



SINTESIS DAN KARAKTERISASI GEOPOLIMER BERBASIS ABU LAYANG BATUBARA DENGAN PENAMBAHAN PATI

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia

oleh

Ahmad Halimi Rekso Dimejo

4311410007

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
JURUSAN KIMIA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

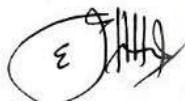
2017

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer Berbasis Abu Layang Batubara dengan Penambahan Pati” telah siap untuk diujikan di sidang panitia ujian skripsi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 9 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I



Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si

NIP. 198212142009122004

Dosen Pembimbing II



Dr. F. Widhi Mahatmanti, S. Si, M.Si.

NIP. 19691217199702200

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

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, 16 Agustus 2017



Ahmad Halimi Reksodimejo

4311410007



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer Berbasis Abu Layang Batubara
dengan Penambaham Pati

disusun oleh

Ahmad Halimi Rekso Dimejo

4311410007

telah dipertahankan di hadapan Panitia Sidang Ujian Skripsi FMIPA UNNES
pada tanggal 16 Agustus 2017.



Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si, Akt

NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Nanik Wijayati, M.Si.

NIP. 196910231996032002

Ketua Penguji

Dr. Jumaeri, M.Si

NIP. 196210051993031002

Anggota Penguji/
Pembimbing I

Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si

NIP. 198212142009122004

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Anggota Penguji/
Pembimbing II

Pembimbing II

Dr. F. Widhi Mahatmanti, S. Si, M.Si.

NIP. 196912171997022001

MOTO DAN PERSEMBAHAN

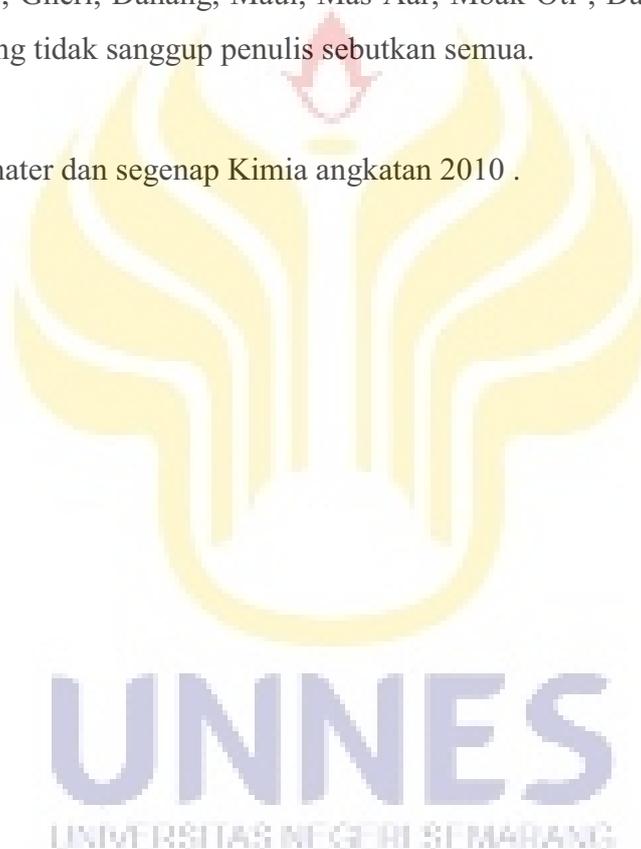
MOTO

1. Kata-kata yang indah, terdengar seperti kebenaran. Namun seringkali memiliki arti yang berbahaya.
2. Jangan mengasihani orang yang telah meninggal, kasihanilah orang yang masih hidup, terutama mereka yang hidup tanpa cinta dan kasih sayang.
3. Menangislah di hari-hari duniamu, barangkali itu akan menjadi penyejuk untuk hari-hari akhiratmu.
4. Pada akhirnya, untuk suatu hal yang sangat kita inginkan , ada harga yang harus dibayar.
5. Somehow I came to realize, that life was more than just a game. Unconsciousness have ruled my life, 'til now I never had to care. It's time to grow, time to react! (Myrath).



PERSEMBAHAN

1. Untuk Ibu dan Nenek terkasih atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang tidak pernah terputus kepada penulis. Serta Ayah yang telah tiada semoga beliau mendapatkan tempat mulia di sisi-Nya.
2. Untuk Kakak dan Adik tersayang atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
3. Untuk teman-teman komunitas Sashimi (Salatiga Solid Nihon Community) Mas Ian, Ceking, Ucup, Gheri, Danang, Maul, Mas Aar, Mbak Oti', David, Rico, serta teman teman lain yang tidak sanggup penulis sebutkan semua.
4. Untuk Almamater dan segenap Kimia angkatan 2010 .



PRAKATA

Segala puji bagi Allah SWT, Sang Maha Berkehendak yang selalu memberikan kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyampaikan terimakasih kepada segenap pihak yang telah membantu dan mendukung penulis, khususnya kepada :

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan izin penelitian.
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
3. Ibu Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si dan Ibu Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah tulus dan sabar membimbing dan memberikan pengarahan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Jumeri, M.Si sebagai dosen penguji skripsi.
5. Kepala Laboratorium Kimia yang telah memberikan izin penelitian.
6. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat penulis sebut satu-persatu.

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang beritikad baik terhadap segala hal dalam skripsi ini, demi kemajuan pendidikan dan bangsa Indonesia.

Semarang, 9 Agustus 2017

Penulis

ABSTRAK

Dimejo, Ahmad Halimi Rekso. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer Berbasis Abu Layang Batubara dengan Penambahan Pati. Skripsi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si dan Pembimbing Pendamping Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si.

Abu layang sebagai material sisa dari pembakaran batubara dapat dimanfaatkan menjadi bahan utama geopolimer yang mudah diperoleh. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh geopolimer yang lebih kuat dengan penambahan pati, karena mengandung amilosa yang bersifat lekat. Sintesis dilakukan dengan mencampur abu layang dengan larutan alkali pengaktif yang terbuat dari larutan NaOH ($\text{NaOH}:\text{H}_2\text{O} = 1 : 2$) dengan Natrium Silikat teknis dengan rasio *solid/liquid* (S/L) 1,6 kemudian ditambahkan tepung pati jagung sebanyak 0,5%; 1%; 1,5%; 2%; dan 2,5% (b/b). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan geopolimer tertinggi adalah geopolimer dengan penambahan 0,5% pati yaitu 26,122 MPa, sebelumnya geopolimer tanpa penambahan pati hanya sebesar 15,734 MPa. Tetapi setelah penambahan 1% lebih kuat tekan turun. Setelah dilakukan uji XRD (*X-Ray Diffraction*) terlihat bahwa material geopolimer memiliki fasa amorf (lebih kuat dari fasa kristal). Uji FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) menunjukkan adanya ikatan C=C (alkena) yang memperkuat senyawa geopolimer. Uji morfologi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) juga menunjukkan adanya material pati yang terikat pada abu layang.

Kata Kunci: Abu layang, geopolimer, pati jagung.

ABSTRACT

Dimejo, Ahmad Halimi Rekso, 2017. Geopolymer Synthesis And Characterization Based On Coal Fly Ash With Starch Addition. Undergraduate thesis. Chemistry Department. Faculty of Mathematic and Natural Science , Semarang State University. Supervisor Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si, co-supervisor Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si.

As a waste from coal combustion, fly ashes could easily obtained and used as main material for geopolymer synthesis. The aim of this research is to obtain stronger geopolymer with starch addition, because starch have amyllum which is sticky. Synthesis was performed by mixing fly ashes with activator alkali solution which is created from NaOH solution ($\text{NaOH:H}_2\text{O} = 1 : 2$) and Sodium Silicate with solid/liquid (S/L) ratio 1.6. Corn starch is added with ratio 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, and 2.5 % (w/w). The result of this research showed synthesized geopolymer which have highest compressive strength is geopolymer with 0.5% starch addition. The value before starch addition is only 15.734 MPa, and after 0.5% starch addition, the value became 26.122 MPa. Addition more than 1% of starch make the compressive strength lower. X-Ray Diffraction analysis showed that the geopolymer material had amorf phase, this phase have more strength than crystal phase. Fourier Transform Infrared analysis showed there is creation of alkene bonding ($\text{C}=\text{C}$) which make the geopolymer compound more stronger. Morphology analysis using Scanning Electron Microscopy also showed that starch is bonded with fly ash.

Keywords: Fly ash, geopolymer, corn starch.



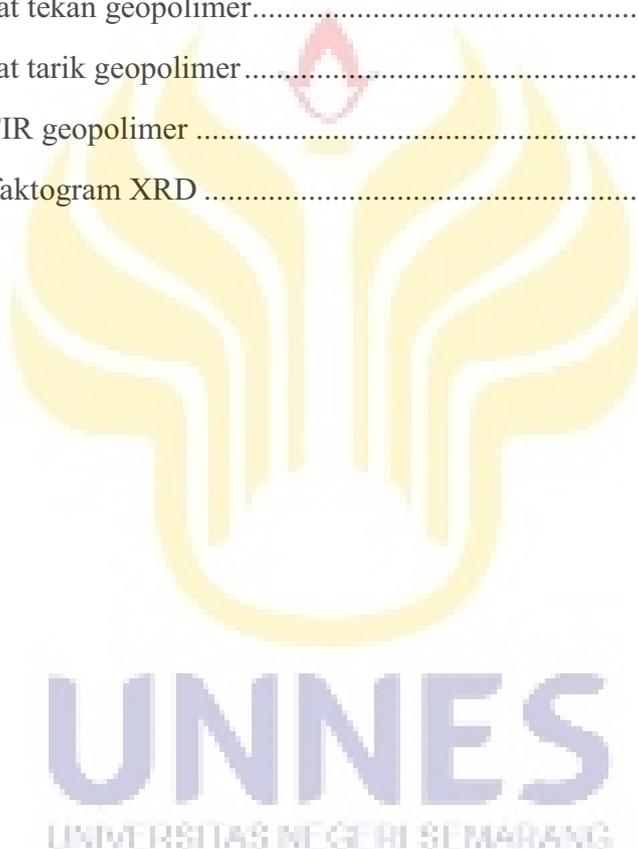
DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN	iii
PENGESAHAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
PRAKATA.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB	
1. PENDAHULUAN	1
1.1.LATAR BELAKANG	1
1.2.RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3.TUJUAN.....	3
1.4.MANFAAT.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1.ABU LAYANG BATUBARA	4
2.2.PATI.....	5
2.3.GEOPOLIMER DAN GEOPOLIMERISASI	7
2.4.PENELITIAN TERKAIT	9
2.5.KARAKTERISASI	10
2.5.1. Uji XRF Abu Layang.....	10
2.5.2. Uji Kuat Tekan.....	11
2.5.3. Uji Kuat Tarik	11
2.5.4. Uji FTIR.....	12
2.5.5. Uji XRD	14
2.5.6. Uji SEM	15
3. METODE PENELITIAN.....	17
3.1.LOKASI PENELITIAN.....	17
3.2.SAMPEL.....	17

3.3.VARIABEL PENELITIAN	17
3.4.ALAT DAN BAHAN	18
3.5.PROSEDUR KERJA	
3.5.1. Preparasi Sampel.....	18
3.5.2. Sintesis Geopolimer Dengan Variasi Berat Pati	19
3.5.3. Uji Karakterisasi Geopolimer	
a. Uji kuat tekan.....	20
b. Uji kuat tarik	20
c. Analisis ikatan kimia FTIR.....	21
d. Analisis fasa XRD.....	21
e. Analisis morfologi SEM.....	21
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1.HASIL Uji XRF	23
4.2.KARAKTERISASI GEOPOLIMER	
4.2.1. Uji Kuat Tekan.....	25
4.2.2. Uji Kuat Tarik	26
4.2.3. Karakterisasi FTIR.....	27
4.2.4. Karakterisasi XRD	28
4.2.5. Karakterisasi SEM	29
5. PENUTUP.....	31
5.1.SIMPULAN	31
5.2.SARAN.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia abu layang batubara.....	5
Tabel 2.2 Kandungan unsur abu layang berbagai jenis batubara.....	5
Tabel 2.3 Komposisi kimia pati jagung	7
Tabel 2.4 Pita vibrasi karakterisasi FTIR	13
Tabel 3.1 Variasi penambahan pati (b/b).....	20
Tabel 4.1 Kandungan kimia abu layang PLTU Cilacap	23
Tabel 4.2 Analisis kuat tekan geopolimer.....	25
Tabel 4.3 Analisis kuat tarik geopolimer	26
Tabel 4.4 Analisis FTIR geopolimer	27
Tabel 4.5 Analisis difaktogram XRD	29



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur amilosa	6
Gambar 2.2 Struktur amilopektin	7
Gambar 2.3 Struktur jenis polisialat	9
Gambar 2.4 Spektra struktur abu layang PLTU Suralaya.....	13
Gambar 2.5 Difaktogram Metakaolin	15
Gambar 2.6 Contoh mikrogram SEM geopolimer.....	16
Gambar 4.1 Grafik uji kuat tekan geopolimer hasil.....	25
Gambar 4.2 Grafik uji kuat tarik geopolimer hasil.....	26
Gambar 4.3 Spektrum FTIR geopolimer hasil.....	27
Gambar 4.4 Difaktogram XRD geopolimer hasil	28
Gambar 4.5 Mikrogram SEM geopolimer hasil	30

DAFTAR LAMPIRAN

Alur Sintesis Geopolimer.....	34
Sintesis Dengan Penambahan Pati	35
Analisis XRF abu layang Batubara tipe C PLTU Cilacap	36
Analisis Kuat Tekan.....	36
Analisis Kuat Tarik	37
Analisis FTIR.....	37
Karakterisasi XRD	38
Analisis SEM	39



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil batubara. Di tahun 2015 saja sekitar 153 juta ton batubara diperoleh, dan 108 juta ton diantaranya digunakan untuk kepentingan industri. Setiap industri pasti menghasilkan limbah, dan salah satu limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara berupa polutan padat abu batubara sebesar 5%. Polutan padat ini terdiri dari 10-20% *bottom ash* dan 80-90% jenis abu layang (*fly ash*) (Wardani, 2008).

Abu layang batubara hasil dari pembakaran batubara yang tidak dimanfaatkan kembali, akan mencemari lingkungan. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa abu layang batubara memiliki potensi untuk menjadi bahan bangunan pengganti semen. Salah satunya adalah penggunaan abu layang batubara (*fly ash*) sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer (Samadhi dan Pratama, 2013).

Geopolimer adalah polimer anorganik dengan bahan dasar alumino-silikat (SiO_2 dan Al_2O_3) yang diaktivasi oleh larutan basa kuat (Nicholson dan Fletcher, 2005). Geopolimer dapat dibuat dari kaolin, metakaolin, abu layang batubara (*fly ash*), dan material lain yang mengandung silika dan alumina. Pembuatan geopolimer berbahan dasar kaolin adalah awal dari pengembangan geopolimer (Komnitsas dan Zaharaki, 2007). Geopolimer memiliki kuat tekan yang lebih baik daripada beton, tahan terhadap pemanasan tinggi (Davidovits, 1994), dan tahan terhadap asam (Schmücker dan MacKenzie, 2005). Penelitian inilah yang menjadikan geopolimer berpotensi untuk menjadi bahan bangunan, immobilisator bahan-bahan beracun, peralatan keramik tahan panas, dan lain-lain (Komnitsas dan Zaharaki, 2007).

Komposisi abu layang batubara sangat bergantung dari jenis batubara yang digunakan dan proses pembakarannya. Maka dari itu komposisi kimia, ukuran partikel dan sebarannya serta sifat-sifat fisika-kimia abu layang satu dengan lainnya tidak akan sama walaupun dihasilkan di tempat yang sama. Sifat-sifat fisika-kimia tersebut mempengaruhi proses geopolimerisasi abu layang sehingga geopolimerisasi abu layang selama ini bersifat unik dan belum ada pedoman yang bersifat generik untuk menentukan parameter proses yang paling sesuai bagi abu layang tersebut (Fansuri et al, 2008)

Dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis geopolimer berbahan dasar abu layang batu bara dengan penambahan sejumlah pati seperti yang terkandung dalam ketela pohon atau tanaman jagung. Pati merupakan homopolimer glukosa dengan ikatan α -glikosidik,

yang banyak terdapat pada tumbuhan, terutama biji-bijian, dan umbi-umbian. Ada beberapa jenis pati berbeda-beda tergantung pada panjang rantai karbonnya, serta berdasarkan lurus atau bercabang (Jane, 1995). Pati dalam jaringan memiliki bentuk yang berbeda. Umumnya pati terdiri dari lapisan-lapisan yang mengelilingi suatu titik yang disebut hillus yang dapat terdapat di tengah ataupun di pinggir jaringan. Biji jagung mengandung 54,1%-71,7% pati. Karboidrat pada jagung merupakan komponen pati sedangkan sisanya adalah pentose, dekstrin, sukrosa, dan gula pereduksi (Fahn, 1992).

Granul pati utuh tidak larut dalam air dingin. Granul pati dapat menyerap air dan mengembang, tetapi dapat kembali seperti semula. Apabila granul pati ditambahkan air panas atau dingin yang kemudian dipanaskan, maka pati dapat mengalami gelatinasi (Winarno, 1995). Granula pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi terlarut disebut amilosa dan fraksi yang tidak terlarut disebut amilopektin (Winarno, 2002). Amilosa merupakan bagian polimer dengan ikatan α -(1,4) dari unit glukosa, yang membentuk rantai lurus, yang umumnya dikatakan sebagai linier dari pati. Struktur ini mendasari terjadinya interaksi iodamilosa membentuk warna biru (Pudjihastuti, 2010).

Penelitian tentang penggunaan pati dalam geopolimer belum pernah dilakukan. Namun demikian usaha-usaha untuk membuat bahan beton lebih baik sudah dilakukan. Antara lain sintesis beton agregat ringan dengan penambahan pati (Akindahuni dan Uzoegbo, 2015) dengan hasil bahwa beton agregat ringan yang mendapat tambahan material pati lebih kuat dalam hal uji kuat tekan dan kuat tarik, terbukti pada penelitian ini beton tanpa tambahan pati memiliki nilai kuat tekan sebesar $58,53 \text{ N/mm}^2$, namun pada materi beton yang ditambah pati pada nilai optimum yaitu 1% dari berat total nilai kuat tekannya meningkat menjadi 61 N/mm^2 . Penelitian sejenis dengan penambahan tepung ketan putih pada material beton dengan hasil yang sama yaitu pada materi beton tanpa tambahan pati memiliki kuat impak $0,4 \text{ kJ/mm}^2$ tetapi mengalami peningkatan menjadi 1 kJ/mm^2 saat mendapat tambahan pati dari tepung ketan putih (Pulungan dkk, 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan suatu masalah :

1. Bagaimanakah pengaruh pati yang ditambahkan pada sintesis geopolimer terhadap nilai kuat tekan, dan kuat tarik?

2. Bagaimanakah karakteristik meliputi analisis fasa, gugus fungsi, dan morfologi geopolimer dengan uji XRD, FTIR, dan SEM pada geopolimer terbaik dengan penambahan pati?

1.3 Tujuan

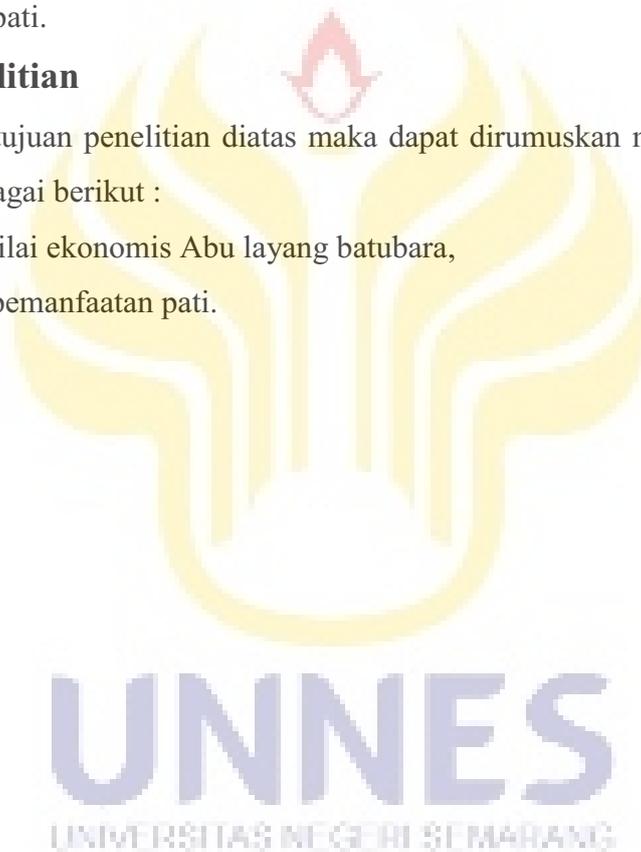
Berdasarkan permasalahan yang ada maka penelitian ini mempunyai tujuan :

1. Mengetahui pengaruh pati yang ditambahkan pada sintesis geopolimer terhadap nilai kuat tekan, dan kuat tarik.
2. Mengetahui karakteristik meliputi analisis fasa, gugus fungsi, dan morfologi geopolimer dengan uji XRD, FTIR, dan SEM pada geopolimer terbaik dengan penambahan pati.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas maka dapat dirumuskan mengenai manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menambah nilai ekonomis Abu layang batubara,
2. Memperluas pemanfaatan pati.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Layang (*fly ash*) Batubara

Abu layang merupakan limbah hasil pembakaran batubara. Muchjidin (2006) mendefinisikan abu layang batubara sebagai zat anorganik yang tertinggal setelah sampel batubara dibakar (*incemeration*) dalam kondisi standar sampai diperoleh berat yang tetap. Selain itu disebutkan juga bahwa dalam pembakaran batubara terjadi penguapan air konstitusi dari lempung, karbon dioksida dari karbonat, teroksidasinya pirit menjadi besi oksida, serta terjadinya fiksasi belerang oksida. Mekanisme pembakaran yang terjadi pada batubara yaitu pertama, penguapan pada suhu 100°C. Kemudian terjadi pelepasan karbon dioksida dari karbonat, dan oksidasi besi sulfida menjadi besi oksida, pada suhu sekitar 500°C. Oksida oksida-oksida sulfur tertambat pada suhu yang lebih tinggi dari 800°C.

Abu batubara tersebar menjadi *bottom ash* yang terbentuk menjadi klinker di dalam tungku pembakaran, dan terlalu berat untuk dibawa oleh gas yang panas melalui ketel uap. Abu batubara jenis ini jatuh ke bawah tungku pembakaran. Sisa abu batubara yang terbawa gas disebut dengan abu layang (*fly ash*) (Muchjidin, 2006).

Abu layang adalah abu batubara yang berupa serbuk halus yang tidak terbakar, dengan distribusi ukuran 1 μm -100 μm dan relatif homogen. Abu layang mempunyai warna yang lebih terang (keabu-abuan) bila dibandingkan abu dasar dan merupakan komponen terbesar abu batubara, yaitu kira-kira 85% dari total abu layang yang dihasilkan. Abu layang batubara terdiri dari butiran halus yang berbentuk bola dan berongga. Kerapatan abu layang berkisar antara 2100 – 3000 kg/m^3 dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara Blaine) antara 170 – 1000 m^2/kg (Heri dan Putranto, 2007).

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

Menurut Samadhi dan Pratama (2013), Komposisi kimia unsur-unsur utama dari abu layang seperti Tabel 2.1 :

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Abu Layang Batubara

No	Komponen	% Berat
1	SiO ₂	40,09
2	Al ₂ O ₃	30,72
3	Fe ₂ O ₃	35,74
4	CaO	18,66
5	MgO	5,460
6	Na ₂ O	0,590
7	K ₂ O	2,100

(Sumber: Samadhi dan Pratama, 2013)

Berdasarkan klasifikasi, Wardani mengklasifikasikan batubara sesuai dengan kalori, abu layang memiliki kandungan unsur mineral yang berbeda, seperti Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kandungan unsur abu layang berdasarkan jenis batubara

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

(Sumber: Wardani, 2008)

Tabel 2.2 menampilkan komposisi kimia abu layang berdasarkan jenis batubara asal. Namun hanya ada dua jenis abu layang yang dihasilkan dari hasil pembakaran batubara yaitu abu layang tipe C yang dihasilkan dari pembakaran lignit atau subbituminous dan tipe F yang dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batubara bituminous (Wardani, 2008).

2.2 Pati

Secara terminologi dalam bahasa sehari-hari (bahkan kadang-kadang di khazanah ilmiah), istilah "pati" kerap dicampuradukkan dengan "tepung" serta "kanji". "Pati" (bahasa Inggris *starch*) adalah penyusun (utama) tepung. Tepung bisa jadi tidak murni hanya mengandung pati, karena ter-/dicampur dengan protein, pengawet, dan sebagainya.

Tepung beras mengandung pati beras, protein, vitamin, dan lain-lain bahan yang terkandung pada butir beras. Orang bisa juga mendapatkan tepung yang merupakan

campuran dua atau lebih pati. Kata 'tepung lebih berkaitan dengan komoditas ekonomis. Kerancuan penyebutan *pati* dengan *kanji* tampaknya terjadi karena penerjemahan.

Kata 'to starch' dari bahasa Inggris memang berarti 'menganji' ('memberi kanji') dalam bahasa Melayu/Indonesia, karena yang digunakan memang tepung kanji.

Pati digunakan sebagai bahan yang digunakan untuk memekatkan makanan cair seperti sup dan sebagainya. Dalam industri, pati dipakai sebagai komponen perekat, campuran kertas dan tekstil, dan pada industri kosmetika.

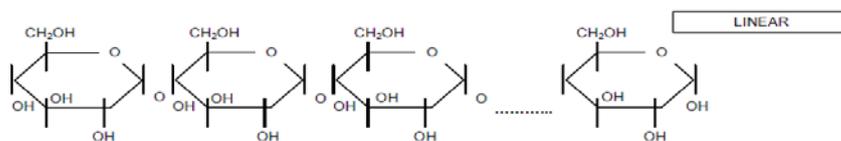
Biasanya kanji dijual dalam bentuk tepung serbuk berwarna putih yang dibuat dari ubi kayu sebelum dicampurkan dengan air hangat untuk digunakan.

Kanji juga digunakan sebagai pengeras pakaian dengan menyemburkan larutan kanji cair ke atas pakaian sebelum disetrika. Kanji juga digunakan sebagai bahan perekat atau lem.

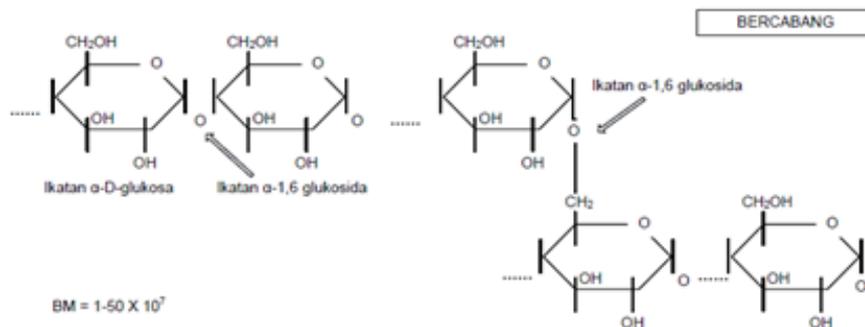
Selain itu, serbuk kanji juga digunakan sebagai penyerap kelembapan, sebagai contoh, serbuk kanji disapukan pada bagian kelangkang bayi untuk mengurangi gatal-gatal. Kanji lebih efektif dibandingkan bedak bayi karena kanji menyerap kelembapan dan menjaga agar pelapis senantiasa kering.

Pati jagung memiliki 2 fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas, fraksi terlarut adalah amilosa dan fraksi yang tak larut adalah amilopektin (Winarno, 2002). Amilosa merupakan bagian polimer dengan ikatan α -(1,4) dari unit glukosa, yang membentuk rantai lurus, yang umumnya dikatakan sebagai linier dari pati. Struktur ini mendasari terjadinya interaksi iodamilosa membentuk warna biru (Pudjihastuti, 2010).

Amilopektin sama seperti amilosa, yaitu terdiri dari rantai pendek α -(1,4)-D-glukosa dalam jumlah yang besar. Perbedaannya ada pada tingkat percabangan yang tinggi dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa dan bobot molekul yang besar. Bila amilosa direaksikan dengan larutan iod akan membentuk warna biru tua, sedangkan amilopektin akan membentuk warna merah (Taggart, 2004).



Gambar 2.1 struktur amilosa (Pudjihastuti, 2010)



Gambar 2.2 Struktur Amilopektin (Pudjihastuti, 2010)

Tabel 2.3 Komposisi kimia pati jagung

Element	Weight %	Atomic %
C K	43,47	50,68
O K	56,00	49,02
Na K	0,38	0,23
S K	0,14	0,06
Total	100	

Sumber (Akindahunsi dan Uzoegbo, 2015)

Penambahan material pati umumnya menunda waktu pengerasan semen yang mungkin merupakan keuntungan untuk penggunaan dimana diperlukan jangka waktu yang lebih lama untuk pengecoran beton. Beton yang ditambah material pati menunjukkan hasil yang lebih baik dari segi kekuatan untuk uji kuat tekan dan kuat tarik (Akindahunsi dan Uzoegbo, 2015).

2.3 Geopolimer dan Geopolimerisasi

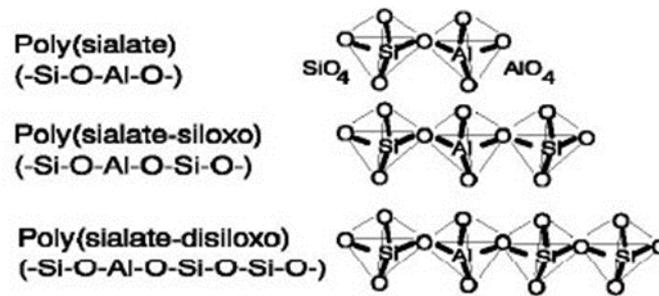
Geopolimer merupakan polimer anorganik yang terdiri dari rantai tetrahedral-tetraheda SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} . Geopolimer dapat dibuat dengan mereaksikan sumber aluminosilikat dengan larutan alkali (Davidovits, 1994). Geopolimer juga didefinisikan sebagai material polimer anorganik dengan jaringan 3 dimensi yang berstruktur amorf. Struktur ini dihasilkan melalui proses polimerisasi yang melibatkan proses disolusi dan polikondensasi prekursor aluminosilikat. Geopolimer sendiri juga sering disebut sebagai “*mineral polymers*” dan “*polymer glasses*” (Sidik, 2012).

Geopolimer diperkenalkan pertama kali oleh Joseph Davidovits pada tahun 1979, namun penelitian awal mengenai material ini telah dilakukan di Ukraina pada tahun 1950-an oleh Glukhovsky (Duxson, 2008). Perbedaannya adalah pada tahun 1950-an, Glukhovsky melakukan penelitian pada *alkali-actived slags* yang mengandung banyak kalsium. Sedangkan Davidovits menginisiasi penelitian penggunaan *clay* yang dikalsinasi agar terbebas dari kalsium. Sejak geopolimer mulai dikenal dunia, material ini telah menarik minat ilmiah peneliti selama dua dekade belakangan. Hal ini karena selain keunggulan sifat yang dimiliki oleh material ini, disebabkan juga karena terdapat banyaknya variasi aluminosilikat padat sebagai material dasar yang dapat digunakan untuk sintesis geopolimer. Bahan dasar aluminosilikat padat ini dapat diperoleh dari mineral seperti kaolin, feldspar, bentonit, perlit, dan lain-lain. Selain dari mineral, bahan dasar aluminosilikat padat dapat juga diperoleh dari hasil sampingan industri seperti abu layang (sisa pembakaran batubara), alumina red mud, tailings dari eksploitasi bentonit, perlit, slag, dan lain-lain.

Geopolimer dihasilkan melalui material aluminosilikat yang mudah terlarut dalam larutan alkali aktivator. Larutan alkali ini dihasilkan melalui pencampuran sodium hidroksida dan sodium silikat. Polysialat adalah rantai dan cincin polimer dari Si^{4+} dan Al^{3+} tetrahedral dengan oksigen yang memiliki struktur mulai dari amorf hingga semi-kristalin (Davidovits, 2002). Ion positif (Na^+ , K^+ , Li^+ , Ba^{2+} , NH_4^+ , H_3O^+) harus hadir dalam kekosongan framework untuk menyeimbangkan muatan negatif dan Al^{3+} tetrahedral. Sialat sendiri merupakan singkatan dari silikon-okso-aluminat dengan rumus sebagai berikut :



Dimana 'M' adalah kation monovalent seperti kalium atau natrium, 'n' merupakan derajat polikondensasi, dan 'z' merupakan suatu bilangan sebagai jumlah atau banyak. Kekuatan baik dibangun oleh interaksi-interaksi elektron pada atom Si, Al dan O. kekuatan terbaik terjadi pada Si-O-Si dibanding dengan Si-O-Al atau Al-O-Al. oleh karena itu, kekuatan geopolimer ini dipengaruhi oleh rasio unsur Si, Na, Al, K, kandungan air, untuk membentuk kekuatan geopolimer yang optimum. Selain itu, kesempurnaan dari polimerisasi sedemikian hingga membentuk struktur dengan sifat mekanik, kimia, atau fisika tertentu, tergantung proses aktivasi dan juga derajat polimerisasinya (Hardjito, 2004).



Gambar 2.3 Struktur jenis-jenis polysialate (Davidovits, 2008)

Gambar 2.3 menunjukkan struktur jenis-jenis polysialate. Davidovits membedakan tiga tipe *polysialate* yaitu, tipe *poly(sialate)* (Si-O-Al-O-), tipe *poly(sialate-siloxo)* (-Si-O-Al-O-Si-O-), dan tipe *poly(sialate-disiloxo)* (-Si-O-Al-O-Si-O-). Struktur ketiga jenis *polysialate* ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Proses sintesis geopolimer menggunakan 2 jenis bahan baku (prekursor) yaitu sumber material dan larutan alkali. Pada sumber material harus memiliki kandungan utama silika (SiO₂) dan aluminium (Al₂O₃) yang dapat berasal dari mineral alam seperti kaolin maupun limbah buangan dari industri seperti abu layang, *silica fume*, ampas biji besi (*blast furnace slag*) dan lain-lain, sedangkan larutan alkali yang digunakan dalam mengaktivasi prekursor geopolimer berupa *sodium hydroxide* (NaOH), *potassium hydroxide* (KOH), *sodium silicate* (Na₂SiO₃) dan *potassium silicate* (K₂SiO₃).

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

2.4 Penelitian Terkait Pati dan Geopolimer

Ada beberapa penelitian terkait pati (*starch*) pada pembuatan beton agregat ringan. Diantaranya bertujuan memperluas pemanfaatan pati dan membuat beton dengan kualitas yang lebih baik. Pati umumnya digunakan untuk bahan makanan namun dengan perlakuan khusus misalnya dengan penambahan basa NaOH, senyawa dengan pati dapat menghilangkan senyawa amorf pada permukaan material tertentu (Sandrine dkk, 2015). Pati yang terkandung pada tepung ketan putih juga dapat

berfungsi sebagai perekat poliester dalam campuran beton agregat ringan (Pulungan dkk, 2015). Pada penelitiannya Pulungan dkk menyebutkan bahwa beton yang diberi tambahan pati mengalami kenaikan pada uji kuat tekan, yaitu dari $0,4 \text{ kJ/mm}^2$ pada beton kontrol menjadi 1 kJ/mm^2 pada beton dengan tambahan pati. Bisa juga sebagai bahan tambahan untuk beton agar menunda waktu pengerasan semen apabila digunakan untuk pengecoran beton (Akindahunsi dan Uzoegbo, 2015). Pada penelitian yang dilakukan Akindahunsi dan Uzoegbo (2015) penambahan pati pada sintesis beton juga meningkatkan nilai kuat tekan, terbukti pada penelitian ini beton tanpa tambahan pati memiliki nilai kuat tekan sebesar $58,53 \text{ N/mm}^2$, namun pada materi beton yang ditambah pati pada nilai optimum yaitu 1% dari berat total nilai kuat tekannya meningkat menjadi 61 N/mm^2 .

2.5 Karakterisasi

2.5.1 Analisis Komposisi Kimia dengan XRF Pada Abu Layang

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 *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).

2.5.2 Pengukuran Kuat Tekan

Kuat tekan (*compressive strength*) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pembebanan dilakukan mulai dari beban yang rendah hingga beban maksimum yang dapat diterima hingga sampel tersebut retak.

Data yang didapat dari pengujian ini adalah beban maksimum (F_{max}) yang mampu diterima benda uji sebelum mengalami kegagalan. Kuat tekan dipengaruhi oleh luas permukaan yang dikenai oleh beban. Nilai kuat tekan (σ) didapatkan dengan memasukkan nilai beban yang terbaca dan luas permukaan kontak sampel ke dalam persamaan berikut (Tjokrodinuljo, 2007):

$$\sigma = F/A$$

dengan : σ = kuat tekan (MPa)

F = beban maksimum (N)

A = luas permukaan sampel (mm^2)

dimana : $F = m \cdot g$ dan $A = \pi \cdot r^2$

m = massa tekan

g = gravitasi

r = jari-jari lingkaran silinder benda uji

Pengukuran kuat tekan dilakukan pada geopolimer yang telah berusia 28 hari, karena pada usia tersebut sampel tidak mengalami kenaikan kekuatan yang berarti (Hardjito *et al.*, 2004).

2.5.3 Pengukuran Kuat Tarik

Kuat tarik adalah ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton dengan bahan agregat ringan (geopolimer). Pengukuran ini diperlukan agar dapat diketahui apakah penambahan pektin dapat memperbesar ketahanan geopolimer yang disintesis atau tidak.

Nilai kuat tarik belah benda uji yang berbentuk silinder diperoleh dari pembebanan benda uji yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji ditekan. 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 berikut

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d}$$

dimana : T = nilai kuat tarik (MPa)

P = beban maksimum (N)

L = panjang/tinggi silinder benda uji (cm)

d = diameter silinder benda uji (cm)

2.5.4 Analisis Gugus Fungsi dengan Spektrofotometer Inframerah (FTIR)

Analisis ini dilakukan untuk mengenal struktur molekul khususnya gugus fungsional. Spektrofotometer infra merah merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada penyerapan (adsorpsi) energi pada suatu molekul cuplikan yang dilewatkan radiasi infra merah. Hal ini disebabkan karena transisi antara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*). Pengadsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrofotometer infra merah, yang memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi (panjang gelombang) radiasi. Spektrofotometer infra merah atau IR adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur serapan radiasi infra merah pada berbagai panjang gelombang antara 1400 – 4000 cm^{-1} (2,3– 7,1 μm). Spektrofotometer infra merah mempunyai sistem optik yang serupa dengan spektrofotometer sinar laser. Sinar IR mempunyai energi yang rendah, maka tebal sel yang dipakai pada spektrofotometer lebih tipis dari pada untuk spektrofotometer lainnya (misal: 0,02 μm) (Hendayana, 1994).

Fungsi utama dari IR adalah untuk mengenal struktur molekul khususnya gugus fungsional. Aplikasi IR makin luas, terutama dengan diperkenalkan teknik baru yaitu: *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Perbedaan IR disperse dan FTIR terletak pada digunakannya

interferometer yaitu cermin, cermin bergerak dan penjatah sinar (Hendayana, 1994). Metode spektroskopi FTIR dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan karakteristik dan gugus fungsi geopolimer sintesis yang terbentuk.

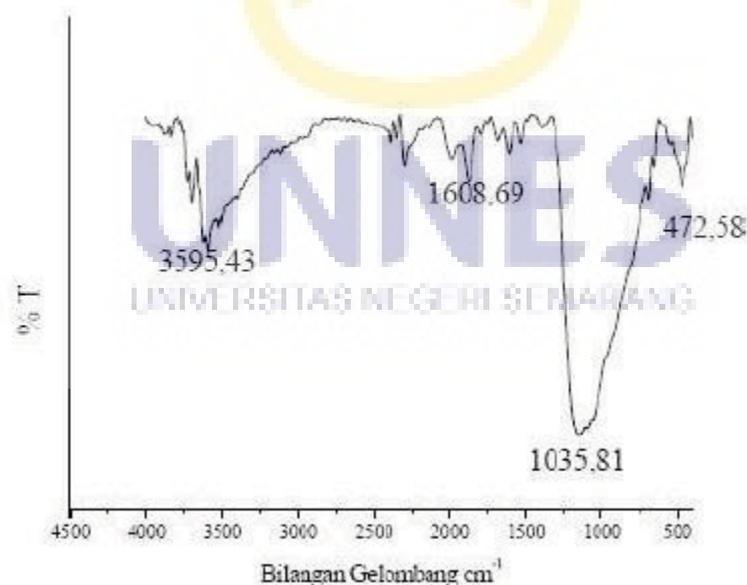
Secara umum pita-pita vibrasi karakteristik dari geopolimer dapat ditunjukkan pada Tabel 2.4 :

Tabel 2.4. Pita-pita Vibrasi Karakteristik pada Geopolimer

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

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

Sumber : Bakharev, (2005)



Gambar 2.4 Spektra FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) abu layang PLTU Suralaya (Puspitasari, & Atmaja, 2010)

2.5.5 Analisis Fasa atau mineral dengan X-ray Diffraction (XRD)

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

Bahan baku abu layang dan pasta geopolimer, dilakukan uji XRD yang bertujuan untuk mengetahui hasil polimerisasi geopolimer yang diintrepentasikan melalui kristalinitas hasil uji XRD. Dengan begitu, hasil polimerisasi melalui data uji XRD. Data XRD berbeda dengan data XRF yang memunculkan kuantitas total unsur-unsur, dimana data XRD memunculkan nama mineral-mineral yang terkandung di dalam sampel.

Pada prinsipnya, XRD melibatkan sinar-X yang berinteraksi dengan bentuk kristal struktur suatu mineral. Oleh sebab itu, mineral dengan bentuk kristalin atau amorf akan terbaca oleh alat XRD. Ketika sinar-X menyentuh suatu permukaan kristal struktur mineral dengan sudut tertentu, dimana sebagian akan berpondar pada lapisan pertama dan bagian yang tidak berpondar akan berpondar akibat menghantam atom pada lapisan kedua, dan seterusnya pada lapisan di bawahnya. Hukum ini disebut dengan Bragg's Law.

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

dimana : n = orde difraksi

λ = panjang gelombang (Å)

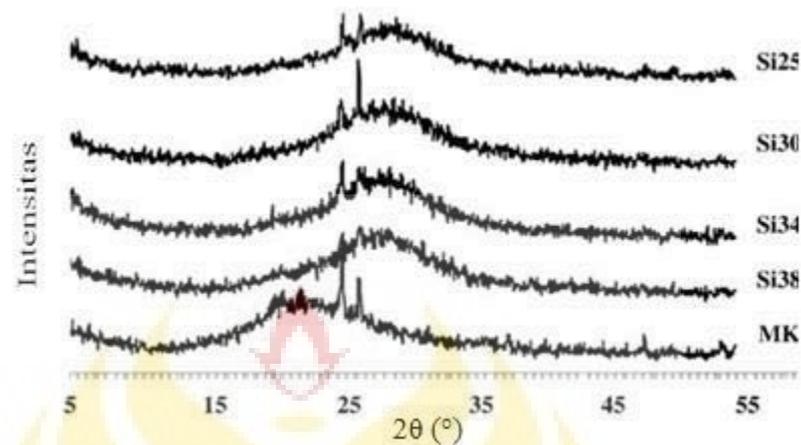
d_{hkl} = jarak antar bidang atom berhubungan (Å)

Θ = sudut hamburan (°)

Persamaan diatas menunjukkan bahwa panjang gelombang identik dengan besar sudut, sehingga tiap mineral yang terdiri dari banyak kombinasi unsur akan memiliki beberapa puncak intensitas X-ray. Oleh sebab itu, minimal 3 puncak pada suatu mineral sudah mampu dianggap valid.

De Silva *et al.*, (2007) telah mensintesis geopolimer berbahan metakaolin dengan beberapa variasi rasio mol SiO₂/Al₂O₃, 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 SiO₂/Al₂O₃ = 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).



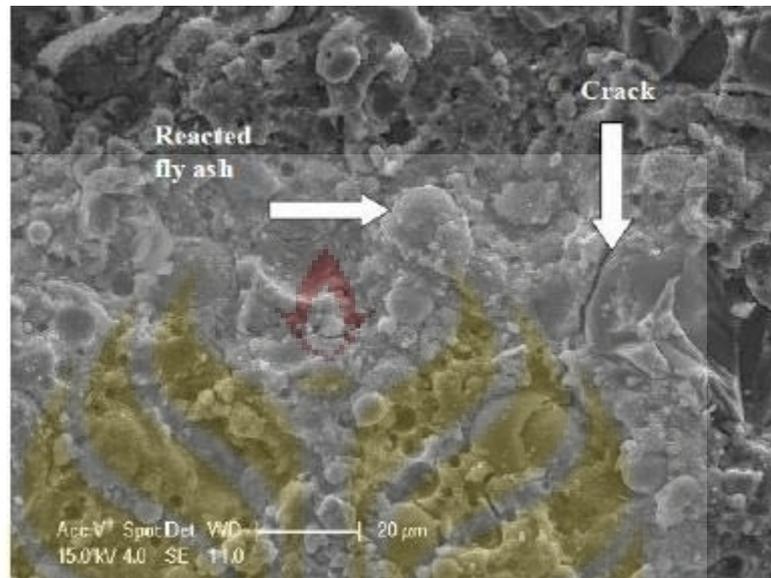
Gambar 2.5 Difraktogram Metakaolin (MK) (Bahan Dasar) dan Geopolimer Si38, Si34, Si30, dan Si25 (De Silva et al., 2007)

2.5.6 Analisis Morfologi Dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian mikrostruktur dilakukan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat bentuk dan ukuran partikel penyusunnya. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan mikroskop electron yang banyak digunakan untuk analisis permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisis data kristalogi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.

Sampel pecahan geopolimer dianalisis morfologinya lebih mendetail dengan menggunakan SEM. Sebelum dilakukan pengujian SEM, sampel pecahan dilapisi dengan emas. Prinsip kerja SEM dengan memfokuskan berkas elektron yang memindai permukaan sebuah spesimen tidak dihasilkan oleh iluminasi sekejap dari semua area seperti yang terjadi pada TEM. Perbedaan SEM dengan mikroskop optik terletak pada resolusi yang lebih tinggi dan kedalaman area yang lebih besar (*depth of field*). Topografidan morfologi dapat diamati menggunakan instrumen ini karena kedalaman area yang bisa mencapai orde puluhan *micrometer* pada perbesaran 1000 kali dan *orde micrometer* pada perbesaran 10000 kali (Adriansyah, 2012).

Hal tersebut karena di dalam SEM dipergunakan *magnetic lense* sehingga lebih mudah mengontrol perbesaran yang diinginkan berbeda dengan mikroskop optik yang menggunakan lensa dengan perbesarannya yang terbatas. Dengan SEM juga dapat diperoleh informasi kimia dari spesimen dengan menggunakan EDAX. Berikut contoh hasil dari SEM.



Gambar 2.6 Mikrograf SEM (*Scanning Electron Microscopy*) Geopolimer Abu Layang Batubara (Olivia *et al.*, 2008)

BAB 5

PENUTUP

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu antara lain :

1. Geopolimer dengan penambahan zat pati memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibanding geopolimer kontrol.
2. Nilai optimum penambahan pati adalah 0,5% dari berat total abu layang, apabila diatas itu nilai kuat tekannya menurun. Hal ini disebabkan karena kelebihan zat pati tidak bereaksi.
3. Geopolimer memiliki fasa amorf terlihat dari hasil difaktogram XRD yang berupa grafik yang terlihat seperti rumput.
4. Geopolimer terbentuk dan bereaksi dengan pati terlihat dari data FTIR.
5. Dari hasil SEM masih terlihat adanya pori dalam geopolimer optimum, namun nilai kuat tekan dan kuat tariknya masih tinggi karena adanya sifat lekat oleh pati.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian dan kesimpulan tersebut, maka penelitian terkait dapat ditambahkan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kandungan pati jagung.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pengaruh pati dari bahan lain seperti ketela atau beras.
3. Untuk penelitian yang akan dilakukan mengenai pati dan geopolimer diharapkan untuk meningkatkan waktu pendiaman, karena selama 21 hari masih terdapat geopolimer yang lembab. Juga perlu diperhatikan tempat penyimpanannya.
4. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya proses penuangan sampel ke cetakan dilakukan 2 orang atau lebih, karena pasta geopolimer sangat cepat mengeras (lebih dari 2 menit sudah sulit dicetak).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.M.A.B., Hussin, K., Bnhussain, M., Ismail, K.N., Yahya, Z., dan Razak, R.A. 2012. Fly Ash-based Geopolymer Lightweight Concrete Using Foaming Agent, *International Journal of Molecular Sciences*, 13:7186-7198.
- Adriansyah, H. O. 2012. *Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Penambahan Silica Fume Terhadap Karbonasi dan Kekuatan Pasta Geopolimer*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Akindahunsi, A.A., dan Uzoegbo, H.C. 2015. Strength and Durability Concrete with Starch Admixture, *Journal of Concrete Structure and Materials*, Vol. 9, No. 3 pp.323-335.
- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., dan Sirivivatnanon, V. 2007. Workability and Strength of Coarse High Calcium Fly Ash Geopolymer. *Cement and Concrete Composites*, 29:224-229.
- Davidovits, J. 2008. *Geopolymer Chemistry and Application*. France: Institute Geopolimere. 9-15.
- Daniel, K., Sanjayan J. & Sagoe-Crentsil K. 2006. The Behaviour of Geopolymer Paste and Concrete at Elevated Temperatures. *International Conference on Pozzolan, Concrete and Geopolymer, Khon Kaen, Thailand*, 105-118.
- Duxson, P., Provis, J. L. 2008. Designing Precursors for Geopolymer Cements. *Journal American Ceramic Society*, 91(12):3864-3869.
- Ekawati, D., dan Atmaja, L. 2010. Studi Perbandingan Sintesis Geopolimer Secara Normal dan Terpisah dari Abu Layang PLTU Suralaya. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Fansuri, H., Swastika, N., dan Atmaja, L. 2008. Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton. *Journal of Akta Kimindo*, 3(2):61-66.
- Fansuri, H., Prasetyoko, D., Zhang, Z., & Zhang, D. 2012. The Effect of Sodium Silicate and Sodium Hydroxide. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 7:73-79.
- Firmansyah, D. 2013. *Analisa Sifat Mekanik Pasta Geopolimer Ringan Berbahan Dasar Lusi Bakar Dan Fly Ash Dengan Aluminium Sebagai Pengembang*. Tugas Akhir Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kusumastuti, E. 2009. *Geopolimer Abu Layang Batubara: Studi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ Dan Sifat-Sifat Geopolimer Yang Dihasilkan*. Tesis, Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Liu, Z., Shao, N., Wang, D., Qin, J., Huang, T., Song, W., Lin, M., Yuan, J., dan Wang, Z. 2014. Fabrication and Properties of Foam Geopolymer Using Circulating Fluidized Bed Combustion Fly Ash. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 21(1):89-94.
- McCaffrey, R. 2002. Climate Change and the Cement Industry. *Global Cement and Lime Magazine (Environmental Special Issue)*, 15-19.
- Muchjidin. 2006. *Pengendalian Mutu dalam Industri Batubara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Ningtyas, N.P.A, 2010. Karakterisasi Sifat Fisio-Kimia Pati Jagung Termodifikasi dengan Proses Acetilasi. Skripsi, Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya.
- Pulungan, A.H., Fauzi, dan Sembiring, K. 2015. Pembuatan dan Karakterisasi Beton Polimer dengan Menggunakan Campuran Batu Apung dan Agregat Pasir Serta Tepung Ketan dengan Perikat Poliester, Dep. Fisika FMIPA Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rizain. 2008. *Pelarutan Aluminium dan Silikon Berbagai Abu Layang Batubara dari Empat PLTU Menggunakan Variasi Konsentrasi NaOH dan Temperatur*. Tesis tidak diterbitkan. Surabaya: Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Samadhi, T. W., dan Pratama, P. P. 2013. *Synthesis of Geopolymer from Indonesian Kaolin and Fly Ash as a Green Construction Material*, AUN/SEED-Net Regional Conference on Chemical Engineering, Pattaya, Thailand.
- Sandrine, U.B., Isabelle, V., Hoang, M.T., dan Chadi, M. 2015. Influence of Chemical Modification on Hemp-Starch Concrete. University of Reims Champagne-Ardene, France.
- Sidik, U. 2012. *Sintesis Metakaolin dan Abu Terbang Sebagai Prekursor Geopolimer*. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.
- Vaou, V. dan Panias, D. 2010. Thermal Insulating Foamy Geopolymers From Perlite, *Minerals Engineering*, 23: 1146–1151.
- Wardani, S. P.R. 2008. *Pemanfaatan Limbah Baubara (fly ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro.