

# **TUGAS AKHIR**

## **PENGARUH DURASI PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLYMER DENGAN AKTIVATOR KALIUM HIDROKSIDA**



**HERYANTO KACCO**

**D 111 14 023**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2018**





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Jalan Poros Malino Km. 6 Gowa, 92171, Sulawesi Selatan

☎ (0411) 586015, 586262 Fax (0411) 586015.

http://civil.eng.unhas.ac.id. E-mail:teknik@unhas.ac.id

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul : Pengaruh Durasi Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolymer dengan Aktivator Kalium Hidroksida

Disusun Oleh :

Nama : Heryanto Kacco

D111 14 023

Telah diperiksa dan disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 25 Januari 2019

Pembimbing I

Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng

Nip. 196805292002121002

Pembimbing II

Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, M.T.

Nip. 195910101987031003



Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Sipil,

Prof. Dr. H.M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.

Nip. 196805292001121002

JTS-Unhas : ...../TA 02.14/2018



# PENGARUH DURASI PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLYMER DENGAN AKTIVATOR KALIUM HIDROKSIDA

**Heryanto Kacco**  
**D11114023**

Mahasiswa S1 Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Jln. Poros Malino Km. 6  
Bontomarannu, Gowa 92172, Sulawesi Selatan  
E-mail: [heryantokacco96@gmail.com](mailto:heryantokacco96@gmail.com)

**Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**

**Dr. Ir. Abd. Rahman Djameluddin M.T.**

*Pembimbing I*

*Pembimbing II*

*Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

*Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

*Jln. Poros Malino Km. 6*

*Jln. Poros Malino Km. 6*

*Bontomarannu, Gowa 92172, Sulawesi Selatan*

*Bontomarannu, Gowa 92172, Sulawesi Selatan*

## ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pengaruh durasi pemanasan, umur curing dan jenis curing terhadap kuat tekan mortar geopolimer yang teraktivasi kalium hidroksida. Proses pengerasan dilaksanakan di oven pada suhu  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  pada variasi durasi pemanasan selama 2, 4 dan 6 jam untuk membentuk geopolimer dengan konsentrasi KOH sebesar 6 M. Pengujian flow pada geopolimer segar memperlihatkan semua material mampu terikat dengan baik tanpa terjadi segregasi. Setelah proses pemanasan dalam oven, benda uji mortar geopolimer dicuring pada suhu ruang dan perendaman dalam air hingga umur 3, 7 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dan hubungan tegangan regangan dianalisa untuk mengetahui perilaku mortar geopolimer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa durasi pemanasan, umur curing dan jenis curing mempengaruhi kuat tekan mortar geopolimer.

**Kata Kunci :** Mortar *Geopolymer*, Abu Terbang, Kalium Hidroksida, Suhu, Kuat



# EFFECT OF HEATING DURATION ON GEOPOLYMER MORTAR STRENGTH WITH ACTIVATOR OF POTASSIUM HYDROXIDE

**Heryanto Kacco**

**D11114023**

Bachelor's student in Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering, University of Hasanuddin

Poros Malino Km. 6 street

Bontomarannu, Gowa 92172, South Sulawesi

E-mail: heryantokacco96@gmail.com

**Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**

Advisor I

Faculty of Engineering, University of Hasanuddin

Poros Malino Km. 6 street

Bontomarannu, Gowa 92172, South Sulawesi

**Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin M.T.**

Advisor II

Faculty of Engineering, University of Hasanuddin

Poros Malino Km. 6 street

Bontomarannu, Gowa 92172, South Sulawesi

## ABSTRACT

This study discusses the effect of heating duration, curing age and type of curing on strength of geopolymer mortar which has been activated by potassium hydroxide. The hardening process was carried out in an oven at a temperature of  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  in the variation of heating duration for 2, 4 and 6 hours to form a geopolymer with a concentration of KOH of 6 M. The flow test in fresh geopolymer showed that all materials were able to bond well without segregation. After the heating process in the oven, the sample geopolymer mortar were cured at room temperature and soaking in water until the ages of 3, 7 and 28 days. Testing of strength and strain-stress relationships were analyzed to determine the behavior of geopolymer mortar. The test results showed that the duration of heating, curing age and type of curing affected the geopolymer mortar strength.

**Keywords:** Mortar Geopolymer, Fly Ash, Potassium Hydroxide, Temperature, Strength



## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Durasi Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolymer Dengan Aktivator Kalium Hidroksida”**, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari dosen pembimbing. Maka dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, dan **Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.** selaku ketua dan sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin M.T.**, selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya.
5. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.**, dan **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku Kepala dan Sekertaris Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.

**Dr. Eng. Muh. Akbar Caronge, S.T., M.Eng** atas seluruh waktu, kesempatan, serta ilmunya yang dibagikan kepada saya.



7. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf dan asisten Laboratorium Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ibunda **Hj.Darmawati** dan ayahanda **H.Kacco** atas doa, kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material yang telah diberikan.
2. Kakak tercinta **Herwandi Kacco, S.Kep., dan Herman Kacco, S.T.**, atas doa, nasihat dan kasih sayang yang tak terhingga.
3. **Miswar Tumpu, S.T., Muh. Sayfullah, S.T., M.T., Hanif S.T., Ibnu Mundzir, S.T., Ulul Azmy, S.T.**, yang telah banyak membantu dan memberi masukan selama proses penelitian.
4. **Abhi, Faisal, Renal S.T., Iccang, Fian, Bill, Yayan, Evan, Rifdah S.T., Husna, Tiara, Tina, Naje, dan Fenty S.T.** yang senantiasa menjadi motivator dalam dunia perkuliahan, memberikan dukungan serta semangat kepada penulis, baik di dalam kampus maupun di luar.
5. **Renal S.T., Aswin, Rifdah S.T., Fenty S.T., dan Cimo S.T.** selaku rekan-rekan di Laboratorium Riset Eco Material, yang senantiasa membantu dan memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman **PORTAL 2015**, mahasiswa Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2014** yang telah memberikan warna tersendiri.
7. Adik-adik di laboratorium riset Eco Material, **Freits, Habibi, Fatur dan Gilber** yang telah membantu penulis pada saat penelitian.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas



Akhirnya semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, November 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terdahulu tentang Mortar Geopolymer .....	5
2.2 Teori Geopolymer .....	11
2.3 Material Penyusun Mortar Geopolymer .....	13
2.3.1 Abu Terbang .....	13
2.3.2 Alkali Aktivator .....	16
2.3.2.1. Kalium Hidroksida (KOH) .....	17
2.3.3 Air .....	17
2.4 Molaritas .....	18



2.5	Konsistensi Flow .....	19
2.6	Kuat Tekan Mortar Geopolymer .....	20
2.7	Perilaku Tegangan-Regangan Mortar .....	20
2.8	Pola Retak dan Kehancuran .....	21

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Bagan Alir Penelitian .....	23
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian .....	25
3.3	Jenis Penelitian dan Sumber Data .....	25
3.4	Alat dan Bahan Penelitian .....	25
3.5	Pemeriksaan Karakteristik Material .....	26
3.5.1	Abu Terbang .....	26
3.6	Pembuatan Benda Uji .....	27
3.7	Perawatan (Curing) Benda Uji .....	28
3.8	Pengujian Kuat Tekan.....	29

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakteristik Material .....	31
4.1.1	Karakteristik Fisik Abu Terbang .....	31
4.1.2	Karakteristik Kimia Abu Terbang .....	32
4.2	Rancang Campuran Mortar Geopolymer .....	33
4.3	Flow Mortar Geopolymer .....	33
4.4	Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer .....	34
4.4.1	Umur Benda Uji 3 Hari .....	34
4.4.2	Umur Benda Uji 7 Hari .....	40
4.4.3	Umur Benda Uji 28 Hari .....	46



4.5	Rekapitulasi Tegangan-Regangan.....	52
4.6	Pola Retak .....	53

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran .....	55

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kebutuhan Fisik Abu Terbang .....	15
Tabel 2.2. Kebutuhan Kandungan Kimia Abu Terbang .....	15
Tabel 3.1. Pemeriksaan Karakteristik Abu Terbang .....	26
Tabel 3.2. Jumlah Benda Uji Penelitian .....	27
Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Fisik Abu Terbang .....	31
Tabel 4.2. Karakteristik Kimia Abu Terbang.....	32
Tabel 4.3. Komposisi Campuran Mortar Geopolymer .....	33
Tabel 4.4. Rekapitulasi Hubungan Tegangan-Regangan .....	52



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Hubungan Tegangan dan Regangan .....	21
Gambar 2.4.	Pola Kehancuran .....	22
Gambar 3.1 .	Bagan Alir Penelitian .....	23
Gambar 3.2 .	Material Mortar Geopolymer .....	26
Gambar 3.3.	Curing Oven Benda Uji .....	28
Gambar 3.4.	Curing Udara Benda Uji .....	28
Gambar 3.5.	Curing Air Benda Uji .....	29
Gambar 3.6.	Pengujian Kuat Tekan Mortar .....	30
Gambar 4.1.	Hubungan Analisa Saringan dan Hidrometer Abu Terbang .....	31
Gambar 4.2.	Flow Mortar Geopolymer Kondisi Segar .....	34
Gambar 4.3.	Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 3 Hari Pemanasan 2 Jam dan Curing Udara .....	35
Gambar 4.4.	Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 3 Hari Pemanasan 2 Jam dan Curing air .....	36
Gambar 4.5.	Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 3 Hari Pemanasan 4 Jam dan Curing Udara .....	37
Gambar 4.6.	Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 3 Hari Pemanasan 4 Jam dan Curing Air .....	38
Gambar 4.7.	Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 3 Hari Pemanasan 6 Jam dan Curing Udara .....	39
Gambar 4.8.	Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 3 Hari Pemanasan 6 Jam dan Curing Air .....	40



Gambar 4.9. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 7 Hari Pemanasan 2 Jam dan Curing Udara .....	41
Gambar 4.10. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 7 Hari Pemanasan 2 Jam dan Curing air .....	42
Gambar 4.11. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 7 Hari Pemanasan 4 Jam dan Curing Udara .....	43
Gambar 4.12. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 7 Hari Pemanasan 4 Jam dan Curing Air .....	44
Gambar 4.13. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 7 Hari Pemanasan 6 Jam dan Curing Udara .....	45
Gambar 4.14. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 7 Hari Pemanasan 6 Jam dan Curing Air .....	46
Gambar 4.15. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 28 Hari Pemanasan 2 Jam dan Curing Udara .....	47
Gambar 4.16. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 28 Hari Pemanasan 2 Jam dan Curing air .....	48
Gambar 4.17. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 28 Hari Pemanasan 4 Jam dan Curing Udara .....	49
Gambar 4.18. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 28 Hari Pemanasan 4 Jam dan Curing Air .....	50
Gambar 4.19. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 28 Hari Pemanasan 6 Jam dan Curing Udara .....	51
Gambar 4.20. Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Geopolymer 6 M Umur 28 Hari Pemanasan 6 Jam dan Curing Air .....	52



Gambar 4.21. Kuat Tekan Rata-Rata Mortar Geopolymer .....	53
Gambar 4.22. Pola Retak Pemanasan 2 Jam .....	54
Gambar 4.23. Pola Retak Pemanasan 4 Jam .....	54
Gambar 4.24. Pola Retak Pemanasan 6 Jam .....	54



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Perkembangan suatu negara di saat ini dapat dilihat dari kelengkapan infrastrukturnya, dalam upaya pemenuhan kebutuhan tersebut menuntut pembangunan yang semakin cepat. Pembangunan infrastruktur berbahan beton akan semakin meningkat dengan semen Portland sebagai pengikat antar agregatnya. Kebutuhan ini memacu produksi semen Portland dunia terus meningkat setiap tahunnya. Dalam proses produksinya, semen Portland menghasilkan residu berupa emisi gas CO<sub>2</sub> yang dapat memacu efek gas rumah kaca dan pemanasan global. Emisi gas CO<sub>2</sub> ini dihasilkan melalui proses kalsinasi *limestone* (CaCO<sub>3</sub>) dan pembakaran batu bara.

Untuk dapat menghasilkan 1 ton semen Portland akan dihasilkan emisi gas CO<sub>2</sub> sebesar 1 ton (Joseph Davidovits, 2002). Angka ini menunjukkan kontribusi produksi semen Portland yang sangat besar terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dibandingkan dengan aktivitas manusia yang lain, seperti sektor transportasi.

Para ahli memperkirakan bahwa jumlah emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh produksi semen akan mencapai angka 3500 juta ton pada tahun 2015. Oleh karena itu, untuk mereduksi jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan melalui produksi semen dunia, kini para pengembang mulai menggunakan semen alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan semen Portland. Semen yang disebut-sebut sebagai *green material* ini mulai dikembangkan dengan memanfaatkan reaksi geopolymerisasi dan mulai dikenal sebagai semen geopolymer. Sebagai perbandingan produksi 1 ton semen geopolymer hanya akan menghasilkan 0,184 ton CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar batubara, sehingga emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses produksi semen geopolymer adalah 5-6 kali lebih sedikit dibandingkan dengan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses produksi semen Portland (Joseph Davidovits, 2002).

Geopolymer dapat disintesis dari bahan dasar yang mengandung silika dan dengan menambahkan aktifator yang umumnya digunakan adalah basa. Bahan dasar ini dapat berasal dari alam (ex: kaolin) ataupun dari limbah sisa industri (ex: fly ash). Sintesis geopolymer dari abu terbang (fly ash)



akan jauh lebih menguntungkan sebab selain memanfaatkan limbah sisa industri akan dihasilkan pula material yang lebih ramah lingkungan.

Abu terbang (fly ash) merupakan material sisa pembakaran industri-industri berbasis energy yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya. Industri-industri seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap, pabrik semen, pabrik kertas dan lain-lain adalah sumber penghasil abu terbang dalam jumlah yang sangat besar. Pada tahun 2014, dilaporkan bahwa industri energi dengan bahan bakar batu bara memproduksi 50,4 juta ton abu terbang namun hanya 23,2 juta ton yang sudah digunakan dalam berbagai aplikasi (American Coal Ash Association, 2014).

Pesatnya perkembangan industri berbasis energi yang tak tergantikan ini meninggalkan sejumlah permasalahan serius karena abu terbang yang dihasilkan mengandung logam-logam berat yang signifikan jumlahnya. Abu terbang yang sebagian besar komposisinya terdiri dari silika dan alumina memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai keperluan, namun abu terbang ini telah dikategorikan sebagai limbah yang mengandung Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), sehingga tidak diperkenankan dibuang tanpa pengolahan dahulu. Logam-logam berat yang terkandung dalam abu terbang seperti Fe, Mn, Zn, dan Cr telah mempersulit dan memperpanjang prosedur pengolahan sedemikian sehingga diperlukan cara-cara alternatif untuk menyederhanakannya. Salah satu cara yang telah diperkenalkan para peneliti untuk mereduksi peran bahaya logam berat tersebut adalah dengan mengkonversi abu terbang ke bentuk material lain yang disebut geopolimer. Logam-logam berat ini akan tertahan dalam matriks geopolimer dan menjadi tidak berbahaya lagi karena sudah tidak dalam bentuk oksidanya. Fenomena ini disebut juga dengan amobilisasi (pertahanan) yang terjadi akibat kombinasi kedua hal ini, yaitu terjadinya ikatan kimia antara logam-logam tersebut dalam matriks geopolimer dan enkapsulasi logam juga dalam matriks geopolimer.

Sintesis mortar geopolimer memiliki dua persyaratan utama untuk dapat yang pertama adalah sumber bahan yang kaya Silikon (Si) dan m (Al), serta yang kedua adalah adanya aktifator seperti Natrium



Hidroksida/ Kalium Hidroksida (Abdul Rahim dkk, 2014). Untuk mencapai kekuatan yang sama dengan mortar yang terbuat dari semen, mortar geopolymer perlu melalui tahap pemanasan pada suhu yang tinggi dalam kurung waktu tertentu. Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukanlah penelitian dengan judul:

## **“Pengaruh Durasi Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolymer dengan Aktivator Kalium Hidroksida”**

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan di atas, maka diambil rumusan masalah,

1. Bagaimana pengaruh durasi pemanasan terhadap kuat tekan mortar geopolymer dengan aktivator Kalium Hidroksida.
2. Bagaimana pengaruh jenis curing terhadap kuat tekan mortar geopolymer dengan aktivator Kalium Hidroksida.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu,

1. Menganalisis pengaruh durasi pemanasan dengan variasi 2, 4 dan 6 jam terhadap kuat tekan mortar geopolymer dengan aktivator Kalium Hidroksida.
2. Menganalisis pengaruh jenis curing berdasarkan variasi curing udara dan curing air terhadap kuat tekan mortar geopolymer dengan aktivator Kalium Hidroksida.

### **1.4. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini berjalan dengan baik dan sesuai dengan rencana, maka penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Abu terbang yang digunakan merupakan abu terbang rendah kalsium (kelas



an alkali aktivator yang digunakan *Kalium Hidroksida* (KOH).  
Konsentrasi KOH yang digunakan yaitu 6 M.

4. Proses curing yaitu dengan cara dipanaskan dalam oven selama 2, 4 dan 6 jam pada suhu  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ , kemudian curing udara dan curing air.
5. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, dan 28 hari.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran. Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut di atas:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menyajikan hal-hal mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang berisi tentang gambaran secara garis besar mengenai hal-hal yang dibahas dalam bab-bab berikutnya.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi teori-teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan penelitian.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai tahapan, persiapan alat dan bahan, cara penelitian serta uraian tentang pelaksanaan penelitian.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini merupakan penjabaran dari hasil-hasil pengujian karakteristik material, kuat tekan dan pola keruntuhan mortar geopolimer (retak).

#### **BAB V PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai analisa hasil yang diperoleh saat penelitian yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu tentang Mortar Geopolymer

**Kong dan Sanjayan (2008)**, melakukan penelitian tentang geopolymer dan geopolymer/agregat komposit dengan menggunakan abu terbang kelas F yang bersumber dari Pozzolanik Gladstone di Queensland. Aktivator yang digunakan adalah kalium hidroksida (KOH) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Benda uji dipanaskan hingga suhu  $800^\circ\text{C}$  untuk mengevaluasi kehilangan kekuatan akibat pengaruh suhu. Pengaturan suhu dimulai dari suhu kamar yang kemudian ditingkatkan secara bertahap sekitar  $5^\circ\text{C}/\text{menit}$ . Setelah mencapai suhu  $800^\circ\text{C}$ , suhunya dipertahankan selama 60 menit dan kemudian dibiarkan dingin hingga suhu kamar selama 12 jam. Penelitian ini mengidentifikasi ukuran spesimen dan ukuran agregat sebagai dua faktor utama yang mengatur perilaku geopolymer pada suhu tinggi ( $800^\circ\text{C}$ ). Ukuran agregat yang lebih besar dari 10 mm menghasilkan kinerja kekuatan baik pada suhu tinggi. Dari penelitian ini diperoleh bahwa geopolymer mengalami peningkatan kekuatan sebesar 53% setelah mengalami paparan suhu. Namun geopolymer/agregat komposit dengan formulasi pengikat geopolymer yang identik mengalami penurunan kekuatan sebesar 65% setelah pemanasan yang sama. Penurunan kekuatan pada geopolymer/agregat komposit pada suhu tinggi disebabkan oleh ketidaksesuaian suhu antara matriks geopolymer dan agregat. Dari penelitian ini juga diperoleh bahwa kalium hidroksida dapat digunakan sebagai aktivator dalam pembuatan mortar geopolymer.

**Pimraksa dkk (2011)**, melakukan penelitian tentang sintesis bahan geopolymer ringan yang terbuat dari bahan dengan kandungan silika yang sangat berpori, berupa tanah diatom (DE) dan abu sekam padi (RHA) dengan rasio awal  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tinggi 13,0-33,5 dan rasio  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  0,66-3,0. Aktivator yang digunakan adalah kalium hidroksida dan natrium hidroksida dengan variasi molaritas 4 hingga 12 M. DE diperoleh dari Provinsi Lampung di sebelah utara. Memiliki ukuran partikel ( $d_{4,3}$ ) 73 mikro meter, luas permukaan spesifik  $38 \text{ m}^2/\text{g}$  dan berat jenis 2,55. Adapun RHA memiliki ukuran partikel ( $d_{4,3}$ )



62 mikro meter, luas permukaan spesifik BET 48,7 m<sup>2</sup>/g diperoleh dari pembakaran sekam padi pada suhu 700°C yang teroksidasi atmosfer untuk menghasilkan silika amorf. Suhu kalsinasi optimal DE adalah 800°C dan ukuran butir yang lebih halus dapat meningkatkan luas permukaan DE sehingga memungkinkan kontak yang lebih besar antara permukaan partikel DE dengan larutan alkali. Hal tersebut dapat mempercepat pengaktifan kandungan silika dan alumina. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kekuatan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH dan KOH dan kuat tekan sampel dengan aktivator NaOH lebih tinggi dibandingkan dengan aktivator KOH. Di mana hasil pengujian kuat tekan pada molaritas 4 M, 6 M, 8 M, 10 M, dan 12 M pada aktivator NaOH berturut-turut sebesar 6,25 kg/cm<sup>2</sup>, 8,4 kg/cm<sup>2</sup>, 8,9 kg/cm<sup>2</sup>, 10,4 kg/cm<sup>2</sup>, dan 8,9 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada aktivator KOH berturut-turut sebesar 2,5 kg/cm<sup>2</sup>, 4,25 kg/cm<sup>2</sup>, 6,5 kg/cm<sup>2</sup>, 6,7 kg/cm<sup>2</sup>, dan 6,1 kg/cm<sup>2</sup>.

**S. Ilkentapar, dkk (2017)** mempelajari tentang pengaruh durasi curing panas dan waktu istirahat setelah curing panas pada karakteristik kekuatan dan karakteristik transport alkali aktivator berbasis abu terbang. Material yang digunakan yaitu, abu terbang kelas F, pasir, air dan larutan aktivator. Mortar dioven pada suhu 75°C, selama 4 jam, 1, 2, 3, dan 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kuat tekan yang signifikan dari curing panas selama 4 jam hingga 7 hari. Dimana kuat tekan setelah curing panas 4 jam yaitu 4.41 MPa, curing panas 1 hari 33,84 MPa, curing panas 2 hari 50.50 MPa, curing panas 3 hari 63.32 MPa, dan curing panas 7 hari 73.57 MPa.

**Ghasan F. Huseien, dkk (2017)** memberikan tulisan tentang gambaran menyeluruh penelitian mutakhir tentang geopolimer yang berkelanjutan dari perbaikan struktur beton. Mortar geopolimer hadir sebagai tantangan dan prospek sebagai bahan perbaikan yang ditekankan. Pengikat geopolimer lebih disukai karena menghasilkan 70 - 80% karbon dioksida lebih sedikit dengan sangat rendah emisi gas rumah kaca dari semen Portland biasa. Pengikat baru ini sangat dicari karena kinerja ketahanan, keberlanjutan, dan ramah lingkungan.

Geopolimer (GPM) adalah produk bersih yang diperoleh dari daur ulang limbah



industri sebagai bahan bangunan yang lebih hijau. Atribut penting dari geopolymer termasuk pengurangan polusi, efektivitas biaya, ramah lingkungan, dan kinerja tinggi atau daya tahan di lingkungan yang agresif membuatnya menjadi bahan yang memiliki prospektif berkelanjutan di industri konstruksi, dimana kuat tekan dan kuat lentur meningkat dengan meningkatnya konsentrasi NaOH.

**Bokyeong Lee, dkk (2017)** mempelajari sifat pengembangan kekuatan dari mortar geopolymer dengan 20 – 40 % pasir diganti dengan kalkulasi perbandingan Si/Al dari kombinasi konten amorf Si dan Al yang terdapat pada abu terbang dan larutan aktivator. Material yang digunakan yaitu abu terbang kelas F, larutan sodium silikat, natrium hidroksida, air dan pasir. Mortar dipanasi pada suhu 70°C pada umur 1 hari, 20°C pada umur 2-28 hari dan 70°C dari umur 1 hingga 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi rasio Si/Al, flow mortar semakin berkurang karena meningkatnya viskositas. Kuat tekan geopolymer mortar umur 28 hari yaitu, 23.7 - 26.4 MPa, yang mengkonfirmasi kemungkinan penggunaan mortar geopolymer sebagai bahan konstruksi.

**Alexandre S. de Vargas, dkk (2011)** mempelajari pengaruh perbandingan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ , suhu curing dan umur curing pada kuat tekan. Material yang digunakan yaitu abu terbang kelas F, air, NaOH, dengan perbandingan abu terbang/agregat 1:3. Rasio  $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  yang digunakan yaitu 0.2, 0.3, dan 0.4. Benda uji dicuring selama 24 jam pada suhu 50°C, 65°C dan 80°C. Hasil yang diperoleh menunjukkan mortar yang dibuat dengan menggunakan konsentrasi  $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  0.40 M dengan suhu curing 80°C memiliki kuat tekan yang paling baik yaitu 21.28 MPa pada umur 180 hari.

**Gorhan dan Kurklu (2014)** mempelajari efek konsentrasi aktivator alkali dan suhu curing pada mortar geopolymer berbahan dasar abu terbang yang dicuring pada suhu 65°C dan 85°C selama 24 jam. Abu terbang yang digunakan adalah abu terbang kelas F yang berasal dari Turki. Larutan NaOH pada konsentrasi yang berbeda (3 M, 6 M, dan 9 M) dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  digunakan bersama untuk melarutkan silika dan alumina dari abu terbang. Abu terbang dan alkali



aktivator dicampur bersama-sama selama 10 menit, sampai campuran merata lalu dicetak pada cetakan berukuran 40 mm x 40 mm x 160 mm. Sampel disimpan pada suhu kamar hingga pengujian yang dilakukan. Nilai kuat tekan dan kuat lentur maksimum 7 hari yaitu 21.3 MPa dan 8 MPa dari mortar 6 M dengan suhu curing 85°C selama 24 jam. Penelitian ini menyimpulkan bahwa peningkatan suhu curing dapat meningkatkan kekuatan dan konsentrasi NaOH 6 M adalah alkalin yang ideal untuk mendapatkan kekuatan tekan tertinggi.

**Rattanasak dan Chindaprasirt (2009)** melakukan penelitian terhadap alumina dan silika dalam bentuk ion  $Al^{3+}$  dan ion  $Si^{4+}$  yang dilepaskan dari partikel abu terbang setelah dicampurkan dengan natrium hidroksida pada konsentrasi alkali yang berbeda dan waktu leaching sebelum membentuk geopolymer dengan larutan silikat. Material yang digunakan yaitu abu terbang kelas C, pasir sungai yang lolos saringan no. 16 dengan modulus kehalusan 2.8 dan berat jenis 2.65 serta air. Rasio  $Na_2SiO_3$  dengan NaOH yaitu 0.5, 1, 1.5 dan 2.0. Konsentrasi NaOH yang digunakan 5, 10 dan 15 M. Perbandingan pasir dengan abu terbang = 2.75. Sampel dicuring oven selama 48 jam pada suhu 65°C. Hasil yang diperoleh menunjukkan konsentrasi Al mencapai 100 ppm untuk NaOH 10 M dan 15 M pada menit ke-10 dan kuat tekan mortar hingga 70 MPa pada konsentrasi NaOH 10 M dan perbandingan water glass/NaOH = 1.

**Wang, dkk (2016)** melaporkan sebuah rute baru dengan menyiapkan tanah liat geopolymer yang termasuk PCM (*Phase Change Material*) dengan metode absorpsi vakum, dimana PCM diproduksi dengan parafin sebagai bahan penyerap panas dan perlit sebagai bahan pendukung dengan metode absorpsi vakum. Parafin diimobilisasi dalam struktur jaringan tiga dimensi, selama proses berlangsung. Perubahan fasa dibuktikan dengan *scanning electron microscope* (SEM), *different scanning calorimetry* (DSC), kuat tekan, kerapatan kering dan konduktivitas termal. Material yang digunakan yaitu, air, tanah liat, slag, dan aktivator alkali untuk membuat mortar geopolymer tanah liat. Mould yang berukuran 70 mm x 70 mm x 70 mm. Proporsi parafin oleh massa komposit adalah 55.47%, dan suhu perubahan fasa dan panas laten masing-



masing adalah  $35.59^{\circ}\text{C}$  dan  $96.77 \text{ J/g}$ . Kekuatan tekan, kerapatan kering, dan koefisien konduktivitas termal masing-masing adalah  $8.0 \text{ MPa}$ ,  $1678 \text{ kg/m}^3$ , dan  $0.46 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

**Guades, Ernesto J. (2016)** mempelajari tentang pengaruh rasio pasir / abu terbang pada kuat tekan dan kuat tarik mortar geopolymer. Material yang digunakan yaitu abu terbang kelas F berdasarkan spesifikasi ASTM C 618, larutan aktivator (kombinasi NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), agregat halus berupa pasir sungai yang lolos saringan no. 10 dan tertahan pada saringan no.40 berdasarkan ASTM D 2847 dan air. Menggunakan NaOH dengan konsentrasi 14 M, rasio larutan aktivator/abu terbang = 0.30, rasio pasir/abu terbang (S/FA) = 0 - 6 dan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1.0$ . Pada penelitian ini disiapkan campuran dari semen, pasir dan air dengan rasio terhadap volume yaitu 1:3:1. Menggunakan mould silinder berukuran 50 mm x 100 mm. Mortar geopolymer tersebut dicuring pada suhu ruang  $28\text{-}30^{\circ}\text{C}$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan kuat tekan mortar umur 7 hari berkisar 0.5 - 8.3 MPa dan kuat tekan umur 14 dan 28 hari berkisar 0.7 - 12.4 MPa. Kuat tarik mortar umur 7 hari berkisar 0.2 - 0.9 MPa, umur 14 hari berkisar 0.3 - 1.4 MPa dan umur 28 hari berkisar 0.2 - 2.1 MPa. Perlu dicatat bahwa perbedaan kuat tekan pada hari curing yang berbeda dengan rasio S/F adalah signifikan dimana spesimen dengan rasio S/FA dari 4 hingga 6 tidak mengeras bahkan sampai 14 hari waktu curing.

**Saysunee Jumrat, dkk (2011)** mempelajari sifat segar, sifat dielektrik dan profil suhu mortar geopolymer berbasis abu terbang untuk mengamati pengaruh proporsi campuran dan waktu setelah pencampuran. *Sodium hidroksida* (NaOH) dan *natrium silikat* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) digunakan sebagai aktivator dengan rasio 0.5, 1.0, dan 2.0. Perbandingan abu terbang dengan larutan alkali adalah 2.0 dan 2.5. Benda uji dicetak pada mould berukuran 5 x 5 x 5 cm. Hasil dari sifat segar mengungkapkan bahwa air yang ditambahkan dapat meningkatkan kemampuan kerja mortar geopolymer. Hal ini juga menemukan bahwa *setting time* mortar

lebih kurang dari mortar semen. Untuk sifat dielektrik dan suhu permukaan diukur selama 24 jam periode geopolymerisasi pada suhu kamar. Hasil



yang diperoleh menunjukkan bahwa sifat dielektrik dan suhu permukaan mortar geopolimer cenderung menurun seiring bertambahnya waktu setelah pencampuran. Dan mortar geopolimer memiliki nilai sifat dielektrik tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses curing mortar geopolimer berbasis abu terbang dengan energi microwave tergantung pada proporsi campuran dan waktu setelah pencampuran.

**Vanchai Sata, dkk (2012)** melakukan penelitian tentang kekuatan tekan dan daya tahan mortar geopolimer abu layang lignit dalam asam sulfat 3% dan larutan natrium sulfat 5%. Tiga kehalusan abu layang yaitu, abu layang halus, sedang dan kasar digunakan untuk membuat mortar geopolimer. Alkali aktivator yang digunakan yaitu, sodium silikat dan natrium hidroksida. Suhu curing yang digunakan sebesar 75°C selama 48 jam, digunakan untuk mengaktifkan geopolimerisasi. Hasilnya dibandingkan dengan mortar semen portland dan mortar abu terbang. Ditemukan bahwa abu dasar halus lebih reaktif dan memberi mortar geopolimer kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan dengan abu terbang yang kasar. Semua mortar geopolimer abu dasar kurang rentan terhadap serangan oleh larutan natrium sulfat dan asam sulfat daripada mortar semen portland.

**J. Temuujin, dkk (2010)** mempelajari sifat fisik dan mekanik mortar geopolimer dengan variasi jumlah agregat (pasir). Pengikat geopolimer dengan perbandingan berat agregat pasir divariasikan dari 9 sampai 1. Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 14 M. Benda uji dipanaskan pada suhu 70°C selama 24 jam. Kekuatan tekan dan modulus Young dari mortar geopolimer berbasis abu terbang adalah 60 MPa dan 2.27 GPa dan nilai ini tidak berubah secara signifikan dengan penambahan agregat pasir hingga 50%. Pengikat geopolimer menunjukkan ikatan yang kuat dengan agregat pasir. Peningkatan konten pasir tanpa meningkatkan jumlah aktivator alkali menghasilkan penurunan tingkat geopolimerisasi di dalam sistem pengikat.

**Pavel Rovnanik (2010)** melakukan penelitian tentang sifat mortar geopolimer berbasis metakaolin secara langsung, tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi spesifik, komposisi awal, jenis metakaolin, serta komposisi dan



jumlah relatif aktivator alkali yang digunakan tetapi juga bergantung pada kondisi selama periode awal reaksi geopolymerisasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu pemanasan (10, 20, 40, 60 dan 80°C) dan umur kuat tekan dan kekuatan lentur, distribusi pori dan struktur mikro bahan metakaolin yang diaktifkan alkali. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan campuran segar pada suhu tinggi mempercepat pengembangan kekuatan tapi sifat mekanik 28 hari memburuk dibandingkan dengan hasil yang diperoleh untuk campuran yang dicuring pada suhu lingkungan. Pengaruh suhu curing pada struktur mikro matriks geopolymer diverifikasi dalam hal distribusi pori. Studi ini mengungkapkan kecenderungan untuk meningkatnya ukuran pori dan volume pori kumulatif dengan kenaikan suhu, yang tercermin dalam sifat mekanik. Hal ini juga menunjukkan kemungkinan untuk memantau reaksi geopolymerisasi dengan cara spektroskopi inframerah.

## 2.2. Teori Geopolymer

Dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak peningkatan minat dalam bidang geopolymer atau polimer anorganik. Geopolymer adalah kelompok bahan baru yang dihasilkan dari reaksi kimia antara oksida alumina-silikat dan logam alkali. Geopolymer memiliki struktur amorf semi-kristal yakni struktur polimer tiga dimensi dan telah dipelajari secara luas untuk menggantikan Ordinary Portland Cement (OPC) serta sebagai sebagai bahan pelapis. Geopolymer memiliki sifat fisiko-kimia yang baik dan sifat mekanik seperti massa jenis yang rendah, porositas mikro atau porositas nano, stabilitas termal, tanpa susut, kuat tekan tinggi, permukaan yang keras, ketahanan terhadap api dan bahan kimia, sehingga geopolymer menjadi bahan potensial dalam berbagai penggunaan (Abdul Rahim dkk, 2014). Geopolymer terbuat dari Silika dan Alumina lalu diaktifkan oleh larutan alkali yang tinggi seperti natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), natrium silikat dan kalium silikat. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kalsium yang tinggi pada abu terbang juga merupakan bahan cocok untuk membuat geopolymer yang baik (Tanakorn, 2015).



Geopolymer adalah polimer anorganik tersintesis yang berkembang sebagai rantai polimer tiga dimensi selama reaksi kimia yang terjadi dibawah kondisi basa. Komposisi kimia dari bahan sumber dan cairan alkali mengatur perkembangan mikrostruktur dan sifat mekanik dari produk akhir geopolymerisasi. Geopolymer berbasis abu terbang adalah bahan pengikat alternatif yang muncul dengan dampak lingkungan yang rendah dan meningkatkan potensial keberlanjutan konstruksi beton (Nath dan Sarker, 2016). Geopolymer merupakan produk geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi, silika (Si) dan aluminium (Al) mempunyai peranan yang penting dalam ikatan polimerisasi. Geopolymer dikategorikan sebagai material ramah lingkungan karena pembuatan bahan dasar geopolymer membutuhkan jumlah energi yang rendah jika dibandingkan dengan produksi semen portland yang menghasilkan CO<sub>2</sub> dalam jumlah besar (Pan dkk, 2009). Geopolymer mirip dengan zeolit dalam komposisi kimia namun berbeda karena struktur mikronya yang amorf. Geopolymer dibentuk oleh reaksi polimerisasi alumina dan silikat yang berasal dari bahan sumber pada pH tinggi dengan adanya logam alkali silikat terlarut. Telah ditunjukkan sebelumnya bahwa geopolymerisasi dapat mengubah berbagai macam limbah alumina-silikat menjadi bahan bangunan dengan sifat kimia dan fisik yang sangat baik, seperti ketahanan terhadap api dan lingkungan asam (Xu dan Van Deventer, 2000).

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa abu terbang 100 % dapat digunakan sebagai bahan pengikat dengan mengaktifkannya dengan komponen alkali seperti, alkali kaustik, garam silikat, dan garam non silikat dari asam lemah. (Law dkk, 2015). Teknologi sintesis geopolymer didasarkan pada aktivasi alkali yang relatif sederhana dari bahan sumber yang kaya akan silika (Si) dan aluminium (Al) dalam bentuk amorf pada suhu yang relatif rendah (Hardjito dan Rangan, 2005).

Dalam proses geopolymer, terjadi reaksi kimia antara alumina-silikat ( $Si_2O_5$ ,  $Al_2O_2$ ) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer. Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat yang diperoleh



dari industri kimia atau bubuk silika halus sebagai produk sampingan dari proses *ferro-silicon metallurgy*.

Geopolymer adalah salah satu hasil alumina-silika dan memiliki kuat ikat yang baik. Bahan ikat geopolymer menggunakan material seperti abu terbang atau metakaolin sebagai sumber silika dan aluminium untuk bereaksi dengan alkali. Dalam pengikat geopolymer berbasis abu terbang, larutan alkali bereaksi dengan abu terbang untuk membentuk pengikat alumina-silika tanpa penggunaan semen. Pengikat geopolymer kemudian mengikat agregat untuk membentuk mortar atau beton (Sarker, 2011).

### **2.3. Material Penyusun Mortar Geopolymer**

#### **2.3.1. Abu terbang**

Solid material adalah salah satu komponen sistem anorganik geopolymer. Solid material untuk geopolymer dapat berupa mineral alami seperti kaolin, tanah liat, mika, andalusit, spinel dan lain sebagainya. Alternatif lain yang dapat digunakan adalah material yang berasal dari produk sampingan seperti abu terbang, abu sekam padi, lumpur merah, dan lain-lain. Penelitian ini menggunakan abu terbang sebagai solid material. Abu terbang merupakan material hasil sampingan industri, salah satunya adalah sisa hasil proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Material abu terbang dikategorikan dalam material "*pozzolon*" yakni material *siliceous* atau *aluminous* yang didalamnya terdapat sedikit sekali atau tidak sama sekali material *cementious* sebagaimana yang dimiliki semen portland. Material abu terbang dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkali pada temperatur tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Abu terbang biasa dikenal sebagai abu berbentuk serbuk, yang merupakan hasil sisa dari pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik, yang dipisahkan dari gas pembakaran melalui pengumpul mekanik atau elektrostatik. Abu terbang terdiri dari sebagian besar partikel yang mempunyai

1-150 mikrometer yang lolos dari ayakan 45 mikrometer. Berdasarkan SNI 618-05 (2005), abu terbang didefinisikan sebagai material halus yang



berasal dari hasil pembakaran batu bara. Penggunaan abu terbang pada beton ataupun mortar mempunyai banyak keunggulan baik untuk kondisi beton / mortar segar maupun beton / mortar yang sudah mengeras. Keunggulan pada beton / mortar segar adalah meningkatkan kelecakan (*workability*), mengurangi kebutuhan air, mengurangi *bleeding*, dan memperlambat waktu pengerasan beton / mortar pada saat proses pengecoran.

Pada Tabel 2.1 menunjukkan persyaratan fisik abu terbang dimana tes untuk menentukan kekuatan semen portland yang tidak dianggap menjadi bagian yang direkomendasikan untuk digunakan pada pembuatan beton dan melakukan kontrol kekuatan pada umur 7 dan 28 hari.

Tabel 2.2 menunjukkan kandungan kimia abu terbang. Umumnya abu terbang memiliki komposisi kimia utama berupa silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan ferric trioksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Kandungan kimia lainnya seperti kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), sulfur ( $\text{SO}_3$ ), alkaline ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), fosforus oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), manganese ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) dan titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). ASTM C 618-05 membagi abu terbang dalam tiga kategori yaitu kelas N, kelas F dan kelas C seperti pada Tabel 2.1. Minimum kandungan senyawa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah 70% untuk kelas N dan kelas F, sedangkan kelas C antara 50% - 70%. Sedangkan, kandungan  $\text{CaO}$  pada abu terbang kelas N dan F relatif kecil dibandingkan dengan kelas C dimana kandungan  $\text{CaO}$  kelas C lebih besar dari 20% (J. Temuujin dkk, 2009). Gambar 2.1. dan Gambar 2.2. masing-masing memperlihatkan jenis abu terbang kelas F dan jenis abu terbang kelas C yang biasa digunakan dalam pembuatan beton geopolymer maupun mortar geopolymer.

Kebutuhan abu terbang sebagai bahan geopolymer menurut Shindunata (2006), abu terbang kelas F yang merupakan hasil produksi industri lebih diutamakan pada penggunaan beton geopolymer karena memiliki kandungan *amorphous alumino-silicate* yang banyak dan memiliki kelecakan (*workability*) yang besar. Selain itu, Diaz dkk (2010) mengemukakan, meskipun *silicate* dan

merupakan bahan utama pada reaksi geopolymer, kandungan  $\text{CaO}$  yang  
n persentase jumlah partikel abu terbang kurang dari  $5 \mu\text{m}$  dapat



mempengaruhi sifat geopolymer. Mereka menyarankan kandungan CaO yang lebih besar dari 20% tidak direkomendasikan untuk geopolymer karena mempercepat pengerasan.

**Tabel 2.1.** Kebutuhan fisik abu terbang

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
Jumlah lolos saringan 45 µm (No.325) kondisi basah	34	34	34
Dengan semen Portland pada umur 7 hari	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>
Dengan semen Portland pada umur 28 hari	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>
Kebutuhan air maksimum	115	105	105
Ekspansi atau perubahan bentuk, max %	0.8	0.8	0.8
Berat jenis maksimum variasi dari rata-rata, %	5	5	5
Persentase lolos saringan 45 µm (No.325),maks variasi dari rata-rata	5	5	5

Sumber: ASTM C 618-05, 2005

**Tabel 2.2.** Kebutuhan kandungan kimia abu terbang

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
<i>Silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) + aluminium oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) + iron oxide (F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), min, %</i>	70	70	50
<i>Sulfur trioxide (SO<sub>3</sub>), maks, %</i>	4.0	5.0	5.0
Moisuture, maks, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition (LOI), maks, %	10.0	6.0	6.0

Sumber: ASTM C 618-05, 2005



Abu terbang memiliki potensi sebagai bahan pengganti semen pada beton. Hampir sekitar 40% abu terbang digunakan sebagai pengganti semen pada beton, tapi untuk mengganti semen portland secara total, abu terbang perlu diaktifkan dengan menggunakan alkali natrium atau potassium sebagai larutan, kemudian reaksi kimia polimerisasi akan terbentuk (Shinde dan Kadam, 2015).

### 2.3.2. Alkali Aktivator

Alkali aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam pembuatan mortar geopolymer fly ash, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi yaitu kalium hidroksida (KOH). Aktivator dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi monomer Alumina dan Silikat. Alkali sebagai activator akan melarutkan (disolusi) precursor ke dalam monomer ( $\text{SiO}_4$ ) dan ( $\text{AlO}_4$ ). Selama proses curing monomer ( $\text{SiO}_4$ ) dan ( $\text{AlO}_4$ ) terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi yang berikatan silang. Ion alkali juga bertindak sebagai penetral muatan untuk tiap molekul tetrahedron alumina ( $\text{AlO}_4$ ).

Alkali aktivator diklasifikasikan dalam enam group berdasarkan komposisi kimianya (Provis dan Deventer):

1. *Caustic alkalis*: MOH
2. *Non-silicate weak acid salts*:  $\text{M}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{M}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{M}_3\text{PO}_4$ , MF dan lain-lain.
3. *Silicates*:  $\text{M}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$
4. *Aluminates*:  $\text{M}_2\text{O} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$
5. *Alumino-silicates*:  $\text{M}_2\text{O} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (2-6)\text{SiO}_2$
6. *Non-silicate strong acid salts*:  $\text{M}_2\text{SO}_4$

Penggunaan alkali aktivator dalam pembuatan geopolymer baik pada geopolymer mortar maupun geopolymer beton memiliki peranan yang sangat penting sebagai salah satu bahan pengikat unsur alumunium dan unsur silikat yang terkandung dalam abu terbang sehingga terbentuk suatu ikatan polimerisasi dan mempercepat reaksi yang terjadi antara abu terbang dan unsur-unsur tersebut.

Alkali aktivator ( $\% \text{Na}_2\text{O}$ ) didefinisikan sebagai ratio antara  $\text{Na}_2\text{O}$  terhadap



berat *binder* (abu terbang), sedangkan aktivator modulus ( $M_s$ ) adalah ratio antara berat  $\text{SiO}_2$  terhadap  $\text{Na}_2\text{O}$  pada alkali aktivator.

### 2.3.2.1. Kalium Hidroksida (KOH)

Kalium hidroksida (KOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung di dalam abu terbang sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Kalium hidroksida yang tersedia umumnya berupa serpihan dengan kadar 98%. Sebagai aktivator, kalium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air berdasarkan molaritas yang diinginkan. Dalam perhitungan molaritas KOH, perlu diketahui massa molekul relatifnya ( $M_r$ ). Nilai  $M_r$  diperoleh dari massa atom relatif ( $A_r$ ) penyusun KOH. Dimana  $A_r \text{ K}=39$ ,  $O=16$  dan  $H=1$ . sehingga  $M_r$  dari KOH adalah 56.

### 2.3.2.2. Natrium Hidroksida (NaOH)

Selain Kalium hidroksida (KOH), aktivator lain yang juga dapat digunakan dalam mereaksikan unsur-unsur Al dan Si adalah natrium hidroksida (NaOH). Adapun massa molekul relative ( $M_r$ ) dari natrium hidroksida adalah 40, yang diperoleh dari massa atom relatif ( $A_r$ ) penyusunnya yaitu  $\text{Na}=23$ ,  $\text{O}=16$  dan  $\text{H}=1$ . Natrium silikat dan natrium hidroksida dapat digunakan sebagai alkali aktivator (Hardjito Djuwantoro dkk, 2004). Natrium silikat dapat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi pada beton ataupun mortar geopolymer, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam abu terbang sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

### 2.3.3. Air

Air diperlukan untuk pembuatan beton dan mortar agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan atau biasa dikenal dengan *workability*. Selain itu, air merupakan bahan utama selain dari agregat yang digunakan untuk beton dan mortar. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk



campuran beton maupun mortar. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat dari semen.

Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pada saat proses pengerjaan yang dilakukan. Hal ini disebabkan karena karakteristik pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen atau biasa dikenal dengan faktor air semen (FAS) pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Edward G. Nawy, 2010).

#### 2.4. Molaritas

Molaritas atau kemolaran merupakan satuan kepekatan atau konsentrasi dari suatu larutan. Konsentrasi larutan (*concentration of a solution*) adalah jumlah zat terlarut yang terdapat di dalam sejumlah pelarut tertentu atau terhadap jumlah larutan tertentu. Salah satu satuan konsentrasi yang umum dalam kimia dan memang akan kita gunakan sekarang ini adalah molaritas / *molarity* (M). Molaritas adalah jumlah mol zat terlarut dalam satu liter larutan (Raymond Chang, 2005). Harga kemolaran dapat ditentukan dengan menghitung mol zat terlarut. Rumus molaritas dapat dilihat pada persamaan 2.1, persamaan 2.2 dan persamaan 2.3.

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{Jumlah mol terlarut}}{\text{Volume larutan dalam air}} \dots\dots\dots (2.1)$$

yang diketahui bukan mol melainkan gram zat terlarut, dapat digunakan sebagai berikut :



$$M = \frac{\text{gram (terlarut)}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{mL (larutan)}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Jika yang diketahui massa jenis larutan dan kadar/persen massa (%), maka dapat digunakan rumus berikut :

$$M = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{volume}} \times \frac{\%p.10}{\text{Volume}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk benda uji abu terbang geopolimer, menurut beberapa peneliti konsentrasi aktivator yang digunakan merupakan parameter utama dan parameter yang sangat penting pada pembuatan mortar dan beton geopolimer berbasis abu terbang. Peningkatan konsentrasi juga meningkatkan kuat tekan geopolimer mortar dan beton (Somna dkk 2011, Assi dkk 2016, Ryu dkk 2013).

## 2.5. Konsistensi Flow

Pengujian konsistensi *flow* bertujuan untuk menentukan jumlah air yang optimum agar menghasilkan mortar yang mudah dikerjakan. Jumlah air yang digunakan untuk campuran mortar sangat erat hubungannya dengan workability. Kelacakan atau workability adalah kemudahan suatu campuran untuk dikerjakan dan dipadatkan. Untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan untuk mencapai konsistensi normal dalam suatu mortar perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu.

Uji kelacakan mortar dilakukan dengan alat meja leleh dan cincin leleh sesuai dengan SNI 03-6825-2002. Adukan mortar dimasukkan ke dalam cincin leleh (diameter bawah 100 mm, diameter atas 70 mm dan tinggi 50 mm) yang ditaruh di atas meja leleh (diameter 300 mm dan tebal 20 mm). Semakin besar nilai sebar berarti semakin encer adukan mortarnya. Untuk penentuan konsistensi *flow* adukan digunakan rumus :

$$K = \frac{D_i}{D_0} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$K$  = Konsistensi *flow* adukan (%)

$D_i$  = Diameter adukan setelah *troun conique* diangkat (cm)

$D_0$  = Diameter dalam *troun conique* (cm)



## 2.6. Kuat Tekan Mortar Geopolymer

Kuat tekan mortar merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul mortar per satuan luas. Kuat tekan mortar geopolymer mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur mortar. Kuat tekan mortar dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pegujian dengan luas penampang melintang. Berdasarkan SNI 03-6825-2002, kuat tekan mortar dapat dihitung dengan rumus :

$$f'm = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$f'm$  = Kuat tekan mortar (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm<sup>2</sup>)

## 2.7. Perilaku Tegangan-Regangan Mortar

Untuk menganalisa tegangan-regangan yang terjadi pada benda uji yang bersifat getas seperti beton, dapat digunakan LVDT untuk mengukur lendutan yang terjadi akibat beban tekan. Selanjutnya data lendutan dirubah menjadi regangan. Tegangan merupakan perbandingan antara gaya yang bekerja pada beton atau mortar terhadap luas penampangnya. Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) terhadap panjang mula-mula (L) regangan dinotasikan dengan  $\epsilon$  dan tidak mempunyai satuan. Regangan yang terjadi pada beton dinyatakan dalam persamaan 2.6.

$$\epsilon = \Delta L/L \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

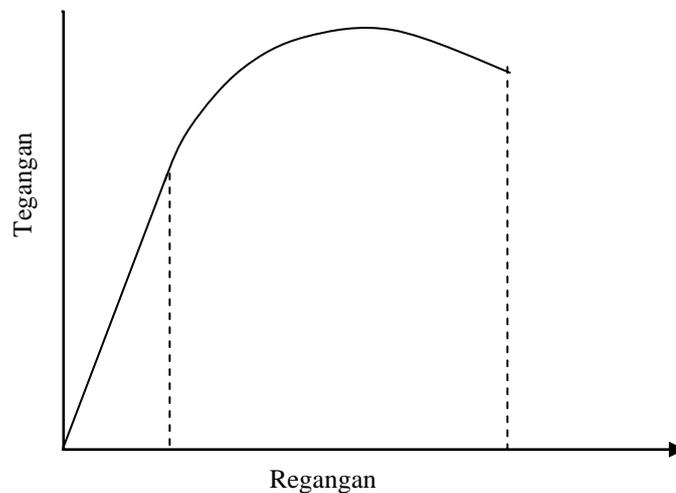
$\epsilon$  = Regangan

$\Delta L$  = Perubahan panjang (cm)

Panjang awal (cm)



Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi dipetakan kedalamnya dalam bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak dalam suatu garis seperti pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Hubungan tegangan dan regangan

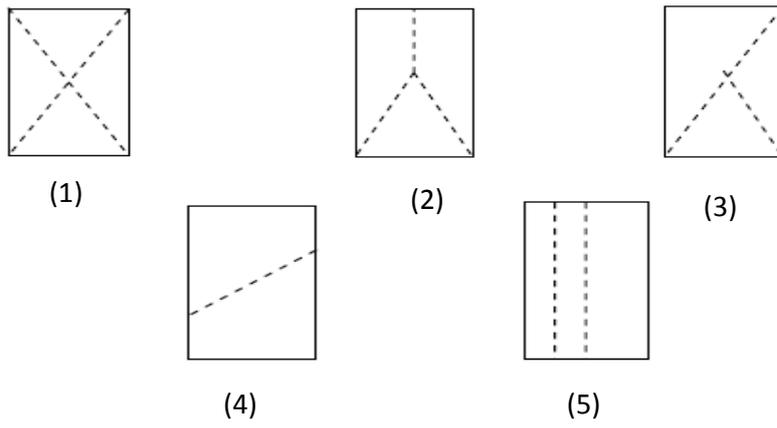
## 2.8. Pola Retak dan Kehancuran

Berdasarkan SNI 1974-2011 pola kehancuran dibedakan menjadi 5 tipe, yaitu:

Keterangan:

1. Bentuk kehancuran kerucut
2. Bentuk kehancuran kerucut dan belah
3. Bentuk kehancuran kerucut dan geser
4. Bentuk kehancuran geser
5. Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)





**Gambar 2.2.** Pola kehancuran