



**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes*) DAN SERBUK ALUMINIUM TERHADAP
KARAKTERISTIK GEOPOLIMER BERBASIS ABU LAYANG
BATUBARA**

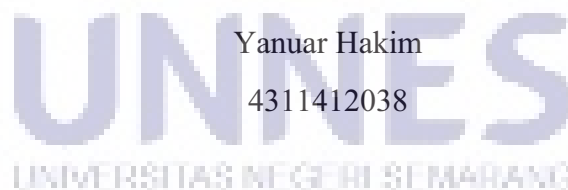
Skripsi

Disusun sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

oleh:

Yanuar Hakim

4311412038



JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2017

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.



Semarang, Januari 2017



Yanuar Hakim
4311412038

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERSETUJUAN BIMBINGAN

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk disajikan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

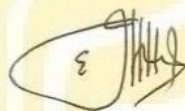
Semarang, 2017

Pembimbing II



Dr. Jumaeri, M.Si
NIP. 196210051993031002

Pembimbing I



Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si
NIP. 198212142009122004



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Pengaruh Penambahan Serat Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Serbuk Aluminium terhadap Karakteristik Geopolimer Berbasis Abu Layang Batubara

disusun oleh

Yantuar Hakim

4311412038

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi EMIPA UNNES pada

Hari : Senin

Tanggal : 10 April 2017



Dr. Zaenuri, S.E. M.Si.Akt
NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Nanik Wijayati, M.Si
NIP. 196910231996032002

Ketua Penguji

Agung Tri Prasetya, S.Si, M.Si
NIP. 196904041994021001

Anggota Penguji/

Pembimbing Utama

Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si
NIP. 198212142009122004

Anggota Penguji/

Penguji Pendamping

Dr. Jumaeri, M.Si
NIP. 196210051993031002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

“Jangan pernah menyerah karena bila menyerah tamat sudah semua”

Persembahan:

1. Teruntuk orang tua tercinta Bapak Alamsyah Harahap dan Ibu Wirdawani, terimakasih atas kepercayaan dan doa yang terbaik untuk anakmu selama ini.
2. Adik-adik Alvin Prayoga dan Alda Okti Ramadini terimakasih semangat dan sayang yang telah diberikan dan Kakak Ade Marwiyah terimakasih telah mewujudkan mimpi bersama-sama.
3. Keluarga besar Uak Godang, Uak Acas dan Uak Lampung.
4. Almamater Universitas Negri Semarang.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi berjudul “*Pengaruh Penambahan Serat Eceng Gondok (Eichornia crassipess) dan Serbuk Aluminium terhadap Karakteristik Geopolimer Berbasis Abu layang Batubara* ”, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Kimia.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik dalam penelitian maupun penyusunan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang
2. Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang
3. Agung Tri Prasetya, S.Si, M.Si selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan, arahan, serta dukungannya.
4. Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si dan Dr. Jumaeri, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, dukungan, dan bimbingan pada penulis.
5. Segenap Bapak dan Ibu dosen di Jurusan Kimia yang telah memberikan dukungan, dan ilmunya.
6. Segenap Karyawan dan Staff Laboratorium Kimia UNNES yang telah memberikan pengalaman dan dukungan kepada penulis.
7. Pustakawan Jurusan Kimia Mbak Ndie yang memberikan semangat, masukan dan tempat untuk penulis.

8. Owner Mas Arif dan Mbak Nunik beserta keluarga besar Soda Ocean yang telah memberikan semangat dan masukan dalam penulisan skripsi.
9. Silviana Cahya Saputri yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.
10. Kawan-kawan seperjuanganku terutama Kimia angkatan 2012 dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.

Semoga amal baik dari semua pihak mendapatkan balasan yang berlipat dari Allah SWT. Saya harapkan kritik dan saran dari semua pihak sehingga bermanfaat bagi semua pembaca.

Semarang, Januari 2017

Penulis



ABSTRAK

Hakim, Y. 2017. *Pengaruh Penambahan Serat Eceng Gondok (Eichornia Crassipess) dan Serbuk Aluminium terhadap Karakteristik Geopolimer Berbasis Abu Layang Batubara*. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing : Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si dan Dr. Jumaeri, M.Si

Kata kunci : Abu layang batubara, geopolimer, serat eceng gondok, serbuk aluminium

Abu layang batubara merupakan hasil pembakaran batubara yang banyak dihasilkan oleh industri kelistrikan berbasis batubara, industri semen dan industri lainnya. Abu layang batubara belum dimanfaatkan secara maksimal, untuk saat ini pemanfaatannya terbatas antara lain sebagai adsorben, batako, campuran semen dan geopolimer. Geopolimer mempunyai sifat getas dengan kuat tarik yang rendah. Dalam penelitian ini serbuk aluminium dan serat eceng gondok ditambahkan untuk meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik geopolimer. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu menentukan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan variasi penambahan serbuk aluminium dan sintesis geopolimer dengan variasi penambahan serat eceng gondok. Serbuk aluminium dan serat eceng gondok yang digunakan bervariasi antara 0,1-0,5 gram dan 0,5-3% (b/b) abu layang dengan interval 0,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimum adalah 4,90 dengan penambahan serbuk aluminium sebesar 0,2 gram dihasilkan kuat tekan 32,03 MPa, kuat tarik 22,91 MPa, densitas 15888,09 kg/m^3 dan konduktivitas panas 0,1001 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$. Penambahan serat optimum pada 2,5% (b/b) abu layang dengan kuat tekan 27,57 MPa, kuat tarik 24,11 MPa, densitas 1590,26 kg/m^3 dan konduktivitas panas 0,0999 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$. Hasil analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan sampel dengan penambahan serbuk aluminium 0,2 gram dan 0% serat memiliki fasa paling amorf dengan kandungan mineral utama *quartz*. Analisis gugus fungsi geopolimer dengan FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) menunjukkan telah terbentuk ikatan geopolimer baik pada sampel tanpa penambahan serat dan Al(H_0), penambahan Al 0,2 gram (H_2), dan penambahan al 0,2 gram dan serat 2,5% (H_5) yang ditandai dengan adanya pita serapan pada 1002,98 cm^{-1} dan pita serapan pada 455,2 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur asimetris Si-O-Si atau Si-O-Al. Pita serapan pada 2931,8 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H serat selulosa juga muncul pada geopolimer dengan penambahan serat 2,5%. Analisis morfologi partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan bahwa terdapat pori, partikel serat dan terbentuknya matriks pada geopolimer.

ABSTRACT

Hakim, Y. 2017. *Effect of Adding Fiber Water Hyacinth (Eichornia Crassipess) and aluminum powder to Karakteristik Coal Fly Ash Based Geopolymer*. Final Project, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Semarang State University. The Main Supervisor: Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si and Dr. Jumaeri, M.Si.

Keywords : Coal fly ash, geopolymer, water hyacinth, alumina powder

Coal fly ash from burning coal are produced by coal based electricity industry, cement industry and other industries. Coal fly ash has not been fully utilized, so it has the potentially pollute as waste is very abundant existence. Coal fly ash for the current limited use, as an adsorbent, brick, cement and geopolymer. Geopolymer has the properties of brittle with low tensile strength. In this reasearch, aluminum powder and water hyacinth fibers are added to increase the compressive strength and tensile strength geopolymer. The study was conducted in two phases, a determining the mole ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ with the variations addition of aluminum powder and geopolymer synthesis with the variations addition of water hyacinth fibers. Aluminum powder and water hyacinth fibers used varies between 0.1-0.5 gram and 0.5-3% (w/w) fly ash with intervals of 0.5. The results showed that the mole $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ optimum is 4.90 with the addition of 0.2 grams of aluminum powder produced by the compressive strength 32.03 Mpa, tensile strength 22,91 MPa, density 15888,09 kg/m^3 and thermal conductivity 0.1001 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$. The addition of fiber optimum at 2.5% (w/w) fiber with a compressive strength 27.57 MPa, tensile strength 24.11 MPa, density 1590,26 kg/m^3 and thermal conductivity 0.0999 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$. The test sample with the addition of 0.2 grams of aluminum powder and 0% fiber (H_2) has an amorphous phase is greater when compared with the sample without addition (H_0) and sample with addition alumina powder 0.2 grams and 2.5% (w/w) fibers (H_5) after analysis XRD (X-Ray Diffraction) with the main mineral quartz. The analysis of the chemical bond geopolymer using FTIR (Fourier Transform Infra Red) showed that a good geopolymer has been formed both in the sample H_0 , H_2 and H_5 that is characterized by the presence of an absorption band 1002.98 cm^{-1} and an absorption band at 455.2 cm^{-1} . They showed an asymmetric vibration of Si-O-Si or Si-O-Al. The absorption band at $2921,8 \text{ cm}^{-1}$ also showed a bond of C-H cellulose fiber in the geopolymer added 2.5% fibers. Analysis of particle morphology using SEM (Scanning Electron Microscopy) shows that there are pores, the particles of fiber and matrix formation on geopolymer.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1.PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan	8
1.4 Manfaat	8
BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Abu Layang Batubara	9
2.2 Geopolimer	11
2.3 Sintesis Geopolimer	13
2.4 Aluminium sebagai <i>Foaming Agent</i>	18
2.5 Serat Batang Eceng Gondok Sebagai <i>filler</i> Penambah Kuat Tarik	20
2.6 Karakterisasi Geopolimer	23
2.6.1 Uji Kuat Tekan	23
2.6.2 Uji Kuat Tarik.....	24
2.6.3 Penentuan Densitas	25
2.6.4 Pengukuran Konduktivitas Panas	25
2.6.5 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>)	27
2.6.6 Analisis Fasa atau Mineral dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	28
2.2.7 Analisis Komposisi Kimia Abu Layang dengan XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>).....	29
2.2.8 Analisis Morfologi dengan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	30

BAB 3. METODE PENELITIAN	33
3.1 Lokasi Penelitian	33
3.2 Sampel	33
3.3 Variabel Penelitian	34
3.3.1 Variabel Bebas	34
3.3.2 Variabel Terikat	34
3.3.3 Variabel Terkendali	35
3.4 Alat dan Bahan	35
3.5 Prosedur Penelitian	36
3.5.1 Preparasi Serat Batang Eceng Gondok	36
3.5.2 Preparasi Serbuk Aluminium	36
3.5.3 Preparasi Abu Layang	37
3.5.4 Pembuatan Larutan Alkali	37
3.5.5 Penentuan Rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Optimum dengan Penambahan Serbuk Aluminium	37
3.5.6 Sintesis Geopolimer dengan Variasi Serat Eceng Gondok	38
3.5.7 Proses Uji Karakterisasi Hasil Sintesis	40
 BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Preparasi Abu Layang Batubara	45
4.2 Preparasi Serat Eceng Gondok	49
4.3 Sintesis Geopolimer dengan Penambahan Serbuk Aluminium	51
4.4 Sintesis Geopolimer dengan Penambahan Serbuk Aluminium dan Serat Eceng Gondok	53
4.5 Karakterisasi Geopolimer dengan Penambahan Serbuk Aluminium	54
4.5.1 Karakterisasi kuat tekan dan kuat tarik belah	54
4.5.2 Densitas	56
4.5.3 Konduktivitas panas	57
4.6 Karakterisasi Geopolimer dengan Penambahan Serbuk Aluminium dan Serat Eceng Gondok	58
4.6.1 Karakterisasi kuat tekan dan kuat tarik belah	58
4.6.2 Densitas	61
4.6.3 Konduktivitas panas	62
4.7 Selektivitas Geopolimer	63
4.8 Karakterisasi FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>)	65
4.9 Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	69
4.10 Karakterisasi SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	71
 BAB 5. PENUTUP	74
5.1 Simpulan	74
5.2 Saran	75
 DAFTAR PUSTAKA	76
 LAMPIRAN	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Komposisi kimia abu layang batubara	11
2.2 Kandungan unsur berdasarkan jenis batubara	12
2.3 Klasifikasi resin geopolimer dan penggunaannya	19
2.4 Komposisi kimia batang eceng gondok dalam keadaan kering	23
2.5 Pita-pita vibrasi karakteristik geopolimer	29
3.1 Variasi bahan awal pada penelitian rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	38
3.2 Variasi geopolimer dengan penambahan serat eceng gondok	40
4.1 Kandungan kimia abu layang batubara menggunakan XRF (<i>X-Ray Flouresence</i>)	47
4.2 Kandungan kimia serbuk aluminium menggunakan XRF (<i>X-Ray Flouresence</i>)	49
4.3 Selektivitas geopolimer penambahan serbuk aluminium	65
4.4 Selektivitas geopolimer penambahan serbuk aluminium 0,2 gram dan serat eceng gondok.....	66
4.5 Referensi bahan konsturksi <i>Insulating Material</i>	67
4.6 Interpretasi spekturum infra merah geopolimer sampel H ₀ , H ₂ dan H ₅	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur jenis-jenis <i>Polysialate</i>	13
2.2 Eceng gondok.....	22
2.3 Mikrograf SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) geopolimer abu layang batubara	32
3.1 Skema alat ukur konduktivitas.....	43
3.2 Diagram penelitian secara keseluruhan	45
4.1 Difraktogram abu layang batubara.....	49
4.2 Hasil preparasi serat eceng gondok.....	51
4.3 Hasil sintesis geopolimer penambahan serbuk aluminium (Al)	53
4.4 Hasil sintesis geopolimer penambahan serbuk aluminium dan serat.....	54
4.5 Hasil sintesis geopolimer penambahan serbuk aluminium dan serat pada keadaan sampel uji belah.....	54
4.6 Grafik hasil analisis kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer dengan penambahan serbuk aluminium.....	56
4.7 Pembentukam rantai geopolimer Si-O-Si-O-Al.....	55
4.8 Diagram densitas geopolimer penambahan aluminium.....	57
4.9 Diagram konduktivitas panas GP dengan variasi penambahan Al.	59
4.10 Analisis kaut tekan dan kuat tarik belah geopolimer dengan penambahan serbuk Al dan serat.....	60
4.11 Pembentukan ikatan hidrogen pada antarmuka serat geopolimer.....	61
4.12 Diagram densitas geopolimer penambahan serbuk Al 0,2 gram dan serat eceng gondok.....	63
4.13 Diagram konduktivitas panas geopolimer dengan penambahan serbuk 0,2 gram aluminium dan serat eceng gondok	64
4.14 Spektra IR geopolimer dari abu layang PLTU Jepara	68
4.15 Difraktogram geopolimer dengan sampel H ₀ , H ₂ dan H ₅	72
4.16 Mikrograf SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)(Perbesaran 2500)	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja Penelitian	84
2. Perhitungan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari abu layang	88
3. Perhitungan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ total	88
4. Perhitungan kadar % serbuk aluminium	89
5. Data kuat tekan geopolimer pada penambahan serbuk aluminium dan serat eceng gondok	90
4 Data kuat tarik geopolimer pada penambahan serbuk aluminium dan serat eceng gondok	92
5 Analisis densitas	93
6 Hasil analisis XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>) dari abu layang batubara	95
7 Hasil analisis XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>) dari serbuk aluminium	95
8 Hasil analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>) dari abu layang	96
11 Hasil analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>) dari sampel geopolimer	97
12 Kartu PDF (<i>Power Diffraction File</i>) untuk penentuan jenis mineral dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	98
13 Hasil analisis FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>) geopolimer sampel H_0 , H_2 dan H_5	100
14 Dokumentasi	103

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Abu layang batubara (*fly ash*) adalah sisa pembakaran batubara yang dihasilkan dalam industri kelistrikan. Produksi batubara di Indonesia pada tahun 2015 yaitu 153 juta ton dimana 108 juta ton untuk pemakaian industri, dari pembakaran batubara itu sendiri dihasilkan sekitar 5% polutan padat abu batubara dimana 10-20% merupakan jenis *bottom ash* dan 80-90% merupakan jenis abu layang (Wardani, 2008). Konsumsi batubara di Indonesia mencapai 36 juta ton yang umumnya digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan menghasilkan 11,5 juta ton abu layang pada tahun 2004 (Badan Pusat Statistik, 2004). PLTU juga menghasilkan gas buang CO₂ sebesar 10-20%, yakni gas CO₂ yang dihasilkan jauh lebih rendah dari industri semen (Istiyani, 2011).

MCCaffery (2002) melaporkan bahwa pada proses produksi semen terjadi emisi CO₂ ke udara sebanding dengan 1 : 1 yang artinya apabila memproduksi 1 ton semen akan menghasilkan 1 ton gas emisi CO₂ ke atmosfer. Berbagai upaya dan inovasi untuk menciptakan material yang potensial sebagai pengganti semen semakin marak dikembangkan pada era kini, salah satunya penggunaan material abu layang batubara sebagai bahan konstruksi pengganti semen. Berbagai upaya dan inovasi untuk menciptakan material yang potensial sebagai pengganti semen

semakin marak dikembangkan pada era kini, salah satunya penggunaan material abu layang batubara sebagai bahan konstruksi pengganti semen.

Berlimpahnya abu layang di beberapa PLTU di Indonesia merupakan suatu hal yang menarik untuk diteliti, terutama tentang kelayakan penggunaan abu layang sebagai material dasar/mentah untuk pembuatan bahan bangunan (Anwar, 2015). Abu layang batubara sudah banyak dimanfaatkan antara lain sebagai adsorben, batako, campuran semen dan geopolimer. Geopolimer merupakan polimer anorganik yang terdiri dari rantai tetrahedra-tetrahedra SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} . Geopolimer selain dapat dibuat dari abu layang juga dapat dibuat dari kaolin, metakaolin, dan material lain yang mengandung silika dan alumina. Pembuatan geopolimer berbahan dasar kaolin adalah cikal bakal dari pengembangan geopolimer (Komnitas dan Zaharaki, 2007).

Geopolimer berbahan dasar abu layang batubara pertama kali diperkenalkan oleh ahli polimer Prancis pada tahun 1978 yaitu Davidovits untuk mengurangi penggunaan semen portland pada material konstruksi. Geopolimer dapat dibuat dengan mereaksikan sumber aluminosilikat dengan larutan alkali (Fletcher *et al*, 2005). Geopolimer memiliki kuat tekan yang lebih baik daripada bata, tahan terhadap pemanasan tinggi (Davidovits, 1994), dan tahan terhadap asam (Schmücker dan MacKenzie, 2005). Hal ini menjadikan geopolimer berpotensi untuk bahan bangunan, immobilisator bahan-bahan beracun, peralatan keramik tahan panas, dan lain-lain (Komnitas dan Zaharaki, 2007).

Salah satu parameter penting dalam komposisi bahan awal adalah kuantitas senyawa-senyawa penting yang terlibat dalam pembentukan rantai

geopolimer. Senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 merupakan oksida utama disamping oksida-oksida lain, sangat berperan penting dalam pembentukan rantai polimer Si-O-Al. Dalam geopolimerisasi terjadi aktivasi oleh larutan alkali pada material yang kaya akan SiO_2 dan Al_2O_3 dengan mekanisme yang melibatkan pelarutan Si dan Al, transportasi (orientasi) spesies terlarut dan diikuti oleh polikondensasi membentuk aluminosilikat berstruktur tiga dimensi, oleh karena itu komposisi bahan awal (perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) akan menghasilkan rantai polimer dengan tipe dan karakter yang berbeda pada produk geopolimer yang dihasilkan (Davidovits, 1994).

Sebagai pengganti semen portland, geopolimer mempunyai sifat getas dengan kekuatan tarik yang rendah dan sensitif terhadap retak. Kekurangan ini tidak hanya menjadi kendala dalam desain struktural, tetapi juga mempengaruhi daya tahan jangka panjang struktur. Serat mikro dan makro yang berbeda telah digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut dan memperkuat bahan geopolimer. Zhao *et al* (2007) menggunakan tenunan polos *stainless steel* untuk memperkuat geopolimer dan menunjukkan bahwa serat komposit dapat meningkatkan kuat tarik geopolimer. Sun dan Wu (2008) mempelajari perilaku mekanik geopolimer berbasis abu layang yang diperkuat dengan serat PVA dengan meneliti kuat tarik dan menunjukkan bahwa 1% serat memberikan hasil optimum secara signifikan dapat meningkatkan kuat tarik komposit.

Penambahan serat merupakan upaya untuk meningkatkan kekuatan geopolimer. Serat sintesis membutuhkan biaya dan energi lebih untuk memproduksinya sehingga digunakan serat alami yang berasal dari lingkungan

sekitar sebagai alternatif. Serat alami mempunyai beberapa kelebihan diantaranya ramah lingkungan, densitas yang rendah, ketersediaannya melimpah, lebih murah dan bebas dari emisi CO₂ jika dibandingkan dengan serat baja, karbon dan kaca penguat. Adapun beberapa serat alami yang telah diteliti antara lain serat bambu, serat tangkai kapas, serat batang kenaf, serat sekam padi dan serat alami lain yang digunakan untuk memperkuat bahan semen dan memperoleh hasil yang cukup baik (Chen *et al.*, 2013).

Alomayri *et al.* (2013) mempelajari sifat mekanik, fisik, dan fraktur geopolimer berbasis abu layang yang diperkuat dengan serat kapas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat katun dapat meningkatkan 30% kuat tarik geopolimer pada penambahan serat 0,5% . Penelitian yang dilakukan Alzeer dan Mac Kenzie (2013) pada geopolimer berbasis metakaolin diperkuat dengan serat rami alami menunjukkan kuat lentur dari komposit yang diperkuat serat meningkat dengan kadar serat tinggi mencapai sekitar 70 MPa pada komposisi 10% serat.

Rohmawati dan Setyarsih (2014) mempelajari kekuatan mekanik komposit serat alam/resin *epoxy*. Hasil penelitian menunjukan bahwa serat batang pisang raja (*Musa textilia*), serat daun pandan alas (*pandanus dubius*) dan serat eceng gondok (*Eichornia crassipes*), dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit dengan kuat tarik sebesar 16,38, 16,08, dan 18,4 MPa.

Serat eceng gondok merupakan jenis serat yang berkualitas baik dan merupakan salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai *filler* pada pembuatan komposit. Penelitian yang dilakukan oleh Yudo dan Kiryanto (2010)

mempelajari bahwa serat eceng gondok dapat meningkatkan kuat tarik dan modulus elastisitas, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat dengan panjang 20 cm dapat meningkatkan kuat tarik material komposit sebesar 0,252 kg/mm² dan modulus elastisitas sebesar 149,462 kg/mm².

Tanaman eceng gondok dapat dimanfaatkan menjadi sumber serat agar mempunyai nilai ekonomis. Winarno (1993) menyatakan dalam serat eceng gondok mengandung selulosa 72,63%, pentosan 18,14%, lignin 8,93%, fosfat 0,65% dan abu 5,77%, menurut Gani (dalam Putera, 2012) eceng gondok memiliki massa jenis 0,25 g/cm³ dengan panjang serat 35 μ dan kuat tarik 18-33 MPa.

Bagri dan Pradana (2010) meneliti tentang pemanfaatan serat eceng gondok sebagai bahan baku pembuatan komposit dihasilkan eceng gondok yang memenuhi syarat bahan baku pembuatan papan serat berkerapatan sedang dengan harga kuat tarik 19 N/mm² dan kuat tekan 18,44 N/mm². Penelitian ini dilakukan tanpa perendaman larutan alkali (NaOH). Serat eceng gondok memiliki elongasi sebesar 3,716% dengan perlakuan perendaman alkali (NaOH) dengan kadar 15%. (Umardani dan Parmono, 2009).

Beberapa penelitian mengenai *foamy geopolymer* sudah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Svingala, (2009), Vaou dan Panias, (2010), Abdullah *et al*, (2012), Liu *et al*, (2014), Syukur (2015), Desita (2015) yang mengembangkan berbagai material sebagai bahan dasarnya yakni perlite, abu layang, lempung dan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Berbagai *foaming agent* telah digunakan untuk menghasilkan gas dalam geopolimer seperti menggunakan silika

fume (Henon *et al.*, 2012), H_2O_2 (Syukur 2015), serbuk logam seperti aluminium ataupun zinc (Zhang *et al.*, 2014) dan menggunakan *foaming agent* organik seperti minyak biji matahari (Cilla *et al.*, 2014) yang menghasilkan busa melalui reaksi saponifikasi.

Sintesis geopolimer yang telah dilakukan oleh Syukur (2015) dan Anwar (2015) menggunakan material abu layang yang sama hanya berbeda zat aditif. Syukur (2015) meneliti kuat tekan dan desitas geopolimer yang ditambahkan *foaming agent* H_2O_2 didapatkan kuat tekan 21,2808 MPa dan densitas 1800,8317 Kg/m^3 , namun masih terdapat kekurangan yaitu kuat tekan yang relatif kecil dan densitas yang tinggi. Anwar (2015) meneliti kuat tekan dan kuat tarik dengan penambahan serat batang pisang dihasilkan kuat tekan 32,35 MPa dan kuat tarik 10,9 MPa masih terdapat kekurangan yaitu ukuran serat yang masih terlalu besar sehingga tidak dapat masuk ke dalam matriks dengan baik dan kuat tarik masih relatif rendah.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Desita (2015) menggunakan material POFA dengan penambahan optimum 2% b/b, dengan *foaming agent* serbuk aluminium didapatkan kuat tekan 5,4233 MPa dan densitas 1339,2175 Kg/m^3 masih terdapat kekurangan yaitu terlalu besarnya pori yang dihasilkan oleh *foaming agent* serbuk aluminium dikarenakan ukurannya $\pm 25 \mu m$ sehingga kuat tekannya masih rendah.

Pada industri umumnya digunakan serbuk aluminium sebagai penghasil gas (Buchwald *et al.*, 2009). Salah satu kelebihan menggunakan *foaming agent* serbuk aluminium adalah busa yang dihasilkan lebih stabil pada temperatur tinggi

sehingga tidak menyebabkan *crack* pada geopolimer yang dihasilkan (Bell dan Kriven, 2008). Pada penelitian yang akan dilakukan selain sebagai *foaming agent*, penambahan serbuk aluminium diharapkan dapat menjadikan nilai rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menjadi 3,4-3,8 dikarenakan menurut penelitian Silva (2007) untuk mendapatkan kuat tekan yang baik, diharapkan terdapat rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 3,4-3,8 dalam campuran awal. Diharapkan pada penelitian ini didapatkan kuat tekan minimal 17,2 MPa dan berat jenis maksimal 1842 kg/m^3 (American Concrete Institute (ACI) 318-08, 2008), kuat tarik berkisar antara 10-15% dari kuat tekannya (Ferguson, 1986) dan konduktivitas panas $0,3 \text{ Watt/m}^\circ\text{K}$ (Vaou dan Panias, 2010).

Dengan latar belakang yang dijelaskan sebelumnya, maka pada kesempatan kali ini penulis ingin mempelajari pengaruh penambahan serat eceng gondok dan serbuk aluminium terhadap karakteristik geopolimer berbasis abu layang batubara

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang di atas, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimal pada penambahan serbuk aluminium berdasarkan karakteristik geopolimer yang dihasilkan tanpa penambahan serat?
2. Berapa persen serat eceng gondok (b/b) optimum yang ditambahkan dengan penambahan serbuk aluminium berdasarkan karakteristik geopolimer yang dihasilkan?

3. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk aluminium dan serat eceng gondok terhadap karakteristik geopolimer yang dihasilkan?

Karakteristik geopolimer yang dihasilkan, ditentukan dari parameter kuat tekan, kuat tarik, densitas, konduktivitas panas pada semua sampel dan FTIR, XRD, SEM pada sampel yang optimal.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan tentang tujuan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimal pada penambahan serbuk aluminium berdasarkan karakteristik geopolimer yang dihasilkan tanpa penambahan serat.
2. Mengetahui persen serat eceng gondok (b/b) optimum yang ditambahkan dengan penambahan serbuk aluminium berdasarkan karakteristik geopolimer yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk aluminium dan serat eceng gondok terhadap geopolimer yang dihasilkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material geopolimer berbahan dasar abu layang batubara sebagai material yang potensial untuk bahan pembuatan bata yang dapat menambah nilai ekonomis abu layang batubara. Selain itu, penelitian ini dapat memanfaatkan keberlimpahan abu layang batubara dan eceng gondok. Sehingga nantinya dapat meningkatkan nilai ekonominya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Layang Batubara

Menurut ASTM C618 (ASTM, 1995:304) abu layang didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. Abu layang yang berasal dari residu pembakaran batubara telah terbukti dapat digunakan untuk sintesis geopolimer. Abu layang dianggap menguntungkan karena reaktivitas partikelnya lebih halus daripada *slag*. Selain itu, Abu layang mengandung kalsium lebih rendah dibandingkan *slag* (Rangan dan Rangan, 2005). Abu batubara tersebar menjadi *bottom ash* yang terbentuk menjadi klinker di dalam tungku pembakaran, dan terlalu berat untuk dibawa oleh gas yang panas melalui ketel uap. Abu batubara jenis ini jatuh ke bawah tungku pembakaran. Sisa abu batubara yang terbawa gas disebut dengan abu layang (*fly ash*) (Muchjidin, 2006).

Abu layang adalah abu batubara yang berupa serbuk halus yang tidak terbakar, dengan distribusi ukuran $1\ \mu\text{m}$ - $100\ \mu\text{m}$ dan relatif homogen. Abu layang mempunyai warna yang lebih terang (keabu-abuan) bila dibandingkan abu dasar dan merupakan komponen terbesar abu batubara, yaitu kira-kira 85% dari total abu yang dihasilkan. Abu layang batubara terdiri dari butiran halus yang berbentuk bola dan berongga. Kerapatan abu layang berkisar antara 2100-3000

kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170-1000 m²/kg (Heri dan Putranto, 2007).

Komposisi kimia abu layang bervariasi tergantung pada jenis batubara serta proses dan kondisi pembakarannya. Oleh karena itu abu layang yang dihasilkan dari PLTU atau industri tertentu akan berbeda sifat dan kandungan kimianya dengan abu layang yang dihasilkan dari PLTU atau industri yang lain (Rizain, 2008).

Menurut Widyaningsih *et al* (2011), komposisi kimia unsur-unsur utama dari abu layang seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi kimia abu layang batubara

No	Komponen	% Berat
1	SiO ₂	39,85
2	Al ₂ O ₃	12,74
3	Fe ₂ O ₃	18,3
4	CaO	21,58
5	MgO	5,7
6	Na ₂ O	0,59

Sumber: Widyaningsih *et al*, 2011

Tabel 2.1 menampilkan komposisi kimia unsur-unsur utama dari abu layang. Dari data tersebut terlihat bahwa sebagian besar komponen abu layang SiO₂ memiliki persentasi sebesar 39,8469%, terdapat pula Al₂O₃ sebesar 12,7389%, Fe₂O₃ sebesar 18,3053%, CaO sebesar 21,5784%, MgO sebesar 5,6853%, dan Na₂O sebesar 0,5863%. Oksida-oksida logam yang terdapat dalam abu layang sangat berpengaruh dalam pembentukan geopolimer (Widyaningsih *et*

al, 2011). Wardani (2008) mengklasifikasikan bahwa abu layang memiliki kandungan unsur mineral anorganik yang berbeda, seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan unsur berdasarkan jenis batubara

Komponen (%)	Bituminus	Subbitumins	Lignit
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	20-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

Sumber: Wardani, 2008

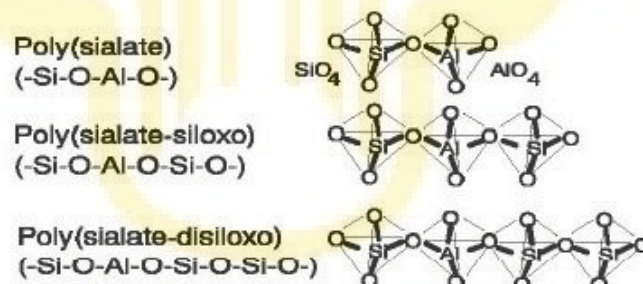
Tabel 2.2 menampilkan komposisi kimia abu layang berdasarkan jenis batubara asal. Ada dua jenis abu layang yang dihasilkan dari hasil pembakaran batubara yaitu abu layang tipe C yang dihasilkan dari pembakaran lignit atau *subbituminous* yang memiliki kandungan CaO kurang dari 20% dan tipe F yang dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batubara bituminous yang memiliki kandungan CaO kurang dari 10%.

2.2 Geopolimer

Geopolimer dikenal sebagai jenis baru polimer anorganik yang disintesis melalui metode aktivitas aluminosilikat dengan larutan alkali pada suhu kurang dari 100°C. Materi ini terdiri dari kerangka Si-O-Al- serupa dengan zeolit tetapi bersifat amorf (Barbosa, 2002, Barbosa, 2003,).

Geopolimer memiliki struktur *amorf* (Lecomte *et al.*, 2006) dengan rumus umum $M_n[-(\text{SiO}_2)_z-(\text{AlO}_2)-]_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$, dimana M adalah kation monovalen seperti Na^+ atau K^+ , $z = 1, 2, 3$, dan n merupakan derajat polimerisasi (Davidovits, 1991). Kekuatan geopolimer dipengaruhi oleh rasio unsur Si, Na, Al, K, kandungan air. Menurut Hardjito (2004) kesempurnaan polimerisasi hingga membentuk struktur dengan sifat mekanik, kimia atau fisika tertentu, tergantung pada aktivitas dan juga derajat polimerisasi.

Davidovits (2008) membedakan tiga tipe *polysialate* yaitu, *poly(sialat)* (-Si-O-Al-O-), *poly(sialat-siloxo)* (-Si-O-Al-O-Si-O-), dan *poly(sialat-disiloxo)* (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-). Struktur ketiga jenis *polysialate* ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur jenis-jenis *polysialate* (Davidovits, 2008)

Proses sintesis geopolimer menggunakan 2 jenis bahan baku (prekursor) yaitu sumber material dan larutan alkali. Sumber material harus memiliki kandungan utama silika (SiO_2) dan aluminium (Al_2O_3) yang dapat berasal dari mineral alam seperti kaolin maupun limbah buangan dari industri seperti abu layang, *silica fume*, ampas biji besi (*blast furnace slag*) dan lain-lain, sedangkan larutan alkali yang digunakan dalam mengaktivasi prekursor geopolimer berupa

sodium hydroxide (NaOH), *potasium hydroxide* (KOH), *sodium silicate* (Na₂SiO₃) dan *potasium silicate* (K₂SiO₃).

Namun demikian, dalam perkembangan geopolimer saat ini penggunaan prekursor geopolimer lebih banyak menggunakan material limbah seperti abu layang (Chindaprasit *et al*, 2007, Panias *et al*, 2007, Xu dan Deventer, 2002) karena membantu mengurangi pencemaran abu layang, murah dengan sifat mekanik yang dihasilkan tinggi (Kong *et al*, 2007).

Menurut Davidovits (1994), geopolimer dapat diaplikasikan pada berbagai lapangan industri seperti metalurgi dan pengecoran bukan besi, teknik sipil dan industri plastik. Tipe aplikasi material-material geopolimer ditentukan oleh struktur kimia dalam hal ini rasio mol SiO₂/Al₂O₃ dalam polisialat. Rasio mol SiO₂/Al₂O₃ yang seperti pada abu layang menginisiasi jaringan 3D yang sangat kaku sehingga kebanyakan aplikasi geopolimernya pada bidang teknik sipil.

2.3 Sintesis Geopolimer

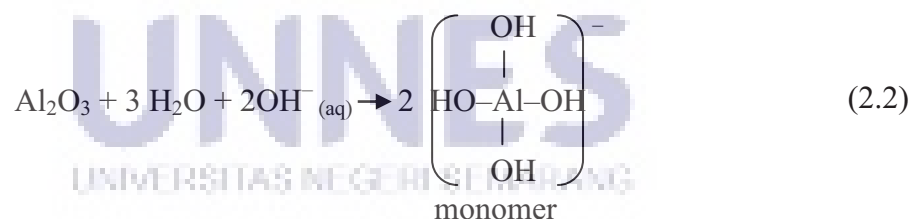
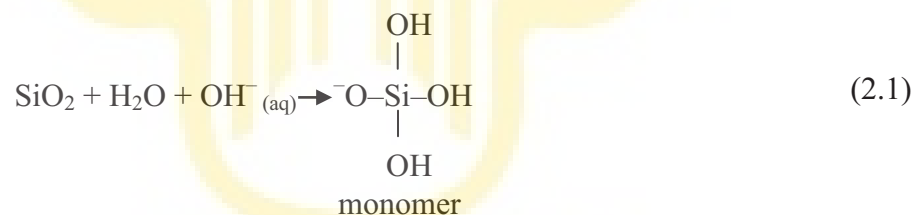
Geopolimer dihasilkan oleh material alumino silikat yang mudah terlarut dalam larutan alkali aktivator. Alkali aktivator merupakan elemen penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan pasta geopolimer. Rasio komposisi antara prekursor geopolimer dengan larutan alkali aktivator berperan dalam menentukan kuat tekan pasta geopolimer dalam temperatur tinggi (Daniel *et al*, 2006).

Proses geopolimerisasi membutuhkan aktivator berupa alkali untuk menginisiasi reaksi dalam pembentukan struktur polimer, adapun aktivator yang bersifat alkali kuat yaitu: NaOH, KOH, Na₂SO₄, Na₂CO₃, K₂CO₃, K₂SO₄, sejumlah kecil kliner semen dan kaca air (Hardjito, 2004; Xiong *et al*, 2004;

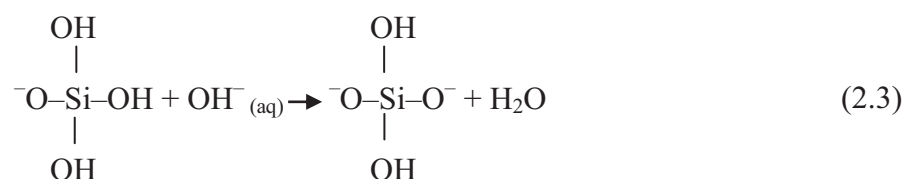
Khale dan Chaudhury, 2007). Natrium terlarut atau garam kalium klorida telah digunakan dalam larutan aktivator.

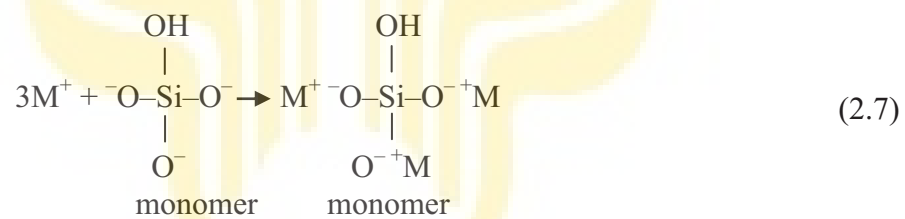
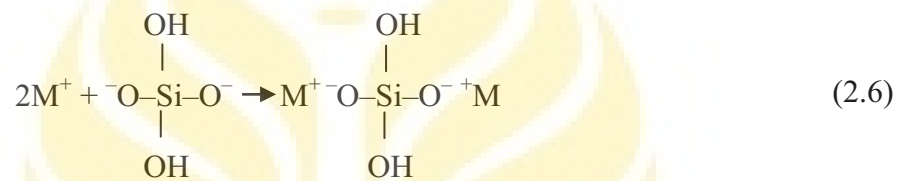
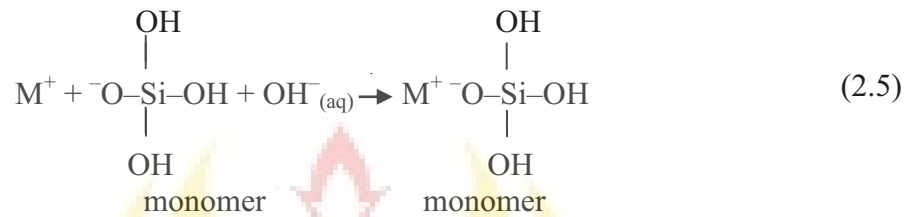
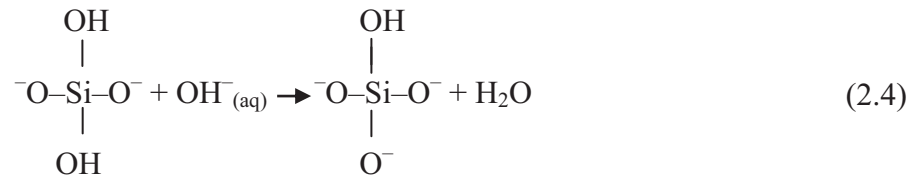
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Palomo (1999), larutan alkali aktivator yang dapat menghasilkan kuat tekan yang optimum adalah larutan alkali campuran natrium hidroksida dengan natrium silikat atau campuran antara kalium hidroksida dengan kalium silikat. Pada saat proses polimerisasi berlangsung, terjadi reaksi endotermis. Panas yang diserap berasal dari temperatur *curing*, semakin tinggi temperatur *curing* maka proses aktivasi prekursor akan meningkat. Selain temperatur *curing* waktu *curing* juga berpengaruh.

Reaksi geopolimerisasi dimulai dari pelarutan mineral Si-Al sebagaimana digambarkan pada persamaan reaksi berikut (Silva *et al.*, 2007).

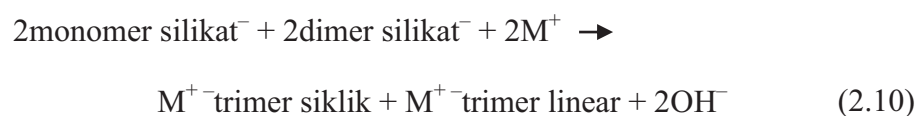
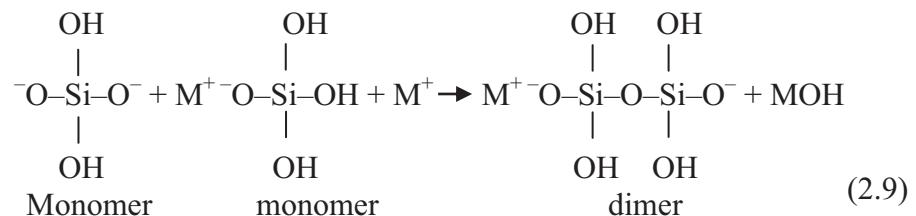
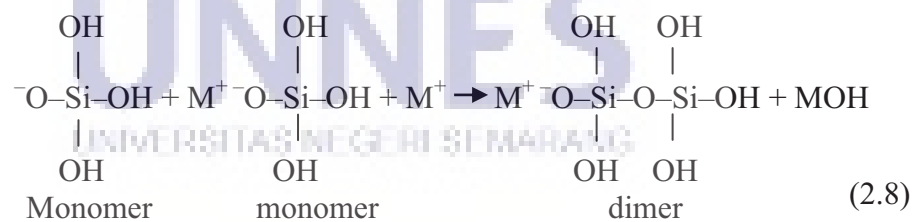


Reaksi monomer silikat dengan basa digambarkan sebagai berikut (Xu dan Devender, 2000):

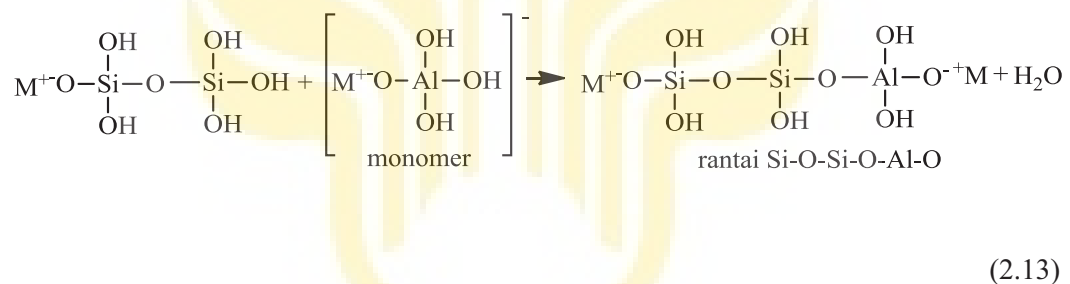
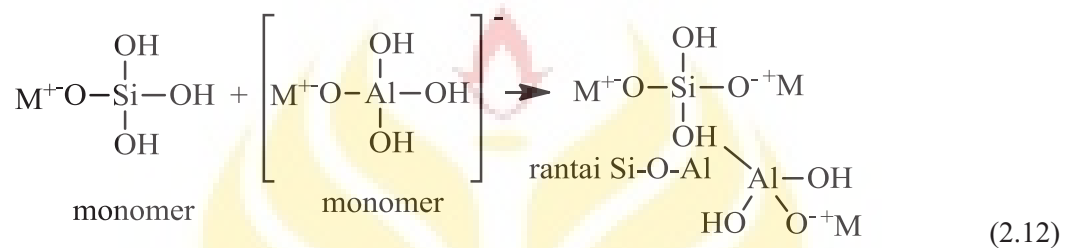
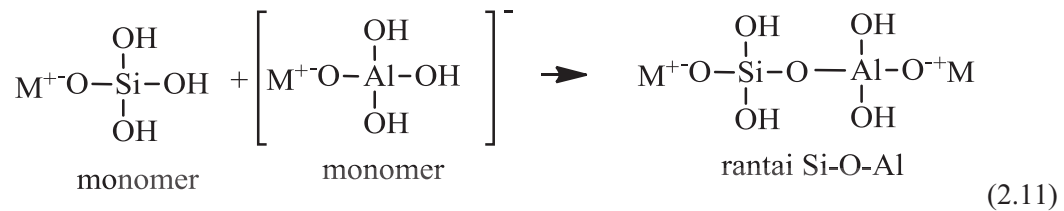




Reaksi pembentukan oligomer silikat digambarkan sebagai berikut (Xu dan Deventer, 2000):



Reaksi kondensasi monomer silikat dan aluminat dengan persamaan reaksi berikut (Xu dan Deventer, 2000):



Kondensasi dapat terjadi antara spesies silikat dan aluminat atau antar spesies silikat sendiri, bergantung pada konsentrasi Si dalam sistem. Kondensasi akan terjadi antara spesies silikat dan aluminat dan akan menghasilkan struktur polimer *poli(sialat)* bila rasio Si/Al = 1. Apabila rasio Si/Al meningkat (>1), spesies silikat sebagai hasil hidrolisis SiO₂ akan berkondensasi dengan spesies silikat lainya membentuk silikat oligomerik. Silikat oligomerik ini akan berkondensasi dengan [Al(OH)₄]⁻ membentuk struktur polimer *poli(sialat-siloxo)* dan *poli(sialat-disiloxo)* (Silva *et al.*, 2007).

De Silva *et al* (2007) telah meneliti mekanisme geopolimerisasi pada metakaolin dan menyimpulkan bahwa sifat-sifat geopolimer secara signifikan

ditentukan oleh perubahan yang kecil dari konsentrasi Si dan Al selama sintesis. Didapatkan fakta bahwa $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bertanggung jawab terhadap perkembangan kekuatan geopolimer. Pada harga $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ kecil, kekuatan awal sangat tergantung pada besarnya Al_2O_3 (Al mengontrol waktu pengerasan) sedangkan pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang besar, SiO_2 akan bertanggung jawab pada pengerasan berikutnya. Dalam geopolimerisasi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sangat berpengaruh pada kuat tekan dan waktu pengerasan karena SiO_2 dan Al_2O_3 adalah komponen mayor dari bahan awal yang penting dalam pembentukan rantai Si–O–Al.

Peranan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menentukan struktur dan sifat geopolimer. Pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang rendah ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1, 2, 3$) akan dihasilkan rantai yang kaku, dimana kekuatannya akan naik sampai batas optimum, kemudian menurun karena adanya komponen yang tidak bereaksi. Fletcher *et al* (2005) melaporkan bahwa kekuatan geopolimer metakaolin dengan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=16$ adalah optimum, kemudian menurun pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang lebih tinggi. De Silva *et al* (2007) mendapatkan rasio bahwa $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menghasilkan kuat tekan yang baik pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 3,4-3.8 dengan struktur mikro yang homogen.

Sifat dan struktur geopolimer sangat penting dalam pemanfaatannya. Geopolimer dengan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tertentu akan menghasilkan sifat tertentu yang penting dalam aplikasinya (Davidovits, 1991). Selain untuk konstruksi, pemanfaatan geopolimer yang telah dikembangkan antara lain untuk material keramik temperatur rendah (Davidovits, 1991) immobilisasi logam-logam beracun (Davidovits, 1994; Jaarsveld dan Deventer, 1996) pembuatan komposit tahan

suhu tinggi (Lyon, 1997) dan solidifikasi residu radioaktif (Herman *et al.*, 1999).

Tipe-tipe geopolimer, struktur dan aplikasinya ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi resin geopolimer dan penggunaannya

Kategori	Struktur	Kation Alkali	Sifat dan Aplikasi
<i>Poli(sialat)</i> (PS)	$\begin{array}{c} \quad \\ \text{M}_n\text{-(Si-O-Al-O)}_n \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	K-PS Na-PS	Insulator Tahan suhu tinggi
<i>Poli(siala-siloxo)</i> (PSS)	$\begin{array}{c} \quad \quad \\ \text{M}_n\text{-(Si-O-Al-O-Si)}_n \\ \quad \quad \\ \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	K-PSS Na-PSS K, Ca-PSS	Refaktori Semen Penanganan limbah beracun
<i>Poli(siala-disiloxo)</i> (PSDS)	$\begin{array}{c} \quad \quad \quad \\ \text{M}_n\text{-(Si-O-Al-O-Si-O-Si)}_n \\ \quad \quad \quad \\ \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	K-PSDS Na-PSS K,Na-PSDS	Komposit Refaktori Tahan suhu tinggi

Sumber: Phair *et al.*, 2003

2.4 Aluminium Sebagai *Foaming Agent*

Telah banyak penelitian tentang geopolimer berbusa. Berbagai *foaming agent* telah digunakan untuk menghasilkan gas dalam geopolimer seperti menggunakan silika *fume* (Henon *et al.*, 2012), H₂O₂ (Syukur, 2015), serbuk logam seperti aluminium ataupun zinc (Desita, 2015; Zhang *et al.*, 2014) dan menggunakan *foaming agent* organik seperti minyak biji matahari (Cilla *et al.*, 2014) yang menghasilkan busa melalui reaksi saponifikasi.

Serbuk aluminium reaktif bereaksi dengan air dan hidroksida dalam keadaan basa, membebaskan gas hidrogen dan membentuk Al(OH)₄⁻. Menurut reaksi terjadi dengan persamaan (Zhang *et al.*, 2014):



Reaksi aluminium yang terjadi menghasilkan busa yang stabil (Wang *et al.*, 2005). Dosis dan ukuran partikel serbuk logam dapat dirancang sesuai kepadatan geopolimer yang diinginkan.

Penelitian ini menggunakan serbuk aluminium sebagai agen pembusa. Geopolimer yang dihasilkan dari *foaming agent* serbuk aluminium mempunyai densitas yang rendah, tidak menyerap energi, dan memiliki konduktivitas termal yang rendah (Koizumi *et al.*, 2011). Pada industri umumnya digunakan serbuk aluminium sebagai penghasil gas (Buchwald *et al.*, 2009). Salah satu kelebihan menggunakan *foaming agent* serbuk aluminium adalah busa yang dihasilkan lebih stabil pada temperatur tinggi sehingga tidak menyebabkan *crack* pada geopolimer yang dihasilkan (Bell dan Kriven, 2008). Bell dan Kriver (2008) meneliti bahwa busa yang dihasilkan oleh aluminium pada temperatur *curing* hingga 200°C masih stabil sehingga tidak menyebabkan *crack* pada geopolimer.

Desita (2015) meneliti tentang penambahan serbuk aluminium sebagai *foaming agent* pada geopolimer dari abu biomassa kelapa sawit. Penambahan *foaming agent* serbuk aluminium yang paling optimum pada penambahan 2% b/b dengan kuat tekan 5,4233 MPa, nilai densitas yang diperoleh sebesar 1339,2175 Kg/m³ dan nilai konduktivitas termal sebesar 0,6233 Watt/m²K namun masih terdapat kekurangan yaitu besarnya pori yang dihasilkan oleh *foaming agent* serbuk aluminium berupa makropori berukuran ±25µ. Aluminium berperan sebagai *foaming agent* sekaligus menentukan rasio SiO₂/Al₂O₃.

Pada penelitian yang akan dilakukan selain sebagai *foaming agent*, penambahan serbuk aluminium diharapkan dapat menjadikan nilai rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menjadi 3,4-3,8 dikarenakan menurut penelitian De Silva (2007) untuk mendapatkan kuat tekan yang baik, diharapkan terdapat rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 3,4-3,8 dalam campuran awal.

2.5 Serat Batang Eceng Gondok Sebagai *filler* Penambah Kuat Tarik

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) merupakan tumbuhan air yang tumbuh di rawa-rawa, danau, waduk dan sungai yang alirannya tenang. Eceng gondok merupakan tumbuhan yang mengapung di atas permukaan air. Dalam ekosistem air, eceng gondok merupakan tanaman pengganggu atau gulma yang dapat tumbuh dengan cepat 3% per hari (Hesty, 2009).

Eceng gondok pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ilmuwan bernama *Carl Friedrich Philip von Martius*, seorang ahli botani berkebangsaan Jerman pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon Brazil. Eceng gondok lebih banyak dikenal sebagai tanaman tumbuhan pengganggu (gulma) di perairan karena pertumbuhannya yang sangat cepat. Awalnya didatangkan ke Indonesia pada tahun 1894 dari Brazil untuk koleksi Kebun Raya Bogor. Ternyata dengan cepat menyebar ke beberapa perairan di Pulau Jawa.

Eceng gondok merupakan tumbuhan parenial yang hidup di perairan terbuka, mengapung di air jika tempat tumbuhnya cukup dalam dan berakar di dasar jika air dangkal. Tingginya sekitar 0,4-0,8 meter, daunnya tunggal dan

berbentuk oval, ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal tangkai dan daun menggelembung (Hesty, 2009).

Taksonomi dari eceng gondok adalah sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Spermatophyta*
Sub divisi : *Angiospermae*
Kelas : *Monocotyledonae*
Suku : *Pontederiaceae*
Marga : *Eichhornia*
Spesies : *Eichhornia crassipes Solms*



Sumber: *Produknaturalnusantara.org, 2015*

Gambar 2.2 Eceng gondok

Komposisi kimia eceng gondok tergantung pada kandungan unsur hara tempatnya tumbuh, dan sifat serap tanaman tersebut. Komposisi kimia serat batang eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Komposisi kimia batang eceng gondok dalam keadaan kering

Komposisi kimia	Persen(%)
Abu	5,77
Fosofor (P ₂ O ₅)	0,65
Lignin	8,93
Pentosan	18,14
Selulosa	72,63

Sumber: Winarno, 1993

Tabel 2.4 menampilkan komposisi kimia eceng gondok. Dari data tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar komponen serat eceng gondok yaitu selulosa sebesar 72,63%, pentosan sebesar 18,14%, lignin sebesar 8,93%, fosfat sebesar 0,65%, dan abu sebesar 5,77% (Winarno, 1993).

Penelitian yang dilakukan oleh Yudo dan Kiryanto (2010) mempelajari bahwa serat eceng gondok dapat meningkatkan kuat tarik dan modulus elastisitas, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat dengan panjang 20 cm dapat meningkatkan kuat tarik material komposit sebesar 0,252 kg/mm² dan modulus elastisitas sebesar 149,462 kg/mm².

Bagir dan Pradana (2010) meneliti tentang pemanfaatan serat eceng gondok sebagai bahan baku pembuatan komposit dihasilkan eceng gondok memenuhi syarat bahan baku pembuatan papan serat berkerapatan sedang dengan harga kuat tarik 19 N/mm² dan kuat tekan 18,44 N/mm². Penelitian ini dilakukan tanpa perendaman larutan alkali (NaOH).

Penelitian yang dilakukan oleh Anwar (2015) tentang sintesis geopolimer dengan penambahan serat batang pohon pisang dihasilkan kuat tekan sebesar 32,35 MPa dan kuat tarik belah sebesar 10,9 MPa dengan penambahan optimum serat sebesar 1,5%. Serat batang pisang yang digunakan mengandung selulosa

sebesar 63-64% (Lokantara, 2007). Sedangkan serat eceng gondok memiliki kandungan selulosa sebesar 72,63% (Winarno, 1993) harapannya kuat tekan dan kuat tarik yang dihasilkan lebih baik dari hasil sintesis geopolimer yang dilakukan Anwar (2015).

Pada dasarnya semua jenis serat dapat digunakan sebagai bahan tambahan yang dapat memperkuat atau memperbaiki sifat-sifat beton. Penggunaan tergantung dari maksud penambahan serat ke dalam beton baik bahan alami ataupun buatan, tapi yang harus diperhatikan adalah bahwa serat tersebut harus mempunyai kuat tarik yang lebih besar dari kuat tarik beton. Selain itu ketahanan serat terhadap alkali juga harus diperhatikan karena pada sintesis geopolimer digunakan alkali hidroksida untuk melarutkan silika dan alumina (Widi, 2012). Pada penelitian yang dilakukan Umardani dan Parmono (2012) menunjukkan bahwa perendaman dengan alkali (NaOH) dengan kadar 15% meningkatkan elongasi dan kuat tarik maksimal eceng gondok sebesar 3,716% dan 17,676 N/mm².

2.6 Karakterisasi Geopolimer

2.6.1 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan (*compressive strength*) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji kuat tekan *Torse Universal Testing Machine*. Pembebanan dilakukan mulai dari beban yang rendah hingga beban maksimum yang dapat diterima hingga sampel tersebut retak. Data yang didapatkan dari pengujian ini adalah beban maksimum (Fmax) yang mampu diterima benda uji

sebelum mengalami keretakan. Kuat tekan dipengaruhi oleh luas permukaan yang dikenai oleh beban. Nilai kuat tekan (σ) didapatkan dengan memasukkan nilai beban yang terbaca dan luas permukaan kontak sampel ke dalam Persamaan 2.15 (Tjokrodinuljo, 2007).

$$\sigma = F/A = m.g/\pi r^2 \quad (2.15)$$

dengan : σ = kuat tekan (MPa) m = massa beban (kg)
 F = beban maksimum (N) g = gaya gravitasi (10 m/s^2)
 A = luas permukaan sampel (m^2) r = jari-jari benda uji (m)

2.6.2 Uji Kuat Tarik

Kekuatan tarik beton adalah sifat yang penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Kekuatan tarik ditentukan dengan menggunakan percobaan pembebanan silinder (*the split cylinder*) di mana silinder ukuran diameter dan tinggi tertentu (Ajie dan Irwand, 2012). Pengujian kuat tarik belah silinder (*tensile splitting cylinder test*), benda uji silinder diletakkan pada alat uji dalam posisi rebah. Beban vertikal diberikan sepanjang selimut silinder berangsur-angsur dinaikkan pembebanannya dengan kecepatan 0,7 hingga 1,4 MPa/menit hingga dicapai nilai maksimum dan benda uji hancur. Kuat tarik dihitung berdasarkan ASTM C469M-11 sebagaimana terlihat dalam persamaan 2.16.

$$T = \frac{2 P}{\pi.Ls.D} \quad (2.16)$$

Dengan : T = kuat tarik beton (MPa)
 P = beban maksimum yang diberikan (N)

D = diameter silinder (cm)

Ls = tinggi silinder (cm)

2.6.3 Penentuan Densitas

Densitas adalah perbandingan massa dan volumenya. Densitas geopolimer diukur dengan menggunakan pengukuran tinggi, diameter dan massa geopolimer. Nilai kuat tekan meningkat pada saat nilai densitas semakin rendah. Densitas geopolimer menurun dengan kenaikan suhu *curing* dan waktu (Pimraksa *et al.*, 2011). Karena geopolimer adalah benda padat dengan cetakan berbentuk silinder, maka volume geopolimer dihitung sebagai volume silinder menggunakan rumus volume tabung. Nilai densitas diperoleh dengan perhitungan pada persamaan 2.17:

$$\rho_{geopolimer} = \frac{m_{geopolimer}}{V_{geopolimer}} \quad (2.17)$$

Dengan :

$V_{geopolimer}$ = Volume geopolimer

$\rho_{geopolimer}$ = Densitas geopolimer

$m_{geopolimer}$ = Massa geopolimer

2.6.4 Pengukuran Konduktivitas Panas

Perpindahan panas merupakan transmisi energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur diantara kedua daerah tersebut. Aliran energi dalam bentuk panas diatur tidak hanya oleh satu hukum fisika, tetapi oleh kombinasi dari berbagai hukum fisika. Perpindahan panas secara konduksi yaitu perpindahan panas dimana panas mengalir di dalam suatu benda (padat, cair, atau gas) yang bersinggungan secara langsung dari daerah

yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah akibat adanya gradien temperatur pada benda tersebut. Laju dan perpindahan panas tidak dapat diukur secara langsung tetapi hal tersebut dapat diamati dengan cara melakukan pengukuran temperatur yang merupakan parameter dari laju aliran panas (Firmansyah, 2013).

Perpindahan panas konduksi dapat terjadi satu, dua dan tiga dimensi. Konduksi satu dimensi terjadi jika suatu sistem dimana suhu dan aliran panas hanya fungsi dari satu koordinat saja. Sedangkan untuk konduksi dua dan tiga dimensi, suhu merupakan fungsi dari dua atau bahkan mungkin tiga koordinat.

Jika kita tinjau dari proses aliran perpindahan panas, terdapat dua proses yaitu kondisi tetap (*steady state*) dan kondisi *transient* atau tidak tetap (*unsteady*). Kondisi *steady* yaitu jika laju aliran panas dalam suatu *system* tidak berubah dengan waktu atau bila laju tersebut konstan maka suhu di titik manapun tidak berubah dan kecepatan *fluks* masuk panas pada titik manapun dari *system* harus tepat sama dengan *fluks* keluar dan tidak dapat terjadi perubahan energi dalam. Aliran panas dalam suatu sistem *transient* jika suhu di berbagai titik dari suatu sistem tersebut berubah dengan waktu (Firmansyah, 2013). Nilai konduktivitas panas geopolimer dapat diperoleh dari Persamaan 2.18 (Aïtcin, 2000):

$$k = \frac{\Phi \times t}{A \times \Delta T} \quad (2.18)$$

Keterangan : k = konduktivitas panas (W/mK)

Φ = hantaran panas (J/s)

t = ketebalan specimen (m)

A = Luas Permukaan (m²)

ΔT = Perubahan suhu (°C)

Konduktivitas panas merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengantarkan panas. Semakin tinggi konduktivitas termal suatu bahan, maka sifat isolator panasnya semakin rendah dan sebaliknya. Pengukuran konduktivitas termal dilakukan menggunakan *Thermal Conductivity Analyzer* (Vaou dan Panias, 2010)

2.6.5 Analisis Gugus Fungsi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR)

Spektroskopi FT-IR merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Analisis ini dilakukan untuk mengenal struktur molekul khususnya gugus fungsional.

Spektrofotometer inframerah atau IR adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur serapan radiasi inframerah pada berbagai panjang gelombang antara $1400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ($2,3 - 7,1 \text{ }\mu\text{m}$). Spektrofotometer inframerah mempunyai sistem optik yang serupa dengan spektrofotometer sinar laser. Sinar IR mempunyai energi yang rendah, maka tebal sel yang dipakai pada spektrofotometer lebih tipis dari pada untuk spektrofotometer lainnya (misal: $0,02 \text{ }\mu\text{m}$) (Hendayana, 1994).

Fungsi utama dari IR adalah untuk mengenal struktur molekul khususnya gugus fungsional. Aplikasi IR makin luas, terutama dengan diperkenalkan teknik baru yaitu: *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Perbedaan IR disperse dan FTIR terletak pada digunakannya interferometer yaitu cermin, cermin bergerak dan penjatah sinar (Hendayana, 1994). Metode spektroskopi FTIR dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan karakteristik dan gugus fungsi geopolimer sintesis yang terbentuk.

Secara umum pita-pita vibrasi karakteristik dari geopolimer dapat ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.5. Pita-pita vibrasi karakteristik pada geopolimer

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Interpretasi
1	3700-3600 (<i>s</i>)	Vibrasi ulur/ <i>stretching</i> (-OH)
2	3600-2200 (<i>s</i>)	Vibrasi ulur/ <i>stretching</i> (-OH, HOH)
3	1700-1600	Vibrasi tekuk/ <i>bending</i> (HOH)
4	1200-950	<i>Stretching asimetri</i> (Si-O-Si dan Si-O-Al)
5	1100 (<i>sh</i>)	<i>Stretching asimetri</i> (Si-O-Si)
6	850 (<i>sh</i>)	Si-O <i>Stretching</i> , OH <i>bending</i>
7	795 (<i>m</i>)	<i>Stretching asimetri</i> (Si-O-Si)
8	688 (<i>sh</i>)	<i>Stretching asimetri</i> (Si-O-Si dan Si-O-Al)
9	520-532 (<i>m</i>)	Vibrasi <i>double ring</i>
10	424 (<i>s</i>)	Bending Si-O-Si dan O-Si-O

Keterangan : *s* = strong, *w* = weak, *m* = medium, *sh* = shoulder

Sumber: Bakharev, 2005

2.6.6 Analisis Fasa atau Mineral dengan *X-ray Diffraction* (XRD)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kristalinitas dan identifikasi fasa mineral secara kualitatif dari sampel. Pengujian ini berguna untuk mengetahui apakah prekursor dan geopolimer mempunyai fasa kristalin atau amorf.

Bahan baku abu layang dan pasta geopolimer, dianalisis fasa morfologi dengan XRD yang bertujuan untuk mengetahui hasil polimerisasi geopolimer yang di intrepresentasikan melalui kristalinitas hasil uji XRD. Pada prinsipnya, XRD melibatkan sinar-X yang berinteraksi dengan bentuk kristal struktur suatu mineral. Oleh sebab itu, mineral dengan bentuk kristalin atau amorf akan terbaca oleh alat XRD. Ketika sinar-X menyentuh suatu permukaan kristal struktur mineral dengan sudut tertentu, dimana sebagian akan berpendar pada lapisan

pertama dan bagian yang tidak berpendar akan berpendar akibat menghantam atom pada lapisan kedua, dan seterusnya pada lapisan di bawahnya. Hukum ini disebut dengan Bragg's Law.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.19)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa panjang gelombang identik dengan besar sudut, sehingga tiap mineral yang terdiri dari banyak kombinasi unsur akan memiliki beberapa puncak intensitas *X-ray*.

2.6.7 Analisis Komposisi Kimia Abu Layang dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Spektroskopi XRF adalah teknis analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan dalam analisis batuan karena membutuhkan jumlah sampel yang relatif kecil (sekitar 1 gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral.

Prinsip kerja metode analisis XRF yaitu apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung sinar-X atau sumber radioaktif mengenai cuplikan, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Selama proses ini, bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam sehingga menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit terluar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini

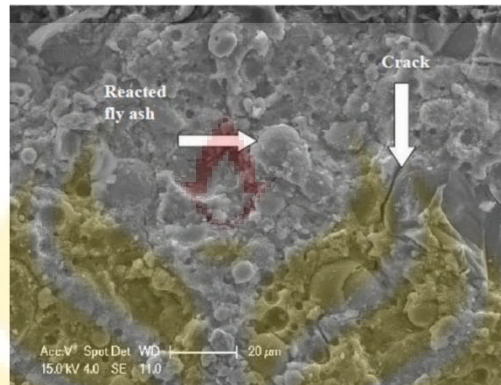
menghasilkan energi sinar-X tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut *X Ray Fluorescence* (XRF). Umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Jenis spektrum sinar-X dari cuplikan yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda yang menunjukkan ciri khas masing-masing senyawa (Syahfitri *et al.*, 2013).

2.6.8 Analisis Morfologi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Analisis morfologi partikel geopolimer dilakukan dengan menggunakan SEM untuk melihat bentuk dan ukuran partikel penyusunnya. SEM merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisis permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisis data kristalogi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Dengan menganalisis morfologi dan struktur mikro sampel, maka dapat dijelaskan hubungan antara morfologi dengan sifat kimia, fisik dan mekanik serta struktur kristalin dan *amorf* dari material (Komnitas dan Zaharaki, 2007).

Pecahan sampel geopolimer dianalisis morfologinya dengan menggunakan SEM. Sebelum dilakukan pengujian SEM, terlebih dahulu sampel pecahan dilapisi dengan emas. Prinsip kerjanya dengan memfokuskan berkas elektron yang memindai permukaan sebuah spesimen tidak dihasilkan oleh iluminasi sekejap dari semua area seperti halnya yang terjadi pada TEM. Perbedaan mikroskop optik dengan SEM terletak pada resolusi yang lebih tinggi dan kedalaman area yang lebih besar. Topografi dan morfologi dapat diamati dengan SEM karena kedalaman area yang bisa mencapai *orde* puluhan

micrometer pada perbesaran 1000 kali dan *orde micrometer* pada perbesaran 1000 kali (Ardiansyah, 2012). Hal tersebut dikarenakan di dalam SEM dipergunakan *magnetic lense* yang dapat mengontrol perbesarannya.



Gambar 2.3. Mikrograf SEM geopolimer abu layang batubara (Olivia *et al.*, 2008)

Gambar 2.3 merupakan mikrograf SEM geopolimer abu layang batubara yang telah disintesis oleh Olivia *et al.* (2008). Mikrograf ini menunjukkan adanya retakan dan partikel abu layang batubara yang tidak bereaksi (Olivia *et al.*, 2008). Pembentukan geopolimer ditandai dengan mulai terbentuknya matriks geopolimer, sedangkan partikel yang tidak bereaksi akan terlihat sebagai butiran dalam mikrograf SEM (Kusumastuti, 2009). Bila morfologi partikel geopolimer didominasi oleh butiran menunjukkan bahwa banyak partikel yang tidak bereaksi, sehingga reaksi geopolimerisasi berjalan tidak sempurna dan menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan yang rendah. Sebaliknya, morfologi partikel geopolimer yang didominasi oleh matriks geopolimer yang homogen dan padat menunjukkan bahwa reaksi geopolimerisasi berlangsung lebih sempurna dan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimal diperoleh pada rasio mol 4,90 dengan komposisi 33 gram abu layang batubara, 10 gram NaSiO_3 , 4 gram NaOH dan 8 gram H_2O menghasilkan kuat tekan 32,0333 MPa, densitas 1588,0979 kg/m^3 dan konduktivitas panas 0,1001 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$.
2. Persentase serat eceng gondok optimal pada penambahan 2,5% serat (b/b) dengan kuat tekan 27,57 MPa, kuat tarik belah 21,37 MPa, densitas 1590,2647 kg/m^3 dan konduktivitas panas 0,0999 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$.
3. Pengaruh penambahan serat eceng gondok dan serbuk aluminium paling optimal pada penambahan 0,2 gram serbuk aluminium dan 2,5% (b/b) serat eceng gondok. Analisis fase mineral dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan bahwa geopolimer mengandung fase amorf dengan kandungan mineral utama *quartz*. Analisa gugus fungsi geopolimer dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) menunjukkan terdapatnya ikatan selulosa yang ditandai dengan gugus C-H, terbentuknya rantai geopolimer yang ditandai dengan adanya vibrasi ulur asimetri dan vibrasi tekuk Si-O-Si atau Si-O-Al. Analisis

morfologi partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan terbentuknya matriks geopolimer dan serat.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dikemukakan dari hasil penelitian, pembahasan, dan kesimpulan yang telah diuraikan adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan ukuran serat eceng gondok dan serbuk aluminium agar dapat dalam matriks geopolimer dengan lebih baik
2. Perlu dilakukannya analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*) terhadap serat eceng gondok dan serbuk Al terlebih dahulu untuk mengetahui bagaimana bentuk morfologinya

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.M.A.B., Hussin, K., Bnhussain, M., Ismail, K.N., Yahya, Z., dan Razak, R.A. 2012. Fly Ash-based Geopolymer Lightweight Concrete Using Foaming Agent, *International Journal of Molecular Sciences*, 13:7186-7198
- Abdullah, Yudith.2008. *Pengaruh Zat Aditif dalam Pembuatan Beton Teraerasi yang Diproses dalam Bejana Bertekanan*. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- American Concreta Institute (ACI) 318-08. (2008). *Building code requirements for structural concrete*. American Concrete Institute
- Arlis, P.N. 2012. *Optimasi Nilai Kuat Tekan Fleksural Geopolimer Abu Terbang Suralaya terhadap variable Alkali, Konsentrasi Alkali dan Suhu Curing*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Alomayri, T, Shaikh F. U. A., dan Low I. M. 2013. Characterisation of cotton fibre reinforced geopolymer composites. *Composites Part B*, 50:1
- Anwar, S. 2015. *Penambahan Serat Batang Pisang pada Material Hibrida Berbasis Geopolimer*. Skripsi. Semarang: Program Sarjana Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
- Alzeer, M., dan MacKenzie K. 2013. Synthesis and mechanical properties of novel composites of inorganic polymers (geopolymers) with unidirectional natural flax fibres (*Phormium tenax*). *Applied Clay Science*, 75: 76-148.
- Bagri, A dan Gigih E P. 2010. *Pemanfaatan Serat Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Komposit*. Skripsi. Semarang Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro.
- Bakharev, T., 2005. Durability of Geopolymer Materials in Sodium and Magnesium Sulfate Solutions, *Cement and Concrete Research*, 35:1233-1246.
- Bell, J.L. dan W.M. Kriven. 2008. Preparation of Ceramic Foams from Metakaolin based Geopolymer Gels. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 29 (10): 97-112.
- Buchwald, A., Hohmann, K. Posem dan E. Brendler. 2009. The Suitability of Thermally Activated Illite/Smectite Clay as Raw Material for Geopolymer Binders. *Applied Clay Science*, 3:300-304.

- Chen, R., S. Ahmari, & L. Hang. 2013. Department of Civil Engineering and Engineering Mechanic University of Arizona USA. *Journals of Material Science*.
- Cilla, M.S., M.R. Morelli & P. Colombo. 2014. Open Cell Geopolymer Foams by a Novel Saponification/Peroxide/Gelcasting Combined Route. *Journal of the European Ceramic Society*, JIECS-9601 : 5.
- Daniel, K., Sanjayan J. & Sagoe-Crentsil K. 2006. The Behaviour of Geopolymer Paste and Concrete at Elevated Temperatures. *International Conference on Pozzolan, Concrete and Geopolymer, Khon Kaen, Thailand*, 105-118.
- Davidovits, J., 1991. *Journal of Thermal Analysis*, 37 : 1633-1656.
- Davidovits, J., 1994. *Alkaline Cements and Concretes*, Kiev State Technical University. Ukraine, 131-149.
- Davidovits, J., (1994b), "Properties of Geopolymer Cements", *Proceeding First International Conference on Alkaline Cements and Concrete*, Scientific Research Institute on Binders and Materials, Kiev State Technical University, Kiev, Ukraina, 131-149.
- Davidovits, J. 2002. *30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications*. Geopolimer : Turn Potential Into Profit. Melbourne, Australia: Siloxo Pty Ltd., G. C. Lukey, Ed., CD-ROM Proceedings.
- Davidovits, J. 2008. *Geopolymer Chemistry and Application*. France: Institute Geopolimer.
- De Silva, P., K. Sagoe-Crenstil, K. dan V. Sirivivatnanon. 2007. Kinetic of Geopolymerization: Role of Al_2O_3 and SiO_2 . *Cement and Concrete Research*, 37: 512-518.
- Desita, R. 2015. *Sintesis Geopolymer Berbasa Berbahan Abu Biomasssa Kelapa Sawit dengan Serbuk Aluminium Sebagai Foaming Agent*. Skripsi. Semarang: Program Sarjana Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
- Firmansyah, D. 2013. *Analisa Sifat Mekanik Pasta Geopolimer Ringan Berbahan Dasar Lusi Bakar Dan Fly Ash Dengan Aluminium Sebagai Pengembang*. Tugas Akhir Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ferguson, P.M., 1986, *Dasar-Dasar Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta Pusat.

- Fletcher, R.A., MacKenzie, K. D. J., Nicholson, C. L., dan Shimada, S., (2005), "The Composition Range of Aluminosilicate Geopolymers", *Journal of The European Ceramic Society*, (25): 1471-1477.
- Gani, A. dan A. K. M. Rahman. (2002). *Journal of Biological Science*, 2(8): 558-559.
- Hardjito, D., S.E. Wallah, M.J. Sumajouw dan B.V. Rangan. 2004. Factors Influencing The Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, 6 (2): 88-93.
- Harjanto, S., Sony P., Suharno, B. dan Ashadi, H.W. 2008. Struktur mikro dan Sifat Fisik-Mekanik Beton Ringan Tanpa Pematangan dalam Autoclave (Non Autoclaved Aerated Concrete, NAAC). *Indonesian Journal of Materials Science*, 9(2):139 – 144.
- Heri, T., dan Putranto. 2007. *Coal Fly Ash Conversion to Zeolite for Removal of Chromium and Nickel from Wastewater*. Chemical Engineering, Institute Technology Bandung, Bandung.
- Herman, E., Kunze, C., Gatzweiler, R., Kiebig, G., dan Davidovits, J., (1999), "Solidification of Various Radioactive Residues by Geopolimere with Special Emphasis on Long Term Stability", *Geopolymere '99 Proceedings*, 1:1-15.
- Hendayana, Sumara, A. Kadarrohman, A. A. Sumarna, dan A. Supriatna. 1994. *Kimia Analitik Instrumen (Edisi Kesatu)*. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Hesty. 2009. *Pengaruh Kadar Perekat Urea Formaldehida Pada Pembuatan Papan Partikel Serat Eceng Gondok*. Skripsi. Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara
- Henon, J., A. Alzina, J. Abis, D.S. Smith, dan S. Rossingnol. 2013. Potassium Geopolymer Foams Made with Silica Fume Pore Foaming Agent for Thermal Insulation. *Journal of Porous Mater*, 20: 37-46.
- Khale, D. and Chaudhury R. 2007. Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review. *Journal of Materials Science*, 42: (2007) 729-246.
- Koizumi, T., K. Kido, K. Kita, K. Mikado, S. Gnyloskurenko dan T. Nakamura. 2011. Foaming Agent for Powder Metallurgy Production of Aluminium Foam. *Materials Transactions*, 52(4): 728-733.
- Komnitas, K. dan Zaharaki, D. 2007. Geopolimerisation: A Review Prospects for the Minerals Industry. *Mineral Engineering*, 20:1261-1277.

- Kong, D. L. Y., Sanjayan, J. G. dan Sagoe-Crentsil, K. 2007. Comparative Performance of Geopolymers Made With Metakaolin and Fly Ash After Exposure to Elevated Temperatures. *Cement and Concrete Research*, 37:1583-1589
- Kusumastuti, E. 2009. *Geopolimer Abu Layang Batubara: Studi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ Dan Sifat-Sifat Geopolimer Yang Dihasilkan*. Tesis, Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Lecomte, I., C. Henrist., M. Liegeois., F. Maseri., A. Rulmont., dan R. Cloots. 2006. (Micro)-Structural Comparison Between Geopolymers, Alkali Activated Slag Cement and Portland Cement. *Journal of The European*, 28(9): 1233-1239.
- Li, Z., Chen, R., dan Zang, L. 2013. Utilization of Chitosan Biopolymer to Enhance Fly ash-based Geopolymer. *Journal Matter Science*, 48(1): 7986-7993.
- Liu, Z., Shao, N., Wang, D., Qin, J., Huang, T., Song, W., Lin, M., Yuan, J., dan Wang, Z. 2014. Fabrication and Properties of Foam Geopolymer Using Circulating Fluidized Bed Combustion Fly Ash. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 21(1):89-94.
- Lokantara, P. 2007. Analisis Kekuatan Impact Komposit Polyester-Serat Pohon Pisang dengan Variasi Panjang dan Fraksi Volume Serat yang diberikan Perlakuan NaOH. Bali : Fakultas Teknik Universitas Udayana. *Dinamika Teknik Mesin*, 2: 47-54.
- Lyon, R. E., (1997), "Fire Resistant Aluminosilicate Composites", *Fire and Materials Journal*, 21: 67-73, USA.
- McCaffery, R. 2002. Climate Change and the Cement Industry. *Global Cement and Lime Magazine (Environmental Special Issue)*, 15-19.
- Muchjadin. 2006. *Pengendalian Mutu dalam Industri Batubara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Natalie, A., Manzi S., dan Bignozzi M. C. 2011. Nobel Fiber-Reinforced Composite Material Based On Sustainable Geopolymer Matrix. *Procedia Engineering*. Italy: University Bologna.
- Olivia, M., P. Sarker, dan H. Nikraz. 2008. Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete. *ICCBT-A- 46*: 517-530.
- Panias, D. dan I. Giannopoulou. 2006. Development of Inorganic Polymeric Materials based on Fired Coal Fly Ash. *Acta Metallurgica Slovaca*, 12: 321-327.

- Panias, D., Giannopoulou, I. P., Perraki, T. 2007. Effect of Synthesis Parameters on the Mechanical Properties of Fly Ash-based Geopolymers. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 301:246–254.
- Palomo, A., Grutzeck, M.W. dan Blanco, M. T. 1999. *Alkali-activated Fly Ashes: A Cement for the Future. Cemistry Concrete Research*, 29(8): 1323-1329.
- Pertiwi, K., Ristiana, D., Isnaini, N. dan Prajitno, G. 2015. *Uji Konduktivitas Termal pada Interaksi Dua Logam Besi (Fe) dengan 3 Variasi Bahan Berbentuk Silinder*. Surabaya : Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh November, 1:2-3.
- Phair, J. W., Smith, J. D., dan van Deventer, J. S. J., (2003), “Characteristics of Aluminosilicate Hydrogels Related to Commercial Geopolymers”, *Materials Letters*, 57:4356-4367.
- Purwanto, E. 2011. *Pengaruh Variasi Jarak Anyaman Serat Cantula Terhadap Sifat Mekanik (Tarik Paku, Tekan dan Kekerasan) dan Konduktivitas Panas Pada Komposit Semen Serbuk Aren-Cantula*. Skripsi. Solo: Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin FT, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Rizain. 2008. *Pelarutan Aluminium dan Silikon Berbagai Abu Layang Batubara dari Empat PLTU Menggunakan Variasi Konsentrasi NaOH dan Temperatur*. Tesis tidak diterbitkan. Surabaya: Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rohmawati. L dan Setryarsi, W. 2014. *Studi Kekuatan Mekanik Komposit Serat Alam/Resin Epoxy*. *Journal Berkala Fisika Indonesia*. 6(2)40-46.
- Schmücker, M dan MacKenzie, K. J. D. 2005. Microstructure of Sodium Polysialate Siloxo Geopolymer. *Ceramic International*, 31:433-437.
- Sujoko, S.F. 2013. *Pengaruh Partial Replacement Pasir dengan Breaksi Batu Apung Terhadap Berat Jenis dan Kuat Tekan Beton Ringan*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sun, P dan Wu . 2008. Transition from brittle to ductile behavior of fly ash using PVA fibers. *Cement Concrete Composites*, 30(1):29.
- Song, X. 2007. *Development and Performance of Class F Fly Ash Based Geopolymer Concretes against Sulphuric Acid Attack*. Thesis. Australia: School of Civil and Environmental Engineering The University of New South Wales Sydney.

- Svingala, F.R., 2009, *Alkali Activated Aerogels*, Thesis, Department of Mechanical Engineering, Kate Gleason College of Engineering, Rochester Institute of Technology, Rochester NY.
- Syukur, M. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Foamy Geopolimer Berbahan Dasar Abu Layang Batubara*. Skripsi. Semarang: Program Sarjana Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.
- Vaou, V. dan Panias, D. 2010. Thermal Insulating Foamy Geopolymers From Perlite, *Minerals Engineering*, 23:1146–1151.
- Wardani, S. P. R. 2008. *Pemanfaatan Limbah Baubara (fly ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Widi, M. N. 2012. *Tinjauan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berserat Baja dengan Menggunakan Filler Nanomaterial*. Skripsi. Solo: Universitas Sebelas Maret.
- Widyaningsih, S., Setiawan, E dan Setyaningtyas, T. 2011. *Karakterisasi Abu Terbang PLTU Cilacap Untuk Menurunkan Kesadahan Air di Desa Darmakradenan Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas*. *Journal Molekul*.6(1):35-39.
- Winarno. 1993. *Selulosa Cross and Bevan Tangkai Eceng Gondok Sebagai Papan Partikel*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Xiong, C. J., Ban, C. H., Pei X dan Fang Z. 2004. *Proceding of the International Workshop and Sustainable Development and Concrete Technology*. China: Beijing.
- Xu, H.; Deventer, J. S. J.; Devender. 2002. Microstructural Characterisation of Geopolymers Syntesised from Kaolinite/Stilbite Mixtures Using XRD, MAS-NMR, SEM/EDX, TEM/EDX, and HREM. *Cement & Concrete Research*, 32:1705-1716.
- Xu, H dan J. S. J. Van Deventer. 2000. The Geopolymerisation of Alumino-silicate Minerals. *International Journal of Mineral Processing*, 59 : 247-266.
- Yudo, H dan Kiryanto. 2010. *Analisa Teknis Rekayasa Serat Eceng Gondok Sebagai Bahan Pembuatan Komposit Ditinjau dari Kekuatan Tarik*. *Journal*. Semarang. Teknik Perkapalan Fakultas Teknik UNDIP.

Zhang, Z., J.L. Provis, R. Andrew dan H. Wang. 2014. Geopolymer Foam Concrete: An Emerging Material for Sustainable Construction. *Construction and Building Material*, 56: 113-127.

Zhao, Q., Nair B., Tahimian R., dan Balaguru P. 2007. Novel geopolymer based composites with enhanced ductility. *Journal of Materials Science*. 9: 28-34.

