



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**REVIEW PENGARUH AKTIVATOR, SUHU CURING,  
SUPERPLASTICIZER, DAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN  
GEOPOLYMER CONCRETE BERBASIS FLY ASH**

**MOHD PRIYHAN ADELMA  
NRP. 02511540000101**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**





## **TUGAS AKHIR – TL 184834**

### **REVIEW PENGARUH AKTIVATOR, SUHU CURING, SUPERPLASTICIZER, DAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN GEOPOLYMER CONCRETE BERBASIS FLY ASH**

MOHD PRIYHAN ADELMA  
NRP. 0251154000101

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL 184834**

**EFFECT OF ACTIVATOR, CURING TEMPERATURE,  
SUPERPLASTICIZER, AND CEMENT TO COMPRESSION  
STRENGTH OF FLY ASH-BASED GEOPOLYMER  
CONCRETE: A REVIEW**

MOHD PRIYHAN ADELMA  
NRP. 02511540000101

Supervisor  
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(This page is intentionally left blank)*

**REVIEW PENGARUH AKTIVATOR, SUHU CURING,  
SUPERPLASTICIZER, DAN SEMEN TERHADAP KUAT  
TEKAN GEOPOLYMER CONCRETE BERBASIS FLY  
ASH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MOHD PRIYHAN ADELMA**

NRP 02511540000101

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc ..... (Pembimbing I)
2. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D ..... (Pembimbing II)



**SURABAYA**

**Juli 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# REVIEW PENGARUH AKTIVATOR, SUHU CURING, SUPERPLASTICIZER, DAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN GEOPOLYMER CONCRETE BERBASIS FLY ASH

**Nama** : Mohd Priyhan Adelma  
**NRP** : 0251154000101  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
**Pembimbing II** : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

## **Abstrak**

*Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan didunia. Produksi semen portland sebagai bahan pembuat beton meningkat tiap tahunnya seiring dengan meningkatnya kebutuhan pembangunan. Pada saat proses produksi semen portland terjadi pelepasan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi. Maka diperlukan bahan alternatif lain yang bisa menggantikan semen dalam campuran beton untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan. Diantaranya ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat polimer atau dikenal dengan geopolimer yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam yang kaya akan kandungan silika dan alumina. Material aluminasilikat yang menjadi komponen utama pada material geopolimer ini bisa berasal dari mineral alami atau hasil produk seperti fly ash. Fly ash adalah material yang sangat halus seperti debu, berasal dari sisa peleburan besi baja dan batubara. Pada tinjauan ini, kami telah mempelajari terkait pengaruh dari aktivator, suhu curing, plasticizer, dan semen terhadap kuat tekan beton geopolimer. Didapatkan bahwa kuat tekan tertinggi berada pada konsentrasi NaOH 8M-14M, suhu curing 90°C, penambahan 1% plasticizer dan penambahan semen 5% dari massa fly ash.*

**Kata Kunci:** *Geopolimer, fly ash, aktivator, kuat tekan*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# EFFECT OF ACTIVATOR, CURING TEMPERATURE, SUPERPLASTICIZER, AND CEMENT TO COMPRESSION STRENGTH OF FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE: A REVIEW

**Student Name** : Mohd Priyhan Adelma  
**NRP** : 0251154000101  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Advisor 1** : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
**Advisor 2** : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

## **Abstract**

*The concrete is the most widely used construction material in the world. Portland cement production as a material for making concrete increases every year along with the increasing development needs. During the portland cement production process, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is released into the air which is proportional to the amount of cement produced. Then we need another alternative material that can replace cement in concrete mixes to get environmentally friendly concrete. Among them is through the development of concrete using inorganic binder materials such as alumina-silicate polymers or known as geopolymers, which is a synthesis of geological materials found in nature which are rich in silica and alumina content. Aluminasilikat material which is the main component in this geopolymer material can come from natural minerals or products such as fly ash. Fly ash is a very fine material such as dust, originating from the remelting of steel and coal. In this review, we have studied the effect of activator, curing temperature, plasticizer, and cement on the compressive strength of geopolymer concrete. It was found that the highest compressive strength was at 8M-14M NaOH concentration, 90 ° C curing temperature, 1% plasticizer addition and 5% cement addition of fly ash mass.*

**Keywords:** *Geopolymer, fly ash, activator, compressive strength*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “Review Pengaruh Aktivator, Suhu Curing, Superplasticizer, dan Semen Terhadap Kuat Tekan Geopolymer Concrete Berbasis Fly Ash”. Laporan ini disusun dan diajukan untuk dapat memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis juga menyampaikan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya:

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan.
2. Rasulullah SAW yang selalu memberikan kasih sayang dan tuntunannya untuk senantiasa beribadah kepada Allah SWT.
3. Kedua Orang Tua, kakak, dan adik saya yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tidak henti untuk penulis.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi dan pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi banyak dukungan, saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T.M.T., selaku dosen wali yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam segala kegiatan perkuliahan.
6. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi banyak dukungan, saran dan arahan serta nasihat dalam

pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

7. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Dengan kerendahan hati, semua saran dan kritik yang dapat membangun sangat penulis harapkan. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi dan bermanfaat bagi pembaca

Surabaya, 20 Juli 2020  
Penulis

Mohd Priyhan Adelma

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan <i>Review</i> .....	2
1.5 Manfaat <i>Review</i> .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Geopolimer .....	3
2.2 Fly Ash .....	7
2.3 Aktivator.....	8
2.4 Agregat .....	9
2.5 Semen.....	12
2.6 <i>Admixture</i> .....	14
2.7 Polimer .....	15
2.8 Beton .....	17
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>21</b>
3.1 Diagram Alir.....	21
3.2 Mix Design dan Metode Manufaktur .....	22
3.3 Pengujian .....	22
3.4 Ruang lingkup pembahasan.....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Analisa Data .....	25
4.1.1 Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete .....	25

4.1.2	Engineering Properties of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete .....	30
4.1.3	Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash .....	32
4.1.4	A Mix Design Procedure for Geopolymer Concrete with Fly Ash .....	35
4.1.5	Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan.....	37
4.2	Pembahasan .....	44
4.2.1	Pengaruh Variasi Aktivator .....	44
4.2.2	Pengaruh Suhu Curing .....	45
4.2.3	Pengaruh Penambahan Plasticizer .....	46
4.2.4	Pengaruh Penambahan Semen.....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>55</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>		<b>61</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>63</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema diagram pembentukan geopolimer .....	3
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur dari tiga unit monomer pembentuk geopolimer .....	4
<b>Gambar 2.3</b>	Reaksi geopolimerisasi pada geopolimer .....	6
<b>Gambar 2.4</b>	Reaksi adisi .....	16
<b>Gambar 2.5</b>	Reaksi Kondensasi .....	16
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir pembahasan jurnal .....	21
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil pengujian komposisi campuran beton dengan Fly Ash PLTU Mae Moh .....	32
<b>Gambar 4.2.</b>	Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer komposisi 2 dan 4. ....	43

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Komposisi dan klasifikasi abu layang.....	7
<b>Tabel 2.2</b> Pengelompokan kelas abu layang berdasarkan ASTM C 618 .....	8
<b>Tabel 2.3</b> Jenis-jenis semen portland .....	13
<b>Tabel 2.4</b> Komposisi semen portland .....	14
<b>Tabel 2.5</b> Kelas dan mutu beton.....	18
<b>Tabel 2.6</b> Konversi mutu beton.....	18
<b>Tabel 3.1</b> Mix design dan metode manufaktur .....	22
<b>Tabel 3.2</b> Ruang lingkup pembahasan.....	24
<b>Tabel 4.1</b> Kandungan kimia fly ash PLTU Collie.....	25
<b>Tabel 4.2.</b> Mix Design beton Geopolimer dengan Fly Ash PLTU Collie.....	27
<b>Tabel 4.3</b> Mix design beton geopolimer dengan fly ash PLTU Collie.....	28
<b>Tabel 4.4</b> Kandungan Kimia Fly Ash PLTU Mae Moh .....	30
<b>Tabel 4.5</b> Komposisi Campuran Beton Geopolimer dengan fly ash Mae Moh .....	31
<b>Tabel 4.6.</b> Hasil Pengujian Komposisi Campuran Beton Geopolimer dengan Fly Ash PLTU Mae Moh .....	31
<b>Tabel 4.7</b> Komposisi fly ash PJB Tanjung Jati – Jebara .....	33
<b>Tabel 4.8</b> Benda Uji Penelitian .....	34
<b>Tabel 4.9</b> Hasil pengujian kuat tekan Beton .....	34
<b>Tabel 4.10</b> Hasil pengujian berat jenis beton.....	35
<b>Tabel 4.11</b> Kandungan Fly Ash .....	35
<b>Tabel 4.12</b> Proporsi campuran .....	36
<b>Tabel 4.13</b> Properties of GPC.....	36
<b>Tabel 4.14</b> Komposisi campuran beton geopolimer.....	37
<b>Tabel 4.15</b> Kuat tekan beton dengan perawatan temperatur ruangan.....	38
<b>Tabel 4.16</b> Kuat Tekan Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 60°C.....	38
<b>Tabel 4.17</b> Kuat Tekan Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 90°C.....	38

<b>Tabel 4.18</b> Berat Jenis Beton dengan perawatan temperatur ruangan.....	39
<b>Tabel 4.19</b> Berat Jenis Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 60°C.....	39
<b>Tabel 4.20</b> Berat Jenis Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 90°C.....	39
<b>Tabel 4.21</b> Pengelompokan kelas abu layang berdasarkan ASTM C 618.....	40
<b>Tabel 4.22</b> Pengaruh Geopolimer terhadap kuat tekan beton geopolimer 12M.....	41
<b>Tabel 4.23</b> Kandungan kimia fly ash .....	42
<b>Tabel 4.24</b> Komposisi campuran fly ash .....	42
<b>Tabel 4.25</b> Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer komposisi 2 dan 4.....	43
<b>Tabel 4.26.</b> Perbandingan pengaruh konsentrasi aktivator terhadap sifat geopolimer .....	44
<b>Tabel 4.27.</b> Perbandingan pengaruh suhu curing terhadap sifat geopolimer.....	46
<b>Tabel 4.28.</b> Pengaruh penambahan superplasticizer terhadap sifat geopolimer.....	47
<b>Tabel 4.29</b> Kuat tekan dengan suhu curing 60°C.....	48

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan beton di dunia sebagai material struktural pada tingginya tingkat pembangunan seperti gedung, jembatan, monumen dan lainnya, mensyaratkan kekuatan yang tinggi pula. Inovasi dan penelitian peningkatan kekuatan sudah dilakukan untuk menciptakan High-performance Concrete (HPC), yang tidak pula mengabaikan durabilitas jangka panjang, tahan terhadap lingkungan korosif, dan defleksi dari keuletan, mulai dari komposit hingga geopolimer (Pebida, 2012).

Produksi semen dunia akan terus meningkat dari 1,5 milyar ton pada tahun 1995 menjadi 2,2 milyar ton pada tahun 2010. Akan tetapi, pada saat proses produksi semen terjadi pelepasan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi, yang dapat merusak lingkungan hidup kita diantaranya pemanasan global. Maka diperlukan bahan alternatif lain yang bisa menggantikan semen dalam campuran beton untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan. Diantaranya ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat polimer atau dikenal dengan geopolimer yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam yang kaya akan kandungan silika dan alumina (Prasetyo, 2015). Material aluminasilikat yang menjadi komponen utama pada material geopolimer ini bisa berasal dari mineral alami atau hasil produk seperti abu terbang (fly-ash). Produksi batubara di Indonesia diperkirakan pada tahun 2010 yaitu 153 juta ton dimana 108 juta ton untuk pemakaian sendiri dan sisanya untuk di ekspor (Wardani, 2008). Dari pembakaran batubara itu sendiri dihasilkan sekitar 5% polutan padat abu batubara dimana 10-20% merupakan jenis bottom ash dan 80-90% merupakan jenis abu terbang.

Fly ash adalah material yang sangat halus seperti debu, berasal dari sisa peleburan besi baja dan batubara. Fly ash termasuk

material pozzolan karena mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ) dan sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomer 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomer 85 tahun 1999, fly ash diklasifikasikan sebagai limbah B-3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), sehingga pemanfaatan fly ash adalah upaya untuk mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas dan tingkat bahaya limbah yang keluar ke lingkungan, dengan cara memanfaatkan melalui cara-cara penggunaan kembali (reuse), daur ulang (recycle), serta recovery.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang terdapat dalam *review* ini adalah bagaimana pengaruh aktivator terhadap kuat tekan geopolymer concrete.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada *review* ini adalah sebagai berikut:

1. *Review* ini berfokus pada kuat tekan yang dihasilkan dari geopolymer concrete.
2. *Review* ini tidak membahas perbedaan metode pencampuran geopolymer concrete.

## 1.4 Tujuan *Review*

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh aktivator terhadap kuat tekan geopolymer concrete.

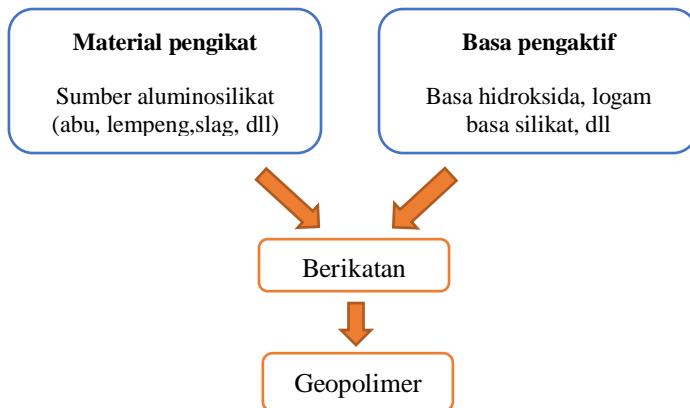
## 1.5 Manfaat *Review*

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang formulasi geopolimer berbasis abu layang yang dihasilkan serta diharapkan geopolimer bisa menggantikan semen Portland dalam aplikasi seperti pada pondasi bangunan, bahan bangunan dan lain lain.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

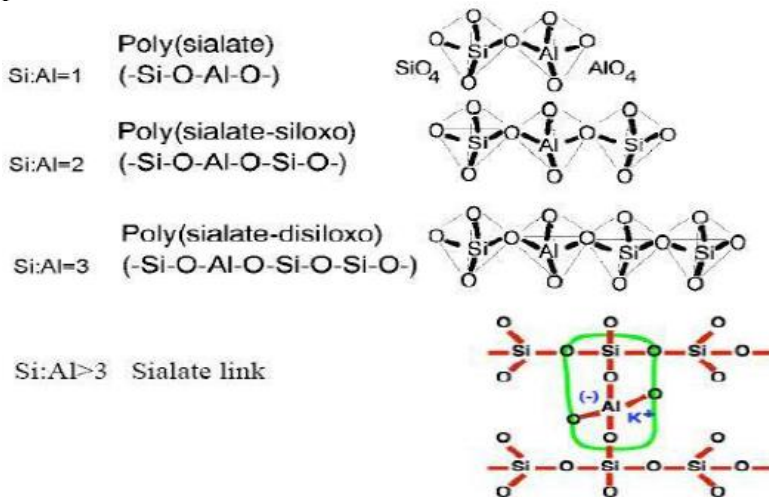
### 2.1 Geopolimer

Istilah geopolimer pertama kali digunakan oleh seorang profesor berkebangsaan Prancis bernama Davidovits pada tahun 1978 untuk menjelaskan tentang mineral polimer yang dihasilkan melalui *geochemistry*. Geopolimer didefinisikan sebagai perekat tanpa semen yang sangat mirip seperti zeolite dan disintesis sebagai hasil dari beberapa reaksi yang berbeda antara larutan basa dan bahan baku aluminosilikat (Davidovits, 1994). Polimer aluminosilikat sering disintesis melalui bahan-bahan limbah industri berbentuk padat yang banyak mengandung alumina (Al) dan silika (Si) (Manuahe, *et al.*, 2014). Selama proses sintesis, ion-ion silikat dan alumuninat menyatu dan membentuk blok yang secara kimia memiliki struktur yang mirip dengan batuan alam. Pada saat komponen solid dan komponen aktivator dicampur terjadi proses pengerasan yang disebabkan oleh terbentuknya *aluminosilicate network* (jaringan aluminosilikat) yang bervariasi antara amorf dan kristalin (Putra, *et al.*, 2014). Secara umum reaksi pembentukan geopolimer dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Skema diagram pembentukan geopolimer

Geosintesis atau geopolimerisasi pada umumnya dapat ditunjukkan dengan reaksi dari campuran padatan aluminosilikat dengan larutan alkalin pada kondisi basa yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al-O. Ikatan polimer dibentuk oleh unit-unit monomer yang bergantung pada rasio silika/alumina. Ikatan polimer yang paling baik jika rasio Si:Al adalah lebih dari 3 sehingga menghasilkan ikatan yang mempunyai cross link. Struktur dari unit-unit monomer geopolimer telah digambarkan pada Gambar 2.2.



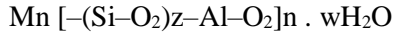
**Gambar 2.2** Struktur tiga unit monomer pembentuk geopolimer  
(Llyod & Rangan , 2010)

Jaringan geopolimer tersusun oleh jaringan tiga dimensi  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  yang berbentuk tetrahedral yang dihubungkan oleh oksigen dari kedua senyawa (Davidovits, 1991). Penggunaan oksigen sebagai penghubung akan membuat muatan Al memiliki bilangan koordinasi empat  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  sehingga akan bermuatan negatif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Ba}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ , dan  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Peran kation sangat penting



untuk menjaga netralitas struktur dari geopolimer (Khale & Chaudhary, 2007).

Geopolimer secara umum memiliki rumus empiris untuk menjelaskan struktur tiga dimensi aluminosilikat sebagai berikut:



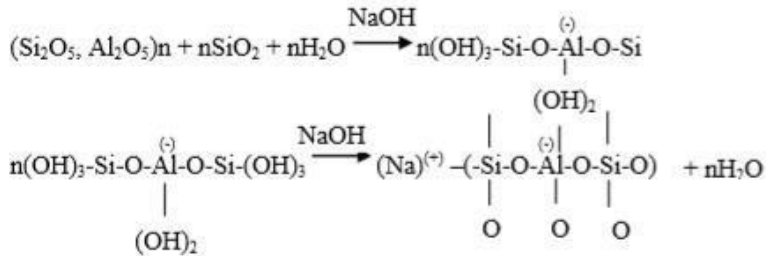
Dimana “M” adalah unsur alkali, simbol “-” menunjukkan adanya ikatan, “z” berupa 1, 2, 3 dan “n” adalah derajat polimerisasi, serta “w” adalah banyaknya air (H<sub>2</sub>O) yang diikat (Olawale, 2013). Di antara bahan-bahan yang sering digunakan untuk pembuatan polimer ada *fly ash* yang banyak mengandung Al dan Si.

### 2.1.1 Reaksi Geopolimerisasi

(Buchwald, *et al.*, 2011) mengelompokkan reaksi geopolimerisasi ke dalam dua tahap. Reaksi pertama adalah proses pelarutan silikat dan aluminat yang diperoleh dari sumber aluminosilikat seperti *slag*, abu layang dan *clay* serta reaksi kedua adalah kondensasi aluminosilikat. Reaksi geopolimerisasi sendiri termasuk reaksi polimerisasi anorganik mirip seperti pada zeolite dan yang membedakan hanya terdapat fase amorf.

Reaksi geopolimerisasi dimulai ketika komponen-komponen silika dan alumina di permukaan partikel abu layang dilarutkan ke dalam larutan basa aktivator yang digunakan dan diubah menjadi ion-ion silikat dan aluminat. Selanjutnya ion-ion silikat dan aluminat yang terlarut bereaksi membentuk rantai polimer. Larutan basa yang digunakan adalah sangat pekat, demikian pula larutan ion-ion silikat dan aluminat yang terbentuk. Oleh karena itu ion-ion tersebut tidak dapat bermigrasi dalam jarak yang jauh dari tempat asalnya sehingga reaksi polimerisasi terjadi di permukaan partikel abu layang induknya. Proses pelarutan ion-ion silikat dari abu layang terus terjadi selama masih ada larutan basa kuat, demikian pula dengan proses polimerisasinya. Pemakaian larutan basa pengaktif dengan pH yang tinggi bertujuan untuk mengubah struktur aluminat dari struktur oktahedral menjadi tetrahedral. Aluminat pada pH rendah memiliki struktur oktahedral, sedangkan reaksi geopolimerisasi hanya dapat

berlangsung ketika ion aluminat dan ion silikat memiliki struktur tetrahedral.



**Gambar 2.3** Reaksi geopolimerisasi pada geopolimer  
(Davidovits, 1994)

Reaksi geopolimerisasi dapat dilihat pada Gambar 2.3, ion hidroksil dari larutan basa aktivator akan memutus ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al, membentuk kompleks intermediet  $\text{Si(OH)}_4$  dan  $\text{Al(OH)}^-$ . Muatan negatif dari proses ini kemudian di stabilkan oleh logam  $\text{Na}^+$  atau  $\text{K}^+$  dari basa aktivator menjadi  $\text{Si-O}^- \text{Na}^+$  dan  $\text{Al-O}^- \text{Na}^+$  untuk mencegah reaksi balik menjadi Si-O-Si dan Si-O-Al awal (Provis & van Deventer, 2009).  $\text{Si(OH)}_4$  dan  $\text{Al(OH)}^-$  kemudian mengalami polikondensasi membentuk jaringan 3D. reaksi polikondensasi ini mengarahkan pada presipitasi fasa solid dan kristalisasi dari jaringan tiga dimensi. Air yang digunakan sebagian terlepas melalui proses kondensasi dan sebagian lainnya terperangkap dalam jaringan tiga dimensi gel aluminosilikat. Jaringan tiga dimensi tersebut secara kontinyu akan terus terpolimerisasi dan semakin lama akan menghasilkan jaringan tiga dimensi yang terhubung kuat (Bakharev, 2005). Reaksi geopolimerisasi tentu saja terjadi pada bahan yang mempunyai aluminosilikat seperti abu layang (*fly ash*) sebagai sumber pembentukan geopolimer.

## 2.2 Fly Ash

Abu layang atau *fly ash* merupakan hasil sampingan dari proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk butiran halus (Manuahe, *et al.*, 2014).

Meskipun abu layang termasuk dalam salah satu limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya), abu layang saat ini banyak digunakan untuk pengembangan penelitian sebagai bahan baku pembuatan geopolimer. Abu layang berpotensi menjadi material geopolimer karena banyak mengandung senyawa aluminosilika (Xu & van Deventer, 2000). Karakteristik kimia dan fisika dari abu layang ini sangat dipengaruhi dari metode pembakaran, sumber batubara, suhu pembakaran dan bentuk partikel. Hal itu menyebabkan belum adanya *mix design* yang pasti pada pembuatan geopolimer (Fansuri, *et al.*, 2008).

Secara umum komponen abu layang terdiri dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang berada dalam bentuk amorf dan Kristal oksida serta berbagai mineral lainnya seperti  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , dan karbon (Xiao, *et al.*, 2016). Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Komposisi dan klasifikasi abu layang (Wardani, 2008)

Komponen	Bituminus	Subbituminus	Lignit
$\text{SiO}_2$	20-60	40-60	15-45
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5-35	20-30	20-25
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	10-40	4-10	4-15
$\text{CaO}$	1-12	5-30	15-40
$\text{MgO}$	0-5	1-6	3-10
$\text{SO}_3$	0-4	0-2	0-10
$\text{Na}_2\text{O}$	0-4	0-2	0-6
$\text{K}_2\text{O}$	0-3	0-4	0-4

Berdasarkan komposisi kimianya, ASTM C 618 mengelompokkan abu layang ke dalam tiga kelas yaitu kelas N, F,

dan C. Abu layang kelas N merupakan material pozzolan alami yang terkalsinasi. Abu layang kelas F diproduksi dari pembakaran batu bara antrasit atau bituminus yang bersifat pozzolan sedangkan kelas C berasal dari pembakaran batubara jenis lignite atau *sub-bituminus* yang bersifat pozzolan dan *cementitious*. Seperti dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Pengelompokan kelas abu layang berdasarkan ASTM C 618 (Wardani, 2008)

Persyaratan	Komposisi (%)		
	Kelas C	Kelas F	Kelas N
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	50	70	70
Belerang trioksida ( $\text{SO}_3$ )	5	5	4
Kelembaban	3	3	3
Susut bakar	6	6	10

### 2.3 Aktivator

Larutan alkali aktivator merupakan larutan yang dibutuhkan untuk memungkinkan terjadinya reaksi polimerisasi monomer alumina dan silika. Larutan alkali berasal dari logam alkali yang dapat larut, yang pada umumnya adalah larutan berbasis natrium atau kalium (Ferdy, 2010).

Aktivator yang secara umum digunakan adalah kombinasi antara larutan sodium silikat dan sodium hidroksida.

- Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )  
Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) atau biasa disebut waterglass berfungsi untuk mempercepat reaksi polimer. Campuran antara abu terbang dan sodium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur.
- Sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ )

Sodium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si dengan menambah ion Na<sup>+</sup>. Campuran abu terbang dan sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan.

## 2.4 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (Kardiyono, 2004).

Dalam SNI T-15-1991-03 agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, krikil, batu pecah dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan inipun dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirnya (gradasi), dan tekstur permukaannya (Mulyono, 2004).

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima, yaitu (Tri Mulyono, 2004) :

1. Volume udara  
Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.
2. Volume padat  
Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton.
3. Berat jenis agregat  
Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.

4. Penyerapan  
Penyerapan berpengaruh pada berat jenis.
5. Kadar air permukaan agregat  
Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran.

Jenis agregat berdasarkan beratnya terbagi menjadi tiga jenis agregat, yaitu agregat normal, agregat ringan dan agregat berat. Agregat normal ini biasanya dihasilkan dari pemecahan batuan atau langsung dari sumber alam dengan berat jenis rata-ratanya adalah 2,5 - 2,7 atau tidak boleh kurang dari 1,2. Beton yang dibuat dengan agregat normal adalah beton normal dengan berat isi 2200 – 2500 kg/m<sup>3</sup> (SKSNIT-15-1991). Agregat ringan digunakan untuk menghasilkan beton yang ringan dalam sebuah bangunan yang memperhitungkan berat dirinya. Berat isi agregat ringan ini berkisar 350 - 880 kg/m<sup>3</sup> untuk agregat kasarnya dan 750- 1200 kg/m<sup>3</sup> untuk agregat halus dan campuran kedua agregat tersebut mempunyai berat isi maksimum 1040 kg/m<sup>3</sup>.

Agregat berat mempunyai berat jenis lebih besar dari 2800 kg/m<sup>3</sup>. Berat jenis beton yang dihasilkan dengan menggunakan agregat berat ini dapat mencapai 5 kali berat jenis bahannya (Mulyono, 2004).

Jenis agregat berdasarkan ukuran butir nominal dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Halus adalah agregat yang semua butimya menembus ayakan berlubang 4,8mm (S110052,1980) atau 4,75mm (ASTM C33,1982) atau 5,0mm (BS.812,1976).
2. Agregat kasar adalah agregat yang semua butimya tertinggal diatas ayakan 4,8mm (S110052,1980) atau 4,75mm (ASTM C33,1982) atau 5,0mm (BS.812.1976).

Ukuran nominal butir agregat terbesar tidak boleh melebihi nilai berikut ini :

- a. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan
- b. sepertiga tebal pelat
- c. tiga perempat jarak bersih minimum antar batang tulangan, berkas batang tulangan ataupun kabel prategang atau tendon prategang.

Jenis agregat berdasarkan gradasi atau distribusi ukuran agregatnya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu : (Mulyono ,2004).

1. Gradasi sela (gap gradation)

Jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada, maka gradasi ini akan menunjukkan satu garis horizontal dalam grafiknya.

2. Gradasi menerus

Adalah agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik Agregat ini lebih sering dipakai dalam campuran beton. Untuk mendapat angka pori yang kecil dengan kemampatan yang tinggi sehingga terjadi interlocking yang baik, campuran beton membutuhkan variasi ukuran butir agregat. Gradasi ini merupakan yang paling baik.

3. Gradasi seragam

Agregat yang mempunyai ukuran yang sama didefinisikan sebagai agregat seragam. Agregat ini biasanya dipakai untuk beton ringan, atau mengisi agregat dengan gradasi sela, atau untuk campuran agregat yang kurang baik atau tidak memenuhi syarat.

Agregat untuk beton harus memenuhi ketentuan dari mutu dan cara uji agregat beton dalam SII 0052-80 ataupun persyaratan dari ASTM C330 tentang spesifikasi untuk agregat beton.

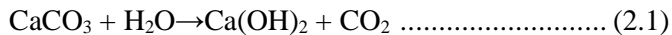
Kekuatan beton dipengaruhi oleh kualitas agregat, proporsi campuran, serta kebersihan air dan agregatnya. Oleh karena itu, selain harus memiliki kekuatan dan daya tahan baik, butir agregat disyaratkan harus bersih dari Lumpur atau material organik lainnya yang dapat mengurangi kekuatan beton. Bila banyaknya lumpur

atau material organik yang dikandung dalam agregat lebih dari 5% maka agregat tersebut harus dicuci.

## 2.5 Semen

Semen adalah suatu jenis bahan adesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat jika dicampur dengan air, sehingga terbentuk pasta semen. Semen merupakan suatu hasil industri yang dapat menjadi sangat kompleks dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda, digunakan sebagai bahan pengikat (bonding material) (Tjokrodinuljo, 1998). Semen dapat dibagi menjadi dua kelas, yaitu:

1. Semen non hidrolis adalah semen yang tidak dapat mengeras dalam air atau tidak stabil dalam air. Contoh semen non hidrolis adalah lime dimana lime ini merupakan perekat klasik dalam bangunan yang dibuat dengan memanaskan limestone pada temperatur 850°C.  $\text{CaCO}_3$  dari limestone akan melepaskan  $\text{CO}_2$  dan menghasilkan burn lime atau quick lime ( $\text{CaO}$ ).



Reaksi 2.1 menunjukkan reaksi cepat dengan air menghasilkan  $\text{Ca(OH)}_2$  dalam butiran yang halus dan  $\text{Ca(OH)}_2$  ini tidak dapat mengeras dalam air tetapi dapat mengeras bila bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  dari udara membentuk  $\text{CaCO}_3$  kembali.

2. Semen hidrolis adalah semen yang dapat mengeras dalam air menghasilkan padatan yang stabil dalam air. Contoh semen hidrolis adalah semen Portland, semen campur, semen khusus dan lain-lainnya.

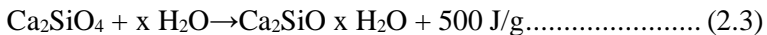
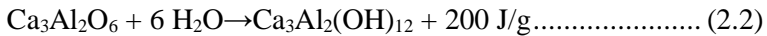
Berdasarkan ASTM C150-02a semen Portland biasa diidentifikasi sebagai tipe I. Tipe lain dari semen Portland dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.3



**Tabel 2.3** Jenis-jenis semen portland (ASTM C150-02a, 2002)

Jenis	Penggunaan
I	Konstruksi biasa, sifat khusus tidak diperlukan
II	Konstruksi biasa, resistensi terhadap sulfur atau panas dari hidrasi
III	Jika diinginkan kekuatan permukaan yang tinggi
IV	Jika diinginkan panas yang rendah dari hidrasi
V	Jika diinginkan daya tahan yang tinggi terhadap sulfat

Keberadaan senyawa-senyawa silikat dan aluminat dalam semen menyebabkan terjadinya reaksi dengan air jika semen dicampur dengan air. Akibatnya terbentuk suatu senyawa hidrat sebagai produk dari proses hidrasi yang selanjutnya akan terjadi pengerasan massa. Reaksinya kompleks, tetapi secara umum dapat dituliskan pada Reaksi 2.2, 2.3 dan 2.4 (van Vlack, 1985):



Reaksi di atas hanya berlaku untuk semen Portland yang banyak digunakan oleh masyarakat. Reaksi kimia antara semen Portland dengan air menghasilkan senyawa yang disertai dengan pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan beton yang berakibat pada keretakan beton. Reaksi semen dengan air dibedakan menjadi dua, yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Pengikatan merupakan peralihan dari keadaan plastis menuju keadaan keras. Sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai (Tjokrodimaljo, 1995).

Komposisi untuk semen Portland berdasarkan SNI 15-2049-2015, ditunjukkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Komposisi semen portland (SNI 15-2049-2015, 2015)

Oksida	Komposisi (%)
CaO	60-67
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-0,6
MgI <sub>2</sub>	0,1-6
K <sub>2</sub> O	0,5-1,3

## 2.6 *Admixture*

Penambahan zat *admixture* pada campuran beton seperti superplasticizer memungkinkan pengurangan air dalam jumlah yang sangat besar, kuat awal yang tinggi serta karakteristik *flow* yang sangat bagus. Superplasticizer disebut juga sebagai bahan tambahan kimia pengurang air.

Pada umumnya superplasticizer digunakan untuk :

- Aplikasi untuk beton yang memerlukan kekuatan awal yang sangat besar
- Beton dengan pengurangan air yang besar
- Beton mutu tinggi
- *Self Compacting Concrete (SCC)*

Keuntungan penggunaan superplasticizer adalah sebagai berikut :

- Pengurangan air yang banyak akan memberikan densitas yang besar, kekuatan yang tinggi dan mengurangi permeabilitas beton
- Memudahkan pengerjaan untuk kebutuhan kekuatan awal yang besar
- Efek plastis yang sangat bagus

Sehingga untuk menghasilkan kuat tekan serta *workability* yang tinggi, superplasticizer ditambahkan kedalam campuran beton. Penambahan superplasticizer tersebut akan mempengaruhi kadar air campuran beton karena sifatnya yang dapat mereduksi air.

Sehingga pada kondisi *workability* yang sama, beton geopolimer dengan penambahan superplasticizer akan memiliki rasioair-prekursor yang lebih kecil jikaa dibandingkan dengan beton geopolimer tanpa penambahan superplasticizer.

## 2.7 Polimer

Polimer adalah suatu makromolekul yang tersusun dari unit-unit berulang sederhana. Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *Poly*, yang berarti banyak, dan *mer* yang berarti bagian atau satuan (Stevens, 2001). Kesatuan unit-unit berulang penyusun polimer disebut dengan monomer. Ciri utama polimer yakni mempunyai rantai yang sangat panjang dan memiliki massa molekul yang sangat besar.

### 2.7.1 Klasifikasi Polimer

Berdasarkan sumbernya polimer dapat dibagi menjadi polimer alam dan polimer sintetik.

#### a) Polimer Alam

Polimer alam adalah polimer yang terjadi melalui proses alami. Contoh polimer alam anorganik seperti tanah liat, pasir, sol-gel, silika, siloksan. Sedangkan contoh polimer organik alam adalah karet alam dan selulosa yang berasal dari tumbuhan, wol dan sutera yang berasal dari hewan serta asbes yang berasal dari mineral.

#### b) Polimer Sintetik

Polimer sintetik adalah polimer yang dibuat melalui reaksi kimia sepeti karet fiber, nilon, poliester, polisterena, polietilen.

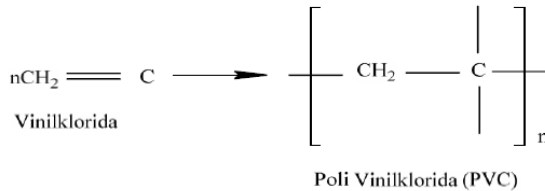
### 2.7.2 Polimerisasi

Polimerisasi adalah proses pembentukan polimer dari monomernya. Reaksi tersebut akan menghasilkan polimer dengan jumlah susunan ulang tertentu. Secara tradisional polimer-polimer

telah diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu menjadi polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi (Cowd, 1991).

### 1. Polimerisasi adisi

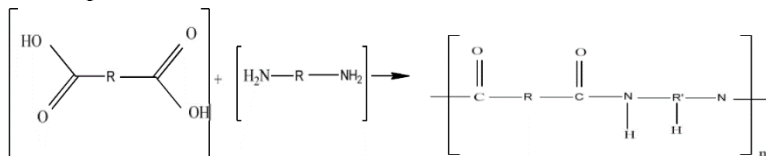
Polimer adisi adalah polimerisasi yang disertai dengan pemutusan ikatan rangkap diikuti oleh adisi monomer. Dalam polimerisasi adisi melibatkan reaksi rantai dapat berupa radikal bebas atau ion menghasilkan polimer yang memiliki atom yang sama seperti monomer dalam gugus ulangnya. Polimerisasi ini juga melibatkan reaksi adisi dari monomer yang memiliki ikatan rangkap.



**Gambar 2.4** Reaksi adisi (Cowd, 1991).

### 2. Polimerisasi Kondensasi

Polimerisasi kondensasi adalah reaksi yang terjadi antara dua molekul bergugus fungsi banyak yang menghasilkan molekul besar dengan disertai pelepasan molekul kecil seperti air melalui reaksi kondensasi. Contoh reaksi polimerisasi kondensasi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Reaksi Kondensasi (Cowd, 1991).

---

## 2.8 Beton

Menurut SNI-03-2847-2002, beton ialah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu beton normal dan beton khusus. Beton normal diperoleh dengan cara mencampurkan semen *portland*, air dan agregat, sedangkan beton khusus adalah beton yang ditambahkan dengan bahan khusus, misalnya *pozzolan*, bahan kimia pembantu, serat, dan sebagainya.

Menurut Mulyono (2004) secara umum beton dibedakan kedalam 2 kelompok, yaitu :

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.

Kelas dan mutu beton ini, di bedakan menjadi 3 kelas, yaitu :

- a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu kelas I dinyatakan dengan B0.
  - b. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar B1, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu-mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.
  - c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Disyaratkan adanya
-

laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

Adapun pembagian kelas dan mutu beton ini, dapat dilihat dalam tabel 2.5 berikut ini :

**Tabel 2.5** Kelas dan mutu beton

Kelas	Mutu Beton	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tujuan
I	B0	50 – 80	Non-Struktural
	B1	100	Rumah Tinggal
II	K125	125	Perumahan
	K175	175	Perumahan
	K225	225	Bendungan
III	K>225	>225	Jembatan, Bangunan Tinggi, Terowongan kereta api

Adapun konversi dari mutu beton K dan mutu  $f_c$  di tampilkan pada tabel 2.6

**Tabel 2.6** Konversi mutu beton

No.	MUTU K	MUTU $f_c$ (Mpa)
1	K100	$f_c$ 8,3 mpa
2	K-150	$f_c$ 12.35 mpa
3	K-175	$f_c$ 14.53 mpa
4	K-200	$f_c$ 16.60 mpa
5	K-225	$f_c$ 18.68 mpa
6	K-250	$f_c$ 20.75 mpa
7	K-275	$f_c$ 22.83 mpa
8	K-300	$f_c$ 24.90 mpa
9	K-350	$f_c$ 29.05 mpa
10	K-400	$f_c$ 33.20 mpa
11	K-450	$f_c$ 37.35 mpa
12	K-500	$f_c$ 41.50 mpa

2. Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 6 jenis, yaitu :
  - a. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran *shale*, lempung, *slates*, residu *slag*, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar 800-1800 kg/m<sup>3</sup> atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar 1400 kg/m<sup>3</sup>, dengan kekuatan tekan umur 28 hari antara 6,89 Mpa sampai 17,24 Mpa menurut SNI 08-1991-03.
  - b. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara 2200 kg/m<sup>3</sup> – 2400 kg/m<sup>3</sup> dengan kuat tekan sekitar 15 – 40 Mpa.
  - c. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m<sup>3</sup>. Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.
  - d. Beton massa (*mass concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.
  - e. *Ferro-Cement*

*Ferro-Cement* adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan yang berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktil pada mortar semen.

---

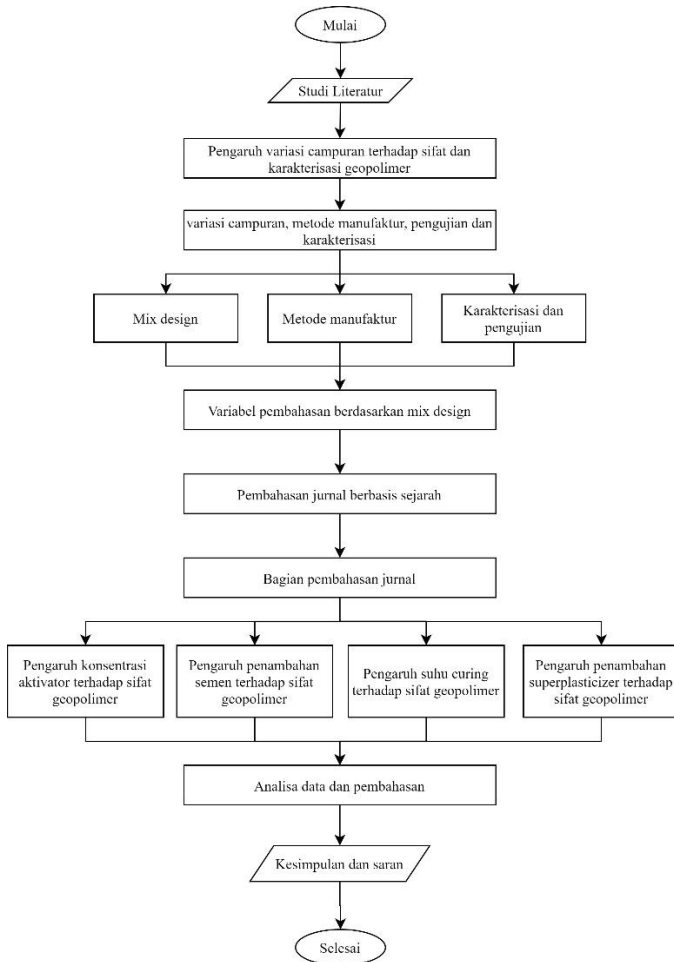
f. Beton serat (*fibre concrete*)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.



# BAB III METODOLOGI

## 3.1 Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir pembahasan jurnal

### 3.2 Mix Design dan Metode Manufaktur

Proses pembahasan review akan menggunakan data eksperimental dari berbagai jurnal dengan variasi dari mix design. Mix design dan metode manufaktur seperti pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Mix design dan metode manufaktur

Mix design	Metode manufaktur	Karakterisasi dan pengujian	Referensi
Konsentrasi aktivator	<i>Mechanical mixing</i>	Kekuatan tekan XRF Densitas	Hardjito, 2005 Songpiriyakij, 2006 Pavithra, 2016 Darma, 2018 Hardjito, 2005
Suhu curing	<i>Mechanical mixing</i>	Kekuatan tekan XRF Densitas	Songpiriyakij, 2006 Chanh, 2008 Tambingon, 2018
Penambahan superplasticizer	<i>Mechanical mixing</i>	Kekuatan tekan XRF Densitas	Musa, 2018
Penambahan semen	<i>Mechanical mixing</i>	Kekuatan tekan Densitas	Tambingon, 2018

### 3.3 Pengujian

Adapun proses pengujian secara umum yang dilakukan pada beberapa referensi adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Pengujian XRF

Uji XRF adalah salah satu metode analisis yang digunakan untuk menganalisis unsur dalam suatu sampel atau bahan secara kualitatif. Prinsip kerja metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh spektrum yang mewakili jenis unsur yang sesuai dengan

energi sinar-X sedangkan untuk analisa kuantitatif diperoleh dengan membandingkan sampel dengan standar.

### 3.3.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian tekan dilakukan kepada spesimen sesuai dengan ASTM C39-86 dengan menggunakan perbandingan antara diameter dan tinggi tabung sebesar 1:2. Diameter tabung yang digunakan adalah 1 inchi dan tingginya adalah 2 inchi (ASTM International, 2007). Pengujian tekan akan menghasilkan data tegangan yang dihasilkan oleh mesin uji tekan yang selanjutnya dikonversi menjadi kuat tekan setelah membaginya dengan luas penampang dari spesimen uji.

### 3.3.3 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur densitas dari geopolimer hasil cetakan berdasarkan Rumus 3.2. Pengujian densitas geopolimer dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Benda uji ditimbang dan hasilnya dicatat sebagai massa (m)
- Benda uji dihitung volumenya dan dicatat sebagai (V)
- Densitas geopolimer dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana :

- $\rho$  : densitas (g/cm<sup>3</sup>)  
 $m$  : massa benda uji kering di udara (g)  
 $V$  : volume (cm<sup>3</sup>)

### 3.4 Ruang lingkup pembahasan

Adapun ruang lingkup pembahasan pada dari beberapa referensi disajikan dalam tabel 3.2

**Tabel 3.2** Ruang lingkup pembahasan

Mix Design	Kekuatan tekan	XRF	Densitas	Referensi
Konsentrasi aktivator	V	V	V	Hardjito, 2005 Songpiriyakij, 2006 Pavithra, 2016 Darma, 2018 Hardjito, 2005 Songpiriyakij, 2006
Suhu curing	V	V	V	Chanh, 2008 Tambingon, 2018
Penambahan superplasticizer	V	V	V	Musa, 2018
Penambahan semen	V		V	Tambingon, 2018

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

Berikut ini adalah literatur yang diperoleh dari penelitian beton geopolimer mengenai sifat dari beton geopolimer. Data-data yang dibutuhkan dari tiap literatur adalah sebagai berikut.

- Spesifikasi fly ash yang digunakan
- Komposisi setiap mix design
- Hasil pengujian geopolimer

#### 4.1.1 Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete

Penelitian ini dilakukan oleh Hardjito Djuwantoro dari Curtin University of Technology, Australia pada tahun 2005. Penelitian ini membahas secara rinci tentang pembuatan beton geopolimer. Karena keterbatasan literatur dan referensi pada saat itu, penelitian ini melakukan metode trial eror untuk mengetahui parameter yang mempengaruhi sifat beton geopolimer.

##### 4.1.1.1 Kandungan Fly Ash

Pada penelitian ini *fly ash* yang didatangkan dari PLTU Collie dikirim dalam tiga batch. Kandungan kimia *fly ash* dari masing masing batch *fly ash* ditunjukkan oleh tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Kandungan kimia fly ash PLTU Collie

Oxide	Batch I	Batch II	Batch III
SiO <sub>2</sub>	53.36	47.80	48.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.49	24.40	29.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.86	17.40	12.70
CaO	1.34	2.42	1.78
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.31	0.39
K <sub>2</sub> O	0.80	0.55	0.55
TiO <sub>2</sub>	1.47	1.328	1.67
MgO	0.77	1.19	0.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.43	2.00	1.69

SO <sub>3</sub>	1.70	0.29	0.50
ZrO <sub>2</sub>	-	-	0.06
Cr	-	0.01	0.016
MnO	-	0.12	0.06
LOI	1.39	1.10	1.61

Berdasarkan kandungan kimia, fly ash PLTU Collie digolongkan sebagai fly ash tipe F.

#### 4.1.1.2. Proporsi Campuran

Pada penelitian ini digunakan *fly ash* tipe F yang berasal dari PLTU Collie sebagai prekursor dengan spesifikasi seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Alkaline activator digunakan adalah dan kombinasi antara Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH. Pada penelitian ini dilakukan trial mix dengan variasi parameter sebagai berikut :

- Konsentrasi NaOH yang digunakan berkisar antara 8M hingga 16M.
- Rasio perbandingan massa NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> berkisar antara 0.4 hingga 2.5.
- Rasio Air/Prekursor yang digunakan adalah 0.3 dan 0.4.
- Persentase massa agregat berkisar antara 75% hingga 80% dari massa sample beton.
- *Superplasticizer* yang digunakan berkisar antara 0% - 2% dari massa Prekursor.

Pada penelitian ini sample beton di curing dengan variasi metode curing dengan oven dan curing dalam suhu ruang. Variasi suhu curing 30<sup>0</sup>C, 45<sup>0</sup>C, 60<sup>0</sup>C, 75<sup>0</sup>C, dan 90<sup>0</sup>C dengan variasi waktu curing selama 4 dan 24 jam. Secara lengkap komposisi pada penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Mix Design beton Geopolimer dengan Fly Ash PLTU Collie

Mix No	Aggregate					Fly ash (kg)	NaOH solution		Sodium silicate (kg)	Added water (kg)	Superplasticizer (kg)
	20mm(kg)	14mm(kg)	10mm(kg)	7mm(kg)	Finesand (kg)		Mass (kg)	Molarity			
1	277	370	-	647	544	476 <sup>a)</sup>	120	8M <sup>*)</sup>	48	-	-
2	277	370	-	647	554	476 <sup>a)</sup>	48	8M <sup>*)</sup>	120	-	-
3	277	370	-	647	554	476 <sup>a)</sup>	120	14M <sup>*)</sup>	48	-	-
4	277	370	-	647	554	476 <sup>a)</sup>	48	14M <sup>*)</sup>	120	-	-
5	-	-	-	1294	554	408 <sup>c)</sup>	51.5	14M <sup>**)</sup>	103	16.5 <sup>x)</sup>	-
6	-	-	-	1294	554	408 <sup>c)</sup>	51.5	14M <sup>**)</sup>	103	16.5 <sup>x)</sup>	4.1
7	-	-	-	1294	554	408 <sup>c)</sup>	51.5	14M <sup>**)</sup>	103	16.5 <sup>x)</sup>	8.2
8	-	-	-	1294	554	408 <sup>c)</sup>	51.5	14M <sup>**)</sup>	103	16.5 <sup>x)</sup>	16.3
9	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	14M <sup>**)</sup>	103	14.3 <sup>y)</sup>	6.1
10	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	14M <sup>**)</sup>	103	17.6 <sup>y)</sup>	6.1
11	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	12M <sup>*)</sup>	103	14.3 <sup>y)</sup>	6.1
12	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	8M <sup>*)</sup>	103	-	6.1
13	277	370	-	647	554	408 <sup>a)</sup>	41	14M <sup>*)</sup>	103	-	8.2
14	277	370	-	647	554	408 <sup>a)</sup>	41	14M <sup>*)</sup>	103	10.7 <sup>y)</sup>	8.2
15	277	370	-	647	554	408 <sup>a)</sup>	41	14M <sup>*)</sup>	103	21.3 <sup>y)</sup>	8.2
16	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	8M <sup>*)</sup>	103	-	6.1
17	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	10M <sup>*)</sup>	103	7.5 <sup>y)</sup>	6.1
18	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	12M <sup>*)</sup>	103	14.4 <sup>y)</sup>	6.1
19	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	14M <sup>*)</sup>	103	20.7 <sup>y)</sup>	6.1
20	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	16M <sup>*)</sup>	103	26.5 <sup>y)</sup>	6.1
21	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	14M <sup>**)</sup>	103	20.7 <sup>y)</sup>	6.1
22	-	-	-	1294	554	408 <sup>c)</sup>	41	14M <sup>**)</sup>	103	16.5 <sup>x)</sup>	6.1
23	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	14M <sup>*)</sup>	103	-	8.2
24	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	41	8M <sup>*)</sup>	103	-	6.1
25	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	55.4	8M <sup>*)</sup>	103	-	6.1
26	-	-	554	647	647	408 <sup>b)</sup>	55.4	8M <sup>*)</sup>	103	-	6.1

Note:

- \*) Technical Grade      a) Fly Ash: Batch I      x) Tap water  
 \*\*) Commercial Grade    b) Fly Ash: Batch II      y) Distilled water  
    c) Fly Ash: Batch III

#### 4.1.1.3 Hasil Penelitian

Hasil peengujian dari sampel beton ditunjukkan oleh tabel

#### 4.3.

**Tabel 4.3** Mix design beton geopolimer dengan fly ash PLTU  
Collie

Mix No	Curing			Umur (hari)	Slump (mm)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat tekan (MPa)
	Waktu (jam)	Temperatur (°C)	Metode				
1	24	60	Oven	7	Na	2365	17
2	4	30	Oven	7	Na	2376	8
	4	60	Oven	7	Na	2378	24
	4	90	Oven	7	Na	2341	37
	24	30	Oven	7	Na	2364	20
	24	60	Oven	7	Na	2377	57
	24	90	Oven	7	Na	2341	66
3	24	60	Oven	7	Na	2386	48
4	48	30	Oven	7	Na	2367	49
	4	60	Oven	7	Na	2320	25
	4	90	Oven	7	Na	2376	30
	24	30	Oven	7	na	2367	29
	24	60	Oven	7	na	2386	68
	24	90	Oven	7	na	2385	70
5	24	60	Steam	3	39	2340	42
6	24	60	Steam	3	59	2375	41
7	24	60	Steam	3	80	2347	41
8	24	60	Steam	3	93	2336	36
9	24	60	Steam	7	209	-	40
	24	60	Steam	7	209	-	41
	24	60	Steam	7	209	-	48
	24	60	Steam	7	209	-	50
	24	60	Steam	7	209	-	49
10	24	60	Steam	7	215	2298	43
	24	60	Steam	7	215	2299	53
	24	60	Steam	7	215	2298	56
	24	60	Steam	7	215	2305	57
	24	60	Steam	7	215	2306	57
	24	60	Steam	7	215	2303	58
11	24	60	Steam	7	225	2305	38
	24	60	Steam	7	225	2309	53



	24	60	Steam	7	225	2314	56
	24	60	Steam	7	225	2318	59
	24	60	Steam	7	225	2318	59
	24	60	Steam	7	225	2314	59
12	24	60	Oven	7	60	2357	63
	24	60	Oven	7	60	2364	74
	24	60	Oven	7	60	2363	73
	24	60	Oven	7	60	2361	76
	24	60	Oven	7	60	2369	75
13	24	60	Oven	7	60	2368	77
	24	30	Oven	7	na	2387	44
	24	45	Oven	7	Na	2377	55
	24	60	Oven	7	Na	2375	59
	24	75	Oven	7	Na	2375	65
14	24	90	Oven	7	Na	2376	71
	24	30	Oven	7	Na	2338	35
	24	45	Oven	7	Na	2336	42
	24	60	Oven	7	Na	Na	Na
	24	75	Oven	7	Na	2337	60
15	24	90	Oven	7	Na	2334	59
	24	30	Oven	7	Na	2326	32
	24	45	Oven	7	Na	2322	37
	24	60	Oven	7	Na	2321	44
	24	75	Oven	7	Na	2301	44
16	24	90	Oven	7	Na	2318	44
	24	60	Oven	7	32	2381	55
17	24	60	Steam	7	32	2385	47
	24	60	Oven	7	113	2352	53
18	24	60	Steam	7	113	2362	45
	24	60	Oven	7	162	2361	51
19	24	60	Steam	7	162	2364	42
	24	60	Oven	7	214	2343	45
20	24	60	Steam	7	214	2341	40
	24	60	Oven	7	240	2341	47
21	24	60	Steam	7	240	2342	40
	24	60	Steam	21	234	2345	37
	24	60	Steam	21	234	2367	40
	24	60	Steam	21	226	2373	45
22.a	4	90	Steam	21	219	2378	45
22.b	4	90	Steam	3	91	2331	40
	4	90	Steam	3	67	2344	47

22.c	4	90	Steam	3	49	2368	56
23	24	90	Oven	90	46	-	89
24	24	60	Oven	90	135	-	68
25	24	60	Oven	90	207	-	55
26	24	60	Steam	90	219	-	44

#### 4.1.2 Engineering Properties of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete

Penelitian ini dilakukan oleh Smith Songpiriyakij, dari King Mongkut's Institute Of Technology North Bangkok, Thailand, Pada tahun 2007.

##### 4.1.2.1 Kandungan Fly Ash

Pada penelitian ini fly ash yang digunakan berasal dari PLTU Mae Moh, Thailand. Kandungan kimia dari *fly ash* ditunjukkan oleh tabel 4.4

**Tabel 4.4** Kandungan Kimia Fly Ash PLTU Mae Moh

Elements	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	LOI
%Mass	45,32	20,92	10,7	7,6	1,8	0,2

Berdasarkan kandungan kimia, fly ash PLTU Mae Moh digolongkan sebagai fly ash tipe F.

##### 4.1.2.2 Komposisi Campuran

Pada penelitian ini digunakan sampel beton kubus berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm. Jumlah agregat yang digunakan pada penelitian ini dibuat konstan, sedangkan komposisi pasta geopolimer dijadikan sebagai variable bebas. Larutan NaOH yang digunakan memiliki konsentrasi 15 M dan 20 M. Pada penelitian ini digunakan 7 komposisi dengan 7 rasio air/prekursor yang berbeda. Untuk masing masing komposisi dibandingkan pengaruh metode curing pada suhu ruang (25<sup>0</sup>C) dan pemanasan dengan oven dengan suhu 60<sup>0</sup>C selama 24 jam. Secara lengkap proporsi campuran dan metode curing pada penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Komposisi Campuran Beton Geopolimer dengan fly ash Mae Moh

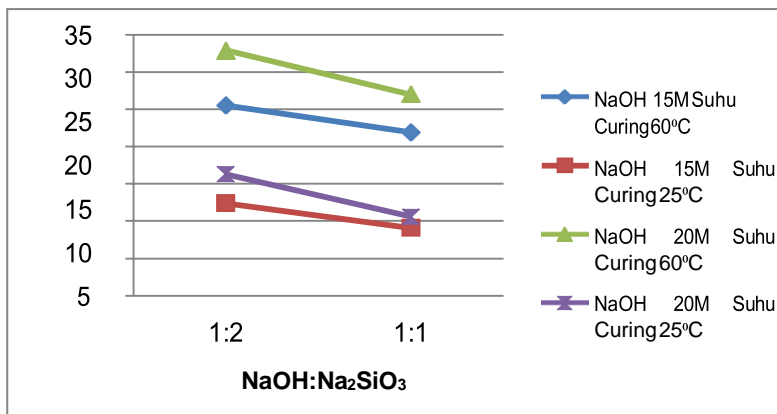
No	NaOH	Fly Ash	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Kerikil	Pasir	Air/ Prekursor	Suhu Curing	NaOH: Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
		F	Kg/m <sup>3</sup>						
1	15 M	514	55	127	1056	700	<b>0,4</b>	60°C	1:2.3
2	15 M	514	79	79	1056	700	<b>0,42</b>	60°C	1:1
3	15 M	475	79	158	1056	700	<b>0,47</b>	60°C	1:2
4	15 M	475	119	119	1056	700	<b>0,48</b>	60°C	1:1
5	20 M	514	79	79	1056	700	<b>0,41</b>	60°C	1:2
6	20 M	475	79	158	1056	700	<b>0,46</b>	60°C	1:2
7	20 M	475	119	119	1056	700	<b>0,46</b>	60°C	1:1

#### 4.1.2.3 Hasil Penelitian

Pengujian kuat tekan dilakukan pada usia 1, 3, 7, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan pada usia 7 hari dan 28 hari untuk sampel 3,4,6, dan 7 ditunjukkan oleh tabel 4.6.

**Tabel 4.6.** Hasil Pengujian Komposisi Campuran Beton Geopolimer dengan Fly Ash PLTU Mae Moh

No	Suhu curing	NaOH : Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Pasir : fly ash	Kerikil : fly ash	Waktu curing	Umur beton	Kuat tekan (MPa)	
							NaOH 15M	NaOH 20M
1	60C	1:2	1,474	1,509	1	7	25.5	32.9
2	60C	1:1	1,474	1,509	1	7	21.9	27
3	25C	1:2	1,474	1,509	1	7	12.4	16.3
4	25C	1:1	1,474	1,509	1	7	9.1	10.6



**Gambar 4.1** Hasil pengujian komposisi campuran beton dengan Fly Ash PLTU Mae Moh

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa komposisi optimal yang dapat menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah komposisi No 6 dengan suhu curing 60°C.

#### 4.1.3 Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash

Penelitian ini dilakukan oleh Darma Adi S, dkk. Dari Universitas Diponegoro pada tahun 2018.

##### 4.1.3.1 Kandungan Kimia Fly Ash

Pada penelitian ini menggunakan fly ash yang berasal dari Varia Usaha Beton Demak dengan sumber asal PJB Tanjung Jati B – Jepara dan diperoleh komposisi kimia Fly Ash sebagai berikut:

**Tabel 4.7** Komposisi fly ash PJB Tanjung Jati – Jepara

Parameter	Hasil Analisa (%)	Standar Berdasarkan					
		ASTM C 618			ACI Part 1 226-3R		
		N	C	F	N	F	C
SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76,87	70	70	50	-	70	50
CaO	11,48	-	-	-	-	<10	>10
SO <sub>3</sub>	2,29	4	5	5	-	5	5
Kadar Air	0,33	3	3	3	-	3	3
LOI	1,66	10	6	6	-	6	6
Na <sub>2</sub> O	1,12	-	1,5	1,5	-	1,5	1,5

#### 4.1.3.2 Komposisi Campuran

Pada penelitian kali ini menggunakan trial mix dengan variasi parameter sebagai berikut:

- Konsentrasi NaOH yang digunakan 6M, 8M, dan 10M
- Rasio perbandingan NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> adalah 1:2
- Persentase aktivator 10,5%
- Persentase agregat kasar 42%
- Persentase agregat halus 285
- Persentase fly ash 19,5%

Benda uji dibuat sebanyak 9 silinder untuk masing-masing molar dan 3 silinder beton konvensional untuk pengujian dari umur 7 hari hingga 28 hari. Berikut ini adalah tabel jumlah benda uji penelitian :

**Tabel 4.8** Benda Uji Penelitian

Beton Geopolimer	Umur pengujian	Jumlah sampel
6 Molar	7 hari	3
	14 hari	3
	28 hari	3
8 Molar	7 hari	3
	14 hari	3
	28 hari	3
10 Molar	7 hari	3
	14 hari	3
	28 hari	3
Konvensional	28 hari	3

#### 4.1.3.2 Hasil Penelitian

Kuat tekan beton geopolimer yang akan diuji terdiri dari 3 jenis konsentrasi larutan NaOH yaitu 6M, 8M, dan 10M dengan pengujian pada umur 7, 14, dan 28 hari. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan beton yang dilakukan.

**Tabel 4.9** Hasil pengujian kuat tekan Beton

No	Jenis beton	Umur (hari)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	6M	7	15,29
		14	31,33
		28	41,52
2	8M	7	21,14
		14	36,42
		28	45,29
3	10M	7	19,06
		14	35,67
		28	43,22
4	Konvensional	28	25,86

Pengujian berat jenis dilakukan pada benda uji beton geopolimer dan konvensional yang sudah dites kuat tekannya dan berumur 28 hari. Berikut ini tabel hasil pengujian berat jenis:

**Tabel 4.10** Hasil pengujian berat jenis beton

No	Jenis beton	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )
1	6M	2116,98
2	8M	2228,14
3	10M	2241,32
4	Konvensional	2125,70

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa berat jenis beton geopolimer berkisar antara 2116.98 – 2241.32 kg/m<sup>3</sup>. Dan hal ini menunjukkan berat jenis beton geopolimer lebih besar dibandingkan beton konvensional dengan berat jenis sebesar 2125.70 kg/m<sup>3</sup>.

#### **4.1.4 A Mix Design Procedure for Geopolymer Concrete with Fly Ash**

Penelitian ini dilakukan oleh P. Pavithra dari Indian Institute of Technology, Bhubaneswar, Odisha 751013, India pada tahun 2016.

##### **4.1.4.1 Kandungan Fly Ash**

Kandungan fly ash pada penelitian ini diperoleh dari uji XRF pada tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Kandungan Fly Ash

Element	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
Massa %	61.89	28.05	4.11	0.87	0.40	0.82	0.38	1.32	0.49

Berdasarkan uji XRF fly ash pada penelitian ini tergolong kedalam fly ash kelas F

#### 4.1.4.2 Komposisi Campuran

Pada penelitian ini digunakan sampel beton kubus berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm.. Larutan NaOH yang digunakan memiliki konsentrasi 16 M dan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$  adalah 1,5. Perbandingan aktivator dan fly ash divariasikan seperti 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8. Secara lengkap proporsi campuran pada penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Proporsi campuran

Mix	AAS/FA	Fly ash ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	NaOH ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Aggregate				Water/Geopo- lymer Solid	SP ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
					20 mm	12.5 mm	6.3 mm	Fine Aggreg- ate		
1	0.4	500	80	120	465	538	318	320	0.21	6
2	0.5	400	80	120	500	578	341	344	0.26	4
3	0.6	333	80	120	523	605	357	360	0.30	3.2
4	0.7	286	80	120	540	624	369	371	0.34	-
5	0.8	250	80	120	552	638	377	380	0.37	-

#### 4.1.4.3 Hasil Penelitian

Hasil penelitian berdasarkan dari variasi AAS/FA diperoleh nilai slump dan kuat tekan beton seperti yang ditampilkan pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Properties of GPC

AAS/AF	Slump (mm)	28 day strength (MPa)	90 day strength (MPa)
0.4	35	53.56	55.33
0.5	60	45.95	47.49
0.6	80	37.12	39.96
0.7	110	33.41	36.85
0.8	Collapse	23.45	28.26



---

### 4.1.5 Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan

Penelitian ini dilakukan oleh Fikri Riki Tambingon dari Universitas Sam Ratulangi Manado pada tahun 2018.

#### 4.1.5.1 Kandungan Fly Ash

Penelitian ini menggunakan fly ash dari PLTU Amurang. Pada penelitian ini tidak dilakukan uji XRF sehingga Komposisi dari unsur-unsur kimia yang terkandung tidak akurat.

#### 4.1.5.2 Komposisi Campuran

Pada penelitian ini menggunakan trial mix pada tabel 4.14 dibawah ini.

**Tabel 4.14** Komposisi campuran beton geopolimer

Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )
Agregat kasar	1294
Agregat halus	554
Fly ash	476
NaOH	120 (14M)
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	300
superplasticizer	12.2

#### 4.1.5.3 Hasil Penelitian

Benda uji beton yang digunakan berbentuk silinder 10/20cm dengan variasi perawatan pada temperature ruangan, perawatan dalam oven selama 24 jam 60°C dan Perawatan temperature tinggi dalam oven selama 24 jam 90°C, dari masing-masing perawatan tersebut pada komposisinya di tambahkan semen dengan presentase 0%, 2,5%, 5%, dan 10% dari berat *fly ash*. Benda uji berumur 7 hari dan 28 hari adapun hasil kuat tekan ada pada tabel-tabel berikut.

**Tabel 4.15** Kuat tekan beton dengan perawatan temperatur ruangan

No	Kode variasi	Konsentrasi Semen (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	
			Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	TR-1	0	14.23	21.79
2	TR-2	2.5	18.13	22.05
3	TR-3	5	18.49	25.30
4	TR-4	10	20.68	23.42

**Tabel 4.16** Kuat Tekan Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 60°C

No	Kode variasi	Konsentrasi Semen (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	
			Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	ET-1	0	30.38	32.65
2	ET-2	2.5	33.90	33.80
3	ET-3	5	34.78	36.86
4	ET-4	10	35.34	32.91

**Tabel 4.17** Kuat Tekan Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 90°C

No	Kode variasi	Konsentrasi Semen (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	
			Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	ET-5	0	38.03	42.32
2	ET-6	2.5	46.93	46.41
3	ET-7	5	51.57	43.86
4	ET-8	10	44.74	41.36

Adapun hasil pemeriksaan berat volume beton rata-rata dari variasi suhu Temperatur Ruangan, *Curing oven* 24 jam 60°C dan 90°C dengan umur 7 dan 28 hari pada tabel-tabel berikut ini.

**Tabel 4.18** Berat Jenis Beton dengan perawatan temperatur ruangan

No	Kode variasi	Konsentrasi Semen (%)	Berat Jenis Rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )	
			Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	TR-1	0	2231.18	2253.79
2	TR-2	2.5	2260.25	2262.09
3	TR-3	5	2254.33	2302.94
4	TR-4	10	2326.45	2236.05

**Tabel 4.19** Berat Jenis Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 60°C

No	Kode variasi	Konsentrasi Semen (%)	Berat Jenis Rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )	
			Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	ET-1	0	2265.20	2200.29
2	ET-2	2.5	2294.63	2266.94
3	ET-3	5	2322.31	2261.23
4	ET-4	10	2317.96	2239.87

**Tabel 4.20** Berat Jenis Beton dengan Perawatan Curing Time 24 jam 90°C

No	Kode variasi	Konsentrasi Semen (%)	Berat Jenis Rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )	
			Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	ET-5	0	2250.34	2232.56
2	ET-6	2.5	2257.64	2248.72
3	ET-7	5	2286.93	2263.18
4	ET-8	10	2257.52	2233.47

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa berat volume beton berkisar antara 2200.29 kg/m<sup>3</sup> – 2326.45 kg/m<sup>3</sup>, sesuai dengan klasifikasi berat beton, maka hasil pemeriksaan berat volume beton termasuk beton berbobot normal.

#### 4.1.6 Pengaruh Penambahan Super Plasticizer Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Geopolimer dengan NaOH 12M

Penelitian ini dilakukan oleh Emir Musa dari Universitas Negeri Surabaya pada tahun 2018.

##### 4.1.6.1 Kandungan Fly ash

Penelitian ini menggunakan fly ash tipe C. pengelompokan fly ash berdasarkan kelasnya ditampilkan pada tabel 4.21.

**Tabel 4.21** Pengelompokan kelas abu layang berdasarkan ASTM C 618

Persyaratan	Komposisi (%)		
	Kelas C	Kelas F	Kelas N
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	70	70
Belerang trioksida (SO <sub>3</sub> )	5	5	4
Kelembaban	3	3	3
Susut bakar	6	6	10

##### 4.1.6.2 Komposisi Campuran

Penelitian kali ini menggunakan trial mix dengan variasi sebagai berikut:

- Persentase agregat 76.86%, dimana agregat kasar 65% dan agregat halus 35%
- Persentase binder 23.14%, dimana perbandingan fly ash : aktivator adalah 5:2
- Perbandingan aktivator NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> adalah 3:2
- NaOH yang digunakan 12M
- Variasi Superplasticizer 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2%

#### 4.1.6.3 Hasil Penelitian

Benda uji beton yang digunakan berbentuk silinder 10/20cm dengan variasi penambahan superplasticizer 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2%. Kuat tekan benda uji berdasarkan umur beton dapat dilihat pada tabel 4.22.

**Tabel 4.22** Pengaruh Geopolimer terhadap kuat tekan beton geopolimer 12M

Umur	Kode benda uji	Kuat Tekan (MPa)	K. tekan thdp Geo 0.0%	Syarat SNI 03-2495-2991	Ket
3 hari	Geo 12M 0.0%	0.81	(pembanding)		
	Geo 12M 0.5%	4.44	447%	>125%	Oke
	Geo 12M 1.0%	4.78	490%	>125%	Oke
	Geo 12M 1.5%	2.89	256%	>125%	Oke
	Geo 12M 2.0%	2.62	223%	>125%	Oke
7 hari	Geo 12M 0.0%	3.68	(pembanding)		
	Geo 12M 0.5%	5.91	61%	>115%	Tdk oke
	Geo 12M 1.0%	6.71	82%	>115%	Tdk oke
	Geo 12M 1.5%	4.57	24%	>115%	Tdk oke
	Geo 12M 2.0%	5.35	45%	>115%	Tdk oke
28 hari	Geo 12M 0.0%	4.45	(pembanding)		
	Geo 12M 0.5%	9.90	122%	>110%	Oke
	Geo 12M 1.0%	13.58	205%	>110%	Oke
	Geo 12M 1.5%	9.39	111%	>110%	Oke
	Geo 12M 2.0%	5.79	30%	>110%	Tdk oke

Maka didapatkan analisis data pengaruh persentase superplasticizer terhadap kuat tekan bahwa penambahan superplasticizer dengan kadar 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2.0%

terhadap berat binder dapat meningkatkan kuat tekan beton geopolimer 12M, dan persentase superplasticizer optimum terhadap peningkatan kuat tekan beton geopolimer 12M pada umur 3, 7 dan 28 paling tinggi adalah pada penambahan superplasticizer sebanyak 1.0% terhadap binder.

#### 4.1.7 Recent Research Geopolymer Concrete

Penelitian ini dilakukan oleh Nguyen Van Chanh1 - Assoc. Professor. PhD., Bui Dang Trung, Dang Van Tuan - Candidate M.E. dari University of Technology HCM City, Vietnam pada tahun 2008.

##### 4.1.7.1 Kandungan Fly Ash

Kandungan kimia fly ash pada penelitian ini berdasarkan hasil uji XRF ditunjukkan oleh tabel 4.23.

**Tabel 4.23** Kandungan kimia fly ash

Elements	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
%Mass	52	33,9	4	1,2	0,83	0,27	0,81	0,28	6,23

Berdasarkan uji XRF, fly ash yang digunakan digolongkan sebagai fly ash tipe F.

##### 4.1.7.2 Komposisi Campuran

Pada penelitian ini terdapat 5 proporsi campuran yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.24

**Tabel 4.24** Komposisi campuran fly ash

Code Mix	FA	SA	AL	W	SP	AL/FA	W/AL
	(kg)						
Cp1	527	1586	157 (18M)	40	5,27	0.3	0.25
Cp2	527	1586	182 (18M)	46	5,27	0.35	0.25
Cp3	527	1586	211 (18M)	52		0.4	0.25
Cp4	527	1586	237 (18M)	59		0.45	0.25
Cp5	527	1586	192 (14M)	48			

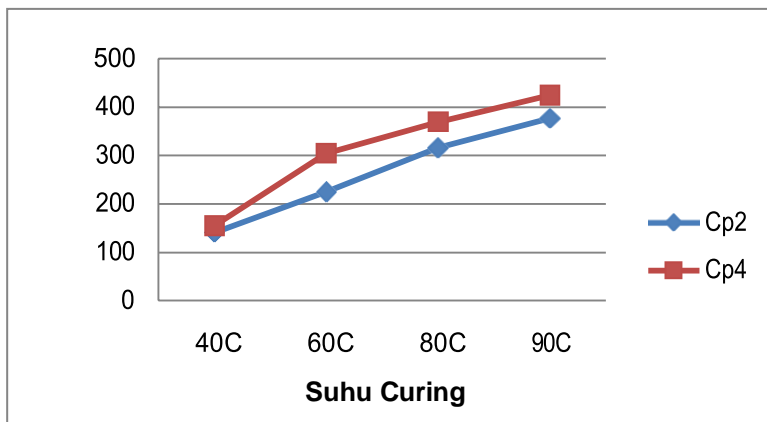
Masing masing sample memiliki kandungan *fly ash* 527 kg/m<sup>3</sup>. Sample di curing dengan suhu curing 40<sup>0</sup>C, 60<sup>0</sup>C, 80<sup>0</sup>C dan 90<sup>0</sup>C selama 24 - 72 jam.

#### 4.1.7.3 Hasil Penelitian

Setelah sample silinder beton berusia 7 hari dilakukan pengujian kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan beton komposisi 2 dan 4 ditunjukkan pada tabel 4.25.

**Tabel 4.25** Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer komposisi 2 dan 4.

No	Air : prekursor	Pasir : fly ash	Kerikil : fly ash	Suhu curing	Waktu curing (hari)	Umur beton (hari)	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
cp2	0.4	1.63	2.876	40 <sup>0</sup> C	2	7	141
cp2	0.4	1.63	2.876	60 <sup>0</sup> C	2	7	225
cp2	0.4	1.63	2.876	80 <sup>0</sup> C	2	7	316
cp2	0.4	1.63	2.876	90 <sup>0</sup> C	2	7	377
cp4	0.4	1.2	2.1	40 <sup>0</sup> C	2	7	155
cp4	0.4	1.2	2.1	60 <sup>0</sup> C	2	7	305
cp4	0.4	1.2	2.1	80 <sup>0</sup> C	2	7	370
cp4	0.4	1.2	2.1	90 <sup>0</sup> C	2	7	425



**Gambar 4.2.** Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer komposisi 2 dan 4.

## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, kemudian pembahasan akan dijelaskan pada sub-subab berikut:

### 4.2.1 Pengaruh Variasi Aktivator

*Sodium silikat* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) berfungsi untuk mempercepat reaksi polimer. Campuran antara *fly ash* dan *sodium silikat* membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur. *Sodium hidroksida* ( $\text{NaOH}$ ) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si dengan menambah ion  $\text{Na}^+$ . Campuran *fly ash* dan *sodium hidroksida* membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan. Peningkatan rasio berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  menurunkan porositas geopolimer yang dihasilkan, (*Fansuri Hamzah, 2008*). Perbandingan sifat geopolimer dari penelitian yang telah di jelaskan sebelumnya, disajikan pada tabel 4.26

**Tabel 4.26.** Perbandingan pengaruh konsentrasi aktivator terhadap sifat geopolimer

Referensi	Hasil penelitian
Hardjito, 2005	Konsentrasi $\text{NaOH}$ yang digunakan berkisar antara 8M hingga 16, dan perbandingan massa $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ berkisar antara 0.4 hingga 2.5. diketahui bahwa komposisi optimal yang dapat menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah komposisi dengan konsentrasi $\text{NaOH}$ 14 M dan rasio massa $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1:2.5$
Songpiriyakij, 2006	Larutan $\text{NaOH}$ yang digunakan memiliki konsentrasi 15 M dan 20 M. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa komposisi optimal yang dapat menghasilkan kuat tekan paling



- 
- tinggi adalah dengan rasio massa NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = 1:2, NaOH 20 M dan suhu curing 60<sup>0</sup>C
- Pavithra, 2016 Larutan NaOH yang digunakan memiliki konsentrasi 16 M dan perbandingan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>:NaOH adalah 1,5. Perbandingan aktivator dan fly ash divariasikan seperti 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa komposisi optimal yang dapat menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah dengan rasio massa AAS/FA = 0.4
- Darma, 2018 Konsentrasi NaOH yang digunakan 6M, 8M, dan 10M dan Rasio perbandingan NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> adalah 1:2. diketahui bahwa beton geopolimer dengan aktivator larutan NaOH 8M memiliki kuat tekan terbesar dibandingkan beton geopolimer dengan larutan NaOH 6M dan 10M.
- 

#### 4.2.2 Pengaruh Suhu Curing

Reaksi polimerisasi membutuhkan panas dalam prosesnya, oleh karena itu metode curing dengan menggunakan oven atau microwave dengan suhu curing yang lebih tinggi dan waktu curing yang lebih lama cenderung lebih baik untuk menghasilkan beton geopolimer dengan kuat tekan yang tinggi. Perbandingan sifat geopolimer dari penelitian yang telah di jelaskan sebelumnya, disajikan pada tabel 4.27

---

**Tabel 4.27.** Perbandingan pengaruh suhu curing terhadap sifat geopolimer
 

---

Referensi	Hasil penelitian
Hardjito, 2005	Pada penelitian ini sampel beton di curing dengan variasi metode curing dengan oven dan curing dalam suhu ruang. Variasi suhu curing 30°C, 45°C, 60°C, 75°C, dan 90°C. dan diperoleh kuat tekan paling tinggi pada suhu curing 90°C.
Songpiriyakij, 2006	Pada penelitian ini digunakan metode curing pada suhu ruang (25°C) dan pemanasan dengan oven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Diperoleh kuat tekan tertinggi pada suhu curing 60°C.
Chanh, 2008	Pada penelitian ini digunakan variasi suhu curing 40°C, 60°C, 80°C dan 90°C. Berdasarkan hasil uji sampel beton pada umur 7 hari diperoleh kuat tekan yang optimal dengan suhu curing 90°C
Tambingon, 2018	Pada penelitian ini digunakan variasi suhu curing 60°C dan 90°C. Berdasarkan hasil uji sampel beton diperoleh kuat tekan yang optimal dengan suhu curing 90°C

---

#### 4.2.3 Pengaruh Penambahan Plasticizer

Emir Musa pada tahun 2018 melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan Super Plasticizer Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Geopolimer dengan NaOH 12M. penelitian ini menggunakan Variasi Superplasticizer 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2%. Hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.28.

**Tabel 4.28.** Pengaruh penambahan superplasticizer terhadap sifat geopolimer

Benda uji	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Porositas rata-rata (%)	Densitas rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )
Geo 12M 0.0% 3H	0.81	14.8	2423.20
Geo 12M 0.5% 3H	4.44	16.1	2412.92
Geo 12M 1.0% 3H	4.78	17.1	2452.67
Geo 12M 1.5% 3H	2.89	17.5	2442.54
Geo 12M 2.0% 3H	2.62	14.5	2354.75
Geo 12M 0.0% 7H	3.68	12.5	2399.15
Geo 12M 0.5% 7H	5.91	13.5	2308.17
Geo 12M 1.0% 7H	6.71	15.3	2407.76
Geo 12M 1.5% 7H	4.57	15.7	2444.11
Geo 12M 2.0% 7H	5.35	14.51	2394.90
Geo 12M 0.0% 28H	4.45	11.6	2292.99
Geo 12M 0.5% 28H	9.90	12.7	2352.44
Geo 12M 1.0% 28H	13.58	13.2	2373.67
Geo 12M 1.5% 28H	9.39	13.4	2420.38
Geo 12M 2.0% 28H	5.79	14.0	2380.04

didapatkan analisis data pengaruh persentase *superplasticizer* terhadap kuat tekan bahwa penambahan *superplasticizer* dengan kadar 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2.0% terhadap berat binder dapat meningkatkan kuat tekan beton geopolimer 12M, dan persentase *superplasticizer* optimum terhadap peningkatan kuat tekan beton geopolimer 12M pada umur 3, 7 dan 28 paling tinggi adalah pada penambahan *superplasticizer* sebanyak 1.0% terhadap binder. Dan juga penambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan porositas seiring bertambahnya kadar *superplasticizer*.

#### 4.2.4 Pengaruh Penambahan Semen

Fiki Riki Tambingon pada tahun 2018 melakukan penelitian tentang Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan

Temperatur Ruang. Pada penelitian ini ditambahkan semen dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, dan 10% dari berat *fly ash*. Hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.29

**Tabel 4.29** Kuat tekan dengan suhu curing 60°C

No	Kode variasi	Konsentrasi Semen (%)	Kuat Tekan	
			Rata-rata (MPa)	
			Umur 7 hari	Umur 28 hari
1	ET-1	0	30.38	32.65
2	ET-2	2.5	33.90	33.80
3	ET-3	5	34.78	36.86
4	ET-4	10	35.34	32.91

Dari hasil penelitian diketahui bahwa dengan penambahan semen pada beton geopolimer dapat meningkatkan kekuatan tekannya.

Berdasarkan nilai dari hasil pengujian masing-masing penelitian variasi dari mix design yang digunakan, penelitian yang dilakukan oleh Hardjito Djuwantoro pada tahun 2005. Memberikan informasi lebih baik dengan hasil kuat tekan paling tinggi dari banyaknya variasi yang digunakan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Konsentrasi NaOH yang optimum meningkatkan kuat tekan berkisar pada 8M-14M dengan perbandingan NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang relatif kecil dengan kisaran 1:2
2. Suhu curing yang menghasilkan kuat tekan paling tinggi adalah 90° dan kuat tekan bertambah seiring meningkatnya suhu curing
3. Penambahan superplasticizer akan meningkatkan kuat tekan dari beton geopolimer dan konsentrasi superplasticizer yang optimum meningkatkan kuat tekan adalah 1% dari massa fly ash
4. Penambahan semen akan meningkatkan kuat tekan beton geopolimer dengan konsentrasi yg optimum adalah 5% dari massa fly ash.

#### **5.2 Saran**

Mengingat faktor faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer sangat banyak dan saling mempengaruhi satu sama lain, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu dilakukan penelitian yang meninjau komposisi kandungan kimia yang optimal, seperti rasio Al;Si, dan Al:Na yang dapat menghasilkan kuat tekan beton geopolimer paling baik.
2. Perlu dilakukan penelitian yang meninjau faktor lain yang mempengaruhi kuat tekan geopolimer seperti metode mixing, metode curing, dan lain lain,
3. Perlu dilakukan penelitian untuk mencari komposisi optimal untuk pasta dan mortar terlebih dahulu. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui komposisi agregat yang

---

optimal dan metode mixing yang tepat untuk mendapatkan kuat tekan beton geopolimer yang optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. 2007. *Standard for Testing Compressive Strength*. West Conshohocken: ASTM International.
- Bakharev, T., 2005. "Geopolymeric Materials Prepared Using Class F Fly Ash And Elevated Temperature Curing". **Cement And Concrete Research**, 36(6), pp. 1224-1232.
- Buchwald, A., Zellman, H. D. & Kaps, C., 2011. "Condensation Of Aluminosilicate Gels—Model System For Geopolymer Binders". **Journal Non-Crystalline Solids**, Volume 357, pp. 1376-1382.
- Chanch, Nguyen Van., Bui Dang Trug & Dang Van Tuan. 2008. Recent Research Geopolymer Concrete. **The 3<sup>rd</sup> ACF International Conference-** ACF/VCA Faculty of Civil Engineering University of technology HCM City : Vietnam.
- Darma dkk., 2018. Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash, **Jurnal Karya Teknik Sipil**, 7(1), pp. 89-98.
- Davidovits, J., 1991. **J. Therm. Anal**, 37(8), pp. 1633-1656.
- Davidovits, J., 1994. "Inorganic Polymeric New Materials". **J. Mater. Educ**, Volume 16, pp. 91-139.
- Davidovits, P. J., 2002. **30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications Market Trends and potential Breakthroughs**. s.l., Geopolymer 2002 Conference.
- Fansuri, H., Swastika, N. & Atmaja, L., 2008. "Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton". **Akta Kimindo**, 3(2), pp. 61-66.
- Ferdy. 2010. **Pengaruh temperatur dan Waktu Curing Terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang**. Depok : Universitas Indonesia.
- Hardjito D., 2005. **Studies on Fly Ash-Based Geopolimer Concrete**. Faculty of Engineering and Computing Departement of Civil Engineering Curtin University of

- Technology : Australia.
- Hutajulu, R. 2010. **Studi Literatur Pengaruh Perbandingan Faktor Air-Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer**. Depok : Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- Khale, D. & Chaudhary, R., 2007. "Mechanism Of Geopolymerization And Factors Influencing Its Development: A Review". **J. Mater. Science**, pp. 729-746.
- Llyod, N. A. & Rangan, B. V., 2010. **Geopolymer Concrete With Fly Ash**, Australia: Curtin University of Technology.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. & Windah, R. S., 2014. **Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)**. pp. 277-282.
- Mulyono, T. (2004). **Teknologi Beton**. Yogyakarta: Andi Offset.
- Musa, E., 2018. **Pengaruh Penambahan Super Plasticizer Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Geopolimer Dengan NaOH 12M**. Surabaya : Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Pavithra P., 2016. A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. **Journal of Cleaner Production**, 133, pp. 117-125.
- Prasetio, G.B, Suhendro Trinugroho, & Mochamad Solikin ., 2015 **Tinjauan Kuat tekan Beton Geopolymer dengan Fly ash Sebagai Bahan Pengganti Semen**. Surakarta : Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Putra, A. K., Wallah, S. E. & Dapas, S. O., 2014. "Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Layang (Fly Ash)". **Jurnal Sipil Statik**, 2(7), pp. 330-336.
- Provis, J. L. & van Deventer, J. S. J., 2009. **Geopolymer: structure, Processing, Properties and Industrial Application**, Abingdon, Woodhead Publishing.
- Olawale, M. D., 2013. "Synthesis, Characterization and Binding Strength of Geopolymers: A Review". **International Journal of materials Science and Applications**, 2(6), pp. 185-193.



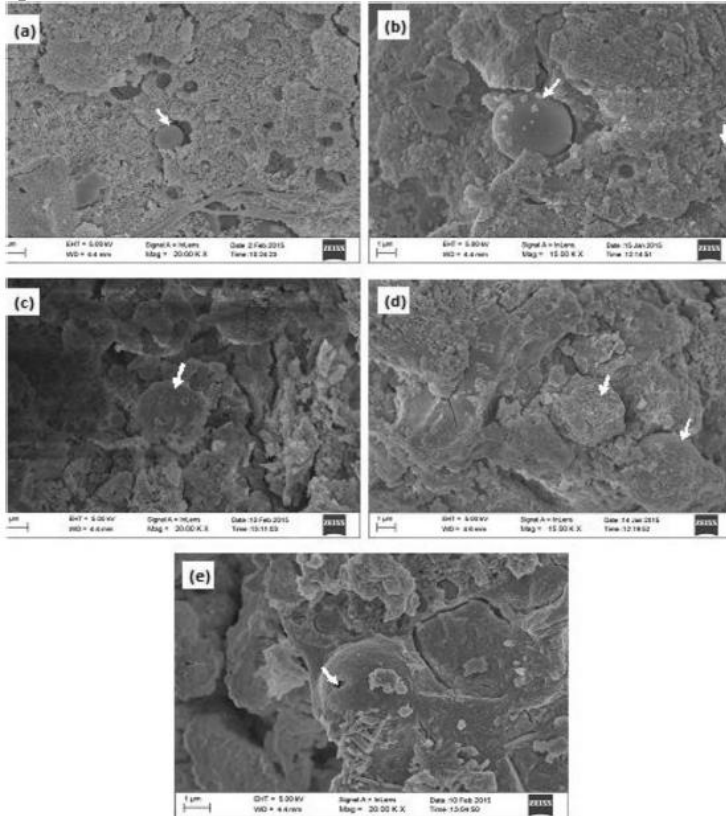
- 
- Septia, P. 2011. **Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH:Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer**. Depok : Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- Songpiriyakij S., 2006. **Engineering Properties Of Mae Moh Fly Ash Geopolymer Concrete**. King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Thailand.
- Tambingon, Fiki R., 2018. KUAT TEKAN BETON GEOPOLYMER DENGAN PERAWATAN TEMPERATUR RUANGAN, **Jurnal Sipil Statik**, 6(9), pp. 641-648.
- Tjokrodinuljo, K., 1995. **Teknologi Beton**. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada
- Tjokrodinuljo, K., 1998. **Buku Ajar Bahan Bangunan**. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2004, **Teknologi Beton**, Yogyakarta: KMTS FT UGM.
- Wardani, 2008. **Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan**, Semarang: Universitas Diponegoro.
- Xiao, Y. et al., 2016. "Fly Ash-Based Geopolymer: Clean Production, Properties And Applications". **J. Cleaner Product**, Volume 125, pp. 253-267.
- Xu, H. & van Deventer, J., 2000. "The Geopolymerisation of Alumino-silicate Minerals". **International Journal of Minerals Processin**, pp. 247-266.
- Xu, H. & van Deventer, J. S. J., 2002. "Microstructural Characterization of Geopolymers Synthesized From Kaolinite/Stabile Mixture Using XRD, MASNMR, SEM/EDX, TEM/EDX and HREM". **Cement and Concrete Research** , Volume 32, pp. 1705-1716.
- Yun-Ming, L., Cheng-Yong, H., Al-Bakri, M. & Hussin, K., 2016. "Structure and properties of clay-based geopolymer
-

---

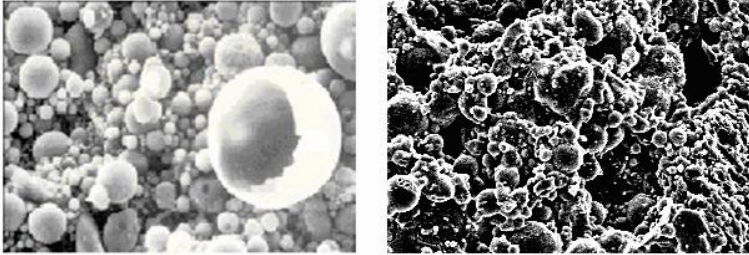
cement": A review. **Progress in Material Science**, pp. 595-629.

## LAMPIRAN

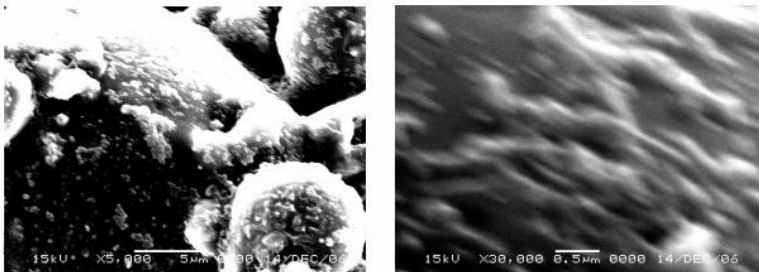
Berikut merupakan hasil pengujian pada beberapa literatur geopolimer



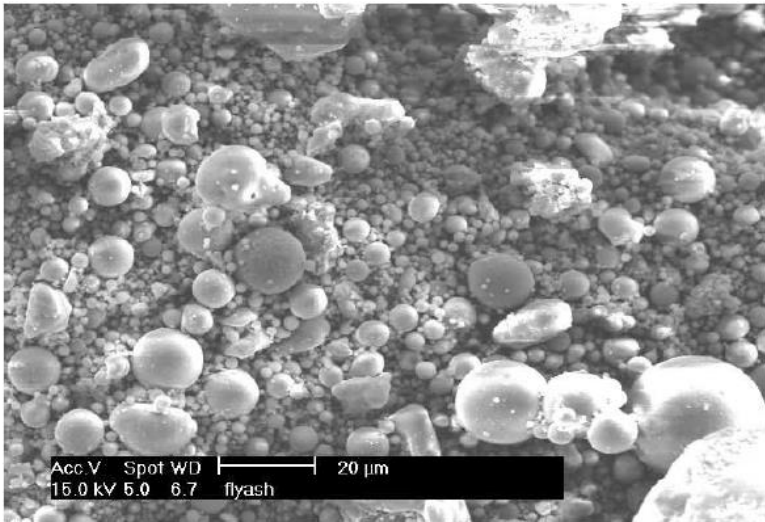
Gambar SEM geopolimer AAS/FA (a) 0.4 (b) 0.5 (c) 0.6 (d) 0.7 (e) 0.8 (Pavithra, 2016)



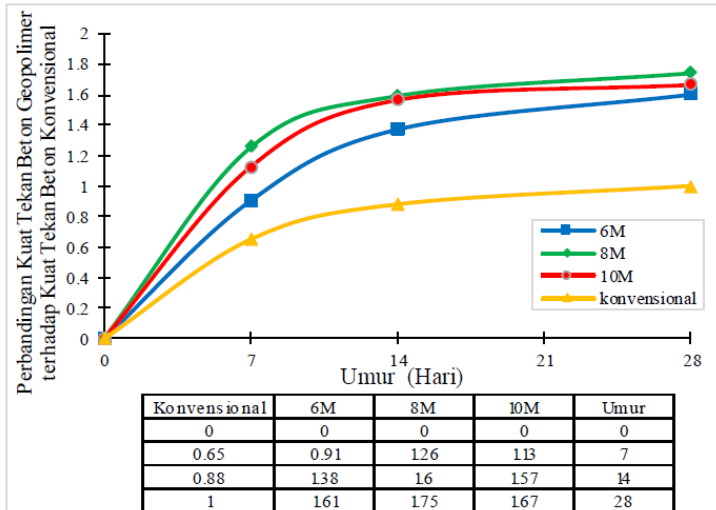
Gambar (a) Fly ash sebelum bereaksi dengan NaOH, (b) fly ash setelah bereaksi dengan NaOH (Chanh, 2008)



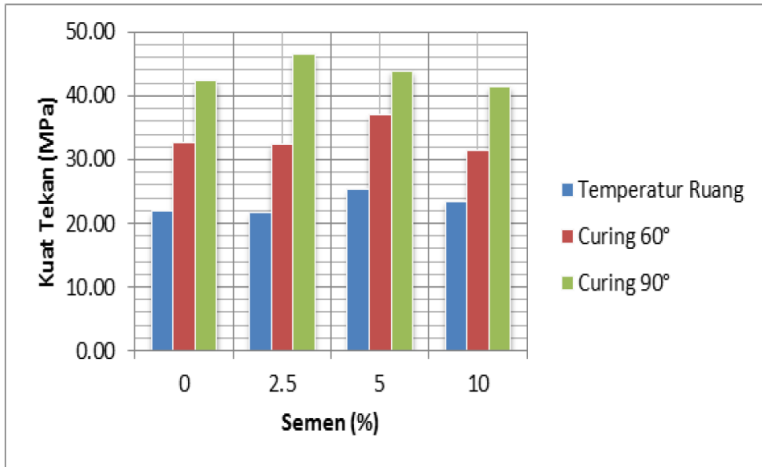
Gambar fly ash setelah bereaksi dengan NaOH perbesaran x5000 dan x30000 (Chanh, 2008)



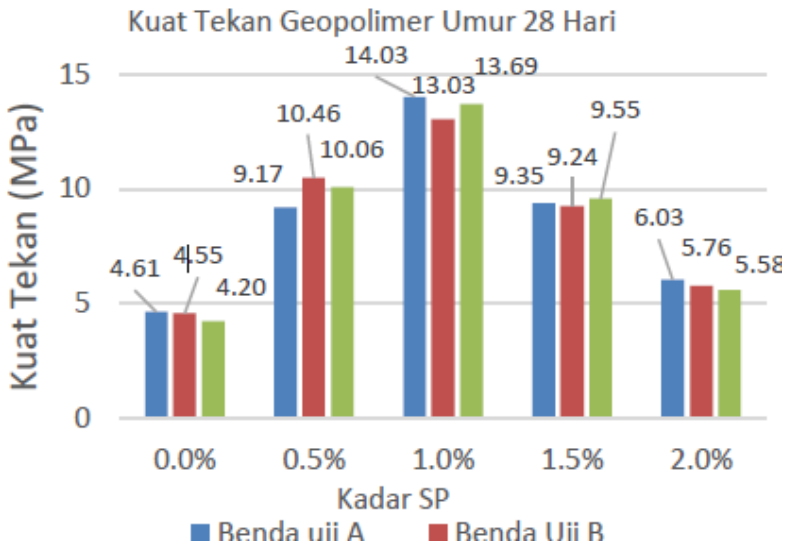
Gambar SEM fly ash batch I (Hardjito, 2005)



Gambar grafik pengaruh konsentrasi naoh terhadap kuat tekan beton geopolimer dan konvensional



Gambar grafik pengaruh penambahan semen terhadap kuat tekan geopolimer



Gambar grafik pengaruh penambahan plasticizer terhadap kuat tekan geopolimer

---

---

### **Pembuatan NaOH**

Untuk mendapatkan sodium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi tertentu didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$M = \frac{W}{Mr} \times \frac{1}{V(1liter)}$$

Dimana :

M : Molar

W : Massa

Mr : Massa molar zat

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pembuatan laporan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir
3. Ayah, Mama, abang, adik dan keluarga besar yang selalu mendukung serta memberikan doa selama penelitian Tugas Akhir dan penyusunan laporan.
4. Teman-teman yang selalu mendukung serta memberikan doa selama penelitian Tugas Akhir dan penyusunan laporan.
5. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan membantu kelancaran proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BIODATA PENULIS**

Penulis lahir di Tapaktuan pada 24 Juli 1997. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dari pasangan Adli Yuzar dan Marhamah. Riwayat pendidikan yang ditempuh oleh penulis yaitu SDN 1 Tapaktuan, SMPN 1 Tapaktuan, SMAN Unggul Aceh Selatan, dan kini melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Jawa Timur.

Selama berkuliah di ITS, penulis pernah mengikuti kegiatan seminar, berbagai pelatihan, aksi sosial, dan organisasi. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Dirgantara Indonesia yang dilaksanakan pada periode Juli – Agustus 2018. Pada saat kerja praktik, penulis mendapatkan topik mengenai “Aplikasi dan Proses Pengolahan Material Aluminium 2024 dan 7075 Pada Struktur Pesawat Terbang N-219”. Sedangkan tugas akhir penulis berjudul “Review Pengaruh Aktivator, Suhu Curing, Superplasticizer, dan Semen Terhadap Kuat Tekan Geopolymer Concrete Berbasis Fly Ash”.

Email: [m.priyhan.a@gmail.com](mailto:m.priyhan.a@gmail.com)