TUGAS AKHIR TERAPAN – VC181819

PERFORMA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *HIGH-CALCIUM FLY ASH* DENGAN VARIASI MOLARITAS NaOH UNTUK IMPLEMENTASI DI LINGKUNGAN KLORIDA

YOSI NOVIARI WIBOWO
NRP 10111610013087

Dosen Pembimbing 1
Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T., M.T.
NIP. 19780201 200604 2 002

Dosen Pembimbing 2
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19730710 199801 1002

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

PERFORMA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *HIGH-CALCIUM FLY ASH* DENGAN VARIASI MOLARITAS NaOH UNTUK IMPLEMENTASI DI LINGKUNGAN KLORIDA

YOSI NOVIARI WIBOWO
NRP 10111610013087

Dosen Pembimbing 1
Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T., M.T.
NIP. 19780201 200604 2 002

Dosen Pembimbing 2
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19730710 199801 1002

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

PERFORMANCE OF HIGH-CALCIUM FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE WITH NaOH MOLARITY VARIATION FOR CHLORIDE ENVIRONMENT IMPLEMENTATION

YOSI NOVIARI WIBOWO
NRP 10111610013087

Supervisor I
Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T., M.T.
NIP. 19780201 200604 2 002

Supervisor ii
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19730710 199801 1002

STUDY PROGRAM OF CIVIL BUILDING MANAGEMENT AND MAINTENANCE TECHNOLOGY ENGINEERING
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTEMENT
VOCATIONAL FACULTY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

PERFORMA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *HIGH-CALCIUM FLY ASH* DENGAN VARIASI MOLARITAS NaOH UNTUK IMPLEMENTASI DI LINGKUNGAN KLORIDA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan
Departemen Teknik Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YOSI NOVIARI WIBOWO
NRP. 10111610013087

Disetujui oleh

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T., M.T.	**Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D.**
NIP. 19780201 200604 2 002	**NIP. 19720710 199801 1002**

SURABAYA, 19 AGUSTUS 2020

PERFORMA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *HIGH-CALCIUM FLY ASH* DENGAN VARIASI MOLARITAS NaOH UNTUK IMPLEMENTASI DI LINGKUNGAN KLORIDA

Nama Mahasiswa : Yosi Noviari Wibowo
NRP : 10111610013087
Jurusan : Teknik Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil FV-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Akselerasi pembangunan infrastruktur maritim berpotensi mewujudkan pemerataan ekonomi di Indonesia. Seiring dengan pertumbuhan infrastruktur, penggunaan semen portland perlu direduksi karena menyebabkan pemanasan global. Penerapan material berwawasan lingkungan seperti halnya beton geopolimer merupakan salah satu solusi untuk untuk mengurangi resiko pemanasan global karena mengganti penggunaan semen portland sebagai material konstruksi. Beberapa peneliti mempelajari fly ash sebagai bahan penyusun beton geopolimer. Umumnya peneliti memanfaatkan low-calcium fly ash karena karakteristiknya yang bagus untuk beton geopolimer, padahal keberadaan high-calcium fly ash sangat melimpah dan menjadi limbah yang berbahaya bagi lingkungan. High-calcium fly ash sangat jarang digunakan karena karakteristiknya kurang baik apabila diterapkan sebagai bahan dasar beton geopolimer. Tingginya kadar kalsium pada fly ash menyebabkan waktu pengerasan beton geopolimer terlalu cepat, sehingga sangat sulit diimplementasikan sebagai material konstruksi skala besar. Penerapan metode pencampuran kering pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya untuk memperlambat waktu pengerasan beton, namun kuat tekan yang dihasilkan masih belum memenuhi persyaratan untuk material konstruksi di lingkungan klorida.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum beton geopolimer untuk implementasi di lingkungan klorida. Metode

penelitian pada tugas akhir ini terdapat 4 fase, yaitu penelitian mengenai material penyusun, mix design, pembuatan semen geopolimer, serta pembuatan beton geopolimer. Pengujian material penyusun meliputi uji XRF untuk mengetahui kandungan kimianya, serta pengujian XRD untuk mengetahui fasa amorf dan kristalin material fly ash. Fokusan tugas akhir ini terletak pada pembuatan mix design mengenai variasi molaritas NaOH (8M, 10M, 12M, dan 14M) dengan rasio Na_2SiO_3 : NaOH sebesar 1:1. Berbagai pengujian dilakukan untuk mengetahui performa beton geopolimer meliputi, uji kuat tekan, uji UPV, uji porositas, uji resistivitas, serta uji permeabilitas. Pengujian beton dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Selain itu juga dilakukan pengujian slump untuk mengetahui workability beton segar. Adapun perawatan benda uji yang dilakukan yaitu perawatan dengan paparan udara sekitar (ambient curing) serta perawatan di lingkungan klorida.

Penambahan molaritas NaOH dengan metode pencampuran kering dapat meningkatkan performa beton geopolimer meliputi kuat tekan, kepadatan (UPV), porositas, resistivitas maupun permeabilitas. Pengujian beton dengan variasi molaritas NaOH ***12M*** *dan* ***14M*** *direkomendasikan sebagai material konstrksi di lingkungan klorida karena telah memenuhi syarat SNI 2847-2019 Pasal 19.3.2 dengan kuat tekan* ***>35MPa*** *saat berumur 28 hari. Hasil uji workability beton geopolimer menunjukkan bahwa penambahan sukrosa 2% berpengaruh signifikan terhadap nilai slump dengan selisih nilai* ***85-150mm*** *dibandingkan dengan variasi sukrosa 0%. Workability beton geopolimer telah memenuhi syarat SNI 1972-2008 dengan standar rentang 15-230 mm. Aspek analisa biaya menunjukkan bahwa implementasi beton gepoolimer lebih mahal* ***43%-56%*** *dibandingkan beton konvensional. Penurunan harga produksi beton geopolimer sangat memungkinkan apabila tinjauan harga menggunakan skala komersial.*

Kata kunci: Beton geopolimer, high-calcium fly ash, dry mixing, beton lingkungan klorida.

PERFORMANCE OF HIGH-CALCIUM FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE WITH NaOH MOLARITY VARIATION FOR CHLORIDE ENVIRONMENT IMPLEMENTATION

Student's Name	**: Yosi Noviari Wibowo**
NRP	**: 10111610013087**
Departement	**: Teknik Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil FV-ITS**
1st Supervisor	**: Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa, S.T., M.T.**
2nd Supervisor	**: Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D.**

Abstract

Acceleration development of maritime infrastructure has the potential to create economic equity in Indonesia. Along with infrastructure growth, the use of portland cement needs to reduce because it causes global warming. The application of environmentally friendly materials such as geopolymer concrete is one of the solutions to reduce the risk of global warming because it replaces the use of Portland cement as a construction material. Several researchers have studied fly ash as a building material for geopolymer concrete. Generally, researchers use low-calcium fly ash due its good characteristics for geopolymer concrete, despite the fact that high-calcium fly ash is very abundant and turn to hazardous waste to the environment. High-calcium fly ash is rarely used because of its poor characteristics when applied as a main material of geopolymer concrete. The high level of calcium in fly ash causes a quick hardening time of geopolymer concrete so it is very difficult to be implemented as a large-scale construction material. Previous researchers have used the dry mixing method to slow down the hardening time of the concrete, but the compressive strength still does not meet the requirements for construction materials in chloride environments.

This study aims to determine the optimum composition of geopolymer concrete for implementation in a chloride environment. The research method in this final project consists of 4 phases, including research on constituent materials, mix design, manufacture of

geopolymer cement, and manufacture of geopolymer concrete. The testing of constituent materials includes the XRF test to determine its chemical content and to determine the amorphous and crystalline phases of fly ash material. The focus of this final project is about making a mix design regarding the variation of molarity of NaOH (8M, 10M, 12M, and 14M) with Na_2SiO_3 : NaOH ratio of 1:1. Various tests carried out to determine the performance of geopolymer concrete including compressive strength test, UPV test, porosity test, and resistivity test. Concrete testing at the ages of 7, 14, 28, and 56 days. Besides, slump testing also carried out to determine the workability of fresh concrete. The curing of the specimens is ambient curing and soaked in the chloride environment.

The addition of NaOH molarity with the dry mixing method can improve the performance of geopolymer concrete including compressive strength, density (UPV), porosity, and resistivity. Concrete testing with ***12M*** *and* ***14M*** *NaOH molarity variations is recommended as a construction material in a chloride environment because it has the requirements of SNI 2847-2019 Article 19.3.2 with a compressive strength >* ***35MPa*** *at 28 days old. The results of the geopolymer concrete workability test showed that the addition of 2% sucrose had a significant effect on the slump value with a value difference of* ***85-150mm*** *compared to the variation of 0% sucrose. The aspect of cost analysis shows that the implementation of geopolymer concrete is* ***43%-56%*** *more expensive than conventional concrete. It is possible to reduce the price of geopolymer concrete production if the price review uses a commercial scale.*

Keywords*: Geopolymer concrete, high-calcium fly ash, dry mixing, chloride environmental concrete*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim Alhamdulillahirabbil A'alamiin. Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **"PERFORMA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *HIGH-CALCIUM FLY ASH* DENGAN VARIASI MOLARITAS NaOH UNTUK IMPLEMENTASI DI LINGKUNGAN KLORIDA"** dapat terselesaikan dengan baik. Penulisan karya tulis ilmiah ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung terselesaikannya penelitian ini, yaitu:

1. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian.
2. Dr. Eng. Yuyun Tajunnisa ST., MT, Ridho Bayuaji, ST., MT., PhD., dan Nur Ahmad Husin ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Mohamad Khoiri, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Kepala Departemen Teknik Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Laboratorium Material dan Struktur Gedung yang telah mendanai dan memfasilitasi penelitian ini.
5. Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq, Atho', Nisar, Yusuf, Ajie, dan teman-teman mahasiswa Teknik Infrastruktur Sipil yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Akhir kata, dengan segala kekhilafan penulis ingin menyampaikan permohonan maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini.

Surabaya, 17 Juli 2020

Penulis,
Yosi Noviari Wibowo

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penulisan 3
1.4 Manfaat Penulisan 3
1.5 Batasan Masalah 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 *State of the Art* 5
2.2 Teori Penunjang 6
2.2.1 Beton Geopolimer 6
2.2.2 *Fly Ash* 6
2.2.3 Alkali Aktivator 8
2.2.4 Agregat 10
2.2.4 *Superplasticizer* 10
2.3 Pencampuran Metode Kering 11
2.4 Pengujian Material Penyusun 12
2.4.1 XRF (*X-Ray Fluorescence*) 12
2.4.2 XRD (*X-Ray Diffraction*) 13
2.5 Standarisasi Pengujian Beton 15
2.5.1 Uji pH 15
2.5.2 Uji Slump 16
2.5.3 Uji Kuat Tekan 16
2.5.4 Uji UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) 18
2.5.5 Uji Permeabilitas 20
2.5.6 Uji Porositas 21
2.5.7 Uji Resistivitas 22
2.6 Perkembangan Beton Geopolimer di Lingkungan Klorida 23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 27
3.1 Tahapan Penelitian 27
3.2 Detail Tahapan Penelitian 30

3.2.1 Pengumpulan dan Pengujian Material Penyusun 30
3.2.2 Pembuatan *Mix Design*.....39
3.2.3 Pembuatan Semen Geopolimer.....44
3.2.4 Pembuatan, Perawatan, dan Pengujian Beton Geopolimer 45
BAB IV HASIL PENELITIAN.....57
4.1 Karakteristik Limbah *High-Calcium Fly Ash*.....57
4.1.1 Uji XRF (X-Ray Fluorescence).....57
4.1.2 Uji XRD (X-Ray Diffraction).....58
4.2 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Performa Beton Geopolimer 63
4.2.1 Uji Slump.....64
4.2.2 Uji Kuat Tekan.....65
4.2.3 Uji UPV.....71
4.2.4 Uji Porositas.....76
4.2.5 Uji Resistivitas 79
4.2.6 Uji Permeabilitas 86
4.2.7 Analisa Visual Beton Geopolimer.....88
4.3 Implementasi Prototipe Beton Geopolimer di Lingkungan Klorida 90
4.4 Perbandingan Biaya Beton Geopolimer dengan Beton Konvensional.....94
4.4.1 Biaya Produksi Beton Geopolimer 94
4.4.2 Biaya Produksi Beton Konvensional.....96
4.4.3 Perbandingan Biaya Produksi 99
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 101
5.1 Kesimpulan.....101
5.2 Saran 102
DAFTAR PUSTAKA.....103
LOGBOOK 115
BIODATA PENULIS.....139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses hidrasi Semen Portland dan Polimerisasi Semen Geopolimer 6
Gambar 2.2 Karakteristik Fly Ash Berdasarkan Penelitian Sebelumnya.....7
Gambar 2.3 (A) Pencampuran Metode Basah, (B) Pencampuran Metode Kering.....11
Gambar 2.4 Penembakan Sinar-X pada Spesimen.....12
Gambar 2.5 Ilustrasi Pengujian XRF 13
Gambar 2.6 Skema Diagram Pengujian XRD.....13
Gambar 2.7 Contoh Pola Difraksi.....14
Gambar 2.8 Struktur Kristalin pada Benda Padat.....14
Gambar 2.9 Struktur 2 dimensi (a) Kristalin silicon dioxide dan (b) amorf 15
Gambar 2.10 Cetakan untuk Uji Slump.....16
Gambar 2.11 Metode Pengujian UPV.....18
Gambar 2.12 Pengujian UPV 19
Gambar 2.13 Perkiraan Kuat Tekan Berdasarkan Buku Panduan Alat UPV TICO-PROCEQ 20
Gambar 2.14 Rangkaian Pengujian dengan Metode Wenner Probe 22
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian.....27
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....29
Gambar 3.3 Grafik Kuat Tekan 28 Hari Terhadap Rasio AAS/FA 40
Gambar 3.4 Pembuatan Semen Geopolimer 45
Gambar 3.5 Peralatan Pengecoran 46
Gambar 3.6 Bahan Pengecoran 46
Gambar 3.7 Pengecoran Beton Geopolimer.....48
Gambar 3.8 Perawatan Beton Geopolimer 48
Gambar 3.9 Proses Pengukuran Slump 50
Gambar 3.10 Pengujian Kuat Tekan Beton.....51
Gambar 3.11 Pengujian Permeabilitas 53
Gambar 3.12 Pengujian Porositas Beton 54
Gambar 3.13 Pengujian Resistivitas 55

Gambar 4.1 Hasil Uji XRD.....58
Gambar 4.2 Puncak Kristalin 59
Gambar 4.3 Area Kristalin pada rentang sudut 20^{o}-37,06^{o}.....60
Gambar 4.4 Area Kristalin pada rentang sudut 37,06^{o}-60,82^{o} 60
Gambar 4.5 Area Kristalin pada rentang sudut 60,82^{o}-90^{o}.....60
Gambar 4.6 Identifikasi Mineral Kristalin pada Grafik XRD 62
Gambar 4.7 Pengaruh Sukrosa Terhadap Slump Beton Geopolimer 64
Gambar 4.8 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Sukrosa 2% 68
Gambar 4.9 Pengaruh Sukrosa Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari 69
Gambar 4.10 Pengaruh Lingkungan Klorida Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Sukrosa 2% 70
Gambar 4.11 Korelasi Nilai UPV Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari 75
Gambar 4.12 Pengaruh Lingkungan Klorida Terhadap Nilai UPV Beton Geoploimer pada Umur 56 Hari.....76
Gambar 4.13 Korelasi Porositas Terhadap Nilai UPV Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari 78
Gambar 4.14 Pengaruh Lingkungan Klorida Terhadap Porositas Beton Geopolimer pada Umur 56 Hari.....79
Gambar 4.15 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Resistivitas Beton Geopolimer.....84
Gambar 4.16 Korelasi Nilai Resistivitas Terhadap Porositas Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari 85
Gambar 4.17 Pengaruh Lingkungan Klorida NaOH Terhadap Resistivitas Beton Geopolimer 85
Gambar 4.18 Korelasi Nilai Permeabilitas Terhadap Porositas Beton Geopolimer.....87
Gambar 4.19 Korelasi Nilai Permeabilitas Terhadap Resistivitas Beton Geopolimer.....88
Gambar 4.20 Korelasi Nilai Permeabilitas Terhadap Kepadatan Beton Geopolimer.....88
Gambar 4.21 Karbonasi pada Permukaan Beton Geopolimer.....89

Gambar 4.22 Perbedaan Proses Mekanisme Metode Basah dan Metode Kering.....92
Gambar 4.23 Mekanisme Peningkatan Performa Akibat Rendaman Klorida.....94

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Fly Ash Berdasarkan Kandungan Kimia.....7
Tabel 2.2 Penelitian Mengenai Pengaruh NaOH Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer.....9
Tabel 2.3 Kriteria Pengujian pH.....15
Tabel 2.4 Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) dengan Diameter (D) Benda Uji.....17
Tabel 2.5 Estimasi Korelasi Kuat Tekan Silinder Beton Berdasarkan Diameter Benda Uji (L/D = 2) 17
Tabel 2.6 Kategori dan kelas paparan 17
Tabel 2.7 Persyaratan untuk beton berdasarkan kelas paparan ...18
Tabel 2.8 Klasifikasi Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang (IS 1331101-1992) 20
Tabel 2.9 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Koefisien Permeabilitas.....21
Tabel 2.10 Batasan Evaluasi Beton Terhadap Korosi 23
Tabel 2.11 Perkembangan Beton Geopolimer di Lingkungan Klorida.....24
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Fly Ash 31
Tabel 3.2 Hasil Pengujian Berat Jenis NaOH 32
Tabel 3.3 Acuan Ukuran Agregat Maksimum 33
Tabel 3.4 Hasil Uji Analisa Gradasi Kerikil 34
Tabel 3.5 Hasil Uji Berat Jenis Kerikil.....35
Tabel 3.6 Gradasi Kerikil dan Berat Benda Uji.....36
Tabel 3.7 Hasil Uji Abrasi 36
Tabel 3.8 Hasil Uji Berat Jenis Pasir.....37
Tabel 3.9 Pembagian Zona Gradasi Agregat Halus.....38
Tabel 3.10 Keteragan Zona Agregat Halus.....38
Tabel 3.11 Hasil Uji 1 Gradasi Agregat Halus.....38
Tabel 3.12 Hasil Uji 2 Gradasi Agregat Halus.....39
Tabel 3.13 Hasil Uji 3 Gradasi Agregat Halus.....39
Tabel 3.14 Parameter Agregat Kasar 40
Tabel 3.15 Rekapitulasi Mix Design Beton Geopolimer (Metode Basah).....41

Tabel 3.16 Perbandingan massa NaOH padat dan Air dalam Berbagai Molaritas 42
Tabel 3.17 Hasil Pengujian Gravimetri Larutan Na_2SiO_3 (aq) (% wt.) 42
Tabel 3.18 Rekapitulasi Massa Air per Molaritas NaOH 43
Tabel 3.19 Rekapitulasi Mix Design Beton Geopolimer untuk Metode Kering 44
Tabel 3.20 Pengujian UPV 52
Tabel 4.1 Hasil Uji XRF Material Fly Ash 57
Tabel 4.2 Pembagian Rentang Sudut 2Tetha 59
Tabel 4.3 Detail Luas Area Kristalin 61
Tabel 4.4 Mineral Kristalin pada Material Fly Ash 62
Tabel 4.5 Hasil Uji XRD 63
Tabel 4.6 Hasil Uji Slump 64
Tabel 4.7 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M 66
Tabel 4.8 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M 66
Tabel 4.9 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M 67
Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M 67
Tabel 4.11 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M 71
Tabel 4.12 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M 72
Tabel 4.13 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M 73
Tabel 4.14 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M 74
Tabel 4.15 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M 77
Tabel 4.16 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M 77

Tabel 4.17 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M 77
Tabel 4.18 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M 78
Tabel 4.19 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M 80
Tabel 4.20 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M 81
Tabel 4.21 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M 82
Tabel 4.22 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M 83
Tabel 4. 23 Hasil Uji Permeabilitas Beton Gepolimer 86
Tabel 4.24 Komposisi Beton Geopolimer 95
Tabel 4.25 Daftar Harga Material untuk Beton Geopolimer 95
Tabel 4.26 Harga Produksi Beton Geopolimer dari Segi Material 95
Tabel 4.27 Komposisi campuran beton semen dan bahan tambah terhadap berat 97
Tabel 4.28 Komposisi Beton Konvensional Berdasarkan Mutu . 98
Tabel 4.29 Daftar Harga Material untuk Beton Konvensional.... 98
Tabel 4.30 Harga Produksi Beton Konvensional dari Segi Material 99
Tabel 4.31 Perbandingan Biaya Produksi Beton Geopolimer dengan Beton Konvensional dari Segi Material 99

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah kelautan Indonesia memiliki ruang dan aksesibilitas tinggi dalam bidang transportasi bagi kegiatan industri. Pengembangan infrastruktur transportasi laut merupakan salah satu kunci utama pergerakan logistik untuk mendorong pertumbuhan aktivitas industri (Mantoro, 2019). Oleh karena itu, akselerasi pembangunan infrastruktur maritim berpotensi mewujudkan pemerataan ekonomi di Indonesia.

Mempertimbangkan tantangan di masa depan untuk konstruksi laut, penggunaan semen portland sebagai material konstruksi perlu direduksi karena menyebabkan emisi gas CO_2 hingga 7% per tahun sekaligus menduduki peringkat kedua terbesar sebagai penghasil gas efek rumah kaca (Lehne & Preston, 2018). Industri semen juga melepaskan hasil samping berupa gas SO_3 dan NO_x di atmosfer menyebabkan perubahan iklim (Anand dkk, 2006). Penerapan material berwawasan lingkungan seperti halnya beton geopolimer merupakan salah satu solusi untuk untuk mengurangi resiko pemanasan global karena mengganti penggunaan semen portland sebagai material konstruksi. Pertimbangan lainnya adalah mengenai ketersediaan sumber utama pembentuk beton geopolimer yang lebih melimpah di bumi (silika 27,7% dan alumina 8,1%) dibandingkan dengan elemen pembentuk semen portland (kalsium 3,6%) (Frederick K. & Edward J., 2000)

Beton geopolimer merupakan material alternatif yang ramah lingkungan menggunakan sumber bahan silika dan alumina dengan aktivator basa (Davidovits, 2013). Sumber alumina silika yang digunakan merupakan hasil sintesa produk sampingan seperti *fly ash*, *mill scale*, *blast furnace slag*, *rice husk ash*, GGBFS dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina (Davidovits, 2011; Tajunnisa dkk, 2017a). Salah satu sumber alumina silika yang tersedia secara luas dan sering digunakan adalah *fly ash* dengan jumlah 8,31 juta ton per tahun pada tahun 2019 (Jarman,

2019). Sebagian besar produk sampingan ini dibuang begitu saja di alam, sehingga menimbulkan kerusakan lingkungan. Walaupun dalam jumlah sedikit, pembuangan *fly ash* dapat mengakibatkan pencemaran air, tanah, dan udara (Haynes, 2009), karena mengandung beberapa elemen beracun seperti *arsenic*, *polycyclic aromatic hydrocarbons* dan *crystalline silica* yang memiliki dampak buruk terhadap kesehatan pada mahluk hidup (Borm, 1997; Smith dkk, 2006).

Fly ash merupakan limbah dari pembakaran batu bara di PLTU. Jenis *fly ash* yang digunakan sebagai material pengikat pada beton geopolimer terdapat 2 tipe, yaitu tipe C (*high-calcium fly ash*) dan tipe F (*low-calcium fly ash*) (Tajunnisa dkk, 2017c). Umumnya peneliti memanfaatkan *low-calcium fly ash* karena karakteristiknya yang bagus untuk beton geopolimer, padahal keberadaan *high-calcium fly ash* sangat melimpah dan menjadi limbah yang berbahaya bagi lingkungan. Dalam penggunaannya, *high-calcium fly ash* sangat jarang digunakan dalam campuran beton geopolimer karena memiliki kadar CaO lebih besar dari 10%. Tingginya kadar kalsium tersebut menyebabkan waktu pengerasan beton geopolimer berlangsung terlalu cepat (Topark-Ngarm dkk, 2015) sehingga beton sangat sulit diimplementasikan sebagai material konstruksi skala besar.

Penerapan metode pencampuran kering (*dry mixing method*) merupakan salah satu solusi untuk memperpanjang waktu pengerasan beton geopolimer (Bayuaji dkk, 2017). Namun, terdapat kekurangan dalam penerapan metode pencampuran kering, yaitu kuat tekan beton yang dihasilkan relatif rendah (Yasin, 2017). Disisi lain, penerapan beton di lingkungan klorida membutuhkan kuat tekan tinggi (>35 MPa). Oleh karena itu, fokusan tugas akhir ini adalah penelitian mengenai komposisi optimum untuk meningkatkan performa beton geopolimer berbasis *high-calcium fly ash* dengan menggunakan metode kering. Dengan adanya tugas akhir ini diharapkan dapat memaksimalkan potensi limbah *fly ash* yang ada di Indonesia untuk mengatasi masalah kebutuhan material konstruksi laut dan dampak pemanasan global.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan *high-calcium fly ash* sebagai material dasar beton geopolimer memiliki kendala mengenai waktu pengerasan beton yang berlangsung terlalu cepat. Hal tersebut menyebabkan beton sulit untuk diimplementasikan. Di sisi lain, penerapan beton di lingkungan klorida harus memiliki performa yang baik. Produk beton harus memenuhi persyaratan SNI 2847-2019 dengan kuat tekan diatas 35 MPa pada umur 28 hari dan faktor air semen maksimum sebesar 0,4. Penerapan metode pencampuran kering mampu memperlambat waktu pengerasan beton, namun kuat tekannya tidak memenuhi standar untuk lingkungan klorida. Komposisi beton geopolimer berbasis *high-calcium fly ash* perlu diteliti untuk memenuhi standar ketahanan beton di lingkungan klorida.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik material limbah *high-calcium fly ash* dengan pengujian XRF dan XRD.
2. Mengetahui pengaruh perubahan komposisi molaritas NaOH terhadap performa (kuat tekan, kepadatan, permeabilitas, porositas, resistivitas), dan *workability* beton geopolimer dengan pencampuran metode kering.
3. Mengimplementasikan material limbah *high-calcium fly ash* sebagai prototipe beton geopolimer di lingkungan klorida sesuai dengan peraturan SNI 2847-2019.
4. Mengetahui rincian biaya produksi semen geopolimer yang digunakan untuk metode pencampuran kering dari segi material.

1.4 Manfaat Penulisan

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengembangkan komposisi beton geopolimer yang lebih aplikatif untuk diterapkan sebagai material konstruksi skala besar.

2. Memanfaatkan limbah *fly ash* yang jarang digunakan sebagai material dasar beton geopolimer untuk lingkungan klorida.
3. Sebagai pengembangan ilmu di bidang teknik sipil untuk meminimalisasi dampak buruk yang disebabkan oleh industri semen.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Material *high-calcium fly ash* digunakan berasal dari PLTU PT. YTL Jawa Timur.
2. Molaritas NaOH yang digunakan adalah 8M, 10M, 12M, dan 14M.
3. Perbandingan aktivator Na_2SiO_3 terhadap NaOH adalah 1:1.
4. Menggunakan *superplasticizer* berupa sukrosa dengan kadar 0% dan 2%.
5. Pengujian prototipe meliputi uji slump, uji kuat tekan, uji permeabilitas, uji porositas, dan uji resistivitas.
6. Pengujian beton dilakukan pada saat umur 7, 14, 28, dan 56.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of the Art*

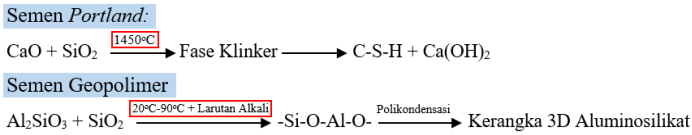
Penerapan material beton geopolimer merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi pemanasan global akibat proses industri semen. Seiring berkembangnya teknologi beton geopolimer, penggunaan *low-calcium fly ash* sudah berhasil diimplementasikan sebagai material konstruksi skala besar (Glasby dkk, 2015a; Glasby dkk, 2015b). Sedangkan penggunaan *high-calcium fly ash* masih belum bisa dimanfaatkan dengan baik. Hal tersebut berkaitan dengan karakteristiknya yang memiliki waktu pengerasan yang terlalu cepat, sehingga sulit untuk diimplementasikan (Tajunnisa dkk, 2019a). Berdasarkan data, *low-calcium fly ash* sangat jarang ditemukan di Indonesia, sedangkan ketersediaan *high-calcium fly ash* sangat melimpah (Darmawan dkk, 2015). Oleh karena itu, limbah tersebut perlu dimanfaatkan dengan baik agar tidak mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan makhluk hidup.

Pengembangan produk beton geopolimer dilakukan dengan cara mengubah metode pencampuran untuk memperpanjang waktu pengerasan dan meningkatkan kualitas beton. Metode yang dikembangkan adalah **Metode Kering.** Berdasarkan literatur (Davidovits, 2013; Hardjito & Rangan, 2005; Tajunnisa dkk, 2019b; Tajunnisa dkk, 2019c) beton geopolimer pada umumnya menggunakan metode basah, dimana material alkali (NaOH dan Na_2SiO_3) berupa cairan dicampur ke dalam adonan beton. Sedangkan pencampuran beton dengan metode kering menggunakan material alkali NaOH dan Na_2SiO_3 dalam bentuk padatan. Cara ini dapat memperpanjang waktu pengerasan dan meningkatkan kualitas beton geopolimer, sehingga dapat diaplikasikan sebagai material konstruksi skala besar (Bayuaji dkk, 2017). Fokusan tugas akhir ini adalah pembuatan komposisi untuk prototipe beton geopolimer dengan variasi molaritas NaOH (8M, 10M, 12M, dan 14M) untuk mengetahui komposisi yang efektif pada penerapan di lingkungan klorida.

2.2 Teori Penunjang

2.2.1 Beton Geopolimer

Teknologi beton geopolimer diperkenalkan oleh Davidovits tahun 1978. Geopolimer terbentuk dari bahan anorganik yang kaya akan silika (Si) dan Alumina (Al) yang bereaksi dengan larutan alkali menghasilkan semen geopolimer dengan tujuan utama menggantikan konsep material pengikat pada beton konvensional yang menyumbang CO_2. Reaksi polimer yang terjadi di semen geopolimer berbeda dengan reaksi hidrasi yang terjadi pada semen *portland*. Perbedaan sederhana antara keduanya dapat dilihat pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1 Proses hidrasi Semen Portland dan Polimerisasi Semen Geopolimer

Sumber : Davidovits, 1994

Pembentukan beton geopolimer sangat dipengaruhi oleh alkali aktivator yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasi larutan alkali, maka aluminosilikat pada *fly ash* cepat larut untuk melepaskan ion Si dan Al sebagai material proses polikondensasi (Yip dkk, 2005). Hal tersebut membuat ikatan geopolimer semakin kuat. Studi pada penelitian sebelumnya (Rattanasak dkk, 2011), ketika *fly ash* mengalami kontak langsung dengan NaOH, ion Si dan Al mulai terlepas. Banyaknya pelepasan ion bergantung pada tingginya konsentrasi NaOH. Oleh karena itu, konsentrasi NaOH merupakan faktor penting dalam proses geopolimerisasi dan mempengaruhi sifat mekanis pada pengerasan beton geopolimer.

2.2.2 *Fly Ash*

Fly ash merupakan salah satu material *pozzolan* yang berasal dari pembakaran batubara pada PLTU. Beberapa

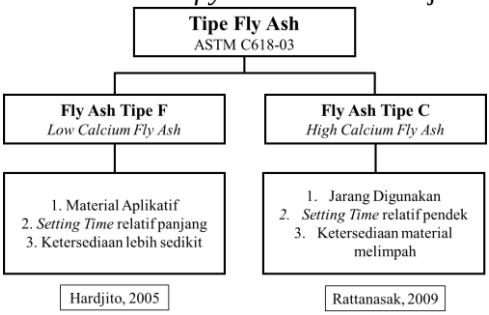
negara mempunyai perbedaan dalam spesifikasi *fly ash*. Standar Amerika (ASTM C-618 03) mengkategorikan pembakaran batu bara menjadikan *fly ash* dibagi dalam 2 kelas yaitu: tipe C dan F (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Klasifikasi Fly Ash Berdasarkan Kandungan Kimia

Kandungan	Kelas	
	F	C
Silikon oksida (SiO_2) + alumunium Oksida (Al_2O_3) +Besi Oksida (Fe_2O_3), min%	70,0	50,0
Sulfur Trioksida (SO_3), max %	5,0	5,0
Kelembaman, max %	3,0	3,0
Loss on Ignition, max %	6,0	6,0

Sumber : ASTM C 618

Volume ketersediaan *fly ash* di Indonesia yang sangat melimpah (8,91 juta ton per tahun) berpotensi menjadi material yang paling aplikatif untuk digunakan (Mustafa Al Bakri dkk, 2012). Namun, tren karakteristik batubara di Indonesia yang digunakan untuk pembangkit listrik telah berubah dari waktu ke waktu. Karena eksplorasinya secara luas sebagai sumber energi alternatif minyak dan gas selama dekade terakhir, batubara berkualitas tinggi (batubara tua) menjadi langka dan sulit ditemukan (Darmawan dkk., 2015). Akibatnya, batubara berkualitas rendah (batubara muda) lebih sering digunakan untuk operasi pembangkit listrik. Berikut perbedaan karakteristik *fly ash* berdasarkan jenisnya:



Gambar 2.2 Karakteristik Fly Ash Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

Pembakaran batu bara tua (*antrasitatau bitumen*) menghasilkan *fly ash* Tipe F (*low-calcium fly ash*). Sedangkan pembakaran batu bara muda (*lignite* atau *sub*-bitumen) menghasilkan *fly ash* tipe C (*high-calcium fly ash*). *Fly ash* tipe F mengandung CaO kurang dari 10% dan tipe C umumnya lebih besar dari 10% sampai 40%. Perbedaan tipe *fly ash* sangat berpengaruh terhadap performa beton geopolimer (Tajunnisa dkk, 2016; Tajunnisa dkk, 2017c). Salah satu karakteristik yang menonjol adalah waktu pengerasan beton. Beton geopolimer yang menggunakan bahan dasar *fly ash* tipe C memiliki waktu pengerasan yang sangat cepat, sedangkan *fly ash* tipe F memiliki waktu pengerasan yang relatif lambat (Tajunnisa dkk, 2017b). Hal tersebut disebabkan oleh kandungan CaO pada *fly ash* tipe C yang relatif tinggi. Tingginya kandungan CaO memicu peningkatan fasa amorf pada *fly ash* (Diaz dkk, 2010). Padatan amorf lebih cepat bereasi apabila dilarutkan dengan alkali aktivator (Fernández-Jiménez & Palomo, 2005; Lloyd dkk, 2009; Palomo dkk, 2007), hal tersebut diduga menjadi penyebab cepatnya waktu pengerasan beton geopolimer berbasis *high-calcium fly ash.*

2.2.3 Alkali Aktivator

2.2.3.1 Natrium Hidroksida (NaOH)

Alkali aktivator berfungsi untuk membantu reaksi polimerasi beton geopolimer. Salah satu aktivator yang digunakan dalam penelitian ini adalah NaOH. Material NaOH dalam beton geopolimer berfungsi untuk mereaksikan Si dan Al yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Konsentrasi NaOH yang tinggi melepaskan ion Si dan Al pada *fly ash* lebih banyak (Rattanasak & Chindaprasirt, 2009), sehingga menghasilkan reaksi polikondensasi lebih baik dan membuat kuat tekan jangka panjang yang tinggi dari beton geopolimer (Bakharev, 2005; Hanjitsuwan dkk, 2014; A. Palomo dkk, 1999). Polikondensasi adalah proses pengerasan pada beton

geopolimer (Si dkk, 2020). Tingginya konsentrasi NaOH juga berpotensi untuk menghambat pelepasan Si dan Al dari *fly ash* (Prinya Chindaprasirt dkk, 2009). Hal tersebut terjadi karena peningkatan molaritas NaOH menghasilkan viskositas tinggi dan *workability* rendah.

Tabel 2.2 Penelitian Mengenai Pengaruh NaOH Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

Peneliti	Molaritas	Kuat Tekan MPa (28 hari)
(P. Chindaprasirt & Chalee, 2014)	8M	23,4
	10M	25,0
	12M	28,2
	14M	31,8
	16M	32,2
	18M	30,3
(Topark-Ngarm dkk, 2015)	10M	39,7
	15M	45,3
	20M	37,6

Tabel 2.2 merupakan hasil penelitian sebelumnya mengenai pengaruh molaritas NaOH terdahap kuat tekan beton geopolimer. Tabel tersebut menunjukkan bahwa terdapat molaritas NaOH optimum yang menghasilkan kuat tekan tertinggi pada beton geopolimer. Oleh karena itu, perlu batasan penggunaan molaritas NaOH agar menghasilkan komposisi beton geopolimer yang tepat untuk implementasi di lingungan klorida.

2.2.3.2 Natrium Metasilika Pentahidrat ($Na_2SiO_3.5H_2O$)

Material alkali aktivator kedua adalah Natrium Metasilika Pentahidrat. Material ini berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi beton geopolimer (Ryu dkk, 2013). Pada umumnya, peneliti menggunakan Natrium Silika (Na_2SiO_3) sebagai aktivator (Rattanasak dkk, 2011; Tajunnisa dkk, 2019a). Natrium Metasilika Pentahidrat merupakan bentuk padatan dari Natrium Silika. Tugas akhir ini menggunakan Natrium Metasilika Pentahidrat karena menerapkan metode kering saat melakukan pencampuran beton segar.

2.2.4 Agregat

Agregat merupakan bahan pengisi yang digunakan dalam campuran beton. Agregat terdiri dari 2 jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar merupakan batu pecah (split/kerikil) semua butirnya tertahan saringan 4,75 mm (ASTM C33-1992). Sedangkan agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintregasi alami batuan ataupun pasir dan mempunyai ukuran butirnya menembus saringan 4,75 mm (ASTM C33-1992).

2.2.4 *Superplasticizer*

Superplasticizer merupakan bahan tambah (*admixture*) yang digunakan dalam campuran beton. Bahan ini berfungsi untuk memodifikasi sifat beton sesuai dengan keinginan perencana. Berdasarkan klasifikasi ASTM C494-82 "*Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*", terdapat 7 jenis *admixture* dengan definisi sebagai berikut:

Type A: *Water Reducing Admixture*, berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran beton untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu.

Type B: *Retarding Admixture*, berfungsi menghambat pengikatan beton.

Type C: *Accelerating Admixture*, berfungsi mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

Type D: *Water Reducing and Retarding Admixture*, berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan beton.

Type E: *Water Reducing and Accelerating Admixture*, berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan beton.

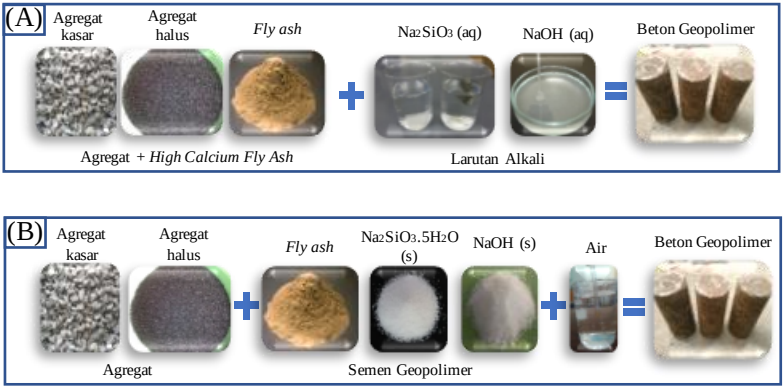
Type F: *Water Reducing and High Range Admixture*, berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang

diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12%.

Type G: *Water Reducing, High Range and Retarding Admixture*, berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih dan juga menghambat pengikatan beton.

Berdasarkan informasi tersebut, *admixture* tipe D dapat digunakan untuk menghambat *setting time* beton. Namun, berdasarkan literatur (Gifford & Gillott, 1997; Rattanasak dkk, 2011; Rakngan dkk, 2018), *Superplasticizer* komersial yang tersedia tidak dapat memberikan peningkatan signifikan terhadap *workability* beton geopolimer. Penelitian sebelumnya (Kusbiantoro dkk, 2013) menunjukkan bahwa penggunaan sukrosa sebagai *superplasticizer* berpengaruh signifikan terhadap *setting time* pasta geopolimer. Oleh karena itu, tugas akhir ini menggunakan sukrosa sebagai bahan tambah untuk meningkatkan *workability* beton geopolimer.

2.3 Pencampuran Metode Kering



Gambar 2.3 (A) Pencampuran Metode Basah, (B) Pencampuran Metode Kering

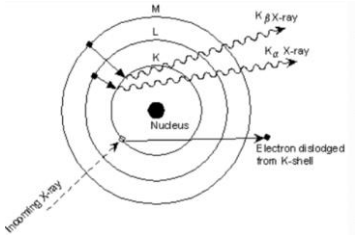
Pembuatan benda uji menggunakan pencampuran dengan metode kering dengan cara menggunakan alkali aktivator dalam bentuk padatan. Sebelum dilakukan *mixing*, semen geopolimer yang terdiri dari *fly ash*, NaOH, dan Na_2SiO_3 dihaluskan terlebih dahulu menggunakan alat *ball mill*. Urutan pencampuran dapat dilihat pada Gambar 2.3. Perencanaan eksperimen menggunakan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

2.4 Pengujian Material Penyusun

2.4.1 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

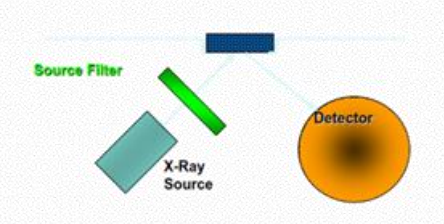
Pengujian XRF merupakan suatu teknik analisis yang dapat menganalisa unsur-unsur yang membangun suatu material. Teknik ini juga dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar-X yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembaki sinar-X berenergi tinggi.

Prinsip kerja pengujian XRF adalah menembakkan radiasi foton elektromagnetik ke material yang diteliti, lalu radiasi elektromagnetik yang dipancarkan akan berinteraksi dengan elektron yang berada di kulit K suatu unsur. Elektron yang berada di kulit K akan memiliki energi kinetik yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan inti, sehingga elektron itu akan terpental keluar.



Gambar 2.4 Penembakan Sinar-X pada Spesimen

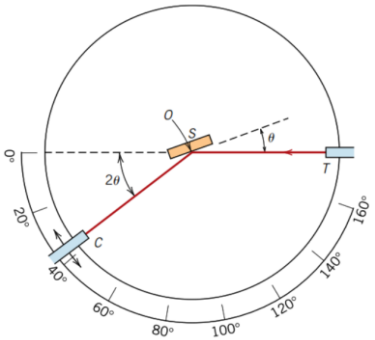
Intensitas dari sinar-X yang dipantulkan oleh spesimen sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom dalam spesimen. Sehingga karakteristik dari setiap unsur dalam spesimen dapat diketahui melalui pantulan sinar-X (Simon, 2018).



Gambar 2.5 Ilustrasi Pengujian XRF

2.4.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Uji XRD merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dan fasa amorf dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi. Pengujian XRD menggunakan komponen generator bertegangan tinggi yang berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada bagian *x-ray tube*. Sinar-X ditembakkan ke spesimen padat atau serbuk yang telah dimampatkan untuk menganalisa hamburan difraksi yang dipantulkan oleh spesimen. Pantulan sinar-X diterima oleh detektor dan diterjemahkan dalam bentuk kurva. Prinsip kerja pengujian XRD dapat dilihat sebagai berikut:

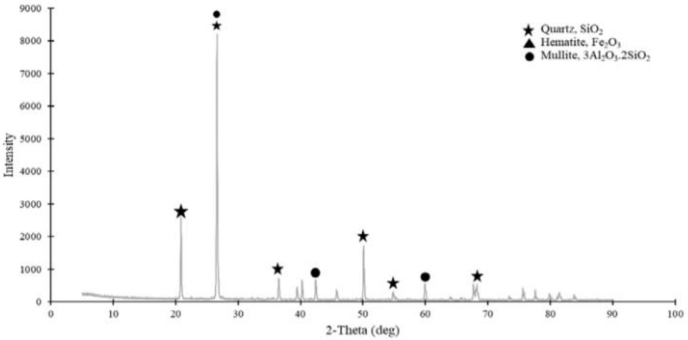


Keterangan
T= Sumber X-Ray
S= Spesimen
C= Detektor
O= Sumbu Spesimen

Gambar 2.6 Skema Diagram Pengujian XRD
Sumber: William D. Callister & Rethwisch, 2013

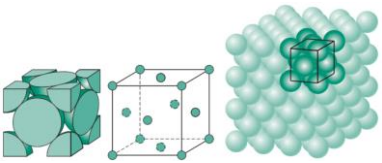
Bentuk terjemahan yang diterima oleh detektor akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak seperti

pada Gambar 2.7. Puncak-puncak pada grafik tersebut akan dianalisa berdasarkan sudut 2Tetha untuk mengetahui jenis komponen padatannya.



Gambar 2.7 Contoh Pola Difraksi
Sumber: Tajunnisa dkk, 2019

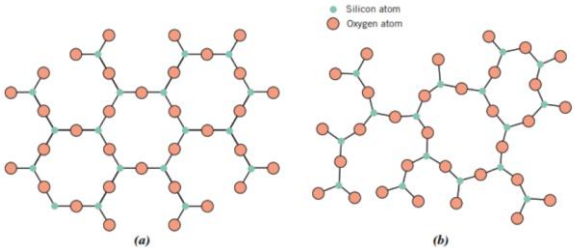
Suatu benda padat dapat diklasifikasikan berdasarkan keteraturan atom atau ion. Terdapat 2 jenis padatan yang dapat menyusun suatu benda, yaitu padatan kristalin dan padatan amorf. Padatan kristalin adalah padatan yang memiliki bentuk struktur yang teratur (Gambar 2.8). Padatan kristalin akan terbentuk apabila suatu benda mengalami pemadatan pada kondisi normal (William D. Callister & Rethwisch, 2013). Contoh benda yang identik dengan padatan kristalin adalah logam.



Gambar 2.8 Struktur Kristalin pada Benda Padat
Sumber: Wulff dkk, 1967

Padatan amorf merupakan padatan tanpa bentuk yang memiliki susunan atom tidak teratur. Padatan amorf dapat terbentuk karena proses pendinginan yang cepat terhadap suatu

material (William D. Callister & Rethwisch, 2013). Proses pendinginan tersebut menyebabkan suatu padatan tidak dapat membentuk suatu struktur kristalin. Ilustrasi pada gambar x menunjukkan perbedaan struktur 2 dimensi antara padatan kristalin dengan padatan amorf.



Gambar 2.9 Struktur 2 dimensi (a) Kristalin silicon dioxide dan (b) amorf

Sumber: William D. Callister & Rethwisch, 2013

2.5 Standarisasi Pengujian Beton

2.5.1 Uji pH

Prinsip pengujian pH adalah berdasarkan aktivitas ion hidrogen secara elektrometri menggunakan alat uji pH meter. Kriteria pengujian pH terdapat pada

Tabel *2.3* .

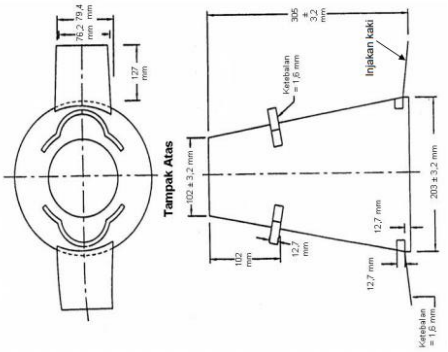
Tabel 2.3 Kriteria Pengujian pH

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

Nilai pH yang diperlukan agar beton tidak cepat mengalami korosi adalah sekitar 12,5 (Ikomudin dkk, 2016). Hal ini berkaitan dengan ketahanan beton terhadap ion klorida. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pH 13-14 merupakan nilai terbaik untuk performa beton geopolimer (Khale & Chaudhary, 2007). Semakin basa sifat beton, maka semakin baik ketahanannya terhadap serangan klorida.

2.5.2 Uji Slump

Uji Slump merupakan salah satu parameter untuk mengetahui homogenitas dan *workability* beton segar dengan kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nulai slump. Pengujian slump dilakukan sesuai SNI 1972 : 2008 tentang Cara Uji Slump Beton. Uji slump dapat diterapkan pada beton plastis yang memiliki ukuran agregat maksimum 37,5 mm (1 ½"). Apabila ukuran agregat kasar lebih besar dari 37,5 mm (1 ½"), ukuran agregat yang lebih besar dapat disingkirkan. Alat uji (kerucut abram) harus berupa logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen.



Gambar 2.10 Cetakan untuk Uji Slump

Beton dengan nilai slump < 15 mm mungkin tidak cukup plastis dan beton yang slumpnya > 230 mm mungkin tidak cukup kohesif untuk pengujian ini.

2.5.3 Uji Kuat Tekan

Parameter pengujian beton yang paling mendasar salah satunya adalah kuat tekan. Penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder berukuran 100x200 mm dan 150x300 mm. Jika perbandingan panjang (L) terhadap diameter (D) benda uji kurang dari 1,8, koreksi hasil yang diperoleh dengan mengalikan dengan faktor koreksi yang sesuai dengan **SNI 1974-2011 Tabel 3** sebagai berikut:

Tabel 2.4 Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) dengan Diameter (D) Benda Uji

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

Perbedaan ukuran sample kuat tekan menimbulkan perbedaan distribusi tekanan. Oleh karena itu terdapat faktor koreksi untuk memperoleh hasil kuat tekan yang sebenarnya. Berikut ini merupakan korelasi kuat tekan benda uji beton silinder.

Tabel 2.5 Estimasi Korelasi Kuat Tekan Silinder Beton Berdasarkan Diameter Benda Uji (L/D = 2)

Diameter (D)	**Tinggi (L)**	**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

Sumber: SNI 1974-2011 Lampiran A

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 7, 14, 28, dan 56 hari. Persyaratan kuat tekan beton untuk lingkungan klorida diatur dalam **SNI 2847-2019** pasal 19.3.2 sesuai dengan kategori dan kelas paparannya.

Tabel 2.6 Kategori dan kelas paparan

Kategori	**Kelas**	**Kondisi**
C Proteksi Korosi Tulangan	C0	Beton kering atau terlindungi dari kelembaban
	C1	Beton terpapar terhadap kelembaban tetapi tidak terhadap sumber klorida luar
	C2	Beton terpapar terhadap kelembaban dan sumber klorida eksternal dari bahan kimia, garam, air asin, air payau, air laut, atau percikan dari sumber – sumber ini

Sumber: SNI 2847-2019 Tabel 19.3.1.1

Syarat kelas paparan yang digunakan dalam penelitian ini adalah adalah C2. Kelas paparan C2 disyaratkan untuk komponen struktur beton yang mengalami kontak langsung dengan air laut.

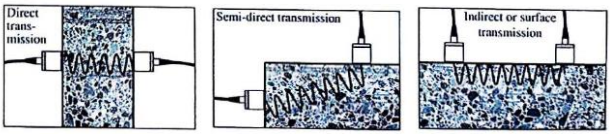
Tabel 2.7 Persyaratan untuk beton berdasarkan kelas paparan

Kelas paparan	***w/cm* maks.**	***fc'* min., MPa**	**Kadar ion klorida (Cl^-) larut air maksimum dalam beton, persen oleh berat semen**		**Persyaratan minimum tambahan**
			Beton bertulang	**Beton prategang**	
C0	T/A	17	1,00	0,06	Tidak ada
C1	T/A	17	0,3	0,06	
C2	0,40	35	0,15	0,06	Selimut beton (pasal 20.6)

Sumber: SNI 2847-2019 Tabel 19.3.2.1

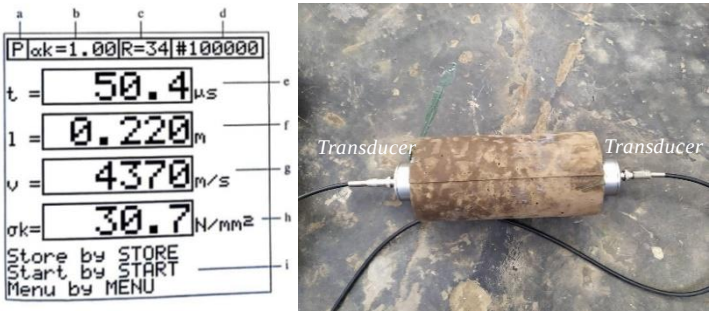
2.5.4 Uji UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)

Pengujian UPV merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kepadatan beton dengan memanfaatkan kecepatan gelombang ultrasonik tanpa merusak beton (*Non-Destructive Test*). Pengujian ini juga dapat mendeteksi keseragaman beton, modulus elastisitas (BS 1881), kuat tekan beton, serta cacat beton seperti rongga dan retakan beton. Terdapat 3 metode untuk melakukan uji UPV seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.11 Metode Pengujian UPV
Sumber: Buku Panduan Alat UPV TICO-PROCEQ

Pengujian UPV harus memperhatikan jarak antar *transducer*. Berdasarkan buku panduan, untuk beton dengan kecepatan gelombang antara 3600-4800 m/s memiliki batas minimum jarak antar *transducer* kisaran 54-72 mm.



a. Display Alat UPV b. Posisi Uji UPV

Gambar 2.12 Pengujian UPV

Keterangan:

a. Tipe semen : P untuk semen portland, B untuk semen *blast furnace slag*
b. Faktor koreksi untuk pengaruh tertentu
c. Nilai *Rebound*
d. Nomor benda uji
e. Waktu transmisi gelombang
f. Jarak antar *transducer*
g. Nilai UPV (v=l/t)
h. Perkiraan kuat tekan (khusus semen Portland dan *blast furnace slag* berdasarkan TICO-PROCEQ)
i. Instruksi penggunaan alat

Kuat tekan beton dengan semen portland dan *blast furnace slag* dapat diperkirakan berdasarkan nilai UPV. Bacaan perkiraan kuat tekan berdasarkan nilai *rebound* dan nilai kecepatan gelombang.

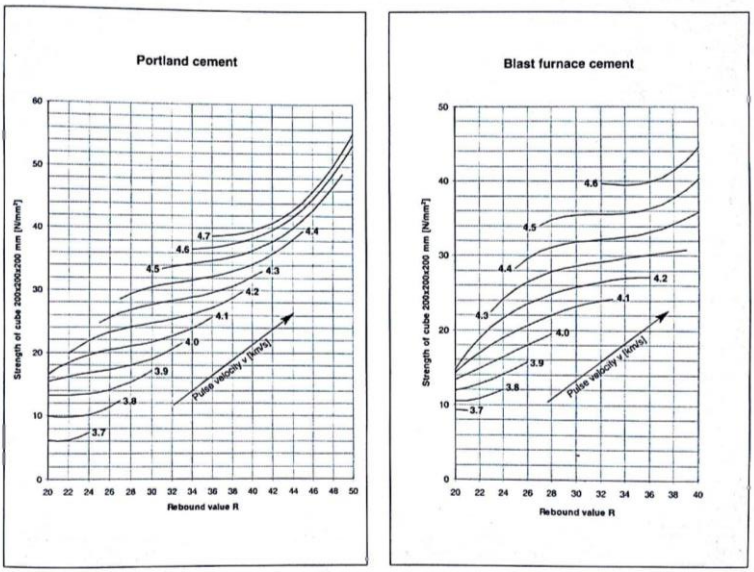


Diagram A Concrete strengths f_{ck}

Diagram B Concrete strengths f_{ck}

Gambar 2.13 Perkiraan Kuat Tekan Berdasarkan Buku Panduan Alat UPV TICO-PROCEQ

Hasil uji UPV dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai kecepatan gelombang. Klasifikasi tersebut berdasarkan standar IS 1331101-1992.

Tabel 2.8 Klasifikasi Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang (IS 1331101-1992)

Kecepatan Gelombang, v (m/s)	Kualitas Beton
>4500	Istimewa
3500-4500	Baik
3000-3500	Sedang
<3000	Meragukan

2.5.5 Uji Permeabilitas

Pemeabilitas beton merupakan parameter yang berpengaruh terhadap kekuatan maupun durabilitas beton (Banthia dkk, 2005). Pengujian permeabilitas dilakukan untuk

mengetahui kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton (Lafhaj dkk, 2006). Parameter permeabilitas merupakan salah satu hal penting untuk mengetahui kemampuan beton melindungi baja tulangan agar tidak terjadi kontak langsung dengan udara luar atau obyek lain yang menyebabkan terjadinya korosi.

Faktor utama yang menentukan permeabilitas beton adalah faktor air semen dan konektivitas antar agregat dengan pengikat (Wimalasiri dkk, 2018). Semakin tinggi nilai faktor air semen, maka permeabilitas beton semakin buruk. Hal tersebut berkaitan dengan terjadinya penguapan air dalam beton yang menimbulkan pori-pori, sehingga menyebabkan nilai permeabilitasnya buruk. Sedangkan konektivitas antar agregat dengan pengikat memiliki potensi terjadinya keretakan setelah beton menahan beban dari luar yang menyebabkan naiknya nilai permeabilitas. Pengujian permeabilitas dilakukan dengan menggunakan alat *permeability tester TORRENT* dengan prosedur yang sesuai dengan standar **SN 505 252/1, Annex E**. Klasifikasi kualitas beton berdasarkan koefisien permeabilitas (kT) disajikan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Koefisien Permeabilitas

Kualitas Beton	**Indeks**	**kT ($10^{-16}m^2$)**
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

Sumber: *Operating Instruction Permeability Tester TORRENT*

2.5.6 Uji Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besarnya presentase pori-pori yang terdapat pada beton. Adanya pori-pori pada beton dapat menurunkan kuat tekan dan durabilitas. Porositas memiliki korelasi yang kuat terhadap permeabilitas beton. Semakin besar nilai porositas beton, maka permeabilitas juga semakin besar. Prosedur pengujian porositas sesuai

dengan standar **ASTM C 642-06** (*Standard Test Method for Specific Grafity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*). Ukuran sample yang digunakan untuk uji porositas adalah silinder berdiameter 10 cm dengan tinggi 5 cm. Hal tersebut berkaitan dengan standar ASTM C642-06 dengan minimal volume sample sebesar 350 cm^3 atau berat minimal 800 gram. Perhitungan porositas beton dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$P = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2} . 100\%$

Keterangan:

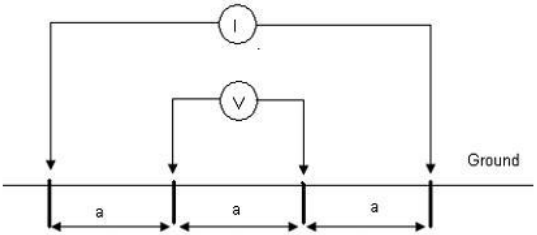
P = Porositas beton (%)

W_1 = Berat benda uji jenuh air di udara (gram)

W_2 = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gram)

W_3 = Berat benda uji setelah dioven pada suhu 105^{o}C selama 24 jam (gram)

2.5.7 Uji Resistivitas



Gambar 2.14 Rangkaian Pengujian dengan Metode *Wenner Probe*

Perhitungan resistivitas beton menggunakan persamaan berikut

$\rho = 2.\pi.a.V/I$ [kΩcm]

Keterangan:

ρ = Resistivitas beton [kΩcm]

a = Jarak antar pin [cm]

V = Beda potensial

I = Arus listrik

Uji resistivitas merupakan pengujian yang tidak merusak benda uji (*Non-Destructive Test*) yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton untuk menghambat arus listrik. Hambatan arus listrik ini berkaitan dengan perhitungan proses terjadinya korosi (Zainal dkk, 2015). Korosi adalah proses elektro-kimia yang terjadi pada suatu objek. Laju korosi dapat dipengaruhi oleh aliran ion diantara daerah anodik dan katodik. Resistivitas beton terkait dengan periode inisiasi (penetrasi klorida) dan periode propagasi (laju korosi) yang merupakan tahapan prinsip dalam masa kerja struktur (Polder, 2001). Penelitian ini menggunakan metode *Wenner Probe* untuk menghitung resistivitas beton.

Berdasarkan informasi pada buku panduan alat resistivitas PROCEQ, nilai resistivitas beton akan berkurang karena berbagai faktor meliputi penambahan rasio air semen, penambahan porositas beton, penambahan suhu, penambahan kadar klorida, serta pengurangan karbonasi yang terjadi pada beton.

Tabel 2.10 menunjukkan batas untuk mengevaluasi risiko korosi tulangan yang terkait dengan resistivitas beton. Tabel tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai resistivitas, maka semakin baik ketahanan beton terhadap korosi.

Tabel 2.10 Batasan Evaluasi Beton Terhadap Korosi

Nilai Resistivitas [kΩcm]	Keterangan
$\rho \geq 12$ kΩcm	Tidak terjadi korosi
$\rho = 8\text{-}12$ kΩcm	Kemungkinan terjadi korosi
$\rho \leq 8$ kΩcm	Korosif

Sumber: *Operating Instruction Resistivity Tester PROCEQ*

2.6 Perkembangan Beton Geopolimer di Lingkungan Klorida

Tugas akhir ini menggunakan penelitian terdahulu untuk dijadikan referensi dan pengumpulan data penulisan. Referensi tersebut akan dijadikan sebagai acuan penyempurnaan pada penelitian yang akan dilakukan pada tugas akhir ini.

Tabel 2.11 Perkembangan Beton Geopolimer di Lingkungan Klorida

Peneliti	Judul	Catatan	Kelebihan	Kekurangan
P. Chindaprasirt, W. Chalee **(Metode Basah)**	Effect of sodium hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site (2014)	Penelitian ini membahas beton geopolimer di lingkungan laut dengan variasi NaOH 8M hingga 18M	Beton geopolimer berbasis fly ash tipe C mengalami peningkatan performa setelah terpapar lingkungan laut selama 3 tahun.	Kuat tekan beton pada saat umur 28 hari tidak mencapai 35 MPa karena menggunakan perbandingan Na_2SiO_3:NaOH 1:2,5
Francesca Tittarelli, Alessandra Mobili, Chiara Giosue, Alberto Belli, Tiziano Bellezze **(Metode Basah)**	Corrosion behaviour of bare and galvanized steel in geopolymer and ordinary portland cement based mortars with the same strength class exposed to chlorides (2018)	Penelitian ini membahas mengenai perbandingan perilaku korosi tulangan pada beton geopolimer dan beton OPC	Beton geopolimer berbasis fly ash tipe F memiliki ketahanan terhadap korosi lebih buruk dibandingkan dengan beton OPC	Kuat tekan beton tidak ada yang lebih dari 35 MPa, sehingga belum memenuhi syarat SNI untuk beton di lingkungan klorida
Sathisraj Mani, Bulu Pradhan **(Metode Basah)**	Investigation on effect of fly ash content on strength and microstructure of geopolymer concrete in chloride-rich environment (2020)	Penelitian ini membahas efek variasi komposisi fly ash pada beton geopolimer di lingkungan klorida	Komposisi beton geopolimer berbasis fly ash tipe F menghasilkan kuat tekan tinggi dengan campuran kadar klorida 1,5-3%	Membutuhkan perawatan pada suhu tinggi di awal umur beton dan workabilitas rendah

Berdasarkan studi literatur mengenai perkembangan beton geopolimer di lingkungan klorida dapat diketahui beberapa kekurangan diantaranya:

1. Kompleksitas *mix design* beton geopolimer
2. Peningkatan performa yang lambat pada kondisi perawatan temperatur normal
3. Workabilitas rendah

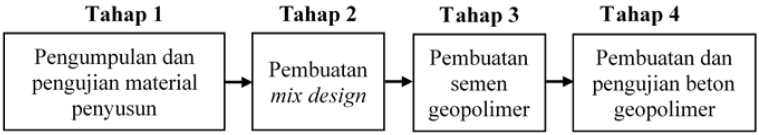
Oleh karena itu, tugas akhir ini akan membahas mengenai *mix design* yang dapat memenuhi standar material konstruksi di lingkungan klorida. Pembuatan *mix design* berdasarkan penelitian terdahulu (Phoo-Ngernkham dkk, 2018) dengan acuan standar faktor air semen maksimum 0,4 dan kuat tekan minimal 35 MPa. Penelitian ini tidak melakukan perawatan pada suhu tinggi untuk meminimalisasi biaya produksi. Selain itu, penelitian ini menggunakan sukrosa untuk mengatasi masalah workabilitas yang rendah.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

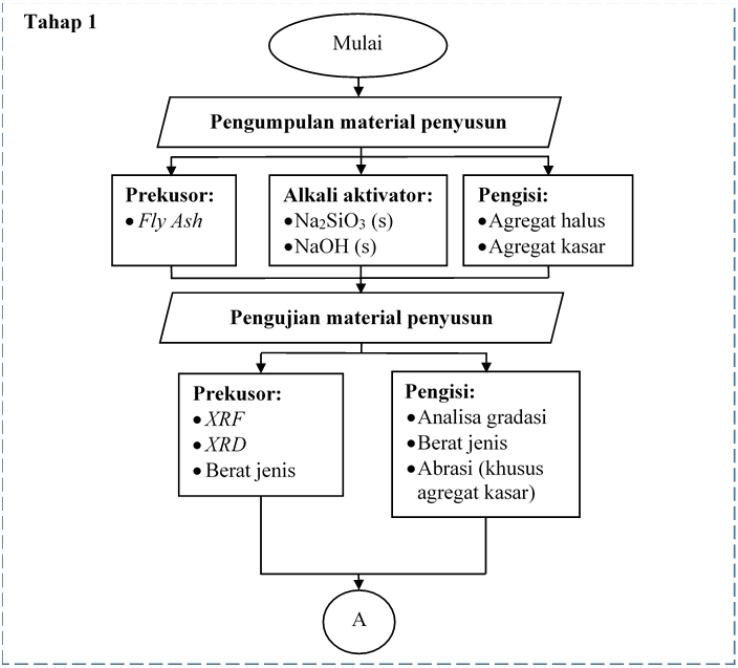
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

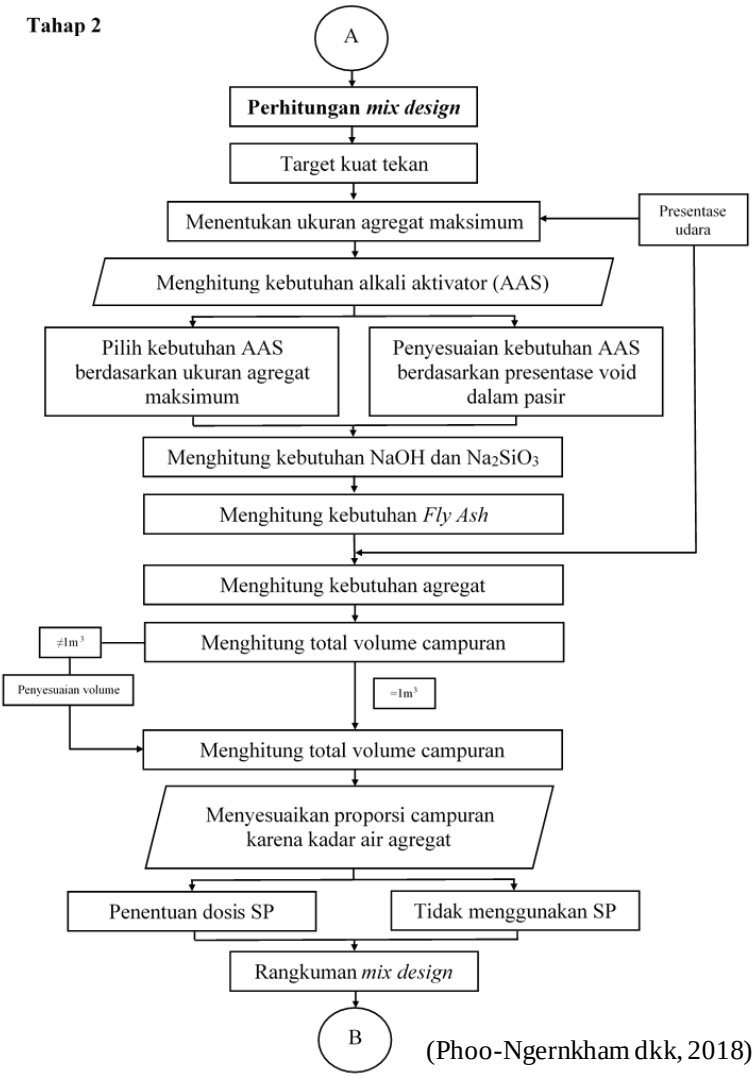
3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian produk dilakukan dari pengumpulan material penyusun hingga pengujian beton geopolimer. Penyusunan tahapan ini sangat penting dan diperlukan dalam sebuah pembuatan produk agar penelitian yang dilakukan lebih terarah sehingga hasil yang didapatkan lebih optimum. Adapun diagram alir penelitian produk geopolimer yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

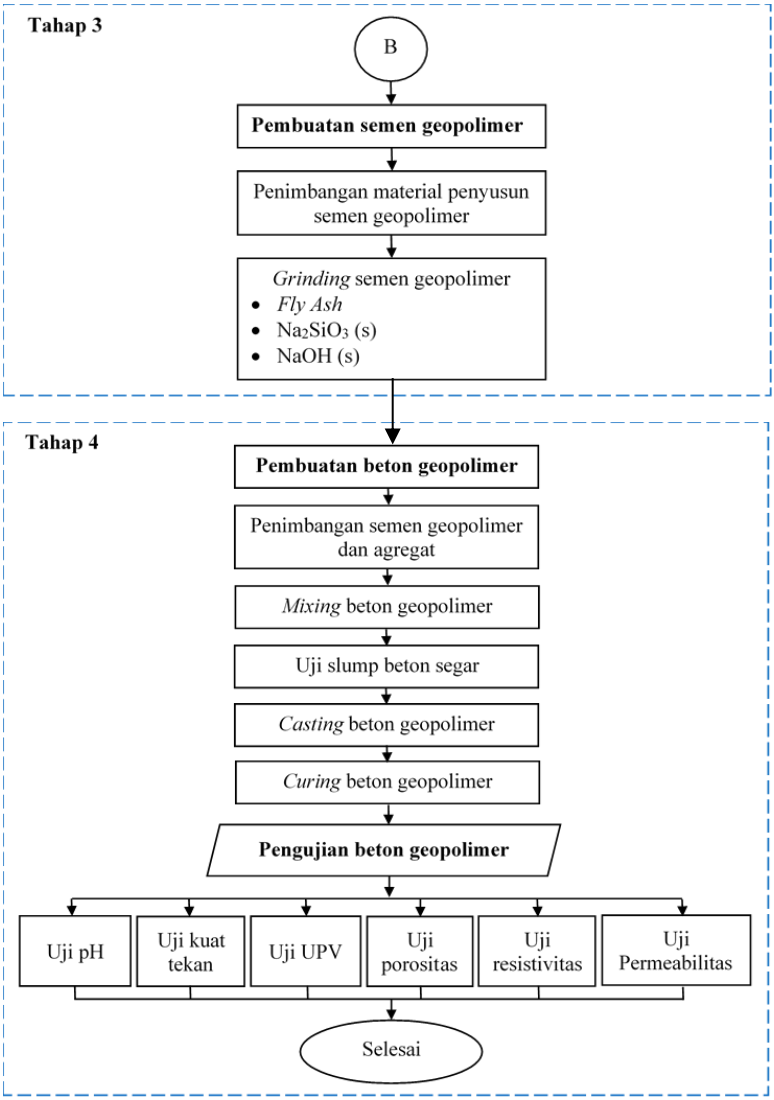


Gambar 3.1 Tahapan Penelitian





(Phoo-Ngernkham dkk, 2018)



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.2 Detail Tahapan Penelitian

3.2.1 Pengumpulan dan Pengujian Material Penyusun

3.2.1.1 Fly Ash

Penelitian ini menggunakan material *fly ash* yang berasal dari PT. YTL Paiton, Probolinggo. Material *fly ash* akan diuji karakteristiknya dengan menggunakan metode uji XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui tipe *fly ash* yang sesuai dengan standar ASTM C-618 dan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui karakteristik fasa *fly ash*. Selain itu, berat jenis *fly ash* juga perlu diuji untuk memperhitungkan *mix design* beton geopolimer. Pengujian berat jenis *fly ash* mengacu pada standar ASTM C 188-78 dengan langkah kerja dan hasil pengujian sebagai berikut:

a. Langkah Kerja
   - Siapkan alat dan bahan yang diperlukan meliputi *fly ash*, minyak tanah, timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, piknometer 500 ml, kapas/kertas saring, cawan, dan sendok
   - *Fly ash* ditimbang 250 gram (A)
   - Saring minyak tanah dengan menggunakan kasa penyaring atau kapas
   - Timbang piknometer 500 ml
   - Masukkan *fly ash* kedalam piknometer dengan menggunakan corong dan ditimbang ulang untuk kontrol
   - Piknometer yang sudah terisi *fly ash* dimasuki minyak tanah sampai batas garis, agar tidak ada gelembung udara dalam *fly ash* . Piknometer diposisikan miring dan diputar-putar, lalu ditimbang (B)
   - Timbang Piknometer dan minyak tanah saja sampai batas garis, dan timbang (C)

Berat jenis *fly ash* = $= \frac{A}{A+C-B}\ x\ 0{,}8$

Keterangan: 0,8 adalah berat jenis minyak tanah

b. Rekapitulasi Hasil Pengujian.

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Fly Ash

Uji 1	
Fly Ash (A)	250
Fly Ash + Minyak (B)	576,4
Minyak (C)	394,6
Berat Jenis	2,93
Uji 2	
Fly Ash (A)	250
Fly Ash + Minyak (B)	576,2
Minyak (C)	394,6
Berat Jenis	2,92
Uji 3	
Fly Ash (A)	250
Fly Ash + Minyak (B)	576,2
Minyak (C)	394,6
Berat Jenis	2,92
Rata-rata	
Berat Jenis	2,93

3.2.1.2 Alkali Aktivator

Alkali aktivator yang digunakan pada penelitian ini berupa NaOH(s) dan $Na_2SiO_3.5H_2O$(s). Material alkali didapatkan dari toko bahan kimia Brataco Tidar, Surabaya. Pengujian material alkali aktivator meliputi berat jenis larutan NaOH. Sedangkan perhitungan material $Na_2SiO_3.5H_2O$ dilakukan dengan cara menganalisa larutan Na_2SiO_3 dengan pengujian gravimetri pada penelitian sebelumnya (Tabel 3.17). Pengujian tersebut bertujuan untuk mengkonversi *mix design* beton geopolimer dengan metode basah menjadi metode kering. Berikut ini langkah kerja dan hasil pengujian berat jenis NaOH.

a. Langkah Kerja

- Siapkan alat dan bahan meliputi piknometer 1000 ml, timbangan dengan ketelitian 0,1 gram dan NaOH flake.

- Timbang NaOH flake sesuai dengan molaritas yang akan telah ditentukan (8M = 320 gram; 10M = 400 gram; 12M = 480 gram; 14M = 560 gram)
- Timbang piknometer 1000 ml **(A)**
- Masukkan NaOH flake kedalam piknometer dengan menggunakan corong lalu ditimbang ulang untuk kontrol.
- Piknometer yang sudah terisi NaOH flake dimasuki air ±500 ml lalu diputar-putar untuk melarutkan NaOH.
- Tunggu larutan NaOH hingga dingin.
- Setelah dingin, tambahkan air hingga batas garis piknometer.
- Timbang piknometer dengan larutan NaOH. **(B)**

Berat jenis larutan NaOH = B-A

b. Rekapitulasi Hasil Pengujian

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Berat Jenis NaOH

Uji 1				
Molaritas	Berat Pikno (A)	Berat NaOH	NaOH + Air (B)	Berat Jenis
	gr	gr	gr	kg/m^3
8M	264,5	320	1515,9	1251,4
10M		400	1576,5	1312
12M		480	1623,4	1358,9
14M		560	1664,6	1400,1
Uji 2				
8M	264,5	320	1520,7	1256,2
10M		400	1575,4	1310,9
12M		480	1626,8	1362,3
14M		560	1657	1392,5
Uji 2				
8M	264,5	320	1527	1262,5
10M		400	1575,9	1311,4
12M		480	1622,4	1357,9
14M		560	1669,3	1404,8
Rata-rata				
8M				1256,7
10M				1311,4
12M				1359,7
14M				1399,1

3.2.1.3 Agregat

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal 20 mm. Ukuran kerikil akan berpengaruh terhadap perhitungan *mix design* beton geopolimer. Pengujian agregat kasar meliputi analisa gradasi,berat jenis, dan abrasi.

a. Analisa Gradasi (ASTM C 136-93)

Langkah Kerja

- Siapkan saringan dengan ukuran 1 ½"; ¾"; 3/8"; 4,76 mm; 2,38 mm; dan pan.
- Siapkan agregat yang akan diuji sejumlah 16 kg.
- Ayak agregat sesuai dengan urutan ayakan terbesar hingga terkecil.
- Timbang dan catat agregat pada masing-masing ayakan .
- Ketelitian dalam menimbang diijinkan dengan ±0,5-1%.

$$FKr = \frac{Jumlah\ \%\ kumulatif\ yang\ tertinggal\ setiap\ ayakan}{100}$$

Tabel 3.3 Acuan Ukuran Agregat Maksimum

Lubang Ayakan inc/mm	Max 10		Max 20		Max 40	
	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas
1 ½"	0	10	0	10	0	5
¾"	50	85	30	60	10	40
3/8"	100	100	95	100	35	70
4,76			100	100	95	100
2,38					100	100

Tabel 3.4 Hasil Uji Analisa Gradasi Kerikil

Uji 1			
Lubang Ayakan inc/mm	**Gram**	**Tertahan (%)**	**Tertahan Kumulatif (%)**
1 ½”	0	0	0
3/4”	80	0,5	0,5
3/8”	14580	91,9	92,4
4,76	1169,3	7,4	99,8
2,38	37	0,2	100,0
1,19			100,0
0,59			100,0
0,297			100,0
0,149			100,0
Jumlah	15866,3		693
FKr	**6,93**		
Ukuran maks.	**20 mm**		
Uji 2			
1 ½”	0	0	0
3/4”	228,5	1	1,4
3/8”	14180	89	90,3
4,76	1250	8	98,1
2,38	296	2	100,0
1,19			100,0
0,59			100,0
0,297			100,0
0,149			100,0
Jumlah	15954,5		690
FKr	**6,90**		
Ukuran maks.	**20 mm**		
Uji 3			
1 ½”	0	0	0
3/4”	25,2	0	0,2
3/8”	14680	92	92,1
4,76	1157,6	7	99,4
2,38	103,1	1	100,0
1,19			100,0
0,59			100,0
0,297			100,0
0,149			100,0
Jumlah	15965,9		692
FKr	**6,92**		
Ukuran maks.	**20 mm**		

b. Berat Jenis (SNI 1969-2008)
Langkah Kerja
- Kerikil direndam dalam air 24 jam
- Kerikil diangkat dan dilap hingga kondisi kering permukaan (SSD)
- Ditimbang kondisi SSD sebanyak 3000 gram
- Agregat ditimbang dalam air (C)
- Pengujian dilakukan 3x

Berat jenis kerikil SSD = $\frac{3000}{3000-C}$

Tabel 3.5 Hasil Uji Berat Jenis Kerikil

Parameter	**Uji 1**	**Uji 2**	**Uji 3**
Kerikil SSD (gr)	3000,7	3000,8	3000,5
Kerikil dalam air [C] (gr)	1889,6	1867,8	1883,3
Berat jenis kerikil	2,701	2,649	2,678
BJ rata-rata	2,678		

c. Abrasi Kerikil (SNI 2417-2008)
Langkah Kerja
- Siapkan alat Los Angeles, bola baja 11 buah, material kerikil, timbangan, oven, dan ayakan ¼, nomor 4, serta nomor 12.
- Bersihkan kerikil dari lumpur menggunakan air lalu oven selama ±24 jam.
- Kerikil menggunakan gradasi B. Ayak kerikil lalu timbang sampel kerikil yang tertahan ayakan ½ dan 3/8 masing-masing sebanyak 2500±10 gram **(A)**.
- Masukkan kerikil dan bola baja ke dalam mesin abrasi Los Angeles.
- Putar mesin hingga 500 putaran dengan kecepatan 33 rpm.
- Setelah putaran selesai, keluarkan sampel kemudian ayak kerikil menggunakan ayakan nomor 12. Butiran yang tertahan ayakan nomor 12 dicuci bersih

kemudian oven dengan suhu 110±5°C lalu timbang **(B)**.

Nilai Keausan = $\frac{A-B}{A} x\ 100\%$

Tabel 3.6 Gradasi Kerikil dan Berat Benda Uji

Ukuran Saringan	**Gradasi dan berat benda uji (gram)**						
Tertahan Saringan	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
2 ½"	-	-	-	-	2500±10	-	-
2"	-	-	-	-	2500±10	-	-
1 ½"	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
1"	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
3/4"	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
1/2"	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
3/8"	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
1/4"	-	-	2500±10	-	-	-	-
No. 4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
No.8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah Bola	12	11	8	6	12	12	12

Tabel 3.7 Hasil Uji Abrasi

Parameter	**Uji 1**	**Uji 2**	**Uji 3**
Berat sampel semula (A), gram	5000	5000	5000
Berat sampel tertahan ayakan No.12 (B), gram	3919,6	4029,4	3992,8,4
Nilai Keausan, %	21,6%	19,4%	20,1%
Rata-rata	20,4%		
Standar keausan kerikil untuk beton	<40%		

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir alam sebagai hasil disintregasi alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 3/16 inci atau 4,79 mm (lolos saringan no. 4). Pengujian agregat halus meliputi berat jenis dan analisa gradasi.

a. Berat Jenis (ASTM C 128 – 93)
   Langkah Kerja
   - Timbang labu takar 1000 cc

- Timbang pasir kondisi SSD 500 gram
- Pasir dimasukkan ke dalam labu takar, lalu timbang ulang untuk kontrol
- Labu takar diisi air sampai batas kapasitas, dan putar-putar dengan posisi miring supaya gelembung udara keluar
- Setelah itu ditambah air hingga batas kapasitas dan ditimbang (B)
- Pasir dan air dikeluarkan dari labu takar, lalu labu takar diisi air hingga batas kapasitas dan ditimbang (C)

Berat jenis pasir SSD = $\frac{500}{500+C-B}$

Tabel 3.8 Hasil Uji Berat Jenis Pasir

Parameter	**Uji 1**	**Uji 2**	**Uji 3**
Pasir SSD (gr)	500	500	500
Pikno + pasir + air [B] (gr)	1579,1	1578,9	1578,5
Pikno + air [C] (gr)	1258,5	1258,5	1258,5
Berat jenis pasir	2,787	2,784	2,778
BJ rata-rata	2,783		

b. Analisa Gradasi (ASTM C 136-93)

Langkah Kerja

- Siapkan saringan dengan ukuran 4,76 mm; 2,38 mm; 1,19 mm; 0,59 mm; 0,297 mm; 0,149 mm; dan pan.
- Susun saringan dari ukuran terbesar hingga terkecil.
- Siapkan agregat halus kering oven yang akan diuji sejumlah 1 kg.
- Masukkan agregat halus ke dalam saringan
- Getarkan ayakan menggunakan mesin penggetar selama ±10 menit.
- Timbang dan catat agregat pada masing-masing ayakan.
- Ketelitian dalam menimbang diijinkan dengan ±0,5-1%

$$FM = \frac{Jumlah\ \%\ kumulatif\ yang\ tertinggal\ setiap\ ayakan}{100}$$

Tabel 3.9 Pembagian Zona Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan	**Persen Berat Tembus Kumulatif**			
(mm)	**Zona 1**	**Zona 2**	**Zona 3**	**Zona 4**
10	100	100	100	100
4,76	90-100	90-100	90-100	95-100
2,38	60-95	75-100	85-100	95-100
1,19	30-70	55-100	75-100	90-100
0,59	15-34	35-59	60-79	80-100
0,297	5-20	8-30	12-40	15-50
0,149	0-10	0-10	0-10	0-15

Tabel 3.10 Keteragan Zona Agregat Halus

Zona	**Jenis Pasir**
Zona 1	Pasir Kasar
Zona 2	Pasir Agak Kasar
Zona 3	Pasir Agak Halus
Zona 4	Pasir Halus

Tabel 3.11 Hasil Uji 1 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan	**Berat Tertahan**	**Persen Tertahan**	**Kumulatif Tertahan**	**Kumulatif Lolos**	**Batas Atas Zona 4**	**Batas Bawah Zona 4**
(mm)	**(gram)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**		
10	0	0,0	0,0	100,0	100	100
4,76	6,6	0,7	0,7	99,3	100	95
2,38	15,3	1,5	2,2	97,8	100	95
1,19	58,6	5,9	8,1	91,9	100	90
0,59	168,8	16,9	24,9	75,1	100	80
0,297	228,2	22,8	47,8	52,2	50	15
0,149	341,7	34,2	82	18,0	15	0
Pan	180	18,0	100			
Jumlah	999,2	100	265,6			
FM	**2,66**					

Tabel 3.12 Hasil Uji 2 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persen Tertahan (%)	Kumulatif Tertahan (%)	Kumulatif Lolos (%)	Batas Atas Zona 4	Batas Atas Zona 4
10	0	0,0	0,0	100,0	100	100
4,76	6	0,6	0,6	99,4	100	95
2,38	20,5	2,1	2,7	97,3	100	95
1,19	54,7	5,5	8,1	91,9	100	90
0,59	161,7	16,2	24,3	75,7	100	80
0,297	218	21,8	46,1	53,9	50	15
0,149	351,6	35,2	81	18,7	15	0
Pan	187	18,7	100			
Jumlah	999,5	100	263,1			
FM	**2,63**					

Tabel 3.13 Hasil Uji 3 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persen Tertahan (%)	Kumulatif Tertahan (%)	Kumulatif Lolos (%)	Batas Atas Zona 4	Batas Atas Zona 4
10	0	0,0	0,0	100,0	100	100
4,76	4	0,4	0,4	99,6	100	95
2,38	12,4	1,2	1,6	98,4	100	95
1,19	32,8	3,3	4,9	95,1	100	90
0,59	130,7	13,1	18,0	82,0	100	80
0,297	227,5	22,8	40,8	59,2	50	15
0,149	388,8	38,9	80	20,3	15	0
Pan	203	20,3	100			
Jumlah	999,2	100	245,4			
FM	**2,45**					

3.2.2 Pembuatan *Mix Design*

Perhitungan *mix* design mengacu pada penelitian sebelumnya (Phoo-Ngernkham dkk, 2018) yang dijabarkan pada Gambar 3.2. Berikut penjelasan mengenai masing-masing perhitungannya:

1. Menentukan ukuran agregat maksimum untuk mendapatkan kebutuhan alkali aktivator (AAS) dan persen void dalam beton

Tabel 3.14 Parameter Agregat Kasar

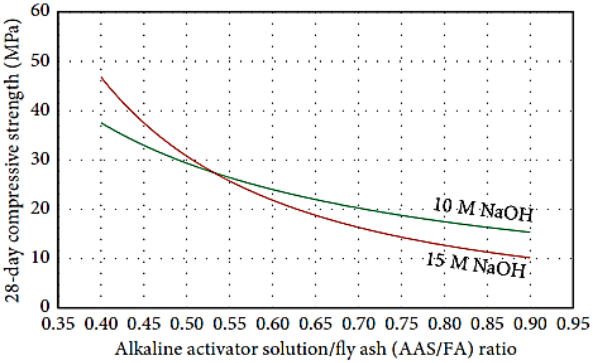
Ukuran Agregat Maksimum	**Kebutuhan AAS**	**Persen Void**
(mm)	(kg/m^3)	(%)
10	225	3,0
12,5	215	2,5
20	200	2,0

2. Menghitung kebutuhan alkali aktivator tambahan ($AAS_{adjustment}$)

$$AAS_{adjustment} = \left|\left\{\left[1-\left(\frac{\rho_{RS}}{S_G \cdot \rho_w}\right)\right] x100\right\} - 35\right| x4{,}75$$

Keterangan:
ρ_{RS} = massa jenis agregat halus
S_G = spesific gravity agregat halus
ρ_W = massa jenis air

3. Tentukan target kuat tekan



Gambar 3.3 Grafik Kuat Tekan 28 Hari Terhadap Rasio AAS/FA

4. Menghitung kebutuhan *fly ash*

$$Fly\ Ash = \frac{AAS}{AAS\ /\ Rasio\ FlyAsh}$$

5. Menghitung NaOH dan Na_2SiO_3

$$Na_2SiO_3 = \frac{AAS}{\left[1+\left(\frac{1}{(Na_2SiO_3/NaOH)}\right)\right]}$$

$$NaOH = AAS - \frac{AAS}{\left[1+\left(\frac{1}{(Na_2SiO_3/NaOH)}\right)\right]}$$

6. Menghitung agregat kasar dan agregat halus

$$M_{RS} = 0{,}3S_{G(RS)}\left[1 - V_{FA} - V_{NaOH} - V_{Na_2SiO_3} - V_{Air}\right]x1000$$
$$M_{LS} = 0{,}7S_{G(LS)}\left[1 - V_{FA} - V_{NaOH} - V_{Na_2SiO_3} - V_{Air}\right]x1000$$

Keterangan:

$S_{G\ (RS)}$ = Spesific grafity agregat halus
$S_{G\ (LS)}$ = Spesific grafity agegat kasar
V_{FA} = kebutuhan *fly ash*
V_{NaOH} = kebutuhan NaOH
$V_{Na2SiO3}$ = kebutuhan Na_2SiO_3
V_{air} = persen void

7. Menghitung kebutuhan SP

$$SP = \left(\frac{1}{100}\right) x\ kebutuhan\ fly\ ash$$

8. Rekap hasil *mix design*

Tabel 3.15 Rekapitulasi *Mix Design* Beton Geopolimer (Metode Basah)

Material	8M	10M	12M	14M
	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³
FA	600,5	600,5	600,5	600,5
Pasir (RS)	504,6	507,9	510,6	512,7
Kerikil (LS)	1133,1	1140,6	1146,7	1151,4
NaOH (W_{OH})	120,1	120,1	120,1	120,1
Na_2SiO_3 (W_{SI})	120,1	120,1	120,1	120,1
SP	12,0	12,0	12,0	12,0
BJ Beton	2290,4	2501,2	2510,0	2516,8

Rekapitulasi *mix design* diatas menggunakan material alkali aktivator dalam bentuk larutan. Dalam hal pencampuran

metode kering, alkali aktivator yang digunakan berbentuk padatan, sehingga perlu adanya konversi larutan ke padatan.

A. Menghitung padatan NaOH

Perhitungan padatan NaOH dilakukan berdasarkan molaritasnya. Semakin tinggi molaritas, maka semakin besar massa padatan NaOH. Nilai massa padatan tiap molaritas dapat dilihat pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Perbandingan massa NaOH padat dan Air dalam Berbagai Molaritas

Molaritas	**NaOH** gr	**Air** gr	**Padatan/ Larutan**	**Padatan/ Air**	**Berat NaOH/kg**
8M	320	936,7	25%	34%	0,255
10M	400	911,4	31%	44%	0,305
12M	480	879,7	35%	55%	0,353
14M	560	839,1	40%	67%	0,400

Perhitungan massa padatan NaOH adalah sebagai berikut

$NaOH_{padat}$ = W_{OH} x Rasio Padatan/Larutan

$NaOH_{padat}$ 8M = 120,1 x 25% = 30,6 kg/m^3

$NaOH_{padat}$ 10M = 120,1 x 31% = 36,6 kg/m^3

$NaOH_{padat}$ 12M = 120,1 x 35% = 42,4 kg/m^3

$NaOH_{padat}$ 14M = 120,1 x 40% = 48,1 kg/m^3

B. Menghitung padatan $Na_2SiO_3.5H_2O$

Perhitungan padatan $Na_2SiO_3.5H_2O$ dilakukan berdasarkan hasil pengujian gravimetri pada larutan Na_2SiO_3. Hasil pengujian gravimetri disajikan pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Hasil Pengujian Gravimetri Larutan Na_2SiO_3 (*aq*) (% wt.)

Na_2SiO_3			**Total**
H_2O	**Na_2O**	**SiO_2**	
46,44	18,71	21,7	86,85

Hasil pengujian menunjukkan bahwa unsur yang terdeteksi hanya sebanyak 86,85%. Hal tersebut terjadi karena pengujian gravimetri tidak dapat menganalisa sisa unsur

residu pada larutan Na_2SiO_3. Oleh karena itu, perhitungan massa padatan $Na_2SiO_3.5H_2O$ adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{Na_2SiO_3.5H_2O}_{\mathbf{padat}} = \frac{W_{SI}\ x\ (Na_2O + SiO_2)}{86,85}$$

$$Na_2SiO_3.5H_2O_{\ padat} = \frac{120,1\ x\ (18,71+21,7)}{86,85} = 55,9\ kg/m^3$$

C. Menghitung massa air

Perhitungan massa air diambil dari sisa konversi padatan pada masing-masing alkali aktivator.

- **Massa air dari larutan NaOH**
  (Air $_{NaOH}$ = W_{OH} – $NaOH_{padat}$)
  Air $_{NaOH\ 8M}$ = 120,1 – 30,6 = 89,5 kg/m^3
  Air $_{NaOH\ 10M}$ = 120,1 – 36,6 = 83,5 kg/m^3
  Air $_{NaOH\ 12M}$ = 120,1 – 42,4 = 77,7 kg/m^3
  Air $_{NaOH\ 14M}$ = 120,1 – 48,1 = 72 kg/m^3

- **Massa air dari laritan Na_2SiO_3**
  (Air $_{Na_2SiO_3.5H_2O}$ = W_{SI} - $Na_2SiO_3.5H_2O$ $_{padat}$)
  Air $_{Na_2SiO_3.5H_2O}$ = 120,1 – 55,9 = 64,2 kg/m^3

Tabel 3.18 Rekapitulasi Massa Air per Molaritas NaOH

	Massa Air (kg/m$^{3)}$
Air $_{NaOH\ 8M}$ + Air $Na_2SiO_3.5H_2O$	153,7
Air $_{NaOH\ 10M}$ + Air $Na_2SiO_3.5H_2O$	147,7
Air $_{NaOH\ 12M}$ + Air $Na_2SiO_3.5H_2O$	141,9
Air $_{NaOH\ 14M}$ + Air $Na_2SiO_3.5H_2O$	136,3

Setelah dilakukan konversi larutan alkali aktivator menjadi padatan, hasil konversi tersebut direkap menjadi *mix design* untuk metode pencampuran kering. Rekapitulasi *mix design* disajikan pada Tabel 3.19. Tabel *mix design* menunjukkan bahwa nilai faktor air semen telah memenuhi standar SNI 2847-2019 Tabel 19.3.2.1, yaitu kurang dari 0,4.

Tabel 3.19 Rekapitulasi *Mix Design* Beton Geopolimer untuk Metode Kering

Material	8M	10M	12M	14M
	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3
FA	600,5	600,5	600,5	600,5
Pasir (RS)	504,6	507,9	510,6	512,7
Kerikil (LS)	1133,1	1140,6	1146,7	1151,4
NaOH	30,6	36,6	42,4	48,1
$Na_2SiO_3.5H_2O$	55,9	55,9	55,9	55,9
Air	153,7	147,7	141,9	136,3
SP	12,0	12,0	12,0	12,0
BJ Beton	2490,4	2501,2	2510,0	2516,8
FAS	0,224	0,213	0,203	0,193

3.2.3 Pembuatan Semen Geopolimer

Semen geopolimer terdiri dari *fly ash*, NaOH (s), dan $Na_2SiO_3.5H_2O$ (s). Tiga material tersebut dihaluskan secara bersamaan dengan menggunakan mesin *ballmill*. Permukaan dinding mesin *ballmill* terbuat dari *stainless steel* agar material semen geopolimer tidak bereaksi ketika proses penghalusan. Berikut ini adalah Langkah kerja pembuatan semen geopolimer:

a. Siapkan bola baja untuk penggilingan
b. Timbang material *fly ash*, Na_2SiO_3(s), dan $Na_2SiO_3.5H_2O$ (s) sesuai dengan *mix design* yang telah dibuat sebelumnya.
c. Masukkan material yang telah ditimbang kedalam *ballmill*
d. Masukkan bola baja kedalam *ballmill*
e. Nyalakan *ballmill* lalu tunggu hingga 500 putaran.
f. Setelah selesai 500 putaran, keluarkan bola baja beserta semen geopolimer
g. Simpan semen geopolimer kedalam plastik klip agar tidak mengalami reaksi berlebihan dengan udara.

(a) Bola baja

(b) Memasukkan material

(c) Semen Geopolimer

(d) Mesin *Ballmill*

Gambar 3.4 Pembuatan Semen Geopolimer

3.2.4 Pembuatan, Perawatan, dan Pengujian Beton Geopolimer

3.2.4.1 Pembuatan Beton Geopolimer

Pembuatan benda uji beton dilakukan di Labulatorium Material dan Struktur Gedung ITS. Benda uji yang dibuat menggunakan metode kering harus menggunakan alat yang tidak mengandung unsur besi. Seperti halnya *mixer* (molen) yang digunakan terbuat dari *stainless steel* agar beton yang dibuat tidak menempel pada permukaan dinding molen. Berikut alat dan bahan yang perlu disiapkan sebelum melakukan pengecoran:

1. Alat
   - Molen
   - Kuas
   - Mold 10x20 cm dan 15x30 cm
   - Cetok
   - Bak besi
   - Rojokan

(a) Molen

(b) Cetok

(c) Rojokan

(d) Mold

(e) Bak besi

(f) Kuas

Gambar 3.5 Peralatan Pengecoran

2. Bahan
   - Semen geopolimer
   - Pasir
   - Kerikil
   - Air
   - Oli
   - *Superplasticizer* (sukrosa)

(a) Semen geopolimer

(b) Air

(c) Pasir

(d) Kerikil

(d) *Superplasticizer*

(f) Oli

Gambar 3.6 Bahan Pengecoran

Kerikil harus dicuci minimal 1 hari sebelum pengecoran lalu diayak dengan ayakan nomor 4. Hal ini dilakukan karena kondisi kerikil terdapat banyak kadar lumpurnya. Selain itu, material pasir juga perlu diayak dengan ayakan nomor 4 sebelum digunakan untuk pengecoran. Kondisi agregat harus dalam keadaan kering. Oleh karena itu, agregat harus dijemur sebelum digunakan. Disisi lain, persiapan alat meliputi pengolesan oli pada mold dan pengecekan kinerja molen. Setelah melakukan persiapan alat dan bahan, pengecoran dapat dimulai dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Nyalakan molen.
b. Basahi dinding molen dengan air lalu buang airnya.
c. Masukkan aggregat secara berurutan dimulai dari kerikil dan dilanjutkan dengan pasir.
d. Masukkan *superplasticizer,* lalu tunggu hingga homogen
e. Setelah homogen, masukkan semen geopolimer.
f. Tunggu hingga homogen.
g. Masukkan air, lalu tunggu hingga homogen.
h. Tuang beton segar ke bak besi
i. Masukkan beton segar kedalam mold dengan 3 lapis, setiap lapis sekira sepertiga dari volume mold.
j. Padatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan menggunakan batang rojokan. Sebarkan penusukan secara merata pada setiap lapisan.
k. Letakkan mold yang berisi beton pada permukaan lantai yang datar.

(a) Jemur Agregat

(b) Ayak Kerikil

(c) Membasahi dinding molen

(d) Memasukkan material

(e) Beton segar

(f) Pemadatan beton

Gambar 3.7 Pengecoran Beton Geopolimer

3.2.4.2 Perawatan Beton Geopolimer

Perawatan beton (*curing*) dilakukan dengan 2 metode, yaitu perawatan dengan paparan udara sekitar (*ambient curing*) dan perawatan rendaman klorida. Kondisi suhu udara sekitar adalah 33±3^{o}C dengan kelembaban 53±5%. Sedangkan perawatan rendaman klorida menggunakan larutan klorida dengan konsentrasi 5% pada suhu 25±2^{o}C. Konsentrasi NaCL 5% sebagai media rendaman mengacu pada penelitian sebelumnya (Ren dkk, 2017).

(a) Perawatan Udara

(b) Perawatan Rendaman Klorida

Gambar 3.8 Perawatan Beton Geopolimer

3.2.4.3 Pengujian Beton Geopolimer

1. Uji pH

Pengujian pH dilakukan dengan cara mengambil potongan beton di bagian tepi dan tengah. Uji pH dilakukan di Departemen Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.

2. Uji Slump

Uji slump dilakukan setelah beton segar dituang dari molen. Langkah kerja pengujian slump adalah sebagai berikut:

a) Basahi cetakan dan letakkan diatas permukaan datar yang tidak menyerap air.
b) Isikan cetakan dalam 3 lapis, setiap lapis sekira sepertiga dari volume cetakan. Sepertiga dari volume cetakan slump diisi hingga ketebalan 67mm, dua pertiga dari volume diisi hingga ketebalan 155 mm
c) Padatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Sebarkan penusukan secara merata pada setiap lapisan
d) Pengisian dan pemadatan lapisan atas, lebihkan adukan beton di atas cetakan sebelum pemadatan dimulai. Bila pemadatan menghasilkan penurunan beton segar, tambahkan adukan beton untuk menjaga adanya kelebihan pada bagian atas cetakan.
e) Setelah beton segar dipadatkan, ratakan permukaan cetakan dengan batang penusuk.
f) Lepaskan segera cetakan dari beton dengan cara mengangkat dalam arah vertikal secara hati-hati dalam waktu 5 ±2 detik. Diamkan beton segar dalam waktu tidak lebih dari 2 ½ menit, setelah itu ukur penurunannya.

Gambar 3.9 Proses Pengukuran Slump

3. Uji Kuat Tekan

Penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan pada umur 7, 14, 28 dan 56 hari. Alat yang digunakan untuk pengujian yaitu *Universal Testing Machine* dengan kapasitas kuat tekan 200 Ton. Tes kuat tekan didasarkan pada SNI 1974-2011 Tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Kuat tekan beton adalah besarnya beton per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur. Prosedur pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

1. Ratakan permukaan beton dengan menggunakan gerinda
2. Letakan binder secara vertikal pada alat *universal testing machine*.
3. Benda uji di tekan dengan kecepatan konstan
4. Catat besaran kuat tekannya.

Angka yang terdapat pada alat *universal testing machine* menunjukkan indikator tekanan (P), maka untuk mendapatkan nilai kuat tekan (fc') perlu dibagi dengan luas permukaan benda uji (A)

$fc' = P/A$

keterangan :

fc' = Kuat tekan beton (MPa)
P = Gaya tekan aksial (N)
A = Luas penampang melintang beton (mm^2)

Gambar 3.10 Pengujian Kuat Tekan Beton

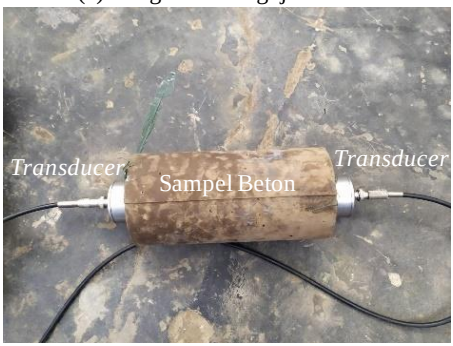
4. Uji UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)

Pengujian UPV beton geopolimer dilakukan dengan alat *TICO-PROCEQ*. Metode pengujian ini tidak merusak sampel (*Non-Destructive Test*). Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

a. Siapkan bahan stempad dan sampel beton
b. Oleskan stempad pada permukaan beton yang akan ditinjau
c. Siapkan alat UPV
d. Pasang kabel pada alat dan *transducer*
e. Nyalakan alat UPV
f. Sesuaikan jarak tinjauan beton
g. Klik start lalu tunggu hingga angka *velocity* keluar
h. Lakukan pengujian hingga 3x untuk 1 sampel beton

(a) Rangkaian Pengujian UPV

(b) *Display* Bacaan Alat



(c) Posisi beton saat pengujian

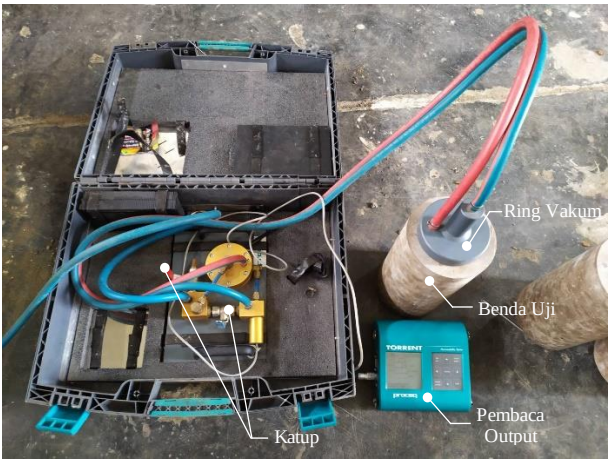
(d) Stempad

Tabel 3.20 Pengujian UPV

5. Uji Permeabilitas

Pengujian permeabilitas beton dilakukan dengan alat *permeability tester TORRENT*. Metode pengujian merupakan non-destruktif. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

a. Persiapkan benda uji silinder 150 x 300 mm
b. Persiapkan vakum sebagai alat penunjang pengujian
c. Tempelkan ring penyegel pada permukaan beton
d. Tutup katup yang ada pada alat permeabilitas
e. Tunggu hingga 720 detik
f. Catat nilai koefisien permeabilitas (kT)



(a) Rangkaian pengujian permeabilitas beton

(b) Alat pembaca output

(c) *Vakum Rotary Vane*

Gambar 3.11 Pengujian Permeabilitas

6. Uji Porositas

Porositas merupakan persentase pori – pori atau ruang kosong dalam beton terhadap volume benda. Prosedur pengujian porositas didasarkan pada **ASTM C 642-06** (*Standart Test Method for Specific Grafity, Absorption and Voids in Hardened Concrete*). Prosedur pengujian porositas adalah sebagai berikut:

a. Potong sampel 100x200 mm menjadi 3 sampel diameter 100 mm dengan tinggi 50 mm (buang kedua bagian ujung dengan masing-masing ketebalan 25 mm).
b. Oven spesimen minimal 24h
c. Setelah dioven, dinginkan hingga temperatur 20-25^{o}C (direkomendasikan menggunakan desikator)
d. Timbang spesimen (W_3) (dilakukan hingga perbedaan massa tidak melebihi 0,5%)
e. Rendam dalam air selama lebih dari 48h (21^{o}C) dan timbang berat kering permukaan (W_1) (dilakukan hingga perbedaan massa tidak melebihi 0,5%)
f. Timbang spesimen dalam air (W_2)
g. Hitung porositas dengan rumus $P = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2} . 100\%$

(a) Pemotongan sample

(b) Sample Porositas

(c) Oven sample

(d) Timbang kering oven dan SSD

(e) Timbang dalam air

Gambar 3.12 Pengujian Porositas Beton

7. Uji Resistivitas

Pengujian resistivitas dilakukan pada permukaan beton. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan beton dibasahi

terlebih dahulu dengan air, lalu tempelkan 4 titik *probe* pada permukaan yang basah. Pengujian ini menggunakan alat *Resipod PROCEQ*.

(a) Posisi sample saat pengujian (b) Bacaan nilai resistivitas

Gambar 3.13 Pengujian Resistivitas

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
HASIL PENELITIAN

4.1 Karakteristik Limbah *High-Calcium Fly Ash*

4.1.1 Uji XRF (X-Ray Fluorescence)

Pengujian XRF *(X-Ray Fluorescence)* dilakukan untuk mengetahui karakteristik material limbah *fly ash* berdasarkan kandungan senyawa kimianya. Klasifikasi *fly ash* berdasarkan standar ASTM C618-03 dapat diketahui setelah melakukan pengujian XRF.

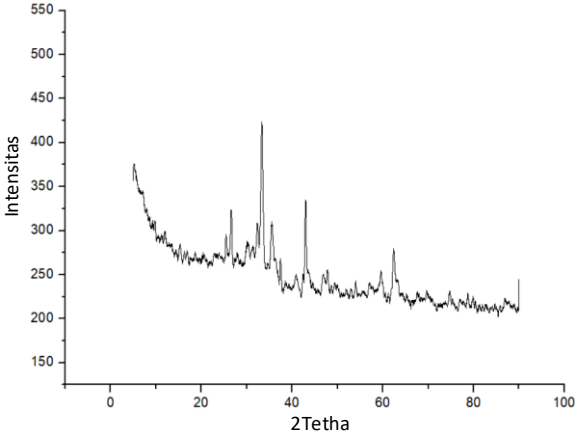
Tabel 4.1 Hasil Uji XRF Material *Fly Ash*

Oksida	Kadar (%)
Al_2O_3	6,70
SiO_3	21,20
Fe_2O_3	32,50
CaO	29,60
MgO	1,30
SO_3	0,50
K_2O	1,09
TiO_2	1,00
V_2O_5	0,06
MnO	0,26
MoO_3	2,80
BaO	0,50
HgO	1,50

Berdasarkan hasil pengujian, material yang digunakan tergolong ***fly ash* tipe C** (*high-calcium fly ash*) dengan kandungan $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ sebesar 60,4% dan CaO sebesar 29,60%. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa penggunaan *fly ash* tipe C tidak disarankan karena keberadaan kalsium yang tinggi dapat mengganggu proses polimerisasi dan mengubah mikrostruktur jaringan geopolimer (Gourley, 2003; Ling dkk, 2019). Oleh karena itu, penggunaan *fly ash* jenis ini perlu diteliti lebih dalam agar dapat dimanfaatkan dengan baik.

4.1.2 Uji XRD (X-Ray Diffraction)

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui fasa pada suatu material. Penelitian ini melakukan uji XRD pada material *fly ash* menggunakan alat X'pert PRO PANanalytical. Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar 4.*1*.



Gambar 4.1 Hasil Uji XRD

Hasil uji tersebut harus dianalisa menggunakan *software* tertentu agar dapat mengidentifikasi jenis fasa. Penelitian ini menggunakan *software* OriginPro®8.5 untuk menentukan indeks kristalin (*CI*). Indeks kristalin didapatkan melalui perbandingan luas area kristalin dengan luas area total difraksi (Pers. 4.1). Penentuan luas area tersebut dapat diketahui melalui fungsi Gaussian pada *software* OriginPro®8.5 (Khan dkk, 2019; Navarro-Pardo dkk, 2013). Persebaran luas kristalin hanya terdapat pada puncak grafik (Gambar 4.2).

$$CI = \frac{A_C}{A_T} x100\% \quad \text{.....(4.1)}$$

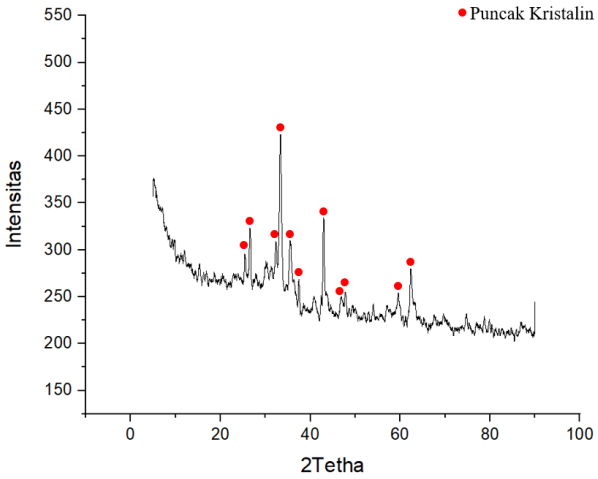
Keterangan:

CI = Indeks Kristalin

A_C = Area Kristalin

A_A = Area Amorf

A_T = Total area difraksi ($A_c + A_A$)



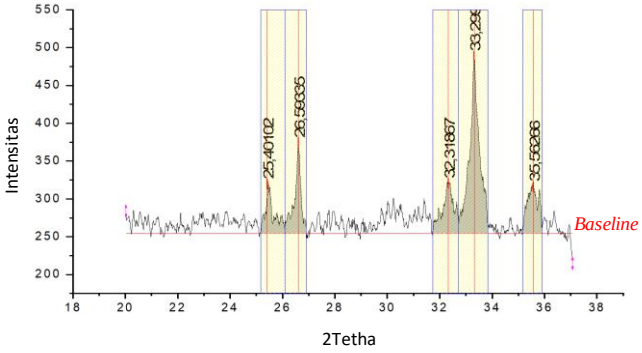
Gambar 4.2 Puncak Kristalin

Grafik difraksi pada sudut 2Tetha 5^{o}-20^{o} tidak dianalisa karena pada rentang tersebut merupakan fase scanning alat XRD X'pert PRO PANanalytical. Analisa Indeks Kristalin dibagi menjadi 3 rentang sudut 2Tetha karena grafik difraksi *fly ash* memiliki *baseline* yang berbeda-beda. *Baseline* ditentukan berdasarkan tren grafik difraksi yang memiliki intensitas hampir sama. Penentuan baseline sebagai acuan analisa sangat menentukan presentase Indeks Kristalin karena berpengaruh terhadap luasan fasa yang ditinjau. Pembagian rentang sudut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

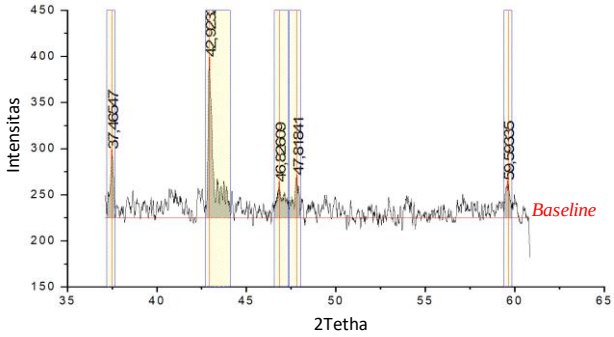
Tabel 4.2 Pembagian Rentang Sudut 2Tetha

Rentang Sudut	***Baseline* (Intensitas)**
20^{o}-37,06^{o}	255
37,06^{o}-60,82^{o}	225
60,82^{o}-90^{o}	210

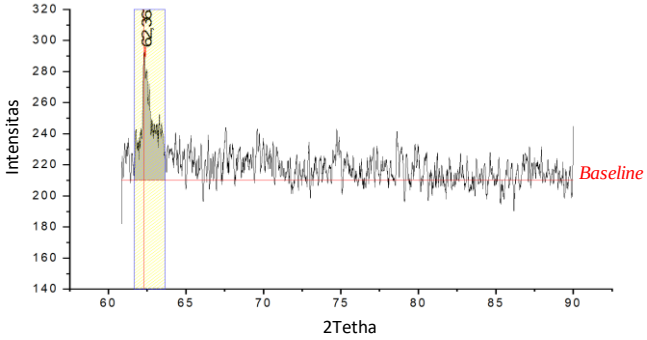
Setelah melakukan penentuan *baseline* maka analisa Indeks Kristalin dapat dilakukan menggunakan *software* OriginPro®8.5. analisa Indeks kristalin dilakukan sebanyak 3x berdasarkan rentang sudut yang telah dibagi.



Gambar 4.3 Area Kristalin pada rentang sudut 20^{o}-37,06^{o}



Gambar 4.4 Area Kristalin pada rentang sudut 37,06^{o}-60,82^{o}



Gambar 4.5 Area Kristalin pada rentang sudut 60,82^{o}-90^{o}

Terdapat 11 puncak kristalin pada material *fly ash* yang telah diuji. Setelah mengetahui puncak kristalin pada grafik XRD, dapat ditentukan luas area kristalin. Area berwarna kuning pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5 merupakan area kristalin. Detail luas area kristalin dapat dilihat pada berikut:

Tabel 4.3 Detail Luas Area Kristalin

No	Sudut 2Tetha Puncak	Luas Area
1	25,40102	23,30
2	26,59335	33,32
3	32,31867	33,92
4	33,29932	102,01
5	35,56266	31,04
6	37,46547	16,12
7	42,92323	63,65
8	46,82609	17,01
9	47,81841	14,65
10	59,59335	11,30
11	62,36423	75,12
Total Area Kristalin (A_C)		421,44

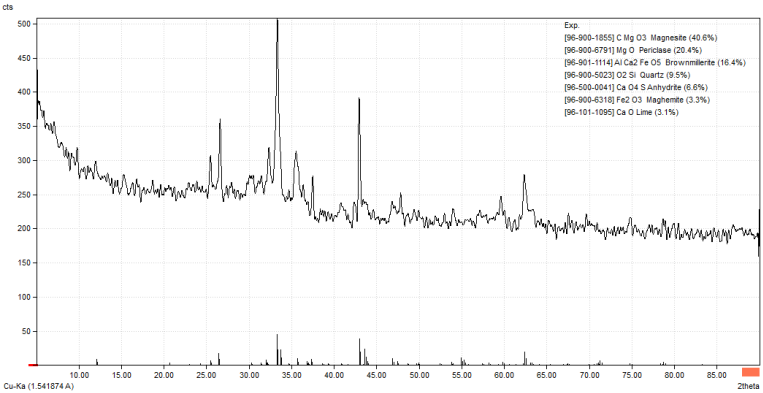
Total area difraksi (A_T) didapatkan dari *software* OriginPro®8.5 sebesar 930,70. Maka indeks kristalin dapat dihitung sebagai berikut:

$$CI = \frac{A_C}{A_T} x100\%$$

$$CI = \frac{421,44}{930,70} x100\%$$

$$CI = 45,28\%$$

Setelah mengetahui indeks kristalin maka dapat ditentukan indeks amorf sebesar 100% - 45,28% = **54,72%**. Semakin tinggi indeks amorf berpengaruh baik terhadap reaktifitas alkali pada beton geopolimer. Padatan amorf lebih cepat bereasi apabila dilarutkan dengan alkali aktivator (Fernández-Jiménez & Palomo, 2005; Lloyd dkk, 2009; Palomo dkk, 2007; Gunasekara dkk, 2019)



Gambar 4.6 Identifikasi Mineral Kristalin pada Grafik XRD

Terdapat berbagai macam mineral kristalin yang dapat diidentifikasi berdasarkan sudut 2Tetha pada grafik XRD. Identifikasi mineral kristalin dapat dilakukan dengan menggunakan software Match!3®. Hasil identifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.6. Detail presentase mineral kristalin dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Mineral Kristalin pada Material Fly Ash

Rumus Kimia	**Mineral**	**Kuantitas (%)**
$MgCO_3$	Magnesite	40,6
MgO	Periclase	20,4
$Ca_2(Al,Fe)_2O_5$	Brownmillerite	16,4
SiO^2	Quartz	9,5
$CaSO_4$	Anhydrite	6,6
Fe_2O_3	Maghemite	3,3
CaO	Lime	3,1

Penyesuaian hasil uji XRD secara total perlu dilakukan untuk mengetahui masing-masing presentase mineral kristalin maupun amorf. Pada perhitungan sebelumnya telah diketahui bahwa indeks kristalin sebesar 45,28%, sedangkan indeks amorf sebesar 54,72%. Maka penyesuaian hasil XRD dapat ditentukan sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Uji XRD

Rumus Kimia	Fasa	Kuantitas (%)
$MgCO_3$	Magnesite	18,4
MgO	Periclase	9,2
$Ca_2(Al,Fe)_2O_5$	Brownmillerite	7,4
SiO^2	Quartz	4,3
$CaSO_4$	Anhydrite	3,0
Fe_2O_3	Maghemite	1,5
CaO	Lime	1,4
-	Amorphous	54,72

4.2 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Performa Beton Geopolimer

Berdasarkan pembahasan pada sub-bab 4.1 diketahui bahwa *fly ash* yang digunakan merupakan tipe C. Hal tersebut menunjukkan bahwa *fly ash* yang digunakan memiliki karakteristik kurang baik apabila diterapkan sebagai material dasar beton geopolimer seperti yang telah disebutkan pada sub-bab 2.2.2. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi untuk memaksimalkan potensi limbah *fly ash* tipe C. Salah satu upaya modifikasi pada tugas akhir ini adalah metode pencampuran kering (*dry mix*). Selain itu, penulis juga melakukan variasi komposisi beton geopolimer untuk mengetahui komposisi yang efektif pada penerapan di lingkungan klorida.

Berbagai pengujian beton dilakukan untuk mengetahui workabilitas dan performa masing-masing komposisi beton geopolimer yang diproduksi dengan metode kering. Pengujian tersebut meliputi uji slump, uji kuat tekan, uji UPV (*Utrasonic Pulse Velocity*), uji porositas, dan uji resistivitas. Seiring berlangsungnya penelitian, penulis mengalami kendala mengenai pengujian permeabilitas dan pH. Data pengujian permeabilitas tidak dapat ditampilkan secara lengkap karena terdapat kendala pada alat permeabilitas saat penelitian berlangsung. Selain itu, pengujian pH juga tidak bisa dilakukan karena beberapa

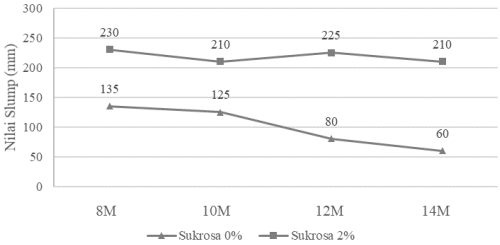
laboratorium yang dituju tidak menerima sampel akibat dari pandemi COVID-19.

4.2.1 Uji Slump

Pengujian slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui workabilitas beton. Pengujian ini dilakukan setelah beton segar dituang dari molen. Berikut ini merupakan hasil uji slump beton geopolimer:

Tabel 4.6 Hasil Uji Slump

Molaritas	SP (Sukrosa)	Slump mm	Standar SNI 1972 : 2008
8M	0%	135	15-230 mm
10M	0%	125	
12M	0%	80	
14M	0%	60	
8M	2%	230	
10M	2%	210	
12M	2%	225	
14M	2%	210	



Gambar 4.7 Pengaruh Sukrosa Terhadap Slump Beton Geopolimer

Hasil pengujian slump menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* berupa sukrosa berpengaruh signifikan terhadap peningkatan workabilitas beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C. Penelitian sebelumnya (Rattanasak dkk, 2011) menyebutkan bahwa sukrosa berfungsi untuk menghambat pengendapan kalsium

aluminat hidrat dalam matriks geopolimer. Kalsium aluminat hidrat merupakan salah satu senyawa yang menyebabkan pengerasan beton berlangsung cepat (Goergens dkk, 2020). Pembentukan kalsium aluminat hidrat dipengaruhi oleh temperatur campuran beton (Antonovič dkk, 2013). Informasi lainnya menunjukkan bahwa peningkatan molaritas NaOH pada variasi sukrosa 0% menurunkan nilai workabilitas beton. Hal ini berkaitan dengan faktor air semen yang semakin kecil seiring dengan peningkatan molaritas NaOH. Namun, pengujian slump pada variasi sukrosa 2% menunjukkan bahwa perubahan nilai molaritas tidak berpengaruh signifikan terhadap workabilitas beton.

Nilai slump pada variasi sukrosa 0% berada pada kisaran 60-135 mm. Sedangkan nilai slump yang dihasilkan beton geopolimer dengan variasi sukrosa 2% berada pada kisaran 210-230 mm. Tingginya nilai slump membuat beton geopolimer lebih mudah untuk diimplementasikan karena sifatnya yang kohesif (BV Rangan & Hardjito, 2005). Berdasarkan peraturan SNI 1972:2008, variasi sukrosa 0% dan 2% pada beton geopolimer telah **memenuhi standar** workabilitas karena berada pada rentang nilai 15 - 230 mm.

4.2.2 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan pada saat beton mencapai umur 7, 14, 28, dan 56 untuk beton dengan perawatan paparan udara sekitar. Beton yang dirawat dengan rendaman klorida diuji pada umur 56 hari. Beton tersebut mulai direndam pada larutan klorida saat umur 28 hari. Terdapat beberapa ukuran benda uji kuat tekan yang berbeda. Hal tersebut dilakukan karena kendala COVID-19, sehingga tidak memungkinkan untuk mengambil material *fly ash* lebih banyak lagi. Perubahan benda uji 15x30 cm menjadi 10x20 cm merupakan salah satu solusi untuk menghemat material *fly ash*. Hasil uji kuat tekan harus dikoreksi berdasarkan faktor koreksi sample dan faktor koreksi L/D sesuai dengan SNI 1974-2011 Tabel 3 untuk mendapatkan hasil yang aktual. Pengujian ini dilakukan di Labolatorium Material dan Struktur Gedung Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi, ITS Surabaya.

Tabel 4.7 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M

Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	Ukuran Sample	Faktor Koreksi Sample	L/D	Faktor Koreksi L/D	Berat	Kuat Tekan	Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
	Hari		cm				Kg	MPa			
8M	7	2%	10x20	1,04	1	1	4,00	2,1	2,1	0,1	Udara
							4,02	2,2			
							3,98	2,1			
	14	2%	10x20	1,04	1	1	4,02	6,5	6,5	0,6	
							5,40	7,0			
							4,50	5,8			
	28	2%	10x20	1,04	1	1	3,96	16,1	18,0	1,6	
							4,10	19,0			
							4,06	18,8			
	28	0%	10x20	1,04	1	1	3,94	12,6	12,2	3,0	
							3,84	9,0			
							3,92	14,9			
	56	2%	15x22,5	1	1,5	0,96	9,96	22,1	23,5	4,1	
							9,98	28,1			
							9,98	20,3			
	56	2%	15x22,5	1	1,5	0,96	10,24	26,5	24,2	3,9	Rendaman Klorida
							10,14	24,9			
							10,00	18,5			
							10,32	27,0			

Tabel 4.8 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M

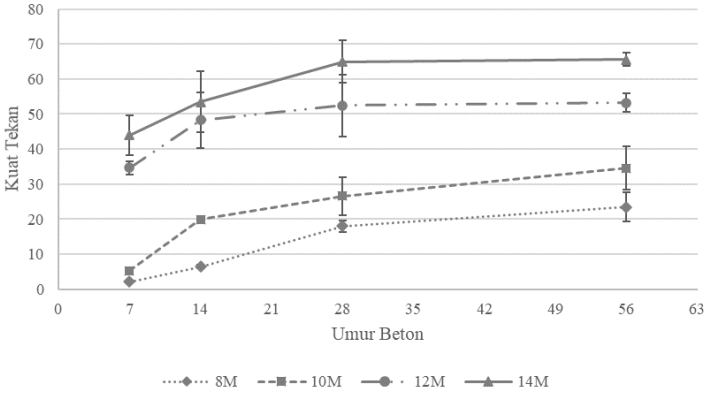
Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	Ukuran Sample	Faktor Koreksi Sample	L/D	Faktor Koreksi L/D	Berat	Kuat Tekan	Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
	Hari		cm				Kg	MPa			
10M	7	2%	10x20	1,04	1	1	3,88	4,4	5,3	0,7	Udara
							3,94	5,7			
							4,00	5,7			
	14	2%	10x20	1,04	1	1	4,00	20,5	19,9	0,5	
							4,00	19,5			
							4,08	19,7			
	28	2%	10x20	1,04	1	1	3,96	21,0	26,6	5,5	
							3,92	26,8			
							4,00	32,0			
	28	0%	10x20	1,04	1	1	13,14	18,0	16,6	1,3	
							13,20	15,9			
							13,02	15,8			
	56	2%	15x22,5	1	1,5	0,96	10,80	33,7	34,6	6,1	
							10,80	28,9			
							10,40	41,1			
	56	2%	15x22,5	1	1,5	0,96	10,12	38,6	40,5	5,4	Rendaman Klorida
							10,20	36,6			
							10,08	48,4			
							10,36	38,3			

Tabel 4.9 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M

Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	Ukuran Sample	Faktor Koreksi Sample	L/D	Faktor Koreksi L/D	Berat	Kuat Tekan	Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
	Hari		cm				Kg	MPa			
12M	7	2%	10x20	1,04	1	1	4,12	32,5	34,6	1,9	Udara
							4,06	35,6			
							4,02	35,9			
	14	2%	10x20	1,04	1	1	4,02	43,9	48,3	7,9	
							4,02	57,4			
							4,12	43,5			
	28	2%	10x20	1,04	1	1	4,04	65,0	52,4	8,8	
							3,98	44,4			
							4,04	49,9			
							3,96	50,5			
	28	0%	15x30	1	1	1	13,48	40,2	39,7	1,0	
							13,46	38,5			
							13,34	40,4			
	56	2%	10x20	1,04	1	1	3,98	50,3	53,2	2,7	
							3,98	53,6			
							4,04	55,6			
	56	2%	10x20	1,04	1	1	3,92	61,8	53,8	7,9	Rendaman Klorida
							3,98	46,1			
							4,14	53,4			

Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M

Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	Ukuran Sample	Faktor Koreksi Sample	L/D	Faktor Koreksi L/D	Berat	Kuat Tekan	Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
	Hari		cm				Kg	MPa			
14M	7	2%	10x20	1,04	1	1	4,06	45,5	44,0	5,7	Udara
							4,00	37,8			
							4,08	48,8			
	14	2%	10x20	1,04	1	1	4,06	46,9	53,5	8,7	
							4,16	54,9			
							4,04	46,9			
							3,98	65,1			
	28	2%	10x20	1,04	1	1	3,94	64,3	65,0	6,1	
							4,08	71,3			
							4,14	59,2			
	28	0%	10x20	1,04	1	1	4,00	42,4	48,7	5,5	
							4,04	52,5			
							3,94	51,2			
	56	2%	15x30	1	1	1	4,10	64,7	65,6	1,9	
							4,02	67,8			
							4,02	64,3			
	56	2%	15x30	1	1	1	4,08	82,4	71,4	9,5	Rendaman Klorida
							4,08	67,0			
							4,02	65,0			

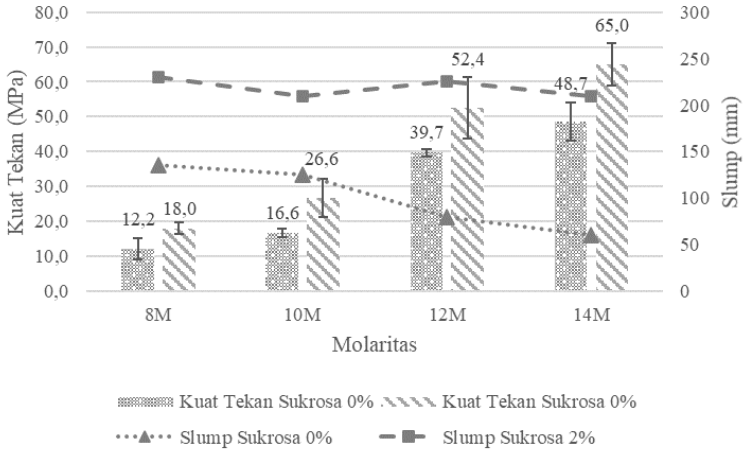


Gambar 4.8 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Sukrosa 2%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton geopolimer semakin tinggi seiring dengan peningkatan molaritas NaOH. Konsentrasi NaOH yang tinggi melepaskan ion Si dan Al pada *fly ash* lebih banyak (Rattanasak & Chindaprasirt, 2009), sehingga menghasilkan reaksi polikondensasi (proses pengerasan beton) lebih baik dan membuat kuat tekan jangka panjang yang tinggi dari beton geopolimer (Bakharev, 2005; Hanjitsuwan dkk, 2014; A. Palomo dkk, 1999). Namun terdapat penelitian sebelumnya (Prinya Chindaprasirt dkk, 2009) menyatakan bahwa pelepasan Si dan Al dari *fly ash* cenderung menurun pada konsentrasi NaOH tinggi. Hal ini mungkin disebabkan karena peningkatan molaritas NaOH menghasilkan viskositas tinggi dan *workability* rendah. Akibatnya, interaksi alkali dengan fly ash menjadi terhambat (P. Chindaprasirt & Chalee, 2014). Pendapat ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini, yaitu memiliki *workability* beton cukup tinggi seperti pada Tabel 4.6

Di sisi lain terdapat standar deviasi yang cukup besar pada variasi 12M dan 14M. Fenomena tersebut kemungkinan terjadi karena tingginya konsentrasi NaOH menyebabkan ion OH^- larut berlebihan. Hal tersebut berpengaruh buruk terhadap morfologi

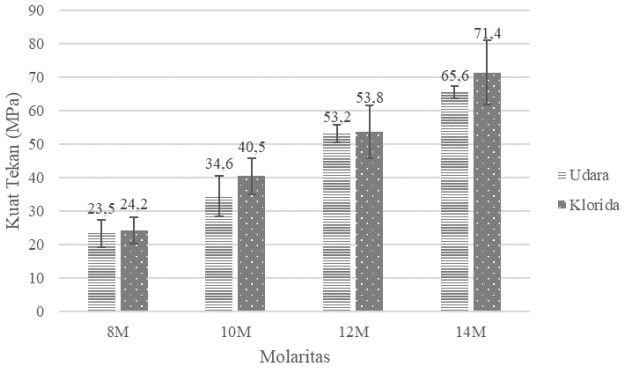
beton dan menyebabkan ketidakseragaman produk campuran geopolimer (Khale & Chaudhary, 2007 ;Wang dkk, 2004). Selain itu, karakter *fly ash* sebagai limbah menghasilkan ikatan polimer dengan kualitas yang tidak terduga dan sulit untuk diprediksi (Safari, 2016). Namun demikian pengujian kuat tekan 28 hari dengan variasi molaritas **12M** dan **14M** telah memenuhi SNI 2847-2019 pasal 19.3.2 sebagai material konstruksi di lingkungan klorida, yaitu diatas 35 MPa.



Gambar 4.9 Pengaruh Sukrosa Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari

Data pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan sukrosa sebanyak 2% dapat meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan kuat tekan diduga karena meningkatnya workabilitas beton geopolimer akibat penambahan 2% sukrosa. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, peningkatan workabilitas ini berpotensi untuk mempermudah interaksi antara alkali dengan *fly ash* (P. Chindaprasirt & Chalee, 2014), sehingga reaksi geopolimerisasi menjadi lebih baik. Analisa mikrostruktur pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Rattanasak dkk, 2011) bahwa penambahan sukrosa dapat meningkatkan pembentukan gel Si dan Al pada permukaan *fly ash.*

Pembentukan gel tersebut mempengaruhi kapasitas pengikatan dan meningkatan kuat tekan beton geopolimer.



Gambar 4.10 Pengaruh Lingkungan Klorida Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Sukrosa 2%

Pengujian kuat tekan 56 hari dilakukan untuk mengetahui pengaruh paparan klorida terhadap performa beton. Hasil kuat (Gambar 4.10) tekan menunjukkan bahwa paparan klorida memberikan dampak yang kurang signifikan terhadap performa kuat tekan beton geopolimer. Hal yang sama juga dialami oleh peneliti sebelumnya (P. Chindaprasirt & Chalee, 2014) bahwa perawatan beton dalam pengaruh air laut selama 3 tahun tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C. Hal tersebut menunjukkan bahwa paparan lingkungan klorida membutuhkan waktu dalam jangka yang panjang untuk mempengaruhi performa beton. Metode lain dapat dilakukan untuk mengetahui pengaruh lingkungan klorida dengan cara melakukan percepatan laju penetrasi klorida. Namun demikian, peningkatan kuat tekan beton akibat paparan klorida menunjukkan bahwa beton geopolimer berpotensi untuk diimplementasikan sebagai material konstruksi di lingkungan klorida.

4.2.3 Uji UPV

Uji UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) dilakukan untuk mengetahui kapadatan beton dengan memanfaatkan kecepatan gelombang ultrasonik. Semakin cepat rambatan gelombang yang melalui beton, maka kepadatan beton tergolong semakin baik. Data UPV juga dapat digunakan sebagai data pendukung uji kuat tekan. Pengujian UPV dilakukan pada beton dengan umur 28 dan 56 hari untuk beton yang dirawat dengan paparan udara sekitar (*ambient curing*). Sedangkan beton yang dirawat dengan rendaman klorida diuji pada umur 56 hari.

Tabel 4.11 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M

Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Panjang Sample	UPV		Rata-rata	Klasifikasi	*Curing*
	Hari			m	V (m/s)	t (µs)	V (m/s)		
8M	28	2%	1	0,2	3240	61,7	3260	Sedang	Udara
					3260	61,4			
					3270	61,1			
			2	0,2	3320	60,2			
					3240	61,7			
					3260	61,3			
			3	0,2	3260	61,3			
					3210	62,4			
					3280	61,0			
	28	0%	1	0,2	3140	63,8	3061	Sedang	
					3140	63,8			
					3150	63,6			
			2	0,2	3000	66,6			
					3010	66,4			
					3010	66,4			
			3	0,2	3030	66,0			
					3030	66,0			
					3040	65,8			
	56	2%	1	0,2	3590	55,7	3516	Baik	
					3600	55,6			
					3590	55,7			
			2	0,2	3430	58,3			
					3470	57,7			
					3470	57,7			
			3	0,2	3480	57,5			
					3470	56,7			
					3540	57,7			
	56	2%	1	0,2	3520	56,8	3643	Baik	Rendaman Klorida
					3720	53,7			
					3770	53,1			
			2	0,2	3640	54,9			
					3660	54,6			
					3650	54,8			
			3	0,2	3600	55,6			
					3610	55,4			
					3620	55,2			

Tabel 4.12 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M

Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Panjang Sample	UPV		Rata-rata	Klasifikasi	*Curing*
	Hari			m	V (m/s)	t (µs)	V (m/s)		
10M	28	2%	1	0,2	3280	60,9	3284	Sedang	Udara
					3280	60,9			
					3280	60,9			
			2	0,2	3240	61,7			
					3240	61,7			
					3260	61,3			
			3	0,2	3320	60,2			
					3330	60,1			
					3330	60,1			
	28	0%	1	0,07	3180	22	3124	Sedang	
					3140	22,5			
					3170	22,1			
			2	0,065	3160	19,3			
					3170	18,8			
					3160	18,8			
			3	0,065	3050	21,3			
					3040	21,4			
					3050	21,1			
	56	2%	1	0,07	3930	17,8	3871	Baik	
					3800	18,4			
					3800	18,4			
			2	0,07	3720	18,8			
					3960	17,7			
					3960	17,7			
			3	0,067	3920	17,1			
					3790	17,7			
					3960	16,9			
	56	2%	1	0,3	3840	78,2	3820	Baik	Rendaman Klorida
					3840	78,1			
					3900	77,0			
			2	0,3	3840	78,2			
					3890	77,2			
					3940	76,2			
			3	0,3	3760	79,8			
					3740	80,2			
					3700	81,1			
			4	0,3	3810	78,8			
					3790	79,2			
					3790	79,1			

Tabel 4.13 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M

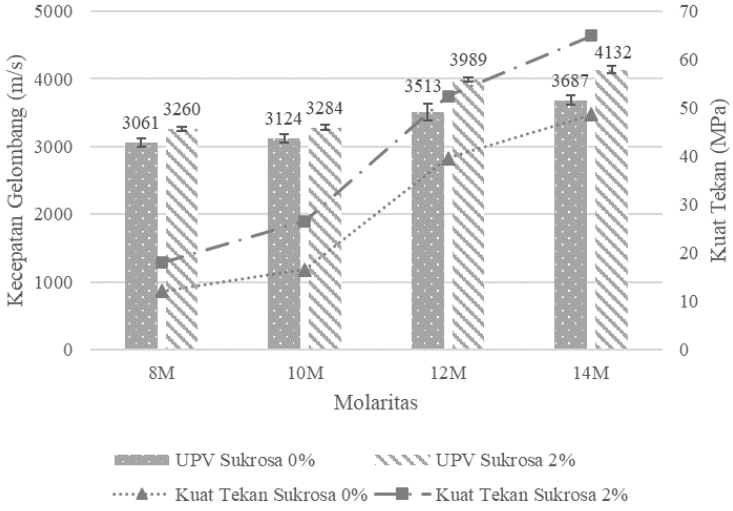
Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Panjang Sample	UPV		Rata-rata	Klasifikasi	*Curing*
	Hari			m	V (m/s)	t (µs)	V (m/s)		
12M	28	2%	1	0,2	3980	50,2	3989	Baik	Udara
					3980	50,2			
					4020	49,8			
			2	0,2	4020	49,8			
					4030	49,6			
					3990	50,1			
			3	0,2	3910	51,2			
					3990	50,1			
					3980	50,2			
	28	0%	1	0,063	3620	17,4	3513	Baik	
					3680	17,1			
					3680	17,1			
			2	0,069	3350	20,6			
					3400	20,3			
					3400	20,3			
			3	0,054	3490	15,2			
					3490	15,2			
					3510	15,1			
	56	2%	1	0,06	4000	15,0	4009	Baik	
					3970	15,1			
					4000	15,0			
			2	0,055	3990	13,8			
					4040	13,6			
					4020	13,7			
			3	0,055	4020	13,7			
					4020	13,7			
					4020	13,7			
	56	2%	1	0,06	3970,0	15,1	3997	Baik	Rendaman Klorida
					3970,0	15,1			
					4000,0	15,0			
			2	0,06	4030,0	14,9			
					4000,0	15,0			
					4000,0	15,0			
			3	0,06	3990,0	15,0			
					3990,0	15,0			
					4020,0	14,9			

Tabel 4.14 Hasil Uji UPV Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M

Molaritas	Umur	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Panjang Sample	UPV		Rata-rata	Klasifikasi	*Curing*
	Hari			m	V (m/s)	t (µs)	V (m/s)		
14M	28	2%	1	0,2	4130	48,4	4132	Baik	Udara
					4140	48,3			
					4130	48,4			
			2	0,2	4180	47,8			
					4240	47,2			
					4130	48,4			
			3	0,2	4120	48,6			
					4060	49,3			
					4060	49,3			
	28	0%	1	0,067	3620	18,5	3687	Baik	
					3640	18,4			
					3660	18,3			
			2	0,07	3740	18,7			
					3780	18,5			
					3800	18,4			
			3	0,07	3620	18,5			
					3660	18,3			
					3660	18,3			
	56	2%	1	0,2	4300	46,5	4321	Baik	
					4320	46,3			
					4300	46,5			
			2	0,2	4330	46,2			
					4360	45,9			
					4360	45,9			
			3	0,2	4280	46,7			
					4310	46,4			
					4330	46,2			
	56	2%	1	0,2	4240	46,5	4149	Baik	Rendaman Klorida
					4190	46,3			
					4200	46,5			
			2	0,2	4120	46,2			
					4140	45,9			
					4100	45,9			
			3	0,2	4100	46,7			
					4140	46,4			
					4110	46,2			

Hasil pengujian UPV menunjukkan bahwa nilai kepadatan beton geopolimer semakin tinggi seiring dengan peningkatan molaritas NaOH. Hal ini selaras dengan hasil uji kuat tekan beton. Semakin tinggi nilai kepadatan beton, maka kuat tekan beton semakin tinggi (Gambar 4.11). Kepadatan beton paling baik terdapat pada variasi molaritas **14M** dengan klasifikasi baik pada umur 28 dan 56 hari. Klasifikasi tersebut mengacu pada standar IS 13311-1-1992 (Tabel 2.8) yang ditentukan berdasarkan kecepatan gelombang (V). Peningkatan kepadatan beton terjadi karena ion

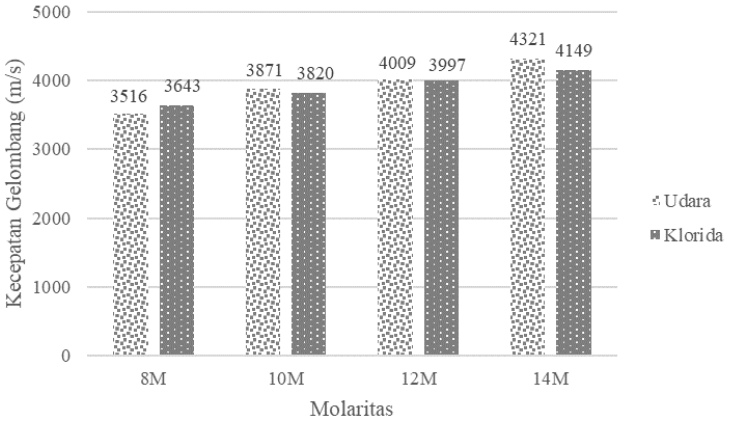
OH^- dalam aktivator dapat berfungsi sebagai katalis untuk reaktivitas dan ion Na^+ dapat membantu pembentukan struktur aluminium tetrahedral dalam geopolimer (B. V. Rangan, 2008). Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi molaritas NaOH dapat meningkatkan pembentukan konektivitas antar gel aluminosilikat (Ling dkk, 2019) yang berpengaruh baik terhadap kepadatan beton geopolimer. Meskipun pengujian UPV menunjukkan bahwa kepadatan beton selaras dengan hasil uji kuat tekan, penelitian sebelumnya (Ma dkk, 2013) menyatakan bahwa beton geopolimer memiliki sifat yang berbeda dengan beton konvensional. Beton geopolimer berpotensi besar memiliki fraksi pori tertutup yang tidak dapat dideteksi. Fenomena tersebut membuat kepadatan yang baik tidak selalu memberikan kuat tekan yang tinggi.



Gambar 4.11 Korelasi Nilai UPV Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari

Pengaruh klorida terhadap kepadatan beton dapat diketahui pada pengujian beton saat umur 56 hari (Gambar 4.12). Hasil pengujian UPV menunjukkan bahwa lingkungan klorida

tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kepadatan beton. Hal ini sejalan dengan kuat tekan beton yang tidak mengalami perubahan signifikan setelah terpapar larutan klorida (Gambar 4.10).



Gambar 4.12 Pengaruh Lingkungan Klorida Terhadap Nilai UPV Beton Geoploimer pada Umur 56 Hari

4.2.4 Uji Porositas

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui presentase pori udara dalam beton. Semakin kecil presentase pori dalam beton, maka semakin baik performa beton dalam hal mencegah masuknya air dan material lainnya yang berpotensi merusak beton. Pengujian ini menggunakan sampel silinder ukuran 100x200 mm yang dipotong menjadi 3 bagian menjadi silinder tinggi 50 mm diameter 100 mm. masing-masing bagian ujung silinder beton dipotong 25 mm untuk meminimalisasi kesalahan hasil uji akibat faktor lingkungan. Pengujian porositas dilakukan pada beton dengan umur 28 dan 56 hari untuk beton yang dirawat dengan paparan udara sekitar (*ambient curing*). Sedangkan beton yang dirawat dengan rendaman klorida diuji pada umur 56 hari.

Tabel 4.15 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M

Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Porositas				Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
				W_1	W_2	W_3	%			
8M	28	2%	1	909,6	555,4	865,2	12,5	12,9	0,6	Udara
			2	1027,2	628,8	977,2	12,6			
			3	895,9	544,3	848	13,6			
	28	0%	1	821,5	491,1	771,6	15,1	14,1	0,8	
			2	819,9	500,1	776,7	13,5			
			3	882,7	536,1	834,8	13,8			
	56	2%	1	1004,9	610,4	951,9	13,4	13,5	0,5	
			2	897,6	546,2	851,9	13,0			
			3	860	519,7	812,1	14,1			
	56	2%	1	934,7	573,1	890,5	12,2	13,5	1,2	Air Laut
			2	998,3	604	944,5	13,6			
			3	782	471,5	736,4	14,7			

Tabel 4.16 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M

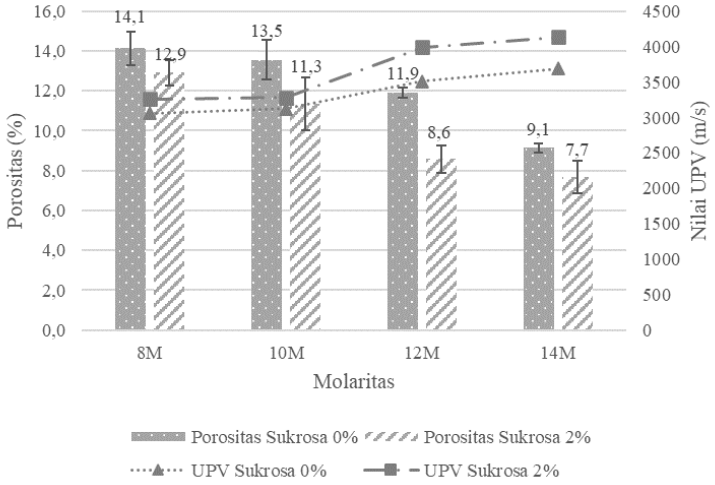
Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Porositas				Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
				W_1	W_2	W_3	%			
10M	28	2%	1	1018,9	613,6	973,3	11,3	11,3	1,3	Udara
			2	878,8	542	844,8	10,1			
			3	882,8	534,7	838,6	12,7			
	28	0%	1	966,6	576,4	918,2	12,4	13,5	1,0	
			2	889,7	522,4	837,6	14,2			
			3	903,1	531,7	850,9	14,1			
	56	2%	1	1028,2	628,3	983	11,3	11,6	0,3	
			2	888,5	544,6	849,1	11,5			
			3	882,7	536,3	841,4	11,9			
	56	2%	1	963,2	589	920,1	11,5	11,8	0,5	Air Laut
			2	985,7	600,4	941,7	11,4			
			3	881,2	533,7	838,2	12,4			

Tabel 4.17 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M

Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Porositas				Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
				W_1	W_2	W_3	%			
12M	28	2%	1	932,6	570,4	904,2	7,8	8,6	0,7	Udara
			2	1032,1	622,9	996,6	8,7			
			3	912,6	550,2	879,2	9,2			
	28	0%	1	884	522	840	12,2	11,9	0,3	
			2	1042,8	615,7	991,8	11,9			
			3	990,5	584,6	943,2	11,7			
	56	2%	1	920,8	563,4	890,7	8,4	8,8	0,4	
			2	1001,2	605,8	966,2	8,9			
			3	899,4	544,7	866,7	9,2			
	56	2%	1	952,4	575,4	918,1	9,1	8,7	0,3	Air Laut
			2	905,1	551,5	875,3	8,4			
			3	989,1	598,3	955,4	8,6			

Tabel 4.18 Hasil Uji Porositas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M

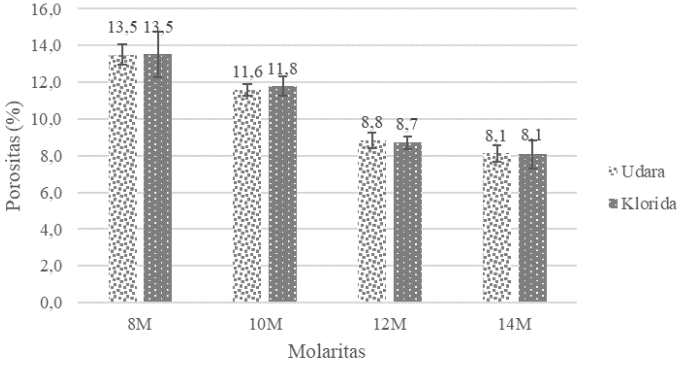
Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda Uji	Porositas				Rata-rata	Standar Deviasi	*Curing*
				W_1	W_2	W_3	%			
14M	28	2%	1	939,7	579,4	914,4	7,0	7,7	0,8	Udara
			2	890	536,1	859,5	8,6			
			3	986,8	603,6	958,4	7,4			
	28	0%	1	959,9	587,6	925,1	9,3	9,1	0,2	
			2	1001	613,8	966,6	8,9			
			3	927,7	567,8	894,7	9,2			
	56	2%	1	1000,3	612,7	970,4	7,7	8,1	0,5	
			2	922	564,7	893,3	8,0			
			3	914,6	555,7	883,7	8,6			
	56	2%	1	907,8	541,1	875,1	8,9	8,1	0,8	Air Laut
			2	889,1	546,3	863,8	7,4			
			3	1033,9	627,8	1002	7,9			



Gambar 4.13 Korelasi Porositas Terhadap Nilai UPV Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari

Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa nilai porositas menurun apabila konsentrasi NaOH bertambah. Konsentrasi NaOH yang lebih tinggi dapat melarutkan jumlah silika yang lebih banyak, sehingga dapat membentuk produk polimerisasi lebih banyak (Duxson dkk, 2007; Dutta dkk, 2010).

Tingginya jumlah produk polimerisasi diduga dapat menurunkan nilai porositas beton geopolimer (P. Chindaprasirt & Chalee, 2014). Apabila ditinjau dari segi komposisi (Tabel 3.19), nilai porositas menurun apabila nilai faktor air semen semakin kecil. Hal tersebut berhubungan dengan kuantitas air yang semakin banyak dapat menimbulkan pori dalam beton karena proses penguapan (Duxson dkk, 2007). Informasi lainnya menunjukkan bahwa porositas memiliki korelasi dengan nilai UPV. Semakin kecil nilai porositas menunjukkan bahwa beton semakin padat. Selain itu, penambahan sukrosa 2% menunjukkan performa porositas yang lebih baik.



Gambar 4.14 Pengaruh Lingkungan Klorida Terhadap Porositas Beton Geopolimer pada Umur 56 Hari

Pengujian porositas pada saat umur 56 hari menunjukkan bahwa lingkungan klorida tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai porositas beton. Hasil ini mendukung data UPV (Gambar 4.12) yang tidak terdampak signifikan juga terhadap lingkungan klorida. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai porositas memiliki korelasi yang kuat terhadap kepadatan beton. Semakin kecil nilai porositas, maka beton semakin padat.

4.2.5 Uji Resistivitas

Pengujian resistivitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton untuk menghambat arus listrik. Semakin besar

nilai hambatan arus listrik pada beton, maka semakin baik ketahanan beton terhadap korosi. Pengujian ini dilakukan pada saat beton mencapai umur 7, 14, 28, dan 56 untuk beton dengan perawatan paparan udara sekitar (*ambient curing*). Beton yang dirawat dengan rendaman klorida hanya diuji pada umur 56 hari. Pengujian ini merupakan uji NDT (*Non-Destructive Test*), sehingga sampel yang diuji sama dengan sampel kuat tekan dan UPV.

Tabel 4.19 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 8M

Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda	Resistivitas kΩcm			Rata-rata	Standar Deviasi	Klasifikasi	*Curing*
8M	7	2%	1	n	n	n	-	-	-	Udara
				n	n	n				
			2	n	n	n				
				n	n	n				
			3	n	n	n				
				n	n	n				
	14	2%	1	n	n	n	-	-	-	
				n	n	n				
			2	n	n	n				
				n	n	n				
			3	n	n	n				
				n	n	n				
	28	2%	1	3,3	3,4	3,5	2,9	0,43	Korosif	
				3,0	2,6	2,8				
			2	2,4	2,5	2,3				
				2,5	2,3	2,5				
			3	3,4	3,4	2,8				
				3,1	3,1	3,4				
	28	0%	1	2,0	2,4	2,0	2,0	0,26	Korosif	
				2,3	1,9	2,1				
			2	1,8	1,9	2,4				
				1,9	2,5	2,4				
			3	1,7	1,7	1,8				
				1,9	1,8	2,0				
	56	2%	1	6,7	5,7	3,9	5,3	1,26	Korosif	
				3,9	7,3	5,4				
			2	4,4	4,6	3,4				
				3,4	5,3	5,0				
			3	7,2	6,4	5,0				
				5,0	6,4	6,8				
	56	2%	1	2,3	3,3	2,6	2,4	0,62	Korosif	Rendaman Klorida
				2,4	2,7	3,0				
			2	3,8	2,7	2,2				
				3,2	2,6	2,7				
			3	2,5	2,8	2,3				
				2,6	2,4	2,4				
			4	1,6	1,4	1,4				
				1,7	1,6	1,6				

Tabel 4.20 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 10M

Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda	Resistivitas kΩcm			Rata-rata	Standar Deviasi	Klasifikasi	*Curing*
10M	7	2%	1	n	n	n	-	-	-	Udara
				n	n	n				
			2	n	n	n				
				n	n	n				
			3	n	n	n				
				n	n	n				
	14	2%	1	1,7	1,6	1,7	1,6	0,18	Korosif	
				1,7	1,6	1,7				
			2	1,9	1,8	1,7				
				1,9	1,7	1,8				
			3	1,5	1,4	1,5				
				1,2	1,6	1,4				
	28	2%	1	4,3	4,2	4,0	3,9	0,47	Korosif	
				4,5	3,7	4,0				
			2	3,7	3,0	3,2				
				3,4	3,3	3,3				
			3	4,3	4,1	4,1				
				4,1	4,4	4,4				
	28	0%	1	4,7	3,6	4,1	3,0	0,81	Korosif	
				3,0	3,8	4,1				
			2	2,7	2,7	3,1				
				3,4	2,7	2,2				
			3	2,6	2,1	2,3				
				2,0	2,1	2,2				
	56	2%	1	5,9	5,2	5,3	5,6	0,45	Korosif	
				5,1	6,7	6,1				
			2	5,4	5,5	5,4				
				5,4	5,9	5,1				
			3	6,0	5,1	5,0				
				5,5	5,6	6,0				
	56	2%	1	3,3	3,2	2,4	2,6	0,41	Korosif	Rendaman Klorida
				2,4	3,1	2,9				
			2	3,5	2,6	2,1				
				2,1	2,5	2,4				
			3	2,9	2,3	2,1				
				2,1	2,5	2,6				
			4	2,9	2,9	2,2				
				2,3	2,6	3,0				

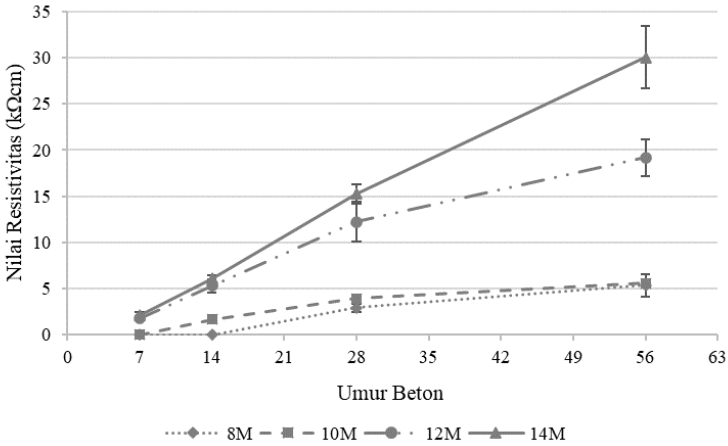
Tabel 4.21 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 12M

Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda	Resistivitas kΩcm			Rata-rata	Standar Deviasi	Klasifikasi	*Curing*
12M	7	2%	1	2,0	2,0	2,0	1,8	0,23	Korosif	Udara
				1,9	2,3	1,8				
			2	1,7	1,9	1,7				
				1,8	1,8	1,8				
			3	1,6	1,4	1,5				
				1,6	1,5	1,5				
	14	2%	1	6,1	6,4	6,1	5,3	0,75	Korosif	
				5,6	5,4	5,3				
			2	5,4	5,3	5,4				
				5,1	6,8	5,3				
			3	4,4	4,8	4,4				
				4,6	4,3	4,2				
	28	2%	1	16,4	14,4	14,6	12,2	2,18	Tidak Terkadi Korosi	
				15,1	14,8	14,4				
			2	10,6	10,4	9,6				
				10,1	9,9	9,7				
			3	12,2	12,2	11,1				
				12,0	11,9	10,6				
	28	0%	1	9,5	8,1	7,2	8,2	1,01	Kemungkinan Terjadi Korosi	
				8,1	8,8	9,1				
			2	8,1	8,2	6,2				
				6,1	8,1	8,0				
			3	8,8	8,8	7,6				
				7,6	9,9	9,0				
	56	2%	1	19,2	17,9	16,9	19,2	2,01	Tidak Terkadi Korosi	
				19,0	18,3	16,3				
			2	20,2	18,9	19,1				
				18,1	17,6	16,0				
			3	23,6	21,3	18,8				
				21,5	21,2	21,3				
	56	2%	1	13,9	14,6	15,2	13,9	0,57	Tidak Terkadi Korosi	Rendaman Klorida
				13,7	14,4	14,3				
			2	13,7	14,1	14,4				
				13,9	14,0	13,3				
			3	14,2	13,3	13,3				
				14,0	13,2	13,0				

Tabel 4.22 Hasil Uji Resistivitas Beton Gepolimer dengan Konsentrasi NaOH 14M

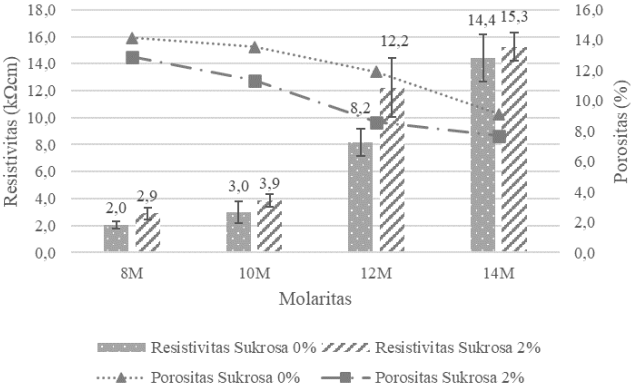
Molaritas	Umur Hari	SP (Sukrosa)	No. Benda	Resistivitas kΩcm			Rata-rata	Standar Deviasi	Klasifikasi	*Curing*
14M	7	2%	1	1,6	1,6	1,5	2,1	0,40	Korosif	Udara
				1,6	1,5	1,6				
			2	2,3	2,4	2,3				
				2,3	2,4	2,3				
			3	2,4	2,7	2,0				
				2,2	2,6	2,2				
	14	2%	1	6,7	6,4	6,5	6,1	0,36	Korosif	
				6,0	6,1	5,8				
			2	6,3	5,9	6,7				
				6,2	6,1	5,6				
			3	5,3	5,9	6,2				
				6,0	5,8	6,0				
	28	2%	1	15,3	15,4	14,3	15,3	1,05	Tidak Terjadi Korosi	
				15,7	14,6	14,5				
			2	15,4	14,8	15,4				
				14,8	13,8	15,1				
			3	17,8	16,4	14,1				
				17,4	14,9	14,8				
	28	0%	1	15,0	14,5	13,1	14,4	1,78	Tidak Terjadi Korosi	
				15,1	14,1	13,2				
			2	12,9	14,3	12,1				
				14,1	12,4	11,2				
			3	16,2	16,6	15,2				
				17,8	14,7	17,1				
	56	2%	1	35,4	32,3	36,0	30,0	3,39	Tidak Terjadi Korosi	
				36,4	32,5	32,3				
			2	29,8	29,4	25,8				
				29,8	26,4	26,7				
			3	28,7	27,4	28,2				
				29,3	26,3	27,8				
	56	2%	1	14,9	15,2	16,8	16,3	1,13	Kemungkinan Terjadi Korosi	Rendaman Klorida
				14,9	16,2	15,2				
			2	19,0	17,4	15,5				
				17,6	16,9	16,8				
			3	16,0	14,7	17,2				
				16,1	16,4	16,5				

Hasil uji resistivitas sesuai dengan tinjauan pustaka yang telah dipelajari oleh peneliti pada sub bab 2.5.7. Nilai resistivitas beton akan berkurang karena berbagai faktor meliputi (1) penambahan porositas beton (Gambar 4.16), (2) penambahan kadar klorida (Gambar 4.17), (3) serta pengurangan karbonasi yang terjadi pada beton (sub bab 4.1.7). Berdasarkan hasil pengujian, nilai resistivitas akan bertambah seiring dengan peningkatan molaritas NaOH pada beton geopolimer.



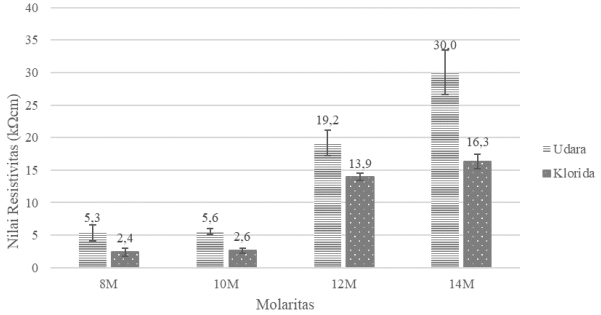
Gambar 4.15 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Resistivitas Beton Geopolimer

Pada saat umur 7 dan 14 hari, sampel 8 molar tidak terdeteksi nilai resistivitasnya. Begitu juga dengan sampel 10 molar saat umur 7 hari. Hal tersebut terjadi karena konduktivitas beton ditentukan oleh konsentrasi ion konduktif dan mikrostrukturnya (Cai dkk, 2020). Salah satu ion konduktif dalam campuran geopolimer adalah ion OH^- yang berasal dari material NaOH (El'kin, 1990; Ho dkk, 2000). Sampel beton yang tidak terdeteksi nilai resistivitasnya kemungkinan karena material alkali NaOH belum bisa bereaksi dengan baik saat umur awal beton, sehingga sampel beton menjadi tidak konduktif. Tidak adanya konduktivitas dalam beton membuat beda potensial tidak terdeteksi, sehingga nilai resistivitas tidak bisa terbaca. Namun demikian, sampel **8M dan 10M tergolong korosif**, sampel **12M dan 14M tidak korosif** saat umur beton lebih dari 28 hari.



Gambar 4.16 Korelasi Nilai Resistivitas Terhadap Porositas Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa nilai resistivitas meningkat apabila porositas beton menurun. Semakin tinggi nilai porositas akan memicu peningkatan arus listrik pada media beton saat melakukan pengujian resistivitas. Peningkatan arus listrik ini akan meningkatkan nilai resistivitas beton. Informasi lainnya mengenai penambahan sukrosa 2% dapat meningkatkan nilai resistivitas beton geopolimer. Hal tersebut juga berkaitan dengan nilai porositas yang lebih rendah apabila dilakukan penambahan sukrosa pada campuran beton geopolimer.



Gambar 4.17 Pengaruh Lingkungan Klorida NaOH Terhadap Resistivitas Beton Geopolimer

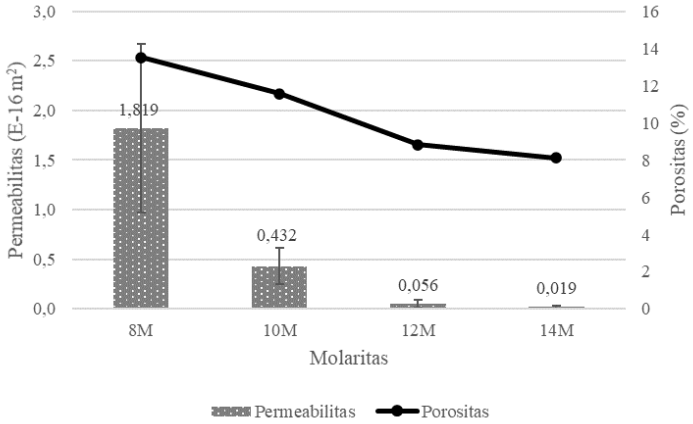
Gambar 4.17 menunjukkan bahwa nilai resistivitas semakin kecil apabila benda uji terpapar lingkungan klorida. Hal ini terjadi karena kandungan klorida dalam beton dapat mempercepat arus listrik. Semakin cepat arus listrik yang mengalir maka nilai resistivitas menjadi turun. Walaupun telah terpapar klorida, sampel beton **12M** dan **14M** tetap memiliki nilai resistivitas diatas 12 kΩcm dengan kategori tidak terjadi korosi (Tabel 2.10)

4.2.6 Uji Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton untuk menahan masuknya cairan atau gas. Parameter permeabilitas merupakan salah satu hal penting untuk mengetahui kemampuan beton melindungi baja tulangan agar tidak terjadi kontak langsung dengan udara luar atau obyek lain yang menyebabkan terjadinya korosi. Semakin kecil nilai porositas, maka performa beton semakin baik. Klasifikasi kualitas beton pada pengujian permeabilitas mengacu pada buku panduan alat *Operating Instruction Permeability Tester TORRENT* (Tabel 2.9). Data pengujian permeabilitas tidak dapat ditampilkan secara lengkap karena terdapat kendala kerusakan alat saat penelitian berlangsung.

Tabel 4. 23 Hasil Uji Permeabilitas Beton Gepolimer

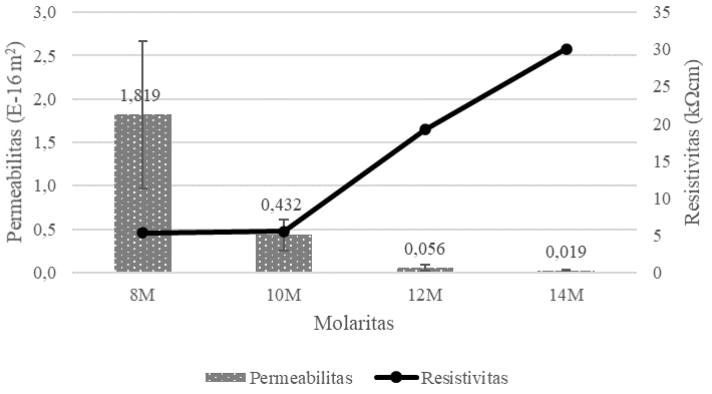
Molaritas	Umur	No. Benda Uji	Permeabilitas		Rata-rata	Standar Deviasi	Klasifikasi	*Curing*
			kT	L	kT			
	Hari		(E-16 m^2)	(mm)	(E-16 m^2)			
8M	105 (56+)	1	1,291	55,3	1,82	0,85	Jelek	Udara
		2	2,797	66,6				
		3	1,368	54,6				
10M	101 (56+)	1	0,618	46,9	0,43	0,18	Normal	Udara
		2	0,422	43,8				
		3	0,256	34,9				
12M	117 (56+)	1	0,023	10,6	0,06	0,04	Baik	Udara
		2	0,046	14,7				
		3	0,098	31,6				
14M	56	1	0,014	8	0,019	0,013	Baik	Udara
		2	0,003	4				
		3	0,038	13,3				
		4	0,026	11,2				
		5	0,016	8,6				



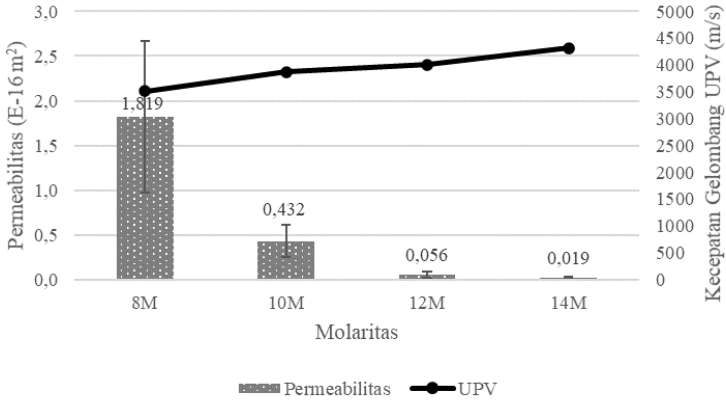
Gambar 4.18 Korelasi Nilai Permeabilitas Terhadap Porositas Beton Geopolimer

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan molaritas dapat meningkatkan nilai permeabilitas beton. Nilai permeabilitas paling baik terdapat pada beton dengan molaritas NaOH **14M** saat berumur 56 hari. Korelasi pengujian permeabilitas dan porositas menunjukkan bahwa nilai permeabilitas semakin kecil apabila presentase porositasnya turun. Sama halnya dengan parameter porositas, nilai permeabilitas akan turun apabila faktor air semen semakin besar. Hal tersebut berkaitan dengan terjadinya penguapan air dalam beton yang menimbulkan pori-pori, sehingga menyebabkan nilai permeabilitasnya buruk (Wimalasiri dkk, 2018).

Sama halnya dengan korelasi permeabilitas terhadap porositas, hasil pengujian resistivitas dan kepadatan beton juga memiliki korelasi terhadap permeabilitas. Semakin baik performa permeabilitas, maka semakin baik pula performa resistivitas dan kepadatan beton. hal tersebut terjadi karena pengujian permeabilitas, porositas, resistivitas, dan kepadatan beton ditentukan oleh kuantitas pori atau rongga di dalam beton.



Gambar 4.19 Korelasi Nilai Permeabilitas Terhadap Resistivitas Beton Geopolimer



Gambar 4.20 Korelasi Nilai Permeabilitas Terhadap Kepadatan Beton Geopolimer

4.2.7 Analisa Visual Beton Geopolimer

Analisa visual dilakukan karena terdapat reaksi karbonasi pada permukaan beton geopolimer pada molaritas tertentu. Beton dengan molaritas NaOH 8M secara visual tidak terjadi reaksi karbonasi pada permukaannya. Reaksi karbonasi mulai terjadi

pada beton dengan molaritas NaOH 10M. Hasil reaksi karbonasi terlihat semakin banyak seiring dengan bertambahnya molaritas NaOH. Hasil reaksi karbonasi ini secara estetika tidak diinginkan karena mengganggu tampilan permukaan struktur bangunan.

a. sampel tanpa permukaan karbonasi

b. sampel dengan hasil karbonasi (H_2O)

c. sampel dengan hasil karbonasi (Na_2CO_3 dan $CaCO_3$)

Gambar 4.21 Karbonasi pada Permukaan Beton Geopolimer

Dari segi analisa kimia, peristiwa karbonasi ini berkaitan dengan reaksi kimia atmosfer antara NaOH dengan CO_2. Persamaan 4.2 menjelaskan proses karbonasi yang mengkasilkan natrium karbonat dan air pada rongga pori maupun permukaan beton geopolimer (Safari, 2016).

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O \quad \text{.....(4.2)}$$

Semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan sebagai campuran beton geopolimer, maka semakin tinggi potensi terjadinya proses karbonasi. Selain itu, proses karbonasi juga dapat berasal dari unsur Ca^{2+} dari sumber material *fly ash*, sehingga beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C berpotensi tinggi menghasilkan reaksi karbonasi (Najafi Kani dkk, 2012). Unsur Ca^{2+} menghasilkan produk hidrasi salah satunya $Ca(OH)_2$. Unsur

$Ca(OH)_2$ bereaksi dengan CO_2 (Pers. 4.3). Reaksi tersebut menghasilkan kalsium karbonat dan air (Peter dkk, 2008).

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \quad \text{.....(4.3)}$$

Proses terjadinya karbonasi tergantung pada tingkat kelembaban kondisi lingkungan, kepadatan material, dan banyaknya unsur yang menyebabkan terjadinya karbonasi. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Temuujin dkk, 2009), proses karbonasi tidak terlihat pada sampel geopolimer yang yang mengalami pengerasan dengan pemanasan pada temperatur 70^o C selama 24 jam. Namun karbonasi terlihat pada sampel yang mengalami pengerasan pada suhu kamar. Hal ini dapat terjadi karena pengerasan pada temperatur kamar terjadi lebih lambat dibandingkan dengan pengerasan dengan proses pemanasan, sehingga sampel geopolimer pada masa pengerasan dengan temperatur kamar akan lebih mudah dimasuki udara (CO_2) (Somna dkk, 2011). Disisi lain, konsentrasi alkali yang tinggi membantu meningkatkan proses terjadinya karbonasi (Temuujin & van Riessen, 2009).

4.3 Implementasi Prototipe Beton Geopolimer di Lingkungan Klorida

Implementasi beton geopolimer sebagai material konstruksi memiliki berbagai kendala. Berdasarkan penelitian terdahulu (Ling dkk, 2019; Tajunnisa dkk, 2019), terdapat tiga permasalahan utama yang menyebabkan beton geopolimer berbasis *high-calcium fly ash* sulit untuk diimplementasikan, yaitu:

4. Kompleksitas *mix design* beton geopolimer
5. Peningkatan performa yang lambat pada kondisi perawatan temperatur normal
6. Workabilitas rendah

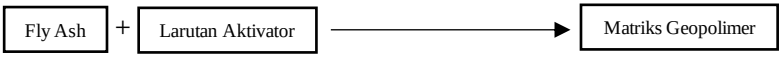
Berbagai penelitian mengenai *mix design* geopolimer berbasis *high-calcium fly ash* telah dilakukan untuk mendapatkan performa geopolimer yang baik. Sebagian besar penelitian menggunakan *mix design* yang sangat bervariasi dan menghasilkan performa

beton yang berbeda-beda (Bingöl & Tohumcu, 2013; P. Chindaprasirt & Chalee, 2014; Yusuf dkk, 2014; Phoo-Ngernkham dkk, 2018). Banyaknya variasi *mix design* disebabkan karena tidak ada standar sebagai acuannya. Selain itu, komposisi kimia dalam *fly ash* juga berbeda pada setiap PLTU. Sehingga penyesuaian *mix design* perlu dilakukan berdasarkan karakteristik *fly ash* untuk mendapatkan performa beton yang diinginkan. Penelitian pada tugas akhir ini telah melakukan penyesuaian *mix design* dari penelitian sebelumnya (Phoo-Ngernkham dkk, 2018) dengan menggunakan *fly ash* lokal dari PLTU PT.YTL Jawa Timur.

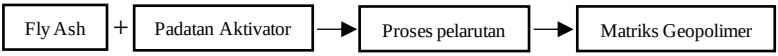
Permasalahan lain mengenai perawatan beton geopolimer yang menggunakan suhu tinggi sebagai sarana peningkatan performa beton seperti pada penelitian sebelumnya (Hardjito & Rangan, 2005; B Rangan dkk, 2006; Nguyen dkk, 2019; J. Wang dkk, 2020) sangat membatasi implementasi beton geopolimer karena memerlukan alat perawatan khusus. Penelitian pada tugas akhir ini menerapkan perawatan dengan paparan udara sekitar (ambient curing) untuk mengatasi keterbatasan tersebut.

Permasalahan mengenai workabilitas juga merupakan hal yang perlu diselesaikan untuk mempermudah implementasi beton sebagai material konstruksi. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Olivia & Nikraz, 2012; Nath & Sarker, 2014) beton geopolimer lebih sulit untuk dicetak daripada beton konvensional karena memiliki workabilitas rendah. Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan metode kering untuk meningkatkan workabilitas beton geopolimer. Penerapan metode kering sangat efektif untuk mempermudah pengerjaan beton karena mekanisme reaksi pada beton geopolimer dapat terhambat. Penghambatan reaksi terjadi karena alkali aktivator berupa padatan, sehingga reaksi yang terjadi menjadi lebih lambat dibandingkan menggunakan alkali aktivator berupa cairan. Padatan alkali aktivator melalui proses pelarutan (Gambar 4.22), sehingga dapat memperpanjang waktu ikat yang menyebabkan workabilitas beton menjadi rendah. Hal tersebut merupakan salah satu solusi dari permasalahan workabilitas rendah

pada beton geopolimer berbasis fly ash tipe C. Metode kering menghasilkan workabilitas tinggi namun masih menjaga mutu beton tetap mencapat standar. Penelitian beton geopolimer menggunakan metode kering sangat direkomendasikan untuk dilanjutkan hingga dapat diimplementasikan sebagai elemen struktur bangunan. Sketsa mekanisme perbedaan metode basah dengan metode kering dapat dilihat sebagai berikut.



(A) Mekanisme Metode Basah



(B) Mekanisme Metode Kering

Gambar 4.22 Perbedaan Proses Mekanisme Metode Basah dan Metode Kering

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya, beton geopolimer berbasis *high-calcium fly ash* memiliki potensi untuk diimplementasikan sebagai material konstruksi di lingkungan klorida. Berbagai kendala mengenai *mix design*, perawatan beton, maupun workabilitas beton telah diselesaikan. Performa beton dengan molaritas NaOH **12M** dan **14M** telah memenuhi syarat kuat tekan untuk lingkungan klorida yaitu >35 MPa (SNI 2847-2019 pasal 19.3.2). Selain itu, performa UPV, porositas, resistivitas, permeabilitas dan workabilitas beton juga menunjukkan hasil yang memenuhi standar dengan perawatan beton yang lebih ekonomis (*ambient curing*). Performa beton geopolimer juga mengalami sedikit peningkatan setelah mengalami paparan terhadap lingkungan klorida (NaCl). Kenaikan performa beton geopolimer diduga karena adanya pertukaran ion Cl^- dari larutan NaCL dengan ion OH^- yang merupakan hasil reaksi hidrasi pada beton geopolimer. Hasil reaksi hidrasi yang terjadi pada geopolimer merupakan hidrat AFm (*Aluminate Ferrite mono*) dengan tambahan ion OH^- yang sangat rentan terhadap pertukaran

ion (Damidot & Glasser, 1995). Hidrat AFm tersebut memiliki rumus kimia sebagai berikut:

$$[Ca_2Al(OH^-)_6.nH_2O]^+\text{-}OH^- \quad \text{.....(4.4)}$$

Hidrat AFm Ion OH^-

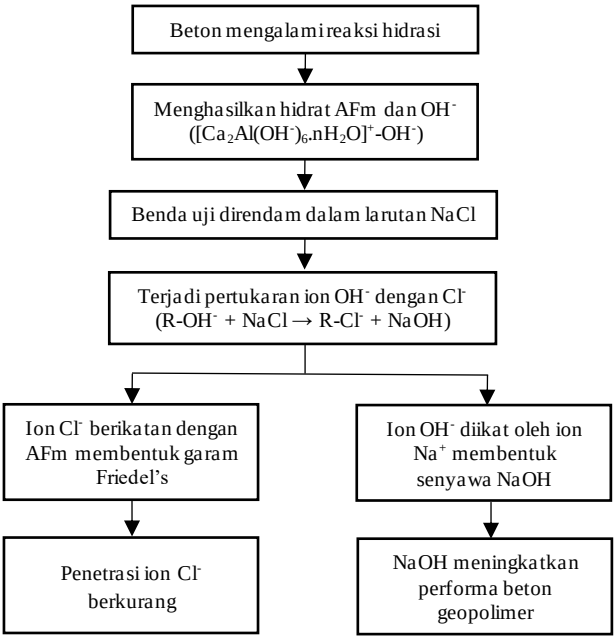
Hasil reaksi hidrasi pada persamaan 4.4 tersebut merupakan senyawa yang tidak stabil, sehingga saat mengalami kontak dengan ion Cl^- yang berasal dari larutan NaCl akan rentan mengalami pertukaran ion. Persamaan 4.5 menjelaskan mekanisme pertukaran ion OH^- dengan ion Cl^- (Suryavanshi dkk, 1996).

$$R\text{-}OH^- + NaCl \rightarrow R\text{-}Cl^- + NaOH \quad \text{.....(4.5)}$$

Simbol "R" merupakan interpretasi dari hidrat AFm $[Ca_2Al(OH^-)_6.nH_2O]^+$. Nilai "n" tergantung pada jenis hidrat AFm yang berpartisipasi dalam reaksi (Suryavanshi dkk, 1996). Oleh karena itu, pernyataan tentang ketidakseimbangan muatan ion dalam larutan tidak bisa dituliskan. Hidrat AFm yang telah bereaksi dengan ion Cl^- akan menghasilkan garam Friedel's ($3CaO.Al_2O_3.CaCl.nH_2O$), sehingga ion Cl^- yang diserap oleh beton akan berkurang (He dkk, 2019). Pengurangan penetrasi ion Cl^- pada beton geopolimer mengarah kepada peningkatan durabilitas beton. Selain itu, ion OH^- akan diikat oleh ion Na^+ dari larutan NaCl menjadi senyawa NaOH. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, senyawa NaOH berperan penting terhadap peningkatan performa beton geopolimer. Diagram alir terjadinya peningkatan performa akibat rendaman larutan klorida dapat dilihat pada gambar 4.23.

Penggunaan metode kering sebagai alternatif pencampuran beton geopolimer merupakan inovasi yang perlu dikembangkan karena praktis dalam penerapannya. Penelitian lebih lanjut mengenai mekanisme polimerisasi terhadap durabilitas di

lingkungan klorida pada metode kering perlu dilakukan untuk memaksimalkan potensi penerapannya.



Gambar 4.23 Mekanisme Peningkatan Performa Akibat Rendaman Klorida

4.4 Perbandingan Biaya Beton Geopolimer dengan Beton Konvensional

Rincian perbandingan biaya produksi per meter kubik untuk beton geopolimer dengan beton geopolimer dibahas pada sub-bab ini.

4.4.1 Biaya Produksi Beton Geopolimer

Berikut ini adalah komposisi beton geopolimer yang akan digunakan sebagai acuan perhitungan biaya produksi.

Tabel 4.24 Komposisi Beton Geopolimer

Material	8M	10M	12M	14M
	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³
Fly Ash	600,5	600,5	600,5	600,5
Pasir	504,6	507,9	510,6	512,7
Kerikil	1133,1	1140,6	1146,7	1151,4
NaOH	30,6	36,6	42,4	48,1
Na_2SiO_3	55,9	55,9	55,9	55,9
SP (Sukrosa)	12,0	12,0	12,0	12,0
BJ Beton	2490,4	2501,2	2510,0	2516,8

Jumlah masing-masing material yang dibutuhkan untuk membuat beton geopolimer tersebut akan dikalikan dengan harga material per kilogram untuk mengetahui biaya produksi per meter kubik. Tinjauan harga material berdasarkan skala retail dan komersial.

Tabel 4.25 Daftar Harga Material untuk Beton Geopolimer

Daftar Harga			
Skala Retail		Skala Komersial	
Material	Harga	Material	Harga
Fly Ash	Rp 125	*Fly Ash*	Rp 125
Pasir	Rp 148	Pasir	Rp 148
Kerikil	Rp 197	Kerikil	Rp 197
NaOH	Rp 10.000	NaOH	Rp 5.000
Na_2SiO_3	Rp 10.000	Na_2SiO_3	Rp 3.000
SP (Sukrosa)	Rp 23.000	SP (Sukrosa)	Rp 13.000

Hasil perhitungan biaya produksi beton geopolimer dengan variasi molaritas NaOH 8M hingga 14M dapat dilihat pada Tabel 4.26. Harga produksi berada pada kisaran Rp 1.500.000 – Rp 1.700.000 per meter kubik untuk skala retail dan Rp 850.000 – Rp 950.000 untuk skala komersial.

Tabel 4.26 Harga Produksi Beton Geopolimer dari Segi Material

Material	Harga Skala Retail			
	8M	10M	12M	14M
Fly Ash	Rp 75.065	Rp 75.065	Rp 75.065	Rp 75.065
Pasir	Rp 74.678	Rp 75.171	Rp 75.572	Rp 75.880
Kerikil	Rp 223.223	Rp 224.696	Rp 225.897	Rp 226.816
NaOH	Rp 305.828	Rp 366.330	Rp 423.991	Rp 480.715
Na_2SiO_3	Rp 558.828	Rp 558.828	Rp 558.828	Rp 558.828
SP (Sukrosa)	Rp 276.240	Rp 276.240	Rp 276.240	Rp 276.240
Total Harga	Rp 1.513.861	Rp 1.576.329	Rp 1.635.593	Rp 1.693.544
Material	**Harga Skala Komersial**			
	8M	**10M**	**12M**	**14M**
Fly Ash	Rp 75.065,2	Rp 75.065,2	Rp 75.065,2	Rp 75.065,2
Pasir	Rp 74.677,8	Rp 75.170,6	Rp 75.572,3	Rp 75.879,9
Kerikil	Rp 223.222,5	Rp 224.695,8	Rp 225.896,5	Rp 226.816,0
NaOH	Rp 152.914,0	Rp 183.165,0	Rp 211.995,7	Rp 240.357,5
Na_2SiO_3	Rp 167.648,3	Rp 167.648,3	Rp 167.648,3	Rp 167.648,3
SP (Sukrosa)	Rp 156.135,7	Rp 156.135,7	Rp 156.135,7	Rp 156.135,7
Total Harga	Rp 849.663	Rp 881.881	Rp 912.314	Rp 941.903

4.4.2 Biaya Produksi Beton Konvensional

Perhitungan biaya produksi beton konvensional perlu dilakukan sebagai pembanding terhadap harga beton geopolimer. Tabel 4.27 merupakan komposisi beton konvensional yang akan digunakan sebagai acuan perhitungan biaya produksi. Komposisi tersebut mengacu pada Tabel A-4 Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Tabel tersebut berisi informasi mengenai perbandingan komposisi semen, pasir, dan kerikil yang akan digunakan pada masing-masing mutu beton yang tersedia.

Tabel 4.27 Komposisi campuran beton semen dan bahan tambah terhadap berat

Mutu		Semen	Pasir	Kerikil	Koefisien	SP
MPa	K	Perbandingan			variasi	%
50	K-600	1	1,5	2,3	3%	0,15-0,3 Berat Semen
		1	1,4	2,1	6%	
45	K-500	1	1,6	2,3	3%	
		1	1,5	2,3	6%	
40	K-450	1	1,7	2,6	3%	
		1	1,5	2,4	6%	
35	K-400	1	1,7	2,6	3%	
		1	1,6	2,4	6%	
30	K-350	1	1,9	2,8	3%	
		1	1,7	2,6	6%	
25	K-300	1	1,9	2,8	3%	
		1	1,8	2,7	6%	
20	K-250	1	2,1	3,1	3%	
		1	1,9	2,9	6%	
15	K-175	1	2,3	3,4	3%	Tidak Diperlukan
		1	2,1	3,2	6%	
10	K-125	1	2,5	3,8	3%	
		1	2,3	3,5	6%	

Sumber: Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No 28/PRT/M/2016.

Perhitungan biaya dilakukan pada komposisi dengan koefisien variasi terbesar (6%). Hal tersebut berhubungan dengan koefisien variasi beton geopolimer yang tergolong relatif besar. Setelah mengetahui perbandingan komposisinya, perhitungan berat material per meter kubik perlu dilakukan sebagai acuan biaya produksi.

Tabel 4.28 Komposisi Beton Konvensional Berdasarkan Mutu

Mutu		Semen	Pasir	Kerikil	SP	Massa Jenis
MPa	K	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3
50	K-600	533,33	746,67	1120,00	1,60	2400
45	K-500	500,00	750,00	1150,00	1,50	2400
40	K-450	489,80	734,69	1175,51	1,47	2400
35	K-400	480,00	768,00	1152,00	1,44	2400
30	K-350	452,83	769,81	1177,36	1,36	2400
25	K-300	436,36	785,45	1178,18	1,31	2400
20	K-250	413,79	786,21	1200,00	1,24	2400
15	K-175	380,95	800,00	1219,05	1,14	2400
10	K-125	352,94	811,76	1235,29	1,06	2400

Jumlah masing-masing material yang dibutuhkan untuk membuat beton konvensional tersebut akan dikalikan dengan harga material per kilogram untuk mengetahui biaya produksi per meter kubik.

Tabel 4.29 Daftar Harga Material untuk Beton Konvensional

Daftar Harga	
Material	Harga/kg
RS (Pasir)	Rp 148
LS (Kerikil)	Rp 197
Semen	Rp 1.400
SP *Water Retarder*	Rp 40.000

Hasil perhitungan biaya produksi beton konvensional dengan mutu 10-50 MPa dapat dilihat pada Tabel 4.30. Harga produksi berada pada kisaran Rp 900.000 – Rp 1.200.000 per meter kubik.

Tabel 4.30 Harga Produksi Beton Konvensional dari Segi Material

Mutu		Semen	Pasir	Kerikil	SP	Total Harga
MPa	K					
50	K-600	Rp 746.667	Rp 110.507	Rp 220.640	Rp 64.000	Rp 1.141.813
45	K-500	Rp 700.000	Rp 111.000	Rp 226.550	Rp 60.000	Rp 1.097.550
40	K-450	Rp 685.714	Rp 108.735	Rp 231.576	Rp 58.776	Rp 1.084.800
35	K-400	Rp 672.000	Rp 113.664	Rp 226.944	Rp 57.600	Rp 1.070.208
30	K-350	Rp 633.962	Rp 113.932	Rp 231.940	Rp 54.340	Rp 1.034.174
25	K-300	Rp 610.909	Rp 116.247	Rp 232.102	Rp 52.364	Rp 1.011.622
20	K-250	Rp 579.310	Rp 116.359	Rp 236.400	Rp 49.655	Rp 981.724
15	K-175	Rp 533.333	Rp 118.400	Rp 240.152	Rp 45.714	Rp 937.600
10	K-125	Rp 494.118	Rp 120.141	Rp 243.353	Rp 42.353	Rp 899.965

4.4.3 Perbandingan Biaya Produksi

Perbandingan biaya produksi beton geopolimer dengan beton konvensional menyesuaikan mutu beton pada saat umur 28 hari. Penyesuaian mutu beton berkisar pada rentang 20-50 MPa. Tabel 4.31 menunjukkan perbandingan biaya produksinya.

Tabel 4.31 Perbandingan Biaya Produksi Beton Geopolimer dengan Beton Konvensional dari Segi Material

Skala Retail					
Molaritas Beton Geopolimer	Mutu Beton Geopolimer MPa	Harga	Mutu Beton Konvensional MPa	Harga	Selisih %
8M	18,0	Rp 1.513.861	20	Rp 981.724	54,20
10M	26,6	Rp 1.576.329	25	Rp 1.011.622	55,82
12M	52,4	Rp 1.635.593	50	Rp 1.141.813	43,25
14M	65,0	Rp 1.693.544	50	Rp 1.141.813	48,32
Skala Komersial					
Molaritas Beton Geopolimer	Mutu Beton Geopolimer MPa	Harga	Mutu Beton Konvensional MPa	Harga	Selisih %
8M	18,0	Rp 849.663	20	Rp 981.724	15,54
10M	26,6	Rp 881.881	25	Rp 1.011.622	14,71
12M	52,4	Rp 912.314	50	Rp 1.141.813	25,16
14M	65,0	Rp 941.903	50	Rp 1.141.813	21,22

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga produksi beton geopolimer lebih mahal **43-56%** dibandingkan dengan beton

konvensional. Tinjauan skala retail pada tugas akhir ini menyebabkan harga beton geopolimer lebih tinggi dibandingkan beton konvensional. Setelah ditinjau dari segi harga pada skala komersial, beton geopolimer lebih murah **15-21%**. Harga beton geopolimer yang lebih ekonomis sangat mendukung terwujudnya implementasi beton pada konstruksi skala besar.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berbagai pengujian dan analisa mengenai material penyusun maupun performa beton geopolimer berbasis *high-calcium fly ash* dengan variasi NaOH 8M hingga 14M telah dilakukan. Hasil utama yang diperoleh dari Tugas Akhir ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian XRF, material fly ash tergolong sebagai fly ash tipe C (*high-calcium fly* ash). Selain itu, analisa XRD menunjukkan bahwa *fly ash* mengandung padatan amorf 54,72% dan kristalin 45,28%.
2. Peningkatan molaritas NaOH dengan metode pencampuran kering dapat meningkatkan performa beton geopolimer berbasis *high calcium fly ash* meliputi kuat tekan, kepadatan (UPV), porositas, resistivitas, maupun permeabilitas. Namun Pengujian slump sebagai indikator workabilitas beton menunjukkan bahwa penambahan molaritas NaOH tidak mengalami perubahan yang signifikan dengan rentang nilai slump 210-230 mm. Walaupun demikian, nilai slump beton geopolimer telah memenuhi SNI 1972:2008 dengan standar rentang nilai 15 - 230 mm. Selain itu, penambahan sukrosa sebagai *superplasticizer* dapat meningkatkan performa maupun workabilitas beton geopolimer.
3. Beton geopolimer dengan molaritas NaOH **12M** dan **14M** direkomendasikan sebagai material konstruksi di lingkungan klorida karena telah memenuhi syarat kuat tekan >35MPa saat berumur 28 hari (SNI 2847-2019 Pasal 19.3.2). Selain itu, performa UPV, porositas, resistivitas beton juga menunjukkan hasil yang baik. Walaupun hasil pengujian menunjukkan performa yang cukup baik, implementasi prototipe geopolimer ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai durabilitas beton geopolimer untuk mengetahui durabilitas beton pada lingkungan klorida.

4. Hasil perhitungan biaya produksi menunjukkan bahwa harga material beton geopolimer dengan metode pencampuran kering lebih mahal **43-56%** dibandingkan dengan beton konvensional. Tinjauan skala retail pada tugas akhir ini menyebabkan harga beton geopolimer lebih tinggi dibandingkan beton konvensional. Setelah dilakukan tinjau dari segi harga pada skala komersial, beton geopolimer lebih ekonomis **15-21%**.

5.2 Saran

Sebagai kontribusi untuk meminimalisasi kesalahan maupun kekurangan pada penelitian selanjutnya, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Sampel dibuat lebih dari 3 benda uji dengan ukuran yang sama untuk meminimalisasi nilai standar deviasi. Letakkan seluruh sampel beton pada ruangan dengan suhu yang sama.
2. Pastikan kondisi agregat kering sebelum melakukan pengecoran.
3. Jangka waktu curing klorida yang terlalu singkat tidak mempengaruhi performa beton secara signifikan. Penelitian dengan perawatan klorida dalam jangka panjang atau menggunakan metode percepatan korosi perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh klorida terhadap performa beton.
4. Usahakan untuk melakukan pembuatan dan pengujian material maupun beton dalam kondisi suhu dan kelembaban yang sama. Apabila hal tersebut dilakukan pada kondisi lingkungan yang berbeda, catat suhu dan kelembabannya sebagai parameter pertimbangan hasil penelitian.
5. Cek suhu beton segar untuk mengetahui pengaruh sukrosa terhadap suhu. Perubahan suhu dapat dikorelasikan dengan pembentukan kalsium aluminat hidrat yang menyebabkan *flash setting.*

DAFTAR PUSTAKA

Anand, S., Vrat, P., & Dahiya, R. P. (2006). Application of a system dynamics approach for assessment and mitigation of CO2 emissions from the cement industry. *Journal of Environmental Management*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.007

Antonovič, V., Keriene, J., Boris, R., & Aleknevičius, M. (2013). The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure. *Procedia Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.015

Bakharev, T. (2005). Geopolymeric materials prepared using Class F fly ash and elevated temperature curing. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.031

Banthia, N., Biparva, A., & Mindess, S. (2005). Permeability of concrete under stress. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.044

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*. https://doi.org/10.1063/1.5003505

Bingöl, A. F., & Tohumcu, I. (2013). Effects of different curing regimes on the compressive strength properties of self compacting concrete incorporating fly ash and silica fume. *Materials and Design*. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.106

Borm, P. J. A. (1997). Toxicity and occupational health hazards of coal fly ash (CFA). A review of data and comparison to coal mine dust. In *Annals of Occupational Hygiene*. https://doi.org/10.1016/S0003-4878(97)00026-4

Cai, J., Pan, J., Li, X., Tan, J., & Li, J. (2020). Electrical resistivity of fly ash and metakaolin based geopolymers. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117868

Chindaprasirt, P., & Chalee, W. (2014). Effect of sodium

hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.010

Chindaprasirt, Prinya, Jaturapitakkul, C., Chalee, W., & Rattanasak, U. (2009). Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste Management*. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.023

Damidot, D., & Glasser, F. P. (1995). Thermodynamic investigation of the CaO - Al2O3-CaSO4-CaCO3-H2O closed system at 25 °C and the influence of Na2O. *Advances in Cement Research*. https://doi.org/10.1680/adcr.1995.7.27.129

Darmawan, M. S., Bayuaji, R., Husin, N. A., Chomaedhi, & Saud, I. (2015). A case study of low compressive strength of concrete containing fly ash in East Java Indonesia. *Procedia Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.064

Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*.

Davidovits, J. (2011). Application of Ca-based geopolymer with blast furnace slag , a review. *Proceeding of the Second International Slag Valorisation Symposium*.

Davidovits, J. (2013). Geopolymer Cement. In *Geopolymer chemistry and Applications*.

Diaz, E. I., Allouche, E. N., & Eklund, S. (2010). Factors affecting the suitability of fly ash as source material for geopolymers. *Fuel*. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.09.012

Dutta, D., Thokchom, S., Ghosh, P., & Ghosh, S. (2010). Effect of silica fume additions on porosity of fly ash geopolymers. *Journal of Engineering and Applied Sciences*.

Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & Van Deventer, J. S. J. (2007). Geopolymer technology: The current state of the art. *Journal of Materials Science*. https://doi.org/10.1007/s10853-006-0637-z

Duxson, Peter, Lukey, G. C., & Van Deventer, J. S. J. (2007). Physical evolution of Na-geopolymer derived from metakaolin up to 1000 °c. *Journal of Materials Science*. https://doi.org/10.1007/s10853-006-0535-4

El'kin, B. S. (1990). *Solid NaOH and KOH as superionic proton conductors conductivity and its isotope effect*. *37*, 139–148.

Fernández-Jiménez, A., & Palomo, A. (2005). Composition and microstructure of alkali activated fly ash binder: Effect of the activator. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.003

Frederick K., L., & Edward J., T. (2000). *Essentials of Geology*. Prentice Hall College Div.

Gifford, P. M., & Gillott, J. E. (1997). Behaviour of mortar and concrete made with activated blast furnace slag cement. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *24*(2), 237–249. https://doi.org/10.1139/l96-099

Glasby, T., Day, J., Genrich, R., Aldred, J., Day, J., Genrich, R., & Aldred, J. (2015). EFC geopolymer concrete aircraft pavements at Brisbane West Wellcamp Airport. *Concrete 2015*.

Glasby, T., Day, J., Genrich, R., & Kemp, M. (2015). *Commercial Scale Geopolymer Concrete Construction*. 1–11.

Goergens, J., Manninger, T., & Goetz-Neunhoeffer, F. (2020). In-situ XRD study of the temperature-dependent early hydration of calcium aluminate cement in a mix with calcite. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106160

Gourley, J. T. (2003). Geopolymers; opportunities for environmentally friendly construction materials. *Materials 2003 Conference: Adaptive Materials for a Modern Society, Sydney, Institute of Materials Engineering Australia*.

Gunasekara, C., Law, D., Bhuiyan, S., Setunge, S., & Ward, L. (2019). Chloride induced corrosion in different fly ash based geopolymer concretes. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.168

Hanjitsuwan, S., Hunpratub, S., Thongbai, P., Maensiri, S., Sata, V., & Chindaprasirt, P. (2014). Effects of NaOH concentrations on physical and electrical properties of high calcium fly ash geopolymer paste. *Cement and Concrete Composites*. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.012

Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. In *Research report GC*.

Haynes, R. J. (2009). Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites - Challenges and research needs. In *Journal of Environmental Management*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.003

He, W., Liu, C., & Zhang, L. (2019). Effects of sodium chloride on the mechanical properties of slag composite matrix geopolymer. *Advances in Cement Research*, *31*(9), 389–398. https://doi.org/10.1680/jadcr.18.00029

Ho, P. C., Palmer, D. A., & Wood, R. H. (2000). Conductivity measurements of dilute aqueous LiOH, NaOH, and KOH solutions to high temperatures and pressures using a flow-through cell. *Journal of Physical Chemistry B*.

Ikomudin, R. A., Herbudiman, B., & Irawan, R. R. (2016). *Ketahanan Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash terhadap Sulfat dan Klorida*. *2*(4), 1–11.

Jarman. (2019). Limbah Abu Batu Bara pada 2019 Capai 8,31 Juta Ton. *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*.

Khale, D., & Chaudhary, R. (2007). Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: A review. *Journal of Materials Science*. https://doi.org/10.1007/s10853-006-0401-4

Khan, A., Toufiq, A. M., Tariq, F., Khan, Y., Hussain, R., Akhtar, N., & Rahman, S. U. (2019). Influence of Fe doping on the structural, optical and thermal properties of α-MnO2 nanowires. *Materials Research Express*. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab0aaf

Kusbiantoro, A., Ibrahim, M. S., Muthusamy, K., & Alias, A. (2013). Development of Sucrose and Citric Acid as the Natural based Admixture for Fly Ash based Geopolymer. *Procedia Environmental Sciences*. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.075

Lafhaj, Z., Goueygou, M., Djerbi, A., & Kaczmarek, M. (2006). Correlation between porosity, permeability and ultrasonic parameters of mortar with variable water / cement ratio and water content. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.11.009

Lehne, J., & Preston, F. (2018). Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. In *Chatham House Report*.

Ling, Y., Wang, K., Wang, X., & Hua, S. (2019). Effects of mix design parameters on heat of geopolymerization, set time, and compressive strength of high calcium fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116763

Lloyd, N. S., Chenery, S. R. N., & Parrish, R. R. (2009). The distribution of depleted uranium contamination in Colonie, NY, USA. *Science of the Total Environment*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.024

Ma, Y., Hu, J., & Ye, G. (2013). The pore structure and permeability of alkali activated fly ash. *Fuel*. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.05.034

Mantoro, B. (2019, February 16). Kemenhub Dorong Optimalisasi Angkutan Laut Perintis Melalui Jalur Tol Laut Selatan Jawa. *Direktorat Jendral Perhubungan Laut*. http://hubla.dephub.go.id/berita/Pages/KEMENHUB-DORONG-OPTIMALISASI-ANGKUTAN-LAUT-PERINTIS-MELALUI-JALUR-TOL-LAUT-SELATAN-JAWA.aspx

Mustafa Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Khairul Nizar, I., Bnhussain, M., Zarina, Y., & Rafiza, A. R. (2012). Correlation between Na2SiO3/NaOH ratio and fly

ash/alkaline activator ratio to the strength of geopolymer. *Advanced Materials Research*. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.341-342.189

Najafi Kani, E., Allahverdi, A., & Provis, J. L. (2012). Efflorescence control in geopolymer binders based on natural pozzolan. *Cement and Concrete Composites*. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.07.007

Nath, P., & Sarker, P. K. (2014). Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080

Navarro-Pardo, F., Martínez-Barrera, G., Martínez-Hernández, A. L., Castaño, V. M., Rivera-Armenta, J. L., Medellín-Rodríguez, F., & Velasco-Santos, C. (2013). Effects on the thermo-mechanical and crystallinity properties of nylon 6,6 electrospun fibres reinforced with one dimensional (1D) and two dimensional (2D) carbon. *Materials*. https://doi.org/10.3390/ma6083494

Nguyen, T. T., Goodier, C. I., & Austin, S. A. (2019). Factors effecting the slump and compressive strength of geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, *261*, 119945. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119945

Olivia, M., & Nikraz, H. (2012). Properties of fly ash geopolymer concrete designed by Taguchi method. *Materials and Design*. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.10.036

Palomo, Á., Fernández-Jiménez, A., López-Hombrados, C., & Lleyda, J. L. (2007). Railway sleepers made of alkali activated fly ash concrete. *Revista Ingenieria de Construccion*. https://doi.org/10.4067/S0718-50732007000200001

Palomo, A., Grutzeck, M. W., & Blanco, M. T. (1999). Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/S0008-

8846(98)00243-9

Peter, M. A., Muntean, A., Meier, S. A., & Böhm, M. (2008). Competition of several carbonation reactions in concrete: A parametric study. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.09.003

Phoo-Ngernkham, T., Phiangphimai, C., Damrongwiriyanupap, N., Hanjitsuwan, S., Thumrongvut, J., & Chindaprasirt, P. (2018). A Mix Design Procedure for Alkali-Activated High-Calcium Fly Ash Concrete Cured at Ambient Temperature. *Advances in Materials Science and Engineering*. https://doi.org/10.1155/2018/2460403

Polder, R. B. (2001). Test methods for on site measurement of resistivity of concrete - a RILEM TC-154 technical recommendation. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00061-1

Rakngan, W., Williamson, T., Ferron, R. D., Sant, G., & Juenger, M. C. G. (2018). Controlling workability in alkali-activated Class C fly ash. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.174

Rangan, B, Wallah, S., Sumajouw, D., & Hardjito, D. (2006). Heat-cured, low-calcium, fly ash-based geopolymer concrete. *Indian Concrete Journal*, *80*, 47–52.

Rangan, BV, & Hardjito, D. (2005). Studies on fly ash-based geopolymer concrete. *Proc. 4th World …*.

Rangan, B. V. (2008). FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE. *Engineering Faculty Curtin University of Technology Perth, Australia*, 3124–3130. https://doi.org/10.1007/s10853-006-0523-8

Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.03.022

Rattanasak, U., Pankhet, K., & Chindaprasirt, P. (2011). Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. https://doi.org/10.1007/s12613-011-0448-3

Ren, D., Yan, C., Duan, P., Zhang, Z., Li, L., & Yan, Z. (2017). Durability performances of wollastonite, tremolite and basalt fiber-reinforced metakaolin geopolymer composites under sulfate and chloride attack. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.103

Risdanareni, P., Puspitasari, P., & Januarti Jaya, E. (2017). Chemical and Physical Characterization of Fly Ash as Geopolymer Material. *MATEC Web of Conferences*. https://doi.org/10.1051/matecconf/20179701031

Ryu, G. S., Lee, Y. B., Koh, K. T., & Chung, Y. S. (2013). The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.069

Safari, S. (2016). Early-age mechanical Properties and Electrical Resistivity of Geopolymer Composites. *Thesis, April*.

Si, R., Guo, S., Dai, Q., & Wang, J. (2020). Atomic-structure, microstructure and mechanical properties of glass powder modified metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119303

Simon, A. H. (2018). Handbook of Thin Film Deposition. In *Handbook of Thin Film Deposition*. https://doi.org/10.1016/c2016-0-03243-6

Smith, K. R., Veranth, J. M., Kodavanti, U. P., Aust, A. E., & Pinkerton, K. E. (2006). Acute pulmonary and systemic effects of inhaled coal fly ash in rats: Comparison to ambient environmental particles. *Toxicological Sciences*, *93*(2), 390–399. https://doi.org/10.1093/toxsci/kfl062

Somna, K., Jaturapitakkul, C., Kajitvichyanukul, P., & Chindaprasirt, P. (2011). NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature. *Fuel*. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.01.018

Suryavanshi, A. K., Scantlebury, J. D., & Lyon, S. B. (1996).

Mechanism of Friedel's salt formation in cements rich in tri-calcium aluminate. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(96)85009-5

Tajunnisa, Y., Bayuaji, R., Husin, N. A., Wibowo, Y. N., & Shigeishi, M. (2019). Characterization alkali-activated mortar made from fly ash and sandblasting. *International Journal of GEOMATE*. https://doi.org/10.21660/2019.60.24636

Tajunnisa, Y., Shigeishi, M., Bayuaji, R., & Darmawan, M. S. (2019). Reliability of alkali-activated and Portland cement mortar under compressive test by acoustic emission. *International Journal of GEOMATE*. https://doi.org/10.21660/2019.60.70515

Tajunnisa, Y., Sugimoto, M., Sato, T., Ekaputri, J. J., & Shigeishi, M. (2016). *Characterization of Low Calcium Fly Ash For Geopolymer Paste*. *August*.

Tajunnisa, Y., Sugimoto, M., Sato, T., & Shigeishi, M. (2017). A study on factors affecting geopolymerization of low calcium fly ash. *International Journal of GEOMATE*. https://doi.org/10.21660/2017.36.84153

Tajunnisa, Y., Sugimoto, M., Uchinuno, T., Sato, T., Toda, Y., Hamasaki, A., Yoshinaga, T., Shida, K., & Shigeishi, M. (2017a). Effect of GGBFS and micro-silica on mechanical properties, shrinkage and microstructure of alkali-activated fly ash mortar. *International Journal of GEOMATE*. https://doi.org/10.21660/2017.39.11341

Tajunnisa, Y., Sugimoto, M., Uchinuno, T., Sato, T., Toda, Y., Hamasaki, A., Yoshinaga, T., Shida, K., & Shigeishi, M. (2017b). Performance of alkali-activated fly ash incorporated with GGBFS and micro-silica in the interfacial transition zone, microstructure, flowability, mechanical properties and drying shrinkage. *AIP Conference Proceedings*. https://doi.org/10.1063/1.5003517

Tajunnisa, Y., Sutrisno, W., & Shigeishi, M. (2019). Impact of PVA fiber as fine aggregate replacement in alkali-activated

fly ash on flow rate, mechanical properties and drying shrinkage. *International Journal of GEOMATE*. https://doi.org/10.21660/2019.63.90227

Temuujin, J., & van Riessen, A. (2009). Effect of fly ash preliminary calcination on the properties of geopolymer. *Journal of Hazardous Materials*. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.065

Temuujin, J., van Riessen, A., & Williams, R. (2009). Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes. *Journal of Hazardous Materials*. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.121

Topark-Ngarm, P., Chindaprasirt, P., & Sata, V. (2015). Setting time, strength, and bond of high-calcium fly ash geopolymer concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001157

Wang, J., Xie, J., Wang, C., Zhao, J., Liu, F., & Fang, C. (2020). Study on the optimum initial curing condition for fly ash and GGBS based geopolymer recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, *247*, 118540. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118540

Wang, K., Shah, S. P., & Mishulovich, A. (2004). Effects of curing temperature and NaOH addition on hydration and strength development of clinker-free CKD-fly ash binders. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.003

William D. Callister, J., & Rethwisch, D. G. (2013). Applications and Processing of Ceramics. *Materials Science and Engineering*, 536.

Wimalasiri, M., Robert, D. J., Li, C. Q., & Baji, H. (2018). A new method to simulate permeability degradation of stressed concrete. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.124

Wulff, J., Moffatt, W. G., Pearsall, G. W., Brophy, J. H., Rose, R. M., Hayden, H. W., Shepard, L. A., & Klerer, J. (1967). The Structure and Properties of Materials. *Journal of The*

Electrochemical Society. https://doi.org/10.1149/1.2426767

Yasin, A. K. (2017). Rekayasa beton geopolimer berbasis fly ash. In *Tugas Akhir Terapan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Yip, C. K., Lukey, G. C., & Van Deventer, J. S. J. (2005). The coexistence of geopolymeric gel and calcium silicate hydrate at the early stage of alkaline activation. *Cement and Concrete Research*. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.042

Yusuf, M. O., Megat Johari, M. A., Ahmad, Z. A., & Maslehuddin, M. (2014). Influence of curing methods and concentration of NaOH on strength of the synthesized alkaline activated ground slag-ultrafine palm oil fuel ash mortar/concrete. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.037

Zainal, F. F., Hussin, K., Rahmat, A., Al Bakri Abdullah, M. M., Rizam, S., Selimin, M. T., & Sandu, A. V. (2015). The electrical resistivity of geopolymer paste by using Wenner four probe method. *Key Engineering Materials*. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.660.28

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LOGBOOK

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
03/02/2020	Uji berat volume NaOH **Pelaksana:** Yosi, Syafiq, Ian, Ferdi, Atho, Nisar, Jihad	LMSG 12.30-16.00	**Kendala:** Berat jenis berbeda dengan NaOH yang pernah diuji oleh Pak Husin **Solusi:** Pengujian berat volume menggunakan piknometer agar lebih teliti	
04/02/2020	Lanjut uji berat volume NaOH **Pelaksana:** Yosi, Syafiq, Hermawan, Ian, Ferdi, Atho	LMSG 12.30-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
06/02/2020	Beli dan packing pasir **Pelaksana:** Yosi, Hermawan, Syafiq, Ian, Ferdi, Jihad	LMSG 12.30-16.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
07/02/2020	Penempatan pasir **Pelaksana:** Yosi, Hermawan, Syafiq, Ian, Ferdi, Jihad, Atho, Nisar	LMSG 12.30-15.00	**Kendala:** Kuantitas pasir terlalu banyak, membutuhkan gerobak. Gerobak yang dipakai sudah berkarat, sehingga saat digunakan, as rodanya patah **Solusi:** Beli gerobak	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
07/02/2020	Beli Gerobak **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Jihad, Atho, Nisar	UD. Matahari 15.30-16.30	**Kendala:** Penjual tidak bisa mengantarkan gerobak ke kampus **Solusi:** Bawa gerobak dengan motor	
10/02/2020	Mengayak pasir **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan	LMSG 12.30-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
11/02/2020	Mengayak pasir **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan, Syafiq, Ian, Yusuf, Tossan	LMSG 12.30-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
12/02/2020	Mengayak pasir **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan, Syafiq, Ian, Yusuf	LMSG 11.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
13/02/2020	Mengayak pasir **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Atho, Nisar, Hermawan, Syafiq, Ian, Yusuf	LMSG 11.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
18/02/2020	Mengayak pasir **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Hermawan, Syafiq, Ian, Jihad	LMSG 12.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
18/02/2020	Rapat koordinasi **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Hermawan, Syafiq, Ian, Jihad, Atho, Sarah, Sarah, Sabrina, Tossan,	LMSG 16.00-17.20	**Kendala:** Perijinan pengambilan fly **Solusi:** Membuat surat ijin ke Pak Tamirin	
19/02/2020	Mengambil fly ash di mesh paiton **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Ian, Atho, Syafiq, Hermawan	Mesh Paiton 11.00-21.00	**Kendala:** 1. Sopir pick up terlambat 2. kuantitas fly ash kurang **Solusi:** 1. Sebelum berangkat, diingatkan lagi untuk pengambilan fly ash berikutnya	
19/02/2020	Meletakkan fly ash di LMSG **Pelaksana:** Yosi, Ferdi, Ian, Atho, Syafiq, Hermawan, Nisar	LMSG 21.00-23.00	**Kendala:** Lab terkunci **Solusi:** Ambil kunci lab di Pak Ridho	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
20/02/2020	Memimdah fly ash dari sak ke box kontainer dan mengayak **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan	LMSG 12.00-15.00	**Kendala:** **Solusi:**	
21/02/2020	Membeli dan mewadahi kerikil **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan	LMSG 12.00-15.00	**Kendala:** Penempatan kerikil tidak **Solusi:** Minta tempat ke Pak Wandi	
24/02/2020	Membeli minyak tanah untuk pengujian berat jenis fly ash **Pelaksana:** Yosi, Syafiq	Kampung Pucang Anom 12.00-13.00	**Kendala:** Minyak tanah sulit ditemukan **Solusi:** Bertanya tempat pembelian minyak tanah di warga perkampungan	
24/02/2020	Menguji berat jenis fly ash **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG 13.00-16.00	**Kendala:** Terdapat kerak semen yang sulit dibersihkan di piknometer, bekas praktikum mahasiswa **Solusi:** Meminjam piknometer di Lab Tanah	
25/02/2020	Asistensi *mix design* dengan Pak Husin	LMSG 14.00-16.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
26/02/2020	Grinding dan cor beton NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq) dan NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:** Alat grinding sering mati secara tiba-tiba **Solusi:-**	
27/02/2020	Grinding dan cor beton NaOH 14M 1 SP 2% (Yosi) dan NaOH 12M 1 SP 0% (Ferdi) Slump: 22 cm **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:** Kerikil bercampur lumpur dan pasir basah terkena hujan **Solusi:** Cuci kerikil dan jemur pasir	
28/02/2020	Grinding dan cor beton NaOH 10M 2,5 SP 2% (Ian) dan NaOH 16M 2,5 SP 2% **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:** Mold beton habis, membuka mold beton milik Syafiq. Ketika membuka mold beton, kondisi beton masih belum kering, sehingga betonnya rusak **Solusi:** Reschadule jadwal pengecoran. Pengecoran dengan molaritas rendah dijadwalkan demolding minimal 3 hari setelah cor	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
28/02/2020	Beli aktivator **Pelaksana:** Yosi, Syafiq	Brataco 13.00-14.30	**Kendala:-** **Solusi:-**	
02/03/2020	Grinding dan cor beton NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian	LMSG 08.00-13.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
03/03/2020	Grinding dan cor beton NaOH 14M 2,5 SP 2% (Nisar) dan NaOH 14M 1 SP 0% (Atho) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-19.00	**Kendala:** Cuaca mendung, sehingga aggregat lama mengering **Solusi:**	
04/03/2020	Grinding dan cor beton NaOH 10M 1 SP 0% (Jihad), Grinding NaOH 10M 2 SP 2% **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:** Cuaca mendung, sehingga aggregat lama mengering **Solusi:**	
05/03/2020	Grinding dan cor beton NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi) dan NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi) Slump: 18,5 cm **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-22.00	**Kendala:** Kondisi pasir basah terkena hujan, setelah dijemur masih belum bisa kering. **Solusi:** Pasir dipanaskan menggunakan kompor	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
06/03/2020	Grinding dan cor beton NaOH 10M 2,5 SP 2% (Ian) dan NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-19.00	**Kendala:** Kondisi pasir basah terkena hujan, setelah dijemur masih belum bisa kering. **Solusi:** Pasir dipanaskan menggunakan kompor di Lab Jalan	
06/03/2020	Uji kuat tekan beton NaOH 10M 2,5 SP 2% (Ian)	LMSG 19.00-20.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
06/03/2020	Memindahkan sample beton ke lab lantai 2	LMSG 20.00-21.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
09/03/2020	Grinding NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi) dan cor NaOH 10M 2 SP 2% (Ian) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:** Alat cor rusak, sehingga pekerjaan dihentikan **Solusi:** Memanggil tukang servis tanggal 10 Maret	
10/03/2020	Menyiapkan agragat untuk cor dan membersihkan mold **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
10/03/2020	Membeli NaOH **Pelaksana:** Yosi, Ian	Brataco 10.00-11.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
11/03/2020	Grinding dan cor NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad) dan NaOH 14M 1,5 SP 2% (Nisar) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
11/03/2020	Membersihkan mold untuk persiapan pengecoran	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
11/03/2020	Grinding NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi) dan cor NaOH 10M 2 SP 2% (Ferdi) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
12/03/2020	Cor NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi), NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq), dan Grinding cor NaOH 14M 1 SP 0,5% (Atho) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Syafiq, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Yusuf	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
13/03/2020	Cor NaOH 12M 1 SP 1% (Ferdi), Grinding cor NaOH 10M 2 SP 2% (Ian) dan Grinding NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan)	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** Alat molen mati saat pengecoran terakhir **Solusi:-** Agregat didiamkan dalam molen hingga dapat dinyalakan kembali	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
30/03/2020	Mencuci kerikil serta menjemur pasir dan kerikil **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.30-10.00	**Kendala:** Wabah penyakit corona menyebabkan resiko penyakitan **Solusi:**	
30/03/2020	Pengujian kuat tekan, permability, resistivity, dan porositas	LMSG 10.00-17.00	Membeli alat APD dan sabun untuk mencegah penyakit	
30/03/2020	Belanja APD untuk mencegah penyakit corona serta membeli NaOH dan metasilika	Brataco 14.00-15.00		
30/03/2020	Melepas mold untuk pembuatan benda uji	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
31/03/2020	Memotong dan menguji benda uji 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%)) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:** Terlalu banyak beton yang diuji, sehingga alat permeabilitas perlu dikalibrasi beberapa kali **Solusi:** Kalibrasi alat permeabilitas	
31/03/2020	Mencuci kerikil serta menjemur pasir dan kerikil	LMSG 08.30-10.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
31/03/2020	Merendam benda uji 14M dalam larutan klorida	LMSG 18.00-19.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
01/04/2020	Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Jihad NaOH 10M 1 SP 0%) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-11.00	**Kendala:** permukaan bawah beton **Solusi:** Potong bagian atas beton untuk permeabilitas	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
01/04/2020	Membersihkan mold, grinding NaOH 14M 1 SP 1% (Atho) dan NaOH 14M 1,5 SP 2% (Nisar)	LMSG 11.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
01/04/2020	Menyiapkan agregat untuk pengecoran	LMSG 11.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
02/04/2020	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) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
02/04/2020	Menyiapkan agregat untuk pengecoran	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
02/04/2020	Uji resistivity dan kuat tekan NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi)	LMSG 14.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
03/04/2020	Grinding NaOH 10M 1 SP 1% dan 1,5% (Jihad) dan NaOH 8M 2 SP 2% (Syafiq) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
03/04/2020	Cor NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan)	LMSG 13.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
03/04/2020	Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Hermawan NaOH 16M 1,5 SP 2% dan Ferdi NaOH 12M 1 SP 0,5%)	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
03/04/2020	Menyiapkan mold 10x20	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
04/04/2020	Grinding NaOH 10M 1 SP 1,5% (Atho) dan NaOH 14M 0,5 SP 2% (Nisar) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
04/04/2020	Menyiapkan mold 10x20	LMSG 13.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
06/04/2020	Cor NaOH 12M 1 SP 2% (Yosi), NaOH 10M 1 SP 1% (Jihad), dan NaOH 14M 1 SP 1 (Atho) Slump 22,5	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
06/04/2020	Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Ian NaOH 12M 2 SP 2%)	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
06/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
07/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-13.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
07/04/2020	Cor NaOH 14M 2,5 SP 2% (Nisar) dan NaOH 14M 1 SP 1,5% (Atho)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:** Terjadi kesalahan penimbangan material, sehingga beton segar tidak dapat tercampur saat dilakukan pengecoran **Solusi:** Beton ditambah dengan air lalu dijadikan sebagai plat untuk tempat mold	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
08/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
08/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
08/04/2020	Cor NaOH 10M 1 SP 1,5% (Jihad) dan NaOH 8M 2 SP 2% (Syafiq)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** Molen mati ketika dilakukan pengecoran **Solusi:-** Dilanjutkan dengan pengadukan	
08/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Jihad, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
08/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
08/04/2020	Cor NaOH 10M 1 SP 1,5% (Jihad) dan NaOH 8M 2 SP 2% (Syafiq)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
08/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
09/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
09/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
09/04/2020	Grinding NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi), Cor NaOH 12M 1 SP 1,5% (Ferdi), Grinding dan Cor NaOH 14M 1 SP 1,5%	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
09/04/2020	Memotong beton dan uji permeabilitas, kuat tekan, dan porositas (Syafiq NaOH 8M 1,5 SP 2% dan Atho NaOH 14M 1 SP 0,5%)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
09/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
10/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
10/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
10/04/2020	Cor NaOH 8M 1 SP 2% (Yosi)	LMSG 13.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
11/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
11/04/2020	Grinding NaOH 8M 2,5 SP 2% (Syafiq), NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi), dan NaOH 16M 1,5 SP 2% (Hermawan)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding mati berkali-kali **Solusi:-**	
11/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
13/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
13/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
13/04/2020	Cor NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi)	LMSG 13.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
13/04/2020	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%)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:** pompa permeabilitas panas **Solusi:** Pengujian dihentikan hingga pompa menjadi dingin	
14/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
14/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
14/04/2020	Grinding NaOH 14M 2 SP 2% (Nisar) dan NaOH 14M 1 SP 0% (Atho), Cor NaOH 8M 2,5 SP 2% (Syafiq)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding mati berkali-kali **Solusi:-**	
14/04/2020	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%)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:** Alat pompa permeabilitas tidak bisa **Solusi:** Service pompa	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
15/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
15/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
15/04/2020	Grinding dan Cor NaOH 12M 1 SP 0% (Ferdi), Cor NaOH 14M 2 SP 2% (Nisar)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
15/04/2020	Uji kuat tekan dan resistivity (Jihad NaOH 10M 1,5 SP 2%)	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
16/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
16/04/2020	Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
16/04/2020	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)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding mati berkali-kali **Solusi:-**	
16/04/2020	Memotong beton dan uji kuat tekan serta resistivity (Nisar NaOH 14M 1,5 SP 2% dan Ferdi NaOH 12M 1 SP 1,5%)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** Alat permeabilitas masih belum bisa digunakan **Solusi:-**	
17/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
17/04/2020	Mengayak agregat kasar dan menjemur agregat halus	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
17/04/2020	Grinding NaOH 10M 1 SP 2% (Yosi) dan NaOH 8M 1,5 SP 2% (Syafiq), Cor NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding dan cor mati berkali-kali **Solusi:-**	
17/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
18/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
18/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
18/04/2020	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)	LMSG 13.00-17.00	**Kendala:** Kegiatan penelitian dimulai saat siang hari, sehingga selesai saat hari mulai gelap **Solusi:** Memulai kegiatan lebih pagi apabila banyak agenda penelitian	
20/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

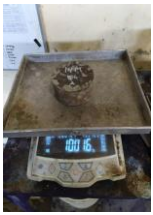
Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
20/04/2020	Cor NaOH 12M 1 SP 1% dan NaOH 12M 1 SP 0,5% (Ferdi), Grinding NaOH 16M 2 SP 2% dan NaOH 16M 1,5 SP 0% (Hermawan), Grinding 8M 2 SP 0% (Syafiq), Cor 8M 1,5 SP 0% dan Cor 8M 2 SP 0% (Syafiq), Grinding NaOH 14M 1 SP 0% (Atho)	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding dan cor mati berkali-kali **Solusi:-**	
20/04/2020	Uji permeabilitas, kuat tekan, dan resistivity (Atho NaOH 14 M 1 SP 1%)	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:** alat permeability masih belum bisa digunakan **Solusi:** menunggu laporan dari pak wandi pada hari	
20/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
20/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
21/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
21/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
21/04/2020	Grinding NaOH 8M 1 SP 0% (Yosi), Cor NaOH 16M 1,5 SP 0% (Hermawan), Grinding 14M 1 SP 0,5% (Atho)	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding dan cor mati berkali-kali **Solusi:-**	
21/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
21/04/2020	Memperbaiki pompa alat permeabilitas	LMSG 13.00-14.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
21/04/2020	Uji permeabilitas, kuat tekan, dan resistivity (Yosi NaOH 12M 1 SP 0% dan Atho NaOH 14M 1 SP 1,5%)	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
22/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
22/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
22/04/2020	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)	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding dan cor mati berkali-kali **Solusi:-**	
22/04/2020	Uji permeability, kuat tekan, dan resistivity (Ferdi NaOH 12M 1 SP 0%)	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
23/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf, Jihad	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
23/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
23/04/2020	Grinding NaOH 10M 1 SP 0% (Jihad) dan NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan), Cor NaOH 14M 1 SP 0,5%)	LMSG 10.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding dan cor mati berkali-kali **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
23/04/2020	Uji permeability, kuat tekan, resistivity dan porositas (Yosi NaOH 14M 1 SP 2% Ambient dan Chloride Curing)	LMSG 10.00-14.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
23/04/2020	Uji permeability, kuat tekan, dan resistivity (Ferdi NaOH 12M 1 SP 1,5% dan NaOH 12M 1 SP 0%)	LMSG 10.00-14.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
23/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
24/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf, Jihad	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
24/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
24/04/2020	Grinding NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad) dan Cor NaOH 16M 2,5 SP 2% (Hermawan)	LMSG 10.00-17.00	**Kendala:-** Alat grinding dan cor mati berkali-kali **Solusi:-**	
24/04/2020	Membersihkan bola-bola baja	LMSG 16.30-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
25/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Yusuf, Jihad	LMSG 08.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
25/04/2020	Mengayak agregat kasar	LMSG 10.00-12.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
25/04/2020	Cor NaOH 10M 1 SP 0% (Jihad)	LMSG 12.00-14.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
25/04/2020	Uji permeability, kuat tekan, dan porosity (Yosi NaOH 10M 1 SP 2%)	LMSG 12.00-14.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
27/04/2020	Mengayak agregat kasar **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-14.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
27/04/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran	LMSG 14.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
27/04/2020	Cor NaOH 10M 1 SP 0,5% (Jihad)	LMSG 15.00-16.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
27/04/2020	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)	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:** Alat permeability susah untuk dikalibrasi **Solusi:-**	
28/04/2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Syafiq NaOH 8M 2,5 SP 2% 14 hari) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:** Alat permeability tidak bisa digunakan **Solusi:-**	
28/04/2020	Uji setting time (Atho NaOH 14 M 1 SP 0%	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:** semen geopolimer kurang halus, sehingga adonan beton cepat mengeras **Solusi:** Dihaluskan menggunakan	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
29/04/2020	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) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
30/04/2020	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) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
01/05/2020	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 **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
04/05/2020	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) **Pelaksana:** Yosi, Jihad, Atho, Ferdi	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
05/05/2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porosity (Atho NaOH 14M 1 SP 1,5% 28 hari) **Pelaksana:** Jihad, Atho	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
06/05/2020	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) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
07/05/2020	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 **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
08/05/2020	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) **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
11/05/2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Jihad NaOH 10M 1 SP 0,5% 14 hari, Syafiq NaOH 8M 2 SP 2% 56 hari) **Pelaksana:** Jihad, Syafiq	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
12/05/2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan porositas (Syafiq NaOH 8M 2,5 SP 2% 28 hari, Atho NaOH 14M 1 SP 0% 28 hari) **Pelaksana:** Syafiq, Atho	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
12/05/2020	Uji Setting time (Atho NaOH 14M SP 1,5%)	LMSG 08.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
14/05/2020	Uji UPV(Jihad NaOH 10M 1 SP 0%; 1%; 1,5%, Ferdi NaOH 12M 1 SP 0%; 1%; **Pelaksana:** Yosi, Jihad, Ferdi	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
14/05/2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan UPV (Yosi NaOH 14M 1 SP 2% 28 hari)	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
18/05/2020	Uji resistivity, kuat tekan, dan UPV (Yosi NaOH 10M 1 SP 2% 28 hari) **Pelaksana:** Yosi, Jihad, Ferdi	LMSG 12.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
19/05/2020	Mengayak agregat kasar **Pelaksana:** Yosi, Nisar, Atho, Ferdi, Hermawan, Ian, Syafiq, Jihad	LMSG 13.00-15.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
19/05/2020	Melepas dan menyiapkan mold untuk pengecoran	LMSG 15.00-16.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
19/05/2020	Cor NaOH 14M 1 SP 2% (Yosi)	LMSG 16.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	

Tanggal	Kegiatan	Lokasi dan	Keterangan	Dokumentasi
19/05/2020	Uji porositas (Yosi NaOH 8M 1 SP 2% 28 hari)	LMSG 15.00-16.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
20/05/2020	Uji UPV (Yosi NaOH 14M 1 SP 2%, Syafiq NaOH 8M 2,5 SP 0%) **Pelaksana:** Yosi, Hermawan, Atho, Syafiq	LMSG 14.00-17.00	**Kendala:** Kabel UPV bermasalah **Solusi:** Setting kabel UPV	
21/05/2020	Uji UPV dan kuat tekan (Yosi NaOH 8M 1 SP 0% 28 hari) **Pelaksana:** Yosi, Hermawan, Atho, Syafiq	LMSG 14.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
21/05/2020	Uji porositas (Yosi NaOH 10M 1 SP 2% 56 hari)	LMSG 14.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
01/06/2020	Uji UPV, kuat tekan, resistivitas (Yosi NaOH 12M 1 SP 2% 56 hari) **Pelaksana:** Yosi, Atho	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:** Alat telah dikalibrasi, sehingga kuat tekan turun **Solusi:** uji di alat lab baru	
01/06/2020	Uji UPV, kuat tekan, resistivitas (Yosi NaOH 8M 1 SP 2% 56 hari) **Pelaksana:** Yosi, Atho	LMSG 15.00-17.00	**Kendala:-** **Solusi:-**	
18/06/2020	Merendam benda uji 14M kedalam larutan klorida **Pelaksana:** Yosi	LMSG 15.00-15.10	**Kendala:-** **Solusi:-**	
15/07/2020	Uji kuat tekan, resistivity, UPV, dan permeabilitas beton NaOH 14M 1 SP 2% umur 56 **Pelaksana:** Yosi	LMSG 10.00-15.10	**Kendala:-** **Solusi:-**	

BIODATA PENULIS

Yosi Noviari Wibowo,

Penulis lahir pada tanggal 02 November 1998 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara, Penulis bernama lengkap Yosi Noviari Wibowo, merupakan lulusan dari SDN Keboan Sikep 2, SMPN 1 Gedangan, SMAN 2 Sidoarjo. Penulis merupakan mahasiswa pada Program Studi Diploma IV Departemen Teknik Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Fakultas Vokasi ITS. Total 8 (delapan) semester dengan 147 SKS telah dijalani penulis hingga lulus dari program studi ini. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam organisasi, seperti Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) Departemen Riset dan Teknologi tahun 2017/2018 (sebagai staff) dan tahun 2018/2019 (sebagai ketua divisi PKM), Jamaah Masjid Al-Azhar (JMAA) Departemen Kaderisasi 2017/2018 (sebagai staff), dan Departemen Syiar 2018/2019 (sebagai staff ahli). Selain itu, penulis juga menorehkan beberapa prestasi nasional maupun internasional, seperti Juara 1 Kompetisi Jembatan Indonesia (KJI) 2018 Jembatan Baja sekaligus meraih 3 Juara Kategori serta Juara Umum KJI 2018, Juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah Build Year UNS 2019, Gold Medal International Science, Technology and Engineering Competition 2020, Bronze Medal ASEAN Innovative Science and Enterpreneur Fair 2020, Presenter Seminar Internasional Putrajaya International Conference on Advanced Research 2020 dan dianugerahi Juara 1 Mahasiswa Berprestasi Program Diploma Tingkat ITS 2019 serta menjadi 4 besar Mahasiswa Berprestasi Nasional. Penulis juga aktif dalam melakukan publikasi jurnal internasional. Penulis dapat dihubungi via email: yosi.wibowo9@gmail.com