



**PEMANFAATAN SERAT BATANG POHON PISANG
DALAM SINTESIS MATERIAL HIBRIDA
BERBASIS GEOPOLIMER ABU LAYANG BATUBARA**

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Kimia

oleh

Syaiful Anwar

4311410002

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

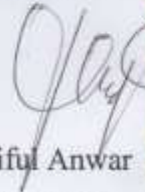
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2015

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, 25 Februari 2015



Syaiful Anwar

4311410002



PERSETUJUAN PEMBIMBING

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

Semarang, 18 februari 2015

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, consisting of a circle with a stylized 'E' inside, followed by several vertical lines and a horizontal stroke at the end.

Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si

198212142009122004

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul
Pemanfaatan Serat Batang Pohon Pisang dalam Sintesis Material Hibrida Berbasis
Geopolimer Abu Layang Batubara

Disusun oleh

Syaiful Anwar

4311410002

Telah dipertahankan di hadapan sidang panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES
pada tanggal 26 Februari 2015.

Panitia.

Ketua



Prof. Dr. Wiyanto, M.Si

196310121988031001

Ketua Penguji

Triastuti Sulistyaningsih, S.Si, M.Si
197704112005012014

Anggota Penguji/

Pembimbing Utama

Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si

198212142009122004

Sekretaris

Dra. Woro Sumarni, M.Pd

196507231993032001

Anggota Penguji/

Penguji Pendamping

Widhi Mahatmanti S.Si, M.Si
196912171997022001

PERSEMBAHAN

1. Tanah Airku, Indonesia
2. Bapak dan Ibu tercinta
3. Kaka dan adik tersayang
4. Almamater dan segenap Kimia angkatan 2010 “ *We are Rock and Awesome*”
5. Sahabat-sahabat terbaik *Mental House*

MOTTO

“A simple act of caring creates an endless ripple” berbagilah kebahagiaan karena hidup semata-mata untuk mencapai kebahagiaan dunia dan akhirat

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas nikmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi berjudul: Pemanfaatan Serat Batang Pohon Pisang dalam Sintesis Material Hibrida Berbasis Geopolimer Abu Layang Batubara sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Kimia.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Wiyanto, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
2. Ibu Dra. Woro Sumarni, M.Pd selaku Ketua Jurusan Kimia dan Ketua Program Studi Kimia
3. Ibu Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungannya
4. Ibu Triastuti Sulistyaningsih, S.Si, M.Si dan F. Widhi Mahatmanti S.Si; M.Si selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan arahnya
5. Segenap Bapak dan Ibu dosen di Jurusan Kimia yang telah memberikan dukungan, dan ilmunya
6. Kedua orang tuaku, Bapak Rosikin dan Ibu Khamsah yang telah memberikan dukungannya dan tak ada hentinya mendoakanku

8. Kaka dan Adik tercinta, Ali Mashudi dan Takhmilatul Jannah yang selalu menyediakan candaan di rumah
9. Kawan-kawan seperjuanganku dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya masih banyak terdapat kekurangan. Sehingga penulis mengharap adanya kritik yang tentunya akan membuat skripsi ini menjadi lebih baik lagi.

Semarang, 25 Februari 2015

Syaiful Anwar
4311410002

ABSTRAK

Anwar, Syaiful. 2015. Pemanfaatan Serat Batang Pohon Pisang dalam Sintesis Material Hibrida Berbasis Geopolimer Abu Layang Batubara. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Ella Kusumastuti S.Si, M.Si.

Kata kunci: abu layang, geopolimer, material hibrida, Serat batang pohon pisang.

Kebutuhan material alternatif yang ramah lingkungan pengganti OPC (*Ordinary Portland Cement*) sebagai bahan bangunan semakin meningkat. Geopolimer merupakan material yang berfungsi sebagai pengganti OPC namun karena sifatnya yang *brittle* perlu dilakukan penambahan serat untuk meningkatkan kuat tariknya. Penggabungan matriks geopolimer sebagai material anorganik dengan serat batang pohon pisang sebagai material organik menjadikannya sebagai material hibrida. Sintesis geopolimer dilakukan dengan mencampurkan abu layang, NaOH dan Na Silikat pada rasio *solid/liquid* (S/L) 1,5 dengan variasi rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 3,238-3,835 kemudian ditambahkan serat batang pisang dengan rasio 0% sampai 2,5% (b/b) abu layang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimum pada geopolimer tanpa penambahan serat adalah 3,526. Penambahan serat optimum pada 1,5% (b/b) serat dengan kuat tekan 32,35 MPa dan kuat tarik belah 10,9 MPa. Sampel uji penambahan 1,5% (b/b) serat mempunyai fasa amorf lebih besar jika dibandingkan dengan sampel uji 0% (b/b) serat setelah dinalisis XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan kandungan mineral utama quartz. Analisis ikatan kimia geopolimer dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) menunjukkan telah terbentuk geopolimer baik pada sampel 0% (b/b) serat maupun 1,5% (b/b) serat yang ditandai dengan adanya pita serapan pada $1002,98\text{ cm}^{-1}$ dan Pita serapan pada $455,2\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si–O–Si atau Si–O–Al. Pita serapan pada $2931,8\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C-H serat selulosa juga muncul pada geopolimer dengan penambahan serat. Analisis morfologi partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan bahwa terdapat partikel serat berada di antara matriks geopolimer.

ABSTRACT

Anwar, Syaiful. 2015. Pemanfaatan Serat Batang Pohon Pisang dalam Sintesis Material Hibrida Berbasis Geopolimer Abu Layang Batubara. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Ella Kusumastuti S.Si, M.Si.

Keywords: banana stem fiber, hybrid material, geopolymer, abulayang

A need of an alternative material which is environmentally friendly to substitute the use of Ordinary Portland Cement (OPC) as a construction material keeps increasing. Geopolymer is a material that can substitute the use of OPC. However, because it is a brittle material, it is necessary to add more fiber to improve its tensile strength. The mix between matrix geopolymer as inorganic material and banana stem fibers as organic materials produce a hybrid material. Geopolymer synthesis is done by mixing abu layang, NaOH and Na Silicate in the ratio S/L of 1.5 with a mol ratio variation of SiO₂ / Al₂O₃ 3,238-3,835, then banana stem fiber is added with 0%-1,5% (b/b) variation of abu layang. The result showed that mol of SiO₂ / Al₂O₃ is optimum at 3.526. The addition of the optimum fiber occurred in 1.5% (b/b) of fiber addition with a compressive strength of 32.35 MPa and a tensile strength of 10.9 MPa. The addition test sample of 1.5% fiber has a greater amorph phase than 0% fiber test sample after analyzed with 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 0% fiber and in 1.5% fiber that is characterized by the presence of an absorption band at 1002.98 cm⁻¹ and an absorption band at 455.2 cm⁻¹. They showed an asymmetric stretching vibration of Si-O-Si or Si-O-Al. The absorption band at 2931,8 cm⁻¹ also showed a bond of C-H cellulose fiber in the fiber-added geopolymer. The analysis of particle morphology using SEM (Scanning Electron Microscopy) showed that the fiber existed among the geopolymer matrix.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN	iv
PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
PRAKATA	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB	
1. PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	5
1.3 TUJUAN	5
1.4 MANFAAT	6
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. FLY ASH	7
2.2. GEOPOLIMER	9
2.3. SERAT BATANG PISANG	12
2.4. MATERIAL HIBRIDA	14
2.5. SINTESIS GEOPOLIMER	15
2.5. KARAKTERISASI	
2.4.1. Analisis Komposisi Kimia dengan XRF	19
2.4.2. Analisis Morfologi Partikel Menggunakan SEM	20
2.4.3. Analisis Fasa Mineral dengan XRD	22
2.4.4. Analisis Ikatan Kimia dengan FTIR	24
2.4.5. Uji Kuat Tekan dengan <i>Universal Testing Machine</i>	25
2.4.6. Uji Kuat Tarik Belah dengan <i>Universal Testing Machine</i>	26

3. METODE PENELITIAN	
3.1. LOKASI PENELITIAN	27
3.2. SAMPEL	27
3.3. VARIABEL PENELITIAN	27
3.4. ALAT DAN BAHAN	28
3.5. PROSEDUR KERJA	
3.5.1. Preparasi Serat Batang Pisang	29
3.5.2. Preparasi Abu Layang	29
3.5.3. Pembuatan Larutan Pengaktif	29
3.5.4. Penentuan Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Optimum	30
3.5.5. Sintesis Geopolimer dengan Variasi Serat Pelepah Pisang	30
3.6. Karakterisasi Geopolimer	
3.6.1. Uji Kuat Tekan	31
3.6.2. Uji Kuat Tarik Belah	31
3.6.3. Analisis morfologi	32
3.6.4. Analisis Fasa Mineral	32
3.6.5. Analisis Ikatan Kimia	33
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. PREPARASI SERAT BATANG PISANG	36
4.2. PENENTUAN RASIO SiO ₂ /Al ₂ O ₃	39
4.3. SINTESIS MATERIAL HIBRIDA BERBASIS GEOPOLIMER ABU LAYANG BATUBARA	40
4.4. KARAKTERISASI GEOPOLIMER	
4.4.1. Karakterisasi Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah	42
4.4.2. Karakterisasi FTIR (Fourier Transform Infrared)	45
4.4.3. Karakterisasi XRD (X-Ray Diffraction)	48
4.4.4. Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscopy)	50
5. PENUTUP	
5.1. SIMPULAN	53
5.2 SARAN	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> Kelas F	7
Tabel 3.1.	Variasi Komposisi Bahan Awal Pada Penelitian Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃	30
Tabel 3.2.	Variasi Komposisi Serat Batang Pisang Kepok	31
Tabel 4.1	Kandungan Kimia Abu Layang Batubara PLTU Tanjungjati B Jejara.....	34
Tabel 4.2.	Hasil Analisis Na Silikat Menggunakan Metode AAS	36
Tabel 4.3.	Hasil Analisis Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Sampel Geopolimer Dengan Penambahan Serat Batang Pisang	43
Tabel 4.4.	Hasil Analisis FTIR Material Hibrida Berbasis Geopolimer Abu Layang Batubara.....	47
Tabel 4.5.	Hasil Analisis XRD Material Hibrida Berbasis Geopolimer Abu Layang Batubara.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mikrograf SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) Geopolimer Abu Layang Batubara	21
Gambar 2.2. Difraktogram Metakaolin (MK) (Bahan Dasar) dan Geopolimer Si38, Si34, Si30, dan Si25 (De Silva <i>et al.</i> , 2007)	23
Gambar 2.3 Spektra FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>) abu layang PLTU Suralaya	25
Gambar 4.1 Perlakuan Serat Batang Pisang Kepok	37
Gambar 4.2. Diagram Kuat Tekan terhadap Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃	39
Gambar 4.3 Hasil Sintesis Geopolimer dengan Penambahan Serat.....	41
Gambar 4.4 Hasil Sintesis Geopolimer dengan Penambahan Serat, diambil pada Sampel Geopolimer Masih Utuh	41
Gambar 4.5. Grafik Hasil Analisis Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Geopolimer Dengan Penambahan Serat Batang Pisang.....	43
Gambar 4.6. Sampel Uji Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Geopolimer 0 % Serat dan 1,5 % Serat	44
Gambar 4.7 Spektra IR Geopolimer dari Abu Layang PLTU Jepara	46
Gambar 4.8. Difraktogram Geopolimer dengan Penambahan 1,5 % serat dan 0% serat	49
Gambar 4.9 Hasil Analisa SEM Sampel Uji Geopolimer 0 % Serat dan 1,5 % Serat.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram alir penelitian	62
Lampiran 2	Data Kuat Tekan dan Contoh Perhitungan Pada Penentuan Rasio SiO ₂ / Al ₂ O ₃	66
Lampiran 3	Data Kuat Tekan , Kuat Tarik Belah dan Contoh Perhitungan Pada Penelitian dengan Penambahan Serat Batang Pisang.....	68
Lampiran 4	Kartu PDF (<i>Powder Diffraction File</i>) untuk Penentuan Jenis Mineral dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	70
Lampiran 5	Dokumentasi Penelitian	72

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama satu dekade, pemanasan global telah menjadi topik permasalahan utama dalam berbagai penelitian sains dan rekayasa, terutama terkait dengan emisi gas buang seperti CO₂ yang berasal dari aktivitas manusia. Sebanyak 65% dari total emisi gas rumah kaca disumbangkan oleh CO₂. Total emisi CO₂ tersebut, sekitar 6% berasal dari industri semen, yang didominasi oleh produk *Ordinary Portland Cement* (OPC) sebagai bahan konstruksi yang dikenal secara luas oleh masyarakat. Produksi tiap ton semen Portland kira-kira akan melepaskan satu ton CO₂ ke atmosfer. Mengingat fungsi OPC sebagai bahan konstruksi yang digunakan di seluruh dunia dalam kuantitas sangat besar, maka upaya pengurangan emisi CO₂ dari sektor industri ini sangat layak untuk diupayakan (Walmiki & Prambudi, 2013).

Geopolimer merupakan suatu polimer anorganik yang mulai dikembangkan pada dekade '80-an sebagai alternatif pengganti maupun pelengkap semen portland dalam konstruksi sipil. Alur produksi geopolimer yang tidak memerlukan pengolahan pada temperatur tinggi menyebabkan bahan ini memiliki residu karbon yang jauh lebih kecil daripada semen Portland. Geopolimer disintesis dari bahan-bahan yang mengandung silika dan alumina atau disebut aluminosilikat. Bahan baku aluminosilikat di Indonesia, seperti kaolin dan abu layang mudah didapat. Hal inilah yang menyebabkan potensi pengembangan geopolimer di Indonesia sangat besar, apalagi jika dikaitkan dengan komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi karbon nasional sebesar 26% pada tahun 2020 menurut kerangka kerja UNFCCC (Hilman, 2010).

Geopolimer tidak hanya menyediakan kinerja yang sebanding dengan OPC dalam banyak aplikasi, tetapi memiliki banyak keuntungan tambahan, termasuk waktu

pengerasan, curing cepat, memiliki ketahanan termal yang baik, ketahanan terhadap asam, dan secara signifikan mengurangi penggunaan energi serta emisi gas rumah kaca. Karakteristik ini menjadikan geopolimer sebagai material potensial yang penting untuk pembangunan berkelanjutan. Sebagai pengganti OPC, 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 kekuatan geopolimer. Sun & Wu (2008) mempelajari perilaku mekanik geopolimer berbasis abu layang yang diperkuat serat PVA dengan meneliti kuat tarik dan menunjukkan bahwa 1% serat memberikan hasil optimum secara signifikan dapat meningkatkan daktilitas komposit. He *et al.* (2010) meneliti sifat termal dan sifat mekanik geopolimer yang diperkuat serat karbon dan menemukan bahwa sifat mekanik geopolimer yang diperkuat komposit mengalami ketahanan termal yang lebih baik ketika dipanaskan pada suhu 1100-1300 °C. Saat ini semua serat diproduksi oleh proses yang memakan energi tinggi sehingga terdapat kekhawatiran serius tentang keberlanjutan penelitian ini (Chen *et al.*, 2013).

Aplikasi geopolimer yang telah diteliti antara lain di bidang keramik, pengikat, matriks untuk stabilisasi limbah berbahaya, bahan tahan api, bahan bebas asbes, dan bahan-bahan berteknologi tinggi (Colangelo *et al.*, 2013). Upaya untuk meningkatkan kekuatan geopolimer salah satunya yaitu penambahan serat sintesis. 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 ketersediaannya yang melimpah, ramah

lingkungan, densitas yang rendah, lebih murah dan bebas dari emisi CO₂ jika dibandingkan dengan serat baja, serat karbon dan kaca penguat. Adapun beberapa serat alami yang telah diteliti antara lain serat tangkai kapas, serat kelapa, serat bambu dan serat alami yang lain yang digunakan untuk memperkuat bahan semen dan diperoleh hasil yang cukup baik (Chen *et al.*, 2013).

Teixeira-Pinto *et al.*, (2008) mempelajari pemanfaatan serat rami untuk memperkuat geopolimer berbasis metakaolin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kain rami mentah, tanpa perlakuan kimia, dapat digunakan bersama dengan geopolimer yang untuk menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih baik dan mempunyai ketahanan termal yang baik. Alomayri *et al.* (2013) mempelajari sifat fisik, mekanik, dan fraktur geopolimer berbasis abu layang yang diperkuat dengan serat kapas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat katun dapat meningkatkan sifat mekanik komposit geopolimer. Alzeer & MacKenzie (2012) meneliti geopolimer berbasis metakaolin diperkuat dengan serat wol alami. Permukaan beberapa serat wol dimodifikasi secara kimia untuk meningkatkan ketahanan alkali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehadiran serat wol sekitar 40% meningkatkan kuat lentur komposit. Sebuah studi baru yang dilakukan oleh Alzeer & Mac Kenzie (2013) pada geopolimer berbasis metakaolin diperkuat dengan serat rami alami menunjukkan bahwa kekuatan lentur dari komposit yang diperkuat serat meningkat dengan kadar serat tinggi, mencapai sekitar 70 MPa pada komposisi 10% serat.

Serat batang pisang merupakan jenis serat yang berkualitas baik, dan merupakan salah satu bahan potensial alternatif yang dapat digunakan sebagai *filler* pada pembuatan komposit. Penelitian yang dilakukan oleh Supratiningsih (2012) mempelajari bahwa serbuk serat batang pisang dapat meningkatkan kuat tarik dan kekerasan komposit PVA – CaO₃. Chen *et al.* (2013) mempelajari bahwa penambahan

serat gandum dapat meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur geopolimer berbasis abu layang dan mencapai keadaan optimal pada penambahan serat sebanyak 2%.

Batang pisang sebagai limbah dapat dimanfaatkan menjadi sumber serat agar mempunyai nilai ekonomis. Rahman (2006) menyatakan bahwa perbandingan bobot segar antara batang, daun, dan buah pisang berturut-turut 63, 14, dan 23%. Batang pisang memiliki bobot jenis $0,29 \text{ g/cm}^3$ dengan ukuran panjang serat 4,20 – 5,46 mm dan kandungan lignin 33,51% (Syafrudin, 2004).

Pada pemanfaatan serat batang pisang yang dilakukan oleh Supratiningsih (2012) sebagai *filler* komposit PVA-CaO terlebih dahulu serat batang pisang diberi perlakuan dengan alkali. Perlakuan dengan alkali (NaOH) diharapkan dapat berpengaruh terhadap komposit yang dihasilkan, karena fungsi alkali dapat menghilangkan lignin yang ada (Muiz, 2005). Pemberian perlakuan alkali pada bahan berlignin selulosa mampu mengubah struktur kimia dan fisik permukaan serat. Terbukti bahwa penambahan serat batang pisang pada komposit PVA-CaO₃ dapat meningkatkan kuat tarik, kekerasan dan titik nyala komposit. Nopriantina & Astuti (2013) mempelajari bahwa ketebalan serat batang pisang mempengaruhi kuat tekan dan kuat tarik maksimum papan komposit polyester-serat alam. Raghavendra, *et al.* (2013) mempelajari bahwa penggunaan serat batang pisang sebagai campuran komposit karet alam dapat memperkuat kekuatan mekanis komposit berupa kuat tekan dan kuat tarik. Kekuatan maksimum diperoleh ketika panjang serat 15 mm.

Dengan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka pada kesempatan kali ini penulis ingin mempelajari efek penambahan serat batang pisang pada geopolimer berbasis abu layang batubara.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Berapa rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimal pada geopolimer abu layang batubara tanpa penambahan serat ?
2. Berapa persen serat (b/b) batang pisang yang ditambahkan untuk menghasilkan geopolimer abu layang batubara dengan kuat tekan dan kuat tarik belah optimum ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan serat batang pisang terhadap sifat fisik dan struktur kimia geopolimer abu layang batubara yang dihasilkan ?

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan diteliti diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimal geopolimer berbasis abu layang batubara.
2. Mengetahui persen serat (b/b) optimal pada geopolimer abu layang batubara
3. Mengetahui pengaruh serat pisang terhadap sifat fisik dan struktur kimia geopolimer

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi berbagai pihak, antara lain sebagai berikut :

1. Pribadi

Bagi pihak pribadi manfaat penelitian ini adalah untuk menerapkan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh dalam bentuk penelitian tugas akhir berupa karya tulis ilmiah dalam rangka penyelesaian studi strata 1 sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang.

2. Mahasiswa

Bagi pihak mahasiswa manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah ilmu pengetahuan tentang penelitian kimia khususnya dalam bidang sintesis geopolimer beserta aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari dan dapat digunakan sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

3. Lembaga

Bagi pihak lembaga yang terkait manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan referensi untuk data penelitian selanjutnya dengan pemanfaatan yang lebih baik lagi.

4. Masyarakat

Bagi masyarakat manfaat dari penelitian ini adalah menambah wawasan dalam pemanfaatan abu layang dalam sintesis geopolimer. Selain itu dapat meningkatkan nilai ekonomis abu layang dan serat batang pisang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fly Ash (Abu Layang)

Menurut *American Standart Test Methode C618* (ASTM, 1995:304) abu layang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. *Fly ash* yang berasal dari residu pembakaran batubara telah terbukti dapat digunakan untuk sintesis geopolimer. *Fly ash* dianggap menguntungkan karena reaktivitas partikelnya lebih halus daripada *slag*. *Fly ash* mengandung kalsium lebih rendah dibandingkan *slag* (Rangan & Rangan, 2005). *Fly ash* mengandung kalsium oksidasi, alumunium dan silikon. Kandungan karbon dalam *fly ash* harus sedikit mungkin sedangkan kandungan silika harus tinggi (Nur *et al.*, 2013).

ASTM C618 menggolongkan *fly ash* menjadi dua kelas berdasarkan kandungan kapur (CaO) yaitu kelas F dengan kandungan CaO kurang dari 10% dan kelas C dimana kandungan CaO lebih dari 20%. Sintesis geopolimer dalam kasus ini menggunakan abu terbang kelas F. Adapun contoh kandungan untuk *fly ash* kelas F dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia *Fly Ash* Kelas F

Komponen	Persen	Komponen	Persen
SiO ₂	52,2	K ₂ O	0,4
Al ₂ O ₃	38,6	MgO	0,4
Fe ₂ O ₃	2,9	SO ₃	1,2
CaO	0,9	SO ₂	-
Na ₂ O	0,7	LOI	1,4

Sumber : Januarti & Triwulan, 2011

Menurut Hwang sebagaimana dikutip Kusumastuti (2009b), menyebutkan bahwa selama ini pemanfaatan abu layang terbatas pada sektor konstruksi yakni

sebagai campuran semen dan beton, namun hanya 20% dari total semen dapat digantikan oleh abu layang. Teknologi pemanfaatan abu layang yang sudah dikembangkan antara lain sebagai *filler* dalam pembuatan plastik, pembuatan bahan-bahan *refraktori*, komposit matriks logam, dan sebagai adsorben.

Van Jaarsveld *et al.* (2003) melaporkan bahwa ukuran partikel, kandungan kalsium, kandungan logam alkali, kandungan amorf, dan morfologi serta asal dari abu layang mempengaruhi sifat-sifat geopolimer. Mereka juga membuktikan bahwa kandungan kalsium dalam abu layang memainkan peranan yang penting terhadap kuat tekan geopolimer. Semakin tinggi kandungan kalsium maka semakin tinggi pula kuat tekan geopolimer yang dihasilkan. Namun, untuk mencapai sifat ikatan yang optimal dari material, abu layang sebagai material asal harus memiliki kandungan kalsium yang rendah dan karakteristik-karakteristik lainnya seperti material yang tidak terbakar harus lebih rendah dari 5%, Fe_2O_3 lebih rendah dari 10%, kandungan silika reaktif yang harusnya berkisar 40-50%, 80-90% partikel-partikelnya memiliki ukuran kurang dari 45 μm dan kandungan fase *glass* yang tinggi. Gourley (2002) menyebutkan bahwa adanya kalsium dalam abu layang dalam jumlah yang signifikan dapat mengganggu kecepatan polimerisasi yang telah diatur dan mengubah mikrostrukturnya. Penggunaan abu layang dengan kandungan kalsium yang rendah (Kelas F) lebih diutamakan daripada abu layang dengan kandungan kalsium yang tinggi untuk pembuatan geopolimer.

Kusumastuti (2009b) mempelajari bahwa reaktivitas kimia abu layang ditentukan oleh antara lain sifat fasa yang terkandung di dalamnya (contohnya jumlah materi yang tidak terbakar atau LOI, yang tidak reaktif dengan substansi lain yang ditambahkan), ukuran partikel dan komponen yang dikandungnya (SiO_2 , Al_2O_3 dan CaO). Adamiec *et al.*, (2008) mempelajari bahwa uji *pozzolanik* pada abu layang membuktikan bahwa kehalusan abu layang mempengaruhi kinetika dan fasa

neofornnya (yakni kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat). Semakin kecil ukuran partikel abu layang, semakin besar reaktivitas *pozzolaniknya* dan semakin tinggi intensitas puncak XRD fasa *neofornnya*.

2.2 Geopolimer

Istilah 'geopolimer' pertama kali dikemukakan oleh Davidovits (1989) pada dasawarsa 1970an untuk mendeskripsikan suatu bahan padat dengan komposisi kimiawi yang menyerupai zeolit, namun secara struktural tersusun dari rantai makromolekul yang terdiri dari atom-atom silikon, aluminum, serta oksigen (Davidovits, 1989). Rantai makromolekul silika-aluminat ini melibatkan gugus-gugus poli(sialat), yang merupakan rantai dan cincin dari polimer antara Si^{4+} dengan Al^{3+} dalam ikatan koordinasi IV dengan oksigen yang berstruktur amorf hingga semi-kristalin, dengan persamaan empirik $\text{Mn}[-(\text{SiO}_2)_z-(\text{AlO}_2)-]_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$ (Davidovits, 1994). Dalam persamaan tersebut, 'z' adalah 1, 2, atau 3 atau lebih sampai dengan 32, M adalah kation monovalen seperti K (Kalium) atau Na (Natrium) dan 'n' adalah derajat polikondensasi. Ikatan poli(sialat) dalam geopolimer ini lebih lanjut dibedakan menjadi 3 tipe, yaitu poli(sialat) tipe (-Si-O-Al-O-), poli(sialat-silokso) tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-), serta poli(sialat-disilokso) tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-) (Davidovits, 1994).

Geopolimer disintesis dari bahan dasar yang berupa senyawa aluminosilikat dengan aktivator yang berupa larutan alkali hidroksida dan (atau) alkali silikat. Pelarutan dari aluminosilikat oleh alkali akan menghasilkan monomer $\text{Si}(\text{OH})_4$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4$ yang kemudian akan terpolikondensasi menjadi polimer alkali aluminosilikat yang memiliki struktur jaringan melalui pembentukan ikatan silang (*crosslinking*) 3-dimensi (Davidovits, 2011: 16).

Secara umum, ada tiga pegolongan dalam sintesis geopolimer yaitu aluminosilikat sebagai bahan mentah (*raw material*), kaolin atau metakaolin sebagai filler, geopolimer liquor berupa alkali hidroksida untuk melarutkan alumina dan silika, serta natrium atau kalium silikat sebagai *binder/alkali activator/dispersant/plasticiser*. Penambahan *filler* berupa kaolin atau metakaolin dilakukan bila laju pelarutan Al pada *raw material* tidak cukup untuk menghasilkan gel dengan komposisi yang diinginkan (Komnitsas & Zaharaki, 2007).

Dalam konteks pengembangan proses berwawasan lingkungan, keunggulan geopolimer tidak hanya bertumpu pada konsumsi energi yang lebih rendah daripada OPC, tetapi juga pada fleksibilitas bahan baku yang sangat tinggi. Proses sintesis geopolimer praktis dapat memanfaatkan padatan aluminosilikat apapun, dari mineral alami, bahan sintetik, hingga limbah anorganik. Xu & van Deventer (2003) menggolongkan bahan-bahan baku aluminosilikat ini sebagai: (1) bahan-bahan terkalsinasi, misalnya metakaolin, abu layang, ampas peleburan logam (*slag*), dan sebagainya, serta (2) bahan-bahan tak terkalsinasi seperti mineral-mineral kaolinit, feldspar, limbah pengolahan bijih tambang (*tailing*), dan lain-lain.

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 klinker semen dan kaca air (Hardjito, 2004; Xiong *et al.*, 2004;. Khale & Chaudhury, 2007). Natrium terlarut atau garam kalium klorida telah digunakan dalam larutan aktivator untuk memperlambat pengerasan gel geopolimer dan pepadatan garam kimia lainnya seperti KCl, K₂CO₃, K₂C₂O₄.H₂O dan K₂HPO₄ juga digunakan sebagai penggerak untuk reaksi geopolimerisasi dan pepadatan (Brough *et al.* 2000 ; Lee & Van Deventer 2002). Pemilihan aktivator yang berbeda untuk pembubaran alumino-silikat dan pembekuan ke dalam struktur tetrahedral sementasi geopolimer

sangat penting. Kebanyakan kasus, reaksi alkali alumino-silikat menyebabkan pembentukan zeolit yang bukan merupakan bagian dari fase sementasi.

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 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dalam polisialat. Rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang rendah seperti pada abu layang menginisiasi jaringan 3D yang sangat kaku sehingga kebanyakan aplikasi geopolimernya pada bidang teknik sipil.

Xu & Deventer (2000) juga mempelajari berbagai jenis mineral-mineral alumino-silikat untuk membuat geopolimer. Studi yang mereka lakukan melibatkan 16 mineral alami Si-Al yang melingkupi cincin, rantai, lembaran dan kelompok struktur kristal, dan juga kelompok mineral garnet, mika, tanah liat, feldspar, *sodalite* dan zeolit. Mereka menemukan bahwa mineral-mineral aluminosilikat alami merupakan sumber yang potensial untuk pembuatan geopolimer. Larutan alkali menggunakan natrium hidroksida atau kalium hidroksida.

Abu layang dan *slag* adalah sumber geopolimer yang paling potensial. Beberapa studi telah melaporkan penggunaan prekursor ini. Cheng & Chiu (2003) mempelajari pembuatan geopolimer tahan api menggunakan slag tanur tinggi yang telah digranulasi yang dikombinasikan dengan metakaolit. Kombinasi dari kalium hidroksida dan natrium silikat telah digunakan sebagai larutan alkali. Van jaarsveld *et al.* (1997) telah berhasil mengidentifikasi potensi penggunaan material limbah seperti abu layang yang telah terkontaminasi oleh minyak, limbah tambang dan runtuh bangunan untuk menghambat mobilisasi logam beracun. Palomo *et al* (1999) melaporkan penelitian tentang geopolimer berbasis abu layang . Mereka menggunakan kombinasi alkali natrium hidroksida dengan natrium silikat serta kalium hidroksida dengan kalium silikat sebagai larutan alkali. Mereka menemukan bahwa tipe larutan alkali merupakan

faktor yang sangat penting dalam mempengaruhi kekuatan mekanis geopolimer. Kombinasi dari natrium silikat dan natrium hidroksida memberikan kekuatan tekan yang paling tinggi.

2.3 Serat Batang Pisang

Pohon pisang (*musaceae*) adalah tanaman buah herbal yang berasal dari kawasan Asia Tenggara (termasuk Indonesia). Produksi pisang Indonesia menduduki tempat kelima setelah India, Ekuador, Brasil, Cina dan Filipina dengan besaran 3,6 juta ton atau 5% dari produksi dunia. Luas panen pisang Indonesia meningkat dari 70,5 ribu Ha pada tahun 1999 menjadi 85,7 ribu Ha pada tahun 2003. Rahman (2006) menyatakan bahwa perbandingan bobot segar antara batang, daun, dan buah pisang berturut-turut adalah 63%, 14%, dan 23% dari perbandingan tersebut maka akan diperoleh batang segar sebanyak 14,939 juta ton pada tahun yang sama. Batang pisang memiliki berat jenis $0,29 \text{ g/cm}^3$ dengan ukuran panjang serat 4,20–5,46 mm dan kandungan lignin 33,51% Syafrudin (2004).

Berdasarkan Sensus Pertanian Tahun 2003 petani yang terlibat dalam budidaya pisang di Indonesia sebanyak 16 juta atau 30,3% dari pertanian secara keseluruhan yang berjumlah 52,9 juta rumah tangga pertanian. Hal ini menggambarkan bahwa setiap 10 orang petani, tiga di antaranya menanam pisang baik sebagai tanaman pekarangan maupun sebagai tanaman kebun/ladang. Produksi pisang di propinsi Kalimantan Selatan menurut angka tetap tahun 2004, Ditjen hortikultura tahun 2005, dan Ditjen tanaman buah 2006 mencapai 67.362 ton dari luas panen 1.873 Ha. Kalimantan Selatan merupakan salah satu sentra produksi pisang terutama pisang Kepok. Varietas ini merupakan jenis pisang olahan yang memiliki keunggulan dalam rasa dan relatif lebih tahan terhadap benturan, dan daya simpan (Pramono, 2012).

Adapun serat pisang yang digunakan yaitu serat yang berasal dari pisang kepok. Berikut adalah klasifikasi dari buah pisang kepok (*Musa acuminata* L.):

Kingdom : Plantae
Filum : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Zingiberales
Famili : Zingiberraceae
Genus : *Musa*
Spesies : *Musa acuminata* L.

Serat batang pisang diperoleh dari pohon pisang kepok (*Musa acuminata*) merupakan serat yang mempunyai sifat mekanik yang baik. Sifat mekanik dari serat batang pisang mempunyai densitas $1,35 \text{ g/cm}^3$, kandungan selulosanya 63-64%, hemiselulosa (20%), kandungan lignin 5%, kekuatan tarik rata-rata 600 MPa, modulus tarik rata-rata 17,85 GPa dan pertambahan panjang 3,36 % (Lokantara, 2007). Diameter serat batang pisang adalah $5,8 \text{ }\mu\text{m}$, sedangkan panjang seratnya sekitar 30,92-40,92 cm (Nopriantina & Astuti, 2013).

Pada dasarnya semua jenis serat dapat digunakan sebagai bahan tambahan yang dapat memperkuat atau memperbaiki sifat-sifat beton. Penggunaannya tergantung dari maksud penambahan serat ke dalam beton baik bahan alami atau buatan, tapi yang harus diperhatikan adalah bahwa serat tersebut harus mempunyai kuat tarik yang lebih besar dari pada kuat tarik beton. Selain itu ketahanan serat terhadap alkali juga harus diperhatikan karena dalam sintesis geopolimer digunakan alkali hidroksida untuk melarutkan silika dan alumina (Widi, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh Pramono (2012) menunjukkan bahwa perlakuan dengan alkali 5% selama 2 jam dapat meningkatkan kuat tarik maksimal dari serat batang pisang kepok hingga 35,404 MPa.

2.4 Material Hibrida

Material hibrida merupakan suatu materi yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang berbeda. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang mempunyai sifat mekanik lebih kuat dari material pembentuknya. Komposit terdiri dari dua bagian yaitu matrik sebagai pengikat atau pelindung komposit dan *filler* sebagai pengisi komposit. Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis. Serat alam mudah didapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses, densitasnya rendah, ramah lingkungan, dan dapat diuraikan secara biologi (Kusumastuti, 2009a). Komposit serat dalam dunia industri mulai dikembangkan daripada menggunakan bahan partikel. Bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu *strong* (kuat), *stiff* (tangguh), dan lebih tahan terhadap panas pada saat di dalam matrik (Herlina, 2011).

Sebagai upaya untuk mengurangi kelemahan beberapa sifat bahan geopolimer, seperti sifat yang getas dan kuat lentur yang rendah, komposit geopolimer telah diperkenalkan dalam beberapa tahun terakhir. Komposit berbasis geopolimer biasanya diperoleh dengan penggabungan polimer anorganik dan organik seperti polivinil asetat, polypropylene, polyvinyl alcohol, atau polimer organik yang larut dalam air (Colangelo, 2013)

Colangelo (2013) mempelajari tentang komposit hibrida organik-anorganik dengan menambahkan resin epoxy untuk geopolimer. Penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan resin epoksi dapat meningkatkan homogenitas geopolimer dan dapat meningkatkan kuat tekan serta mengurangi porositas dari geopolimer yang telah disintesis. Li (2013) mempelajari bahwa penambahan kitosan dalam geopolimer berbasis abu layang dapat meningkatkan kuat tarik geopolimer dan mencapai kondisi optimum pada penambahan kitosan sebanyak 1% dari berat abu layang. Selanjutnya

Nur (2013) dalam sintesis geopolimer berbasis lumpur bakar sidoarjo dan abu layang mempelajari bahwa semakin banyak serat alami yang ditambahkan dapat meningkatkan kuat tekan dari geopolimer yang dihasilkan.

2.5 Sintesis Geopolimer

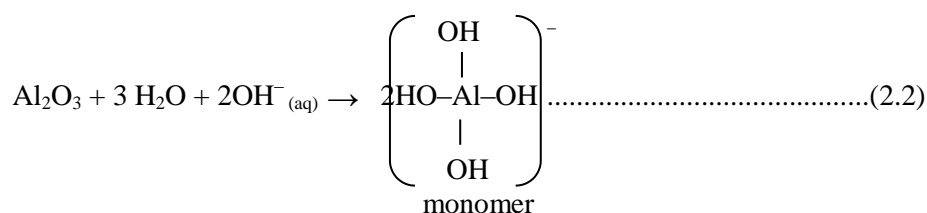
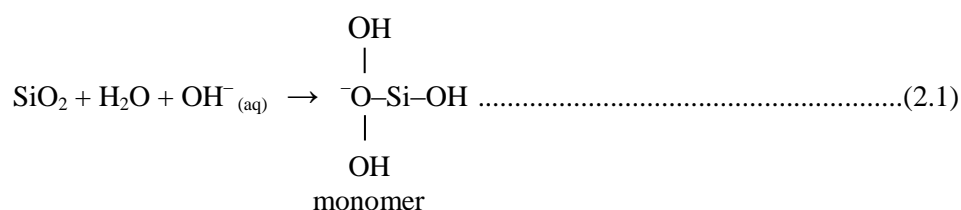
Sintesis geopolimer terlebih dahulu dilakukan preparasi abu layang dan serat batang pisang. Abu layang terlebih dahulu dipreparasi dengan dioven pada suhu 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan air yang terdapat dalam abu layang. Selanjutnya dilakukan analisis komposisi kimia menggunakan XRF untuk mengetahui komponen kimia di dalam abu layang (Van Jaarsveld *et al.*, 2003 dan Duxson, 2007).

Sintesis geopolimer sangat tergantung pada kondisi bahan awal, yaitu sifat dan komposisi abu layang, konsentrasi larutan alkali, dan proses geopolimerisasinya (Jaarsveld *et al.*, 2003). Namun sampai saat ini belum ditemukan pola umumnya, karena setiap abu layang memiliki komposisi yang berbeda tergantung dari asal batubara dan proses pembakarannya, sehingga pada setiap sintesis perlu adanya penelitian pendahuluan untuk mengetahui parameter bahan awal dan proses pengerjaannya. Urutan sintesis geopolimer antara lain, pelarutan Si dan Al dari abu layang dengan medium alkali, transformasi atau orientasi menjadi spesi yang lain, dan reaksi polikondensasi yang akan membentuk jaringan polisialat ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2$), polisialat-siloxo ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4$), atau polisialat-disiloxo ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 6$). Tipe rantai yang berbeda ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula pada geopolimer (Puspitasari, 2010).

Penelitian tentang efek rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ telah dikembangkan lebih lanjut pada geopolimerisasi berbahan dasar metakaolin dan ditemukan berperan penting dalam pembentukan sifat-sifat struktur mikro (Phair *et al.*, 2003). Peranan Al_2O_3 dan SiO_2 dalam geopolimerisasi metakaolin memberikan fakta bahwa sifat-sifat

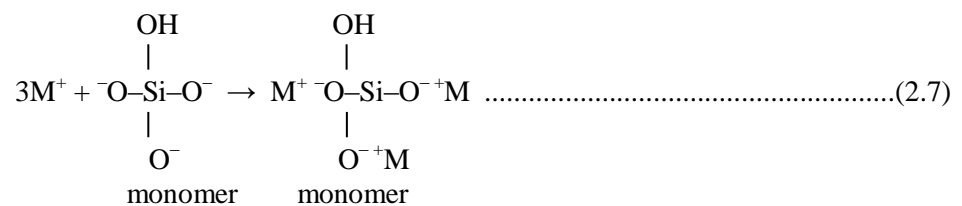
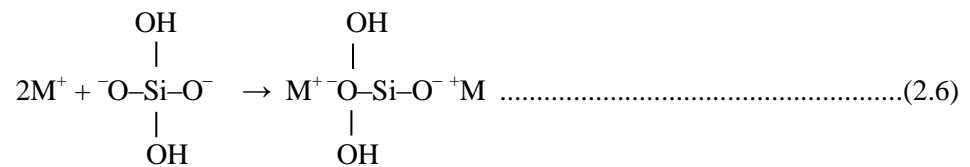
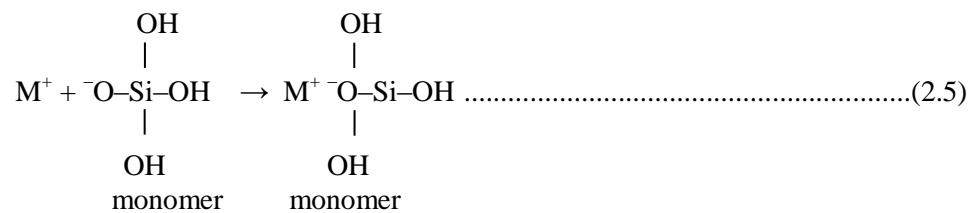
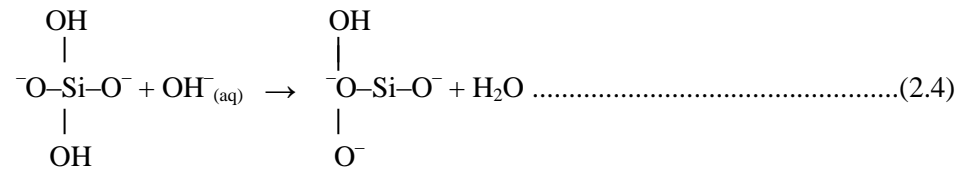
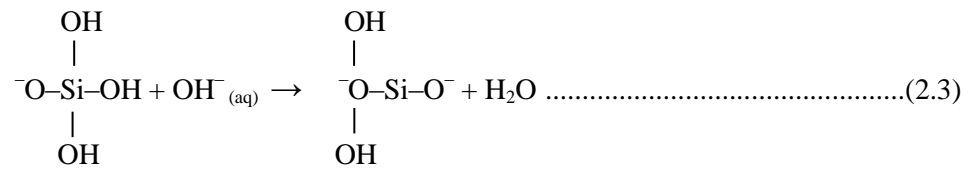
geopolimer secara signifikan ditentukan oleh perubahan yang kecil dari konsentrasi Si dan Al selama sintesis (De Silva *et al.*, 2008). De Silva juga menyimpulkan bahwa rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bertanggung jawab terhadap perkembangan kekuatan geopolimer. Pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ rendah, kekuatan awal sangat tergantung pada besarnya Al_2O_3 (Al mengontrol waktu pengerasan) sedangkan pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang besar, SiO_2 akan bertanggung jawab pada pengerasan berikutnya. Kelarutan Al_2O_3 dalam basa lebih besar dari pada SiO_2 . Maka dapat ditarik hipotesis bahwa berdasarkan kelarutan yang lebih besar Al_2O_3 dari pada SiO_2 maka Al_2O_3 memiliki peranan yang penting dalam pembentukan sifat awal geopolimer, sedangkan SiO_2 bertanggung jawab pada pembentukan sifat berikutnya. De Silva (2008) menyebutkan untuk mendapatkan kekuatan yang baik, diharapkan terdapat rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 3,4-3,8 dalam campuran bahan awal metakaolin. Rasio ini diharapkan akan berbeda jika digunakan material selain metakaolin. Metakaolin secara kimiawi berbeda dengan abu layang, sehingga reaksinya pun berbeda.

Reaksi geopolimerisasi dimulai dari pelarutan mineral Si–Al sebagaimana digambarkan pada persamaan reaksi (2.1) & (2.2) (De Silva *et al.*, 2007):



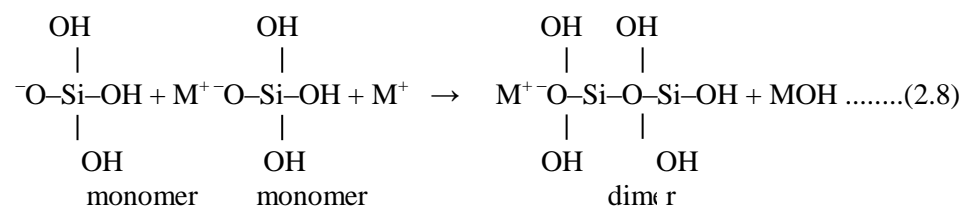
Reaksi monomer silikat dengan basa digambarkan dengan persamaan reaksi

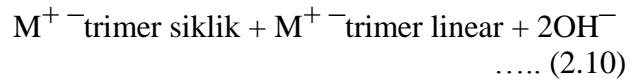
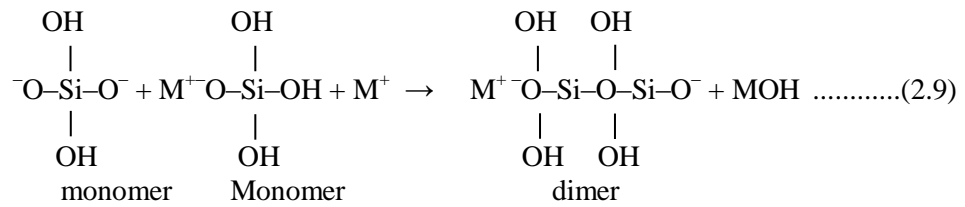
(2.3)-(2.7) (Xu dan van Deventer, 2000):



Reaksi pembentukan oligomer silikat digambarkan dengan persamaan

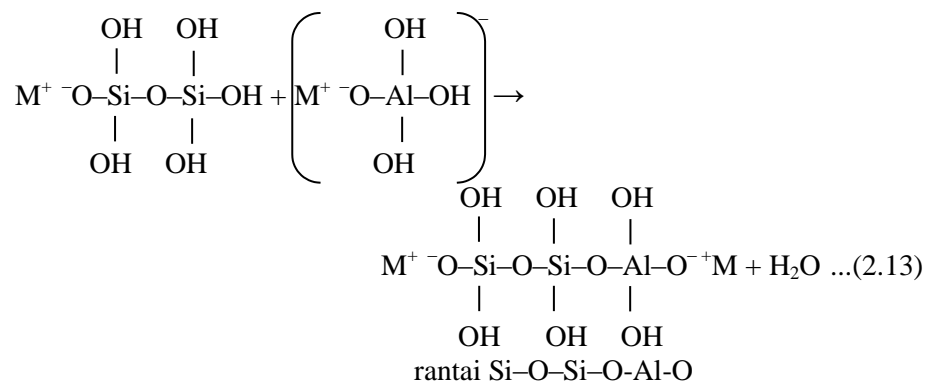
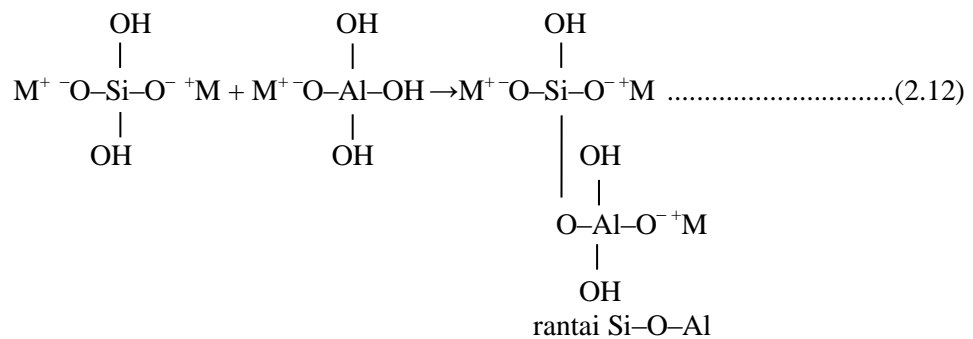
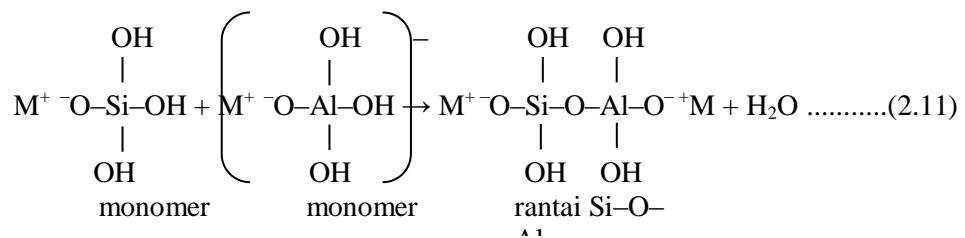
reaksi (2.8) & (2.8) (Xu dan van Deventer, 2000):





Reaksi kondensasi monomer silikat dan aluminat dengan persamaan reaksi

(2.11)-(2.13) (Xu dan van Deventer, 2000):



Swanepoel & Strydom (2002), dan Van Jaarsveld *et al.* (2003) melaporkan hasil penelitian mereka tentang abu layang sebagai prekursor untuk membuat geopolimer. Davidovits (2011: 11) melaporkan hasil-hasil penelitian awalnya tentang

geopolimer berbasis abu layang sebagai bagian dari proyek yang disponsori Uni Eropa yang berjudul “*Understanding and mastering coal fired ashes geopolymerisation process in order to turn potential into profit*”, yang dikenal dengan akronim GEOASH.

Setiap prekursor memiliki kelebihan dan kekurangannya. Sebagai contoh, metakaolin sebagai prekursor memiliki kemampuan melarutkan tinggi dalam larutan reaktan, menghasilkan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang terkontrol dalam geopolimer, dan memiliki warna yang putih. Namun metakaolin relatif lebih mahal untuk diproduksi dalam jumlah besar karena ia harus dikalsinasi pada temperatur sekitar 500-700°C selama beberapa jam. Dalam hal ini penggunaan abu layang sebagai material asal akan menguntungkan secara ekonomi (Davidovits, 1994).

2.6 Karakterisasi

2.6.1 Analisis Komposisi Kimia dengan XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Spektroskopi XRF adalah teknik 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

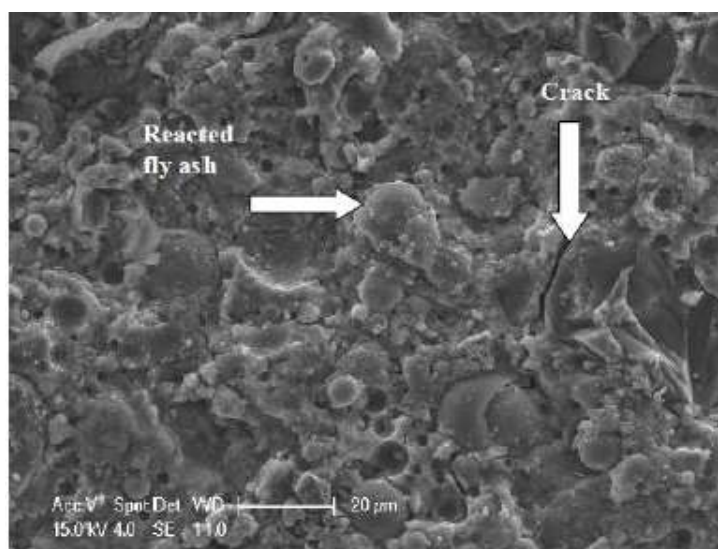
kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut *X Ray Fluorescence* (XRF). Umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Jenis spektrum *X ray* dari cuplikan yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda yang menunjukkan ciri khas masing-masing senyawa (Syahfitri *et al.*, 2013).

2.6.2 Analisis Morfologi Partikel Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan suatu metode yang digunakan untuk melihat permukaan sampel dengan pembesaran berkisar antara 20-500.000 kali. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2–30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar pengamatan berukuran $< \sim 10\text{nm}$ pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar (Desi, 2008).

Pada prinsipnya cara kerja SEM dimulai dari berkas elektron berinteraksi dengan sampel yang akan menghasilkan *Secondary Electron* (SE) yang didalam detektor SE tersebut diubah menjadi sinyal listrik seterusnya akan menghasilkan gambar pada monitor. Sinyal yang keluar dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Apabila jumlah elektron yang dipancarkan semakin banyak maka gambar yang dihasilkan semakin terang dan demikian sebaliknya (Masrukan *et al.* 1999)

Analisis morfologi partikel geopolimer dilakukan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Gambar 2.1 merupakan mikrograf SEM (*Scanning Electron Microscopy*) geopolimer abu layang batubara yang telah disintesis oleh Olivia *et al.* (2008). Mikrograf ini menunjukkan geopolimer dengan sebagian atau seluruh partikel abu layang batubara yang tidak bereaksi, dan retakan yang tergambar sebagai garis (Olivia *et al.*, 2008). Pembentukan geopolimer ditandai dengan terbentuknya matriks geopolimer. Partikel yang tidak bereaksi terlihat sebagai butiran dalam mikrograf SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (Kusumastuti, 2009b). Morfologi partikel geopolimer yang didominasi oleh matriks geopolimer yang padat dan homogen mengindikasikan bahwa reaksi geopolimerisasi berlangsung lebih sempurna dan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. Sebaliknya, bila morfologi partikel geopolimer didominasi oleh butiran mengindikasikan bahwa banyak partikel yang tidak bereaksi, sehingga reaksi geopolimerisasi berjalan kurang sempurna dan menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan yang rendah.



Gambar 2.1. Mikrograf SEM (*Scanning Electron Microscopy*) Geopolimer Abu Layang Batubara (Olivia *et al.*, 2008)

2.6.3 Analisis Fasa Mineral dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Sinar X merupakan jenis gelombang elektromagnet dengan rentang panjang gelombangnya antara $0,5 \text{ \AA}$ – $2,5 \text{ \AA}$. Bila sinar X berinteraksi dengan materi akan

mengalami fenomena optik seperti hamburan, difraksi, pantulan, maupun transmisi. Apabila materi berstruktur kristal, maka sinar X yang mengenai bidang-bidang kristal akan didifraksikan/dihamburkan pada sudut tertentu. Jika informasi sudut hamburan (2θ) dan apabila panjang gelombang sinar X telah diketahui maka akan dapat dihitung jarak antar bidang atom. Setelah diketahui jarak antar bidang atom, selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung indeks Miller dari bidang-bidang atom maupun orientasi pertumbuhan kristal serta parameter kisi. Menurut strukturnya, materi dapat digolongkan menjadi dua yaitu berstruktur kristal dan yang tidak berstruktur (amorf). Material amorf apabila dikenai berkas sinar X akan dicirikan oleh spektrum yang kontinyu, tidak ada puncak-puncak difraksi pada sudut tertentu. Material kristal, apabila dikenai berkas sinar X akan dicirikan oleh adanya spectrum yang diskrit pada sudut hamburan tertentu dengan demikian teknik difraksi sinar X dapat dimanfaatkan untuk deteksi unsur/senyawa yang terkandung dalam suatu materi dari struktur kristalnya (Susita & Tjipto, 2008).

Apabila sinar X monokromatis mengenai material kristal, maka setiap bidang kristal akan memantulkan atau menghamburkan sinar X ke segala arah. Interferensi terjadi hanya antara sinar-sinar pantul sefase sehingga hanya terdapat sinar X pantulan tertentu saja. Interferensi saling memperkuat apabila sinar X yang sefase mempunyai selisih lintasan kelipatan bulat panjang gelombang (λ) (Susita & Tjipto, 2008). Pernyataan ini dinamakan hukum Bragg untuk difraksi kristal, secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan

$$2 d_{hkl} \sin\theta = n\lambda$$

dengan :

d_{hkl} : jarak antar bidang atom yang berhubungan (\AA)

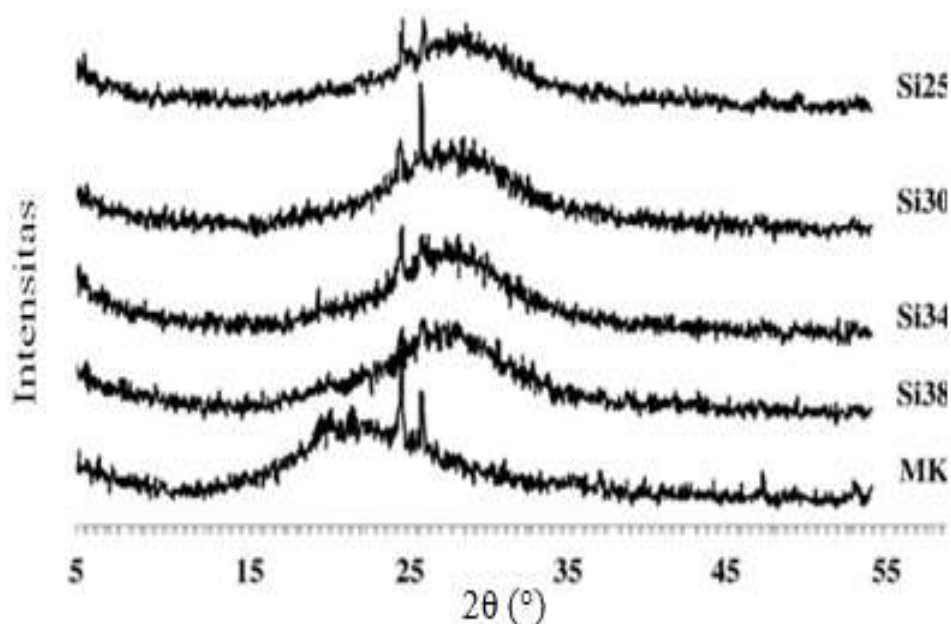
θ : sudut hamburan($^{\circ}$)

n : orde difraksi

λ : panjang gelombang (\AA)

Terbentuknya geopolimer ditandai dengan adanya gundukan pada 2θ antara 20° sampai 30° dan puncak pada 2θ sekitar 28° , sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.4 (De Silva *et al.*, 2007). Ketika fly ash digunakan sebagai material awal, fase kristal kuarsa dan mulit akan muncul dalam pola XRD dari sampel abu layang dan akan tetap dalam produk geopolimer yang dihasilkan. Kebanyakan kasus tidak ada fase kristal baru yang terbentuk selama proses geopolimerisasi (Song, 2007).

De Silva *et al.*, (2007) telah mensintesis geopolimer berbahan metakaolin dengan beberapa variasi rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, yaitu 2,5; 3,0; 3,4; dan 3,8. Hasil analisis XRD seperti Gambar 2.2, menunjukkan adanya hubungan antara struktur atau fasa mineral geopolimer dengan kuat tekannya. Geopolimer dengan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,8$ mencapai kuat tekan terbesar dengan puncak difraksi menunjukkan bahwa pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tersebut mempunyai fasa amorf terbesar. Semakin besar fasa amorf dalam geopolimer, maka semakin besar pula kuat tekan geopolimer tersebut (De Silva *et al.*, 2007).



Gambar 2.2. Difraktogram Metakaolin (MK) (Bahan Dasar) dan Geopolimer Si38, Si34, Si30, dan Si25 (De Silva *et al.*, 2007)

2.6.4 Analisis Ikatan Kimia dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisi cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Anam *et al.*, 2007).



Gambar 2.3 Spektra FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) abu layang PLTU Suralaya (Puspitasari, & Atmaja, 2010)

Analisis gugus fungsional yang terjadi sebagai hasil proses geopolimerisasi dilakukan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Karakteristik mendasar spektra geopolimer adalah adanya pita vibrasi ulur asimetrik Si–O–Si dan Al–O–Si (Panias & Giannopoulou, 2006). Gambar 2.3 merupakan contoh spektra abu layang

yang diambil dari PLTU Suralaya. Puncak-puncak hasil analisis menjelaskan adanya vibrasi gugus-gugus fungsi yang terkandung dalam abu layang. Pada puncak 472,58 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur simetri Al-O-Si, sedangkan puncak pada bilangan gelombang 1035,81 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur asimetri T-O-Si (T=Si dan Al). Pembentukan geopolimer juga ditandai dengan munculnya serapan sekitar 3500 dan 1600 cm^{-1} , berturut-turut merupakan vibrasi ulur O-H dan vibrasi tekuk H-O-H (Panias & Giannopoulou, 2006).

2.6.5 Uji Kuat Tekan dengan *Universal Testing Machine*

Kualitas geopolimer dilihat dari skala makro dapat ditentukan oleh sifat mekaniknya yaitu kuat tekan dengan menggunakan alat pengujian kuat tekan (*Universal Testing Machine*). Hasil pengujian kuat tekan berupa gaya berat dengan satuan kg force (kg.f), kemudian dihitung kuat tekannya dengan persamaan 2.1 akan menghasilkan nilai kuat tekan dalam satuan MPa (ASTM C39M)

$$F_m = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan:

F_m : kuat tekan dalam psi atau MPa;

P : beban maksimum total dalam N;

A : luas dari permukaan yang dibebani dalam mm^2

Pengukuran kuat tekan akhir geopolimer dilakukan pada saat umur Sampel uji 28 hari, karena pada umur tersebut reaksi geopolimerisasi tidak menunjukkan perkembangan kekuatan yang signifikan (Hardjito *et al.*, 2004). Sedangkan kuat tekan awal ditentukan dengan pengukuran pada umur 1 hari setelah Sampel uji geopolimer mencapai kekuatan yang cukup untuk diuji.

Kusumastuti (2009b) telah mensintesis geopolimer berbahan dasar abu layang batu bara dan mempelajari bahwa variasi mol Al_2O_3 . Semakin besar rasio mol

SiO₂/Al₂O₃, semakin besar kuat tekan yang dihasilkan, hingga mencapai rasio mol SiO₂/Al₂O₃ optimum. Kuat tekan optimum dicapai pada rasio mol SiO₂/Al₂O₃=3,0.

2.6.6 Uji Kuat Tarik dengan *Universal Testing Machine*

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*) dimana silinder ukuran diameter dan tinggi tertentu (Ajie & Irawand, 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 selinder 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 2.2.

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \dots\dots\dots(2. 15)$$

dimana, F = Kuat tarik beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

l = Tinggi / panjang silinder (cm)

d = Diameter Silinder (cm)

Penambahan serat batang pisang diharapkan dapat meningkatkan kuat tarik belah beton sampel uji geopolimer. Kuat tarik belah beton berkisar 10-15 % dari kuat tekannya. SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 ditetapkan bahwa besarnya nilai kuat tarik memiliki hubungan dengan nilai kuat tekan beton, yaitu sebagai berikut :

$$T = 0,7 \sqrt{Fm} \dots\dots\dots(2.16)$$

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa lokasi. Sintesis geopolimer berbahan dasar abu layang batubara dengan penambahan serat batang pisang, pembuatan Sampel uji geopolimer, dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Negeri Semarang. Analisis kandungan kimia di Laboratorium Kimia Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta. Analisis ikatan kimia dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan Analisis fasa amorf geopolimer menggunakan XRD(*X Ray Diffraction*) dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta. Analisis morfologi partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta.

3.2 Sampel

Sampel yang diambil dalam penelitian ini adalah abu layang yang berasal dari PLTU Tanjungjati Jepara. Serat batang pisang diambil dari jenis pisang kepok yang diambil di lingkungan sekitar kampus UNNES.

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 terkontrol.

a. 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 rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan persen (b/b) serat batang pisang yang ditambahkan.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah faktor yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan dan kuat tarik

c. Variabel Terkendali

Variabel terkontrol adalah faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil reaksi, tetapi yang dapat dikendalikan agar tidak mempengaruhi variabel bebas. Variabel terkontrol dalam penelitian ini meliputi sumber abu layang, jenis serat batang pisang yang digunakan, waktu curing, suhu curing, waktu pengadukan, dan konsentrasi alkali yang digunakan.

3.4 Alat dan Bahan

Alat yang dipakai dalam penelitian ini meliputi alat untuk sintesis geopolimer dan alat untuk karakterisasi geopolimer. Alat yang digunakan dalam sintesis geopolimer meliputi neraca analitik Denver, *beaker polipropilen* Vit Lab 50 mL, *beaker glass* Pyrex, pengaduk plastik, wadah plastik, pengaduk, cetakan silinder plastik, loyang, dan oven Memmert. Alat yang digunakan dalam karakterisasi geopolimer meliputi alat pengujian kuat tekan (*universal testing machine*) ELE, XRD (*X-Ray Diffraction*), XRF (*X-Ray Fluorescence*) BRUKER, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) JEOL.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu layang batu bara yang diambil dari PLTU Tanjungjati B Jepara, natrium silikat (Na_2SiO_3) teknis yang sudah

dianalisis dengan metode AAS, natrium hidroksida (NaOH, Merck), aquades (H₂O), serat batang pisang kepok.

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Preparasi Serat Batang Pisang

Batang pisang kepok yang telah dipisahkan dari pohonnya dicuci hingga bersih kemudian dikeringkan secara alami selama 10 hari tanpa terkena sinar matahari langsung. Pengambilan serat batang pisang kepok (*musacea*) dengan menggunakan bantuan sikat kawat. Teknik pengambilan serat batang pisang kepok (*musacea*) setelah kering disikat dengan cara membujur searah dengan sikat kawat tersebut, kemudian serat pisang kepok akan memisah dari daging batangnya. Serat kemudian diikatkan dengan lidi agar menggantung lalu direndam selama 2 jam dengan larutan NaOH 5%. Serat kemudian dicuci menggunakan akuades hingga netral. Pengeringan serat dengan metode penirisan selama 3 jam dan dioven pada suhu 60% selama 24 jam. Serat dipotong dengan ukuran < 3 cm kemudian serat diblender untuk mendapatkan serat dengan ukuran lebih kecil (Pramono, 2012).

3.5.2 Preparasi Abu Layang

Abu layang dari PLTU Tanjungjati Jepara awalnya dipreparasi dengan diayak menggunakan ayakan 100 mesh dan dioven pada suhu 105°C selama 24 jam. Selanjutnya dianalisis komposisi kimia menggunakan XRF untuk mengetahui komponen kimia yang terdapat dalam abu layang PLTU Tanjungjati Jepara (Puspitasari, 2010).

3.5.3 Pembuatan Larutan Pengaktif

Larutan alkali dibuat dengan melarutkan NaOH Sampel uji dengan aquades terlebih dahulu dan didiamkan selama minimal 24 jam. Larutan NaOH yang telah

didiamkan, dicampurkan dengan natrium silikat sesuai dengan Tabel 3.1 (Van Jaarsveld *et al.*, 2003 & Duxson, 2007).

3.5.4 Penentuan Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Optimum

Penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimum dilakukan dengan memvariasi jumlah Na silikat yang ditambahkan. Karakter yang diinginkan dalam penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ adalah sampel uji dengan kuat tekan maksimum.. Tabel 3.1 merupakan variasi komposisi bahan awal pada penelitian rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimum.

Tabel 3.1. Variasi Bahan Awal pada Penelitian Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

No	<i>Solid/Liquid</i>	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Berat abu layang (g)	Berat Na Silikat(g)	Berat NaOH (g)	Berat H_2O (g)
1	1,5	5,321	28,5	7	4	8
2	1,5	5,39	30,75	8,5	4	8
3	1,5	5,449	33	10	4	8
4	1,5	5,501	35,25	11,5	4	8
5	1,5	5,547	37,5	13	4	8
6	1,5	5,587	39,75	14,5	4	8

Penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dilakukan dengan cara abu layang dicampur dengan larutan alkali sesuai dengan komposisi lalu diaduk hingga homogen dan terbentuk pasta. Pengadukan awal dilakukan dengan tangan selama 2 menit, kemudian menggunakan mixer selama 5 menit. Pasta tersebut dituang ke cetakan silinder dengan perbandingan diameter dan tinggi 1:2. Penuangan dilakukan bertahap dan divibrasi selama 15 menit. Sampel uji didiamkan sampai mengering dan dilepaskan dari cetakan (selama 1-3 hari). Sampel uji yang sudah dilepaskan dari cetakan, kemudian diletakkan dalam loyang dan ditutup plastik. Sampel uji yang masih terbungkus plastik tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 60 derajat celcius selama 24 jam lalu disimpan selama 28 hari.

3.5.5 Sintesis Geopolimer dengan Variasi Serat Batang Pisang

Sintesis geopolimer dengan penambahan serat batang pisang dilakukan dengan massa serat batang pisang bervariasi antara 0-2,5% dari berat abu layang dengan interval 0,5 sebagaimana tertera pada Tabel 3.2. Penentuan penambahan serat batang pisang optimum menggunakan rasio S/L tetap yaitu 1,5 dengan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 5,449.

Tabel 3.2. Variasi Geopolimer dengan Penambahan Serat Batang Pisang

No	Berat abu layang (g)	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Berat serat batang pisang terhadap abu layang (g)	Berat Na Silikat(g)	Berat NaOH (g)	Berat H_2O (g)
1	33	5,449	0	10	4	8
2	33	5,449	0,165	10	4	8
3	33	5,449	0,33	10	4	8
4	33	5,449	0,495	10	4	8
5	33	5,449	0,66	10	4	8
6	33	5,449	0,825	10	4	8

3.6 Karakterisasi Geopolimer

3.6.1 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan geopolimer dilakukan dengan menggunakan mesin penguji kuat tekan (*universal testing machine*) di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang pada semua spesimen baik pada penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimum maupun pada penentuan penambahan serat batang pisang optimum. Sampel uji dikenakan beban tertentu hingga sampel uji hancur dan pecah. Setiap pengujian menggunakan 3 benda uji agar didapatkan kuat tekan rata-rata. Pengukuran kuat tekan dilakukan pada usia sampel uji 28 hari (Hardjito *et al.*, 2004). Data yang diperoleh berupa beban terbesar yang dapat ditahan sampai benda uji hancur (kg). Kuat tekan geopolimer dapat diperoleh dengan memasukkan berat beban tersebut sebagai m dalam persamaan 2. 14.

3.6.2 Uji Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah geopolimer dilakukan dengan menggunakan mesin penguji kuat tekan (*universal testing machine*) di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri. Benda uji silinder diletakkan pada alat uji dalam posisi horizontal. Beban vertikal diberikan sepanjang selimut selinder dengan berangsur-angsur dinaikan pembebanannya dengan kecepatan 0,7-1,4 MPa/menit hingga dicapai nilai maksimum dan terbelah karena beban tarik horizontal. Kuat tarik dihitung berdasarkan ASTM C469M sebagaimana terlihat dalam persamaan 2. 15.

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

Analisis morfologi sampel dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada usia sampel uji 28 hari untuk sampel uji geopolimer dengan penambahan serat batang pisang optimum. Spesimen berbentuk pelat dipotong-potong menjadi ukuran 20 x 10 x 5 mm dan dimounting kemudian dihaluskan dengan ampelas, selanjutnya dipolish dengan pasta diamond. Setelah halus dilepas mountingnya untuk dilakukan pemeriksaan dengan SEM.

Analisis ini dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta. Sampel geopolimer diambil sebanyak 0,1 gram dan ditempatkan dalam cawan *holder* kemudian dilapisi emas dan dimasukkan dalam evaporator vakum. Gambar mikrograf yang diperoleh dilihat bentuk dan sebaran partikelnya.

3.6.4 Analisis Fasa Mineral dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis fasa mineral pada geopolimer dilakukan dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) pada usia sampel uji 28 hari untuk sampel uji geopolimer dengan penambahan serat batang pisang optimum. Mekanisme kerja analisis XRD ini yakni sampel uji yang akan dianalisis XRD digerus sampai halus seperti serbuk kemudian dipreparasi lebih lanjut menjadi lebih padat dalam suatu *holder* kemudian *holder*

tersebut diletakkan pada alat XRD dan diradiasi dengan Sinar X. Data hasil penyinaran Sinar X berupa spektrum difraksi Sinar X dideteksi oleh detektor dan kemudian data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik peak intensitas, yang lebih lanjut dianalisis jarak antara bidang kisi kristalnya dan dibandingkan dengan hukum Bragg pada komputer dengan menggunakan software tertentu sehingga dapat menghasilkan suatu data.

Analisis ini dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Gajah Mada (UGM) Yogyakarta. Data yang dihasilkan berupa intensitas dan sudut difraksi (2θ). Setiap sudut difraksi yang dihasilkan dicocokkan dengan pola difraktogram standar pada JCPDS dengan teknik *Search and Match*, sehingga dapat dianalisis jenis mineralnya.

3.6.5 Analisis Ikatan Kimia dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Analisis dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui perubahan ikatan kimia yang terjadi pada geopolimer dengan variasi serat batang pisang pada benda uji yang berumur 28 hari. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan alat *Precise FTIR (Fourier Transform Infrared)* merk Shimadzu tipe 8201 PC di Laboratorium Kimia Organik UGM Yogyakarta. Sedikit sampel uji (kira-kira 1– 2 mg) digerus dengan mortar dan pestle agar diperoleh bubuk yang halus, kemudian ditambahkan bubuk KBr murni (kira-kira 200 mg) dan diaduk hingga rata. Campuran ini kemudian ditempatkan dalam cetakan dan ditekan dengan menggunakan alat tekanan mekanik. kemudian sampel (Sampel uji KBr yang terbentuk) diambil dan dianalisis dengan FTIR. Analisis dengan FTIR ini dilakukan pada sampel dengan kuat tarik optimum.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini maka diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut :

1. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimum diperoleh pada rasio 5,449 dengan komposisi 33 g abu layang batubara, 10g NaSiO_3 , 4 g NaOH dan 8 g H_2O menghasilkan kuat tekan 31,001 MPa.
2. Persen serat optimum terjadi pada penambahan 1,5% (b/b) dengan kuat tekan 32,35 MPa dan kuat tarik belah 10,9 MPa.
3. Sampel uji penambahan 1,5% (b/b) serat mempunyai fasa amorf lebih besar jika dibandingkan dengan sampel uji 0% (b/b) serat. Analisis ikatan kimia dengan FTIR menunjukkan telah terbentuk geopolimer baik pada sampel 0% (b/b) serat maupun 1,5% (b/b) serat yang ditandai dengan adanya pita serapan pada $1002,98 \text{ cm}^{-1}$ dan Pita serapan pada $455,2 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si–O–Si atau Si–O–Al. Pita serapan pada $2931,8 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C-H serat selulosa juga muncul pada geopolimer dengan penambahan serat. Analisis morfologi partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan bahwa terdapat partikel serat berada di antara matriks geopolimer.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan simpulan yang diperoleh dalam penelitian ini maka dapat ditambahkan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan ukuran serat batang pisang yang ditambahkan agar dapat masuk ke dalam matriks geopolimer dengan lebih baik
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan penggunaan Na_2SiO_3 *pa* agar dapat diketahui secara pasti komposisi geopolimer dengan kuat tekan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamiec, P., Benezet, J. C., & Benhassaine, A. 2008. Pozzolanic Reactivity of Silico-aluminous Fly Ash. *Particuology*, 6: 93-98.
- Ajie, P., & Irawand. 2012. *Penelitian Kualitas Beton Beragregat Halus Dan Kasar Campuran Agregat Alam Dan Slag (Studi Kasus Pt. Inti General Yaja Steel, Semarang)*. Undergraduate Thesis. Semarang: Fakultas Teknik UNDIP.
- Alomayri, T, Shaikh F. U. A., & Low I. M. 2013. Characterisation of cotton fibre-reinforced geopolymer composites. *Composites Part B*, 50:1.
- Alzeer, M. & MacKenzie K. 2012. Synthesis and mechanical properties of new fibre-reinforced composites of inorganic polymers with natural wool fibres. *Journal of Material Science*, 47:6958.
- Alzeer, M., & 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.
- Anam, C., Sirojudin, & Sofjan K. F. 2007. Analisis gugus fungsi pada sampel uji, bensin dan spiritus menggunakan metode spektroskopi FTIR. *Jurnal Berkala Fisika*, 10: 79-83.
- Aswani, I.A., Nur, A.S.T., Abdul H.A. 2009. Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 6:63-70
- ASTM C39M. 2014. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. United States: West Conshohocken
- ASTM C469. 2011. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. United States: West Conshohocken.
- ASTM C 618. 1994. Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.02. United States: West Conshohocken.
- Bakharev, T. 2005. Resistance of Geopolymer Materials to Acid Attack. *Cement and Concrete Research*, 35: 658–670.

- Brough, A. R., Holloway M., Sykes j. & Atkinson A. 2000. Sodium-based Alkali-activated slag mortars. Part II. The Retarding Effect of Additions of Sodium Chloride or Malic Acid. *Cement Concrete Research*, 30:1375-1379.
- Chen, R., S. Ahmari, & L. Hang. 2013. Department of Civil Engineering and Engineering Mechanic University of Arizona USA. *Journal of Material Science*, 49:2548–2558
- Cheng, T. W., & Chiu J. P. 2003. Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag. *Minerals of Engineering*, 3: 205-10
- Colangelo, F., G. Roviello, L. Ricciotti, C. Ferone, & R. Cioffi. 2013. Preparation and Characterization of New Geopolymer-Epoxy Resin Hybrid Mortars. Department of Engineering University of Naples Parthenope. *Journal of Material Science*, 6:3943-3962.
- Davidovits, J. 1989. Geopolymer and Geopolimeric Materials. *Journal of Thermal Analysis*, 35: 429-441.
- Davidovits, J. 1991. Geopolymer : Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis*, 3:1633-1656.
- Davidovits, J. 1994. Properties of geopolymer cement. *Proceedings First International Conference on alkaline cement and concretes*. Ukraina: Kiev State technical University.
- Davidovits J. 2011. *Geopolymer Chemistry and Applications* (3rd ed.).France: Institute of Geopolimer.
- De Silva, P., K. Sagoe-Crenstil, K., & V. Sirivivatnanon. 2007. Kinetics of Geopolymerization : Role of Al₂O₃ and SiO₂. *Cement and Concrete Research*, 37 : 512-518.
- De Silva, P. dan Sagoe-Crenstil, K. 2008. Medium Term Phase Stability of Na₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O Geopolimer Systems. *Cement and Concrete Research*, 38: 870-876
- Desi, N. A. 2008. Analisa SEM (Scaning Electron Microscopy) dalam Pemantauan Proses Oksidasi Magnetite Menjadi Hematite. *Seminar Nasional-VII*. Bandung: Fakultas Teknologi Industri ITN
- Diharjo, K. 2006. Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester. *Jurnal Teknik Mesin*, 8: 8-13.

- Duxson, P., Jhon L. P., Grand C., & Janie S. J. 2007. The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'. *Cement and Concrete Research*, 37: 1590-1597.
- Ekawati, D., & Lukman A. 2011. Studi Perbandingan Sintesis Geopolimer Secara Normal dan Terpisah Dari Abu Layang PLTU Suralaya. *Prosiding Skripsi*. Surabaya : Jurusan Kimia FMIPA ITS.
- Fansuri, H., Swastika, & Atmaja L. 2008. Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton. *Akta Kimindo*, 3: 61-66
- Gourley, J. T. 2002. Geopolymers: Opportunities for environmentally friendly construction materials. *The Materials 2003 Conference: Adaptive Materials for Modern Society*. Australia : Sydney.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, M. J., Rangan, B. V. 2004. Factors Influencing The Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Dimensi Teknik Sipil*, 6(2): 88-93.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. 2005. Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Research Report GCI*. Australia: Faculty of Engineering, Curtin University of Technology.
- He, P., Jia D., Lin T., Wang M., & Zhou Y. 2010. Effects of hightemperature heat treatment on the mechanical properties of unidirectional carbon fiber reinforced geopolymer composites. *Ceramics International*, 36(4):1447
- Herlina, N. S., Sinarep, Ahmad, & IGNK Yudhyadi. 2011. Ketahanan bending komposit Hybrid Serat Batang Pisang Kelapa/Serat Gelas dengan Matrik Urea Formaldehyde. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4:91-97.
- Hilman, M. 2010. Indonesia Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Republic of Indonesia Ministry of Environment.
- Hwang, J. Y. 1999. Beneficial Use of Fly Ash”*Project for Department of Energy’s Federal Energy Technology Center and Michigan Technological University’s Institute of Materials Processing*. Michigan Technological University, Houghton.
- Jaarsveld, J. G. S. V., Van Deventer J. S. J., Lorenzen L. 1997. The potential use of geopolymeric materials to immobilize toxic metals: Part I. Theory and applications. *Mining Engineering*, 10(7):659-69.
- Jaarsveld J. G. S. V., van Deventer J. S. J, Lukey G. C. 2003. The characterization of source materials in fly ashed-geopolymers. *Materials Letter*, 57(7):1272-80.

- Khale, D. and Chaudhury R. 2007. Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review. *Journal of Materials Science*, 42: (2007) 729-746.
- Komnitsas, K. & Zaharaki D. 2007. Geopolimerisation : A Review and Prospects for the Minerals Industry. *Minerals of Engineering*, 20:1261-1277.
- Kusumastuti, A. 2009a. Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 1: 27-32.
- Kusumastuti, E. 2009b. *Geopolimer Abu Layang Batubara : Studi Rasio Mol SiO_2/Al_2O_3 Dan Sifat-Sifat Geopolimer yang Dihasilkan*. Thesis. Surabaya : Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lee, W.K.W. and Van Deventer J.S.J., 2002 The Effects of Ionic Contaminants on The Early Age Properties of Alkali Activated Fly-Ash Based Cements. *Cement Concrete Research*, 32: 577-584.
- Li, V.C. 2002. Reflections on the Research and Development of Engineered Cementitious Composites (ECC). *Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites*: 1-21.
- Li, Z., Rui C., & Lianyang Z. 2013. Utilization of chitosan biopolymer to enhance fly ash-based geopolymer. *Journal of Materials Science*, 48:7986–7993
- Lokantara, P. 2012. Analisis Kekuatan Impact Komposit Polyester-Serat Tapis Kelapa Dengan Variasi Panjang Dan Fraksi Volume Serat Yang Diberi Perlakuan NaOH. Bali : Fakultas Teknik Universitas Udayana. *Dinamika Teknik Mesin*, 2:47-54.
- Masrukan, Wagiyono, & Aditoyanto. 1999. Pemeriksaan Mikrostruktur dan Analisis Unsur AlMgSi1 Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)-EDS. *Prosiding Seminar Nasional Hmburan Neutron Dan Sinar X Ke-2*. Bandung: Puslitbang Iptek Bahan-Batan.
- Muiz, A. 2005. *Pemanfaatan Batang Pisang (Musa sp) Sebagai Bahan Baku Papan Serat*. Skripsi. Bogor: Fakultas Kehutanan Institut pertanian Bogor.
- Natalie, A., Manzi S., & Bignozzi M. C. 2011. Novel Fiber-Reinforced Composite Materials Based On Sustainable Geopolymer Matrix. *Procedia Engineering*. Italy: University Bologna.
- Nopriantina, N., & Astuti. 2013. Pengaruh Ketebalan Serat Batang Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca*) Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester-Serat Alam. *Jurnal Fisika*. Padang : Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas Kampus Unand.
- Nur, R. A., Triwulan, & J. Ekaputri. 2013. Pasta Ringan Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Bakar Sidoarjo dan Fly Ash Perbandingan 3:1 Dengan Tambahan Aluminum Powder dan Serat Alam. *Jurnal Teknik Pomits*, 1: 1-5

- Olivia, M., P. Sarker, & H. Nikraz. 2008. Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete. *ICCBT - A* – 46: 517-530.
- Palomo, A., Grutzeck M.W. & Blanco M.T. 1999. Alkali-activated fly ashes—a cement for the future. *Cement Concrete Research*, 29: 1323–1329.
- Panias, D. & Giannopoulou, I. 2006. Development of inorganic polymeric materials based on fired coal fly ash. *Acta Metallurgica Slovaca*, 12: 321– 327.
- Panias, D., Ioanna P., Giannopoulou, & Theodora Perraki. 2007. Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers. *Physicochem Engineering Aspects*, 301: 246–254.
- Phair, J.W. & Van Deventer J.S.J. 2003. Effect of the silicate aktivator pH on the microstructural characteristics of waste-based geopolymers. *International Journal of Minerals Process*, 66 (1–4):121–143.
- Pramono, C., & S. Widodo. 2012. Pengaruh Perlakuan Alkali Kadar 5% Dengan Lama Perendaman 0 Jam, 2jam, 4 Jam, 6 Jam Terhadap Sifat Tarik Serat Batang Pisang Kepok. *Jurnal Penelitian Inovassi*, 37:47-59
- Purwanto, Wijayanti D. A., Harini S., & Kuwat T. 2014. Karakteristik Morfologi dan Struktur mikro Serat Kenaf (*HibiscusCannabinus L.*) Akibat Perlakuan Kimia. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*. Jurusan Fisika FMIPA UGM
- Puspitasari, Y., & L. Atmaja. 2010. Sintesis Dan Karakterisasi Geopolimer Berdasarkan Variasi Rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Dari Abu Layang PLTU Suralaya. *Prosiding Skripsi*. Surabaya: Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh November .
- Raghavendra, S., Lingaraju, Balachandra P., Shetty, & Mukunda P. G. 2013. Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2: 1652-1655.
- Rahman, H., 2006. *Pembuatan Pulp dari Batang Pisang Uter (Musa paradisiacal Linn. var uter) Pascapanen dengan Proses Soda*. Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Rangan, B. V. & Hardjito, D. 2005. Development and Properties of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete. *Research Report GC-II*. Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth Australia.
- Rattanasak, U., Kanokwan P., & Prinya C. 2011. Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 18: 364-369.
- SNI T:15-1991-03. 1991. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. LPMB : Departemen Pekerjaan Umum Bandung.

- Sun P., & Wu H. 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.
- Supratiningsih. 2012. Pengaruh Serbuk Serat Batang Pisang Sebagai Filler Terhadap Sifat Mekanis Komposit PVC – CaCO₃. Yogyakarta: Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik.
- Susita, L. R. M., & Tjipto Sujitno. 2008. Analisa Struktur Kristal Lapisan Tipis Aluminium pada Substrat Kaca Menggunakan XRD. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*. BATAN: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
- Syahfitri, W.Y.N., Kurniawati, S., Adventini, N., & Lestiani, D.D. 2013. Evaluasi Penerapan Energi Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF) Untuk Analisis Coal Fly Ash. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. Bandung: PTNBR BATAN.
- Syafrudin. 2004. Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Waktu Pemasakan terhadap Rendemen dan Sifat Fisis Pulp Batang Pisang Kepok (*Musa sp.*) Pascapanen. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Swanepoel, J. C., & Strydom C. A. 2002. Utilisation of fly ash in geopolymeric material. *Applied Geochemistry*, 17(8):1143-8.
- Teixeira-Pinto A., Varela B., Shrotri K., Panandiker R. S. P., Lawson J. 2008. Geopolymer-jute composite: a novel environmentally friendly composite with fire resistant properties. *Proceedings of the 31st International Conference on Advanced Ceramics and Composites*. Daytona Beach Florida.
- Teixeira-Pinto, A., Fernandez, P., and S. Jalali. 2002. Geopolymer Manufacture and Application – Main Problems when Using Concrete Technology. *Proceeding of International Conference on Geopolymer*, 28-29 Oktober, Melbourne, Australia.
- Van Jaarsveld, J. G. S., van Deventer, J. S. J., & Lukey, G. C. 2003. The Characterization of Source Materials in Fly Ash-Based Geopolymers. *Materials Letter*, 57:1272-1280.
- Van Jaarsveld, J. G. S., Van Deventer J. S. J., & Lorenzen L. 1997. The potential use of geopolymeric materials to immobilize toxic metals: Part I. Theory and applications. *Minerals of Engineering*, 10 (7): 659-69.

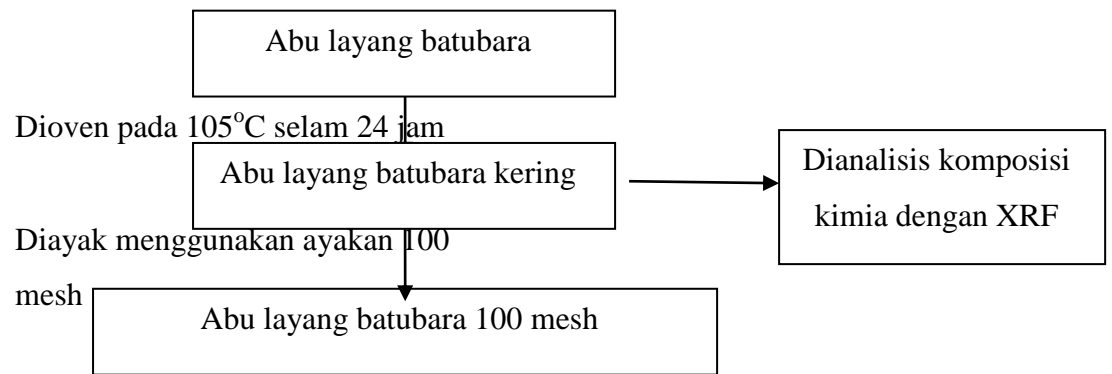
- Walmiki, T. S., & Pambudi, P. P. 2013. Pembuatan geopolimer dari Metakaolin dan Abu terban. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Intitute Tenologi Bandung, Vol. 11: 265-274.
- Widi, M. N. 2012. Tinjauan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berserat Baja Dengan Menggunakan Filler Nanomaterial. *Skripsi*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Xiong, C.J., Ban C.H., Pei X., & Fang Z. 2004. International workshop on sustainable development and concrete technology. *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*. China: Beijing.
- Xu, H. & J. S. J., V. Deventer. 2000. The Geopolymerisation of Alumino-silicate Minerals. *International Journal of Mineral Processing*. 59 : 247-266.
- Xu, H., van Deventer, & J. S. J. 2003. Effect of source materials on geopolymerization, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(8):1698-1706.
- Zhao, Q, Nair B, Tahimian R, & Balaguru P. 2007. Novel geopolymer based composites with enhanced ductility. *Journal of Materials Science*, 42(9):3131.

LAMPIRAN 1

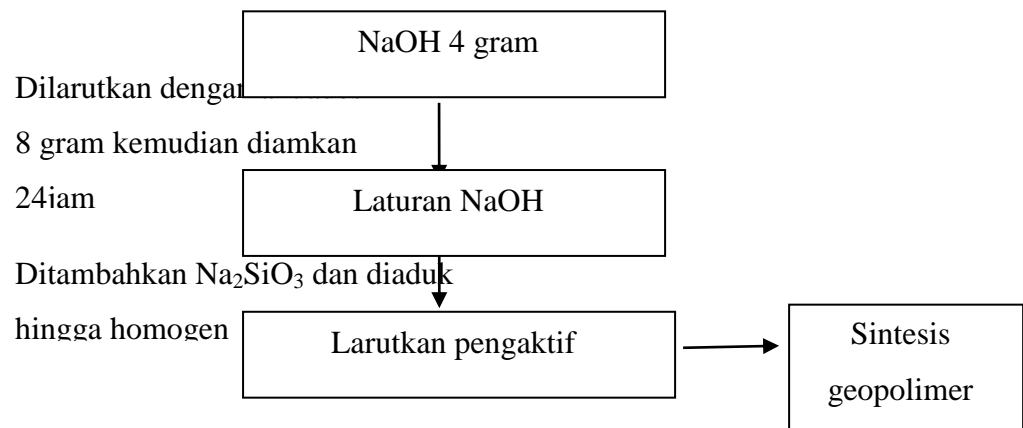
1. Preparasi Awal Serat batang pisang kepok



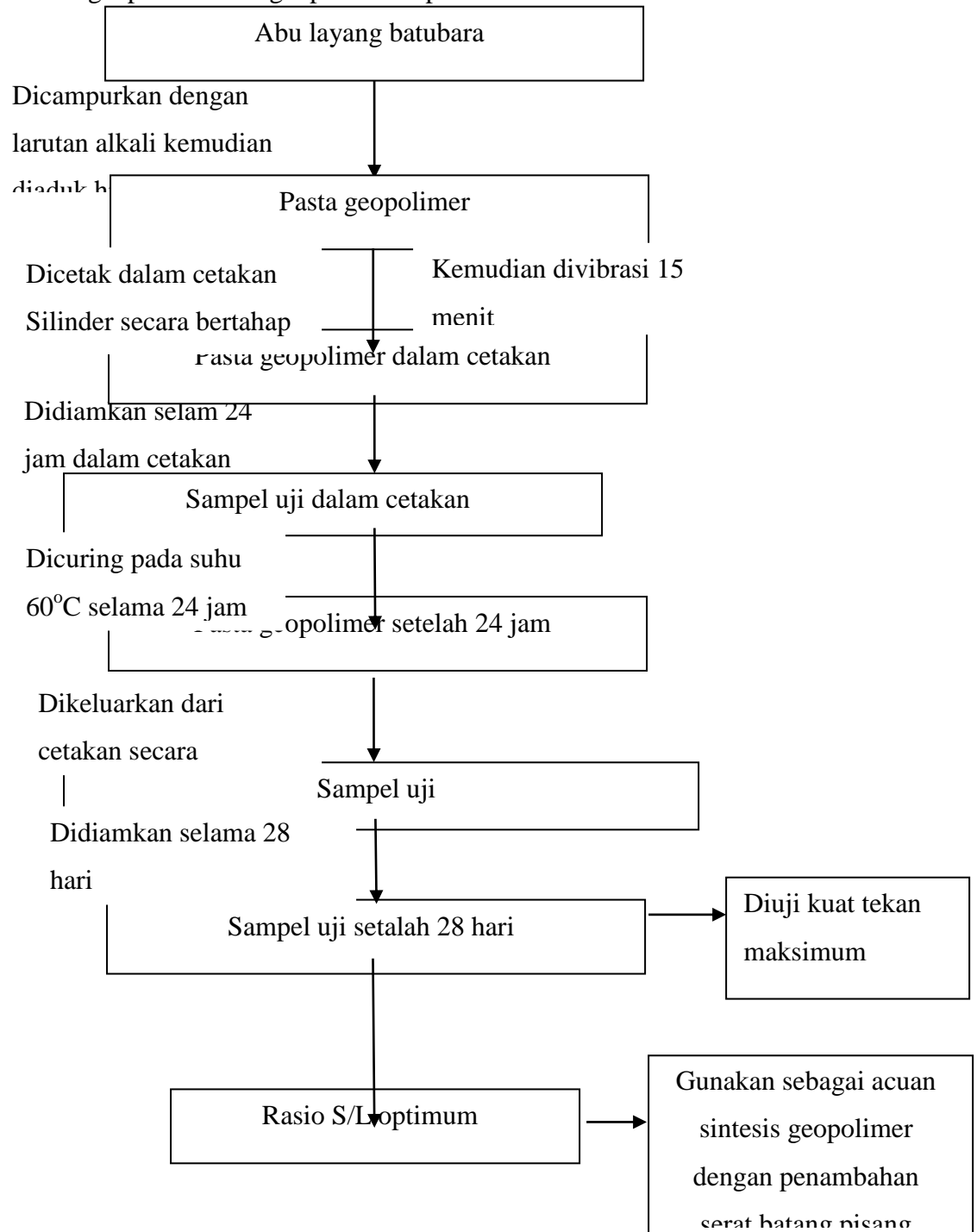
2. Preparasi Awal abu layang batu bara



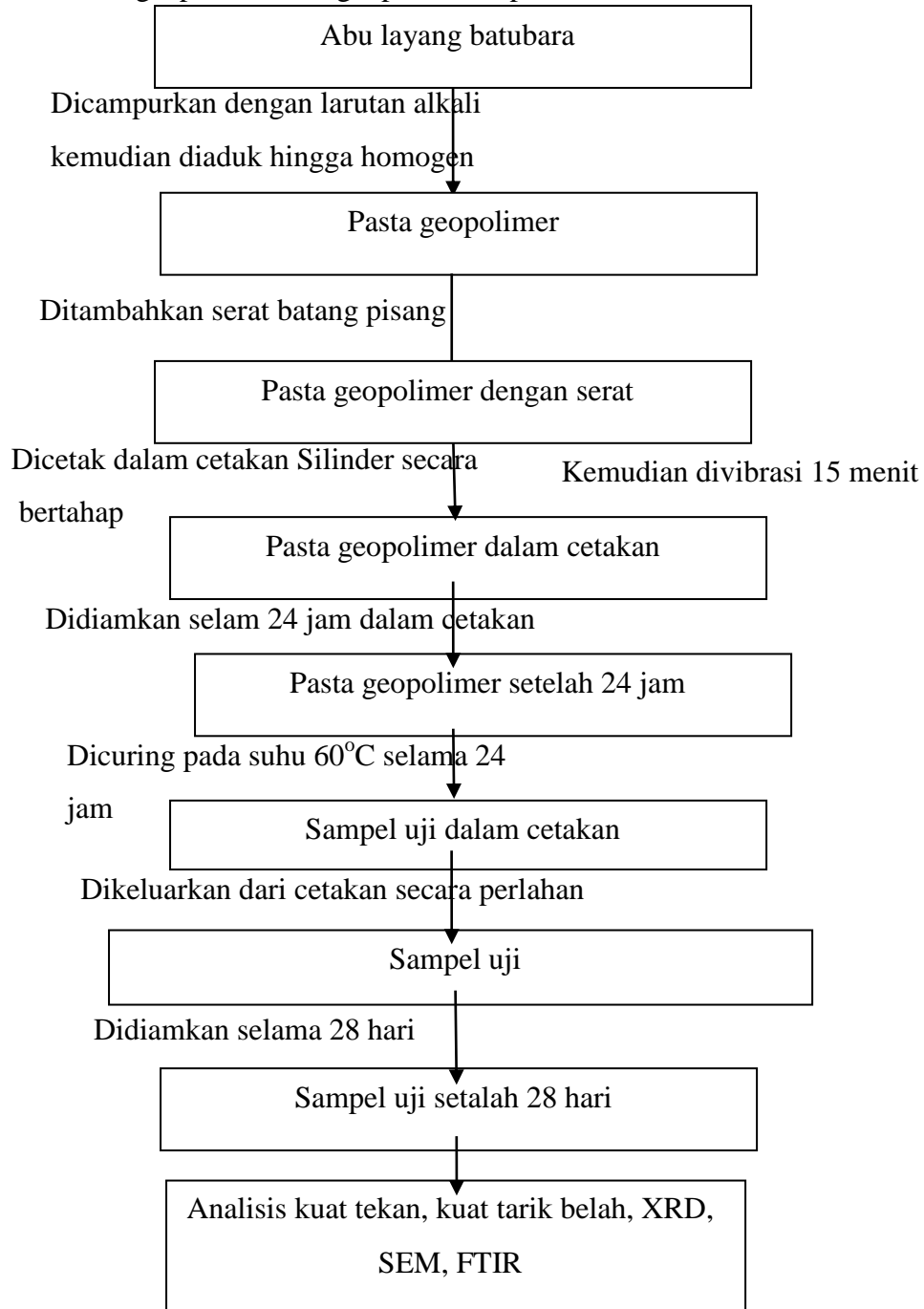
3. Pembuatan Larutan pengaktif



4. Sintesis geopolimer sebagai penelitian pendahuluan



5. Sintesis geopolimer sebagai penelitian pendahuluan



LAMPIRAN 2

Data kuat tekan dan contoh perhitungan pada penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Pada Penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, kuat tekan maksimum pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5,449$ dan kuat tekan sebesar 31,001 MPa dengan komposisi yang di cetak miring italic pada Tabel.

Tabel Data kuat tekan pada penelitian pendahuluan

Abu layang (g)	Na Silikat (g)	NaOH (g)	H ₂ O (g)	Rasio mol Si/Al	Kuat Tekan (MPa)
28,5	7	4	8	5,321	15,669
30,75	8,5	4	8	5,39	23,251
33	10	4	8	5,449	31,001
35,25	11,5	4	8	5,547	30,917
37,5	13	4	8	5,587	25,694

Contoh perhitungan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 5,449

1. Mol Si berasal dari abu layang dan Na Silikat

$$\begin{aligned} \text{Mol total Si} &= \frac{\text{masa Si abu layang}}{\text{Mr}} + \frac{\text{mol Si Na Silikat}}{\text{Ar}} \\ &= \frac{\frac{44,94}{100} \times 33}{60} + \frac{\left(\frac{28}{60} \times 53,644\right) \times 10/100}{60} \\ &= 0,3365 \text{ mol} \end{aligned}$$

2. Mol Al yang berasal dari abu layang

$$\begin{aligned} \text{Mol total Al} &= \frac{\text{masa Al abu layang}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{\frac{19,1}{100} \times 33}{102} \\ &= 0,0618 \end{aligned}$$

3. Rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

$$\begin{aligned} \text{Rasio mol } \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mol SiO}_2}{\text{Mol Al}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{0,3365}{0,0618} \\ &= 5,449 \end{aligned}$$

Tabel hasil analisis kuat tekan pada penentuan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Contoh perhitungan kuat tekan

Kode sampel		Beban (kg)	r	g	Kuat tekan	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
FA I	A	240	0,0097 5	9,807	12130960,2 8	15,66915703
	B	440	0,0097 5	9,807	22240093,8 6	
	C	250	0,0097 5	9,807	12636416,9 6	
FA II	A	490	0,0097 5	9,807	24767377,2 5	23,25100721
	B	440	0,0097 5	9,807	22240093,8 6	
	C	450	0,0097 5	9,807	22745550,5 3	
FA III	A	475	0,0097 5	9,807	24009192,2 3	31,00134295
	B	615	0,0097 5	9,807	31085585,7 3	
	C	750	0,0097 5	9,807	37909250,8 9	
FA IV	A	535	0,0097 5	9,807	27041932,3 7	30,91710017
	B	850	0,0097 5	9,807	42963817,6 7	
	C	450	0,0097 5	9,807	22745550,5 3	
FA V	A	690	0,0097 5	9,807	34876510,8 2	25,69404782
	B	470	0,0097 5	9,807	23756463,8 9	
	C	365	0,0097 5	9,807	18449168,7 7	
FAVI	A	415	0,0097 5	9,807	20976452,1 6	23,41949277
	B	240	0,0097 5	9,807	12130960,2 8	
	C	735	0,0097 5	9,807	37151065,8 7	

Perhitungan kuat tekan dihitung menggunakan persamaan 2.14

$$\begin{aligned}
 F_m &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{750 \times 9,807}{3,14 \times 0,009752} \\
 &= 31,00134295
 \end{aligned}$$

Cara perhitungan yang sama dilakukan untuk menghitung kuat tekan sampel geopolimer pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang berbeda.

LAMPIRAN 3

Perhitungan Kuat tekan, kuat tarik belah dan perhitungan secara stoikiometri sintesis geopolimer berbasis abu layang batubara.

Pada Penelitian dengan penambahan serat menggunakan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5,449$ didapat kuat tekan dan kuat tarik belah maksimum masing-masing 32.3492 MPa dan 26.8972 MPa dengan komposisi yang di cetak miring *italic* pada Tabel

Tabel hasil analisis kuat tekan dan kuat tarik belah sintesis geopolimer dengan penambahan serat

Kode sampel		Beban kuat tekan (kg)	Beban kuat tarik belah (kg)	l (m)	r (m)	g (ms^{-2})	Kuat tekan (MPa)	Kuat tarik belah (MPa)
FAG1	A	315	195	0,00395	0,00975	9,807		
	B	280	265	0,00395	0,00975	9,807	14,9952	7,93
	C	295	265	0,00395	0,00975	9,807		
FAG2	A	670	280	0,00395	0,00975	9,807		
	B	575	235	0,00395	0,00975	9,807	29,5692	8,049
	C	510	220	0,00395	0,00975	9,807		
FAG3	A	745	385	0,00395	0,00975	9,807		
	B	605	260	0,00395	0,00975	9,807	32,3492	10,896
	C	570	350	0,00395	0,00975	9,807		
FAG4	A	470	305	0,00395	0,00975	9,807		
	B	760	350	0,00395	0,00975	9,807	30,6644	10,184
	C	590	275	0,00395	0,00975	9,807		
FAG5	A	585	310	0,00395	0,00975	9,807		
	B	555	210	0,00395	0,00975	9,807	20,1172	9,254
	C	54	325	0,00395	0,00975	9,807		

Perhitungan kuat tarik belah dihitung menggunakan persamaan 2.15

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \\
 &= \frac{2 \times m \times g}{\pi \times l \times d} \\
 &= \frac{2 \times 350 \times 9,807}{3,14 \times 0,00395 \times 0,019504} \\
 &= 10,896 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan secara stoikiometri menggunakan data dari sampel uji dengan kuat tekan dan kuat tarik optimum dengan komposisi 33g abu layang, 10 g Na_2SiO_3 dengan 25,032% SiO_2 , dan 4g NaOH .

$$\begin{aligned} \text{mol NaOH} &= \frac{\text{masa NaOH}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{4}{40} \\ &= 0,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol H}_2\text{O} &= \frac{\text{Masa H}_2\text{O}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{8}{18} \\ &= 0,4444 \end{aligned}$$

	Al_2O_3	+	SiO_2	+	$4\text{H}_2\text{O}$	+	3OH^-	\rightarrow	$[\text{SiO}(\text{OH})_3]^-$	+	$2[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$
m	0,0618		0,3367		0,4444		0,1		-		-
r	0,0333		0,0333		0,1333		0,1		0,0333		0,0666
s	0,02846		0,3367		0,3111		0		0,0333		0,0666

Pada perhitungan secara stoikiometri diketahui komponen yang tidak habis dalam reaksi yaitu Al_2O_3 , SiO_2 , dan $4\text{H}_2\text{O}$.

LAMPIRAN 4

Kartu PDF (*Powder Diffraction File*) untuk Penentuan Jenis Mineral dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

1. Quartz

05-0490		Wavelength= 1.54056									
α-SiO ₂		2θ	Int	h	k	l	2θ	Int	h	k	l
Silicon Oxide		20.835	35	1	0	0	81.186	4	1	1	4
		26.643	100	1	0	1	81.486	4	3	1	0
		36.526	12	1	1	0	83.836	2	3	1	1
Quartz, low		39.455	12	1	0	2	84.941	<1	2	0	4
Rad.: Cu	λ: 1.54056 Filter:	40.283	6	1	1	1	87.451	<1	3	0	3
Cut off:	Int.: I/cor.: 3.60	42.443	9	2	0	0	90.823	4	3	1	2
Ref:		45.788	6	2	0	1	92.808	1	4	0	0
		50.166	17	1	1	2	94.850	2	1	0	5
		50.643	<1	0	0	3	95.127	2	4	0	1
		54.864	7	2	0	2	96.236	2	2	1	4
		55.330	3	1	0	3	98.747	2	2	2	3
Sys.: Hexagonal	S.G.: P3 ₁ 21 (152)	57.244	<1	2	1	0	102.224	2	1	1	5
a: 4.913	b:	c: 5.405	A:	C: 1.1001		59.981	15	2	1	1	3
α:	β:	γ:	Z: 3	mp:		64.029	3	1	1	3	3
Ref: Ibid.		65.806	<1	3	0	0	103.910	<1	3	0	4
		67.748	7	2	1	2	104.195	1	3	2	0
		68.140	11	2	0	3	106.603	2	3	2	1
		68.309	9	3	0	1	112.206	<1	4	1	0
		73.460	3	1	0	4					
Dx: 2.649	Dm:	SS/FOM: F ₃₀ = 78(.0125, 31)	75.654	4	3	0					
			77.697	2	2	2					
			79.891	5	2	1					
			80.084	2	2	2					
PSC: hP9. To replace 1-649. Deleted by 33-1161. Mwt: 60.08.											
Volume[CD]: 112.98.											

ICDD . 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

2. Mullite

05-0258		Wavelength= 1.5418									
3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂		2θ	Int	h	k	l	2θ	Int	h	k	l
Aluminum Silicate		16.538	40	1	0	1	74.336	23	5	2	4
		26.132	71	2	3	1	74.747	11	7	8	2
Mullite		26.368	100	2	4	0	75.303	20	4	11	1
Rad.: CuKα	λ: 1.5418 Filter: Ni Beta d-sp:	31.052	25	0	0	2	75.855	12	3	5	4
Cut off:	Int.: I/cor.:	33.307	51	0	2	2	76.890	4	12	0	0
Ref: Gillery, F., The Penn State Univ., Univ. Park, PA, USA, Private Communication		35.336	60	0	6	0	77.027	9	6	1	4
		37.151	17	4	4	1	77.597	5	2	6	4
		39.344	24	0	4	2	78.455	5	2	12	1
		41.025	75	2	4	2	80.672	5	7	0	4
		42.647	29	5	5	0	81.166	5	4	6	4
Sys.: Orthorhombic	S.G.:	43.073	7	3	6	1	84.641	3	10	3	3
a: 14.88	b: 15.18	c: 5.75	A: 0.9802	C: 0.3788		49.280	9	1	6	2	5
α:	β:	γ:	Z:	mp:		49.625	12	2	8	0	5
Ref: Ibid.		53.592	7	7	0	2	88.883	5	0	4	5
		54.002	9	7	1	2	89.294	7	1	4	5
		54.209	13	4	6	2	98.710	5	0	7	5
		57.726	23	8	5	2	99.239	5	0	15	0
		58.529	9	5	2	3	100.046	12	6	4	5
Dx:	Dm: 3.160 SS/FOM: F ₃₀ = (0.056, 404)	59.146	3	8	0	2	100.731	4	6	9	4
		60.863	59	1	6	3	101.710	6	3	14	2
		63.792	12	3	6	3	102.589	6	2	15	1
ω: 1.638	η _{ωβ} : 1.642	64.735	30	2	10	1	103.299	4	8	12	2
Ref: Data on Chem. for Cer. Use, Natl. Res. Council Bull. 107		65.657	6	5	9	1	105.262	3			
		66.661	11	2	1	4	107.325	3			
		69.942	8	9	6	1	108.901	4			
Color: White		70.604	16	6	8	2	109.173	6			
Pure synthetic material supplied by Rooksby; Rooksby, Partridge, Trans. Soc. Glass Tech., 23 338 (1939). Unit cell dimensions are uncertain; Bragg, At. Str. Minerals 170. Delete: Berry parcel February 25, 1964, for 15-776. Mwt: 426.05. Volume[CD]: 1296.80.		71.094	10	2	8	3	109.601	5			
		71.218	10	2	4	4	110.086	3			
		71.716	4	5	10	1	112.900	4			
		72.034	4	11	1	1	113.408	5			
							114.153	4			
							115.584	3			

ICDD . 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

3. Kaolinite

29-1488		Wavelength= 1.5416				
Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		2θ	Int	h	k	l
Aluminum Silicate Hydroxide		12.467	100	0	0	1
		20.135	80b	1	1	0
		25.012	100	0	0	2
Kaolinite-1Md		35.179	25	1	3	0
Rad.: CuKα λ: 1.5418 Filter: Ni Beta d-sp:		36.055	30	2	0	0
Cut off: Int.: Diffract. I/lor.:		36.993	5			
Ref: Brindley, G., Penn State Univ., University Park, PA, USA. ICDD Grant-in-Aid, (1977)		37.881	20	0	0	3
		38.694	40	1	1	3
		41.025	5	2	0	1
		45.827	10	2	2	1
		48.198	6	0	4	2
Sys.: Monoclinic S.G.: C ₂ /c (12)		51.112	6	0	0	4
a: 5.16 b: 8.93 c: 7.39 A: 0.5778 C: 0.8275		54.664	12	1	5	0
α: β: 104.5 γ: Z: 2 mp:		55.162	16	2	0	4
Ref: Robertson, R. et al., Am. Mineral., 39, 118 (1954)		60.077	3	1	1	4
		62.407	30	0	6	0
		63.988	5	3	3	0
		65.244	3	0	0	5
Dx: 2.601 Dm: SS/FOM: F ₂₀ = 2(0.112 . 87)		68.033	3	0	6	2
		72.161	3	2	0	4
		73.796	6	4	0	2

Specimen from Pugu, Tanganyika. Q=impurity, probably quartz.
 Kaolinite-serpentine group, dioctahedral subgroup, C.D.
 Cell: a=7.390, b=8.930, c=5.160, β=104.50, a/b=0.8275,
 c/b=0.5778, S.G.=A₂/c. PSC: mC34. See original PDF card for
 Graphical diffractometer trace. To replace 6-221. Mwt:
 258.16. Volume[CD]: 329.68.

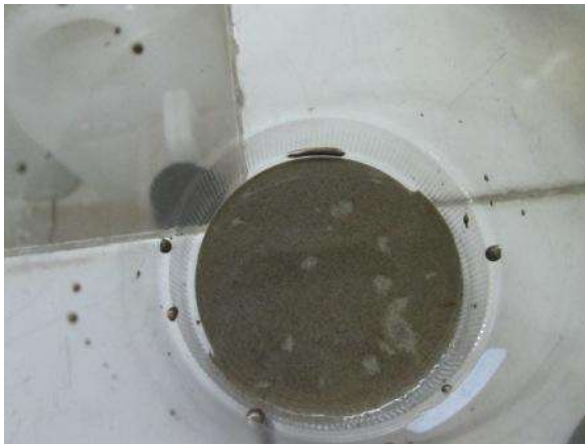
4. Magnetite

03-0862		Wavelength= 1.54056				
Fe ₃ O ₄ PCPDFWIN v. 1.30		2θ	Int	h	k	l
Iron Oxide		18.865	50			
		30.167	80	2	2	0
		35.451	100	3	1	1
Magnetite		37.280	40	2	2	2
Rad.: FeKα λ: 1.93597 Filter: Al d-sp:		43.253	80	4	0	0
Cut off: Int.: Estimation I/lor.:		53.546	60	4	2	2
Ref: British Museum (Natural History)		57.557	80			
		62.258	100			
		65.701	20	5	3	1
		70.783	40			
		73.995	70	5	3	3
Sys.: Cubic S.G.: Fd3m (227)		78.304	50b			
a: 8.374 b: c: A: C:		85.948	50			
α: β: γ: Z: 8 mp: 1590		88.895	100			
Ref: Ibid.		94.378	70			
Dx: 5.238 Dm: 5.175 SS/FOM: F _γ = 4(0.149 . 12)						
α: β: 2.42 γ: Sign: 2V:						
Ref: Ibid.						

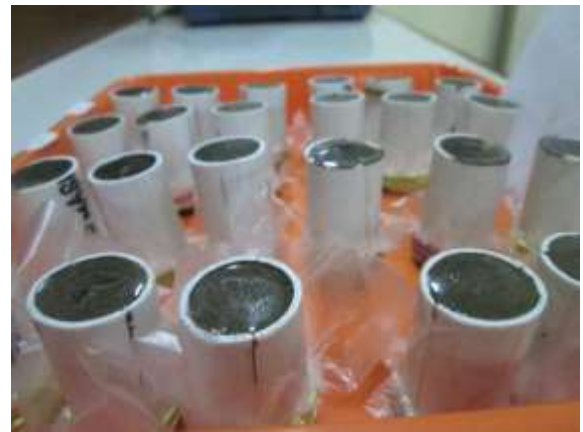
Specimen from Ilmen Mountains, Russia. PSC: cF56. Delete:
 Rinn August 17, 1953. Mwt: 231.54. Volume[CD]: 587.22.

LAMPIRAN 5**Dokumentasi penelitian**

Serat batang pisang

Serat batang pisang saat
perlakuan alkali

Pasta Geopolimer



Geopolimer dalam cetakan



Geopolimer siap analisis



Geopolimer setelah