

## POTENSI LIMBAH FLY ASH BATU BARA PLTU DI SULAWESI SELATAN SEBAGAI BAHAN DASAR MORTAR GEOPOLIMER

Erniati Bachtiar<sup>1)</sup>, Ismail Marzuki<sup>2)</sup>, Nur Khaerat Nur<sup>1)</sup>, Herwina Rahayu Putri<sup>3)</sup>, I Ketut Wibawa Bagianadi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar, Makassar

<sup>2)</sup> Dosen Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Fajar, Makassar

<sup>3)</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar, Makassar

### ABSTRACT

Fly ash is one of the residues produced from burning coal which consists of fine particles. Fly ash, also known as fly ash, is one of the industrial wastes from the PLTU in South Sulawesi which is rich in silica and aluminum which can be used as a sturdy binder through the polymerization process. South Sulawesi Province itself has several coal-fired power plants. PLTU annually produces a lot of fly ash or fly ash waste. The waste produced by the PLTU raises the problem that arises is how to use the garbage so as not to pollute the environment and can be used mainly in the construction world. Because of these problems, it is necessary to research the potential waste of PLTU coal-fired fly ash in South Sulawesi as a base material for geopolymer mortar. The research method used is the experimental method in the laboratory. The method in making and testing mortar samples refers to SNI 03-6825-2002. The composition of aggregate has a ratio of fly ash: sand of 1: 2.75, and the composition of activator 10 Molar NaOH, the ratio of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : NaOH is 2. The results of the research are the most dominant chemical composition of Fly ash, namely silicate ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Ferrum ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) and Lime ( $\text{CaO}$ ). Fly Ash type A and Fly Ash type A are class C fly ash. The compressive strength of Geopolymer mortar based on fly ash A is much higher than geopolymer mortar based on fly ash B, and the compressive strength of geopolymer mortar is very significant with the age of geopolymer mortar.

**Keywords:** *Compressive strength, Geopolymer mortar, Fly Ash, Batu Bara, Limbah PLTU*

### 1. PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi di Indonesia berkembang sangat pesat seiring dengan pertumbuhan angka penduduk, tidak terkecuali pada bidang bahan bangunan. Salah satu bentuk kemajuan teknologi bahan bangunan yang sampai saat ini terus mengalami perkembangan adalah teknologi mortar. Mortar merupakan salah satu material struktur yang memiliki peran penting dalam bidang konstruksi karena sekarang ini telah banyak yang menggunakan mortar sebagai bahan bangunan.

Mortar adalah campuran yang terdiri dari beberapa material yakni agregat halus (pasir), bahan perekat (binder) dan air yang berfungsi sebagai matrik pengikat bagian penyusun suatu konstruksi baik yang bersifat struktural maupun non struktural. Pelaksanaan dilapangan masih cenderung tidak berubah masyarakat masih menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama meskipun penggunaan semen pada konstruksi akhir-akhir ini menuai kritik karena efek industri semen yang menghasilkan gas  $\text{CO}_2$  yang dikenal emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh industri pada saat proses produksi semen. Untuk memproses satu ton semen, gas rumah kaca yang dihasilkan kurang lebih satu ton, dilepas ke atmosfer dengan bebas dan merusak lingkungan hidup. Selain itu, pengurangan penggunaan semen pada konstruksi juga merupakan salah satu dari 17 tujuan pembangunan berkelanjutan atau SDGs sebagai kesepakatan pembangunan global yaitu *Industry, Innovation, and Infrastructure*. Untuk merealisasikan pembangunan kota yang berkelanjutan berbasis ramah lingkungan, maka salah satu cara yakni dengan mengurangi penggunaan semen pada pekerjaan konstruksi dengan memanfaatkan sumber daya terbarukan yang dapat mengganti fungsi semen. Untuk itu, diperlukan bahan alternatif pengganti semen pada penyusunan mortar. Pengurangan penggunaan semen dipikirkan oleh para pakar teknologi beton untuk mulai melakukan riset pembuatan beton dengan memanfaatkan ikatan geopolimer. Geopolimer didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 1999).

Geopolimer terbuat dari bahan utama limbah industri fly ash yang kaya dengan unsur Alumina (Al) dan Silika (Si). Unsur Silika dan Alumina yang terkandung dalam abu terbang dilarutkan dengan larutan yang bersifat alkalis yang disebut larutan alkalin. Larutan alkalin yang digunakan adalah campuran antara Natrium Hidroksida (NaOH), Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Air Distilat ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yang masing-masing komponen

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Erniati Bachtiar, HP :081354937610, erni\_nurzaman@yahoo.com; erni@unifa.ac.id

memiliki peran penting dalam sintesis. Sintesis beton geopolimer sangat tergantung pada kondisi bahan awal yaitu sifat dan komposisi abu layang, konsentrasi larutan alkalin dan proses geopolimerisasinya (Van Jaarsveld *et al.*, 2002)

Material fly ash memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan yang diperoleh dari hasil pembakaran batu bara. Fly ash mengandung unsur kimia antara lain Silika ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Ferro Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ ), Titanium Oksida ( $\text{TiO}_2$ ), Alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), Sulfur Trioksida ( $\text{SO}_3$ ), Pospor Oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan Carbon (Wardani, 2008).

Fly ash merupakan salah satu residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang terdiri atas partikel-partikel halus. Fly ash atau dikenal dengan abu terbang adalah salah satu limbah industri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang kaya akan kandungan silika dan alumunium yang bisa dijadikan bahan pengikat yang kuat melalui proses polimerisasi. Untuk melarutkan unsur-unsur silika dan alumunium, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, digunakan larutan bersifat alkalis. Provinsi Sulawesi Selatan sendiri memiliki beberapa PLTU dengan bahan bakar batu bara. PLTU setiap tahunnya menghasilkan banyak sekali limbah fly ash atau abu terbang. Sehingga banyaknya limbah yang dihasilkan menimbulkan masalah yang timbul adalah bagaimana cara memanfaatkan limbah tersebut agar tidak mencemari lingkungan dan dapat digunakan khususnya di dunia konstruksi. Karena permasalahan tersebut, sehingga setiap tahun dilakukan penelitian tentang konstruksi yang ramah lingkungan khususnya yang menggukan limbah fly ash sebagai bahan pengganti.

Mortar Geopolimer merupakan jenis material mortar untuk konstruksi yang tidak menggunakan semen. Mortar/beton geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada mortar/beton biasa (Davidovits, 1999). Jenis aktivator yang digunakan dalam membuat mortar/beton geopolimer disesuaikan dengan senyawa yang terkandung dalam fly ash dan juga komposisinya harus tepat sehingga bisa terjadi reaksi kimia. Aktivator yang umumnya digunakan adalah Sodium Hidroksida 8M sampai 14M dan rasio Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) antara 0,4 sampai 2,5 (Wang, 2005).

Bahan kimia yang paling sering digunakan sebagai aktivator adalah  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaSO}_4$  and  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Collins dan Sanjayan (1998); Song *et al.*, 2000; Yongde dan Yao, 2000). Namun demikian menurut Bakharev (2005) dan Fernandez-Jimenez dan Palomo (2005), bahwa kombinasi antara Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan  $\text{NaOH}$  menghasilkan kuat tekan terbaik..

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dari limbah fly ash batu bara PLTU di sulawesi selatan sebagai material mortar geopolimer. Dalam paper ini membahas tentang komposisi yang dimiliki fly ash batu bara limbah di sulawesi selatan dan hasil kuat tekan yang dicapai dengan jenis fly ash yang berasal dari PLTU yang berbeda.

## 2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

### a. Fly ash

Fly ash diperoleh dari PLTU yang ada di Sulawesi Selatan. Ada dua jenis Fly Ash yang digunakan berdasarkan asal fly ash tersebut dengan diberikan nama fly Ash A (FA-A) dan fly ash B (FA-B). Adapun secara fisik warna dan bentuk fly ash yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Material penyusun Mortar Geopolimer : (a) Fly Ash A dan (b) Fly Ash

b. Aktivator

Aktivator merupakan bahan tambah yang digunakan untuk proses pengikatan dalam pembuatan mortar geopolimer fly ash. Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ). Secara fisik bentuk dan warna  $\text{NaOH}$  dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ )

c. Air.

Air yang digunakan adalah aquades. Air digunakan untuk membuat aktivator.

d. Pasir

Agregat halus (pasir) yang digunakan adalah pasir lokal yang diperoleh dari toko bahan bangunan lokal. Material tersebut merupakan agregat alam di kabupaten Takalar.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen di laboratorium. Metode dalam pembuatan dan pengujian sampel mortar mengacu pada SNI 03-6825-2002 Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil. Khusus untuk komposisi aktivator baik molaritas dan modulus alkalinnya mengacu kepada hasil-hasil penelitian sebelumnya. Konsentrasi larutan (Molaritas)  $\text{NaOH}$  digunakan 10 M. Molaritas adalah satuan kepekatan atau konsentrasi dari suatu larutan dengan kata lain bahan molaritas adalah jumlah zat terlarut dalam satu liter larutan. Konsentrasi larutan adalah jumlah zat terlarut yang terdapat di dalam sejumlah pelarut tertentu atau terhadap jumlah larutan tertentu. Rasio Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) yang digunakan adalah 2. Komposisi agregat menggunakan perbandingan *fly ash*: pasir sebesar 1:2,75, dan komposisi aktivator  $\text{NaOH}$ :  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan perbandingan 1:2.

Sebelum desain campuran terlebih dahulu dilakukan karakterisasi material penyusun yakni karakterisasi pasir dan *fly ash*. Untuk karakterisasi pasir dilakukan beberapa jenis pemeriksaan berdasarkan SNI yakni kadar lumpur, kadar organik, berat jenis dan penyerapan, analisa saringan, berat volume dan kadar air. Untuk *fly ash* dilakukan uji kimia dengan analisis X Ray Fluorescence (XRF). Analisis XRF ini bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia dari *fly ash*.

Cetakan benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada sampel setelah berumur 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari. Pengujian kuat tekan menggunakan alat Compression Testing Machine (UTM) didapatkan beban maksimum, yaitu pada saat mortar hancur menerima beban tersebut ( $P_{maks}$ ). Kemudian kuat tekan dapat dihitung dengan cara beban maksimum ( $P$ ) dibagi dengan luas permukaan sampel ( $A$ ).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a) Karakterisasi Fly Ash

Karakterisasi sampel *fly ash* dengan analisis X-Ray Fluorescence (XRF) yang dilakukan di laboratorium Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin di Tamalarea. Komposisi yang terkandung dalam Fly Ash dari hasil XRF dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil pengujian sampel Fly Ash yang dilakukan di laboratorium FMIPA UNHAS, komposisi kimia Fly ash terlihat bahwa unsur silikat ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferum ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kapur ( $\text{CaO}$ ) merupakan unsur yang paling dominan, dengan demikian *fly ash* dari limbah hasil pembakaran batu bara PLTU A dan PLTU B di Sulawesi Selatan dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen, sebagaimana dalam SNI 15-2049-2004 yaitu klinker semen portland terdiri dari empat unsur oksida yang utama yaitu kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Fly ash A (FA-A) dan fly ash B (FA-B) memiliki kandungan  $\text{CaO}$  lebih dari 10% dan kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 50% sehingga disimpulkan berdasarkan ASTM C 618-96 maka fly

ash A (FA-A) dan fly ash B (FA-B) termasuk tipe kelas C dengan kadar CaO masing masing sebesar 23,52% dan 16,19%. Fly Ash kelas C memiliki kandungan CaO yang cukup tinggi sehingga memiliki sifat cementious selain sifat pozolan.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik fly ash dengan XRF.

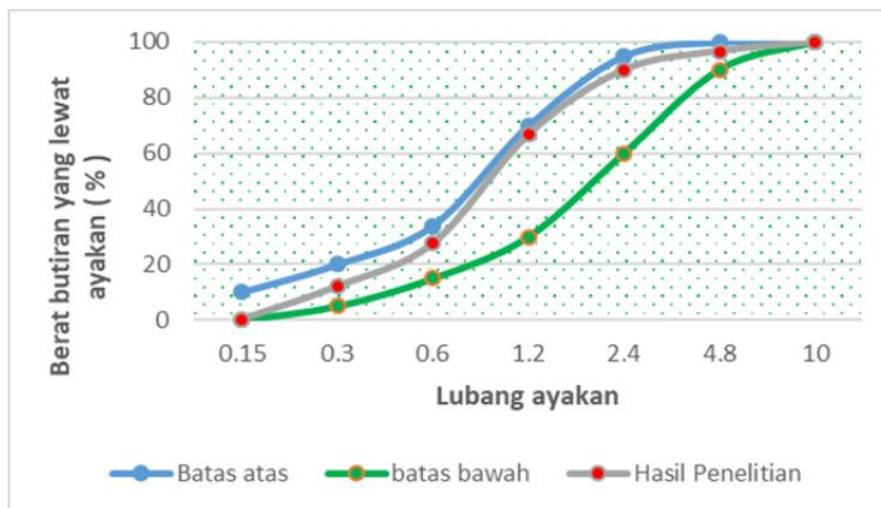
No	Parameter	% Berat (FA-A)	% Berat (FA-B)
1	SiO <sub>2</sub>	35,880	41,450
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,200	25,280
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,520	16,190
4	CaO	9,230	11,060
5	BaO	1,030	1,350
6	K <sub>2</sub> O	0,710	1,050
7	Ti <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,270	0,136
8	ZrO <sub>2</sub>	0,023	3,160

b) Karakterisasi Agregat Halus

Pengujian agregat halus berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil pemeriksaan agregat halus (pasir) yang dilaksanakan sebelum pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil analisa saringan agregat halus (pasir) kemudian dituangkan dalam bentuk grafik pada grafik batas gradasi sehingga diketahui pasir masuk pada gradasi zona 1 (satu) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

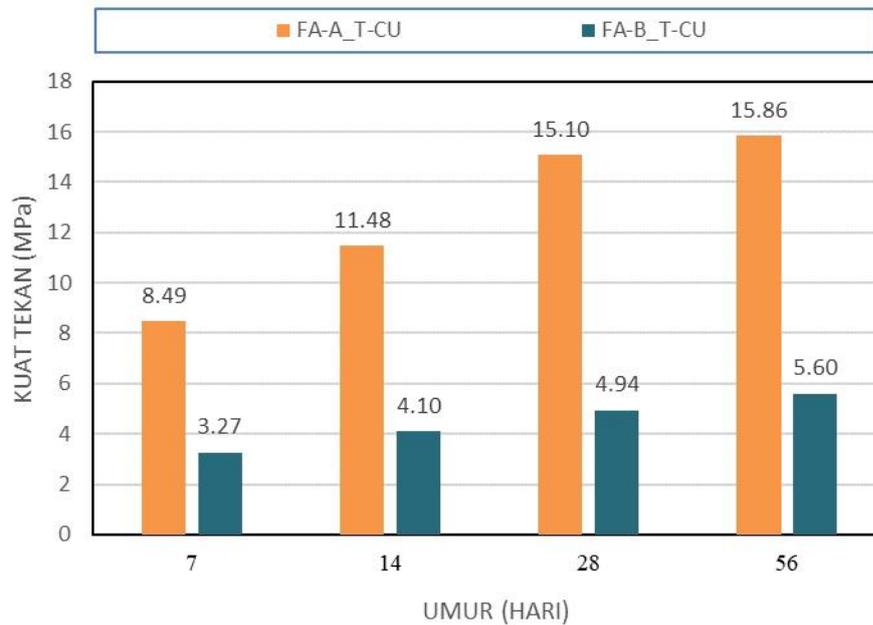
No	Jenis Pemeriksaan	Standar SNI	Hasil	Keterangan
1	Modulus Kehalusan	1,50 – 3,80	3,06	Memenuhi
2	Berat Jenis :			
	a. BJ Nyata	1,60 – 3,30	2,60	Memenuhi
	b. BJ Dasar Kering	1,60 – 3,30	2,67	Memenuhi
3	Berat Volume :			
	a. Kondisi Padat	1,4 – 1,9 kg/ltr	1,76 kg/ltr	Memenuhi
	b. Kondisi Gembur	1,4 – 1,9 kg/ltr	1,44 kg/ltr	Memenuhi
4	Kadar Air	2% – 5%	3,41%	Memenuhi
5	Kadar Lumpur	Maks. 5%	1,4%	Memenuhi
6	Kadar Organik	< No. 3	No. 2	Memenuhi
7	Penyerapan Air	Maks. 2%	1,94%	Memenuhi



Gambar 2. Zona Gradasi Pasir Kasar

c) Kuat Tekan Mortar Geopolimer

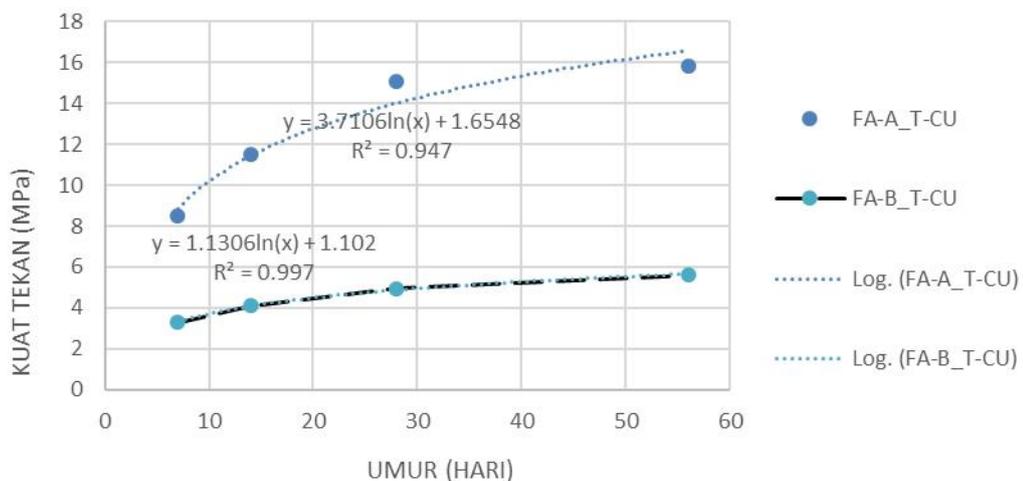
Pengujian kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar fly ash menggunakan 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi umur. Adapun hasil kuat tekan mortar geopolimer dengan material dasar fly ash A dan fly ash B dapat dilihat pada Gambar 3.



FA-A\_T-CU : sampel Mortar geopolimer basis fly as A dengan curing suhu ruang  
 FA-B\_T-CU : sampel Mortar geopolimer basis fly as B dengan curing suhu ruang

Gambar 3. Hasil kuat tekan mortar geopolimer dengan basis fly ash A dan B

Gambar 3 terlihat perbandingan kuat tekan mortar geopolimer berbasis fly ash A dan fly ash B. Gambar 3 tersebut memperlihatkan bahwa mortar geopolimer berbasis fly ash A jauh lebih tinggi nilai kuat tekannya dibandingkan dengan mortar geopolimer berbasis fly ash B. Secara fisik mortar geopolimer berbasis fly ash A memiliki banyak retak dan pori yang agak besar, dimana secara kasat mata terlihat dengan jelas porinya. Sebagaimana bahwa pori mempengaruhi kuat tekan suatu mortar/beton, atau dengan kata lain bahwa porositas signifikan dengan sifat mekanik/kuat tekan suatu benda uji ((Erniati *et al.*, 2015; Erniati dan Tjaronge., 2016)).



Gambar 4. hubungan antara kuat tekan dan umur beton geopolimer

Gambar 4 memperlihatkan hubungan/korelasi antara kuat tekan dan umur. Mortar geopolimer berbasis fly ash A maupun B memiliki persamaan non linier logaritma berturut-turut dengan persamaan :  $y=3,7106\ln(x)+1,6548$ , dengan  $R^2=0,997$  dan  $y=3,7106\ln(x)+1,6548$ ,  $R^2 = 0,947$ . Dengan melihat nilai koefisien  $R^2$  maka disimpulkan bahwa nilai kuat tekan memiliki hubungan signifikan dengan umur / material beton.

#### 4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- 1) Komposisi kimia Fly ash terlihat bahwa unsur silikat ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferum ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kapur ( $\text{CaO}$ ) merupakan unsur yang paling dominan.
- 2) Tipe fly ash A dan B merupakan fly ash kelas C.
- 3) Kuat tekan mortar geopolimer berbasis fly ash A jauh lebih tinggi dibandingkan mortar geopolimer berbasis fly ash B.
- 4) Kuat tekan mortar geopolimer sangat significant dengan umur mortar geopolimer.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Bakharev, T. 2005. "Geopolymeric materials prepared using Class F fly ash and elevated temperature curing". *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No., hlm: 1224-1232.
- Collins, F., dan J. G. Sanjayan. 1998. "Early Age Strength and Workability of Slag Pastes Activated by  $\text{NaOH}$  and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ". *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No., hlm: 655-664.
- Davidovits, J. Year. "Chemistry of geopolymer system, terminology". Artikel dipresentasikan pada *In proceedings of Geopolymer '99 International Conferences*, di France.
- Erniati, M. W. Tjaronge, Zulharnah, dan U. R. Irfan. 2015. "Porosity, Pore Size and Compressive Strength of Self Compacting Concrete Using Sea Water". *Procedia Engineering*, Vol. 125, No. -, hlm: 832 – 837.
- Erniati, dan M. W. Tjaronge. 2016. *Microstructure Self Compacting Concrete* Yogyakarta: Leutikaprio
- Fernandez-Jimenez, A., dan A. Palomo. 2005. "Composition and microstructure of alkali activated fly ash binder: Effect of the activator. *Cement and Concrete Research*". Vol. 35, No., hlm: 1984-1992.
- Song, S., D. Sohn, dan H. M. J. T. O. Mason. 2000. "Hydration of alkali-activated ground granulated blast furnace slag". *Journal of Materials*, Vol. 35, No., hlm: 249– 257.
- Van Jaarsveld, J., J. Van Deventer, dan G. Lukey. 2002. "The Effect Of Composition And Temperature On The Properties Of Fly Ash-And Kaolinite-Based Geopolymers. ". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 89, No., hlm: 63-73.
- Wang, H., H. Li & F. Yan. 2005. "Synthesis and tribological behavior of metakaolinite-based geopolymer composites". *Materials Letters*, Vol. 59, No., hlm: 3976-3981.
- Wardani, S. P. R. 2008. Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. In *pidato pengukuhan Disampaikan pada Upacara Penerimaan Jabatan Guru Besar, 6 Desember 2008*, edited by F. T. U. Diponegoro. Semarang.
- Yongde, L., dan S. Yao. 2000. "Preliminary study on combined-alkali-slag paste materials". *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, No., hlm: 963-966.

#### 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada RISTEK DIKTI yang telah membiayai Penelitian Berbasis Kompetensi. (PBK) ini tahun I (TA. 2018/2019) sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.