

## KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH DAN BOTTOM ASH

Hermana Kaselle<sup>1)</sup>, Septian Ruga<sup>2)</sup>, Siti Aliyah Zhafirah A<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

<sup>2)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

Using cement as a binder for concrete contributes a large emissions of CO<sub>2</sub> (Carbon dioxide) into the atmosphere and make greenhouse effect. Geopolymer mortar is a material that uses polymer as a binder to replace Portland cement so that it is environmentally friendly. This study aims to obtain the characteristics of geopolymer mortar in the form of composition and compressive strength value of mortar by varying the use of bottom ash and fly ash in the mixture. Geopolymer mortar was formed with a ratio between aggregate and binder of 1:1. Fine aggregate using bottom ash variations of 0%, 50% and 100%, while the binder is formed from a mixture of fly ash and alkaline activator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> and 8M and 10M NaOH in a ratio of 2:1. The compressive strength test of the mortar was carried out based on ASTM C 109. The highest compressive strength values were obtained at the age of 7 and 28 days, respectively, 25.11 Mpa and 34.80 Mpa with the use of 50% bottom ash and a concentration of 8M NaOH solution, this indicates the use of bottom ash. and the concentration of the solution has an effect on improving the quality of geopolymer mortar.

**Keyword:** Geopolymer, Fly Ash, Bottom Ash, Alkali Activator, Compressive Strength.

### 1. PENDAHULUAN

Mortar adalah campuran yang terdiri dari campuran agregat halus (pasir), bahan perekat (binder) dan air yang banyak digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beton struktural maupun non struktural, plesteran dan acian. Bahan pengikat yang masih sering digunakan di masyarakat adalah semen, namun penggunaan semen sebagai bahan pembuat beton maupun bata ringan memberi dampak terhadap lingkungan yaitu adanya emisi dari CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida) yang cukup besar yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi (Davidovitz, 1999) [1] hal ini mengakibatkan efek rumah kaca.

Beton geopolimer merupakan bahan material yang ramah lingkungan karena menggunakan bahan polimer sebagai pengikat menggantikan Semen Portland sehingga dapat menekan laju emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan semen. Beton geopolimer 100% tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Binder diperoleh dari fly ash yang diaktifkan dengan campuran alkali aktivator pada komposisi tepat untuk memberikan kekuatan yang baik pada beton. Aktivator yang sering digunakan adalah Larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 8M sampai dengan 14 M dan Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dengan perbandingan 0,4 sampai 2,5 (Hardjito and Rangan, 2005) [2].

PT. Makassar Tene sebagai salah satu produsen gula rafinasi terbesar di Indonesia Timur menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama dalam proses produksinya yang menghasilkan limbah fly ash dan bottom ash sebanyak kurang lebih 80 ton setiap harinya dan perlu dimanfaatkan dengan baik agar tidak mencemari lingkungan. Penggunaan fly ash dalam campuran beton sudah banyak digunakan, sementara bottom ash masih sangat minim digunakan sehingga penelitian ini bertujuan untuk menggunakan fly ash dan bottom ash untuk menghasilkan komposisi dan karakteristik mortar geopolimer yang baik.

### Mortar Geopolimer

Mortar Geopolimer adalah mortar dengan bahan pengikat yang tidak menggunakan semen sebagai pengikat, tetapi menggunakan fly ash dimana kandungan silika dan aluminanya sangat tinggi. Fly ash yang digunakan diaktifkan dengan larutan alkali berupa Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat sebagai katalisatornya dengan perbandingan tertentu.

Davidovits (1999) [1] mengemukakan bahwa beton polimer terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa Cairan alkalin bisa digunakan untuk mereaksikan silikon (Si) dan aluminium (Al) dalam material seperti *fly ash* dan jerami untuk menghasilkan pengikat, Karena material geologi yang terkandung dalam ikatan polimerisasi beton ini, maka beton polimer jenis ini juga biasa disebut dengan beton geopolymer berbasis *Fly Ash*. Proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton polimer meliputi reaksi

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Hermana Kaselle, 085299619533, h.kaselle@poliupg.ac.id

kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si-Al sehingga menghasilkan rantai polimerik konsisten. Polimer dapat digunakan sebagai pelindung api, keramik, batu bata, semen rendah CO<sub>2</sub>, beton, mobilisasi limbah beracun dan bahan radioaktif.

### Fly Ash

Abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Abu terbang mempunyai titik lebur sekitar 1300 °C dan mempunyai kerapatan massa (densitas), antara 2.0 – 2.5 g/cm<sup>3</sup>. Abu terbang adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus. Fungsi abu batu bara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat (id.wikipedia.org) [3]. Berdasarkan ASTM C618, fly ash dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas C dan *fly ash* kelas F. Fly ash yang digunakan berasal dari PT Makassar Tene (Gambar 1).



Gambar 1. Fly Ash

### Bottom Ash

Bottom Ash merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara, ukurannya yang lebih besar dari fly ash mengakibatkan bottom ash jatuh ke dasar tungku pembakaran. Bentuk fisik bottom ash seperti pasir sungai alami yang memiliki gradasi dari butiran halus sampai kasar. Campuran beton dengan menggunakan bottom ash sebagai bahan pengganti agregat halus menghasilkan beton dengan kekuatan tekan dan ketahanan abrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran tanpa bottom ash. Hal ini berkaitan erat dengan kuat tekan beton dimana semakin tinggi kuat tekan maka semakin tinggi pula ketahanan abrasinya (Singh & Siddique, 2015) [4]. Bottom Ash yang digunakan berasal dari PT Makassar Tene (Gambar 2).



Gambar 2. Bottom Ash

### Agregat Halus (Pasir)

Persyaratan agregat halus ditentukan berdasarkan SNI 03-6821-2002. Gradasi agregat halus adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Pada pembuatan beton digunakan butiran dengan kemampuan tinggi karena dengan volume pori yang sedikit maka cenderung lebih padat dan tidak membutuhkan bahan pengikat yang banyak. Berdasarkan gradasinya kekasaran pasir dapat dikelompokkan menjadi zone 1 (pasir kasar), zone 2 (pasir agak kasar), zone 3 (pasir agak halus) dan zone 4 (pasir halus).



Gambar 3. Pasir

### Alkali Aktivator

Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) merupakan salah satu bahan kimia yang dapat digunakan sebagai alkali activator beton polimer. Sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dapat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi pada beton polimer sedangkan sodium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur Al dan Si yang terkandung dalam abu terbang sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

**Kuat Tekan Mortar**

Menurut ASTM C 109 [5], pengujian kuat tekan Kekuatan mortar geopolimer diperoleh dengan melakukan pengujian kuat tekan dengan alat *Compression Testing Machine* pada benda uji kubus berukuran 5x5x5 cm. Besarnya kuat tekan dihitung dengan persamaan:

$$f_c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Dimana:

$f_c$  = Kuat tekan (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

**2. METODE PENELITIAN**

**Pengujian Karakteristik Fisik Pasir dan Bottom Ash dan Fly Ash**

Pengujian karakteristik fisik pasir dan bottom ash dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Ujung Pandang. Hasil pemeriksaan pasir ditunjukkan pada Tabel 2. Pengujian Berat Jenis fly ash dilakukan dengan pengujian menggunakan tabung Le Chatelier Flash dan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis pengujian	Nilai Pasir	Nilai Botom Ash
1	Warna	Kecoklatan	Hitam
2	Berat Jenis Kering	2,20	1,22
3	Berat Jenis SSD	2,37	1,54
4	Penyerapan (%)	7,36	26,17
4	Modulus Kehalusan	2,3472	1,3133
5	Zone Gradasi	Zona 2 (Pasir agak kasar)	Zona 4 (Pasir agak halus)

Tabel 3. Pengujian Berat Jenis Fly Ash

No Sampel	Berat Fly Ash (gr)	V1 (ml)	V2 (ml)	Berat jenis
1	64	0,5	23,2	2,82
2	64	0,8	23	2,88
<b>Rata-Rata</b>				<b>2,85</b>

**Pengujian Kandungan Fly Ash dan Bottom Ash**

Pengujian kandungan unsur dalam *Fly ash* dan *Bottom ash* dilakukan dengan metode XRF (X-Ray Fluoresence) oksida. Pengujian dilakukan pada Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Science Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Kimia Bottom Ash dan Fly Ash Makassar Tene

Parameter	Komposisi Kimia (%)											
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	BaO	SrO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Fly Ash	47,58	30,23	12,95	6,42	0,94	0,88	0,519	0,172	0,164	0,0048	0,0297	0,0081
Bottom Ash	27,84	56,3	11,2	-	1,6	0,821	1,41	-	0,427	0,301	0,0072	0,0178

Dari Tabel 4 diperoleh kadar (SiO<sub>2</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) *Fly ash* sebesar 84,23 % sehingga dapat disimpulkan bahwa *fly ash* PT Makasaar Tene merupakan High Calcium Fly Ash Tipe C dengan jumlah kandungan (SiO<sub>2</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) minimum 50% dan kadar CaO > 10%. *Fly ash* ini biasanya dihasilkan dari proses pembakaran lignite atau subbituminous coal (ASTM C618-12).

**Komposisi Mortar Geopolimer**

Dalam Penelitian ini proses pencampuran dilakukan melalui metode trial and error, dimana persentase material pencampur ditentukan berdasarkan hasil studi literatur penelitian sebelumnya. Sampel benda uji dibuat dalam dua variasi yaitu dengan substitusi *bottom ash* pada pasir sebesar 50% dan 100%. Kebutuhan bahan diperoleh melalui perbandingan massa agregat dengan binder sebesar 1:1. Massa sodium silikat ditetapkan 50% dari massa *fly ash*. Hasil perencanaan adukan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Campuran Mortar Geopolimer untuk 1m<sup>3</sup> Campuran

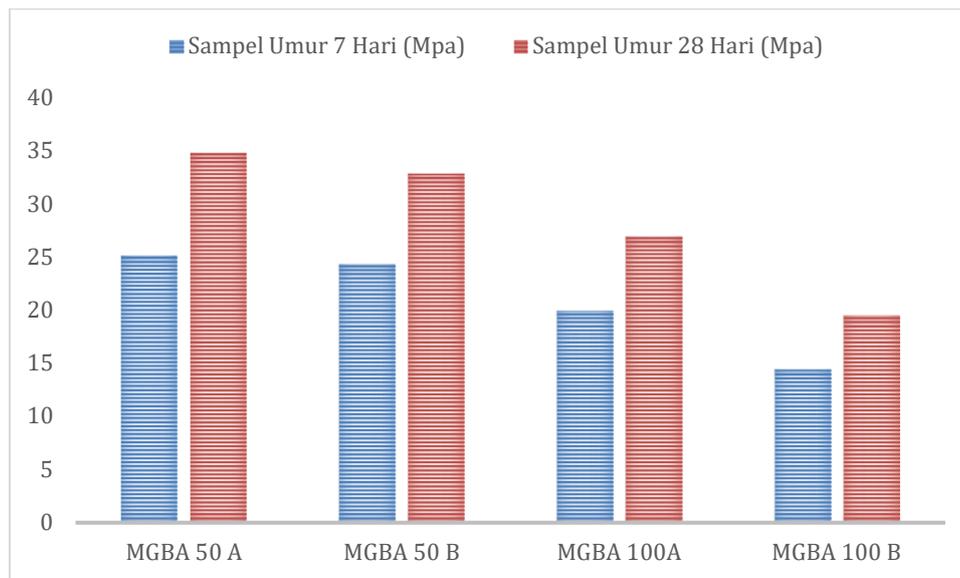
Kode	Pasir (gr)	Bottom Ash (gr)	Fly Ash (gr)	Larutan Sodium Silikat (gr)	Larutan NaOH (gr)
MGBA50	470	470	940	470	235
MGBA100	0	940	940	470	235

### Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Hasil pengujian kuat tekan mortar pada umur 7 dan 28 hari ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 5. Gambar hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 6. Rata-rata Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Deskripsi	MGBA 50 A	MGBA 50 B	MGBA 100A	MGBA 100 B
Sampel Umur 7 Hari (Mpa)	25,11	24,31	19,93	14,44
Sampel Umur 28 Hari (Mpa)	34,80	32,81	26,91	19,49



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 7 dan 28 Hari



Gambar 6. Pengujian Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Dari hasil yang diperoleh didapatkan peningkatan kekuatan mortar pada umur 7 dan 28 hari. Hasil yang diperoleh nilai kuat tekan mortar pada umur 28 hari diperoleh pada komposisi penambahan bottom ash sebesar

50% dan 100% dari jumlah agregat halus dan kekentalan larutan NaOH sebesar 8M dan 100% berturut-turut 34,80 Mpa, 32,81 Mpa, 26,91 Mpa serta 19,49 Mpa. Hasil ini menunjukkan kekuatan mortar geopolimer diperoleh pada penggunaan bottom ash berada pada kisaran 50% dari jumlah agregat halus yang digunakan. Sementara itu, kekentalan larutan alkali juga mempengaruhi kekuatan dan workabilitas campuran mortar geopolimer, dimana dalam penelitian ini diperoleh campuran terbaik pada konsentrasi NaOH sebesar 8 M.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengujian Karakteristik Fisik Pasir dan Bottom Ash dan Fly Ash

Pengujian karakteristik fisik pasir dan bottom ash dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Ujung Pandang. Hasil pemeriksaan pasir ditunjukkan pada Tabel 2. Pengujian Berat Jenis fly ash dilakukan dengan pengujian menggunakan tabung Le Chatelier Flash dan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis pengujian	Nilai Pasir	Nilai Botom Ash
1	Warna	Kecoklatan	Hitam
2	Berat Jenis Kering	2,20	1,22
3	Berat Jenis SSD	2,37	1,54
4	Penyerapan (%)	7,36	26,17
4	Modulus Kehalusan	2,3472	1,3133
5	Zone Gradasi	Zona 2 (Pasir agak kasar)	Zona 4 (Pasir agak halus)

Tabel 3. Pengujian Berat Jenis Fly Ash

No Sampel	Berat Fly Ash (gr)	V1 (ml)	V2 (ml)	Berat jenis
1	64	0,5	23,2	2,82
2	64	0,8	23	2,88
<b>Rata-Rata</b>				<b>2,85</b>

#### Pengujian Kandungan Fly Ash dan Bottom Ash

Pengujian kandungan unsur dalam *Fly ash* dan *Bottom ash* dilakukan dengan metode XRF (X-Ray Fluorescence) oksida. Pengujian dilakukan pada Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Science Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Kimia Bottom Ash dan Fly Ash Makassar Tene

Parameter	Komposisi Kimia (%)											
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	BaO	SrO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Fly Ash	47,58	30,23	12,95	6,42	0,94	0,88	0,519	0,172	0,164	0,0048	0,0297	0,0081
Bottom Ash	27,84	56,3	11,2	-	1,6	0,821	1,41	-	0,427	0,301	0,0072	0,0178

Dari Tabel 4 diperoleh kadar (SiO<sub>2</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) *Fly ash* sebesar 84,23 % sehingga dapat disimpulkan bahwa *fly ash* PT Makassar Tene merupakan High Calcium Fly Ash Tipe C dengan jumlah kandungan (SiO<sub>2</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) minimum 50% dan kadar CaO > 10%. *Fly ash* ini biasanya dihasilkan dari proses pembakaran lignite atau subbituminous coal (ASTM C618-12).

#### Komposisi Mortar Geopolimer

Dalam Penelitian ini proses pencampuran dilakukan melalui metode trial and error, dimana persentase material pencampur ditentukan berdasarkan hasil studi literatur penelitian sebelumnya. Sampel benda uji dibuat dalam dua variasi yaitu dengan substitusi *bottom ash* pada pasir sebesar 50% dan 100%. Kebutuhan bahan diperoleh melalui perbandingan massa agregat dengan binder sebesar 1:1. Massa sodium silikat ditetapkan 50% dari massa *fly ash*. Hasil perencanaan adukan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Campuran Mortar Geopolimer untuk 1m<sup>3</sup> Campuran

Kode	Pasir (gr)	Bottom Ash (gr)	Fly Ash (gr)	Larutan Sodium Silikat (gr)	Larutan NaOH (gr)
MGBA50	470	470	940	470	235
MGBA100	0	940	940	470	235

### Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Hasil pengujian kuat tekan mortar ditunjukkan pada Tabel 6. Perbandingan nilai kuat tekan bata CLC ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.

Tabel 6. Rata-rata pengujian kuat tekan mortar geopolimer

Deskripsi	MGBA 50 A	MGBA 50 B	MGBA 100A	MGBA 100 B
Sampel Umur 7 Hari (Mpa)	25,11	24,31	19,93	14,44
Sampel Umur 28 Hari (Mpa)	34,80	32,81	26,91	19,49

Hasil yang diperoleh nilai kuat tekan mortar pada umur 28 hari diperoleh pada komposisi penambahan bottom ash sebesar 50% dan 100% dari jumlah agregat halus dan kekentalan larutan NaOH sebesar 8M dan 100% berturut-turut 34,80 Mpa, 32,81 Mpa, 26,91 Mpa serta 19,49 Mpa. Hasil ini menunjukkan kekuatan mortar geopolimer diperoleh pada penggunaan bottom ash berada pada kisaran 50% dari jumlah agregat halus yang digunakan. Sementara itu, kekentalan larutan alkali juga mempengaruhi kekuatan dan workabilitas campuran mortar geopolimer, dimana dalam penelitian ini diperoleh campuran terbaik pada konsentrasi NaOH sebesar 8 M.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Hasil pengujian mortar geopolimer mengalami peningkatan dari umur 7 dan 28 hari. di umur 28 hari diperoleh kekuatan mortar sebesar 34,80 Mpa pada komposisi 50% penggunaan bottom ash dalam campuran, dan kekentalan NaOH sebesar 8M. Konsentrasi larutan alkali mempengaruhi kekuatan mortar geopolimer. Konsentrasi NaOH 8M memeberikan nilai kuat tekan yang besar serta bentuk kelecakan campuran yang mudah dikerjakan (*workable*).

### Saran

Dari hasil penelitian yang diperoleh, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menambah umur pengujian sampai ke 90 hari mengingat dari beberapa literatur yang dibaca, penggunaan fly ash dalam campuran beton menunjukkan nilai maksimumnya di umur 90 hari. Variasi penggunaan bottom ash perlu ditambah untuk memperoleh komposisi tepat penggunaan bottom ash untuk meningkatkan karakteristik mortar geopolimer, demikian pula pengamatan setting time dan flow dari campuran.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Davidovits, J, 1999, "*Chemistry of Geopolymer System, Terminology*", Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference: Saint-Quentin, France.
- [2] Hardjito, D. and Rangan, B.V, 2005, *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash- Based Geopolymer Concrete*, Perth,Australia,
- [3] Anon, Fly ash. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fly\\_ash](http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash).
- [4] Singh, M, and Siddique, R.. 2015, *Properties of concrete containing high volumes of coal bottom ash as fine aggregate*, Journal of Cleaner Production, 91. 269-278. 10.1016/j.jclepro.2014.12.026.
- [5] ASTM C 109

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya diucapkan kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai pemberi hibah dana penelitian dosen pemula dan PT. Makassar Tene sebagai mitra untuk bahan *fly ash* dan *bottom ash*, serta kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.