



**PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN  
SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP SEMEN  
GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY-ASH  
PLTU PAITON DENGAN SENYAWA  
AKTIFATOR (NaOH) DAN  
KATALISATOR ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )**

*EFFECT OF ADDITION RICE HUSK ASH AND TILE PRESS POWDER  
AGAINST OF GEO-POLYMER CEMENT BASED PLANT PAITON  
FLY-ASH WITH ACTIVATED COMPOUNDS (NaOH) AND  
CATALYSTATORS ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )*

**SKRIPSI**

Oleh :

**IMAM JUNAIDI  
NIM 141910301070**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK  
GENTENG PRESS TERHADAP SEMEN GEOPOLIMER  
BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON  
DENGAN SENYAWA AKTIFATOR  
(NaOH) DAN KATALISATOR  
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )**

**SKRIPSI**

Disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat guna mendapatkan gelar sarjana teknik Studi S1 Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

Oleh:

**IMAM JUNAIDI  
NIM 141910301070**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT yang telah menciptakan alam semesta beserta isinya. Tak lupa juga sholawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada Nabi terakhir umat manusia, Nabi Muhammad SAW. Disini penulis mempersembahkan skripsinya kepada :

1. Ibuku tercinta, Susmiati yang telah mendidik, mendukung penulis baik dari segi moral serta doa yang tak pernah putus.
2. Ayahku tercinta, Jumadik Biantoro yang telah memberikan motivasi arti kehidupan, dukungan, semangat dan doa yang tak pernah putus kepada penulis.
3. Kakek dan Nenekku tercinta, yang telah memberi dukungan peneliti.
4. Adek kandungku tercinta, Lailatul Hasanah dan Nuril Musyarofah yang telah memberi dukungan baik secara langsung maupun tidak.
5. KH.Muhyiddin Abdussomad dan KH.Hasan Kholili (al-magfurlah) yang telah mendidik penulis mengenal agama islam lebih dalam lagi.
6. Para asatid dan pengurus yayasan pondok pesantren nurul islam, yang telah memberikan dukungan dan semangat.
7. Para guru-guru dari SD hingga Kuliah yang tidak dapat disebut oleh penulis.
8. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Jember angkatan 2014.
9. Dinar Izzati Silvia Putri Ivani yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
10. Tim Struktur yakni Anindia Nur Aulia, Muhammad Riski, Moh. Fadli Yusriansyah, Rossy Nain Nopan Juwari, dan Amalia Maufida yang telah membantu penelitian hingga selesai.
11. Tim *Touring*, Dani, Faruk, Kopron, Gusti, Fauzan, Jafat, Syifak dan Ayus yang telah memberi dukungan secara langsung dan tidak langsung.

**MOTTO**

**"Hidup adalah Cinta dan Ibadah " (Imam Al-Ghozali).**

**Sebaik-baik manusia ialah yang dapat bermanfaat bagi sesama (Al-hadist).**

**Haram makan kiriman orang tuanya, jika tidak rajin dalam mengajinya  
(Kitab Tarbiyatul sibyan).**



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Imam Junaidi

Nim : 141910301070

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **"Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Serbuk Genteng Press terhadap Semen Geopolimer berbasis dasar *fly-ash* PLTU Paiton dengan senyawa Aktifator (NaOH) dan Katalisator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )"** adalah benar-benar karya sendiri, kecuali sumber kutipan yang telah diberikan penulis dan belum pernah diajukan pada skripsi manapun, dan bukan karya jiplakan. Penulis bertanggung jawab akan keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini penulis berikan dengan sebenarnya tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun seraf bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Maret 2018  
Yang menyatakan,

Imam Junaidi  
141910301070

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK  
GENTENG PRESS TERHADAP SEMEN GEOPOLIMER  
BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON  
DENGAN SENYAWA AKTIFATOR  
(NaOH) DAN KATALISATOR  
( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )**

Oleh :

Imam Junaidi  
Nim 141910301070

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Nurtanto, S.T., M.T.  
Dosen Pembimbing Anggota : Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "**Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Serbuk Genteng Press terhadap Semen Geopolimer berbahan dasar *fly-ash* PLTU Paiton dengan senyawa Aktifator (NaOH) dan Katalisator (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)**", atas nama Imam Junaidi (141910301070) telah diuji dan disahkan pada :

Hari/Tanggal : 24 April 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Dwi Nurtanto, S.T., M.T.  
NIP. 19731015 199802 1 001

Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T.  
NIP. 760016772

Dosen Penguji

Penguji Utama

Penguji Anggota

M. Farid Ma'ruf, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19721223 199803 1 002

Gati Annisa Hayu, S.T., M.T., M.sc  
NIP. 760015715

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M  
NIP. 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Serbuk Genteng Press Terhadap Semen Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* PLTU Paiton dengan Senyawa Aktifator (NaOH) dan Katalisator (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>); Imam Junaidi, 141910301070; 2017; 92 halaman; S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.**

Semen adalah salah satu bahan campuran utama untuk membuat beton, yang berfungsi sebagai bahan pengikat (Binder) dengan agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI-2847-2013). Peningkatan penggunaan semen setiap tahunnya, mengakibatkan pencemaran udara dan pemanasan global karena disetiap pembuatan semen dihasilkan CO<sub>2</sub> yang terlepas di alam bebas. Untuk mengurangi dampak tersebut maka harus dicari alternatif penggunaan dari semen portland seperti semen geopolimer.

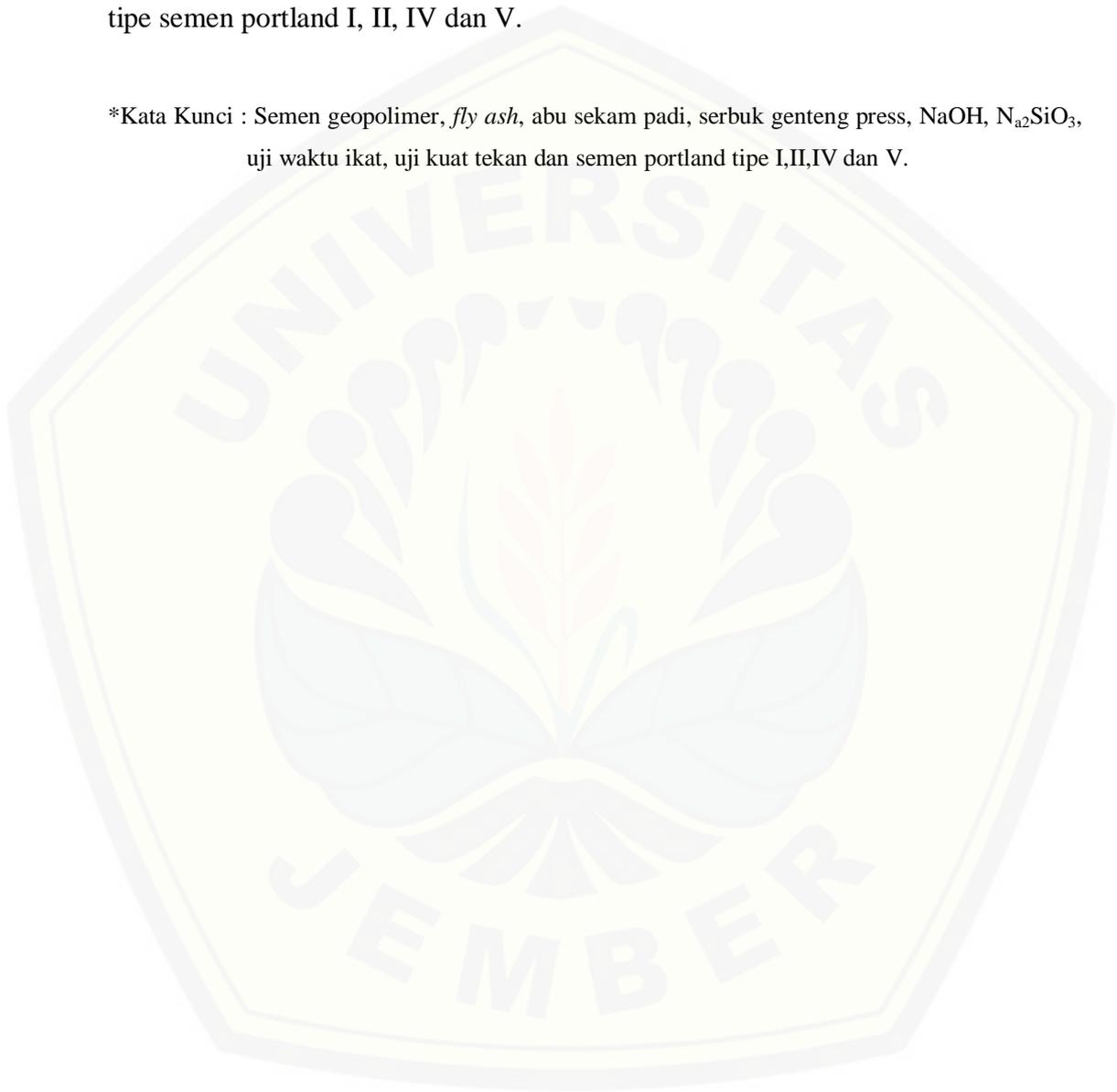
Semen geopolimer adalah semen yang berasal dari senyawa buangan atau sisa yang banyak mengandung unsur Silika (Si) dan Alumina (Al). Umumnya semen geopolimer ini menggunakan zat sisa buangan (*fly ash*) PLTU yang dihasilkan dari pembakaran batu bara (*fly ash*), abu sekam padi dan serbuk genteng press. Zat tersebut tidak dapat bereaksi sendiri untuk proses pengikatannya, tetapi juga membutuhkan senyawa alkalin sebagai aktifator (NaOH) dan katalisator (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

Dalam penelitian ini, abu sekam padi dan serbuk genteng tersebut di campurkan terhadap *fly ash* dari 0%, 2.5%, 5% dan 10%. Dari proporsi tersebut diuji kuat tekan dengan metode mortar. Dari pembuatan mortar geopolimer didapatkan campuran yang homogen serta didapatkan laju alir mortar sebesar 111,5-114,5. Dari proporsi tersebut didapatkan proporsi yang unggul di umur 28 hari yaitu 100% *fly ash*.

Hasil uji kuat tekan didapatkan hasil bahwa 100% *fly ash* lolos atau dapat menjadi alternatif penggunaan untuk tipe semen portland I, II, IV, V dan untuk

penambahan abu sekam padi terhadap *fly ash* lolos atau dapat menjadi alternatif penggunaan untuk tipe semen portland II, IV, V sedangkan untuk penambahan serbuk genteng prees terhadap *fly ash* dan penambahan keduanya (abu sekam padi dan serbuk genteng press) lolos atau dapat menjadi alternatif penggunaan untuk tipe semen portland I, II, IV dan V.

\*Kata Kunci : Semen geopolimer, *fly ash*, abu sekam padi, serbuk genteng press, NaOH,  $N_2SiO_3$ , uji waktu ikat, uji kuat tekan dan semen portland tipe I,II,IV dan V.



## SUMMARY

**Effect of Addition Rice Husk Ash and Tile Press Powder against of Geopolymer Cement based Plant Paiton Fly Ash with Activated Compounds (NaOH) and Catalyst (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>);** Imam Junaidi, 141910301070; 2017; 92 pages; S1 Department of Civil Engineering Faculty of Engineering, Jember of University.

Cement is one of the main ingredients to make concrete, which serves as a binder with fine aggregates, rough aggregates, and water with or without additional mixed materials (SNI-2847- 2013). Increased use of cement annually, resulting in air pollution and global warming because in every manufacturing of cement produced CO<sup>2</sup> released in the wild. To reduce the impact, alternative sustainable use of Portland cement such as geopolymer cement should be sought.

The geopolymer cement is a cement derived from waste or residue compounds containing many elements of Silica (Si) and Alumina (Al). Generally, this geopolymer cement uses waste ash ( PLTU ) generated by coal combustion ( fly ash ), rice husk ash and tile press powder. The substances can not react alone to the binding process, but also require the alkaline compound as the activator (NaOH) and the catalyst (Na<sub>2</sub> SiO<sub>3</sub>).

In this research, rice husk ash and powder is mixed with fly ash from 0%, 2.5%, 5% and 10%. From that proportion tested compressive strength with mortar method. From the production of mortar geopolymer, the mixture was homogeneous and the mortar flow rate was 111.5-114.5. From that proportion, there is a superior proportion at 28 days old that is 100% fly ash.

The results of the compressive strength test show that 100% fly ash passes or can be an alternative use for portland I, II, IV, V cement tiles and for the addition of rice husk ash to fly ash passes or can be an alternative use for the type of portland cement II, IV, V while for the addition of the powder of pre-sand tile to fly ash and the addition of both (rice husk ash and tile press powder) passes or can be an alternative use for portland I, II, IV and V cement types.

\* Keywords: Cement geo-polymer, fly ash , rice husk ash, press tile powder, Na-OH, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, setting time test, compressive strength test and port-land cement type I, II, IV and V.

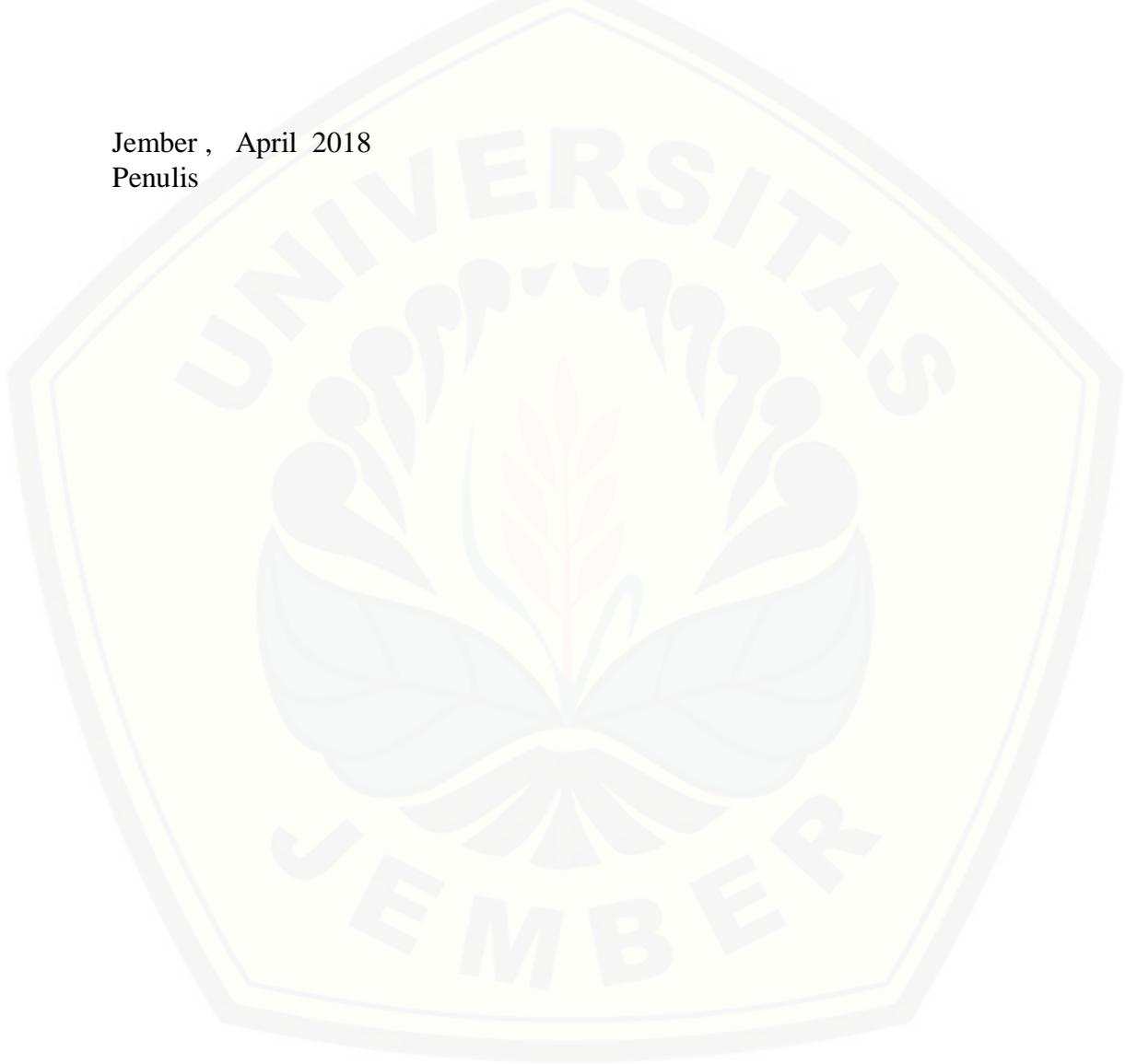
## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga yang berjudul "**PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP SEMEN GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON DENGAN SENYAWA AKTIFATOR (NaOH) DAN KATALISATOR (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)**" ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik . Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membimbing dalam penyusunan tugas ini, khususnya yaitu :

1. Keluarga penulis, umi (susmiati), abi (jumadik), adik (Lailatul dan Nuril), dan mbah yang senantiasa memberi dukungan dan motivasi kepada Penulis untuk tetap semangat dalam penyelesaian skripsi ini .
2. KH.Muhyiddin Abdussomad yang telah menjadi murobbi bagi penulis dan Almagfurlah KH.Hasan Kholili.
3. Bapak Dwi Nurtanto, S.T., M.T. dan ibu Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T. yang telah membimbing, mengarahkan, masukan dan berbagi ilmu tanpa kenal lelah.
4. Bapak M. Farid Ma'ruf, S.T., M.T., Ph.D. dan ibu gati Annisa Hayu, S.T., M., M,sc yang telah menguji dan memberi masukan untuk penelitian ini.
5. Ibu Nanin Meyfa Utami, S.T.,M.T. yang telah memberikan ide awal pembuatan skripsi ini.
6. Kepada seluruh dosen teknik khususnya teknik sipil yang telah mendidik penulis hingga menyelesaikan penelitian ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu namanya.
7. Ustad dan Pengurus pondok pesantren nurul islam antirogo jember yang telah memberikan semangat.
8. Teman-teman yang telah mendukung dan membantu serta bekerja sama dalam penyusunan penelitian ini.

Penyusun menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu kritik dan saran yang mendukung kami harapkan untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang ada sehingga Skripsi ini bisa menjadi lebih baik lagi. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa khususnya Teknik sipil sekaligus bagi para pembaca.

Jember, April 2018  
Penulis

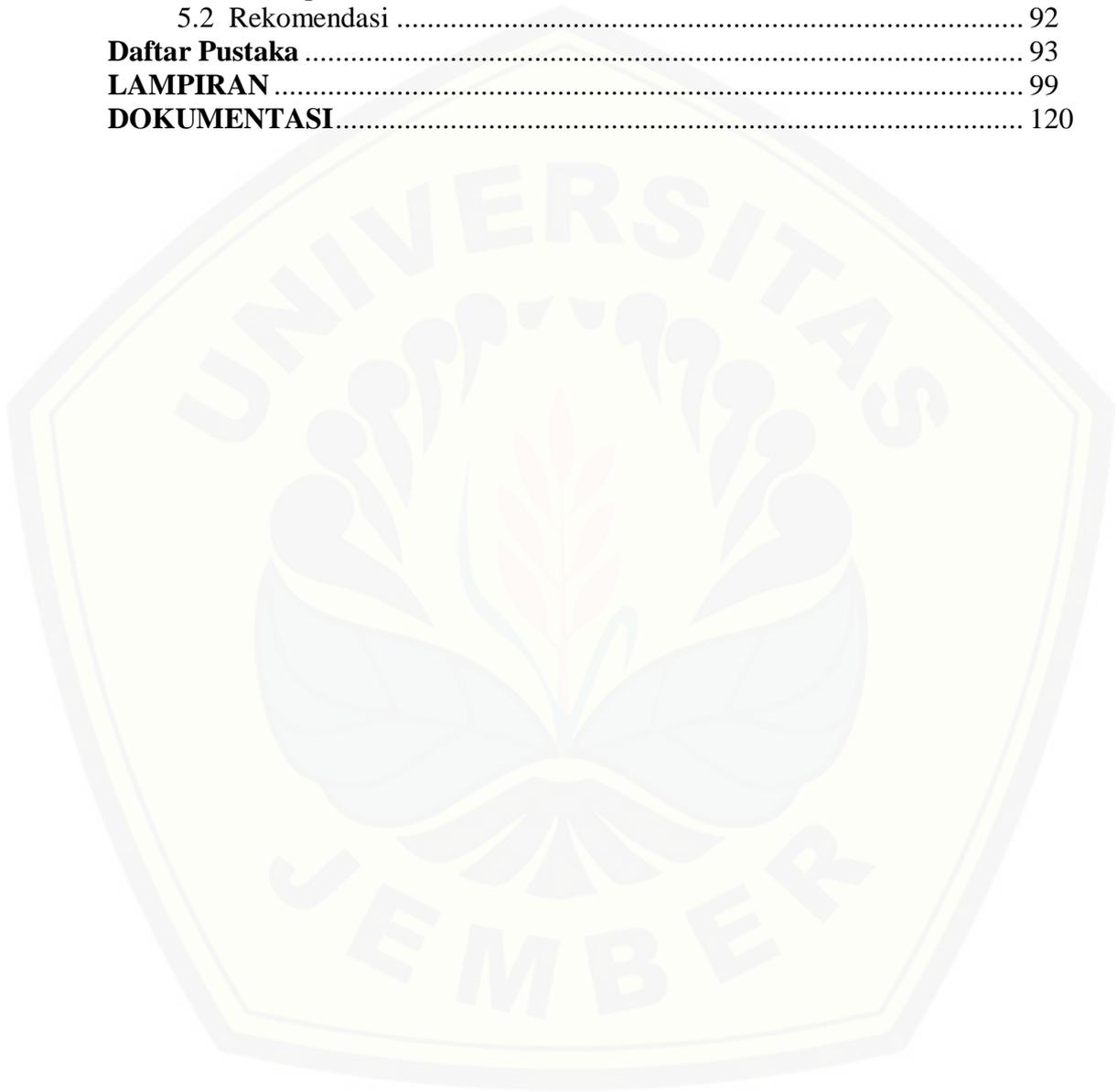


DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN COVER</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian .....	5
<b>BAB 2. LANDASAN TEORI</b> .....	6
2.1 Semen Geopolimer .....	6
2.1.1 Definisi Geopolimer.....	6
2.1.2 Definisi Pasta dan Mortar Geopolimer .....	8
2.1.3 Reaksi Pasta dan Mortar Geopolimer .....	10
2.1.4 Pemanfaatan Semen Geopolimer.....	11
2.1.5 Kelebihan dan Kekurangan Semen Geopolimer .....	12
2.1.6 Material Pengikat Pasta dan Mortar Geopolimer .....	12
2.2 <i>Alkali Aktivator dan Katalisator (Sodium Silikat dan Sodium</i> <i>Hidroksida)</i> .....	20
2.2.1 Sodium Hidroksida (NaOH).....	21
2.2.2 Sodium Silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ).....	22
2.3 Air (H <sub>2</sub> O).....	24
2.4 Pasir Ottawa/Pasir Kwarsa .....	24
2.5 Perawatan Mortar Geopolimer ( <i>curing</i> ).....	25
2.6 Tes Waktu Pengerasan ( <i>Setting Time</i> ) .....	26
2.7 Kuat Tekan ( <i>Compressive Strength</i> ).....	27
2.8 Penelitian Terdahulu .....	29
2.8.1 Pengaruh Penggunaan Solid Material Abu Terbang Dan Abu Sekam pada Kuat Tekan Beton Geopolimer.....	29
2.8.2 Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolimer Menggunakan Alkali Aktivator Sodium Silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) Serta Sodium Hidroksida (NaOH) .....	30

<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	32
3.1 Studi Literatur.....	32
3.1.1 Hasil Kesimpulan Penelitian Terdahulu .....	33
3.2 Lokasi dan Waktu penelitian .....	34
3.3 Variabel Penelitian.....	36
3.3.1 Variabel Bebas.....	36
3.3.2 Variabel Terikat .....	36
3.3.3 Variabel Terkendali .....	36
3.4 Persiapan Bahan Penelitian .....	36
3.4.1 Abu Terbang ( <i>fly-ash</i> ).....	36
3.4.2 Abu Sekam Padi .....	37
3.4.3 Serbuk Genteng Press .....	38
3.4.4 Jenis Alkali .....	38
3.5 Komposisi Binder Geopolimer .....	39
3.5.1 Binder Geopolimer Dengan Ukuran 5cm x 5cm x 5 cm.....	39
3.5.2 Komposisi Pasta Geopolimer. ....	41
3.5.3 Komposisi Mortar geopolimer .....	43
3.6 Pengujian Bahan .....	45
3.7 Membuat Binder Geopolimer .....	46
3.7.1 Peralatan .....	46
3.7.2 Bahan .....	47
3.7.3 Alat Uji Binder .....	47
3.7.4 Data-data Komposisi Binder Geopolimer .....	47
3.7.5 Prosedur Pembuatan Benda Uji .....	49
3.8 Perawatan Binder Geopolimer ( <i>curing</i> ) .....	52
3.9 Tes Waktu Pengerasan ( <i>Setting Time</i> ) .....	52
3.10 Tes Kuat Tekan Binder Geopolimer ( <i>Streght Compresive</i> ) .....	53
3.11 <i>flow chart</i> penelitian.....	56
<b>BAB 4. PEMBAHASAN PENELITIAN</b> .....	58
4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus.....	58
4.1.1 Berat Volume Pasir Ottawa .....	58
4.1.2 Berat Jenis Pasir Ottawa .....	59
4.1.3 Kelembaban Pasir Ottawa .....	60
4.1.4 Kadar Resapan .....	60
4.1.5 Analisa Saringan Pasir .....	60
4.1.5 Analisa Saringan Pasir .....	60
4.1.6 Kadar Lumpur .....	63
4.2 Hasil Pengujian Semen Geopolimer .....	63
4.2.1 Berat Volume Penyusun Semen Geopolimer .....	63
4.2.2 Berat Jenis Penyusun Semen Geopolimer .....	67
4.3 Hasil Komposisi Semen Geopolimer .....	69
4.3.1 Pasta Geopolimer.....	69
4.3.2 Mortar Geopolimer .....	69
4.4 Hasil Uji Binder Geopolimer.....	72
4.4.1 Uji Waktu Ikat .....	72
4.4.2 Uji Kuat Tekan .....	79

4.5 Penentuan Proporsi Optimal dan Pengaruh Proporsi Semen Geopolimer .....	88
4.5.1 Proporsi Optimal.....	88
4.5.2 Pengaruh Proporsi Semen Geopolimer .....	89
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Rekomendasi .....	92
<b>Daftar Pustaka</b> .....	93
<b>LAMPIRAN</b> .....	99
<b>DOKUMENTASI</b> .....	120



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Penggunaan Geopolymer Berdasarkan Perbandingan Si/Al .....	9
2.2 Unsur Bahan-Bahan Pozzolan .....	12
2.3 Komposisi kandungan <i>Fly ash</i> .....	14
2.4 Persyaratan Mutu Abu Terbang .....	15
2.5 Komposisi kimia pada abu sekam padi dengan temperatur yang berbeda...	17
2.6 Sifat Kimia dan Fisika Sekam Padi.....	18
2.7 Persyaratan Pasir Standar .....	25
2.8 Syarat Waktu Pengikatan pada Semen Portland.....	27
2.9 Syarat Kuat Tekan pada Semen Portland .....	28
2.10 Perbandingan Komposisi Semen, Abu Terbang dan Abu Sekam Padi.....	29
2.11 Kuat Tekan Beton Geopolimer .....	29
2.12 Campuran dan <i>setting time</i> Binder .....	30
2.13 Hasil Kuat Tekan dengan Berbagai Umur Benda Uji.....	31
3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian .....	35
3.2 Komposisi Binder Geopolimer. ....	41
3.3 Komposisi Mortar .....	43
3.4 Komposisi Pasta Geopolimer .....	48
3.5 Komposisi Mortar Geopolimer .....	48
4.1 Data Volume Mold Pasir .....	58
4.2 Berat Volume Pasir Ottawa .....	59
4.3 Berat Jenis Pasir Ottawa.....	59
4.4 Kelembaban Pasir Ottawa .....	60
4.5 Kadar Resapan Pasir Ottawa .....	59
4.6 Hasil Uji Analisa Saringan Agregat Halus .....	61
4.7 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Ottawa) .....	62
4.8 Kadar Lumpur Pasir Ottawa .....	63
4.9 Data Volume Mold Semen Geopolimer .....	64
4.10 Berat Volume Semen Geopolimer .....	64

4.11 Berat Volume <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton.....	65
4.12 Berat Volume Abu Sekam Padi .....	65
4.13 Berat Volume Serbuk Genteng Press Sebelum di Oven .....	66
4.14 Berat Volume Serbuk Genteng Press Sesudah di Oven .....	67
4.15 Berat Jenis <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton .....	68
4.16 Berat Jenis Abu Sekam Padi.....	68
4.17 Berat Jenis Serbuk Genteng Press.....	69
4.18 Laju Alir Mortar Geopolimer .....	71
4.19 Waktu Ikut Pasta Geopolimer .....	73
4.20 Analisa Waktu Ikut Semen Geopolimer .....	78
4.21 Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 1 Hari.....	80
4.22 Analisa Uji Kuat Tekan 1 Hari .....	81
4.23 Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 3 Hari .....	82
4.24 Analisa Uji Kuat Tekan 3 Hari .....	83
4.25 Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 7 Hari .....	84
4.26 Analisa Uji Kuat Tekan 7 Hari .....	85
4.27 Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 28 Hari .....	86
4.28 Analisa Uji Kuat Tekan 28 Hari .....	87
4.29 Hasil Test Uji Normalitas Setiap Proporsi .....	89
4.30 Hubungan 100% fly ash dengan penambahan abu sekam padi dan serbuk genteng press .....	90

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Struktur jenis-jenis <i>Polysialate</i> .....	7
2.2 Persamaan Kandungan Beton Geopolimer .....	8
2.3 Alur Polimerisasi .....	10
2.4 <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton .....	16
2.5 Sekam Padi .....	18
2.6 Genteng Press .....	20
2.7 Padatan (Kristalan) NaOH.....	21
2.8 <i>Scanning Electron Microscopy</i> dari Campuran antara Abu terbang dengan Natrium Hidroksida .....	22
2.9 Larutan Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> .....	22
2.10 <i>Scanning Electron Microscopy</i> dari Campuran antara Abu terbang dengan Natrium Silikat .....	23
2.11 Aquades (H <sub>2</sub> O).....	24
2.12 Pasir Ottawa/Kwarsa .....	24
2.13 Alat Vicat dan Cetakan Benda Uji .....	27
3.1 <i>Fly Ash</i> (Lolos Ayakan no 200) .....	37
3.2 Abu Sekam Padi (Lolos Ayakan no 200).....	38
3.3 Serbuk Genteng Press (Lolos Ayakan no 200).....	38
3.4 Meja Alir .....	51
3.5 Urutan Tumbukan Kesatu dan Ketiga.....	51
3.6 Urutan Tumbukan Kedua dan Keempat.....	52
3.7 Alat Uji Kuat Tekan .....	54
3.8 Pemodelan Binder .....	55
3.9 Pemodelan Tes Kuat Tekan Binder .....	55
4.1 Analisa Saringan Pasir Zona 2.....	61
4.2 Analisa Saringan Pasir Ottawa .....	62
4.3 Pasta Geopolimer .....	70
4.4 Mortar Geopolimer .....	70
4.5 Uji Alir Mortar.....	71

4.6 Waktu Ikat FA12-12(100%).....	75
4.7 Waktu Ikat FAASP12-12(95%+5%) .....	75
4.8 Waktu Ikat FAASP12-12(90%+10%).....	76
4.9 Waktu Ikat FASG12-12(95%+5%).....	76
4.10 Waktu Ikat FASG12-12(90%+10%).....	77
4.11 Waktu Ikat FAASPSG12-12(95%+2,5%+2,5%).....	77
4.12 Waktu Ikat FAASPSG12-12(90%+5%+5%) .....	78
4.13 Kuat Tekan Umur 1 Hari.....	81
4.14 Kuat Tekan Umur 3 Hari.....	83
4.15 Kuat Tekan Umur 7 Hari.....	85
4.16 Kuat Tekan Umur 28 Hari.....	87
4.17 Rekapitulasi Kuat Tekan Mortar .....	88



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semen adalah salah satu bahan campuran utama untuk membuat beton, yang berfungsi sebagai bahan pengikat (Binder) dengan agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI-2847-2013). Peningkatan penggunaan semen dapat dilihat dengan meningkatnya kebutuhan beton setiap tahunnya, tentunya hal tersebut berdampak buruk terhadap lingkungan karena setiap pembuatan semen dihasilkan gas CO<sub>2</sub> yang terlepas di atmosfer ketika kalsium karbonat dipanaskan dan memproduksi kapur (B, Triwulan, dan Ekaputri, 2013). Menurut Ilmiah pada tahun 2017 pelepasan CO<sub>2</sub> sebesar 1,5 miliar ton ke alam bebas, dan semen inilah yang menjadi penyebab salah satu penyumbang pencemaran udara dan pencemaran lingkungan lainnya, salah satu dampak yang dapat ditimbulkan ialah efek rumah kaca yang dapat meningkatkan pemanasan global.

Untuk mengatasi dampak buruk yang dapat ditimbulkan, maka diperlukan material lainnya sebagai pengganti dari semen portland yang digunakan pada pembuatan beton konvensional. Pada tahun 1979 Profesor Joseph Davidovits menamakan dan memaparkan temuannya berupa beton yang tanpa sekali menggunakan semen atau 100% tidak menggunakan semen yang kemudian dikenal dengan beton geopolimer. Bahan dasar utama pembuatan beton geopolimer adalah bahan-bahan alam yang banyak mengandung unsur-unsur silika (Si) dan alumina (Al). Unsur-unsur tersebut biasanya dapat kita temukan dari hasil sampingan industri seperti *fly-ash* hasil dari pembakaran batu bara (Manuahe, Sumajouw, dan Windah, 2014). *Fly-ash* yang dipakai pada penelitian ini ialah *fly-ash* yang berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Pada penelitian sebelumnya (Ekaputri dan Triwulan, 2013), disimpulkan bahwa sebagai berikut *fly-ash* Paiton ini termasuk dalam kelas F karena kadar kapur (CaO) yang terkandung didalamnya kurang dari 10% (ASTM C 618-94a). Kandungan silika (Si) dan alumina (Al) tidak hanya diperoleh dari hasil

pembakaran batu bara saja, tetapi dapat diperoleh dari hasil alam lainnya seperti abu sekam padi (Ilmiah, 2017).

Sekam padi merupakan bahan buangan yang mudah kita jumpai. Pada penelitian terdahulu, abu sekam padi diketahui mengandung senyawa silika (Si) dan dapat menjadi senyawa *pozzolan* yang mana senyawa tersebut dapat meningkatkan kuat tekan beton. Silika (Si) adalah senyawa yang paling banyak dimiliki oleh abu sekam padi dan paling umum nilai silika (Si) tersebut berkisar 94-96% yang dibakar dalam suhu ( $400-800^{\circ}\text{C}$ ) dan jika nilai tersebut kurang dari 90 % kemungkinan abu sekam tersebut telah bercampur atau terkontaminasi oleh zat lain (Ilmiah, 2017). Salah satu pemanfaatan abu sekam yang baik ialah menjadikannya bahan campuran pembuatan beton. Dalam penelitian ini, abu sekam tersebut akan menjadi campuran *fly-ash* yang kemudian direaksikan dengan senyawa alkalin dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh terhadap semen geopolimer.

Disisi lain, terdapat juga zat buangan sisa dari produk tanah liat berupa genteng press yang juga mengandung unsur silika (Si) dan alumina (Al) didalamnya. Setiap proses produksi tidak akan pernah luput dari sisa-sisa atau limbah. Limbah tersebut tentunya jika tidak ditangani dengan benar, maka akan berakibat fatal bagi alam sekitar dan masyarakatnya. Tidak menutup kemungkinan juga dalam pembuatan genteng press tersebut yang menghasilkan limbah berupa bagian genteng yang pecah pada saat pembakaran yang tentunya genteng tersebut sudah tidak layak digunakan atau menjadi limbah buangan, sehingga perlu adanya penanganan khusus untuk memanfaatkan limbah tersebut dengan tujuan mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan dan pengolahannya. Dalam penelitian limbah sisa genteng tersebut dijadikan campuran dari *fly-ash* karena kandungan silika (Si) dan alumina (Al) nya. Pada penelitian sebelumnya didapatkan hasil kandungan silika mencapai 24.5% dan alumina sebesar 12% yang digunakan sebagai pengisi campuran Paving Block (Ridwan, 2017 ).

Material *fly-ash*, abu sekam padi, dan serbuk genteng dalam pembuatan semen geopolimer dapat bereaksi dengan bantuan zat alkalin (katalisator dan aktifator) yang berfungsi sebagai pengaktifan proses polimerisasi dan pelepasan

molekul kecil seperti  $H_2O$  untuk membentuk ikatan-ikatan rantai monomer yang lebih panjang. Untuk mendapatkan reaksi polimerisasi dibutuhkan suatu reaktan dari golongan alkalin berupa Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat ( $Na_2SiO_3$ ) yang dapat melepas ion-ion yang tidak diperlukan (B, Triwulan dan Ekaputri, 2013). Pada penelitian terdahulu pengaruh NaOH terhadap *setting time* pada beton yaitu semakin tinggi nilai aktivator NaOH yang diberikan, maka semakin cepat *finish setting time* nya (Triwulan, Ekaputri dan Adiningtyas, 2007).

Berawal dari permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian tentang pemanfaatan bahan buangan hasil produksi dengan harapan sebagai salah satu upaya cinta lingkungan dan menjadikan inovasi dalam industri penggunaan beton yang berupa pasta geopolimer dengan bahan utamanya menggunakan *fly-ash* yang dikombinasikan dengan abu sekam padi dan serbuk genteng press yang ketiga bahan tersebut lolos saringan 200 hingga sesuai dengan ukuran butir *pozzolan* yang akan membuat proses pengikatan lebih mudah. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan sumber baru *pozzolan* yang tidak hanya berasal dari semen saja, namun bisa berasal dari alam yang berupa zat buangan untuk alternatif penggunaan semen.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari pendahuluan diatas adalah :

- a. Apakah hasil campuran pasta dan mortar yang dibuat menyatu (homogen) dan bagaimanakah hasil laju alir untuk mortar?
- b. Berapakah perbandingan komposisi campuran abu sekam padi, serbuk genteng dengan *fly-ash* yang paling unggul di umur 28 hari dari 0% , 2,5% 5% dan 10% terhadap kuat tekan mortar geopolimer?
- c. Apakah hasil uji kuat tekan masuk pada persyaratan SNI Semen Portland 2049-2015 ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dapat diambil dari pendahuluan diatas adalah :

- a. Mengetahui apakah hasil campuran pasta dan mortar homogen dan mengetahui hasil laju alirnya. .
- b. Mengetahui proporsi yang paling unggul di umur 28 hari untuk campuran abu sekam padi dan serbuk genteng press dengan *fly ash* dari 0% , 2,5 %, 5% dan 10% terhadap kuat tekan mortar geopolimer.
- c. Membandingkan apakah hasil yang diperoleh dari uji kuat tekan masuk pada persyaratan SNI Semen Portland 2049-2015 (alternatif penggunaan semen).

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini, diharapkan memiliki manfaat untuk berbagai pihak antara lain sebagai berikut :

a. Pribadi

Bagi pihak pribadi ialah menerapkan ilmu yang didapat di bangku kuliah dan diluar dengan harapan nantinya dapat diterapkan di dunia kerja serta sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana di universitas jember fakultas teknik program studi S1 Teknik Sipil.

b. Mahasiswa

Bagi pihak mahasiswa manfaat dari penelitian ini adalah sebagai acuan kedepannya untuk meneliti tentang kandungan anorganik pengganti semen khususnya mahasiswa teknik sipil.

c. Lembaga

Bagi pihak lembaga manfaat yang diharapkan ialah sebagai bahan referensi dan pertimbangan dalam pengambilan data yang terkait dengan semen inovasi ini serta diharapkan penelitian ini berlanjut hingga menemukan solusi yang terbaik terhadap masalah pembangunan.

### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

- a. *Fly-Ash* yang digunakan ialah *fly-ash* yang berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo yang telah diuji sebelumnya.
- b. Pembakaran abu sekam padi dilakukan di pabrik sumber jeruk kalisat jember dengan kandungan kimianya sudah diuji sebelumnya.
- c. Serbuk genteng yang digunakan berasal dari desa Kunir Kabupaten Lumajang dengan kandungan kimia mengacu pada penelitian sebelumnya.
- d. Perbandingan senyawa alkalian dengan semen adalah 48,5 % sesuai dengan kebutuhan air pada SNI 2049 2015.
- e. Syarat semen portland yang diuji hanya syarat fisika utama. Syarat fisika utama tersebut hanya meliputi uji waktu pengikatan dengan metode alternatif yang menggunakan alat vicat dan uji kuat tekan. Tidak menguji uji kehalusan dan uji kekekalan (SNI 2049-2015).
- f. Tidak menghitung Rencana Anggaran Biaya.

## BAB 2. LANDASAN TEORI

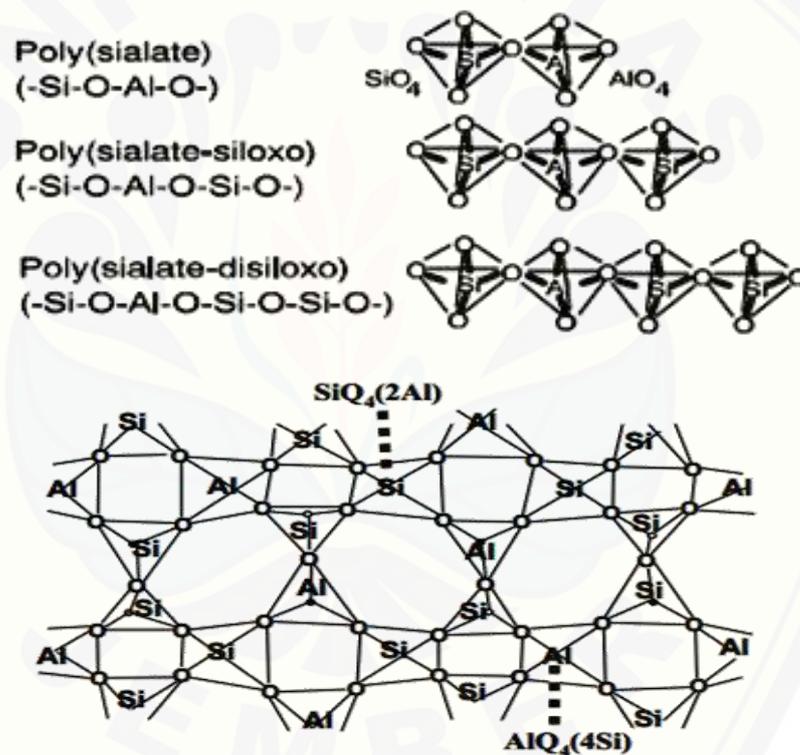
### 2.1 Semen Geopolimer

#### 2.1.1 Definisi Geopolimer

Geopolimer ialah proses yang memanfaatkan polimerisasi sebagai pengikatnya. Dalam proses polimerisasi terdapat zat molekul kecil yang dilepaskan yakni air dalam proses perawatan berlangsung, khususnya dalam pembuatan pasta dan mortar geopolimer. Pasta dan mortar geopolimer merupakan bahan penyusun utamanya yang mengandung unsur senyawa silika (Si) dan alumina (Al) tinggi. Pasta dan mortar geopolimer tidak menggunakan semen sebagai pengikatnya, akan tetapi menggunakan senyawa yang kandungan intinya menyerupai semen seperti *fly-ash*. *Fly-ash* tersebut tidak dapat bereaksi sendiri dalam pengikatan beton, akan tetapi membutuhkan senyawa katalisator berupa larutan hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang nantinya membentuk ikatan Polimer Si-O-Al sehingga membentuk padatan amorf sampai semi kristal (Pujiyanto, NA, Martyana, dan Hendra, 2013).

Dengan memanfaatkan bahan ini sebagai pengganti semen, secara tidak langsung telah menyelamatkan bumi dari *Global Warming* yang disebabkan oleh emisi  $\text{CO}_2$  akibat pembuatan semen portland yang semakin meningkat setiap tahunnya (Nugraha dan Antoni, 2007 : 10-11). Dalam reaksi polimerisasi pasta (Beton) geopolimer, kandungan aluminium (Al) dan silika (Si) akan menjadi senyawa yang aktif jika ditambahkan dengan bahan alkaline untuk menghasilkan  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$ . (Davidovits ,1994). Awal mula ditemukannya proses geopolimer ini dipelopori oleh seorang ilmuwan yang bernama Profesor Joseph Davidovits di tahun 1979 dengan objek utamanya ialah kandungan struktur mineral pengikat dari piramida yang berada di mesir. Bangunan tersebut seakan-akan dibuat dengan menyusun balok-balok raksasa saja dengan tenaga manual zaman dahulu hingga membentuk piramida, namun berdasarkan penelitiannya, piramida tersebut dibangun dengan metode modern, yakni menggunakan semen zaman dahulu yang mana bangunan tersebut bertahan hingga sekarang. Dari ketahanan bangunan

piramida itulah Profesor Joseph Davidovits melakukan risetnya dan ditemukanlah beton yang tanpa semen atau lebih dikenal dengan beton geopolimer. Semen tersebut digantikan oleh zat yang banyak mengandung silika (Si) dan alumina (Al) seperti abu terbang (*fly-ash*), abu sekam dan lain-lain. Namun beton geopolimer tidak dapat mereaksikan sendiri ikatan antar molekulnya, akan tetapi membutuhkan senyawa alkalin sebagai katalisator dan aktivator ikatan tersebut. aktivator berupa NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (B, Triwulan dan Ekaputri, 2013). dibanding dengan semen portland, geopolimer lebih unggul dalam masalah lingkungan dan hemat energi.



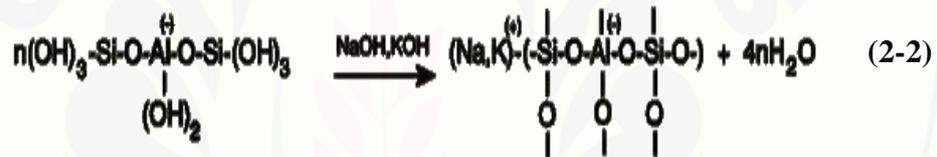
Gambar 2.1 Struktur Jenis-Jenis *Polysialate* (Davidovits, 1994).

*Polysialate* adalah senyawa zat kimia yang dihasilkan oleh pabrik-pabrik kimia berupa kalium atau natrium dalam bentuk bubuk silika atau seperti kerikil sebagai hasil produk-produk silika. Pada gambar 2.1 menerangkan bahwa proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk tiga struktur dimensional

yang setiap ikatan berbentuk ikatan-ikatan *polymeric* Si-O-Al-O (Polysialate). *Polysialate* ini terbagi dalam tiga jenis yaitu :

- Polysialate dengan penulisan kimianya (Si-O-Al-O)
- Polysialate-siloxo dengan penulisan kimianya (Si-O-Al-O-Si-O)
- Polysialate-disiloxo dengan penulisan kimianya (Si-O-Al-O-Si-O-Si-O).

Proses geopolimerisasi didefinisikan ialah reaksi senyawa kimia antara aluminosilika oksida ( $\text{Si}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_2$ ) dengan alkali polysialate, sehingga akan dihasilkan reaksi senyawa kimia seperti persamaan 1 dan 2 dibawah ini .(Ilmiah, 2017).



Gambar 2.2 Persamaan Kandungan Beton Geopolimer (Davidovits ,1994).

Pada persamaan (2-1) menerangkan bahwa kandungan beton geopolimer sebelum ditambahkan dengan larutan aktifator dan pada persamaan (2-2) menyatakan bahwa molekul air dilepaskan selama reaksi kimia terjadi dalam pembentukan senyawa geopolimer. Molekul air tersebut di lepaskan ketika proses kondensasi atau beton telah mengalami perawatan (*curing*) dan pengeringan (Davidovits ,1994).

### 2.1.2 Definisi Pasta dan Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer adalah campuran antara pasir, semen dan air yang mana semen tersebut digantikan oleh senyawa yang kandungannya menyerupai semen atau bahan pengikatnya tidak menggunakan semen 100%, sedangkan pasta geopolimer adalah campuran antara air dan semen yang mana semen tersebut digantikan oleh senyawa yang kandungannya menyerupai semen atau bahan penyusunnya 100% tidak menggunakan semen, tetapi menggunakan bahan alami

yang banyak mengandung unsur Silika (Si) dan unsur Alumina (Al). Bahan tersebut dapat ditemukan pada hasil sampingan PLTU dan pabrik-pabrik tertentu lainnya. Pada pasta semen biasanya, bila semen dicampur dengan air, butir semen akan tersebar didalam air. Suspensi ini berubah menjadi dari keadaan cair menjadi plastis atau kaku dengan ditambahkan semen. Ruang yang penuh air diantara butiran semen dapat dianggap sebagai sistem kapiler yang saling berhubungan. Jumlah air tidak hanya mempengaruhi kelecakan, tetapi juga hampir semua sifat beton segar maupun beton keras. Semakin sedikit air, semakin tinggi konsentrasi butir semen dalam pasta semen padat. Salah satu sifat pasta semen adalah faktor air-semen (sering ditulis  $w/c$ , *water/cement ratio*) adalah berat air dibagi dengan berat semen. Kepadatan relatif pasta semen segar bisa juga dihitung dari komposisinya seperti faktor air-semen 0,3, 0,5 dan 0,8 maka kepadatan rata-rata yang dihasilkan 2,1, 1,8, dan 1,6  $\text{gr/cm}^3$ . Sifat beton segar tergantung sifat dan jumlah matriks dan agregat seperti pengurangan matriks akan mengurangi derajat penyebaran butir agregat, sehingga menambah gesekan antarbutir, yang akan selanjutnya akan memperkaku beton segar. Semakin tinggi faktor air-semen cenderung mengalami segregasi dan pendarahan (*bleeding*), dan tidak mempunyai plastisitas dan kelecakan yang cukup (Nugraha dan Antoni, 2007).

Geopolimer juga digunakan untuk mengganti polymer organik sebagai adesif pada kekuatan struktur dan material ini menunjukkan ketahanan yang baik terhadap cahaya UV matahari serta bahkan tahan terhadap api. Perbandingan senyawa silika (Si) dan aluminan (Al) yang terkandung dalam senyawa *fly-ash*, abu sekam padi, dan serbuk genteng, akan mempengaruhi karakteristik geopolimer sebagai berikut :

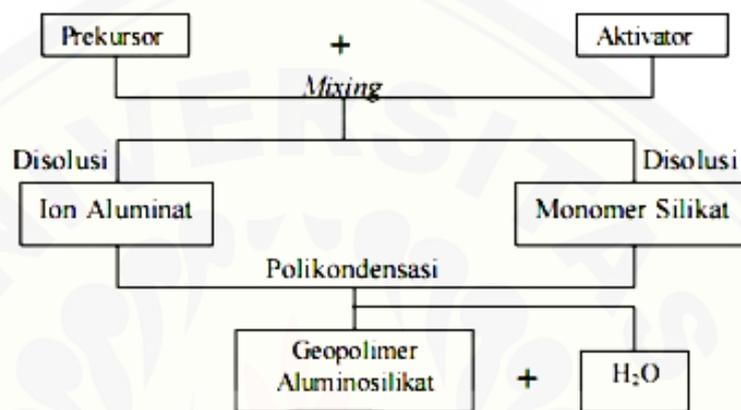
Tabel 2.1 Penggunaan Geopolymer Berdasarkan Perbandingan Si/Al

Rasio Si/Al	Karakteristik / Aplikasi
1 : 1	Kaku, kurang baik untuk adesif : Bata dan Keramik
2 : 1	Semen Beton : <i>Waste encapsulation</i>
3 : 1	Kurang kaku, cetakan (Foundry moulds) : Tahan api
> 3 : 1	<i>Sealants and adhesives (resin-like)</i>
> 20 : 1 < 35: 1	Bahan tahan panas / api : Serat Karbon Komposit

Sumber : Sumajouw dan Dapas, 2013

### 2.1.3 Reaksi Pasta dan Mortar Geopolimer

Proses geopolimer membutuhkan zat aktifator yang nantinya dalam proses tersebut menghasilkan senyawa  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$ . Berikut ini adalah diagram alur polimerisasi pada pasta geopolimer hingga menghasilkan produk akhir berupa Geopolimer Aluminosilikat dan sampingannya berupa molekul  $\text{H}_2\text{O}$  (Hutajulu, 2014).



Gambar 2.3 Alur Polimerisasi (Hutajulu, 2014)

#### a. Prekursor

Prekursor adalah bahan mentah yang dimanfaatkan untuk membentuk reaksi polimer seperti mineral aluminosilikat alami yang terkandung dalam lempung atau limbah hasil industri. Limbah hasil olahan industri tersebut banyak mengandung senyawa silika (Si) dan alumina (Al) seperti abu terbang (*fly-ash*), abu sekam padi, serbuk genteng dan lain-lain (Hutajulu, 2014).

#### b. Aktivator dan Katalisator

Aktivator dalam proses polimerisasi memiliki peran yang sangat penting, yakni sebagai pengaktifan Prekursor dengan mendisolusikan prekursor ke dalam monomer ( $\text{SiO}_4$ ) dan ( $\text{AlO}_4$ ) (Hutajulu, 2014).

- 1) Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) memiliki peran untuk mempercepat proses pengikatan polimerisasi pada geopolimer dengan mencampurkan antara abu terbang (*fly-ash*) dengan Natrium Silikat untuk membentuk ikatan yang sangat kuat, namun kelemahannya banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur.

2) Natrium Hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan senyawa-senyawa Al dan Si dengan menambahkan  $\text{Na}^+$ , namun demikian campuran antara abu terbang (*fly-ash*) dengan Natrium Hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan kepada mikrostrukturnya. Saat  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terikat secara tetrahedral dengan terbagi atom oksigen, maka diperlukan senyawa ion positif seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{NH}^{4+}$  dalam ikatan rangka sebagai penyeimbang muatan negatif dari  $\text{Al}^{3+}$ .

c. Disolusi dan Polikondensasi

Disolusi adalah proses melarutnya senyawa kimia yang ditambahkan dalam beton geopolimer sebagai bahan pengaktifan reaksi polimer, sedangkan polikondensasi adalah proses penggabungan monomer-monomer yang menghasilkan ikatan polimer. Pada disolusi alumina, OH dikonsumsi untuk menghidrolis unsur Al yang membentuk anion aluminat  $\text{Al}(\text{OH})_4$ . Maka, untuk mencapai disolusi yang sempurna pada pembuatan monomer aluminat dan silikat dibutuhkan larutan alkali aktifator yang mencukupi (Hutajulu, 2014).

#### 2.1.4 Pemanfaatan Semen Geopolimer

Dikatakan beton geopolimer jika bahan pengikatnya tidak menggunakan semen, tetapi menggunakan senyawa yang kaya akan silika (Si) dan alumina (Al), semisal *fly-ash* dan bahan-bahan lainnya melalui proses polimerisasi. Dibawah ini beberapa keadaan pemanfaatan pasta terhadap beton geopolimer antara lain (Hutajulu, 2014) :

a. Pada Beton Segar (Fresh Concrete)

- 1) Memiliki waktu *setting* 10 jam pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai 7-60 menit pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Penyusutan selama *setting* kurang dari 0,05%.
- 3) Kehilangan massa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0,1% (ASTM 4843).

b. Pada Beton Keras (*hardened concrete*)

- 1) Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 MPa pada umur 28 hari.
- 2) Memiliki kuat tarik sebesar 10-15 MPa pada umur 28 hari.

3) Memiliki *water absorption* kurang dari 3%.

### 2.1.5 Kelebihan dan Kekurangan Semen Geopolimer

a. Kelebihan – Kelebihan Penggunaan Beton Geopolimer (Hutajulu, 2014) :

- 1) Beton geopolimer ramah lingkungan karena dapat mereduksi CO<sub>2</sub>.
- 2) Beton geopolimer relatif murah
- 3) Beton geopolimer tahan terhadap serangan asam sulfat.
- 4) Beton geopolimer mempunyai rangkakan dan susut yang kecil.
- 5) Beton geopolimer tahan reaksi alkali-silika.
- 6) Beton geopolimer tahan api.

b. Kekurangan – Kekurangan Penggunaan Beton Geopolimer (Hutajulu, 2014):

- 1) Pembuatannya sedikit lebih rumit dari beton konvensional karena jumlah material yang digunakan lebih banyak daripada beton konvensional.
- 2) Belum ada perhitungan *mix design* yang pasti.

### 2.1.6 Material Pengikat Pasta dan Mortar Geopolimer

Sesuai dengan ASTM C618, *pozzolan* tidak mempunyai sifat perekat seperti semen, tetapi bila bertemu dengan Ca(OH)<sub>2</sub> dalam kelengkapan, yang dapat bereaksi secara lambat, membentuk kalsium silikat hidrat :



*Pozzolan* mengandung silika atau alumina dalam bentuk aktif. Nama *pozzolan* berasal dari orang romawi yang membuat bangunan dengan memakai debu gunung berapi yang ditemukan di pozzoli, dekat Naples, Italia (Nugraha dan Antoni, 2007).

Tabel 2.2 Unsur Bahan-Bahan Pozzolan

Unsur	Semen Portland	Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> )	Kerak (Slag)	Silika fume
SiO <sub>2</sub>	20	50	38	92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5	10,4	0,3	1,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	28	11	0,7
CaO	65	3	40	0,2
MgO	0,1	2	7,5	0,2
Na <sub>2</sub> O	0,1	0,7	0,4	1,0
K <sub>2</sub> O	0,7	2,5	0,8	1,5
Kehalusan (m <sup>2</sup> /kg)	300-400	400-700	350-600	20.00

Sumber: Nugraha dan Antoni, 2007

Material penyusun beton geopolimer hampir sama dengan beton pada umumnya (konvensional), namun yang membedakan ialah hanya terdapat pada bahan pengikatnya yakni semen hidrolis. Pada semen geopolimer, semen tersebut digantikan oleh senyawa yang banyak mengandung unsur silika (Si) dan alumina (Al) dengan memanfaatkan proses polimerisasi yang ikatan polimer tersebut dibantu oleh senyawa alkalin.

a. Abu Terbang (*fly-ash*)

Abu terbang adalah sisa hasil pembakaran serbuk batu bara dari tungku uap yang terbawa gas buangan cerobong asap atau hasil sampingan dari pembakaran batu bara sebagai bahan dasar pembangkit listrik tenaga uap yang memiliki sifat *pozzolan* buatan dengan bentuk halus, bulat (SNI 06-6867-2002). *Pozzolan* adalah bahan yang mengandung senyawa silika (Si) dan alumina (Al) tidak atau sedikit mempunyai sifat pengikat seperti semen, akari tetapi dalam bentuk halus serta dengan adanya air, maka senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan hidroksida-hidroksida alkali atau alkali tanah pada temperatur ruang yang berfungsi membentuk senyawa yang dimiliki oleh semen. *Pozzolan* dibagi menjadi 2 yakni *pozzolan* alam dan *pozzolan* buatan. *Pozzolan* alam adalah bahan-bahan yang secara alami menunjukkan sifat *pozzolan*, seperti abu vulkanik dan endapan lava gunung berapi, sedangkan *pozzolan* buatan adalah bahan-bahan yang dihasilkan dari kalsinasi tanah yang mengandung senyawa silika (Si) dan alumina (Al), kalsinasi yang dimaksudkan adalah untuk mengaktifkan sifat-sifat *pozzolan* (SNI 06-6867-2002). Menurut penelitian yang dilakukan Ilmiah pada tahun 2017, menyatakan *Fly ash* PLTU Paiton mengandung unsur silika (Si) sebesar 47,10%, alumina (Al) sebesar 24,25% dan kalsium (Ca) sebesar 5,83%, sehingga *Fly ash* PLTU Paiton dikategorikan dalam tipe F, karena kandungan kalsium (Ca) kurang dari 10%. Kandungan *Fly ash* tersebut diketahui reaktif berdasarkan pengujian dengan metode XRD dan memiliki kecekan baik, yang diketahui dengan metode pengujian SEM-EDX. Dalam penelitian ini sifat *pozzolan* pada *fly-ash* PLTU paiton diaktifkan dengan senyawa alkalin yang berfungsi sebagai katalisator.

1) Pembagian Jenis Abu Terbang (*fly-ash*)

Banyak peneliti terdahulu membahas tentang beton geopolimer berbahan dasar *fly-ash*. Dari peneliti tersebut lebih cenderung memilih *fly-ash* tipe F dari pada tipe C. Hal ini disebabkan karena kandungan kandungan silika (Si) dan alumina (Al) yang terkandung dalam tipe F lebih banyak dan ketika dicampur dengan senyawa alkalin menghasilkan ikatan polimer. Perbandingan kandungan kimia yang dimiliki *fly-ash* tipe F dan tipe C.

Tabel 2.3 Komposisi Kandungan *Fly-Ash*

Komposisi	Kadar	N	F	C
<b>Kimia (Chemical)</b>				
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Min %	70	70	50
SO <sub>3</sub>	Max %	4.0	5.0	5.0
Konten kelembaban	Max %	3.0	3.0	3.0
Kehilangan ion	Max %	10	6.0	6.0
<b>Bentuk (Physical)</b>				
Tersedia Alkalin	Max %	1.5	1.5	1.5
Kehalusan	Max %	34	34	34
Aktifitas kekuatan	Min %	75	75	75
Persyaratan air	Max %	115	105	105
Kepadatan	Rata-rata %	5	5	5
Tertahan pada 45- $\mu$ m (No. 325)	Max %	5	5	5

Sumber : ASTM C-618 05, 2005.

*Fly-ash* dibagi menjadi 3 tipe yakni, antara lain sebagai berikut :

- a) Tipe N adalah pozzolan alami atau pozzolan yang telah terkalsinasi seperti abu vulkanik, *tuff* (batu putih yang mengandung debu vulkanik), tanah liat/lempung dan serpih (batuan sedimen yang berbutir halus dan terbentuk dari padatan lumpur dan lempung, dapat dihasilkan dari proses pembakaran dan bersifat pozzolan yang baik berdasarkan ASTM C-618 05, 2005, sedangkan menurut Nugraha dan Antoni pada tahun 2007 menyatakan, bahwa tipe N termasuk pada *pozzolan* alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, *tuff* dan abu vulkanik, yang mana

biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

- b) Tipe F adalah *pozzolan* yang terbentuk dari hasil pembakaran batu bara jenis *anthracite* atau *bituminous coal*. *fly-ash* jenis ini memiliki sifat seperti semen alami atau *pozzolan* alami yang baik dengan ciri yang paling menonjol ialah kandungan CaO < 10% dari massanya berdasarkan ASTM C-618 05, 2005, sedangkan menurut Nugraha dan Antoni pada tahun 2007 menyatakan, bahwa tipe N memiliki kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70\%$ , kadar CaO < 5%, dan dalam campuran beton digunakan sebanyak 15 % - 25 % dari total berat.
- c) Tipe C adalah *pozzolan* yang terbentuk dari hasil pembakaran batu bara muda (*bituminous coal*) yang kandungan CaO > 10% dari massanya. *fly-ash* jenis ini bersifat seperti semen atau *pozzolan* yang baik berdasarkan ASTM C-618 05, 2005, sedangkan kandungan kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50\%$ , kadar CaO mencapai 10 %, dan dalam campuran beton digunakan sebanyak 15 % - 35 % dari total berat binder.

Tabel 2.4 Persyaratan Mutu Abu Terbang

No	Senyawa	Kadar (%)
1	Jumlah Oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (minimum)	30
2	$\text{SO}_3$ (Maksimum)	5
3	Hilang pijar (Maksimum)	6
4	Kadar air (Maksimum)	3
5	Total alkali dihitung sebagai $\text{Na}_2\text{O}$ (Maksimum)	1,5

Sumber : (Standart Nasional Indonesia 06-6867-2002 dalam Ilmiah, 2002)

## 2) Sifat Fisik Abu Terbang (*fly-ash*)

### a) Bentuk dan Warna (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).

Memiliki bentuk yang halus dan berwarna abu-abu, bervariasi dari abu-abu muda sampai abu-abu tua. Dari warna tersebut dapat mengetahui Sifat *pozzolan* yang baik, yakni semakin muda warnanya maka semakin baik *pozzolan*, sedangkan Warna hitam yang dimiliki *fly-ash* disebabkan karena adanya karbon yang dapat mempengaruhi mutu *fly-ash*.

### b) Sifat *pozzolan* (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).

Sifat *pozzolan* adalah sifat senyawa yang ukurannya sudah kecil, dalam keadaan halus serta dan bereaksi dengan kapur padam aktif dan air pada suhu kamar ( $24^{\circ}\text{C}$ - $27^{\circ}\text{C}$ ) membentuk senyawa yang padat dan homogen dengan air .

c) Kepadatan (*density*) (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).

Sifat Kepadatan abu terbang berbeda-beda, bergantung pada besar butir dan hilang pijarnya. Biasanya berkisar antara 2.43 gr/cc hingga 3 gr/cc. Luas permukaan spesifik rata-rata 225  $\text{m}^2/\text{kg}$  sampai 300  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Ukuran butiran yang kecil kadang - kadang terselip dalam butiran yang besar yang mempunyai fraksi lebih besar dari 300  $\mu\text{m}$ .

d) Hilang Pijar (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).

Penentuan sifat *pozzolan* juga dapat dilihat dari hilang pijarnya yakni Apabila hilang pijar tersebut berkisar 10% - 20% dari berat *fly-ash* dan kadar oksida kurang maka dapat disimpulkan bahwa *pozzolan* tersebut kurang baik.



Gambar 2.4 *Fly Ash* PLTU Paiton

b. Abu Sekam Padi (*RICE HUSK ASH*)

Penggilingan padi selalu menghasilkan kulit padi yang populer disebut gabah dan menjadi limbah atau material sisa produksi. Ketika biji padi digiling, 78% dari beratnya akan menjadi beras dan 22% sisanya menjadi gabah. Kulit gabah ini dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam produksi seperti dalam pembuatan batu bata, genteng dan lain sebagainya. Kulit gabah terdiri dari 75% bahan mudah terbakar dan 25% sisanya berubah menjadi abu. Abu tersebut dikenal dengan *Rice*

*Husk Ash* (RHA) yang mempunyai kandungan silika rekatif (*amorphous silica*) dengan rentan berkisar 85% - 90% dari massanya. Jika setiap 2000 kg padi yang digiling akan menghasilkan 440 kg (22%) kulit gabah, dan jika kulit tersebut dibakar pada tungku pembakaran maka akan menghasilkan sekitar 110 kg (25%) RHA (Nugraha dan Antoni, 2007) .

Tabel 2.5 Komposisi Kimia pada Abu Sekam Padi dengan Temperatur yang Berbeda

Unsur Kimia	Origin	400°C	600°C	700°C	1000°C
SiO <sub>2</sub>	88,97	91,53	94,89	96,65	98,01
MgO	1,17	1,13	0,84	0,51	0,59
SO <sub>3</sub>	1,12	0,83	0,81	0,79	0,09
CaO	2,56	2,02	1,73	1,60	1,16
K <sub>2</sub> O	5,26	6,48	6,41	3,94	1,28
Na <sub>2</sub> O	0,79	0,76	1,09	0,99	0,73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,29	0,74	0,46	0,00	0,43

Sumber : (Hwang, C. L. dan Wu, D. S. Dalam Ilmiah, 1989)

Untuk mendapatkan Kandungan silika dioksida (*amorf*) pada abu sekam padi harus melalui beberapa tahapan yakni proses pencucian, pengeringan, pengabuan, pengarangan, dan pengasaman. Proses pencucian tersebut dimaksudkan untuk memisahkan kotoran yang melekat dan proses pengeringan selama beberapa hari dimaksudkan untuk mendapatkan sekam padi dalam keadaan kering diudara. Apabila pembakaran abu sekam padi dilakukan pada suhu di atas 400<sup>0</sup>C - 500<sup>0</sup>C akan menjadi silika amorphous dan jika suhu lebih besar dari 1000<sup>0</sup>C akan menjadi silika kristalin (Bakrie, 2008). Pembentukan abu silika dari abu sekam padi setelah melalui proses karbonisasi juga menjadi sumber *pozzolan* potensial sebagai CSM (*Supplementary Cementitious Material*).

Untuk menghasilkan abu sekam padi yang baik dan bersifat silika reaktif sebagai material *pozzolan* dalam beton, maka diperlukan kontrol pembakaran yang baik. Temperatur tungku pembakaran tidak boleh melebihi 800<sup>0</sup>C sehingga dapat menghasilkan RHA yang terdiri dari silika yang tidak terkristalisasi. RHA kemudian dapat di haluskan dengan ukuran lolos 200 dengan ukuran yang menyerupai semen yang kemudian dapat dicampur dengan beton sebagai upaya

pengurangan penggunaan semen (Nugraha dan Antoni, 2007). Hal tersebut juga menjadi solusi untuk mengurangi penggunaan semen terhadap pembuatan beton dengan mencampurkan abu sekam padi dengan semen sehingga menjadi senyawa yang komposit. Pengaruh abu sekam padi terhadap berbagai parameter yang berhubungan *rheology* seperti viskositas, plastisitas, dan elastisitas tergantung dari distribusi ukuran partikel, luas permukaan spesifik, bentuk dan sifat permukaan abu sekam padi (Bakrie, 2008).

Tabel 2.6 Sifat Kimia dan Fisika Sekam Padi

Sifat Kimia	Massa (%)	Sifat Fisika
SiO <sub>2</sub>	72,28	Kerapatan Gembur = 760 kg/m <sup>3</sup> Lolos ayakan 45 μm = 75 % Tidak Lolos Ayakan 45 μm = 25 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,32	
CaO	0,65	
Hilar Pijar	21,43	

Sumber: Bakrie, 2008

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kandungan silika dalam abu sekam padi relatif banyak, akan tetapi abu sekam padi memiliki sedikit kandungan unsur alumina (Al) dan kalsium (CaO) yang menjadi unsur utama dari sifat *pozzolan*, sehingga abu sekam padi tidak bisa secara 100% menggantikan semen, akan tetapi masih bisa dijadikan bahan tambah atau komposit kepada semen. Berdasarkan penelitian sebelumnya didapatkan nilai kuat tekan beton yang optimum dengan penambahan abu sekam padi sebesar 10% dari massa benda uji, karena abu sekam padi memiliki sifat *pozzolan* (Anam dan Trianto, 2013).



Gambar 2.5 Sekam Padi

Dalam penelitian ini, digunakan abu sekam padi yang berasal dari penggilingan padi yang berasal dari Pabrik Sumber Jeruk Jember dengan suhu pembakaran  $\pm 650^0$  C selama 24 jam. Menurut penelitian yang dilakukan Kustantiyo di tahun 2017 menyatakan bahwa abu sekam padi tersebut mengandung unsur silika (Si) sebesar 79,7%, dan kalsium (Ca) sebesar 3,99%, yang mana abu sekam tersebut masuk dalam pozzolan tipe F karena kandungan Ca kurang dari 10% dari massanya menurut ASTM C-618. Abu sekam tersebut bersifat rektif yang diketahui dengan metode pengujian metode XRD.

c. Serbuk Genteng Press

Kemudahan tanah lempung untuk dibentuk membuatnya banyak dimanfaatkan oleh masyarakat dari zaman dulu hingga sekarang. Salah satu pemanfaatan tanah lempung yang paling banyak ialah sebagai bahan bangunan, bahan kerajinan tangan, dan bahan perlengkapan di dapur. Salah satu contoh dalam aspek bangunan ialah dibuat batu bata dan genteng.

Genteng adalah bahan utama dari bangunan genteng yang berfungsi untuk melindungi penghuni bangunan dari cahaya matahari dan hujan dari sisi atas. Genteng memiliki beberapa jenis antara lain genteng tanah liat, genteng beton, genteng keramik, genteng seng, dan genteng kayu. Keunggulan genteng yang berasal dari tanah liat selain murah ialah salah satunya tahan terhadap cuaca yang ekstrim dan lebih ringan dari pada genteng beton. Genteng tanah liat atau genteng press biasanya dibuat dari tanah lempung yang mengandung unsur silika (Si) dan alumina (Al) yang tinggi. Lempung adalah mineral yang memiliki ukuran partikel yang sangat kecil dan sangat lengket serta mudah dibentuk ketika keadaan basah atau lembab. Setelah genteng dibentuk kemudian dibakar dengan waktu tertentu hingga berbentuk kuat dan sedikit keras dengan diikuti perubahan warna kecoklatan hingga memerah. Setiap pembuatan genteng press tentunya tidak akan pernah luput dari sisa buangan atau limbah. Limbah tersebut jika tidak dimanfaatkan maka akan menjadi permasalahan sendiri bagi lingkungan sekitar sehingga perlu adanya tindakan pemanfaatan kembali limbah tersebut salah satunya ialah sebagai bahan campuran pada beton, namun pada penelitian ini

limbah tersebut dijadikan bahan tambah pada beton geopolimer dengan tujuan sebagai upaya pemanfaatan didalam teknologi pembangunan.



Gambar 2.6 Genteng Press

Dalam penelitian ini, digunakan serbuk genteng press yang berasal dari pabrik pembuatan genteng press desa kunir, lumajang dan dibakar dengan suhu paling tinggi  $\pm 900^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Menurut penelitian yang dilakukan Abadi di tahun 2017 menyatakan bahwa serbuk genteng press tersebut mengandung unsur silika (Si) sebesar 24,5%, alumina (Al) sebesar 12% dan kalsium (Ca) sebesar 7,58%, yang mana serbuk genteng press tersebut masuk dalam pozzolan tipe F karena kandungan Ca kurang dari 10% dari massanya menurut ASTM C-618. Serbuk genteng press tersebut bersifat rektif yang diketahui dengan metode pengujian metode XRD.

## **2.2 Alkali Aktivator dan Katalisator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)**

Aktifator merupakan senyawa atau unsur yang menyebabkan zat yang dicampuri menjadi reaksi yang aktif. Dalam pembuatan beton geopolimer, aktifator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi. Penggunaan hidroksida alkali sebagai aktifator reaksi geopolimer dikarenakan unsur silika dalam geopolimer merupakan asam kuat sehingga zat tersebut harus direaksikan dengan basa kuat yang berupa Sodium Hidroksida (NaOH) (Triwulan, Ekaputri dan Adiningtyas, 2007).

Katalisator merupakan zat yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam pembuatan beton geopolimer, katalisator yang digunakan adalah Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Cairan alkali tersebut terdiri dari Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dengan konsentrasi 8M hingga 14M dengan perbandingan massa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  0.4 hingga 2.5 (Risnareni, Triwulan dan Ekaputri, 2014).

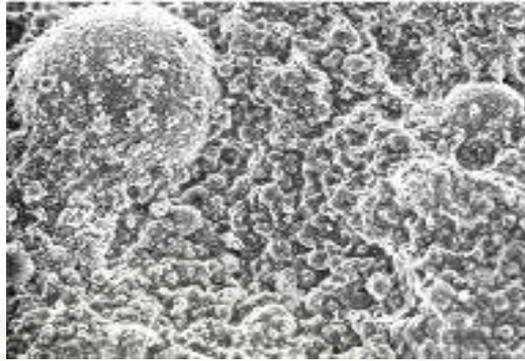
### 2.2.1 Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ )

Ikatan polimer yang kuat dihasilkan dengan menambahkan senyawa Sodium hidroksida dengan abu terbang (*Fly-ash*) untuk mereaksikan senyawa silika dan alumina.  $\text{NaOH}$  (sodium hidroksida) merupakan oksidasi alkali yang bersifat reaktif dan merupakan golongan basa yang kuat.



Gambar 2.7 Padatan (Kristalan)  $\text{NaOH}$

$\text{NaOH}$  dihasilkan melalui elektrolisis larutan Natrium Clorida ( $\text{NaCl}$ ).  $\text{Na}$  masuk dalam kelas logam alkali pada golongan 1 ditabel periodik kecuali hidrogen dan semua unsur ini sangat reaktif sehingga secara alami tidak ditemukan dalam bentuk senyawa tunggal (Ilmiah, 2017). Pada gambar dibawah, menerangkan bahwa campuran abu terbang (*Fly-ash*) dengan Sodium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan (Hutajulu, 2010).



Gambar 2.8 *Scanning Electron Microscopy* dari Campuran antara Abu terbang dengan Natrium Hidroksida (Kosnatha dan Utomo dalam Hutajulu, 2007)

### 2.2.2 Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Perkembangan senyawa unsur Sodium silikat dapat terbilang cepat, karena proses pembuatannya yang tidak terlalu rumit dan senyawa yang terkenal paling aman dalam industri kimia. Sodium silikat terbagi dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan, untuk campuran beton geopolimer lumrahnya digunakan dalam bentuk larutan Sodium silikat atau yang lebih dikenal dengan water glass, pada mulanya digunakan sebagai campuran bahan dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, coating, campuran cat serta dalam beberapa keperluan industri seperti kertas, tekstil dan serat (Hutajulu, 2010).



Gambar 2.9 Larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

Sodium silika dalam proses polimerisasi memiliki fungsi yang penting yakni untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara lebih cepat pada larutan alkali yang banyak mengandung larutan silikat seperti sodium silikat ataupun potassium silikat dibandingkan larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida. Pada Gambar dibawah, ditunjukkan bahwa campuran antara abu terbang dan sodium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat (Hutajulu, 2007).

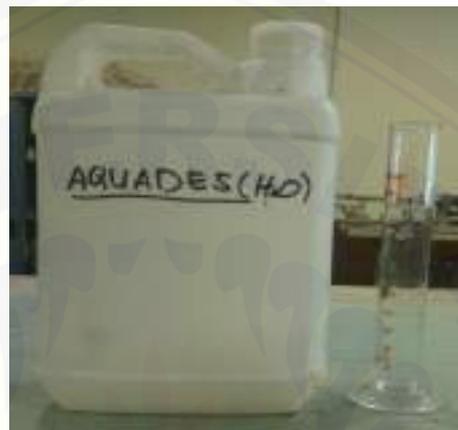


Gambar 2.10 *Scanning Electron Microscopy* dari Campuran antara Abu terbang dengan Natrium Silikat (Kosnatha dan Utomo dalam Hutajulu, 2007)

Sodium silikat yang dipakai adalah berbentuk larutan kental yang sudah siap dipakai, dan dijual di pasaran. Sebelum pemakaian tidak ada perlakuan khusus. Pada penelitian sebelumnya didapatkan kesimpulan dengan menggunakan variasi molar 8 dan 10 dengan perbandingan massa reaktan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  0.5 , 1, 1.5, 2 dan 2.5 dan hasil untuk beton geopolimer yang paling besar untuk 8 molar dihasilkan dengan perbandingan massa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  2 bahwa (Risnareni ,Triwulan dan Ekaputri, 2014) sedangkan pada penelitian yang lain dihasilkan kuat tekan untuk penggunaan struktural dengan konsentrasi 10-14 molar dan perbandingan massa 2-2.5 (Ekaputri dan Triwulan, 2013), sehingga pada penelitian ini digunakan konsentrasi 12M dan perbandingan massa 2.

### 2.3 Air (H<sub>2</sub>O)

Air adalah senyawa yang dibutuhkan oleh pasta untuk pengaktifan reaksi pozzolan. Air tersebut tidak boleh mengandung asam, minyak, alkali, garam-garam, bahan-bahan lain yang merusak beton, dalam hal ini dianjurkan menggunakan air minum (PBBI tahun 1971).



Gambar 2.11 Aquades (H<sub>2</sub>O)

### 2.4 Pasir Ottawa/Pasir Kwarsa

Pasir kwarsa adalah pasir yang berasal dari pengikisan batu-batuan atau erosi dan berbagai benda lain yang disebabkan karena air atau udara. Pasir kwarsa memiliki bentuk seperti kristal kuarsa dengan warna kuning tua yang juga dikenal dengan pasir silika.



Gambar 2.12 Pasir Ottawa/Kwarsa

Tabel 2.7 Persyaratan Pasir Standar

Karakteristik penilaian, presentase yang lulus ayakan	Pasir 20-30	Pasir yang dinilai
No.16	100	100
No.20	85-100	
No.30	0-5	96-100
No.40		65-75
No.50		20-30
No.100		0-4
Perbedaan kandungan udara dari mortar yang dibuat dengan menggunakan pasir yang dicuci dan yang tidak dicuci, % udara maksimum	2,0	1,5 <sup>A</sup>
Sumber Pasir	Ottawa, 1L atau Les Suer, Mn	Ottawa 1L

**CATATAN**

A) Kuat tekan semen portland dibuat dengan spesifikasi semen portland campur, semen dikurangi kira-kira 4% dari masing-masing presentase udara dalam kubus yang dikompakkan sebanyak tiga bak pasir yang dicuci dan tiga bak pasir yang tidak dicuci dibutuhkan untuk mendeteksi suatu perbedaan kekuatan dari 7% antara pasir mortar yang dicuci dan tidak dicuci.

Sumber : SNI 2049-2015

## 2.5 Perawatan Mortar Geopolimer (*curing*)

*Curing* adalah proses perawatan beton setelah beton dilepas dari cetakan. Setelah beton dilepas dari cetakan, beton akan mengalami proses hidrasi atau kehilangan air jika tidak dirawat sebelumnya. Kehilangan air tersebut terjadi ketika air yang berada dalam beton mengalami penguapan yang nantinya mempengaruhi kuat tekan beton sendiri. Penguapan air pada beton lumrahnya terjadi pada hari-hari pertama, sehingga perawatan yang paling penting ialah pada umur mudanya. Selain mempengaruhi kuat tekan beton, kehilangan air juga membuat beton menyusut karena terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering, alhasil membuat beton menjadi retak. Beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat 50% dari pada beton yang tidak dirawat. Fungsi yang signifikan dari proses perawatan ialah untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air,

karena hidrasi terjadi didalamnya (Nugraha dan Antoni, 2007). Metode perawatan beton ada 3 yaitu :

- a. Cara terus memberi air
- b. Menghilangkan air dipermukaan
- c. *Steam Curing*
- d. Didiamkan dalam suhu ruangan

Dalam penelitian ini curing dilakukan dengan meletakkannya dalam ruangan dengan umur rencana pengetesan 1, 3, 7 dan 28 hari dengan suhu normal  $\pm 26^{\circ}\text{C}$  sesuai suhu ruang di sekitar Kampus Patrang Jember.

## 2.6 Tes Waktu Pengerasan (*Setting Time*)

*Setting time* adalah waktu yang diperlukan semen atau pasta untuk mengeras. Metode ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa lama semen mengalami pengerasan setelah ditambahkan air. Dalam pengetesan ini terdapat 2 macam waktu yang harus dicatat, antara lain:

- a. Waktu ikat awal adalah waktu yang awal yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat. Pada massa ini dapat ditandai dari awal pencampuran semen dengan air hingga mencapai tahap setengah keras atau setinggi 25 mm (SNI-03-6827-2002).
- b. Waktu ikat akhir adalah waktu dimana penetrasi jarum vicat tidak terlihat secara visual. Pada massa ini dapat ditandai dengan bahan uji sudah dapat dipisahkan dari pencetakannya atau penurunan sudah 0 mm (SNI-03-6827-2002).

alat yang digunakan dalam pengetesan *setting time* adalah vicat. Adapun Syarat yang dizinkan untuk waktu ikat semen portland berdasarkan syarat fisika utama pada SNI 2049-2015 dengan metode pasta sebagai berikut :

Tabel 2.8 Syarat Waktu Pengikatan pada Semen Portland

Uraian	Jenis Semen Portland				
	I	II	III	IV	V
<b>Waktu Pengikatan (metode alternatif) dengan alat vicat</b>					
1. Awal, menit, minimal					
2. Akhir, menit, maksimum	45	45	45	45	45
	375	375	375	375	375

Sumber: SNI 2049-2015



Gambar 2.13 Alat Vicat dan Cetakan Benda Uji

## 2.7 Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Kuat tekan adalah nilai batas kekuatan benda ketika di bebani dengan nilai yang bervariasi, sesuai dengan kelas pembagiannya. Kuat tekan secara perumusan ialah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji retak hingga hancur oleh mesin benda uji tekan. Proses awal pengujian dapat dimulai dari pengambilan benda uji yang telah di rawat (*curing*) dengan waktu tertentu lalu menempatkan bagian permukaan yang paling rata untuk ditempatkan pada alas bagian atas dengan tujuan mendapatkan kuat tekan yang dimiliki oleh benda uji akurat. Lalu hidupkan benda uji, tunggu beberapa detik hingga benda uji retak dan mesin pressing menampilkan angka minus pada rasio tekanan. Penghitungan kuat tekan ini dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$F_{ci} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$F_{cr} = \frac{\sum_{i=0}^n F_{ci}}{N} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

P = Beban maksimum (Kg).

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

f<sub>ci</sub> = Nilai kuat tekan beton per benda uji (kg/ cm<sup>2</sup>).

f<sub>cr</sub> = Nilai kuat tekan beton rata-rata (kg/ cm<sup>2</sup>).

N = Jumlah benda uji.

Adapun Syarat yang dizinkan untuk kuat tekan semen geopolimer, mengikuti syarat fisika utama (SNI 2049-2015) dengan menggunakan metode mortar, sebagai berikut :

Tabel 2.9 Syarat Kuat Tekan pada Semen Portland

Uraian	Jenis Semen Portland				
	I	II	III	IV	V
<b>Uji kuat tekan :</b>					
1. Umur 1 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	-	-	120	-	-
2. Umur 3 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	135	100	240	-	80
3. Umur 7 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	215	70 <sup>a)</sup>	-	70	150
		120 <sup>a)</sup>	-	-	-
4. Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	300	-	-	170	210

Sumber: SNI 2049-2015

## 2.8 Penelitian Terdahulu

### 2.8.1 Pengaruh Penggunaan Solid Material Abu Terbang Dan Abu Sekampada Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pada penelitian yang dilakukan Lianasari dkk pada tahun 2014, dengan bahan utamanya adalah fly ash, abu sekam padi, dan senyawa alkalin berupa NaOH 12M serta  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  /NaOH 2. Penelitian tersebut menggunakan metode experimental dengan ukuran binder 15 cm x 15 cm x 55 cm dengan kesimpulan sebagai berikut :

Tabel 2.10 Perbandingan Komposisi Semen, Abu Terbang dan Abu Sekam Padi

Parameter	Parameter	Semen	Abu Terbang	Abu Sekam Padi
CaO	Kapur	60-67%	3,09%	0,70%
SiO <sub>2</sub>	Silika	17-25%	40,79%	52,61%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oksida Besi	3-8%	2,05%	0,56%
MgO	Magnesia	0.1-4.0%	3,73%	1,43%
Na <sub>2</sub> O	Alkali	1,34%	0,01%	8,72%

Tabel 2.11 Kuat Tekan Beton Geopolimer

Prekursor			Kuat Tekan (MPa)		
Abu Terbang	Abu Sekam Padi	Nilai Slump (cm)	7 Hari	14 Hari	28 Hari
100%	0%	0	13.12972	17.91255	21.20305
95%	5%	0	2.618614	2.672209	4.078025
90%	10%	2	4.787708	4.860234	10.32331
85%	15%	0	3.878002	4.436519	7.09309
80%	20%	8	2.565244	3.39484	3.051927
75%	25%	0	2.572146	2.857127	2.960489

**2.8.2 Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolimer Menggunakan Alkali Aktivator Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) Serta Sodium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ )**

Pada penelitian yang dilakukan Rihnatul Ilmiah ditahun 2017, dengan bahan utamanya adalah fly ash, abu sekam padi, dan senyawa alkalin berupa  $\text{NaOH}$  12M serta  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  / $\text{NaOH}$  0,5. Penelitian tersebut menggunakan metode experimental dengan ukuran binder (15 cm x 15 cm x 5 cm) dan ( $\varnothing$ 2,5 cm x tinggi 5 cm) yang dihasilkan kesimpulan sebagai berikut :

Tabel 2.12 Campuran dan *setting time* dari Binder

Rencana Penelitian	Komposisi	$\text{NaOH}$ & $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ / $\text{NaOH}$	45 % Binder + 55 % Aktifator	74 % Binder + 26 % Aktifator	65 % Binder + 35 % Aktifator	55 % Binder + 45 % Aktifator	Setting Time Beton Geopolimer
<b>Binder Geopolimer Kubus 15 cm x 15 cm x 5 cm</b>	100 % Abu Sekam	12 & 1.5	Homogen	Tidak Homogen	Tidak Homogen	Tidak Homogen	170 menit
	100 % Fly - Ash	12 & 1.5	-	Homogen	-	-	45 menit
	50 % FA + 50 % ASP	12 & 1.5	Hancur	-	Homogen	-	110 menit
<b>Penambahan Air 100%</b>	(75% Fly Ash +25%)	12 & 1.5					
<b>Perawatan</b>	<b>Suhu Kamar selama 4 Jam</b>						

Tabel 2.13 Hasil Kuat Tekan dengan Berbagai umur Benda Uji

Rencana Penelitian	Nama Binder	NaOH & $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ / NaOH	Perbandingan binder dan aktifator	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari(Mpa)	Kuat Tekan Umur 56 Hari(Mpa)
Abu sekam padi (100%), 12 M-1,5 , 45:55	ASP 12-1,5	12 & 1.5	45 % Binder + 55 % Aktifator	0,65	1,62	2,58
Fly Ash (100%), 12 M-1,5, 74:26	FA12-1,5	12 & 1.5	74 % Binder + 26 % Aktifator	19,12	34,90	43,32
Abu sekam padi 50% : Fly Ash 50% 12 M-1,5 , 65:35	ASPFA 12-1,5	12 & 1.5	65 % Binder + 35 % Aktifator	1,53	3,33	7,65
Abu sekam padi 25%: Fly Ash 75% 12M-1,5 , 65:35	ASPFA[ B]	12 & 1.5	65 % Binder + 35 % Aktifator	7,95	-	-
Abu sekam padi 75%: Fly Ash 25% 12M-1,5 , 65:35	ASPFA[ A]	12 & 1.5	65 % Binder + 35 % Aktifator	0,95	-	-
<b>Perawatan</b>				<b>Suhu Kamar selama 4 Jam</b>		

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang di terapkan pada penelitian ini adalah studi experimental, yakni melakukan percobaan *trial and error* dengan acuan penelitian sebelumnya di laboratorium. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh komposisi penambahan abu sekam padi dan abu serbuk genteng press terhadap semen geopolimer yang di uji *setting time* dan kuat tekannya.

#### 3.1 Studi Literatur

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur mengenai binder geopolimer melalui media buku yang berjudul "Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer", Standar Nasional Indonesia, skripsi, jurnal, website. Peneliti terdahulu selalu menggunakan metode experimental, Sehingga didapatkan kesimpulan yang sedikit berbeda tapi hampir sama. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa semakin tinggi konsentrasi molaritas, maka akan semakin tinggi pula kuat tekan yang dicapai begitupun sebaliknya semakin kecil konsentrasi molaritas yang diberikan, maka semakin kecil pula kuat tekan yang di berikan (Hardjito dan Rangan, 2005). Namun peneliti lain berpendapat dari penelitiannya adalah perbandingan massa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ , semakin tinggi perbandingan aktifator tidak selalu memberikan kuat tekan yang tinggi pula. Pada penelitian sebelumnya juga disebutkan pengaruh NaOH terhadap *setting time* pada beton yakni semakin tinggi nilai aktivator NaOH yang diberikan, maka semakin cepat *finish setting time* nya (Ekaputri, Triwulan dan Adiningtyas, 2007). Untuk penggunaan nilai molaritas dan perbandingan massanya (Hardjito dan Rangan, 2005) telah memberikan solusi penggunaan pada penelitiannya yang berjudul "*Development and Properties of Low-Calcium fly-ash based Geopolymer Concrete*" ialah untuk penggunaan konsentrasi molaritas dianjurkan dari 8M hingga 14 M dengan perbandingan massa kataliator dan aktifatornya 0,4 sampai

2,5. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa kuat tekan yang paling tinggi diperoleh benda uji yang konsentrasi larutannya tinggi.

### 3.1.1 Hasil Kesimpulan Penelitian Terdahulu

Dari penelitian terdahulu maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

- a. Aktivator tersebut umumnya dipakai dengan molar 8M (NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sampai 14M dengan perbandingan (Ratio) antara 0,4 sampai 2,5 serta Semakin tinggi nilai Aktivator NaOH yang diberikan, maka semakin tinggi nilai kuat tekan beton geopolimer (Hardjito dan Rangan, 2005).
- b. Dari konsentrasi Molar 8 dan 10 dengan perbandingan massa reaktan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/ \text{NaOH}$  0.5 , 1, 1.5, 2 dan 2.5 dan hasil untuk beton geopolimer yang paling besar untuk 8 molar dihasilkan dengan perbandingan massa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/ \text{NaOH}$  2. Sedangkan untuk beton geopolimer dengan 10 molar dihasilkan dengan perbandingan massa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/ \text{NaOH}$  2,5. Adapun kesimpulan dari penelitian tersebut perbandingan massa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/ \text{NaOH}$ , semakin tinggi perbandingan aktifator tidak selalu memberikan kuat tekan yang tinggi ( Risdanareni ,Triwulan, dan Ekaputri, 2014).
- c. Penggunaan 100% *fly ash* pada beton geopolimer selalu memberikan kuat tekan yang lebih tinggi dari pada penambahan zat lain pada *fly ash* (Subekti, 2012).
- d. Konsentrasi molaritas yang tinggi selalu memberikan kuat tekan yang tinggi terhadap benda uji yang dibuat, serta semakin tinggi perbandingan massa aktifator dan katalisator belum tentu memberikan kuat tekan yang tinggi (Ekaputri dan Triwulan, 2013).
- e. Untuk pencampuran 75% *fly ash* dan 25% lumpur basah dipeoleh kuat tekan yang direkomendasikan untuk struktur (Ekaputri dan Triwulan, 2013).
- f. Untuk penggunaan alkali pada binder geopolimer digunakan perbandingan 26% aktifator dan 74% binder memberikan campuran yang homogen untuk 100% *fly ash* (Ilmiah, 2017).
- g. Untuk pencampuran 100% abu sekam padi diperoleh kuat tekan yang kecil dari pada kuat tekan 100% *fly ash* (Ilmiah, 2017).

- h. Kuat tekan menurun untuk pencampuran abu sekam padi (25%) dan *fly ash* (75%) dari pada kuat tekan 100% *fly ash* (Ilmiah, 2017).
- i. Dari penambahan air 80% terhadap beton geopolimer, didapatkan kuat tekan yang paling optimal dari pada penambahan air 100% dengan konsentrasi senyawa alkalin 10M dan perbandingan massa larutan 2,5 untuk pencampuran lumpur porong kering (25%) dan *fly ash* (75%) (Triwulan, Ekaputri, dan Adiningtyas, 2007).
- j. Proporsi 90% *fly ash* – 10% abu sekam padi, menunjukkan kuat tekan yang paling unggul dari proporsi 95% *fly ash* – 5% abu sekam padi, 85% *fly ash* – 15% abu sekam padi, 80% *fly ash* – 20% abu sekam padi, dan 75% *fly ash* – 25% abu sekam padi, terhadap 100% *fly ash* (Lianasari dkk, 2014).

Pada penelitian ini diambil konsentrasi alkalin 12M dengan perbandingan massa 2. Karena penggunaan 10% abu sekam padi dan 90% *fly ash* terhadap 100% *fly ash* murni lebih unggul dari proporsi yang lain (Lianasari dkk, 2014), maka diambil 10%, 5%, 2.5% dan 0% dengan acuan hasil penelitian yang telah dipaparkan.

### 3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian untuk sampel objek pertama (*fly-ash*) diambil pada hasil buangan PLTU Paiton, Probolinggo Jawa timur. Untuk sampel objek kedua (Abu Sekam Padi) diambil pada pengolahan padi Sumber Jeruk Kalisat Jember serta untuk sampel objek ketiga (Serbuk Genteng Press) diambil dari Desa Kunir Lumajang Dusun Kemuning Lor. Pembuatan dan pengujian binder dilakukan di Laboratorium Teknik yang bertempat di kampus Patrang Jember. Tahap pengerjaan proposal penelitian ini dimulai pada bulan September hingga Oktober 2017 serta Pelaksanaan persiapan bahan, pembuatan benda uji hingga pengujian sampai bulan Maret.

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

NO	NAMA KEGIATAN	SEPTEMBER				OKTOBER				NOVEMBER				DESEMBER				JANUARI				FEBRUARI				MARET													
		MINGGU KE				MINGGU KE				MINGGU KE				MINGGU KE				MINGGU KE				MINGGU KE																	
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV										
1	Studi Literatur	[Activity spans all weeks from September to March]																																					
2	Diskusi Bersama Pembimbing	[Activity spans all weeks from September to March]																																					
3	Seminar Proposal																																						
4	Revisi Proposal																																						
5	Persiapan Bahan dan Cetakan																																						
6	Uji Material																																						
7	Pembuatan Benda Uji																																						
8	Perawatan Benda Uji																																						
9	Pengujian Benda Uji																																						
10	Analisa dan Pembahasan																																						
11	Seminar Hasil																																						
12	Revisi Bab IV dan V																																						
13	Sidang Skripsi																																						
14	Revisi Skripsi																																						
15	Pembuatan Jurnal																																						

### 3.3 Variabel Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang ingin dicapai maka variabel yang akan dipelajari dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkendali.

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang harganya divariasikan dan diselidiki pengaruh terhadap variabel terikat dan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil analisis. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah *fly-ash*, abu sekam padi dan serbuk genteng press dengan variasi penambahan terhadap *fly-ash* 10%, 5% , 2,5% dan 0%.

#### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah faktor yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi molaritas sebesar 12M dan perbandingan massa katalisator dengan aktifator adalah 2.

#### 3.3.3 Variabel Terkendali

Variabel terkendali adalah faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil reaksi, tetapi yang dapat dikendalikan agar tidak mempengaruhi variabel bebas. Variabel terkendali dalam penelitian ini meliputi proses komposisi pasta geopolimer, *curing*, uji berat volume, *setting time* dan pengujian kuat tekan.

### 3.4 Persiapan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Abu terbang (*fly-ash*)

Dalam penelitian ini digunakan abu terbang sebagai bahan utama pembuatan binder geopolimer. Abu terbang tersebut berasal dari hasil buangan PLTU. Sudah banyak peneliti sebelumnya mengkaji *fly-ash* ini dan menggolongkan bahwa tipe *fly-ash* kelas F bisa dibuat sebagai campuran beton geopolimer karena kandungan silika dan alumina nya lebih banyak, sedangkan kandungan CaO kurang dari 10% massanya.

Sudah banyak peneliti sebelumnya mengkaji *fly-ash* ini dan menggolongkan tipe *fly-ash* ini kedalam kelas F karena kandungan CaO kurang dari 10% massanya. Kandungan kimia *fly-ash* diketahui dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dengan kandungan senyawa silika (Si) 52,2% dan alumina (Al) 38,6% dari massanya (Ekaputri dan Triwulan, 2013). *fly-ash* kelas F sering digunakan dalam pembuatan beton geopolimer karena banyak mengandung unsur silika (Si) dan alumina (Al) dan bersifat *pozzolan* buatan.



Gambar 3.1 *Fly Ash* (Lolos Ayakan 200)

#### 3.4.2 Abu sekam padi

Abu sekam padi tersebut digunakan sebagai campuran dari *fly-ash* yang kemudian direaksikan dengan senyawa alkalin dengan suhu pembakaran  $650^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Pada penelitian sebelumnya kandungan  $\text{SiO}_2$  tertinggi diperoleh dengan pengeringan dibawah sinar matahari selama 3 jam dibandingkan dengan menggunakan oven ( $190^{\circ}\text{C}$ ) selama 3 jam (Harsono dalam Ilmiah, 2002). Nilai paling umum kandungan silika dari abu sekam adalah 90 – 98 % pada suhu  $\pm 700^{\circ}\text{C}$  dari massanya. Silika yang terdapat dalam abu sekam padi bersifat *amorf* terhidrat yang dapat digunakan substitusi semen (Harsono dalam Ilmiah, 2002). Setelah proses pembakaran selesai maka abu sekam tersebut dikumpulkan kembali dan ditumbuk supaya lebih halus dan lolos saringan 200 dengan ukuran butirannya menyerupai semen.



Gambar 3.2 Abu Sekam Padi (Lolos Ayakan 200)

### 3.4.3 Serbuk Genteng Press

Dalam penelitian ini limbah sisa genteng press tersebut dijadikan campuran dari *fly-ash* karena kandungan silika (Si) dan alumina (Al) nya yang nantinya akan direaksikan dengan senyawa alkalin berupa sodium hidroksida dan sodium silikat. Pada penelitian sebelumnya diketahui kandungan silika (Si) 24,5% dan alumina (Al) 12% dengan menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) (Ridwan, 2017). Kemudian serbuk tersebut dihancurkan hingga lolos saringan 200 dengan ukuran menyerupai semen.



Gambar 3.3 Serbuk genteng Press (Lolos Ayakan 200)

### 3.4.4 Jenis Alkali

Jenis alkali dalam peneliti ini ialah sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida (NaOH) dengan perbandingan massa senyawa katalisator dan aktifator 2 dengan konsentrasi 12M. Penentuan konsentrasi molaritas dan perbandingan

massa mengacu kepada penelitian sebelumnya. Cara membuat 1 liter larutan NaOH 12M sebagai berikut (Kurniasari dan Rosyid dalam Ilmiah, 2014) :

- a. Menghitung kebutuhan NaOH yang digunakan.

$$\begin{aligned} n &= V \times M \\ &= 1 \text{ Liter} \times 12 \text{ mol/liter} \\ &= 12 \text{ Mol} \end{aligned}$$

Dimana :

n = Jumlah mol zat tersebut

V = Volume Larutan

M = Kemolaran Larutan

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \text{ mol} \times \text{Mr} \\ &= 12 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\ &= 480 \text{ gram} \end{aligned}$$

Mr NaOH = 40 gram/mol (Penjumlahan Ar dari senyawa dari unsur-unsur senyawa yaitu, Na=23, O=16, H=1)

- b. Menimbang padatan NaOH seberat 480 gram.  
 c. Memasukkan NaOH ke dalam labu ukur dengan kapasitas 1000cc/ liter.  
 d. Menambahkan aquades kedalam labu ukur sampai volume mencapai 1 liter.  
 e. Aduk hingga NaOH menyatu dengan aquades dan tunggu 24 jam untuk menggunakannya.  
 f. Menambahkan kebutuhan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang dibutuhkan sesuai dengan komposisi yang direncanakan.

### 3.5 Komposisi Binder Geopolimer

#### 3.5.1 Binder Geopolimer Dengan Ukuran 5cm x 5cm x 5 cm

Untuk binder geopolimer dengan ukuran 5cm x 5cm x 5 cm dilakukan pengujian kuat tekan. Dalam penelitian ini dibuat 7 komposisi antara campuran *fly-ash* dengan abu sekam padi jember dan serbuk genteng press lumajang. 7 komposisi tersebut meliputi :

- a. Natrium Hidroksida (NaOH) 12M, 100% *fly-ash* dengan 0% abu sekam padi dan 0% serbuk genteng press. Perbandingan massa Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida 2 dengan pengujian pada umur 1, 3, 7 dan 28 hari.
- b. Natrium Hidroksida (NaOH) 12M, 95% *fly-ash* dengan 5% abu sekam padi. Perbandingan massa Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida 2 dengan pengujian pada umur 1, 3,7 dan 28 hari.
- c. Natrium Hidroksida (NaOH) 12M, 90% *fly-ash* dengan 10% abu sekam padi. Perbandingan massa Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida 2 dengan pengujian pada umur 1, 3,7 dan 28 hari.
- d. Natrium Hidroksida (NaOH) 12M, 95% *fly-ash* dengan 5% serbuk genteng press. Perbandingan massa Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida 2 dengan pengujian pada umur 1, 3,7 dan 28 hari.
- e. Natrium Hidroksida (NaOH) 12M, 90% *fly-ash* dengan 10% serbuk genteng press. Perbandingan massa Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida 2 dengan pengujian pada umur 1, 3,7 dan 28 hari.
- f. Natrium Hidroksida (NaOH) 12M, 95% *fly-ash* dengan 2.5% abu sekam padi + 2.5% serbuk genteng press. Perbandingan massa Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida 2 dengan pengujian pada umur 1, 3,7 dan 28 hari.
- g. Natrium Hidroksida (NaOH) 12M, 90% *fly-ash* dengan 5% abu sekam padi + 5% serbuk genteng press. Perbandingan massa Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida 2 dengan pengujian pada umur 1, 3,7 dan 28 hari.

Tabel 3.2 Komposisi Binder Geopolimer

Jenis Binder	Komposisi Pasta Geopolimer	NaOH (Molar)	$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}}$	Jumlah
1	(100% Fly Ash) + alkalin+Pasir Ottawa	12	2	12
2	(95% Fly Ash + 5% Abu Sekam padi) + Alkalin+Pasir Ottawa	12	2	12
3	(90% Fly Ash + 10% Abu Sekam padi) + Alkalin+Pasir Ottawa	12	2	12
4	(95% Fly Ash + 5% Serbuk Genteng press) + Alkalin+Pasir Ottawa	12	2	12
5	(90% Fly Ash + 10% Serbuk Genteng press) + Alkalin+Pasir Ottawa	12	2	12
6	(95% Fly Ash + 2.5% Abu sekam padi + 2.5% Serbuk Genteng press ) + Alkalin+Pasir Ottawa	12	2	12
7	(90% Fly Ash + 5% Abu sekam padi + 5% Serbuk Genteng press ) + Alkalin+Pasir Ottawa	12	2	12
TOTAL BENDA UJI				84

### 3.5.2 Komposisi Pasta geopolimer.

#### a. Menentukan massa Semen Geopolimer

Untuk setiap pengetestan *setting time* menggunakan metode pasta berdasarkan SNI 2049 2015 yang dibutuhkan 300 gram dari 7 proporsi semen geopolimer yang berbeda-beda, antara lain :

##### 1) FA12-2 (100%)

Untuk proporsi yang pertama adalah proporsi 100% *fly ash* tanpa campuran abu sekam padi dan serbuk genteng, sebesar 300 gram *fly ash*.

##### 2) FAASP12-2 (95%+5%)

Untuk proporsi yang kedua adalah proporsi 95% *fly ash* sebesar 285 gram dan 5% abu sekam padi sebesar 15 gram.

##### 3) FAASP12-2 (90%+10%)

Untuk proporsi yang ketiga adalah proporsi 90% *fly ash* sebesar 270 gram dan 10% abu sekam padi sebesar 30 gram.

##### 4) FASG12-2 (95%+5%)

Untuk proporsi yang keempat adalah proporsi 95% *fly ash* sebesar 285 gram dan 5% serbuk genteng sebesar 15 gram.

## 5) FASG12-2 (90%+10%)

Untuk proporsi yang kelima adalah proporsi 90% *fly ash* sebesar 270 gram dan 10% serbuk genteng sebesar 30 gram.

## 6) FAASPSG12-2 (95%+2,5%+2,5%)

Untuk proporsi yang keenam adalah proporsi 95% *fly ash* sebesar 285 gram dan 2,5% abu sekam padi sebesar 7,5 gram serta serbuk genteng sebesar 7,5 gram.

## 7) FAASPSG12-2 (90%+5%+5%)

Untuk proporsi yang keenam adalah proporsi 90% *fly ash* sebesar 270 gram dan 5% abu sekam padi sebesar 15 gram serta serbuk genteng sebesar 15 gram.

## b. Menentukan massa aktifator.

Penggunaan massa aktifator sebesar 48.5% dari perbandingan massa binder yang menjadi pengganti air, karena pada SNI 2049: 2015 diberikan kebutuhan air sebesar 48.5% dari faktor air semennya.

$$\begin{aligned}\text{Massa Aktifator} &= 48,5\% \times \text{massa 1 binder} \\ &= 0,485 \times 300 \text{ gram} \\ &= 145,5 \text{ gram}\end{aligned}$$

Massa Aktifator = massa aktifator (NaOH) + massa katalisator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )  
Sodium hidroksida yang digunakan dalam penelitian ini ialah 12M dengan perbandingan massanya 2, sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa tinggi perbandingan aktifator tidak selalu memberikan kuat tekan yang tinggi pula. Pada penelitian sebelumnya juga disebutkan pengaruh NaOH terhadap *setting time* pada beton yakni semakin tinggi nilai aktivator NaOH yang diberikan, maka semakin cepat *finish setting time* nya (Ekaputri, Triwulan dan Adiningtyas, 2007). Untuk menentukan berapa besar massa yang dibutuhkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH maka digunakan logika perbandingan sebagai berikut :

$$\text{Perbandingan } \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH} = 2$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 2 &\longrightarrow 2 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 \\ 145,5 \text{ gram} &= \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 \\ 145,5 \text{ gram} &= \text{NaOH} + 2 \text{ NaOH} \\ 145,5 \text{ gram} &= 3 \text{ NaOH} \\ \text{NaOH} &= 145,5 \text{ gram} : 3 \\ &= 48,5 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 48,5 \text{ gram} \times 2 = 97 \text{ gram}$$

Sehingga dibutuhkan massa NaOH sebanyak 48,5 gram dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebanyak 97 gram untuk 1 binder dengan kalkulasi senyawa alkali sebesar 145,5 gram dan perbandingan 48,5% dari massa 1 binder pasta geopolimer.

### 3.5.3 Komposisi Mortar geopolimer.

Untuk komposisi mortar dalam penelitian ini diambil pada SNI 2049 2015 (Semen Portland) yang digunakan sebagai acuan kuat tekan antara lain :

Tabel 3.3 Komposisi Mortar

Material	Jumlah Benda Uji	
	6	9
Semen (gram)	500	740
Pasir (gram)	1375	2035
Air (ml)		
- Portland	242	359
- Portland yang mengandung udara	230	340
- Lain-lain (dengan laju alir 110±5)	...	...

Sumber: SNI 2049-2015

Pada penelitian ini akan dibuat 7 proporsi semen geopolimer yang berbeda-beda, dengan jumlah pasir Ottawa yang mengacu pada tabel diatas dan jumlah air yang diganti dengan senyawa alkali (perbandingan senyawa alkalin dengan semen geopolimer 0,485).

a. Menentukan Massa Semen Geopolimer

Pada bagian ini dibuat 7 proporsi semen geopolimer yang berbeda-beda antara lain:

1) FA12-2 (100%)

Proporsi pertama semen geopolimer untuk mortar adalah 100% *fly ash* sebesar 740 gram (9 benda uji).

2) FAASP12-2 (95%+5%)

Proporsi kedua semen geopolimer untuk mortar adalah 95% *fly ash* sebesar 703 gram dan abu sekam padi 5% sebesar 37 gram (9 benda uji).

3) FAASP12-2 (90%+10%)

Proporsi ketiga semen geopolimer untuk mortar adalah 90% *fly ash* sebesar 666 gram dan abu sekam padi 10% sebesar 74 gram (9 benda uji).

4) FASG12-2 (95%+5%)

Proporsi keempat semen geopolimer untuk mortar adalah 95% *fly ash* sebesar 703 gram dan serbuk genteng 5% sebesar 37 gram (9 benda uji).

5) FASG12-2 (90%+10%)

Proporsi kelima semen geopolimer untuk mortar adalah 90% *fly ash* sebesar 666 gram dan serbuk genteng 10% sebesar 74 gram (9 benda uji).

6) FAASPSG12-2 (95%+2,5%+2,5%)

Proporsi keenam semen geopolimer untuk mortar adalah 95% *fly ash* sebesar 703 gram, dan abu sekam padi 2,5% sebesar 18,5 gram serta serbuk genteng 2,5% sebesar 18,5 gram (9 benda uji).

7) FAASPSG12-2 (90%+5%+5%)

Proporsi keenam semen geopolimer untuk mortar adalah 90% *fly ash* sebesar 666 gram, dan abu sekam padi 5% sebesar 37 gram serta serbuk genteng 5% sebesar 37 gram (9 benda uji).

b. Menentukan Massa Alkalin

Penggunaan massa aktifator sebesar 48.5% dari perbandingan massa semen geopolimer yang menjadi pengganti air, karena pada SNI 2049: 2015 diberikan kebutuhan air sebesar 48.5% dari faktor air semennya.

Massa Aktifator = 48,5% x massa semen geopolimer

$$= 0.485 \times 740 \text{ gram}$$

$$= 358,9 \text{ gram (9 benda uji)}$$

Massa Aktifator = massa aktifator (NaOH) + massa katalisator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  : NaOH = 2

$$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}} = 2 \longrightarrow 2 \text{ NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$358,9 \text{ gram} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$358,9 \text{ gram} = \text{NaOH} + 2 \text{ NaOH}$$

$$358,9 \text{ gram} = 3 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = 358,5 \text{ gram} : 3$$

$$= 119,63 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 119,63 \text{ gram} \times 2 = 239,27 \text{ gram}$$

Sehingga dibutuhkan massa NaOH sebanyak 119,63 gram dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebanyak 239,27 gram untuk 9 benda uji mortar dengan kalkulasi senyawa alkali sebesar 358,9 gram dan perbandingan 48,5% dari massa senyawa alkalin dan semen geopolimer.

### 3.6 Pengujian Bahan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian bahan yang berdasarkan SNI untuk mendapatkan karakteristik dari setiap bahan yang digunakan sebagai campuran dari semen geopolimer, dengan pengujian yang meliputi sebagai berikut :

#### a. Pengujian Semen Geopolimer

Pengujian semen geopolimer dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari semen geopolimer yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam penelitian digunakan standar pengujian sebagai berikut:

1) Berat Volume Semen Geopolimer (SNI 03-4804-1998).

2) Berat Jenis Semen Geopolimer (SNI 15-2531-2004).

b. Pengujian Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat halus yang digunakan dalam penelitian berdasarkan SNI yang sudah ada. Pengujian tersebut meliputi :

- 1) Berat Volume Pasir (SNI 03-4804-1998).
- 2) Berat Jenis Pasir (SNI 1970-2008).
- 3) Kelembaban Pasir (SNI 1970-2008).
- 4) Kadar Resapan (SNI 1970-2008).
- 5) Analisa Saringan Pasir (SNI 03-1968-1990).
- 6) Kadar Lumpur (SNI 03-1750-1990).

### 3.7 Membuat Binder Geopolimer

Untuk pengujian waktu ikat semen, digunakan metode pasta, sedangkan untuk pengujian kuat tekan digunakan metode mortar untuk setiap campurannya dan akan dibuat 3 benda yang berbentuk kubus berukuran 50 mm sisi sesuai dengan prosedur SNI 2049 2015. Pengujian akan dilakukan pada umur 1, 3, 7 dan 28 hari sehingga total benda uji 84 buah. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan ialah sebagai berikut :

#### 3.7.1 Peralatan

- a. Loyang atau Cawan
- b. Timbangan digital
- c. Cetakan berbentuk 50 mm sisi.
- d. Ayakan no.200
- e. Cetokan
- f. Timba
- g. Oven
- h. Jarum vicat untuk pengujian waktu ikat awal

- i. Cetakan benda uji berbentuk kerucut terpacung, tersebut dari karet keras dengan ukuran :

Diameter dasar : 70 mm

Diameter atas : 60 mm

Tinggi : 40 mm

- j. Sendok perata  
k. Stop watch  
l. Bekisiting yang tidak menyerap air

### 3.7.2 Bahan

- a. Aquades ( $H_2O$ )  
b. Padatan Sodium Hidroksida (NaOH)  
c. Cairan Sodium Silikat ( $Na_2SiO_3$ )  
d. *Fly-ash*  
e. Abu sekam padi  
f. Serbuk genteng press  
g. Pasir ottawa

### 3.7.3 Alat Uji Binder

- a. Timbangan digital  
b. Alat vicat  
c. Mesin uji kuat tekan

### 3.7.4 Data – Data Komposisi Binder Geopolimer

Komposisi untuk 1 binder geopolimer yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 3.4 Komposisi Pasta Geopolimer

<b>Nama Binder Geopolimer</b>	<b>Abu Terbang (<i>fly Ash</i>) (gram)</b>	<b>Abu Sekam Padi (gram)</b>	<b>Abu Serbuk Genteng (gram)</b>	<b>Larutan NaOH (gram)</b>	<b>Larutan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (gram)</b>
FA12-2(100%)	300	-	-	48.5	97
FAASP12-2 (95%+5%)	285	15	-	48.5	97
FAASP12-2 (90%+10%)	270	30	-	48.5	97
FASG12-2 (95%+5%)	285	-	15	48.5	97
FASG12-2 (90%+10%)	270	-	30	48.5	97
FAASPSG12-2 (95%+2.5%+2.5%)	285	7.5	7.5	48.5	97
FAASPSG12-2 (90%+5%+5%)	270	15	15	48.5	97

Tabel 3.5 Komposisi Mortar Geopolimer

<b>Nama Binder Geopolimer</b>	<b>Pasir Ottawa (gram)</b>	<b>Abu Terbang (<i>fly Ash</i>) (gram)</b>	<b>Abu Sekam Padi (gram)</b>	<b>Abu Serbuk Genteng (gram)</b>	<b>Larutan NaOH (gram)</b>	<b>Larutan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (gram)</b>
FA12-2(100%)	226.11	82.22	-	-	13.30	26.59
FAASP12-2 (95%+5%)	226.11	78.11	4.11	-	13.30	26.59
FAASP12-2 (90%+10%)	226.11	73.99	8.23	-	13.30	26.59
FASG12-2 (95%+5%)	226.11	78.11	-	4.11	13.30	26.59
FASG12-2 (90%+10%)	226.11	73.99	-	8.23	13.30	26.59
FAASPSG12-2 (95%+2.5%+2.5%)	226.11	78.11	2.06	2.06	13.30	26.59
FAASPSG12-2 (90%+5%+5%)	226.11	73.99	4.11	4.11	13.30	26.59

### 3.7.5 Prosedur Pembuatan Benda Uji

Berikut adalah langkah-langkah membuat binder geopolimer untuk pengujian sebagai berikut :

#### a. Pembuatan Pasta Geopolimer

- 1) Siapkan cairan NaOH yang sudah dilarutkan, kemudian ditimbang sesuai komposisi dari setiap pengujian.
- 2) Siapkan cairan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , lalu timbang sesuai kebutuhan pengujian.
- 3) Campurkan antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH untuk memudahkan pegadukan.
- 4) Siapkan *fly-ash*, abu sekam padi, serbuk genteng press (semen geopolimer) lolos saringan 200, kemudian timbang sesuai kebutuhan.
- 5) Campur bahan semen geopolimer sesuai komposisi, lalu tambahkan senyawa alkalin yang sudah disiapkan dengan rasio perbandingan senyawa alkalin dan semen geopolimer adalah 48,5%. Rumus yang digunakan adalah

$$W = \frac{W_a}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana :

- W = Kadar senyawa pasta  
 W<sub>a</sub> = Berat senyawa alkalin (gram)  
 W<sub>s</sub> = Berat semen geopolimer (gram)

- 6) Setelah semua bahan tercampur, lalu aduk bahan tersebut hingga menjadi campuran yang homogen atau membentuk pasta semen ± 2 menit.
- 7) Masukkan pasta geopolimer (*fresh paste*) kedalam cetakan vicat yang telah disiapkan.

#### b. Pembuatan Mortar Geopolimer

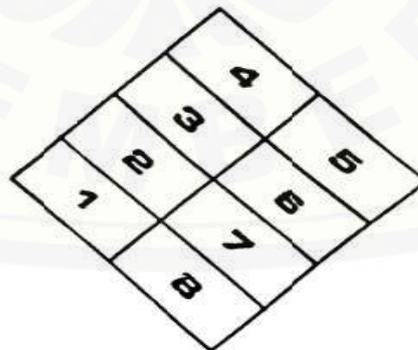
- 1) Siapkan bekisiting berukuran 50 mm sisi dengan syarat bekisiting tersebut tidak menyerap air atau cairan sesuai dengan prosedur pada SNI 2049 2015. Lalu olesi bagian dalam bekisiting dengan oli atau sejenisnya untuk memudahkan pelepasan mortar geopolimer.

- 2) Siapkan cairan NaOH yang sudah dilarutkan, kemudian ditimbang sesuai komposisi dari setiap pengujian.
- 3) Siapkan cairan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , lalu timbang sesuai kebutuhan pengujian.
- 4) Campurkan antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH untuk memudahkan pegadukan.
- 5) Siapkan pasir ottawa, lalu timbang sesuai kebutuhan pengujian kuat tekan.
- 6) Siapkan *fly-ash*, abu sekam padi, serbuk genteng press (semen geopolimer) lolos saringan 200, kemudian timbang sesuai kebutuhan.
- 7) Campurkan antara pasir ottawa dengan semen geopolimer sesuai komposisi, lalu tambahkan senyawa alkalin yang sudah disiapkan.
- 8) Setelah semua bahan tercampur, lalu aduk bahan tersebut hingga menjadi campuran yang homogen atau membentuk pasta semen  $\pm 3$  menit.
- 9) Siapkan meja alir dan bersihkan bagian atasnya. Letakkan cetakan alir yang tingginya 50 mm ditengahnya dan isi dengan mortar geopolimer yang sudah dibuat dengan ketebalan pengisian  $\pm 25$  mm. Lalu tumbuk sebanyak 20 kali dengan penumbuk. Tekanan penumbuk harus diatur sedemikian rupa sehingga cukup mengisi bagian cetakan serba sama.
- 10) Kemudian isi kembali cetakan alir dengan mortar baru dan tumbuk seperti lapisan pertama. Iris permukaan mortar agar mendapat permukaan yang rata dengan menggunakan sisi yang lurus dari pisau aduk yang digerakkan seperti gergaji bagian atas cetakan.
- 11) Setelah mortar selesai diratakan, tunggu hingga 1 menit setelah pengerjaan. Angkat cetakan alir lalu turunkan meja setinggi 13 mm sebanyak 25 kali dalam waktu 15 detik.

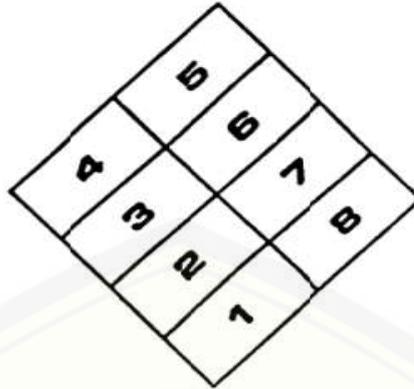


Gambar 3.4 Meja alir

- 12) Ukurlah diameter dari mortar, lalu ukur minimal 4 kali pengukuran dengan rata-rata nilai diameter alir  $110 \pm 5$  mm.
- 13) Campur kembali sisa mortar dan mortar yang telah diuji pada meja alir hingga menjadi satu campuran, lalu masukkan mortar ke bekisting yang sudah disiapkan sebelumnya.
- 14) Isi bekisting mortar setebal  $\pm 25$  mm dengan perkiraan setengah dari kedalaman cetakan. Tumbuk mortar sebanyak empat kali delapan (32 tumbukan) dalam waktu  $\pm 10$  detik. Jika sudah selesai isilah bekisting kubus lalu tumbuk seperti pada lapisan pertama. Setelah selesai, ratakan permukaan mortar dengan dengan pisau aduk dengan gerakan menggergaji sepanjang cetakan.



Gambar 3.5 Urutan Tumbukan Kesatu dan Ketiga



Gambar 3.6 Urutan Tumbukan Kedua dan Keempat

- 15) Diamkan mortar selama 24 jam di ruangan yang sejuk, lalu buka bekisting mortar dengan hati-hati, kemudian diamkan mortar pada ruangan untuk proses perawatan (*curing*) sesuai dengan pengujian yang telah direncanakan.

### 3.8 Perawatan Binder Geopolimer (*curing*)

Setiap pembuatan mortar yang baik dan berstandart tidak akan pernah luput dari perawatan. Perawatan ialah suatu cara untuk mencegah penguapan air yang berlebihan pada binder atau benda uji, karena kandungan air dalam binder sangat mempengaruhi kuat tekan yang dimilikinya. Perawatan dalam penelitian ini ialah dengan membiarkannya dalam ruangan yang sejuk selama 1, 3, 7 dan 28 hari, lalu binder tersebut akan diuji dengan suhu rata-rata ruangan  $\pm 26^{\circ}\text{C}$ .

### 3.9 Tes Waktu Pengerasan (*Setting Time*)

Pada subbab ini dijelaskan cara untuk melakukan tes waktu pengerasan (*Setting Time*) sesuai dengan SNI 2049 2015 dengan tujuan mendapatkan nilai waktu ikat awal dan akhir pada semen geopolimer. Berat benda uji yang disyaratkan adalah 300 gram. Langkah-langkah yang harus dipersiapkan sebagai berikut :

Waktu ikat awal ditentukan dari grafik penetrasi waktu, yaitu waktu dimana penetrasi jarum vicat mencapai nilai 25 mm, sedangkan untuk waktu ikat akhir ditandai dengan tidak ada penurunan pada jarum vicat atau penurunan 0 mm.

- a. Prosedur pengujian sebagai berikut
  - 1) Masukkan pasta geopolimer ke cetakan vicat yang sudah disiapkan sebelumnya. Lalu letakkan jarum vicat ditengah pasta geopolimer.
  - 2) Turunkan jarum secara perlahan-lahan untuk mencegah bengkoknya jarum vicat dan catatlah hasil penurunan dengan rentang waktu per 5 menit.
  - 3) Setelah 5 menit, baca dan catat hasil penurunannya, lalu angkat jarum vicat kemudian bersihkan sisa pasta geopolimer yang menempel pada jarum.
  - 4) Lalu letakkan jarum vicat dengan jarak antar titik penetrasi tidak kurang 10 mm dan 5 mm terhadap dinding bagian dalam cetakan.
  - 5) Lakukan test hingga sampai waktu ikat akhir atau penurunan jarum vicat 0 mm.
  - 6) Bersihkan benda uji terhadap cetakan, lalu buatlah grafik penurunan jarum vicat terhadap waktu dan tentukan waktu ikat awalnya.

### **3.10 Tes Kuat Tekan Binder Geopolimer (*Streght Compresive*)**

Kuat tekan adalah nilai tahanan yang dimiliki oleh binder geopolimer. Dalam penelitian ini digunakan tes kuat tekan pada umur 1, 3, 7 dan 28 hari. Untuk setiap tes kuat dilakukan akan dibuat 3 benda uji dari setiap komposisi semen geopolimer, sehingga total benda uji sebanyak 84 buah.

Tes kuat tekan dilakukan di laboatorium Teknik Sipil Patrang Universitas Jember. Adapun tahapan-tahapannya sebagai berikut :

- a. Ambil benda uji yang sudah mengalami perawatan.
- b. Catatlah disetiap berat yang di hasilkan, lalu diambil rata-rata dari benda uji tersebut.

- c. Tentukan 2 bagian yang bertolak belakang dan yang paling rata untuk menghasilkan kuat tekan yang optimal.
- d. Letakkan binder ditengah alat tes kuat tekan.
- e. Mulailah pengujian hingga mortar mengalami retak-retak dan hentikan alat pengujian kuat tekan ketika berbunyi serta nilai rasio pada alat menunjukkan angka minus.
- f. Bersihkan hasil sisa pengujian kuat tekan dan lakukan langkah pengujian mortar dengan proporsi semen geopolimer selanjutnya.

Nilai kuat tekan dapat juga diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F_{ci} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$F_{cr} = \frac{\sum_{i=0}^n F_{ci}}{N} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana :

P = Beban maksimum (N).

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

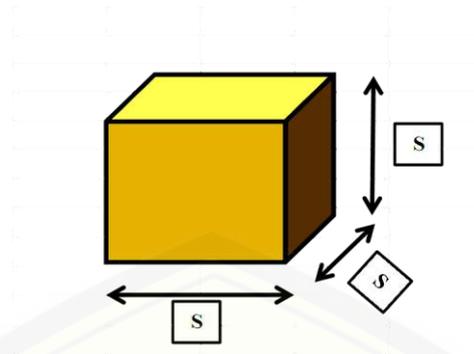
f<sub>ci</sub> = Nilai kuat tekan beton per benda uji (Mpa).

f<sub>cr</sub> = Nilai kuat tekan beton rata-rata (Mpa).

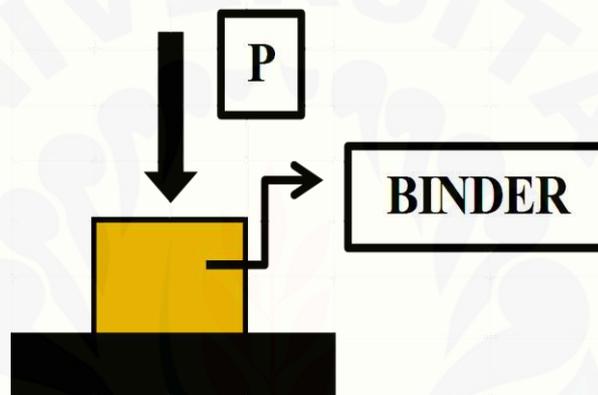
N = Jumlah benda uji.



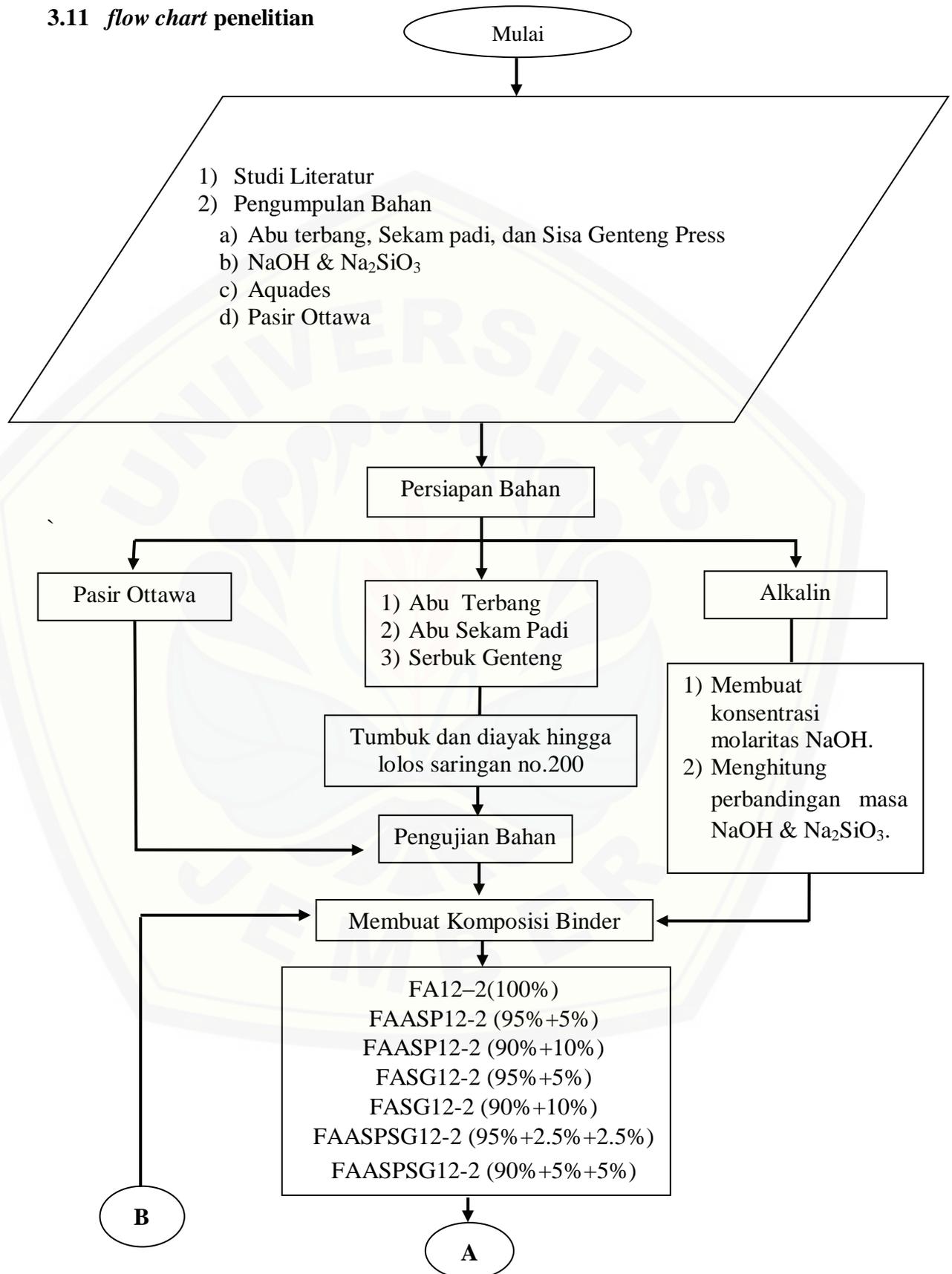
Gambar 3.7 Alat Uji Kuat Tekan

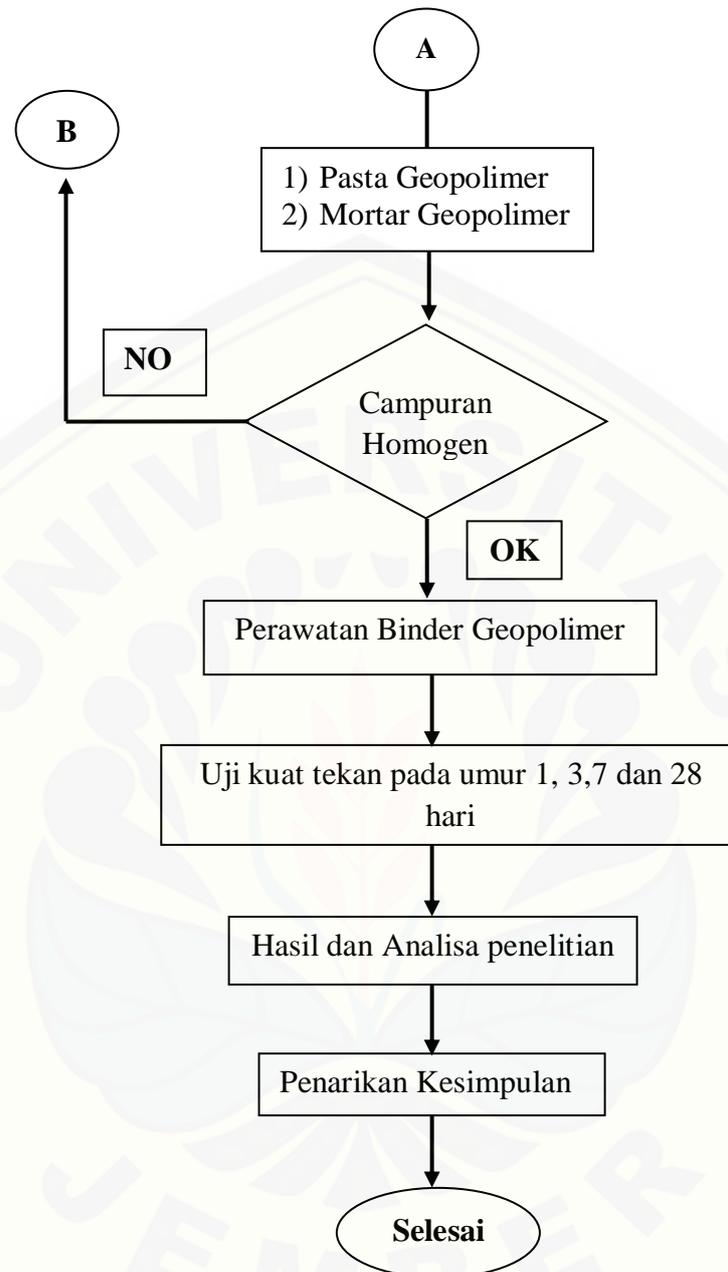


Gambar 3.8 Pemodelan Binder



Gambar 3.9 Pemodelan Tes Kuat Tekan Binder

3.11 *flow chart penelitian*



## BAB 5. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan secara umum terhadap kesimpulan dan saran penelitian yang meliputi analisa pengujian bahan yang digunakan, uji waktu ikat proporsi semen geopolimer, dan tes kuat tekan mortar geopolimer.

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap pemanfaatan *fly ash*, abu sekam padi dan serbuk genteng press untuk semen geopolimer didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Dari hasil pembuatan pasta dan mortar geopolimer, didapatkan hasil campuran yang homogen serta diperoleh hasil laju alir 111,5-114,5 mm untuk pembuatan mortar geopolimer.
- b. Komposisi semen geopolimer yang unggul pada umur 28 hari diperoleh oleh 100% *fly ash*.
- c. Hasil uji kuat tekan didapatkan hasil bahwa 100% *fly ash* lolos atau dapat menjadi alternatif penggunaan untuk tipe semen portland I, II, IV, V dan untuk penambahan abu sekam padi terhadap *fly ash* lolos untuk tipe semen portland II, IV, V sedangkan untuk penambahan serbuk genteng prees terhadap *fly ash* dan penambahan keduanya (abu sekam padi dan serbuk genteng press) lolos atau dapat menjadi alternatif penggunaan untuk tipe semen portland I, II, IV dan V.

## 5.2 Rekomendasi

Adapun saran yang diberikan peneliti untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Menggunakan APBD yang sesuai, karena penggunaan senyawa alkalin cukup berbahaya.
- b. Menganalisis syarat fisika utama lanjutan semen geopolimer yang meliputi uji kehalusan dan kekekalan.
- c. Menganalisis syarat kimia utama dari setiap proporsi semen geopolimer.
- d. Digunakan abu sekam padi yang dibakar sendiri dengan suhu  $650^{\circ}\text{C}$ - $850^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 3$  jam untuk menghasilkan senyawa silika  $91\pm 3$  dari masanya.
- e. Diterapkan untuk pembuatan beton di setiap proporsi.
- f. Menganalisa anggaran biaya dari pembuatan semen geopolimer.
- g. Menambahkan *Retarding Admixtures* (Tipe B) pada semen geopolimer yang bertujuan untuk menghambat proses pengikatan.

**DAFTAR PUSTAKA**

Abadi, Muhammad Lukman. 2017. Pemanfaatan Limbah Genteng dan Kapur sebagai *CEMENTITIOUS* pada Beton Ringan Non-Struktural. *Skripsi Program Sarjana*. Jember: Teknik Sipil Universitas Jember.

Anam, M Samsul., dan Wawan Trianto. 2013. Pengaruh Penggunaan Bone Ash dan Rice Husk Ash Terhadap Sifat Mekanis Pasta Semen. *Konferensi Nasional Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret*. M71(1): 1-9.

ASTM C-618 05, 2005. *Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International. United States : 2005.

ASTM C-128. *Standar Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM International. United States : 2005.

ASTM C-33. *Standar Test Method for Resistance of Overglaze Decorations to Attack by Detergents*. ASTM International. United States : 2005.

ASTM C-556. *Standar Test Method for Resistance of Overglaze Decorations to Attack by Detergents*. ASTM International. United States : 2005.

B, Hanif Nurul Ardi., Triwulan., dan Januarti Jaya Ekaputri. 2013. Pasta geopolimer ringan berserat berbahan dasar lusi dan fly ash dengan perbandingan 1:3 dan pengembang foam, *Jurnal Teknik Pomits*. 1(1): 1-6.

Bakrie. 2008. Komponen kimia dan fisika abu sekam padi sebagai SCM untuk pembuatan komposit semen. *Jurnal Perennial*. 5(1) : 9-14.

British Standart C-128. 2013. *Aggregates for Concrete*. Hong Kong: The Government of The Hong Kong Special Administrative Region.

Davidovits, Joseph.1994. Properties of Geopolymer Cements. *Proceeding at First International Conference on Alkaline Cements and Concretes. Kiev, Ukraine*. 131-149.

Diedrick, Dave., dan Lafarge. 2008. Quality Assurance & Transportation of CCP's. <https://www.google.co.id/search?ei=QdB> [Diakses 12 November 2017].

Ekaputri, Januarti Jaya., dan Triwulan. 2013. Sodium sebagai Aktivator fly-ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam beton Geopolimer, *Jurnal Teknik Sipil. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember*. 20(3): 1-10.

Hardjito, D., dan B.V. Rangan. 2005. *Development and Properties of Low-Calcium fly-ash based Geopolimer Concrete*. Australia: Faculty of Engineering Curtin University of Technology.

Hutajulu, Romasta. 2010. Studi Literatur pengaruh perbandingan faktor air-Prekursor terhadap kuat tekan beton. *Skripsi*. Depok: Teknik Sipil Depok Universitas Indonesia.

Ilmiah, Rihnatul .2017. Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi sebagai Pozzolan pada binder Geopolimer menggunakan alkali aktifator Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) serta Sodium Hidroksida (NaOH). *Proyek Akhir Terapan*. Surabaya: Program Diploma IV Teknik Sipil dan perencanaan Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Kustantiyo, Mohammad Fahad. 2017. Pemanfaatan Abu Ampas Tebu dan Abu Sekam Padi sebagai *Pozzolan* dengan Agregat Kasar Batu Skoria pada Beton Ringan Struktur. *Skripsi Program Sarjana*. Jember: Teknik Sipil Universitas Jember.
- Lianasari, Angelina Eva., Anggun Tri Atmajayanti., Bernadus Henri Efendi dan Nico Parulian Sitindaon. 2014. Pengaruh Penggunaan Solid Material Abu Terbang Dan Abu Sekampada Kuat Tekan Beton Geopolimer, *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta* 4: 1-7.
- Manuahe, Riger., Martin D. J. S. dan Reky S.W. 2014. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar. *Jurnal Sipil Statik*. 2(6): 277-282.
- Nugraha, Paul., dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton dari Material, pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta : C.V ANDI OFFSET.
- Pujianto, As'at., Anzila NA., Martyana DC ., dan Hendra. 2013. Kuat tekan beton Geopolimer dengan bahan utama bubuk lumpur Lapindo dan Kapur (155M). *Konferensi Nasional Teknik Sipil* 7. 1: 129-136.
- Ridwan, Mohammad. 2017. Pembuatan Paving Block dengan bahan campur serbuk genteng press kunir Lumajang sebagai pengganti Semen. *Proyek Akhir Program Diploma III*. Jember: Teknik Sipil Universitas Jember.
- Risdanareni, Puput., Triwulan., dan Januarti Jaya Ekaputri. 2014. Pengaruh Molaritas aktivator alakalin terhadap kuat mekanik beton Geopolimer dengan Trass sebagai pengisi. *Seminar Nasional X-2014*. 2: 847-856.
- SK. Standart Nasional Indonesia 03-4804-1998. *Metode Pegujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.

- SK. Standart Nasional Indonesia 03-6827-2002. *Metode pengujian waktu ikat awal semen portland dengan menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 06-6867-2002. *Spesifikasi Abu terbang dan Pozzolan lainnya untuk digunakan dengan kapur*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 15-2531-1991. *Metode Pegujian Berat Jenis Semen Portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 1970-2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 2847-2013. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 03-2834-1993. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia T-15-1990-03. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 03-1968-1990. *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.

- SK. Standart Nasional Indonesia 15-7064-2004. *Semen Portland komposit*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 2049-2015. *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 03-1750-1990. *Agregat Beton, Mutu dan Cara Uji*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- SK. Standart Nasional Indonesia 03-6815-2002. *Tata Cara Mengevaluasi Hasil Uji Kekuatan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Jakarta.
- Subekti, Srie. 2012. Analisis Proporsi Limbah Fly Ash Paiton Dan Tjiwi Kimia Terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer: *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW) 11 Juli 2012*, ISSN 2301-6752. Diploma Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS): 11-30.
- Sumajouw, Marthin D.J., dan Servie O. Dapas. 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Yogyakarta : C.V ANDI OFFSET.
- Suseno, Hendro., Edhi Wahyuni S., dan Budi Hariono. 2008. Pengaruh Variasi Campuran dan Penambahan *Superplasticizer* terhadap Slump, Berat Isi dan Kuat Tekan Beton Ringan Struktural Beragregat Batuan *Andesit Piroksen*. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Volume 2(3): 241-253.
- Triwulan., Januarti Jaya Ekaputri., dan Tami Adiningtyas. 2007. Analisa sifat mekanik beton Geopolimer berbahan dasar fly-ash dan lumpur porong kering sebagai pengisi. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*. 3(2): 1-13.

Wangsadinata, Wiratman. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.*, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung : 1971.



## Lampiran Praktikum 1

### 1. Pengujian Bahan

Tabel 1. Data Volume Mold Pasir

Data Volume Mold Pasir				Satuan
D	=	1.	22.75	cm
		2.	22.19	cm
		3.	21.90	cm
		$\Sigma$	22.28	cm
t	=	1.	25.44	cm
		2.	25.43	cm
		3.	25.46	cm
		$\Sigma$	25.44	cm
V	=		9923.59	cm <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 2. Berat Volume Pasir Ottawa

Percobaan Nomor	Tanpa Rojokan			Dengan Rojokan			Satuan
	1	2	3	1	2	3	
Berat Silinder (W1)	7115	7115	7115	7115	7115	7115	gram
Berat Silinder + Pasir (W2)	21500	21300	21440	22500	22510	22470	gram
Berat Pasir ( W2 - W1 )	14385	14185	14325	15385	15395	15355	gram
Volume Silinder (V)	9923.59	9923.59	9923.59	9923.59	9923.59	9923.59	cm <sup>3</sup>
Berat Volume (BV=(W2-W1)/V)	1.44958	1.42942	1.44353	1.55035	1.55135	1.54732	gram/cm <sup>2</sup>
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	=	1.44084	g/cm <sup>3</sup>	$\Sigma$	=	1.54967	g/cm <sup>3</sup>
	=	1440.84	kg/m <sup>3</sup>		=	1549.67	kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 3. Berat Jenis Pasir Ottawa

Percobaan Nomor	1	2	3	Satuan
Berat Picnometer + Pasir + Air (W2)	164.97	164.87	166.79	gram
Berat Pasir SSD (W1)	50	50	50	gram
Berat Picnometer + Air (W3)	133.56	133.72	135.65	gram
Berat Jenis Pasir (BJ)	2.689	2.653	2.651	-
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )			2.664	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 4. Kelembaban Pasir Ottawa

Percobaan Nomor	1	2	3	Satuan
Berat Pasir Asli (W1)	250	250	250	gram
Berat Pasir Oven (W2)	249.9	249.7	249.6	gram
Kelembaban Pasir (%)	0.040	0.120	0.160	-
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	0.107			

*Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)*

Tabel 5. Kadar Resapan Pasir Ottawa

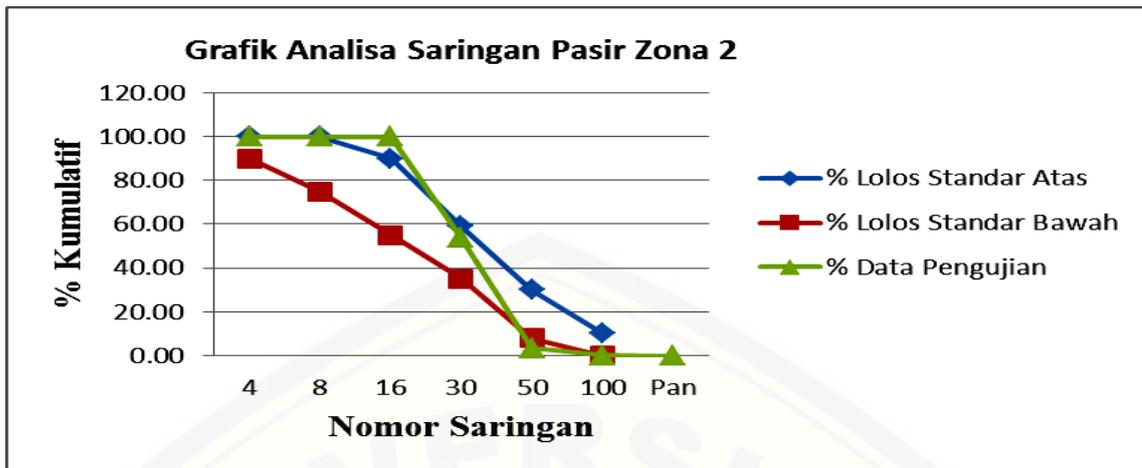
Percobaan Nomor	1	2	3	Satuan
Berat Pasir Asli (W1)	100	100	100	gram
Berat Pasir Oven (W2)	99.8	99.7	99.7	gram
Resapan Pasir (%)	0.200	0.301	0.301	
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	0.267			

*Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)*

Tabel 6. Hasil Uji Analisa Saringan Agregat Halus (SNI 03-1968-1990)

Saringan Nomor	Mm	Berat Saringan	Saringan+Pasir	Berat Pasir Tertinggal		% Kumulatif		Spesifikasi Zona 2
				Gram	%	Tinggal	Lolos	
4	4.76	427.1	427.1	0.00	0.00	0.00	100.00	90 - 100
8	2.38	364.9	364.9	0.00	0.00	0.00	100.00	75 - 100
16	1.19	401.8	401.8	0.00	0.00	0.00	100.00	55 - 90
30	0.59	401.4	864.9	463.50	46.35	46.35	53.65	35-59
50	0.30	389.7	891.6	501.90	50.19	96.54	3.46	8,-30
100	0.15	394.5	427.0	32.50	3.25	99.79	0.21	0-10
Pan	0.00	440.2	442.3	2.10	0.21	100.00	0.00	-
Jumlah				1000				

*Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)*

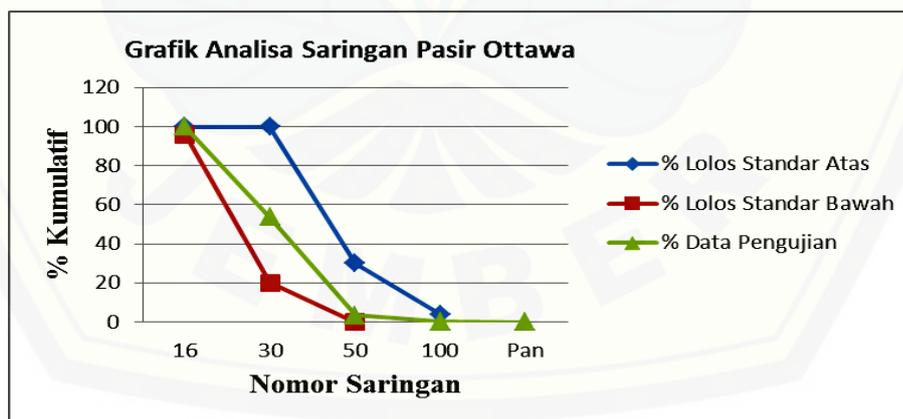


Gambar 1. Analisa Saringan Pasir Zona 2

Tabel 7. Hasil Uji Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Ottawa) SNI 2049-2015

Saringan Nomor	Mm	Berat Saringan	Saringan+Pasir	Berat Pasir Tertinggal		% Kumulatif		Spesifikasi Pasir Ottawa
				Gram	%	Tinggal	Lolos	
16	1.19	401.8	401.8	0.00	0.00	0.00	100.00	100
30	0.59	401.4	864.9	463.50	46.35	46.35	53.65	96-100
50	0.30	389.7	891.6	501.90	50.19	96.54	3.46	20-30
100	0.15	394.5	427.0	32.50	3.25	99.79	0.21	0-4
Pan	0.00	440.2	442.3	2.10	0.21	100.00	0.00	-
Jumlah				1000				

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)



Gambar 2. Analisa Saringan Pasir Ottawa

Tabel 8. Kadar Lumpur Pasir Ottawa

Percobaan Nomor	1	2	3
Tinggi Lumpur + Agregat Halus (ml)	180	180	180
Tinggi Agregat Halus (ml)	179.5	179.2	179.4
Tinggi Lumpur (ml)	0.5	0.8	0.6
Kadar Lumpur (%)	0.278	0.444	0.333
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	0.352		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 9. Data Volume Mold Semen Geopolimer

Data Volume Mold Semen				Satuan
D	=	1.	15.21	cm
		2.	15.22	cm
		3.	15.25	cm
		$\Sigma$	15.22667	cm
t	=	1.	16.98	cm
		2.	16.92	cm
		3.	16.85	cm
		$\Sigma$	16.91667	cm
V	=	3081.691	cm <sup>3</sup>	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 10. Berat Volume Semen Portland

Percobaan Nomor	Tanpa Rojokan			Dengan Rojokan			Satuan
	1	2	3	1	2	3	
Berat Silinder (W1)	6830	6830	6830	6830	6830	6830	gram
Berat Silinder + Semen (W2)	10150	10080	10170	10480	10400	10450	gram
Berat SM ( W2 - W1 )	3320	3250	3340	3650	3570	3620	gram
Volume Silinder (V)	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	cm <sup>3</sup>
Berat Volume (BV=(W2-W1)/V)	1.077331	1.0546157	1.08382	1.184415	1.158455	1.17468	gram/cm <sup>2</sup>
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	=	1.0719222	g/cm <sup>3</sup>	$\Sigma$	=	1.172516	g/cm <sup>3</sup>
	=	1071.9222	kg/m <sup>3</sup>		=	1172.516	kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 11. Berat Volume Fly Ash PLTU Paiton

Percobaan Nomor	Tanpa Rojokan			Dengan Rojokan			Satuan
	1	2	3	1	2	3	
Berat Silinder (W1)	6830	6830	6830	6830	6830	6830	gram
Berat Silinder + FA (W2)	10670	10700	10650	11013	11010	11000	gram
Berat FA ( W2 - W1 )	3840	3870	3820	4183	4180	4170	gram
Volume Silinder (V)	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	cm <sup>3</sup>
Berat Volume (BV=(W2-W1)/V)	1.2461	1.2558	1.2396	1.3574	1.3564	1.3532	gram/cm <sup>2</sup>
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	=	1.2472	g/cm <sup>3</sup>	$\Sigma$	=	1.3556	g/cm <sup>3</sup>
	=	1247.151	kg/m <sup>3</sup>		=	1355.641	kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 12. Berat Volume Abu Sekam Padi

Percobaan Nomor	Tanpa Rojokan			Dengan Rojokan			Satuan
	1	2	3	1	2	3	
Berat Silinder (W1)	6830	6830	6830	6830	6830	6830	gram
Berat Silinder + ASP (W2)	8300	8290	8310	8500	8550	8510	gram
Berat ASP ( W2 - W1 )	1470	1460	1480	1670	1720	1680	gram
Volume Silinder (V)	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	cm <sup>3</sup>
Berat Volume (BV=(W2-W1)/V)	0.4770	0.4738	0.4803	0.5419	0.5581	0.5452	gram/cm <sup>2</sup>
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	=	0.4770	g/cm <sup>3</sup>	$\Sigma$	=	0.5484	g/cm <sup>3</sup>
	=	477.0108	kg/m <sup>3</sup>		=	548.4002	kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 13. Berat Volume Serbuk Genteng Press Sebelum di oven

Percobaan Nomor	Tanpa Rojokan			Dengan Rojokan			Satuan
	1	2	3	1	2	3	
Berat Silinder (W1)	6830	6830	6830	6830	6830	6830	gram
Berat Silinder + SGP (W2)	9850	9900	9950	10270	10250	10300	gram
Berat SGP ( W2 - W1 )	3020	3070	3120	3440	3420	3470	gram
Volume Silinder (V)	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	cm <sup>3</sup>
Berat Volume (BV=(W2-W1)/V)	0.9799	0.9962	1.0124	1.1163	1.1098	1.1260	gram/cm <sup>2</sup>
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	=	0.9962	g/cm <sup>3</sup>	$\Sigma$	=	1.1174	g/cm <sup>3</sup>
	=	996.2062	kg/m <sup>3</sup>		=	1117.352	kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 14. Berat Volume Serbuk Genteng Press Sebelum di oven

Percobaan Nomor	Tanpa Rojokan			Dengan Rojokan			Satuan
	1	2	3	1	2	3	
Berat Silinder (W1)	6830	6830	6830	6830	6830	6830	gram
Berat Silinder + SGP (W2)	9900	9958	9910	10952	10950	10955	gram
Berat SGP ( W2 - W1 )	3070	3128	3080	4122	4120	4125	gram
Volume Silinder (V)	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	3081.691	cm <sup>3</sup>
Berat Volume (BV=(W2-W1)/V)	0.9962	1.0150	0.9995	1.3376	1.3369	1.338551	gram/cm <sup>2</sup>
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	=	1.0036	g/cm <sup>3</sup>	$\Sigma$	=	1.3377	g/cm <sup>3</sup>
	=	1003.561	kg/m <sup>3</sup>		=	1337.685	kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 15. Berat Jenis Fly Ash PLTU Paiton

Percobaan Nomor	Banyak Sampel		
	1	2	3
Berat Benda Uji (W) (gr)	64	64	64
Tinggi Minyak (V1) (cc)	0.4	0.4	0.55
Tinggi Minyak + FA (V2) (cc)	21.2	21.3	21.45
Volume Benda Uji (V2-V1) (cc)	20.8	20.9	20.9
Berat Jenis FA (BJ=(W/V2-V1)	3.077	3.062	3.062
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	3.07		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 16. Berat Jenis Abu Sekam Padi

Percobaan Nomor	Banyak Sampel		
	1	2	3
Berat Benda Uji (W) (gr)	64	64	64
Tinggi Minyak (V1)	0.6	0.5	0.5
Tinggi Minyak + ASP (V2) (cc)	24	24	24
Volume Benda Uji (V2-V1) (cc)	23.4	23.5	23.5
Berat Jenis ASP (BJ=(W/V2-V1)	2.735	2.723	2.723
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	2.73		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 17. Berat Jenis Serbuk Genteng Press

Percobaan Nomor	Banyak Sampel		
	1	2	3
Berat Benda Uji (W) (gr)	64	64	64
Tinggi Minyak (V1)	0.5	0.6	0.6
Tinggi Minyak + SGP (V2) (cc)	22.8	22.7	22.8
Volume Benda Uji (V2-V1) (cc)	22.3	22.1	22.2
Berat Jenis SG (BJ)=(W/V2-V1)	2.870	2.896	2.883
Jumlah Rata-rata ( $\Sigma$ )	2.88		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

## 2. Penelitian Pendahulu

### a. Komposisi Mortar

Tabel 18. Mix Desain 1

Material	1 Benda Uji	3 Benda Uji
Pasir (gram)	229.17	687.5
Fly Ash (gram)	83.33	250
Air (Portland, ml)	40.33	121
NaOH (gram)	4.81	14.44
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gram)	14.44	43.32

Tabel 19. Mix Desain 2

Material	1 Benda Uji	3 Benda Uji
Pasir (gram)	229.17	687.5
Fly Ash (gram)	114.58	343.75
Air (Portland, ml)	28.65	85.94
NaOH (gram)	9.17	27.5
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gram)	18.33	55

Tabel 20. Mix Desain 3 dan 6

Material	1 Benda Uji	3 Benda Uji
Pasir (gram)	229.17	687.5
Fly Ash (gram)	83.33	250
Air (Portland, ml)	20.83	62.5
NaOH (gram)	7.22	21.66
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gram)	14.44	43.32

Tabel 21. Mix Desain 4

<b>Material</b>	<b>1 Benda Uji</b>	<b>3 Benda Uji</b>
Pasir (gram)	229.17	687.5
Fly Ash (gram)	83.33	250
Air (Portland, ml)	40.33	121
NaOH (gram)	7.22	21.66
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gram)	14.44	43.32

Tabel 22. Mix Desain 5

<b>Material</b>	<b>1 Benda Uji</b>	<b>3 Benda Uji</b>
Pasir (gram)	229.17	687.5
Fly Ash (gram)	83.33	250
Air (Portland, ml)	0.00	0
NaOH (gram)	13.44	40.33
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gram)	26.89	80.67

Keterangan :

- 1) Mix Desain 1 = SNI 2049 2015 dengan perbandingan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH 3
- 2) Mix Desain 2 = Jurnal dari Universitas Petra
- 3) Mix Desain 3 = Sesuai Mix Desain Proposal Awal (18 Januari 2018)
- 4) Mix Desain 4 = Sesuai SNI 2049 2015 dengan Perbandingan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH 2
- 5) Mix Desain 5 = Komposisi Air diganti dengan Alkali pada SNI 2049 2015
- 6) Mix Desain 6 = Sesuai Mix Desain Proposal Awal (15 Januari 2018) dengan Bekisting Kayu

## b. Hasil Kuat Tekan

Tabel 23. Mix Desain 1 di umur 3 hari

Perawatan Mortar	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Rata- Rata (Mpa)	Konversi Ke 28 Hari (Mpa)
Direndam	0.00	25	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	25	0.00	0.00		
	0.00	25	0.00	0.00		
Tidak direndam	1.27	25	5.08	0.51	0.51	1.28
	1.23	25	4.92	0.49		
	1.34	25	5.36	0.54		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 24. Mix Desain 2 di umur 3 hari

Perawatan Mortar	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Rata- Rata (Mpa)	Konversi Ke 28 Hari (Mpa)
Direndam	2.00	25	8.00	0.80	0.79	1.97
	1.91	25	7.64	0.76		
	2.01	25	8.04	0.80		
Tidak direndam	2.70	25	10.80	1.08	0.91	2.28
	1.35	25	5.40	0.54		
	2.79	25	11.16	1.12		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 25. Mix Desain 3 di umur 3 hari

Perawatan Mortar	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Rata- Rata (Mpa)	Konversi Ke 28 Hari (Mpa)
Direndam	1.02	25	4.08	0.41	0.42	1.04
	1.00	25	4.00	0.40		
	1.10	25	4.40	0.44		
Tidak direndam	1.10	25	4.40	0.44	0.55	1.38
	1.27	25	5.08	0.51		
	1.77	25	7.08	0.71		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 26. Mix Desain 4 di umur 3 hari

Perawatan Mortar	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Rata- Rata (Mpa)	Konversi Ke 28 Hari (Mpa)
Direndam	1.02	25	4.08	0.41	0.41	1.01
	1.03	25	4.12	0.41		
	0.99	25	3.96	0.40		
Tidak direndam	0.97	25	3.88	0.39	0.48	1.19
	1.40	25	5.60	0.56		
	1.20	25	4.80	0.48		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 27. Mix Desain 5 di umur 3 hari

Perawatan Mortar	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Rata- Rata (Mpa)	Konversi Ke 28 Hari (Mpa)
Direndam	46.89	25	187.56	18.76	18.92	47.30
	47.40	25	189.60	18.96		
	47.61	25	190.44	19.04		
Tidak direndam	37.32	25	149.28	14.93	15.93	39.83
	34.98	25	139.92	13.99		
	34.57	25	138.28	13.83		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 28. Mix Desain 6 di umur 3 hari

Perawatan Mortar	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Rata- Rata (Mpa)	Konversi Ke 28 Hari (Mpa)
Direndam	1.20	25	4.80	0.48	0.51	1.28
	1.40	25	5.60	0.56		
	1.23	25	4.92	0.49		
Tidak direndam	1.31	25	5.24	0.52	0.59	1.47
	1.63	25	6.52	0.65		
	1.60	25	6.40	0.64		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Kesimpulan :

Dari penelitian pendahulu, didapatkan hasil yang optimum pada mix desain 5 dengan perawatan mortar tanpa direndam, sehingga pada penelitian ini digunakan mix desain 5 dengan perawatan mortar tidak direndam.

### 3. Hasil Uji Pengujian Waktu Ikat Pasta Geopolimer

Tabel 29 Waktu Ikat Pasta Geopolimer

Kode Binder	Waktu (menit)	Penurunan (mm)
<b>FA12-2(100%)</b>	5	40.3
	10	40
	15	17.5
	20	4.7
	25	1.5
	30	1
	35	0
<b>FAASP12-2(95%+5%)</b>	5	40.1
	10	40
	15	18
	20	5
	25	3
	30	2
	35	0.2
	40	0
<b>FAASP12-2(90%+10%)</b>	5	40.2
	10	40
	15	34.5
	20	5
	25	1.3
	30	0.6
	35	0.3
	40	0.1
	45	0
	5	40.2
	10	40
	15	18

	20	10
<b>FASG12-2(95%+5%)</b>	25	7
	30	5
	35	3.5
	40	0
	5	40.2
	10	40.1
	15	40
	20	10.5
<b>FASG12-2(90%+10%)</b>	25	2.5
	30	1.2
	35	0.5
	40	0.3
	45	0
	5	40.2
	10	40
	15	23
<b>FAASPSG12- 2(95%+2,5%+2,5%)</b>	20	5
	25	1
	30	0.5
	35	0.3
	40	0
	5	40.2
	10	40.1
	15	40
	20	13.5
<b>FAASPSG12- 2(90%+5%+5%)</b>	25	2.5
	30	1
	35	0.5
	40	0.2
	45	0

*Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)*

#### 4. Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Tabel 30. Laju Alir Mortar Geopolimer

Kode Binder	Pengukuran Laju Alir (mm)				Rata-rata (mm)	Syarat Laju Alir 110 ± 5 (SNI 2049-2015)	Keterangan Campuran Mortar
	1	2	3	4			
FA12-2(100%)	110	113	111	112	111,5	Lolos	Homogen
FAASP12-2 (95%+5%)	112	111	110	113	111,5	Lolos	Homogen
FAASP12-2 (90%+10%)	111	110	113	110	111,3	Lolos	Homogen
FASG12-2 (95%+5%)	115	112	116	115	114,5	Lolos	Homogen
FASG12-2 (90%+10%)	111	110	115	112	112,0	Lolos	Homogen
FAASPSG12-2 (95%+2.5%+2.5%)	116	121	110	111	114,5	Lolos	Homogen
FAASPSG12-2 (90%+5%+5%)	113	112	110	111	111,5	Lolos	Homogen

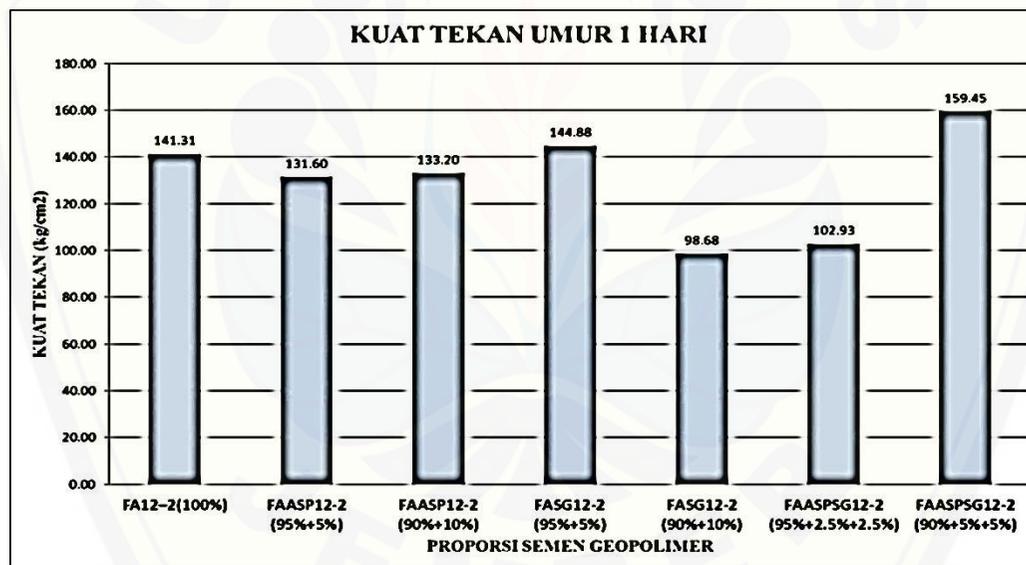
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)

Tabel 31. Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 1 Hari

No	Kode Binder	Berat (gram)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat/Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Standar Deviasi (kg/cm <sup>2</sup> )	Syarat SD < 14,1 (SNI 03-6815-2002)
1	FA12-2(100%)	307.60	125	2.46	35.42	25	141.68	14.17	0.26	Terbaik
		308.00	125	2.46	35.67	25	142.68	14.27	0.97	
		308.00	125	2.46	34.89	25	139.56	13.96	1.24	
	Rata -Rata	307.87	125	2.46	35.33	25	141.31	14.13	0.82	
2	FAASP12-2 (95%+5%)	305.30	125	2.44	30.56	25	122.24	12.22	6.62	Terbaik
		305.90	125	2.45	35.08	25	140.32	14.03	6.17	
		306.30	125	2.45	33.06	25	132.24	13.22	0.45	
	Rata -Rata	305.83	125	2.45	32.90	25	131.60	13.16	4.41	
3	FAASP12-2 (90%+10%)	306.40	125	2.45	34.45	25	137.80	13.78	3.25	Terbaik
		306.00	125	2.45	32.77	25	131.08	13.11	1.50	
		307.90	125	2.46	32.68	25	130.72	13.07	1.75	
	Rata -Rata	306.77	125	2.45	33.30	25	133.20	13.32	2.17	
4	FASG12-2 (95%+5%)	291.80	125	2.33	40.35	25	161.40	16.14	11.68	Terbaik
		287.40	125	2.30	34.78	25	139.12	13.91	4.07	
		285.40	125	2.28	33.53	25	134.12	13.41	7.61	
	Rata -Rata	288.20	125	2.31	36.22	25	144.88	14.49	7.79	
5	FASG12-2 (90%+10%)	288.50	125	2.31	25.13	25	100.52	10.05	1.30	Terbaik
		292.30	125	2.34	24.23	25	96.92	9.69	1.24	
		292.40	125	2.34	24.65	25	98.60	9.86	0.06	
	Rata -Rata	291.07	125	2.33	24.67	25	98.68	9.87	0.87	
6	FAASPSG12-2	293.90	125	2.35	26.80	25	107.20	10.72	3.02	

	(95%+2.5%+2.5%)	290.20	125	2.32	25.02	25	100.08	10.01	2.02	Terbaik
		297.40	125	2.38	25.38	25	101.52	10.15	1.00	
	Rata -Rata	293.83	125	2.35	25.73	25	102.93	10.29	2.01	
7	FAASPSG12-2 (90%+5%+5%)	317.80	125	2.54	41.08	25	164.32	16.43	3.44	Terbaik
		319.30	125	2.55	39.80	25	159.20	15.92	0.18	
		317.00	125	2.54	38.71	25	154.84	15.48	3.26	
	Rata -Rata	318.03	125	2.54	39.86	25	159.45	15.95	2.29	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)



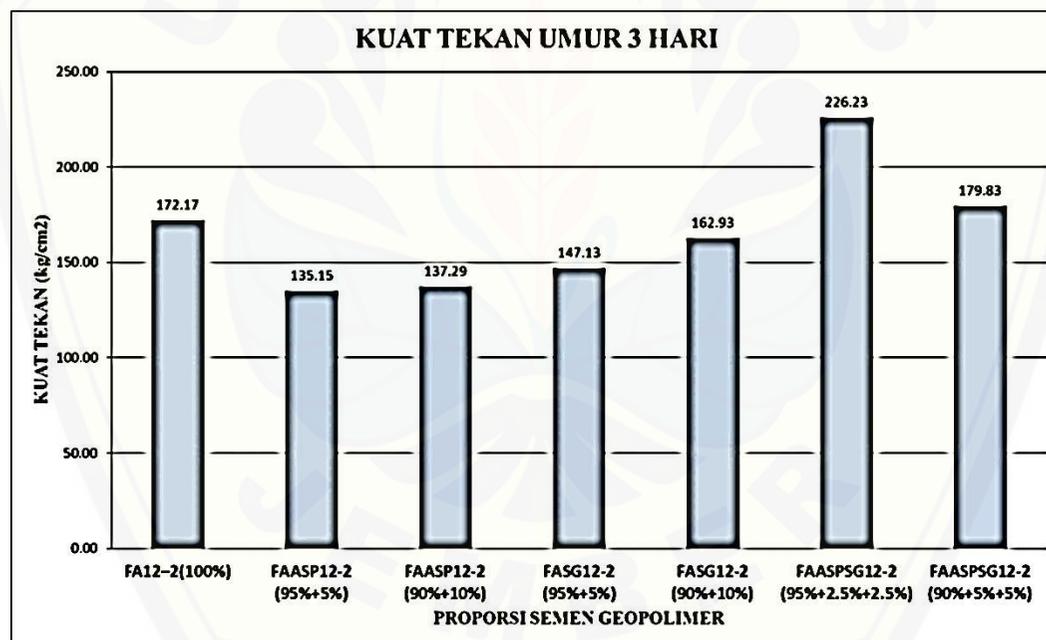
Gambar 3. Kuat tekan umur 1 hari

Tabel 32. Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 3 Hari

No	Kode Binder	Berat (gram)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat/Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Standar Deviasi (kg/cm <sup>2</sup> )	Syarat SD < 14,1 (SNI 03-6815-2002)
1	FA12-2(100%)	296.00	125	2.37	41.58	25	166.32	16.63	4.14	Terbaik
		295.00	125	2.36	42.90	25	171.60	17.16	0.41	
		303.10	125	2.42	44.65	25	178.60	17.86	4.54	
	Rata -Rata	298.03	125	2.38	43.04	25	172.17	17.22	3.03	
2	FAASP12-2 (95%+5%)	312.20	125	2.50	33.77	25	135.08	13.51	0.05	Terbaik
		294.80	125	2.36	33.60	25	134.40	13.44	0.53	
		315.10	125	2.52	33.99	25	135.96	13.60	0.58	
	Rata -Rata	307.37	125	2.46	33.79	25	135.15	13.51	0.38	
3	FAASP12-2 (90%+10%)	272.00	125	2.18	30.05	25	120.20	12.02	12.09	Terbaik
		292.70	125	2.34	37.91	25	151.64	15.16	10.14	
		274.60	125	2.20	35.01	25	140.04	14.00	1.94	
	Rata -Rata	279.77	125	2.24	34.32	25	137.29	13.73	8.06	
4	FASG12-2 (95%+5%)	316.80	125	2.53	37.09	25	148.36	14.84	0.87	Terbaik
		286.80	125	2.29	37.18	25	148.72	14.87	1.12	
		282.70	125	2.26	36.08	25	144.32	14.43	1.99	
	Rata -Rata	295.43	125	2.36	36.78	25	147.13	14.71	1.33	
5	FASG12-2 (90%+10%)	304.50	125	2.44	42.16	25	168.64	16.86	4.04	Terbaik
		294.50	125	2.36	40.98	25	163.92	16.39	0.70	
		308.10	125	2.46	39.06	25	156.24	15.62	4.73	
	Rata -Rata	302.37	125	2.42	40.73	25	162.93	16.29	3.16	
6	FAASPSG12-2	316.00	125	2.53	59.08	25	236.32	23.63	7.14	

	(95%+2.5%+2.5%)	307.40	125	2.46	54.51	25	218.04	21.80	5.79	Terbaik
		315.70	125	2.53	56.08	25	224.32	22.43	1.35	
	Rata -Rata	313.03	125	2.50	56.56	25	226.23	22.62	4.76	
7	FAASPSG12-2 (90%+5%+5%)	287.50	125	2.30	43.19	25	172.76	17.28	5.00	Terbaik
		295.90	125	2.37	45.25	25	181.00	18.10	0.83	
		288.80	125	2.31	46.43	25	185.72	18.57	4.17	
	Rata -Rata	290.73	125	2.33	44.96	25	179.83	17.98	3.33	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)



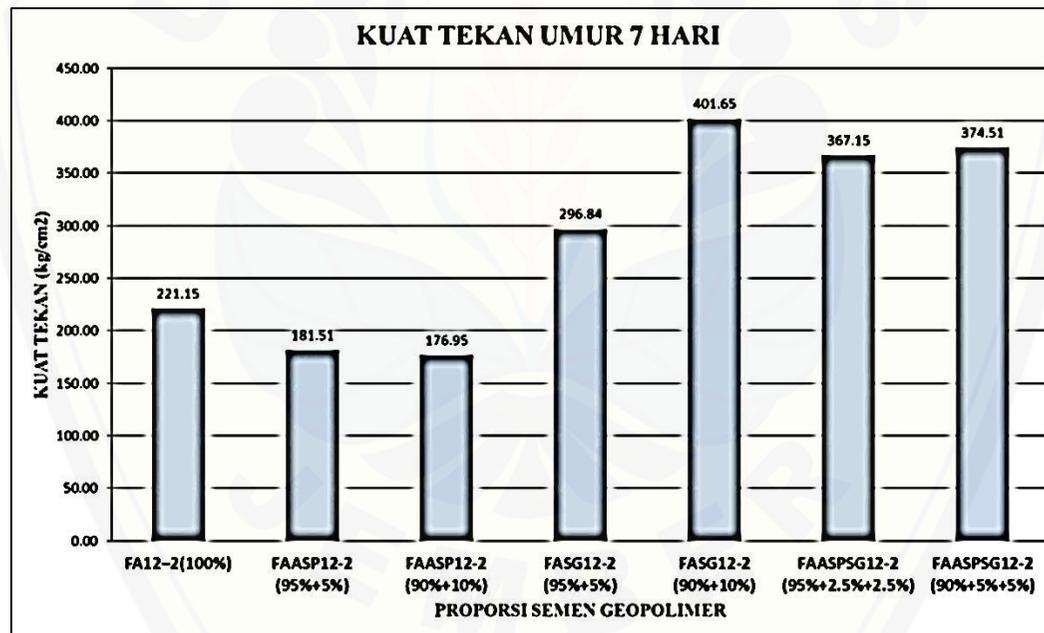
Gambar 4. Kuat tekan umur 3 hari

Tabel 33. Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 7 Hari

No	Kode Binder	Berat (gram)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat/Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Standar Deviasi (kg/cm <sup>2</sup> )	Syarat SD < 14,1 (SNI 03-6815-2002)
1	FA12-2(100%)	299.80	125	2.40	53.43	25	213.72	21.37	5.25	Terbaik
		300.60	125	2.40	55.45	25	221.80	22.18	0.46	
		299.30	125	2.39	56.98	25	227.92	22.79	4.79	
	Rata -Rata	299.90	125	2.40	55.29	25	221.15	22.11	3.50	
2	FAASP12-2 (95%+5%)	309.20	125	2.47	42.46	25	169.84	16.98	8.25	Terbaik
		298.20	125	2.39	44.83	25	179.32	17.93	1.55	
		318.90	125	2.55	48.84	25	195.36	19.54	9.80	
	Rata -Rata	308.77	125	2.47	45.38	25	181.51	18.15	6.53	
3	FAASP12-2 (90%+10%)	278.10	125	2.22	44.52	25	178.08	17.81	0.80	Terbaik
		278.20	125	2.23	45.00	25	180.00	18.00	2.16	
		274.50	125	2.20	43.19	25	172.76	17.28	2.96	
	Rata -Rata	276.93	125	2.22	44.24	25	176.95	17.69	1.97	
4	FASG12-2 (95%+5%)	279.80	125	2.24	74.79	25	299.16	29.92	1.64	Terbaik
		317.30	125	2.54	70.70	25	282.80	28.28	9.93	
		316.90	125	2.54	77.14	25	308.56	30.86	8.29	
	Rata -Rata	304.67	125	2.44	74.21	25	296.84	29.68	6.62	
5	FASG12-2 (90%+10%)	306.70	125	2.45	105.07	25	420.28	42.03	13.17	Terbaik
		300.10	125	2.40	98.42	25	393.68	39.37	5.64	
		295.70	125	2.37	97.75	25	391.00	39.10	7.53	
	Rata -Rata	300.83	125	2.41	100.41	25	401.65	40.17	8.78	
6	FAASPSG12-2	296.50	125	2.37	92.75	25	371.00	37.10	2.72	

	(95%+2.5%+2.5%)	299.10	125	2.39	91.95	25	367.80	36.78	0.46	Terbaik
		292.70	125	2.34	90.66	25	362.64	36.26	3.19	
	Rata -Rata	296.10	125	2.37	91.79	25	367.15	36.71	2.12	
7	FAASPSG12-2	299.50	125	2.40	94.70	25	378.80	37.88	3.04	Terbaik
	(90%+5%+5%)	301.30	125	2.41	90.45	25	361.80	36.18	8.98	
		292.70	125	2.34	95.73	25	382.92	38.29	5.95	
	Rata -Rata	297.83	125	2.38	93.63	25	374.51	37.45	5.99	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)



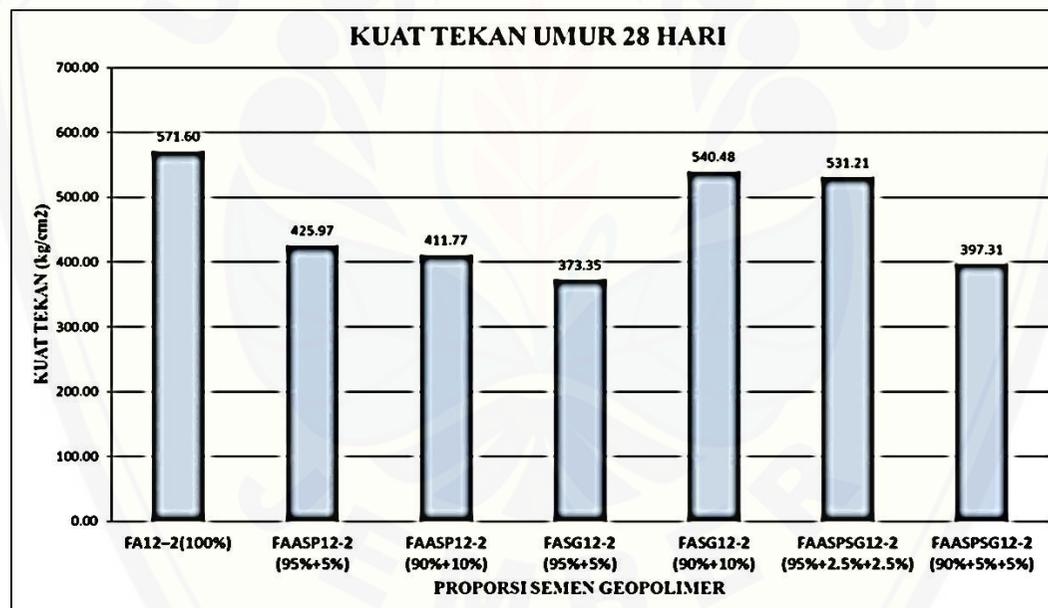
Gambar 5. Kuat tekan umur 7 hari

Tabel 34. Kuat Tekan Mortar Geopolimer Umur 28 Hari

No	Kode Binder	Berat (gram)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat/Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	Tekanan (Kn)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Standar Deviasi (kg/cm <sup>2</sup> )	Syarat SD < 14,1 (SNI 03-6815-2002)
1	FA12-2(100%)	297.30	125	2.38	144.91	25	579.64	57.96	5.69	Terbaik
		299.80	125	2.40	141.22	25	564.88	56.49	4.75	
		285.40	125	2.28	142.57	25	570.28	57.03	0.93	
	Rata -Rata	294.17	125	2.35	142.90	25	571.60	57.16	3.79	
2	FAASP12-2 (95%+5%)	312.70	125	2.50	109.57	25	438.28	43.83	8.70	Terbaik
		298.70	125	2.39	105.89	25	423.56	42.36	1.71	
		315.80	125	2.53	104.02	25	416.08	41.61	7.00	
	Rata -Rata	309.07	125	2.47	106.49	25	425.97	42.60	5.80	
3	FAASP12-2 (90%+10%)	283.10	125	2.26	104.66	25	418.64	41.86	4.86	Terbaik
		286.40	125	2.29	101.62	25	406.48	40.65	3.74	
		282.90	125	2.26	102.55	25	410.20	41.02	1.11	
	Rata -Rata	284.13	125	2.27	102.94	25	411.77	41.18	3.24	
4	FASG12-2 (95%+5%)	274.80	125	2.20	94.81	25	379.24	37.92	4.17	Terbaik
		288.00	125	2.30	93.65	25	374.60	37.46	0.89	
		282.10	125	2.26	91.55	25	366.20	36.62	5.05	
	Rata -Rata	281.63	125	2.25	93.34	25	373.35	37.33	3.37	
5	FASG12-2 (90%+10%)	299.40	125	2.40	134.19	25	536.76	53.68	2.63	Terbaik
		307.70	125	2.46	136.84	25	547.36	54.74	4.86	
		298.20	125	2.39	134.33	25	537.32	53.73	2.23	
	Rata -Rata	301.77	125	2.41	135.12	25	540.48	54.05	3.24	
6	FAASPSG12-2	307.60	125	2.46	134.85	25	539.40	53.94	5.79	

	(95%+2.5%+2.5%)	317.10	125	2.54	132.44	25	529.76	52.98	1.03	Terbaik
		303.00	125	2.42	131.12	25	524.48	52.45	4.76	
	Rata -Rata	309.23	125	2.47	132.80	25	531.21	53.12	3.86	
7	FAASPSG12-2	306.80	125	2.45	99.05	25	396.20	39.62	0.78	Terbaik
	(90%+5%+5%)	305.90	125	2.45	100.87	25	403.48	40.35	4.37	
		286.60	125	2.29	98.06	25	392.24	39.22	3.58	
	Rata -Rata	299.77	125	2.40	99.33	25	397.31	39.73	2.91	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium (2018)



Gambar 6. Kuat tekan umur 28 hari

## Dokumentasi Praktikum

No	Gambar	Keterangan
1		Persiapan Bahan: penyaringan <i>fly ash</i> , abu sekam padi dan serbuk genteng press dengan saringan no 200.
2		Persiapan Bahan: pengovenan serbuk genteng press lolos saringan no 200.
3		Pengujian Bahan: uji berat volume pasir ottawa.
4		Pengujian Bahan: pengeringan pasir ottawa setelah direndam 24 jam untuk persiapan pengujian berat jenis pasir ottawa.

5



Pengujian Bahan: uji berat jenis pasir ottawa.

6



Pengujian Bahan: uji kelembaban pasir ottawa.

7



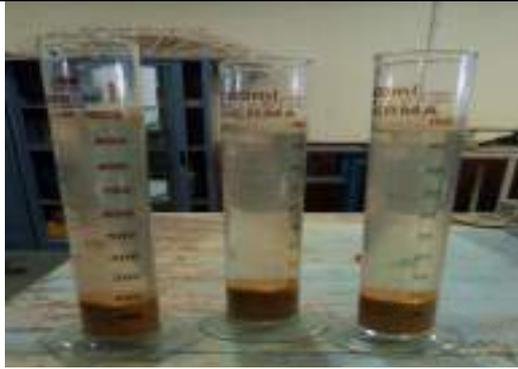
Pengujian Bahan: uji kadar resapan pasir ottawa.

8



Persiapan Bahan: analisa saringan pasir ottawa.

9



Pengujian Bahan: uji kadar lumpur pasir ottawa.

10



Pengujian Bahan: uji berat volume semen portland.

11



Pengujian Bahan: uji berat volume *fly ash*.

12



Pengujian Bahan: uji berat volume abu sekam padi.

13



Pengujian Bahan: uji berat volume serbuk genteng press.

14



Pengujian Bahan: uji berat jenis *fly ash*.

15



Pengujian Bahan: uji berat jenis abu sekam padi.

16



Pengujian Bahan: uji berat jenis serbuk genteng press.

17



Persiapan Bahan: menimbang NaOH dan  $\text{Na}^2\text{SiO}^3$  sesuai komposisi pembuatan pasta dan mortar geopolimer.

18



Persiapan Bahan: menimbang pasir ottawa sesuai komposisi mortar geopolimer.

19



Pembuatan Mortar: mencampur pasir ottawa dengan fly ash, abu sekam padi dan serbuk genteng press.

20



Pembuatan Mortar: memasukkan mortar dalam bekisting yang tidak menyerap air.

21



Perawatan Mortar: meletakkan pada ruangan dengan suhu  $\pm 26^{\circ}$  C.

22



Pengujian Mortar: timbang mortar sebelum di uji kuat tekannya.

23



Pengujian Mortar: uji kuat tekan.

24



Pengujian setiap proporsi semen geopolimer: uji waktu ikat dengan metode pasta geopolimer.



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto  
Telp. (0331-484977 Fax (0331)-484977  
Jember (68111)

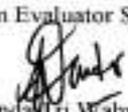
**LEMBAR EVALUASI SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI**

**Identitas Mahasiswa**

Nama : Imam Junaidi  
NIM : 141910301070  
Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Tgl Pelaksanaan : 29 November 2017  
Tahun/Smt Akademik : Semester Gasal 2017/2018  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON DENGAN SENYAWA AKTIFATOR (NaOH) DAN

No	Uraian Hasil Evaluasi
1	Cek SNI → update terbaru.
2	Asumsi pencampuran ?
3.	Kuat target rencana ?
4	Suhu pd oven sekam + genteng.
5	Cek uji <del>sementer</del> pasta geopolimer ?
6.	

Jember, 29 November 2017  
Tim Evaluator Skripsi,

  
Winda Tri Wahyuningtyas, ST., M  
NIP 760016772

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto  
Telp. (0331)-484977 Fax (0331)-484977  
Jember (68111)

**LEMBAR EVALUASI SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI****Identitas Mahasiswa**

Nama : Imam Junaidi  
NIM : 141910301070  
Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Tgl Pelaksanaan : 29 November 2017  
Tahun/Smt Akademik : Semester Gasal 2017/2018  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON DENGAN SENYAWA AKTIFATOR (NaOH) DAN

No	Uraian Hasil Evaluasi
	2 perlu di perulas apabila melakukan tumpu pasta atau ketan.
	2 gunakan kriteria & standar 4/5 sesuai

Jember, 29 November 2017  
Tim Evaluator Skripsi,

  
M. Farid Ma'ruf, ST., MT., Ph.D  
NIP 19721223 199803 1 002

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
 UNIVERSITAS JEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK  
 Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto  
 Telp. (0331)-484977 Fax (0331)-484977  
 Jember (68111)

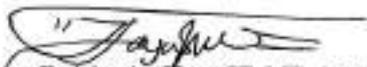
**LEMBAR EVALUASI SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI**

**Identitas Mahasiswa**

Nama : Imam Junaidi  
 NIM : 141910301070  
 Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil  
 Fakultas : Teknik  
 Tgl Pelaksanaan : 29 November 2017  
 Tahun/Smt Akademik : Semester Gasal 2017/2018  
 Judul Tugas Akhir : PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN  
 SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP PASTA  
 GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON  
 DENGAN SENYAWA AKTIFATOR (NaOH) DAN

No	Uraian Hasil Evaluasi
1.	Tujuan dan metode penelitian hrs lbh jelas.
2.	Suhu Abu sekam padi hrs TASC ? Kalo tdk bagaimana?
3.	Atascan proporsi yg digunakan
4.	Pertbaiki penulisan $\approx$ yg salah

Jember, 29 November 2017  
 Tim Evaluator Skripsi,

  
 Gati Annisa Hayu, ST., MT., M.Sc  
 NIP 760015715

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK  
GENTENG PRESS TERHADAP PASTA GEOPOLIMER  
BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON  
DENGAN SENYAWA AKTIFATOR  
(NaOH) DAN KATALISATOR (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)  
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Jember

Oleh:

**IMAM JUNAIDI**

NIM 141910301070

Disetujui oleh Team Evaluasi Proposal Tugas Akhir :

1. Dwi Nurtanto, S.T., M.T.

(.....)

2. Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T.

(.....)

3. M. Farid Ma'ruf, S.T., M.T., Ph.D.

(.....)

4. Gati Annisa Hayu, S.T., M.T., M.Sc

(.....)

**JEMBER, DESEMBER 2017**

Dikeluarkan pada tanggal 23 Mei 2024  
 Disetujui oleh  
 Nya. Airi  
 NIP. 196505022000001

①

1. Berat Volume Pasir

- Data Berat Pasir

D	22,75 cm	t	25,44 cm	$V = \pi \cdot r^2 \cdot t$
	22,19 cm		25,43 cm	$= 514 \cdot 25,44 \cdot 11,47^2$
	21,90 cm		25,46 cm	$= 1933,99 \text{ cm}^3$
	22,28		25,47	

- Tabel Berat

	1	2	3	1	2	3
B. Sumbat (gr)	715	715	715	715	715	715
B. St. Pabu (gr)	2180	2530	2144	2250	2250	22470

- Berat Jenis

	1	2	3
Berat Pasir (gr)	50	50	50
Berat p. t. air (gr)	135,58	137,72	136,45
Berat p. t. air t. air (gr)	144,97	164,77	140,73

- Kolombabun

	1	2	3
Berat Pasir Asli (gr)	250	250	250
Berat Pasir Asli (gr)	309,9	264,7	249,6

- Kadar Resapan

	1	2	3
Berat Pasir (gr)	100	100	100
Berat Pasir (gr)	99,7	99,7	99,7

- Analisa Saringan

No	Berat Saringan (gr)	Saringan + Pasir (gr)
4	427,1	477,7
8	564,3	544,3
16	401,7	401,8
30	401,4	364,3
50	389,7	391,6
100	394,25	479,0
Patu	440,2	442,3

- Kadar Lumpur

	1	2	3
Tinggi Pasir awal	180	180	180
Tinggi Lumpur filtrasi halus	180	180	180
Tinggi Agregat halus	178,5	178,2	179,4
Tinggi Lumpur	0,5	0,2	0,6

Diperiksa oleh  
 Nya. Airi  
 NIP. 196505022000001

②

(2)

- BV Semen Portland

- Data Volume Mold Semen

D	15.21	cm	+ = 16.18	cm	$V_{\text{RT}} = \pi \times r^2 \times t$
	15.22	cm	16.19	cm	$= 3.14 \times 0.7^2 \times 2.14 = 3.14 \times 0.49 \times 2.14$
	15.25	cm	16.20	cm	$= 2081.892 \text{ cm}^3$
	15.29	cm	16.21	cm	

- BV Semen Portland

		Tanpa Fokalan			dengan Fokalan		
Berat Semen (gr)	500	600	650	500	600	650	
B.S + Semen (gr)	1000	1000	1075	1000	1000	1050	

- BV FA PLTU Paiton

		Tanpa Fokalan			dengan Fokalan		
B.S + FA (gr)	1000	1000	1000	1100	1100	1000	

- BV Abu Peram Putih

		Tanpa Fokalan			dengan Fokalan		
B.S + ABP (gr)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

- BV Serbuk Genteng Press Selandia di 5000

		Tanpa Fokalan			dengan Fokalan		
B.S + SBP (gr)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

- BV Serbuk Genteng Press Selandia di 5000

		Tanpa Fokalan			dengan Fokalan		
B.S + SBP (gr)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

B) Semen Cempukan

- B) Fly ash

		1	2	3
Berat Semen (gr)	50	50	50	
Tinggi Mungas	0.5	0.5	0.55	
Tinggi Mungas + FA	2.1	2.1	2.15	

- B) Abu Peram Putih Serbuk Genteng & P-100

		1	2	3
Berat Semen (gr)	50	50	50	
Tinggi Mungas	0.5	0.6	0.6	
Tinggi Mungas + ABP	2.2	2.2	2.2	

- B) Abu Peram Putih

		1	2	3
Berat Semen (gr)	50	50	50	
Tinggi Mungas	0.5	0.5	0.5	
Tinggi Mungas + ABP	2.1	2.1	2.1	

(3)

Klasifikasi 3. Gans

Uji Kruskal-Wallis (KW)

Uraian	Bandu	Uraian	Bandu
1. Uraian Desain 1	Bandu 421	Uraian 1	0,00
Pasir (gr)	1375,02	Arondan 2	0,00
FA (gr)	122,02	3	0,00
Air (ml)	241,98	Tidak	4 1,27
Macht (gr)	20,00	Arondan 5	1,27
MasSiO <sub>2</sub> (gr)	80,64	6	1,27
2. Uraian Desain 2	Bandu 331	Uraian 2	1,01
Pasir (gr)	1375,02	Arondan 3	1,01
FA (gr)	887,44	4	2,01
Air (ml)	171,9	Tidak	4 2,70
Macht (gr)	58,002	Arondan 5	1,95
MasSiO <sub>2</sub> (gr)	100,38	6	2,79
3. Uraian Desain 3	Bandu 431	Uraian 3 & 4	1,30 & 1,62
Pasir (gr)	1375,02	Arondan 1	1,42 & 1,64
FA (gr)	499,98	2	1,23 & 1,23
Air (ml)	124,98	Tidak	4 1,21 & 1,21
Macht (gr)	47,32	Arondan 5	1,02 & 1,02
MasSiO <sub>2</sub> (gr)	80,64	6	1,10 & 1,10
4. Uraian Desain 4	Bandu 441	Uraian 4	1,02
Pasir (gr)	1375,02	1	1,02
FA (gr)	499,98	Arondan 3	0,00
Air (ml)	241,98	4	0,97
Macht (gr)	47,32	Tidak	5 1,40
MasSiO <sub>2</sub> (gr)	80,64	Arondan 6	0,00
5. Uraian Desain 5	Bandu 411	Uraian 5	0,67
Pasir (gr)	1375,01	Tidak	1 0,70
FA (gr)	499,48	Arondan 3	0,67
Air (ml)	0	4	0,70
Macht (gr)	80,64	Tidak	5 0,98
MasSiO <sub>2</sub> (gr)	100,37	Arondan 6	1,67

① ②

4. Hasil Pembacaan Uraian

Kondisi	Kondisi	Peraturan (mm)						
		1	2	3	4	5	6	7
1. FA (100%)	5	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2
2. FAASP (55% + 45%)	40	40	40	40	40	40	40	40
3. FAASP (30% + 70%)	5	19.5	18	34.5	48	42	23	40
4. FAASP (35% + 65%)	20	42	5	5	10	10.5	5	13.5
5. FAASP (40% + 60%)	25	1.5	2	11	7	21.5	1	21.5
6. FAASPEP (35% + 65% + 20%)	30	1	2	0.6	5	1.2	0.5	1
7. FAASPEP (30% + 70% + 20%)	35	0	0.2	0.3	2.5	0.5	0.3	0.5
	40	-	0	0.1	0	0.3	0	0.1
	45	-	0	0	-	0	-	0
	50	-	0	0	-	-	-	-

5. Hasil Uji Kuantitatif

— Data air

Kondisi	Kondisi			
	1	2	3	4
1. Eksponasi	110	113	111	112
2. FAASP (35% + 65%)	112	111	110	113
3. FAASP (40% + 60%)	111	110	113	110
4. FAASP (45% + 55%)	115	112	112	115
5. FAASP (50% + 50%)	111	110	115	112
6. FAASPEP (35% + 65% + 20%)	114	112	110	111
7. FAASPEP (30% + 70% + 20%)	115	112	110	111

No. Uraian	13 Feb	14 Jan	2 hari	15 Jan
1	23 Jan 2018	26 Jan 2018	30 Jan 2018	20 Feb 2018
2	23 Jan 2018	26 Jan 2018	30 Jan 2018	20 Feb 2018
3	24 Jan 2018	27 Jan 2018	31 Jan 2018	27 Feb 2018
4	24 Jan 2018	27 Jan 2018	31 Jan 2018	27 Feb 2018
5	25 Jan 2018	28 Jan 2018	1 Feb 2018	27 Feb 2018
6	25 Jan 2018	28 Jan 2018	1 Feb 2018	27 Feb 2018
7	26 Jan 2018	29 Jan 2018	2 Feb 2018	27 Feb 2018

17 Feb 2018  
 File: [unreadable]  
 Jember, 20 Jan 2018  
 [Signature]  
 Data air  
 17 Feb 2018

(5)

No	Pekerja	Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3		Lantai 4	
		Debit	Kredit	Debit	Kredit	Debit	Kredit	Debit	Kredit
1	FA 100%	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
2	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
3	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
4	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
6	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
7	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
8	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
9	FA 100% (100%)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00

Dik. Teguh L. Satrio  
 NIP. 1915 1028 2000  
 081 081

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto  
Telp. (0331-484977 Fax (0331)-484977  
Jember (68111)

LEMBAR EVALUASI UJIAN TUGAS AKHIR

Identitas Mahasiswa

Nama : Imam Jusidi  
NIM : 141910301070  
Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Tgl Pelaksanaan : 24 April 2018  
Tahun/Smt Akademik : 2017/2018 Semester Genap  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON DENGAN SENYAWA AKTIFATOR (NaOH) DAN KATALISATOR (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

No	Uraian Hasil Evaluasi
①	tujuan diganti
②	kesimpulan
③	grafik diperbaiki ✓
	Acc!

Jember, 24 April 2018

Ttd. Evaluator Tugas Akhir,

Dan Nurawanto, S.T., M.T.

NIP. 19731015 199 802 1001

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto  
Telp. (0331)-484977 Fax (0331)-484977  
Jember (68111)

LEMBAR EVALUASI UJIAN TUGAS AKHIR

Identitas Mahasiswa

Nama : Imam Janaidi  
NIM : 141910301070  
Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Tgl Pelaksanaan : 24 April 2018  
Tahun/Semester Akademik : 2017/2018 Semester Genap  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR ELY-ASH PLTU PAITON DENGAN SENYAWA AKTIFATOR (NaOH) DAN KATALISATOR (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

No	Uraian Hasil Evaluasi
1	Belum buat file
2	

Jember, 24 April 2018

Tim Evaluator Tugas Akhir,

NIP

*Manda Tri W*  
760016772

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto  
Telp. (0331)-484977 Fax (0331)-484977  
Jember (68111)

LEMBAR EVALUASI UJIAN TUGAS AKHIR

Identitas Mahasiswa

Nama : Imam Jusadi  
NIM : 141910301070  
Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Tgl Pelaksanaan : 24 April 2018  
Tahun/Smt Akademik : 2017/2018 Semester Genap  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK GENTENG PRESS TERHADAP PASTA GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY-ASH PLTU PAITON DENGAN SENYAWA AKTIFATOR (NaOH) DAN KATALISATOR (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

No	Uraian Hasil Evaluasi
1.	Kebutuhan luas lahan? ✓
2.	Setting time? ✓
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	
13.	
14.	
15.	
16.	
17.	
18.	
19.	
20.	

Jember, 24 April 2018  
Tim Evaluator Tugas Akhir,

  
M. Farid, S.T., M.T., Ph. D.  
NIP. 19721225 199003 1 002

