

# PENGARUH MODULUS AKTIVATOR ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ) TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER ABU TERBANG DENGAN PERAWATAN SUHU RUANG

Ali Imron Rusadi<sup>1)</sup>, Alfian Kamaldi<sup>2)</sup>, Monita Olivia<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>3)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email: ali.imron@student.unri.ac.id

## Abstract

*Geopolymer is a material made without cement mixture by utilizing waste material such as fly ash, palm ash and husk ash and other materials that are rich in silica and alumina, and activated using solution activators such as NaOH and  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . This study examines the characteristics of fly ash and the effect of activator modulus ( $M_s$ ) on the compressive strength of mortar with the treatment of room temperature. Fly ash used was sourced from PLTU Ombilin, West Sumatra. The variations of activator modulus used were  $M_s$  1, 1.5, 2, 2.5, and 3. The mold used was cube with the size 5x5 cm. The specimens were casted and treated in the laboratory under room temperature condition. The compressive tests were performed at 7, 14, and 28 days of mortar age. The results showed that the fly ash used was included in class F in accordance with ASTM C 618. The compressive strength test showed that there was an increase in compressive strength as the test age increased in all variations of the activator modulus. The highest value of compressive strength was produced by mortar geopolymer with modulus activator 2 which was 11.2 MPa at 28 days, while the lowest compressive strength was produced by mortar with modulus activator 2.5 with difference 19.14% at age 28 day.*

*Key words : mortar, compressive strength geopolymer mortar, room temperature, activator modulus*

## A. PENDAHULUAN

### A.1 Latar Belakang

Abu terbang (*fly ash*) merupakan abu sisa pembakaran dari batu bara pada suatu pabrik industri maupun Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Abu terbang mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang tinggi dengan nilai minimal 50% (ASTM C 618). Sebagian besar dari abu terbang belum dimanfaatkan secara optimal sehingga menjadi limbah yang menumpuk di alam. Sedangkan sebagian kecil limbah abu terbang dimanfaatkan sebagai filler atau bahan

tambah pada produksi semen, pembuatan beton ringan, *grouting* dan stabilisasi tanah (Wardani, 2008 dan Hardjito, 2001).

Istilah geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1980. Geopolimer merupakan material yang dibuat tanpa campuran semen dengan memanfaatkan limbah seperti abu terbang, abu sawit dan abu sekam maupun bahan lainnya yang kaya silika dan alumina, dan diaktifkan menggunakan larutan aktivator seperti NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Sifat geopolimer dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti alkali aktivator, temperatur,

waktu perawatan, dan perbandingan alkali aktivator dengan bahan dasar geopolimer (Astuti, 2013).

Dalam teknologi beton, kuat tekan mortar dapat digunakan sebagai rujukan untuk mengetahui kinerja beton. Kuat tekan mortar mempunyai hubungan yang linier terhadap kuat tekan beton, sehingga bila kuat tekan mortar tinggi, maka kuat tekan beton akan tinggi (Neville, 1990 dalam Apriando dan Purwanto, 2011). Perawatan suhu tinggi merupakan salah satu tahap pembuatan geopolimer untuk mendapatkan kuat tekan optimum di umur awal. Namun, perlunya alat perawatan suhu tinggi yang mahal dan memerlukan keahlian khusus mengakibatkan sulitnya pembuatan mortar pada suhu tinggi. Maka dari itu, pada penelitian ini benda uji dirawat pada suhu ruang untuk kemudahan dalam pembuatan dan mengetahui .

## A.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengkaji karakteristik abu terbang
2. Mengkaji kuat tekan mortar geopolimer dengan variasi modulus aktivator

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### B.1 Geopolimer Abu Terbang

Geopolimer merupakan proses polimerasi dari zat kimia larutan alkali dengan material limbah industri yang kaya dengan silika dan alumina seperti abu terbang (Davidovits, 1994).

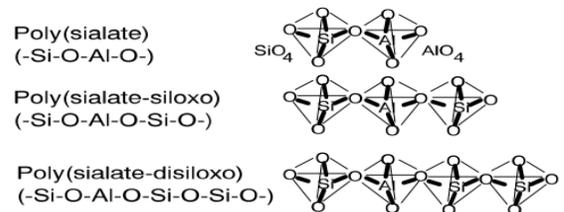
Reaksi geopolimer merupakan reaksi bermacam oksidasi aluminasilikat dengan larutan silikat serta menghasilkan ikatan polimerik yang disebut *poly(sialate)*. *Sialate* merupakan singkatan dari *silicon-oxo-aluminate*. Jaringan *sialate* terdiri dari hubungan *tetrahedral* SiO<sub>4</sub> dan AlO<sub>4</sub> yang berbagi oksigen secara bergantian.

Rumus empiris *poly(sialate)* adalah sebagai berikut :



dimana M adalah kation seperti *potassium* (K<sup>+</sup>), *sodium* (Na<sup>+</sup>) atau *kalsium* (Ca<sup>2+</sup>), n adalah derajat *polikondensasi*, z adalah 1, 2, atau 3.

Rantai *poly(sialate)* Si<sup>4+</sup> dan Al<sup>3+</sup> dengan oksigen hanya akan terbentuk pada *range* silikat yang bersifat amorf hingga semi kristal seperti limbah industri abu terbang (Davidovits, 1994). Bentuk rantai *poly(sialate)* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipe *Poly(sialate)* dan Hubungan Konfigurasinya

Sumber: Davidovits (1994)

Tabel 1. Spesifikasi Mortar

Tipe Mortar	Kuat Tekan Minimum	Aplikasi
Mortar tipe M	17.2 Mpa (kuat tekan tinggi)	-Dinding dekat tanah -Adukan pipa air kotor -Adukan dinding penahan tanah -Adukan untuk jalan
Mortar tipe S	12.4 Mpa (kuat tekan sedang)	-Bila tidak diisyaratkan menggunakan tipe M tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya gaya samping
Mortar tipe N	5.2 Mpa (kuat tekan rendah)	-Untuk pasangan dinding terlindung dan tidak menahan beban, serta tidak ada persyaratan mengenai kekuatan
Mortar tipe O	2.5 Mpa (kuat tekan rendah)	-Untuk konstruksi dinding yang tidak menahan beban lebih dari 7 kg/cm <sup>2</sup> , dan gangguan cuaca tidak berat

Sumber: SNI 03-6882-2002

Pada penelitian ini geopolimer abu terbang didesain dalam bentuk mortar. Mortar merupakan campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air (SNI 15-2049-2004). Fungsi mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun konstruksi.

Ukuran mortar adalah kubus kecil dengan dimensi sisi 50 mm. Spesifikasi mortar dibagi menjadi empat tipe yang disajikan pada Tabel 1.

## B.2 Bahan Penyusun Mortar Geopolimer

### B.2.1 Abu Terbang

Menurut ASTM C 618-05, abu terbang (*fly ash*) adalah sisa hasil dari pembakaran tanah atau bubuk batu bara dan diangkut oleh gas buangan. Selain dari komposisi kimia, karakteristik dari fly ash umumnya juga mempertimbangkan penurunan pada pengapian (LOI), kehalusan dan keseragaman.

Secara umum abu terbang terdiri dari dua tipe menurut ASTM yaitu kelas C (abu terbang tinggi kalsium) dan kelas F (abu terbang rendah kalsium). Jika kandungan CaO pada abu terbang lebih dari 20% maka digolongkan abu terbang kelas C. Sedangkan kelas F, kandungan CaO rendah dari 20% bahkan 10%

Pada penelitian ini, abu terbang yang digunakan berasal dari PT. PLTU Ombilin Padang. Abu terbang yang digunakan lolos saringan no. 200 dengan diameter 0,75 mm.

### B.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang ukuran butirannya dibawah 4,75 mm. agregat halus dapat terbentuk secara alamiah akibat pengikisan maupaun diproduksi dengan mesin pemecah batu secara mekanis.

Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Teratak Buluh, Kampar. Sebelum digunakan agregat halus dikeringkan permukaannya dengan cara dijemur sekitar 6 jam.

### B.2.3 Larutan Alkali

Pada umumnya, larutan alkali yang digunakan dalam geopolimerisasi adalah kombinasi dari natrium hidroksida (NaOH) atau potassium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat atau potassium silikat (Hardjito, 2005). Dari beberapa penelitian geopolimer, diketahui bahwa penggunaan campuran NaOH dan natrium silikat sebagai larutan alkali aktivator menghasilkan kekuatan yang terbaik dalam membentuk ikatan geopolimer (Provis & Deventer, 2009).

NaOH merupakan aktivator yang paling sering digunakan pada sintesis geopolimer, selain harganya yang murah, NaOH juga tersedia banyak dan memiliki viskositas/kekentalan yang rendah (Provis & Deventer, 2009). NaOH ini berfungsi untuk mereaksikan Si dan Al pada binder (abu terbang atau abu sawit) dengan menambah ion Na<sup>+</sup>. Konsentrasi NaOH berpengaruh pada kuat tekan geopolimer terutama dengan peningkatan molaritas NaOH (Mustafa et al, 2011). Kandungan dari NaOH untuk beberapa molaritas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan NaOH

Konsentrasi NaOH	Padatan (%)	H <sub>2</sub> O (%)
8M	26,23	
10M	31,37	
12M	36,09	
14M	40,43	63,91
16M	44,44	59,57

Sumber: Hardjito (2005)

Palomo *et al* (1999) menyimpulkan bahwa aktivator mengambil peranan penting dalam proses polimerisasi. Reaksi akan terjadi dengan laju yang tinggi ketika mengandung silika terlarut, baik *sodium* maupun *potassium silicate*, dibandingkan dengan hanya menggunakan alkalin hidroksida. Sodium silikat itu sendiri adalah

penamaan umum dari senyawa dengan formula  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ . Secara teoritis  $n$  merupakan sejumlah ratio yang memungkinkan untuk dapat digunakan pada berbagai jenis aplikasi dalam industri. Secara komersil larutan sodium silikat memiliki rasio dari 1,60 sampai 3,85 (Shi *et al*, 2005).

Berdasarkan penelitian Astuti (2013) Penambahan sodium silikat seiring penambahan NaOH bukan berarti semakin banyak larutannya semakin baik, tetapi sesuai dengan batas optimum penambahan sodium silikat tersebut. Jumlah larutan sodium silikat yang terlalu banyak dalam campuran menyebabkan campuran itu menjadi lebih kental, lengket dan sulit dipadatkan. Sedangkan sodium silikat dengan batas optimumnya dalam campuran dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer. Hal ini telah dijelaskan oleh Shindunata (2006) kadar silikat yang terlalu tinggi dapat mengurangi reaktivitas dan menunda terjadinya proses kristalisasi geopolimer.

#### **B.2.4 Air**

Air merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam campuran, namun air yang digunakan hanya sedikit. Kandungan air yang digunakan merupakan campuran antara air normal dan larutan alkali. Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu reaksi kimiawi pada semen, membahasahi agregat dan memberi kemudahan pada pekerjaan beton.

Berdasarkan SNI 03-6882-2002 air harus bersih dan bebas dari sejumlah minyak, asam, alkali, garam, zat organik atau zat/bahan lainnya yang merusak beton atau semua logam yang terdapat di dinding.

#### **B.2.5 Tambahan Semen OPC**

Semen merupakan elemen penting dalam pembuatan beton karena fungsinya sebagai perekat antara material satu dengan lainnya. Menurut SNI 15-2049-2004,

(2004), semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nath & Sarker, 2015) mengungkapkan bahwa penambahan semen OPC pada beton geopolimer dapat meningkatkan waktu *setting time* dan membantu mempercepat proses geopolimerisasi pada perawatan beton suhu ruang. Penambahan semen OPC hingga 5% dapat mencapai kuat tekan beton hingga 40 Mpa pada umur 28 hari.

### **C. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **C.1 Persiapan Penelitian**

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan karakteristik material. Abu Terbang dianalisis di PT. Sucofindo Pekanbaru, Riau Sedangkan agregat halus pengujian karakteristik dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Teknik Sipil, Universitas Riau.

#### **C.2 Pelaksanaan Penelitian**

Pada tahap ini dilakukan pembuatan mortar geopolimer dengan dimensi kubus 5x5 cm. Material penyusun mortar geopolimer disiapkan sesuai ketentuan nilai ratio binder : pasir adalah 1 : 3, ratio air/solid alkali adalah 0,60, Molaritas NaOH 12M, penambahan semen sebanyak 15% dari berat abu terbang. Selain itu ratio larutan alkali/abu terbang juga ditetapkan 0,95.

Variasi dilakukan pada perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida yaitu 1, 1.5, 2, 2.5 dan 3. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbandingan modulus activator terhadap kuat tekan

mortar geopolimer abu terbang. Pencampuran mortar geopolimer abu terbang dilakukan menggunakan alat *mixer* mortar. Penggunaan alat ini untuk mengurangi ketidakmerataan selama pengadukan. Campuran diaduk selama lima menit, kemudian dicetak dalam *mould* mortar.

### C.3 Rest Periode dan Perawatan Suhu Ruang

Reaksi polimerik biasanya berlangsung lama yaitu 0 sampai 5 hari. Oleh karena itu diperlukan *rest periode* agar sampel mortar menyatu dan mengeras sebelum dibuka cetakan.

Berdasarkan penelitian Djwantoro Hardjito & Rangan (2005), *rest periode* optimum terjadi selama 3 hari. Setelah 3 hari campuran geopolimer telah menyatu dan dapat dilepas dari cetakan. Selanjutnya, perawatan sampel mortar dilakukan pada suhu ruang sekitar 24-27 °C.

### C.4 Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan beton (*compressive strength*) bertujuan untuk menentukan nilai beban per luasan yang diterima oleh beton disaat mulai mengalami kerusakan atau retak. Hasil uji berupa satuan gaya per luasan. Kuat tekan beton ( $f'c$ ) dapat dihitung dengan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana:

- $f'c$  = kuat tekan (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Hasil Pemeriksaan Abu terbang

Pengujian abu terbang dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui

persentase kandungan unsur kimia yang terdapat dalam abu terbang. Abu terbang yang diuji berada dalam kondisi kering dan lolos saringan no. 100. Pengujian abu terbang dilakukan di PT. Sucofindo Pekanbaru, Riau.

Berdasarkan hasil pengujian abu terbang pada Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam kelas F. Hal ini sesuai dengan klasifikasi abu terbang oleh ASTM C 618 yakni kandungan SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada abu terbang minimum 70% dan kandungan SO<sub>3</sub> maksimum 5%.

Tabel 3 Hasil Pengujian Abu Terbang

No	Parameter Uji	Hasil Analisa (%)
1	K <sub>2</sub> O	2,23
2	SiO <sub>2</sub>	59,25
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,25
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,45
5	CaO	1,54
6	MgO	0,31
7	Na <sub>2</sub> O	0,68
8	SO <sub>3</sub>	0,29
9	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04
10	LOI	18,98

Sumber : PT. Sucofindo Pekanbaru (2018)

### D.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Hasil pengujian karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4. Secara umum hasil pengujian agregat halus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Dari hasil pengujian karakteristik diketahui bahwa modulus kehalusan agregat halus sebesar 3,35%. Semakin besar nilai modulus kehalusan menandakan ukuran agregat semakin besar. Nilai kadar air menunjukkan kandungan air yang terdapat pada agregat. Kandungan air yang tinggi dapat menurunkan kuat tekan pada beton. Berbeda

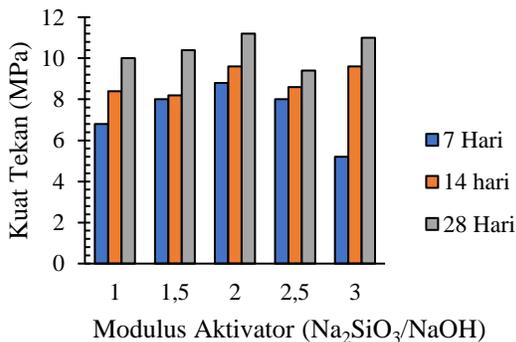
dengan kadar air, nilai absorpsi pada agregat menunjukkan besaran penyerapan air oleh agregat. Semakin tinggi nilai absorpsi menandakan butiran agregat yang porus.

Tabel 4 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pengujian	Keterangan
Kadar lumpur (%)	0,1	OK
Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )		
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,71	OK
b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,47	Tidak OK
c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,56	Tidak OK
d. Absorption	3,62	OK
Kadar air (%)	1,01	OK
Modulus kehalusan	3,35	OK
Berat volume (g/cm <sup>3</sup> )		
a. Kondisi padat	1,50	OK
b. Kondisi gembur	1,31	Tidak OK
Kadar Organik	No. 3	OK

### D.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan variasi modulus aktivator dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 4. 1 Hubungan Kuat Tekan dengan Modulus Aktivator Geopolimer

Gambar 4.3 menunjukkan perubahan kuat tekan mortar dengan variasi modulus

aktivator (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH) pada umur 7, 14 dan 28 hari. Secara umum terjadi peningkatan kuat tekan mortar dengan bertambahnya umur. Nilai kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh mortar geopolimer dengan variasi modulus aktivator MS 2 yakni 11,2 MPa, sedangkan kuat tekan terendah dihasilkan oleh mortar dengan modulus aktivator 2,5 dengan perbedaan 16,2% pada umur 28 hari. Oleh karena itu digunakan modulus aktivator 2 dalam campuran beton geopolimer.

## E. PENUTUP

### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap penelitian mortar geopolimer abu terbang dengan perawatan suhu ruang, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Abu terbang PT. PLTU Ombilin Padang termasuk kedalam kelas F menurut ASTM C 618 dengan persentase Silika, Alumina dan Besi mencapai 70%.
2. Modulus activator mempengaruhi kuat tekan mortar, kuat tekan tertinggi didapat pada campuran modulus activator 2 dengan kuat tekan sebesar 11,2 MPa.

### E.2 Saran

Saran untuk penelitian ini yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan penambahan umur pengujian lebih dari 28 hari
2. Perlu digunakan abu terbang dari tempat asal yang berbeda untuk mengetahui pengaruh abu terbang terhadap kuat tekan mortar.

## F. DAFTAR PUSTAKA

- Apriando, P dan Purwanto, H. (2011). Pengaruh Perawatan Air Laut Terhadap Kuat Tekan Mortar dengan Bahan Tambah Berbasis Gula. Semarang.
- ASTM C 618-05. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. *Annual Book of ASTM Standards*,
- Astuti Halinda Putri, W. (2013). *Karakteristik Mortar Geopolimer. Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau.*
- Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, 131–149.
- Hardjito, D. (2001). Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen. *Sinar Harapan*.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. *Research Report GC*, 94
- Mustafa, M., Mohammed, H., Kamarudin, Niza, K., & Zarina, Y. (2011). Review on Fly Ash Based Geopolymer Concrete Without Portland Cement. *Journal of Engineerng*.
- Nath, P., & Sarker, P. K. (2015). Use of OPC to improve setting and early strength properties of low calcium fly ash geopolymer concrete cured at room temperature. *Cement and Concrete Composites*, 55, 205–214.
- Palomo, A., Grutzeck, M. W., & Blanco, M. T. (1999). Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cement and Concrete Research*, 29(8), 1323–1329.
- Provis, J.L., & Deventer, J.S.J. (2009). Geopolymer Structur, Processing, Properties and Industrial Applications. New York: Oxford.
- Satya, Y. S. D., Olivia, M., & Saputra, E. (2015). Durabilitas Mortar Geopolimer Campuran Abu Terbang (FA) dan Abu Sawit (POFA) di Lingkungan Gambut. *Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau*, 2(2), 1–8.
- Shi, C., Wu, Y., Riefler, C., & Wang, H. (2005). Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 987–993.
- SNI 15-2049-2004. (2004). Semen portland. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- SNI 03-6882-2002. (2002). Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan. *Badan Standardisasi Indonesia*.
- Wardani, S. P. R. (2008). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Pidato Pengukuhan Guru Besar*.