi laju ion-ion klorida yang bermuatan negatif. Jika pori dalam beton kecil atau *porosity* beton baik, maka beton tersebut tidak akan mudah mengalami korosi.

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai *resistivity* terbaik ada pada variasi A16-1,5 sebesar 16,1 kΩcm, juga memiliki nilai *porosity* terbaik yaitu 7,807 % pada umur 56 hari. Nilai tersebut di dalam tingkat korosi termasuk dalam korosi rendah. Sedangkan

variasi A16-2,5 memiliki tingkat korosi yang tinggi ($\leq 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$) yaitu sebesar $5,6 \text{ k}\Omega\text{cm}$ pada umur 56 hari dan juga *porosity* yang besar yaitu 12,556 % umur 56 hari.

4.4.4 Hubungan antara Kuat Tekan dan *Permeability*

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hubungan nilai kuat tekan dengan nilai *permeability* yang disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 4.26 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan *Permeability*

Grafik di atas adalah hubungan antara kuat tekan dan *permeability*. Data yang dapat digunakan dalam korelasi ini adalah variasi A16-1,5 dan A16-2 dengan umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari saja. Hal tersebut dikarenakan data yang tidak lengkap disebabkan alat *permeability* yang rusak. Dari grafik hubungan di atas belum bisa menunjukkan dengan pasti hubungan kuat tekan dan *permeability* pada variasi alkali aktivator. Nilai *permeability* di atas menunjukkan ketidakstabilan data contohnya adalah pada variasi A16-1,5 dimana nilai *permeability* umur 7 hari menunjukkan nilai 0,004 kT (sangat baik), umur 14 hari menunjukkan nilai 0,445 kT (normal), dan umur 28 hari menunjukkan nilai 0,017 kT (baik).

Idealnya semakin bertambah hari nilai *permeability* tersebut semakin kecil yang menunjukkan klasifikasi yang lebih baik. Hal

tersebut dikarenakan nilai *permeability* berkaitan dengan kepadatan beton. Jika nilai kepadatan beton semakin baik, beton tersebut akan sulit untuk dilewati air yang berarti nilai *permeability* semakin baik. Nilai *permeability* menurun seiring dengan penurunan nilai *porosity*. Pada penelitian (Zainal dkk, 2015) menyatakan bahwa struktur sampel menjadi lebih padat dan lebih keras setelah hari ke-7 sampai hari ke-28. Dengan beton yang lebih keras maka pori di dalam beton akan saling berdekatan dan saling mengikat.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian tugas akhir terapan ini, berikut merupakan kesimpulan yang dapat disampaikan :

1. Dari hasil pengujian XRF didapatkan bahwa *fly ash* yang digunakan adalah tipe C (*high calcium*) dikarenakan nilai $\text{SiO}_2+\text{AlO}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3 < 70\%$ dan kadar CaO *fly ash* > 15%. Sedangkan dalam pengujian XRD dapat diidentifikasi bahwa prosentase kristalin terbesar adalah Magnesite sebesar 18,38%. Selain itu kandungan total kristalin sebesar 45,29%, sedangkan amorphous sebesar 54,71%.
2. Desain komposisi beton geopolimer ini memiliki variasi perbandingan alkali aktuator mulai dari 1,5; 2; dan 2,5 dengan kadar *superplasticizer* sebesar 2% dengan pencampuran menggunakan metode kering. Selain itu menggunakan kadar *superplasticizer* 0% sebagai variabel kontrol untuk umur 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan *slump*, dapat diambil kesimpulan bahwa :
 - Pada pengujian kuat tekan umur optimum beton 28 hari, hasil pada perbandingan 1,5; 2; dan 2,5 berturut-turut adalah 52,00 MPa, 61,58 MPa, dan 39,10 MPa. Seluruh variasi pada umur 28 hari telah mencapai kuat tekan melebihi target rencana 35 MPa berdasarkan SNI 2847:2013. Nilai kuat tekan umur 28 hari paling tinggi adalah variasi perbandingan 1:2 dengan nilai 61,58 MPa termasuk dalam kategori mutu tinggi struktural. Sehingga variasi perbandingan 1:2 menjadi variasi alkali aktuator yang optimum dalam kuat tekan.
 - Pengujian *workability* dilakukan dengan *slump*. Dalam pengujian *slump*, variasi perbandingan alkali aktuator berpengaruh terhadap *slump* beton. Hasil pengujian *slump* perbandingan 1,5; 2; dan 2,5 berturut-turut adalah 20 cm,

19 cm, dan 18 cm. Berdasarkan SNI 1972:2008, nilai *slump* seluruh variasi termasuk cukup plastis dan cukup kohesif dikarenakan memiliki nilai diantara 15-230 mm. Perbandingan 1,5 menghasilkan *workability* beton paling baik dengan nilai *slump* 20 cm.

3. Pengaruh variasi terhadap *durability* beton geopolimer sebagai berikut :
 - Pada pengujian *resistivity* umur 28 hari, hasil pada perbandingan 1,5; 2; dan 2,5 berturut-turut adalah 14,7 kΩcm, 9,6 kΩcm, dan 1,9 kΩcm. Perbandingan 1,5 menghasilkan nilai *resistivity* paling baik dikarenakan berdasarkan klasifikasi *PROCEQ*, tingkat korosi beton tersebut rendah (>12 kΩcm). Sedangkan pada perbandingan 2 dan 2,5 masing-masing mempunyai tingkat korosi sedang dan tinggi.
 - Pada pengujian *porosity*, semakin kecil prosentase porositas yang didapatkan maka semakin baik kadar pori yang terkandung. Menunjukkan bahwa beton tersebut semakin padat. Hasil pengujian *porosity* umur 28 hari pada perbandingan 1,5; 2; dan 2,5 berturut-turut adalah 8,80%, 8,96%, dan 13,37%. Perbandingan 1,5 dan 2 memiliki nilai *porosity* terkecil yang tidak berbeda jauh. Menunjukkan bahwa perbandingan 1,5 dan 2 umur 28 hari memiliki *porosity* terbaik.
4. Variasi SP 0% menghasilkan hasil nilai *resistivity* dan *porosity* yang lebih baik dari variasi kontrol SP 2%. Namun pada kuat tekan, perbandingan 2 dan 2,5 nilai kuat tekan SP 2% lebih tinggi dibandingkan nilai kuat tekan SP 0%. Pada kadar SP 2% memiliki nilai kuat tekan berurutan 61,58 MPa dan 39,10 MPa sedangkan kadar SP 0% memiliki nilai kuat tekan berurutan 55,02 MPa dan 27,08 MPa.
5. Terjadi penurunan kuat tekan pada perbandingan 1,5 umur 28 hari sebesar 1,46 MPa dan perbandingan 2,5 umur 56 hari sebesar 4,29 MPa.

5.2 Saran

Adapun saran yang didapatkan dari penelitian untuk meminimalisir kesalahan maupun kekurangan dalam penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan kuat tekan dengan perbandingan alkali aktivator khususnya pada pencampuran kering.
2. Pada pembuatan benda uji, seharusnya sampel menggunakan lebih dari 3 benda uji dengan ukuran yang sama agar menghasilkan data yang lebih banyak. Sehingga dapat meminimalisir nilai standar deviasi.
3. Kondisi agregat harus benar-benar SSD sebelum memulai proses mixing, karena kadar air sangat berpengaruh pada kuat tekan beton geopolimer.
4. Proses perawatan beton (*curing*) usahakan dilakukan dalam kondisi suhu dan kelembaban yang sama. Apabila hal tersebut dilakukan dalam kondisi yang berbeda, cata suhu dan kelembaban sebagai parameter pertimbangan hasil penelitian. Karena beton geopolimer sangat dipengaruhi oleh cuaca dan suhu.
5. Lama waktu pengadukan beton perlu diperhatikan dengan baik karena berpengaruh terhadap kekentalan beton.
6. Dokumentasikan seluruh kegiatan yang dimulai dari proses pembuatan semen, *mixing*, dan pengujian beton. Hal tersebut digunakan sebagai alat bantu analisa secara visual maupun pengamatan lingkungan.

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez-Ayuso, E., Querol, X., Plana, F., Alastuey, A., Moreno, N., Izquierdo, M. 2008. *Environmental, Phisycal, and Structural Characterisation of Geopolymer Matrixes Synthesised from Coal (Co-combustion) Fly Ashes*. J Hazard Mater 2008;154:175-83.
- Antonovic, V., Keriene, J., Boris, R., Aleknevicius, M. 2013. *The Effect of Temperature on the Formation of a Hydrated Calcium Aluminate Cement Structure*. 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013.
- AASHTO T358-15. Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.
- ASTM C 20-00. Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water.
- ASTM C 29/C 29M-97. 2003. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.
- ASTM C 39-04. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, United Stated.
- ASTM C 127-01. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C 128-15. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C 136-01. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

- ASTM C 618-15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- Bayuaji, R., Yasin, A.K., Susanto, T.E., Darmawan, M.S. 2017. *A Review in Geopolymer Binder with Dry Mixing Method (Geopolymer Cement)*. AIP Conference Proceedings 1887.
- Bazant, Z.P. 1984. *Size Effect in Blunt Fracture*. Journal of Engineering Mechanics, 199, 1828-1844.
- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., Sirivivatnanon, V. 2006. *Workability and Strength of Coarse High Calcium Fly Ash Geopolymer*. Department of Civil Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.
- Davidovits, Joseph. 2008. *Geopolymer Chemistry and Applications*. France: Institut Geopolymere.
- Gomaa, E., Sargon, S., Kashosi, C., ElGawady, M. 2017. *Fresh Properties and Compressive Strength of High Calcium Alkali Activated Fly Ash Mortar*. Journal of King Saud University – Engineering Sciences 29 (2017) 356–364.
- Gorhan, G., Kurklu, G. 2013. *The Influence of The NaOH Solution on the Properties of the Fly Ash-Based Geopolymer Mortar Cured at Different Temperatures*. Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering Department of Civil Engineering, Afyonkarahisar, Turkey.
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., and Rangan, B.V. 2004. *On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. ACI Materials Journal, Vol. 101(6) (2004), p. 467-472.
- Hardjito, D. and Rangan, B.V. 2005. *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash- Based Geopolymer Concrete*. Research Report GC 1, Australia: Curtin University of Technology.

- Hardjito, D. 2005. *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Perth: Curtin's Institutional Research Repository.
- Khale, D., Chaudhary, R. 2007. *Mechanism of Geopolymerization and Factors Influencing Its Development: a review*. A review 720-746.
- Kutchko, B.G., Kim, A.G. *Fly ash Characterization by SEM- EDS*. US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 626 Cochran's Mill Road, P.O. Box 10940, Pittsburgh, PA 15236, United States.
- Kusbiantoro, A., Ibrahim, M.S., Muthusamy, K., Alias, A. 2012. *Development of Sucrose and Citric Acid as the Natural Based Admixture for Fly Ash Based Geopolymer*. The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Security SUSTAIN 2012.
- Law, D.W., Adam, A.A., Molyneaux, T.K., Patnaikuni, I. 2008. *Durability Properties of Geopolymer Mortars*. International Conference on Durability of Building Materials and Components Istanbul-Turkey.
- Lian, C., Zhuge, Y., & Beecham, S. 2011. *The relationship between porosity and strength for porous concrete*. *Construction and Building Materials*. School of Natural and Built Environments, University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia.
- Malhotra, V.M. 1999. *Making concrete greener with fly ash*. ACI Concrete International 21, 61-66.
- Memon, F.A., Nuruddin F., Demie, S., Shafiq, N. 2012. *Effect of superplasticizer and extra water on workability and compressive strength of self-compacting geopolymers concrete*. Res J Appl Sci Eng Technol 2012;4(5):407–14.

- Mustafa Al Bakri, A.M., Kamarudin, H, Khairul Nizar, I., Bnhusaain, M., Zarina, Y., and Rafiza, A.R. 2012. *Correlation Between Na₂SiO₃/NaOH Ratio and Fly Ash/Alkaline Activator Ratio to the Strength Geopolymer.* Perlis: Unit Penerbitan Universiti Malaysia Perlis.
- Mustafa Al Bakri, A.M., Kamarudin, H, Khairul Nizar, I., Bnhusaain, M., Zarina, Y., and Rafiza, A.R. 2012. *Optimization of Alkaline Activator/Fly Ash Ratio on The Compressive Strength of Manufacturing Fly Ash-Based Geopolymer.* Perlis: Unit Penerbitan Universiti Malaysia Perlis.
- Nematollahi, B., Sanjayan, J. 2014. *Effect of different superplasticizers and activator combinations on workability and strength of fly ash based geopolymer.* Center for Sustainable Infrastructure, Swinburne University of Technology, Melbourne, Victoria 3122, Australia.
- Nuruddin, M.F., Demie, S., Ahmed, M.F., Shafiq, N. 2011. *Effect of Superplasticizer and NaOH Molarity on Workability, Compressive Strength and Microstructure Properties of Self-Compacting Geopolymer Concrete.* Geological and Environmental Engineering Vol:5, No:3, 2011.
- Ozyildirim, C., Carino, N.J. 2006. *Concrete Strength Testing.* Significance of Test and Properties of Concrete & Concrete-Making Material's (125-140), West Conshohocken.
- Paul Nugraha dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Andi Offset.
- Phoo-ngernkham, T., Phiangphimai, C., Damrongwiriyananupap, N., Hanjitsuwan, S., Thumrongvut, J., and Chindaprasirt, P. 2018. *A Mix Design Procedure for Alkali-Activated High-Calcium Fly Ash Concrete Cured at Ambient Temperature.* Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and

Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

Palomo, A., Grutzek, M.W., Blanco, M.T. 1999. *Cement and Concrete Research*. Vol. 29(8) (1999), p. 1323-1329.

Pavithra, P., Reddy, M.S., Dinakar, P., Rao, B.H., Satpathy., and Mohanty, A.N. 2016. *Effect of the Na₂SiO₃/NaOH Ratio and NaOH Molarity on the Synthesis of Fly Ash-Based Geopolymer Mortar*. University Of Wisconsin-Milwaukee on 08/15/16. Copyright ASCE

Rattanasak, U., Chindaprasirt, P. 2009. *Influence of NaOH Solution on Synthesis of Fly Ash Geopolymer*. Vol. 22(12) (2009), p. 1073-1078.

Segel, R., Kusumah, G. 1993. *Pedoman Pengerjaan Beton berdasarkan SKSNI.T.15-1991-03*. Seri 2 Jakarta Erlangga.

SNI 1974-2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder yang dicetak. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-6414-2002. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta: 2002.

SNI 1972-2008. Cara Uji Slump Beton. Badan Standarisasi Nasional.

Tajunnisa, Y., Sugimoto, M., Sato, T., Ekaputri, J. J., Shigeishi, M. 2016. *Characterization of Low Calcium Fly Ash for Geopolymer Paste*. 16th International Conference and Exhibition on Structural Faults and Repair. Edinburgh.

Tajunnisa, Y., Sugimoto, M., Uchinuno, T., Sato, T., Toda, Y., Hamasaki, A., et al. 2017. *Effect of GGBFS and Micro-Silica on Mechanical Properties, Shrinkage, and Microstructure of Alkali-Aktivated Fly Ash Mortar*. International Journal of Geomate, 87-94.

- Thokchom, S., Ghosh, P, and Ghosh, S. *Effect of Water Absorption, Porosity, and Sorptivity on Durability of Geopolymer Mortars.* Department of Civil Engineering, Jadavpur University, Kolkata, India.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton.* Yogyakarta Nafiri.
- Topark-Ngarm, P., Chindaprasirt, P., Sata, V. 2015. *Setting Time, Strength, and Bond of High-Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete.* University Of North Dakota.
- T.W. Cheng, J.P. Chiu. 2002. *Fire-resistant Geopolymer Produced By Granulated Blast Furnace Slag.* Department of Materials and Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology, Taipei 106, Taiwan, ROC.
- Van Jaarsveld, J.G.S., Van Deventer, J.S.J. *Effect of the Alkali Metal Activator on the Properties of Fly Ash-Based Geopolymer.* Ind Eng Chem Res 1999;38:3932-41.
- Xie, J., Kayali, O. 2016. *Effect of Superplasticizer on Workability Enhancement of Class F and Class C Fly Ash-Based Geopolymers.* Volume 122, 30 September 2016, Pages 36-42.
- Yasin, Abdul Karim. 2017. *Rekayasa Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash.* Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Zainal, F. F., Hussin, K., Rahmat, A., Abdullah, M. M., Rizam, S., Selimin, M. T., et al. 2015. *The Electrical Resistivity of Geopolymer Paste by using Wenner Four Probe Method.* Innovative Materials and Engineering Research, 28-33.
- Zainal, F. F., Hussin, K., Rahmat, A., A.M. Mustafa Al Bakri. 2015. *The Relationship between Water Absorbtion and Porosity for Geopolymer Paste.* Materials Science Forum Vol. 803 (2015) pp 166-172.

BIODATA PENULIS



Hermawan Syahirul Alim

Penulis lahir di Purworejo pada tanggal 25 bulan April tahun 1998 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Hermawan Syahirul Alim, telah menempuh pendidikan formal di SDN 2 Mranti Purworejo, SMPN 2 Purworejo, dan SMAN 1 Purworejo. Setelah lulus dari SMAN tahun 2016, penulis mengikuti tes ujian seleksi program diploma dan diterima di

Program Studi Diploma IV Departemen Teknik Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Fakultas Vokasi ITS, dengan NRP. 10111610013092. Total delapan semester dengan 147 SKS telah dijalani penulis hingga lulus dari program studi ini. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan yaitu sebagai anggota Media dan Informasi Jamaah Masjid Al-Azhar ITS pada tahun 2017-2018 serta Wakil Ketua Media dan Informasi (MEDFO) Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) ITS Badminton Community pada tahun 2018-2019. Penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan kegiatan organisasi mahasiswa seperti Staff Humas D'village HMDS 6th Edition, Konseptor Sie Branding ITS OPEN 2019, dan Konseptor Sie PDD ITS Open 2018. Selain itu, penulis juga pernah mengukuti dan memperoleh juara III dalam Civil Games Badminton Competition 2017. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, penulis juga aktif melakukan wirausaha dalam bidang design melalui media sosial.

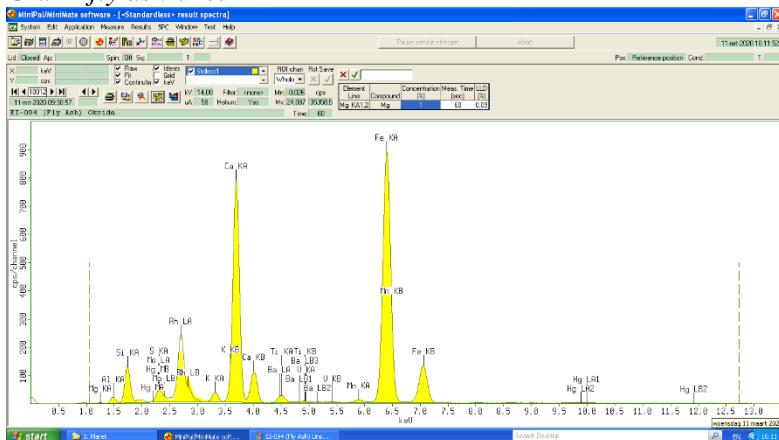
Penulis dapat dihubungi via email : syahirulalim5125@gmail.com

“Halaman sengaja dikosongkan”

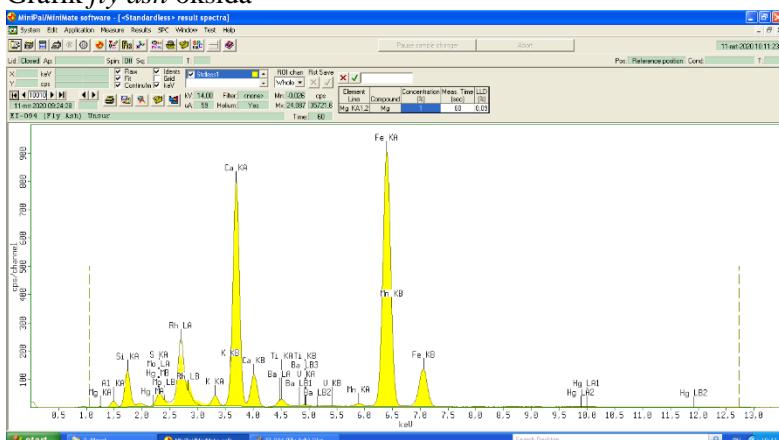
LAMPIRAN

a. Hasil Uji XRF (*X-Ray Flourescences*)

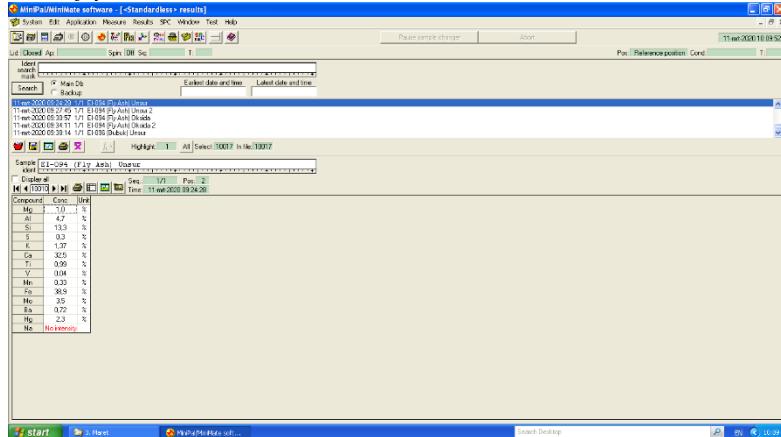
Grafik *fly ash* unsur



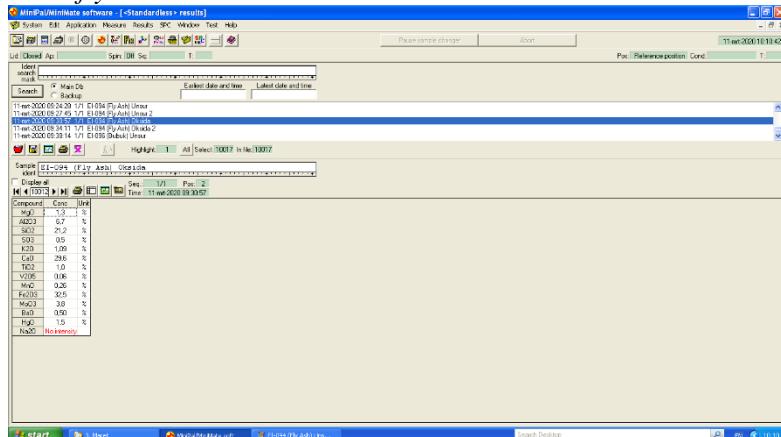
Grafik *fly ash* oksida



Hasil fly ash unsur



Hasil fly ash oksida

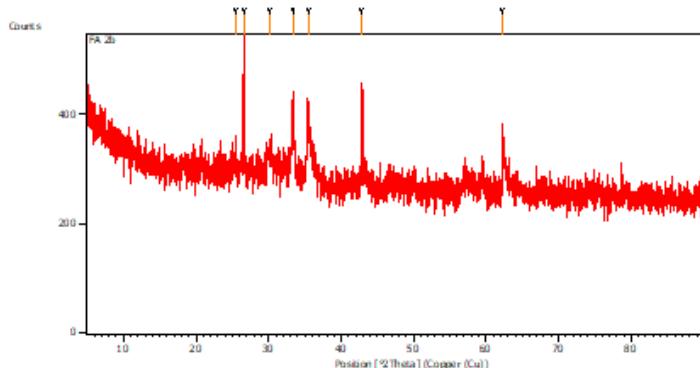


b. Hasil Uji XRD (*X-Ray Diffraction*)

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.
Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	FA 2b
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2020\Juni\Sarah\FA 2b\FA 2b.xrdml
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM
	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
	Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1
	Diffractometer system=XPERT-PRO
	Measurement program=C:\PANalytical\Data\Collector\Programs\Scan 5-90_spin4.xrdmp, Identifier={EA1354A2-691F-46A9-86C1-7E2BEEF477A}
Measurement Date / Time	6/22/2020 11:21:39 AM
Operator	Institut Teknologi
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	5.0084
End Position [°2Th.]	89.9744
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1600
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	2.12
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size ["]	0.2177
Specimen Length [mm]	10.00
Measurement Temperature [°C]	25.00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-Al Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	0000000011119014
Diffractometer Number	0
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	100.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
25.4738	27.45	0.2007	3.49673	11.62
26.6090	236.35	0.1338	3.35006	100.00
30.0823	36.83	0.5353	2.97071	15.58
33.3448	151.80	0.1004	2.68714	64.23
35.4647	106.18	0.2676	2.53122	44.92
42.8882	167.24	0.0836	2.10873	70.76
62.2825	96.23	0.1004	1.49074	40.71

Pattern List: (Bookmark 4)**Document History:** (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = "FA 2b.xrdml"
- Modification time = "7/4/2020 2:06:00 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Default properties:

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alphal wavelength = "1.54060"
- Used K-Alphal wavelength = "1.54060"

- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Irradiated length = "10.0000"
- Receiving slit size = "0.10000"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "7/4/2020 2:06:00 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "7/4/2020 2:06:00 PM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "2/6/2020 2:10:27 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

Langkah-langkah analisa XRD dengan software match! :

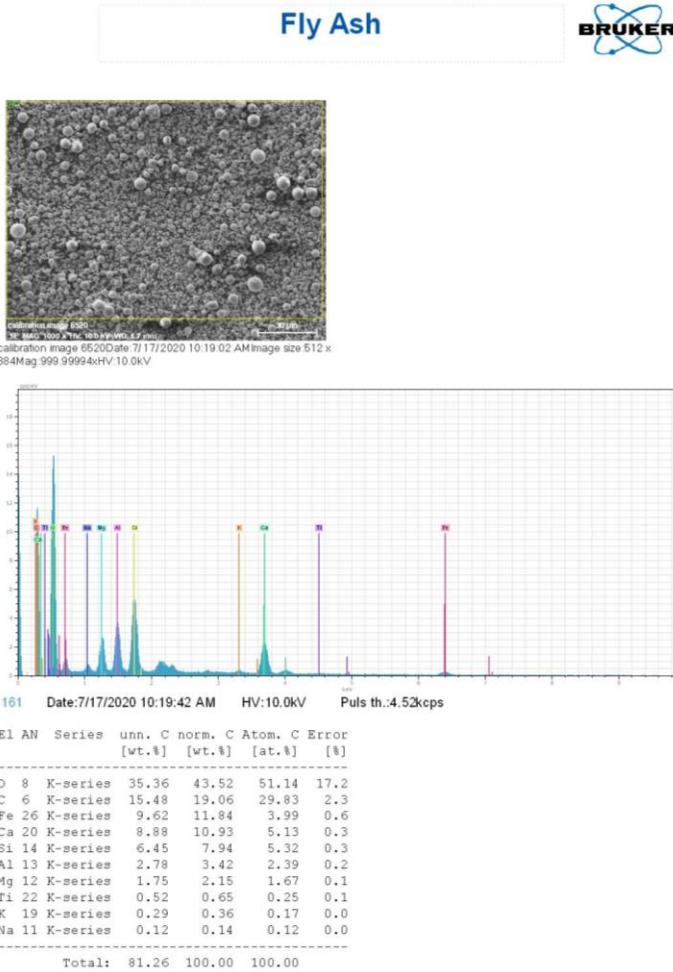
- a. Buka software match! dengan klik dua kali pada icon desktop.
- b. Import file pola XRD. File → Import → File pola XRD → Open (format file XRD .xrdml)
- c. Pola hasil uji akan ditampilkan di layar.
- d. Kemudian klik menu Pattern → Smooth → Raw Data.
- e. Lalu klik menu Peaks → Peak Search and Fit.
- f. Pilih unsur yang tertera pada tabel periodik di sebelah kanan untuk mencari unsur/senyawa yang diinginkan. Kemudian pilih menu Toggle pada kolom Element Selection by Mouse.
- g. Kemudian double klik pada senyawa atau unsur yang dibutuhkan.
- h. Pilih reset untuk memilih unsur lain, Ulangi langkah sebelumnya untuk mencari unsur lain yang dibutuhkan.
- i. File → Export → Entry data.

Langkah-langkah menghitung amorph dan kristalin dengan software origin :

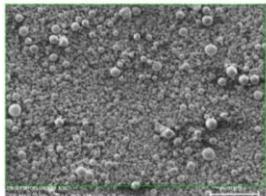
- a. Buka origin dengan klik dua kali pada icon desktop.
- b. Buka data hasil uji XRD dalam bentuk excel.
- c. Kemudian copy data tersebut ke dalam software origin.
- d. Klik Analysis → Signal Processing → Smooth → Open Dialog (untuk menghaluskan grafik yang rumit).
- e. Klik data yang telah muncul setelah proses penghalusan grafik.
- f. Hilangkan grafik berwarna hitam dengan klik pada bagian kotak pertama.
- g. Lalu klik Alaysis → Peak and Baseline → Peak Analyzer → Open Dialog.
- h. Klik next, lalu kita mendapatkan sumbu y → setting angka tergantung pada pendekatan (ex. 230) → next → next.
- i. Ubah settingan dari “direction” dari both menjadi positive.

- j. Kemudian klik add untuk memulai menunjuk data-data puncak pada grafik (dengan pendekatan masing-masing)
- k. Lalu pilih puncak data pada grafik. Sebagai contoh dengan menggunakan 11 puncak. Setelah selesai klik done → next → adjust on preview graph.
- l. Tentukan luasan data puncak pada grafik dengan memperbesar/memperkecil kotak integral → finish. Didapatkan tabel dengan list luasan masing-masing puncak.
- m. Copy data tersebut ke dalam ms. excel untuk mendapatkan banyaknya luas kristalin.

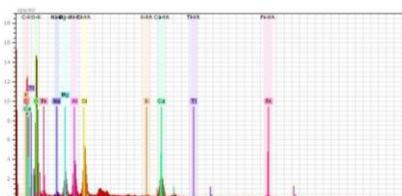
c. Hasil Uji SEM-EDX



Fly Ash

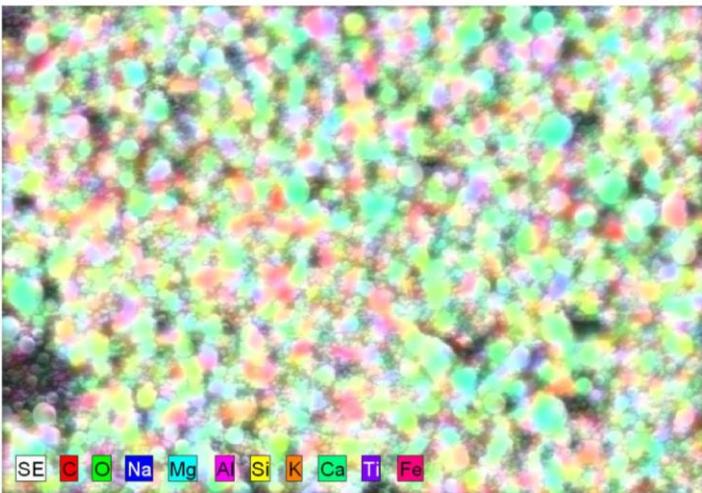


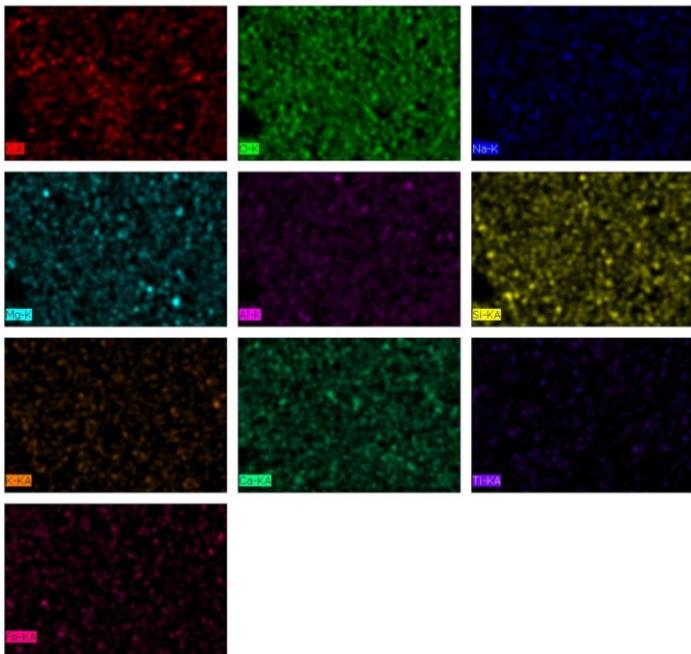
calibration image 6521 Date: 7/17/2020
10:19:02 AM Image size: 512 x
384 Mag: 999.99994x HV: 10.0kV



Map Date: 7/17/2020 10:21:02 AM Puls th.: 4.05 kcps HV: 10.0 kV

calibration image 21 5286 Date: 7/17/2020 10:21:02 AM Image size: 508 x
354 Mag: 999.99994x HV: 10.0kV





C-K, O-K, Na-K, Mg-K, Al-K, Si-KA, K-KA, Ca-KA, Ti-KA, Fe-KADate:7/17/2020 10:21:34 AM
Image size:508 x 354
Mag:999.99994x
HV:10.0kV

Keterangan Rumus :

- A = Luas penampang benda uji (cm^2)
- AAS = Larutan alkali aktivator (kg/m^3)
- F = Beban maksimum (kg)
- fci = Kuat tekan beton (kg/cm^2)
- M = Molaritas
- Mr = Jumlah Ar dari unsur senyawa
- MRS = Kebutuhan agregat halus (kg/m^3)
- MLS = Kebutuhan agregat kasar (kg/m^3)
- n = Jumlah mol zat tersebut
- P = Total porosity (%)
- SG = Specific gravity agregat halus
- SPdosage = Kebutuhan SP (kg/m^3)
- v = Volume larutan (ml)
- VFA = Kebutuhan fly ash (kg/m^3)
- VNaOH = Kebutuhan NaOH (kg/m^3)
- VN₂SiO₃ = Kebutuhan Na₂SiO₃ (kg/m^3)
- Vair = Kebutuhan air (kg/m^3)
- Wsa = Berat benda uji jenuh air di udara (gr)
- Wsw = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gr)
- Wd = Berat benda uji setelah dioven 24 jam (gr)
- Wa = Berat kerikil di udara (gram)
- Wb = Berat kerikil di air (gram)
- Wc = Berat silinder (kg)
- Wd = Berat silinder + batu pecah (kg)
- We = Berat sebelum diabrasi (gram)
- Wf = Berat setelah diabrasi (gram)
- Wg = Berat labu + pasir + air (gram)
- Wh = Berat labu + air (gram)
- Wi = Berat silinder (kg)
- Wj = Berat silinder + pasir (kg)
- Wk = Berat fly ash (gram)
- WI = Berat labu ukur + minyak (gram)
- Wm = Berat labu ukur + minyak + fly ash (gram)
- Wph = Massa NaOH padat (kg)

- W_{ps} = Massa Na_2SiO_3 padat (kg)
- W_{lh} = Kebutuhan NaOH padat (kg/m^3)
- W_{ls} = Kebutuhan Na_2SiO_3 padat (kg/m^3)
- W_{fa} = Kebutuhan *fly ash* (kg/m^3)
- W_{wlh} = Massa air dalam larutan NaOH (kg)
- W_{wls} = Massa air dalam larutan Na_2SiO_3 (kg)
- W_{tot} = Massa air total (kg)
- ρ_{RS} = Densitas agregat halus kondisi SSD (kg/m^3)
- ρ_w = Densitas air (kg/m^3)

LOG BOOK PENELITIAN TUGAS AKHIR
PENELITIAN BETON GEOPOLIMER VARIASI PERBANDINGAN ALKALI AKTIVATOR
DENGAN MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA 16 M

Hari dan Tanggal	Kegiatan	Pelaksana	Lokasi	Waktu	Keterangan	Dokumentasi
Senin, 3 Feb 2020	Uji berat volume NaOH	Yosi, Syafiq, Ian, Ferdi, Atho, Hermawan, Nisar, Jihad	LMSG	12.30-16.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Berat jenis berbeda dengan NaOH yang pernah diuji oleh Pak Husin <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian berat volume menggunakan piknometer agar lebih teliti 	
Selasa, 4 Feb 2020	Melanjutkan pengujian berat volume NaOH	Yosi, Syafiq, Ian, Ferdi, Atho, Hermawan	LMSG	12.30-15.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	
Kamis, 6 Feb 2020	Membeli dan memasukkan pasir ke dalam sak	Yosi, Hermawan, Syafiq, Ian, Ferdi, Jihad	LMSG	12.30-16.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	

Jum'at, 7 Feb 2020	Menempatkan dan menata pasir yang sudah di sak	Yosi, Hermawan, Syafiq, Ian, Ferdi, Jihad, Atho, Nisar	LMSG	12.30-15.00	Kendala : <ul style="list-style-type: none">- Kuantitas pasir terlalu banyak, membutuhkan gerobak. Gerobak yang dipakai sudah berkarat, sehingga saat digunakan, as rodanya patah Solusi : <ul style="list-style-type: none">- Membeli gerobak	
	Membeli gerobak	Yosi, Ferdi, Jihad, Atho, Nisar	UD Matahari	15.30-16.30	Kendala : <ul style="list-style-type: none">- Penjual tidak bisa mengantarkan gerobak ke kampus Solusi : <ul style="list-style-type: none">- Gerobak dibawa dengan menggunakan motor	
Senin, 10 Feb 2020	Mengayak pasir	Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan	LMSG	12.30-15.00	Kendala : <ul style="list-style-type: none">- Solusi : <ul style="list-style-type: none">-	
Selasa, 11 Feb 2020	Mengayak pasir	Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan, Syafiq, Ian, Yusuf, Tossan	LMSG	12.30-15.00	Kendala : <ul style="list-style-type: none">- Solusi : <ul style="list-style-type: none">-	

Rabu, 12 Feb 2020	Mengayak pasir	Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan, Syafiq, Ian, Yusuf	LMSG	11.00-15.00	Kendala : - Solusi : -	
Kamis, 13 Feb 2020	Mengayak pasir	Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan, Syafiq, Ian, Yusuf	LMSG	11.30-15.00	Kendala : - Solusi : -	
Selasa, 18 Feb 2020	Mengayak pasir	Yosi, Ferdi, Hermawan, Syafiq, Ian, Jihad	LMSG	12.00-15.00	Kendala : - Solusi : -	
	Mencari penyewaan pick up untuk pengambilan fly ash	Hermawan, Syafiq	Sewa Pick Up Pakis	15.00-16.00	Kendala : - Solusi : -	

	Rapat koordinasi	Yosi, Ferdi, Hermawan, Syafiq, Ian, Jihad, Atho, Sarah, Sarah, Sabrina, Tossan, Angga	Ruang Rapat LMSG	16.00-17.20	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Belum membuat perijinan pengambilan <i>fly ash</i> <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Membuat surat perijinan ke Pak Tamirin 	
Rabu, 19 Feb 2020	Mengambil <i>fly ash</i> di mesh paiton	Yosi, Ferdi, Ian, Atho, Syafiq, Hermawan	Mesh Paiton	11.00-21.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sopir pick up terlambat - Kuantitas <i>fly ash</i> kurang <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sebelum berangkat, diingatkan lagi untuk pengambilan <i>fly ash</i> berikutnya 	 
	Memindahkan <i>fly ash</i> ke LMSG	Yosi, Ferdi, Ian, Atho, Syafiq, Hermawan, Nisar	LMSG	21.00-23.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Laboratorium terkunci <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mengambil kunci lab. Ke Pak Ridho 	

Kamis, 20 Feb 2020	Memindah <i>fly ash</i> dari sak ke box kontainer dan mengayak pasir	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan	LMSG	12.00-15.00	Kendala : Solusi :	
Jum'at, 21 Feb 2020	Membeli dan memasukkan kerikil ke sak	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan	LMSG	12.00-15.00	Kendala : - Penempatan kerikil tidak tersedia Solusi : - Minta tempat ke Pak Wandi	
Senin, 24 Feb 2020	Membeli minyak tanah untuk pengujian berat jenis <i>fly ash</i>	Yosi, Syafiq	Pucang Anom	12.00-13.00	Kendala : - Minyak tanah sulit ditemukan Solusi : - Bertanya tempat pembelian minyak tanah di warga perkampungan	
	Menguji berat jenis <i>fly ash</i>	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	Pucang Anom	13.00-16.00	Kendala : - Terdapat kerak semen yang sulit dibersihkan di piknometer, bekas praktikum mahasiswa Solusi : - Meminjam piknometer di Lab Tanah	

Selasa, 25 Feb 2020	Asistensi <i>mix design</i> dengan Pak Husin	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	Ruang Rapat LMSG	14.00-16.00	Kendala : - Solusi : -	
Rabu, 26 Feb 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Menyiapkan mold untuk pengecoran - Grinding dan cor beton NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq) dan NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	Kendala : <ul style="list-style-type: none"> - Alat grinding sering mati secara tiba-tiba Solusi : -	
Kamis, 27 Feb 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Grinding dan cor beton NaOH 14M 1 SP 2% (Yosi) dan NaOH 12M 1 SP 0% (Ferdi) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-17.00	Kendala : <ul style="list-style-type: none"> - Kerikil bercampur lumpur dan pasir basah terkena hujan Solusi : <ul style="list-style-type: none"> - Cuci kerikil dan jemur pasir 	
	Mengayak kerikil untuk pengecoran hari selanjutnya	Ian, Hermawan, Jihad	LMSG	19.00-21.00	Kendala : - Solusi : -	

Jum'at, 28 Feb 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Grinding dan cor beton NaOH 10M 2,5 SP 2% (Ian) dan NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : - Mold beton habis, membuka mold beton milik Syafiq. Ketika membuka mold beton, kondisi beton masih belum kering, sehingga betonnya rusak</p> <p>Solusi : - <i>Reschedule</i> jadwal pengecoran. Pengecoran dengan molaritas rendah dijadwalkan demolding minimal 3 hari setelah cor</p>	
		Membeli aktivator	Yosi, Syafiq, Ian	Brataco	13.00-14.30	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>
Senin, 2 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Grinding dan cor beton NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-13.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	
Selasa, 3 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Grinding dan cor beton NaOH 14M 2,5 SP 2% (Nisar) dan NaOH 14M 1 SP 0% (Atho) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-19.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuaca mendung, sehingga agregat lama mengering <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menunggu hingga agregat benar-benar kering 	

Rabu, 4 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Grinding dan cor beton NaOH 10M 1 SP 0% (Jihad), Grinding - NaOH 10M 2 SP 2% (Ian) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuaca mendung, sehingga aggregat lama mengering <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menunggu hingga agregat benar-benar kering 	
Kamis, 5 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Grinding dan cor beton NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi) dan NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-22.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kondisi pasir basah terkena hujan, setelah dijemur masih belum bisa kering <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pasir dipanaskan menggunakan kompor 	
Jum'at, 6 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Grinding dan cor beton NaOH 10M 2,5 SP 2% (Ian) dan NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan) - Uji kuat tekan beton NaOH 10M 2,5 SP 2% (Ian) - Memindahkan sampel beton ke lab. lantai 2 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG dan Lab Jalan	08.00-20.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kondisi pasir basah terkena hujan, setelah dijemur masih belum bisa kering <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pasir dipanaskan menggunakan kompor di Lab Jalan 	
Senin, 9 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Grinding NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi) dan cor NaOH 10M 2 SP 2% (Ian) - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alat cor rusak, sehingga pekerjaan dihentikan <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memanggil tukang servis tanggal 10 Maret 	

Selasa, 10 Mar 2020	- Menyiapkan agragat untuk cor dan membersihkan mold - Membeli NaOH	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG dan Brataco	08.00-15.00	Kendala : - Solusi : -	
Rabu, 11 Mar 2020	- Grinding dan cor NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad) dan NaOH 14M 1,5 SP 2% (Nisar) - Membersihkan mold untuk persiapan pengecoran berikutnya	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Kamis, 12 Mar 2020	- Cor NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi), NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq), dan Grinding cor NaOH 14M 1 SP 0,5% (Atho) - Membersihkan bola grinding	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Jum'at, 13 Mar 2020	- Cor NaOH 12M 1 SP 1% (Ferdi), Grinding cor NaOH 10M 2 SP 2% (Ian) dan Grinding NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan) - Membersihkan bola grinding	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-17.00	Kendala : - Alat molen mati saat pengecoran terakhir Solusi : - Agregat didiamkan dalam molen hingga dapat dinyalakan kembali	

Senin, 30 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Mencuci kerikil serta menjemur pasir dan kerikil - Pengujian kuat tekan, permability, resistivity, dan porositas - Melepas mold untuk pembuatan benda uji berikutnya - Belanja APD untuk mencegah penyakit corona serta membeli NaOH dan metasilika 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG dan Brataco	08.30-10.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wabah penyakit corona menyebabkan resiko penyakit dan menghambat pekerjaan beton <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Membeli alat APD dan sabun untuk mencegah penyakit 	 
Selasa, 31 Mar 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Memotong dan beton untuk pengujian permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Ferdi NaOH 12M 1 SP 0%, Ian, Atho NaOH 14M 1 SP 0%, Syafiq NaOH 8M 2,5 SP 2%, Nisar NaOH 14M 2,5 SP 2%, Hermawan NaOH 16M 2,5 SP 2%)) - Mencuci kerikil serta menjemur pasir dan kerikil 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terlalu banyak beton yang diuji, sehingga alat permeabilitas perlu dikalibrasi beberapa kali <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kalibrasi alat permeabilitas 	
Rabu, 1 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Jihad NaOH 10M 1 SP 0%) - Membersihkan mold, grinding NaOH 14M 1 SP 1% (Atho) dan NaOH 14M 1,5 SP 2% (Nisar) - Menyiapkan agregat untuk pengecoran 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permukaan bawah beton banyak pori <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memotong bagian atas beton untuk permeabilitas 	

Kamis, 2 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Grinding NaOH 12M 1 SP 2% (Yosi), NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan), NaOH 12M 1 SP 1,5% (Ferdi) dan NaOH 10M 2 SP 2% (Ian) - Uji resistivity dan kuat tekan NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	
Jum'at, 3 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Grinding NaOH 10M 1 SP 1% dan 1,5% (Jihad) dan NaOH 8M 2 SP 2% (Syafiq) - Cor NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan) - Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Hermawan NaOH 16M 1,5 SP 2% dan Ferdi NaOH 12M 1 SP 0,5%) - Menyiapkan mold 10x20 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	 
Sabtu, 4 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Grinding NaOH 10M 1 SP 1,5% (Atho) dan NaOH 14M 0,5 SP 2% (Nisar) - Menyiapkan mold 10x20 - Membersihkan bola grinding 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-15.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	

Senin, 6 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Cor NaOH 12M 1 SP 2% (Yosi), NaOH 10M 1 SP 1% (Jihad), dan NaOH 14M 1 SP 1 (Atho) - Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (tan NaOH 12M 2 SP 2%) - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Membersihkan bola <i>grinding</i> 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	
Selasa, 7 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Mengayak agregat kasar (kerikil) - Cor NaOH 14M 2,5 SP 2% (Nisar) dan NaOH 14M 1 SP 1,5% (Atho) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	10.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terjadi kesalahan penimbangan material, sehingga beton segar tidak dapat tercampur saat dilakukan pengecoran <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beton ditambah dengan air lalu dijadikan sebagai plat untuk tempat mold 	
Rabu, 8 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Cor NaOH 10M 1 SP 1,5% (Jihad) dan NaOH 8M 2 SP 2% (Syafiq) - Membersihkan bola-bola baja 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	

Kamis, 9 Aprl 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Grinding NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi), Cor NaOH 12M 1 SP 1,5% (Ferdi), Grinding dan Cor NaOH 14M 1 SP 1,5% (Nisar) - Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Syafiq NaOH 8M 1,5 SP 2% dan Atho NaOH 14M 1 SP 0,5%) - Membersihkan bola-bola baja 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	
Jum'at, 10 Aprl 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Cor NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-15.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	

Sabtu, 11 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Grinding NaOH 8M 2,5 SP 2% (Syafiq), NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi), dan NaOH 16M 1,5 SP 2% (Hermawan) - Membersihkan bola-bola baja 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alat grinding sering mati (<i>error</i>) <p>Solusi : -</p>	
Senin, 13 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Cor NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi) - Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Yosi NaOH 12M 1 SP 2%, Atho NaOH 14M 1 SP 1%, dan Jihad NaOH 10M 1 SP 1%) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pompa permeabilitas panas <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian dihentikan hingga pompa menjadi dingin 	
Selasa, 14 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Grinding NaOH 14M 2 SP 2% (Nisar) dan NaOH 14M 1 SP 0% (Atho), Cor NaOH 8M 2,5 SP 2% (Syafiq) - Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, serta resistivity (Ian NaOH 10M 2 SP 2%, Atho NaOH 14M 1 SP 1,5%, dan Nisar NaOH 14M 2 SP 2%) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alat pompa permeabilitas tidak bisa digunakan - Alat grinding sering mati <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Service pompa 	

Rabu, 15 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Grinding dan Cor NaOH 12M 1 SP 0% (Ferdi), Cor NaOH 14M 2 SP 2% (Nisar) - Uji kuat tekan dan resistivity (Jihad NaOH 10M 1,5 SP 2%) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	08.00-12.00	Kendala : - Solusi : -	
Kamis, 16 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Grinding NaOH 16M 2 SP 2% (Hermawan) dan NaOH 16M 2 SP 0% (Hermawan), Cor NaOH 16M 2 SP 2% (Hermawan) dan NaOH 14M 1 SP 2% (Yosi) - Memotong beton dan uji kuat tekan serta resistivity (Nisar NaOH 14M 1,5 SP 2% dan Ferdi NaOH 12M 1 SP 1,5%) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	10.00-17.00	Kendala : <ul style="list-style-type: none"> - Alat grinding mati berkali-kali Solusi : -	
Jum'at, 17 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Grinding NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi) dan NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq), Cor NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan) - Membersihkan bola-bola baja 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	10.00-12.00	Kendala : - Solusi : -	

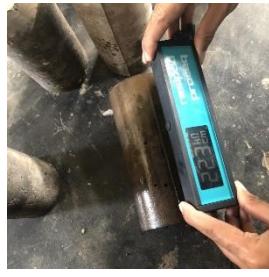
Sabtu, 18 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Grinding NaOH 12M 1 SP 1% (Ferdi), NaOH 14M 1 SP 0% (Atho), NaOH 10M 2,5 SP 2% (Ian), serta Cor NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	10.00-19.00	<p>Kendala : - Kegiatan penelitian dimulai saat siang hari, sehingga selesai saat hari mulai gelap</p> <p>Solusi : - Memulai kegiatan lebih pagi apabila banyak agenda penelitian</p>	
Senin, 20 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Cor NaOH 12M 1 SP 1% dan NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi), Grinding NaOH 16M 2 SP 2% dan NaOH 16M 1,5 SP 0% (Hermawan), Grinding 8M 2 SP 0% (Syafiq), Cor 8M 1,5 SP 0% dan Cor 8M 2 SP 0% (Syafiq), Grinding NaOH 14M 1 SP 0% (Atho) - Uji permeabilitas, kuat tekan, dan resistivity (Atho NaOH 14 M 1 SP 1%) - Membersihkan bola-bola baja 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	10.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alat grinding dan cor mati berkali-kali - Alat permeabilitas masih belum bisa digunakan <p>Solusi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menunggu laporan dari Pak Wandi pada hari Selasa 	
Selasa, 21 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Grinding NaOH 8M 1 SP 0% (Yosi), Cor NaOH 16M 1,5 SP 0% (Hermawan), Grinding 14M 1 SP 0,5% (Atho) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG	10.00-17.00	<p>Kendala : - Alat grinding dan cor mati berkali-kali</p> <p>Solusi : -</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> - Uji permeabilitas, kuat tekan, dan resistivity (Yosi NaOH 12M 1 SP 0% dan Atho NaOH 14M 1 SP 1,5%) - Membersihkan bola-bola baja - Memperbaiki alat permeabilitas 	<p>Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf</p>	LMSG	10.00-17.00	<p>Kendala : - Alat grinding dan cor mati berkali-kali</p> <p>Solusi : -</p>	
Rabu, 22 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Cor NaOH 8M 1 SP 0% (Yosi), Cor NaOH 16M 2 SP 0% (Hermawan), Cor NaOH 14M 1 SP 0% (Atho), Cor NaOH 10M 1,5 SP 2% (Ian) - Uji permeability, kuat tekan, dan resistivity (Ferdi NaOH 12M 1 SP 0%) 	<p>Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf</p>	LMSG	10.00-17.00	<p>Kendala : - Alat grinding dan cor mati berkali-kali</p> <p>Solusi : -</p>	
Kamis, 23 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Grinding NaOH 10M 1 SP 0% (Jihad) dan NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan), Cor NaOH 14M 1 SP 0,5% 	<p>Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf</p>	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : - Alat grinding dan cor mati berkali-kali</p> <p>Solusi : -</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> - Uji permeability, kuat tekan, dan resistivity (Ferdi NaOH 12M 1 SP 1,5% dan NaOH 12M 1 SP 0%, Hermawan NaOH 16M 2 SP 2%) - Membersihkan bola-bola baja 	<p>Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf</p>	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	
Jum'at, 24 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Grinding NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad) dan Cor NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan) - Membersihkan bola-bola baja 	<p>Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf</p>	LMSG	08.00-17.00	<p>Kendala : - Alat grinding dan cor mati berkali-kali</p> <p>Solusi : -</p>	
Sabtu, 25 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Cor NaOH 10M 1 SP 0% (Jihad) - Uji permeability, kuat tekan, dan porosity (Yosi NaOH 10M 1 SP 2%, Hermawan NaOH 16M 1,5 SP 2%) 	<p>Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian</p>	LMSG	08.00-14.00	<p>Kendala : - Alat grinding dan cor mati berkali-kali</p> <p>Solusi : -</p>	

Senin, 27 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus - Cor NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad) - Uji permeability, resistivity, kuat tekan, dan porosity (Ferdi NaOH 12M 1 SP 0,5% 7 hari, Ferdi NaOH 12M 1 SP 0,5% 14 hari, Ian NaOH 10M 2 SP 2% 14 hari) 	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	12.00-17.00	<p>Kendala :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alat grinding dan cor mati berkali-kali - Alat permeability susah untuk dikalibrasi <p>Solusi : -</p>	
Selasa, 28 April 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Syafiq NaOH 8M 2,5 SP 2% 14 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	12.00-17.00	<p>Kendala : - Alat permeability tidak bisa digunakan</p> <p>Solusi : -</p>	
	Uji setting time (Atho NaOH 14 M 1 SP 0%)	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	12.00-17.00	<p>Kendala : - Semen geopolimer kurang halus, sehingga adonan beton cepat mengeras</p> <p>Solusi : - Dihaluskan menggunakan mortar</p>	

Rabu, 29 April 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Jihad NaOH 10 M 1 SP 0% 56 hari, Ferdi NaOH 12M 1 SP 0% 14 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 0% 7 hari, Nisar NaOH 14M 2 SP 2% 14 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Kamis, 30 April 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Yosi NaOH 8M 1 SP 2% 56 hari, Hermawan NaOH 16M 2 SP 2% 14 dan 28 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 0,5% 7 hari, Nisar NaOH 14M 2,5 56 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Jum'at, 1 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Yosi NaOH 10M 1 SP 2% 14 hari, Jihad NaOH 10M 1 SP 0% 7 hari, Hermawan NaOH 16M 2,5 SP 2% 7 hari, Hermawan NaOH 16M 1,5 SP 2% 56 hari, Ian NaOH 10M 1,5 SP 2% 14 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Senin, 4 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Yosi NaOH 12M 1 SP 2% 28 hari, Jihad NaOH 10M 1 SP 0,5% 7 hari, Jihad NaOH 10M 1 SP 1% 28 hari, Ferdi NaOH 12M 1 SP 1% 14 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 1% 28 hari)	Yosi, Jihad, Atho, Ferdi	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	

Selasa, 5 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Atho NaOH 14M 1 SP 1,5% 28 hari)	Jihad, Atho	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Rabu, 6 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Syafiq NaOH 8M 2 SP 2% 28 hari, Jihad NaOH 10M 1 SP 1,5% 28 hari, Jihad NaOH 10M 1 SP 0,5% 56 hari, Ian NaOH 10M 2,5 SP 2% 14 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 0% 14 hari, Nisar NaOH 14M 1,5 2% 28 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Kamis, 7 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan UPV (Yosi NaOH 10M 1 SP 2% 56 hari, Ferdi NaOH 12M 1 sp 1,5% 28 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 0,5% 14 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 0,5% 56 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Jum'at, 8 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan UPV (Yosi NaOH 8M 1 SP 2% 28 hari, Jihad NaOH 10M 1 SP 0% 14 hari, Hermawan NaOH 16M 2,5 SP 2% 14 hari, Ferdi NaOH 12M 1 SP 1% 56 hari, Ian NaOH 10M 1,5 SP 2% 56 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	

Senin, 11 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Jihad NaOH 10M 1 SP 0,5% 14 hari, Syafiq NaOH 8M 2 SP 2% 56 hari)	Jihad, Syafiq	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Selasa, 12 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Syafiq NaOH 8M 2,5 SP 2% 28 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 0% 28 hari)	Syafiq, Atho	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Kamis, 14 Mei 2020	Uji UPV(Jihad NaOH 10M 1 SP 0%; 1%; 1,5%, Ferdi NaOH 12M 1 SP 0%; 1%; 1,5%)	Yosi, Jihad, Ferdi	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Jum'at, 15 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Hermawan NaOH 16M 2,5 SP 0% 28 hari)	Hermawan, Yosi, Jihad, Ferdi	LMSG	13.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	

Senin, 18 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan UPV (Yosi NaOH 10M 1 SP 2% 28 hari)	Yosi, Jihad, Ferdi	LMSG	12.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Selasa, 19 Mei 2020	- Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran - Mengayak agregat kasar - Uji porositas (Yosi NaOH 8M 1 SP 2% 28 hari) - Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Hermawan NaOH 16M 1,5 SP 0% 28 hari)	Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG	13.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	
Rabu, 20 Mei 2020	- Uji UPV (Yosi NaOH 14M 1 SP 2%, Syafiq NaOH 8M 2,5 SP 0%) - Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Hermawan NaOH 16M 2 SP 0% 28 hari)	Yosi, Hermawan, Atho, Syafiq	LMSG	13.00-17.00	Kendala : - Kabel UPV bermasalah Solusi : - Setting kabel UPV	
Kamis, 21 Mei 2020	Uji UPV dan kuat tekan (Yosi NaOH 8M 1 SP 0% 28 hari)	Yosi, Hermawan, Atho, Syafiq	LMSG	14.00-17.00	Kendala : - Solusi : -	

Jum'at, 22 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Hermawan NaOH 16M 2,5 SP 2% 28 hari)	Hermawan, Syafiq	LMSG	14.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	
Selasa, 26 Mei 2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Hermawan NaOH 16M 2 SP 2% 56 hari)	Hermawan	LMSG	14.00-17.00	<p>Kendala : -</p> <p>Solusi : -</p>	