



**IMMOBILISASI ION LOGAM Fe^{3+} DAN Cr^{6+} PADA
GEOPOLIMER BERBASIS ABU LAYANG DAN ABU
SEKAM PADI**

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat untuk

memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Kimia

oleh

Mega Bunga Persada

4311413065

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi skripsi yang berjudul "Immobilisasi Ion Logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} Pada Geopolimer Berbasis Abu layang dan Abu Sekam Padi" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 30 November 2017



Mega Bunga Persada

4311413065

PERSetujuan PEMBIMBING

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

Semarang, 21 November 2017

Pembimbing I

Pembimbing II



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

Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si.
196912171997022001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Immobilisasi Ion Logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} Pada Geopolimer Berbasis Abu Layang dan Abu Sekam Padi

disusun oleh

Mega Bunga Persada
4311413065

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 30 November 2017.

Panitia:

Ketua



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

Sekretaris

Dr. Nanik Wijayati, M.Si.
196910231996032002

Ketua Penguji

Dr. Jamaeri, M. Si.
196210051993031002

Anggota Penguji/
Pembimbing I

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

Anggota Penguji/
Pembimbing II

Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si.
196912171997022001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Motivation gets you going and habit gets you there”

(Zig Ziglar)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini di persembahkan kepada :

Almamaterku Jurusan Kimia Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi berjudul :

Immobilisasi Ion Logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} Pada Geopolimer Berbasis Abu layang dan Abu sekam Padi, sebagai salah satu syarat dalam pencapaian gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia, Universitas Negeri Semarang.

Dalam penyusunan Skripsi ini banyak kesulitan yang penulis hadapi, namun berkat bimbingan dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikannya dengan baik. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si,Akt. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan izin penulis untuk melakukan penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini,
2. Ibu Dr. Nanik Wijayati, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan izin penulis untuk melakukan penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini,
3. Ibu Ella Kusumastuti, S.Si., M.Si, selaku Dosem Pembimbing I yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahnya,
4. Ibu Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si, selaku Dosem Pembimbing I yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahnya,
5. Bapak Dr.Jumaeri, M.Si, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran, masukan dan perbaikan,

6. Segenap Bapak dan Ibu dosen di lingkungan Kimia Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bekal ilmu yang sangat berharga,
7. Kedua orang tuaku Bapak Ir.Pulan Punarbowo dan Ibu Evvi Yerlinda, S.E, adikku Safira Puspa Nusa yang selalu memberi dukungan, semangat beserta doa,
8. Teman terbaikku Yanuar Rifqy Aldian, yang telah membantu dan selalu memberi dukungan,
9. Teman-teman seperjuangan Kimia 2013, serta
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya akan keterbatasan kemampuan yang ada, sehingga dengan penuh kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan Skripsi ini. Penulis berharap Skripsi ini dapat bermanfaat, memberikan pengetahuan, pengalaman dan wawasan bagi kita semua.

Semarang, November 2017

Penulis

ABSTRAK

Persada, Mega Bunga. 2017. Immobilisasi Ion Logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} Pada Geopolimer Berbasis Abu Layang dan Abu Sekam Padi. 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.

Kata kunci: *geopolimer, abu layang, abu sekam padi, immobilisasi, ion logam Fe^{3+} , ion logam Cr^{6+} .*

Pada penelitian ini immobilisasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} pada geopolimer berbasis abu layang dan abu sekam padi beserta pengaruhnya terhadap kualitas geopolimer secara kualitatif telah diteliti. Abu layang tipe C PLTU Karang Kandri Cilacap dan abu sekam padi dari pembakaran batu bata di Klaten Jawa Tengah digunakan sebagai bahan dasar. Abu sekam padi ditambahkan 0-7,5 gram untuk mendapatkan geopolimer dengan kuat tekan optimum yang selanjutnya digunakan pada sintesis geopolimer dengan immobilisasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} konsentrasi 20-100 mmol/250mL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi sebanyak 3 gram menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan optimum yaitu 35,4356 MPa. Penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} berpengaruh terhadap kuat tekan geopolimer. Semakin banyak ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} yang ditambahkan, maka semakin meningkat kuat tekan geopolimer hingga batas optimumnya. Kuat tekan optimum diperoleh pada penambahan ion logam dengan konsentrasi 60 mmol yaitu sebesar 37,225 MPa (Fe^{3+}) dan 36,146 MPa (Cr^{6+}). Kuat tekan minimum diperoleh pada penambahan ion logam 100 mmol yaitu sebesar 20,363 MPa (Fe^{3+}) and 20,747 MPa (Cr^{6+}). Studi perkembangan fasa dengan XRD menunjukkan adanya pergeseran gundukan (fasa amorf) dari $2\theta=13-37^\circ$ pada abu layang menjadi sekitar $2\theta=15-40^\circ$ pada geopolimer. Pergeseran gundukan ini terjadi karena pembentukan matriks geopolimer berupa fasa amorf aluminosilikat yang baru akibat pelarutan mineral amorf abu layang dalam larutan alkali. Studi FT-IR menunjukkan terjadinya pergeseran bilangan gelombang dengan adanya penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} pada bilangan gelombang 1200-950 cm^{-1} . Studi Morfologi dengan SEM menunjukkan bahwa struktur matriks geopolimer dengan penambahan larutan Fe^{3+} lebih padat dari matriks dengan penambahan larutan Cr^{6+} . Uji *leaching* menunjukkan bahwa geopolimer dapat mengimmobilisasi ion logam Fe^{3+} lebih efektif dibandingkan dengan ion logam Cr^{6+} , dimana ion logam akan terikat atau terenkapsulasi secara sederhana di dalam matriks geopolimer saat proses geopolimerisasi.

ABSTRACT

Persada, Mega Bunga. 2017. The immobilization of Fe^{3+} and Cr^{6+} metal ions by using Geopolymer Based on Fly Ash and Rice Husk Ash. Essay, Department of Chemistry, Semarang State University. Ella Kusumastuti, S.Si., M.Si. Dr. F. Widhi Mahatmanti, S.Si, M.Si.

Keywords : geopolymer, fly ash, rice husk ash, immobilization, iron, chromium

Immobilization of Fe^{3+} and Cr^{6+} by using geopolymer based on fly ash (FA) and rice husk ash (RHA) and the effect on quality of geopolymer qualitatively have been investigated. Type C fly ash from Karang Kandri power plant in Cilacap and rice husk ash from burning briks in Klaten Central Java was used as the raw material. Rice husk ash was added from 0-7.5 gram to produce geopolymer with optimum compressive strength, which composition used for geopolymer synthesis with addition of Fe^{3+} and Cr^{6+} metal ions. Fe^{3+} and Cr^{6+} metal ions were added into geopolymer paste at the level of 20-100 mmol/250mL. The result showed that the addition of 3 gram rice husk ash produce geopolymer with optimum compressive strength to 35.435 MPa. The addition of 60 mmol of Fe^{3+} and Cr^{6+} metal ions improve the compressive strength to 37.2254 MPa and 36.146 MPa. Further addition of metal ions reduce these value and the lowest compressive strength was observed on the additon of 100 mmol of Fe^{3+} and Cr^{6+} namely 20.363 MPa and 20.747 MPa. Phase development study by XRD showed a shifting of hump (amorphous phase) from $2\theta=13-37^\circ$ on fly ash to $2\theta=15-40^\circ$ on geopolymer. This shifting occur because the formation of geopolymer matrix is a new amorphous alumino-silicate phase due to dissolution of the amorphous phase on fly ash in alkaline solution. FTIR study showed the shifting of wave number by the addition of Fe^{3+} dan Cr^{6+} metal ions at wave number of vibration at 1200-950 cm^{-1} . Study of morphology of SEM showed that the geopolymer matrix with addition of Fe^{3+} more compact than Cr^{6+} . Leaching test was conducted by using AAS, leaching tests show that geopolymers can immobilize Fe^{3+} metal ion more effectively when compared to Cr^{6+} metal ions. The metals ion in general are trapped in the geopolymer matrix by a simple physical encapsulation mechanism.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------------------------------|
| PERNYATAAN..... | ii |
| PERSETUJUAN PEMBIMBING..... | iii |
| PENGESAHAN | iiiv |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN | v |
| PRAKATA | vi |
| ABSTRAK | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL..... | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | Error! Bookmark not defined. |
| BAB 1 | |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 9 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 10 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 10 |
| BAB 2 | |
| TINJAUAN PUSTAKA | 12 |
| 2.1 <i>Fly Ash</i> (Abu Layang) | 12 |
| 2.2 Geopolimer | 14 |
| 2.3 Abu Sekam Padi (<i>Rice Husk Ash</i>) | 17 |
| 2.4 Sintesis Geopolimer..... | 19 |
| 2.5 Immobilisasi | 24 |
| 2.6 Ion Logam Fe^{3+} | 26 |
| 2.7 Ion Logam Cr^{6+} | 28 |
| 2.8 Reduksi Fe_2O_3 Secara Magnetik Pada Abu Layang | 29 |
| 2.9 Uji <i>leaching</i> dengan Metode TCLP | 32 |
| 2.10 <i>Atomic Absorption Spectrofotometry</i> (AAS) | 33 |
| 2.11 Karakterisasi..... | 36 |

| | |
|--|----|
| 2.11.1 Analisis Komposisi Kimia dengan XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>) | 36 |
| 2.11.2 Analisis Morfologi Partikel Menggunakan SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) | 37 |
| 2.11.3 Analisis Fasa Mineral dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>) | 39 |
| 2.11.4 Analisis Ikatan Kimia dengan FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>) | 42 |
| 2.11.5 Uji Kuat Tekan dengan <i>Torsee Universal Testing Machine</i> | 44 |
| BAB 3 | |
| METODE PENELITIAN | 46 |
| 3.1 Lokasi Penelitian | 46 |
| 3.2 Sampel | 46 |
| 3.3 Variabel Penelitian | 47 |
| 3.4 Alat dan Bahan | 48 |
| 3.5 Prosedur Kerja | 48 |
| 3.5.1 Preparasi Abu Sekam Padi | 48 |
| 3.5.2 Karakterisasi Silika Hasil Sintesis | 49 |
| 3.5.3 Preparasi Abu Layang | 49 |
| 3.5.4 Reduksi Fe ₂ O ₃ Secara Magnetik Pada Abu Layang | 49 |
| 3.5.5 Pembuatan Larutan Pengaktif | 49 |
| 3.5.6 Pembuatan Larutan Ion Logam Fe ³⁺ dan Cr ⁶⁺ | 49 |
| 3.5.5 Sintesis Geopolimer dengan Variasi penambahan Abu Sekam Padi | 50 |
| 3.5.6 Immobilisasi Ion Logam Fe ³⁺ dan Cr ⁶⁺ | 51 |
| 3.5.7 Uji <i>Leaching</i> | 52 |
| 3.6 Karakterisasi Geopolimer | 53 |
| 3.6.1 Uji Kuat Tekan dengan <i>Torsee Universal Testing Machine</i> | 53 |
| 3.6.2 Analisis Morfologi dengan SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) | 53 |
| 3.6.3 Analisis Fasa Mineral dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>) | 54 |
| 3.6.4 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>) | 55 |
| BAB 4 | |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | 56 |
| 4.1 Preparasi dan Karakterisasi Abu Layang | 56 |
| 4.2 Preparasi dan Karakterisasi Abu Sekam Padi | 62 |

| | |
|--|-----|
| 4.3 Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer dengan Variasi Penambahan Abu Sekam Padi | 65 |
| 4.3.1 Sintesis Geopolimer dengan Penambahan Abu Sekam Padi..... | 65 |
| 4.3.2 Karakterisasi Kuat Tekan Geopolimer dengan Penambahan Abu Sekam Padi..... | 66 |
| 4.3.3 Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)..... | 67 |
| 4.3.5 Karakterisasi SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)..... | 71 |
| 4.4 Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer Yang Terimmobilisasi Ion Logam Fe ³⁺ dan Cr ⁶⁺ | 72 |
| 4.4.1 Karakterisasi Kuat Tekan Geopolimer Terimmobilisasi Ion Logam Fe ³⁺ dan Cr ⁶⁺ | 74 |
| 4.4.2 Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>) | 79 |
| 4.4.3 Karakterisasi FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>) | 81 |
| 4.4.4 Karakterisasi SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)..... | 86 |
| 4.5 Uji <i>Leaching</i> | 87 |
| BAB 5 | |
| KESIMPULAN DAN SARAN..... | 93 |
| 5.1 Kesimpulan | 93 |
| 5.2 Saran..... | 94 |
| DAFTAR PUSTAKA | 94 |
| LAMPIRAN | 101 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Ikatan yang terjadi dalam geopolimer | 26 |
| Gambar 2.2. Skema spektrometer serapan atom..... | 34 |
| Gambar 2.3. Skema kerja XRF..... | 36 |
| Gambar 2.4. Prinsip kerja SEM | 38 |
| Gambar 2.5. Mikrogran SEM (Scanning Electron Microscopy) geopolimer abu layang batu bara | 39 |
| Gambar 2.6. Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang..... | 40 |
| Gambar 2.7. Difraktogram Abu Layang PLTU Tanjung Jati | 41 |
| Gambar 2.8. Difraktogram FA dan RHA..... | 41 |
| Gambar 2.9. Skema kerja FTIR | 42 |
| Gambar 2.10. Spektra FTIR | 43 |
| Gambar 4.1. Besi (Fe) dari abu layang yang telah dipisahkan menggunakan magnet eksternal dan abu layang setelah pengurangan besi (Fe)..... | 56 |
| Gambar 4.2. Difraktogram abu layang batubara Cilacap (Q=Quartz, M=Mullite, Ma=Magnetite)..... | 59 |
| Gambar 4.3. Morfologi abu layang batubara Karang Kandri Cilacap | 60 |
| Gambar 4.4. Spaktrum FT-IR abu layang Karang Kandri Cilacap..... | 61 |
| Gambar 4.5. difraktogram abu layang batubara Cilacap dan abu sekam padi..... | 63 |
| Gambar 4.6. Abu sekam padi 200 mesh. | 64 |
| Gambar 4.7. Morfologi (a) abu layang batu bara, (b) Abu sekam padi. | 64 |
| Gambar 4.8. Spektrum FTIR Abu Sekam Padi..... | 65 |
| Gambar 4.9. Hasil sintesis geopolimer dengan penambahan abu sekam padi..... | 65 |
| Gambar 4.10. Grafik analisis kuat tekan geopolimer terhadap banyak abu sekam padi yang ditambahkan. | 66 |
| Gambar 4.11. Difraktogram geopolimer 0 gram abu sekam padi dan geopolimer 3 gram abu sekam padi. | 68 |
| Gambar 4.12. Spektrum infra merah geopolimer dengan penambahan abu sekam padi 0 gram dan 3 gram. | 70 |
| Gambar 4.13. Mikrograf SEM geopolimer dengan penambahan abu sekam padi 3 gram dan abu sekam padi (ASP)..... | 72 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.14. Hasil sintesis geopolimer dengan penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} (a) sampel uji geopolimer penampang diameter, (b) Sampel uji geopolimer penampang panjang diambil pada sampel geopolimer masih utuh. | 73 |
| Gambar 4.15. permukaan sampel uji geopolimer yang diambil setelah uji kuat tekan. Sampel geopolimer dengan penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} | 73 |
| Gambar 4.16. Diagram kuat tekan geopolimer dengan variasi penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} (mmol)..... | 74 |
| Gambar 4.17. Ikatan yang terjadi dalam geopolimer (kation K^+ berperan sebagai penyeimbang muatan)..... | 78 |
| Gambar 4.18. Difraktogram Abu layang, Geopolimer 0 gram abu sekam, geopolimer 3 gram abu sekam, geopolimer penambahan ion logam Fe^{3+} , geopolimer penambahan ion logam Cr^{6+} | 80 |
| Gambar 4.19. Spektrum FTIR Geopolimer, Geopolimer dengan penambahan 3 gram abu sekam padi, Geopolimer dengan penambahan 60 mmol Fe^{3+} dan 60 mmol Cr^{6+} | 82 |
| Gambar 4.20. Mikrograf SEM geopolimer 0 gram abu sekam padi, geopolimer dengan 3 gram abu sekam padi, penambahan 60 mmol Fe^{3+} dan Cr^{6+} perbesaran 3000 kali..... | 86 |
| Gambar 4.21 Grafik hasil analisis konsentrasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} yang ter- <i>leaching</i> | 88 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Komposisi kimia abu layang kelas C PLTU Karang Kandri Cilacap.... | 13 |
| Tabel 2.2 Aplikasi dari material geopolimer..... | 17 |
| Tabel 2.3 Komposisi kimia abu sekam padi (%) | 18 |
| Tabel 2.4 Interpretasi infra merah ($1/\lambda$) | 44 |
| Tabel 2.5 Mutu beton dan penggunaannya | 45 |
| Tabel 3.1 Berat $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ untuk pembuatan larutan ion logam Fe^{3+} 100; 80; 60; 40; 20 mmol..... | 50 |
| Tabel 3.2 Berat K_2CrO_4 untuk pembuatan larutan ion logam Cr^{6+} 100; 80; 60; 40; 20 mmol | 50 |
| Tabel 3.3 Komposisi bahan sintesis geopolimer..... | 51 |
| Tabel 3.4 Komposisi bahan sintesis geopolimer dengan variasi penambahan ion logam Fe^{3+} | 52 |
| Tabel 3.5 komposisi bahan sintesis geopolimer dengan variasi penambahan ion logam Cr^{6+} | 52 |
| Tabel 4.1. Komposisi kimia abu layang batubara..... | 57 |
| Tabel 4.2. Komposisi kimia dalam tiap gram natrium silikat..... | 60 |
| Tabel 4.3. Komposisi kimia abu sekam padi | 62 |
| Tabel 4.4 Hasil analisis FT-IR geopolimer dengan penambana 0 gram dan 3 gram abu sekam padi. | 71 |
| Tabel 4. 1 Hasil analisis FT-IR geopolimer yang terimmobilisasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} | 85 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| Lampiran 1. Skema Kerja Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer | 101 |
| Lampiran 2. Perhitungan Bahan dan Larutn Ion Logam..... | 102 |
| Lampiran 3. Perhitungan Konsentrasi Ion Logam Terleaching dan % Ion Logam Terimmobilisasi | 105 |
| Lampiran 4. Hasil Analisis XRF Abu Layang dan Abu Sekam Padi | 107 |
| Lampiran 5. Data Kuat Tekan Geopolimer Dengan Penambahan Abu Sekam Padi Serta Perhitungan | 109 |
| Lampiran 6. Data Kuat Tekan Geopolimer Dengan Penambahan Abu Sekam Padi dan Fe ³⁺ Serta Perhitungan..... | 110 |
| Lampiran 7. Data Kuat Tekan Geopolimer Dengan Penambahan Abu Sekam Padi dan Cr ⁶⁺ Serta Perhitungan | 111 |
| Lampiran 8. Perhitungan Kuat Tekan geopolimer | 112 |
| Lampiran 9. Perhitungan Rasio Mol SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Geopolimer Dengan Penambahan Abu Sekam Padi | 113 |
| Lampiran 10. Hasil Analisis FTIR Abu layang Batu Bara PLTU Cilacap | 115 |
| Lampiran 11. Hasil Analisis FTIR Abu Sekam Padi | 116 |
| Lampiran 12. Hasil Analisis FTIR Geopolimer | 117 |
| Lampiran 13. Kartu PDF (<i>Powder Diffraction File</i>) Untuk Penentuan Jenis Mineral Dengan XRD | 119 |
| Lampiran 14. Dokumentasi Penelitian..... | 121 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ordinary Portland Cement (OPC) adalah bahan konstruksi semen yang paling banyak digunakan, namun banyaknya penggunaan OPC dapat memberikan dampak besar bagi lingkungan. Pembuatan OPC tidak hanya menggunakan sejumlah besar bahan alam dan energi tetapi juga melepaskan karbon dioksida dalam jumlah besar. Sebanyak 65% dari total emisi gas rumah kaca disumbangkan oleh gas CO₂, dari total emisi gas CO₂ tersebut, sekitar 7% berasal dari industri semen. Untuk memproduksi 1 ton OPC, sekitar 1,5 ton bahan baku yang diperlukan dan 0,81 ton CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer (Hardjito & Rangan, 2005).

Dengan semakin tumbuhnya kesadaran terhadap lingkungan dan adanya kebutuhan berlanjut akan bahan konstruksi menyebabkan upaya untuk mencari bahan alternatif untuk mengurangi penggunaan OPC semakin meningkat, termasuk pemanfaatan bahan penyemenan tambahan seperti abu layang. Abu layang adalah residu halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang akan dialirkan oleh cerobong gas dari zona pembakaran menuju ke sistem penghilangan partikel (*American Concrete Institute*, 2004). Berdasarkan pada tempat batu bara ditemukan, abu batu bara biasanya mengandung logam berat seperti arsenik, timbal, merkuri, kadmium, kromium, selenium, aluminium, antimon, barium, berilium, klorin, kobalt, mangan, molibdenum, nikel, talium, vanadium, dan seng (*U.S. Environmental Protection Agency*, 2010). Apabila termakan, terminum

ataupun terhirup toksikan ini dapat menyebabkan kanker dan berdampak pada sistem syaraf seperti dapat menyebabkan gangguan kognitif menghambat pertumbuhan dan juga dapat menyebabkan gangguan pada paru-paru, ginjal, sistem pencernaan, dan gangguan pertumbuhan terhadap anak-anak.

The Environmental Protection Agency (EPA) memperkirakan bahwa 140 juta ton abu layang dihasilkan tiap tahun. Hal ini membuat abu layang menjadi limbah dengan jumlah nomor dua terbesar yang dihasilkan di *United State*. Lebih dari sepertiga limbah abu layang ini dibuang di tempat pembuangan limbah kering yang terdapat di pembangkit listrik dimana batu bara dibakar. Abu layang juga dapat dicampur dengan air dan dibuang ke dalam kolam penampungan. Sekitar 38% dari limbah abu layang yang dimanfaatkan dalam bidang pertanian dan teknik sipil. Sebanyak 5% sisanya digunakan sebagai pengisi lahan pertambangan. Sifat *pozzolanik* abu layang menjadikannya sangat potensial untuk pembuatan material yang bersifat sementasi seperti pada geopolimer (Kong *et al.*, 2007). Sifat *pozzolanik* yang dimiliki abu layang menyatakan keaktifan silika dan alumina (Ademiec *et al.*, 2008), dimana silika dan alumina ini sangat penting dalam pembentukan rantai Si-O-Al dalam geopolimer (Davidovits, 1991). Salah satu pemanfaatan abu layang dalam bidang konstruksi adalah sebagai bahan dalam pembuatan geopolimer.

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 yang mengandung silika dan alumina atau disebut aluminosilikat. Bahan baku aluminosilikat di Indonesia, seperti kaolin, abu layang, abu sekam padi dan abu vulkanik 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 manfaat tambahan, termasuk waktu pengerasan dan *curing* cepat, memiliki ketahanan termal yang baik, ketahanan terhadap asam, dan secara signifikan mengurangi penggunaan energi serta emisi gas rumah kaca (Anwar, 2015).

Selain abu layang, sumber alumina silikat yang melimpah adalah abu sekam padi. Sekam padi merupakan hasil samping dari proses penggilingan padi. Sekam padi telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk instalansi pembangkit listrik kecil dan berbagai aplikasi. Meskipun pemanfaatan sekam padi terus meningkat, namun masih banyak sekam padi yang dibuang dengan melakukan pembakaran secara terbuka. Sekam padi yang telah dibakar (abu) mengandung persentase silika yang tinggi, silika merupakan salah satu senyawa utama dalam sintesis geopolimer. Proses pembakaran dan penghalusan yang tepat dapat menghasilkan amorphous abu sekam padi yang reaktif (Della *et al.*, 2002).

Rasio silika dan alumina yang tinggi pada bahan dasar akan menghasilkan geopolimer dengan elastisitas yang besar (Fletcher *et al.*, 2005). Abu sekam padi dan abu layang mengandung silika reaktif yang dapat dipergunakan sebagai material *pozzolan*, sehingga kedua material ini dapat digunakan sebagai bahan

dasar dalam sintesis geopolimer (Chindaprasirt *et al.*, 2009).

Secara teoritis, kadar silika akan meningkat dengan semakin meningkatnya kadar abu sekam padi pada geopolimer, dan ikatan Si-O-Si yang terbentuk akan lebih kuat dari pada ikatan Si-O-Al atau ikatan Al-O-Al (He Jian *et al.*, 2013; Duxon *et al.*, 2005). Semakin banyak jumlah abu sekam padi yang ditambahkan maka kuat tekan dari geopolimer akan meningkat pula hingga mencapai titik maksimumnya. Abu sekam padi memiliki kandung SiO₂ sebanyak 95,6% berat dan pada abu layang terkandung SiO₂ sebanyak 63,9% berat, dan Al₂O₃ sebanyak 20,0% berat (Hwang & Huynh, 2015).

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan terhadap jumlah mol SiO₂ total yang terdapat pada geopolimer yang disintesis oleh Hwang & Huynh (2015). Dengan komposisi 1971,8 gram abu layang, 262,8 gram natrium silikat, 918,8 gram NaOH, dan 367,5 gram aquades tanpa penambahan abu sekam padi. Jumlah mol SiO₂ sebesar 22,125 dan jumlah mol Al₂O₃ sebesar 6,572, sehingga rasio mol SiO₂/Al₂O₃ adalah sebesar 3,36. Setelah dilakukan penambahan abu sekam padi sebanyak 1072,0 gram, mol total SiO₂ yang diperoleh adalah sebesar 39,2058 dan mol total Al₂O₃ sebesar 6,572. Rasio mol SiO₂/Al₂O₃ meningkat menjadi 5,96. Kuat tekan yang diperoleh dengan umur sampel geopolimer 58 hari adalah 19,7 MPa untuk geopolimer tanpa penambahan abu sekam padi. Geopolimer dengan penambahan 35% abu sekam padi memiliki kuat tekan optimum yaitu sebesar 35,4 MPa (Hwang & Huynh, 2015).

De Silva *et al* (2007) telah meneliti mekanisme geopolimerisasi pada metakaolin dan menyimpulkan bahwa sifat geopolimer secara signifikan ditentukan oleh perubahan yang kecil dari konsentrasi Si dan Al selama sintesis.

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

He Jian *et al* (2015) melakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi komposit geopolimer berbasis lumpur merah (*red mud*) dan abu sekam padi. Diperoleh hasil bahwa sifat mekanik geopolimer berbasis lumpur merah-abu sekam padi sangat kompleks dan bergantung pada berbagai faktor seperti alkalinitas, rasio campuran bahan baku, waktu curing, ukuran partikel abu sekam padi, reaksi geopolimerisasi, dan hasil samping. Geopolimer yang diteliti memiliki kuat tekan hingga 20,5 MPa, yang nilainya sebanding dengan kebanyakan Portland semen.

Hwang & Huynh (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan kadar aktivator alkali dan abu sekam padi terhadap kuat tekan geopolimer berbasis abu layang. Diperoleh hasil bahwa peningkatan kuat tekan pada sampel geopolimer tergantung pada konsentrasi NaOH dan kadar abu sekam padi yang ditambahkan. Berdasarkan hasil eksperimen konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 10 M menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 35,4 MPa dan kadar abu sekam padi yang digunakan adalah 35% yang menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 35,4 MPa

Di seluruh dunia, jutaan ton limbah dihasilkan setiap tahunnya, seringkali limbah ini mengandung ion logam yang dapat mengancam lingkungan. Sebelum dibuang, limbah ion logam dapat diekstraksi atau diimmobilisasi. Dengan jumlah limbah ion logam yang banyak akan lebih mudah untuk mengimmobilisasinya secara in-situ daripada mengekstrak limbah ataupun dengan metode lain seperti pemasangan infrastruktur berbasis geokimia (Xu *et al.*, 2006).

Teknik immobilisasi dapat mencegah sejumlah besar limbah yang mengandung ion logam berinteraksi dengan lingkungan. Sebagai salah satu teknik, geopolimerisasi baru-baru ini memperoleh perhatian yang signifikan karena biayanya yang rendah dan efektivitasnya yang tinggi (Van Jaarsvelt & Van Deventer, 1996). Misalnya saja geopolimer telah digunakan untuk menstabilkan logam berbahaya termasuk limbah radio aktif, elemen nonlogam dan logam berat. Mekanisme immobilisasi ion logam dalam matriks geopolimer terjadi melalui penyerapan fisik dan enkapsulasi kimia. Immobilisasi ion logam pada abu layang diaktifkan oleh alkali dengan ion logam bertindak sebagai ion penyeimbang muatan dan sebagai endapan tidak larut yang di enkapsulasi dalam struktur geopolimer (Ogundiran *et al.*, 2013).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Phair & Van Deventer (2003) dapat diketahui bahwa abu layang dapat digunakan sebagai adsorben ion kadmium dalam larutan melalui mekanisme pembentukan geopolimer. Immobilisasi dapat dilakukan melalui kombinasi dua hal, yaitu dengan terjadinya ikatan kimia antara logam-logam tersebut dengan matriks geopolimer dan dengan mengenkapsulasi secara fisik logam tersebut, juga dalam matriks geopolimer. Ion logam yang diserap dalam pembuatan geopolimer ini dapat memberikan efek yang besar

terhadap sifat fisika dan kimia pada geopolimer yang dihasilkan (Van Jaarsveld & Van Deventer, 1998). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, dengan adanya penambahan ion logam dengan berbagai konsentrasi akan berpengaruh terhadap kuat tekan geopolimer yang dihasilkan dan banyaknya ion logam yang *terleaching*.

Suatu penelitian telah dilakukan oleh Tampubolon *et al*, (2015) mengenai pengaruh immobilisasi kation Cu^{2+} dan Pb^{2+} terhadap kuat tekan dan ketahanan asam geopolimer abu layang. Konsentrasi ion logam yang ditambahkan yaitu Cu^{2+} dan Pb^{2+} berpengaruh terhadap kuat tekan dari geopolimer yang dihasilkan dimana pada penambahan kation Cu^{2+} dengan konsentrasi 1000 ppm dan 2000 ppm kuat tekan dari geopolimer meningkat yang kemudian mengalami penurunan dari konsentrasi 4000, 8000, dan 16000 ppm. Sedangkan pada penambahan kation Pb^{2+} kuat tekan terbaik adalah pada konsentrasi 1000 ppm.

Komnitsas *et al*, (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh anion sulfat dan nitrat dalam immobilisasi ion logam pada geopolimer dengan *slag* feronikel. Penambahan logam berat Cr, Pb, Cu, dan Ni dilakukan mulai dari 0,5-3% berat, dimana diperoleh hasil kuat tekan yang semakin menurun dengan semakin bertambahnya logam berat yang ditambahkan dalam geopolimer.

Zhang *et al*, (2008) meneliti immobilisasi ion logam Cr^{6+} , Cd^{2+} , dan Pb^{2+} pada geopolimer. Digunakan larutan asam sulfat pH 1, larutan MgSO_4 5%, larutan Na_2CO_3 5% dan air deionisasi pada proses *leaching* terhadap geopolimer yang disintesis dengan penambahan Cr^{6+} , Cd^{2+} , dan Pb^{2+} dengan komposisi yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa immobilisasi ion logam Pb^{2+} yang paling efektif pada 90 jam perendaman dengan H_2SO_4 kurang dari 0,5% yang

terekstraksi. Sedangkan kuat tekan tertinggi dengan komposisi 50% abu layang, 50% pasir, aktivator 1,5 SiO₂:Na₂O:11 H₂O, rasio L/S 0,238, dan 0,5% berat masing-masing ion logam yang ditambahkan dan umur geopolimer 28 hari. Didapatkan kuat tekan tertinggi sebesar 67,4 MPa yaitu pada geopolimer dengan penambahan ion logam Cr⁶⁺, 61,4 MPa pada penambahan logam ion Cd²⁺, dan 57,5 MPa pada penambahan logam ion Pb²⁺.

Variasi terhadap waktu *leaching* bertujuan untuk mengetahui kemampuan geopolimer dalam mempertahankan ion logam yang ditambahkan kedalam matriksnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Van Jaarsvelt & Van Deventer (1998) mengenai faktor yang mempengaruhi immobilisasi ion logam pada geopolimerisasi abu layang, diketahui bahwa semakin lama waktu *leaching* maka semakin meningkat jumlah ion logam yang *terleaching*. Berdasarkan strukturnya, limbah ion logam yang *terleaching* dari geopolimer dapat dikontrol baik dengan difusi pori atau dengan difusi lapisan pembatas, dapat disimpulkan bahwa immobilisasi terjadi melalui proses ikatan kimia, adsorpsi, serta enkapsulasi secara fisik.

Aziz & Atmaja (2010) meneliti immobilisasi ion logam Cd pada sintesis geopolimer dari abu layang PT Semen Gresik. Geopolimer yang dihasilkan dapat digunakan untuk immobilisasi kation logam Cd²⁺, kuat tekan optimum diperoleh pada penambahan 0,1% CdSO₄ yaitu sebesar 38,23 x 10³ kN/m². Data yang diperoleh juga menunjukkan bahwa dalam penambahan waktu *leaching* maka akan terjadi penambahan jumlah mol kation logam Cd²⁺ yang *terleaching*. Hal ini menunjukkan bahwa geopolimer yang disintesis rongganya tidak sesuai dengan ukuran diameter kation logam Cd²⁺ karena jumlah mol kation logam Cd²⁺ yang

dihasilkan terus meningkat sesuai lamanya waktu *leaching*. Kekuatan immobilisasi kation logam Cd^{2+} dipengaruhi oleh ukuran atau jari-jari ion logam berat yang nantinya disesuaikan dengan rongga geopolimer yang terbentuk.

Ketahanan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} dalam geopolimer ditentukan dengan proses *leaching*. Banyaknya konsentrasi logam yang *terleaching* dapat dipengaruhi oleh ukuran ion logam seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Semakin sedikit ion logam berat yang *terleaching* berarti geopolimer mengimmobilisasi ion logam berat dengan baik. Berdasarkan *The Environmental Protection Agency (EPA) Methode 1311* metode yang dapat digunakan adalah *Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)* yang merupakan cara untuk menentukan suatu bahan/limbah memiliki kandungan polutan beracun yang mobilitasnya tinggi bila bercampur dengan air.

Dengan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka pada kesempatan kali ini penulis ingin mempelajari immobilisasi dari ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} pada geopolimer berbasis abu layang dan abu sekam padi.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap kualitas geopolimer yang dihasilkan ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} (mmol/mL) terhadap kualitas geopolimer ?

3. Bagaimana pengaruh penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} (mmol/mL) terhadap kemampuan immobilisasi geopolimer dilihat dari konsentrasi logam yang *terleaching* ?
4. Bagaimana pengaruh waktu pengambilan sampel (jam) terhadap konsentrasi ion logam yang *terleaching* ?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap kualitas geopolimer yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} (mmol/mL) terhadap kualitas geopolimer.
3. Mengetahui pengaruh penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} (mmol/mL) terhadap kemampuan immobilisasi geopolimer dilihat dari konsentrasi logam yang *terleaching*
4. Mengetahui pengaruh waktu pengambilan sampel (jam) terhadap konsentrasi ion logam yang *terleaching*

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain :

1. Menambah nilai guna abu layang batu bara dan dapat memberikan pengetahuan mengenai pemanfaatan abu sekam padi sebagai salah satu *raw material* dalam sintesis geopolimer.

2. Memanfaatkan limbah industri seperti industri elektroplating yang banyak menghasilkan limbah logam berat melalui immobilisasi geopolimer.

Keterangan :

Kualitas geopolimer dapat ditentukan dari besarnya kuat tekan (MPa) dan karakteristik geopolimer berdasarkan pada analisis morfologi, gugus fungsi dan fasa mineral setelah diberi perlakuan (penambahan abu sekam padi dan diimmobilisasi ion logam $\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{6+}$).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fly Ash* (Abu Layang)

Menurut *American Concrete Institute* (ACI) Komite 116R, abu layang didefinisikan sebagai residu halus yang dihasilkan dari pembakaran tanah atau batu bara yang akan dialirkan oleh cerobong gas dari zona pembakaran menuju ke sistem penghilangan partikel (Komite ACI 232, 2004). Abu layang akan dikeluarkan dari zona pembakaran gas oleh sistem pengumpul debu, baik secara mekanis atau menggunakan presipitator elektrostatis, yang selanjutnya akan dilepaskan ke atmosfer. Partikel abu layang berbentuk bulat, lebih halus dibandingkan portland semen dan kapur, dengan diameter mulai kurang dari 1 μm dan tidak lebih dari 150 μm (Hardjito, 2005)

Jenis dan jumlah relatif dari senyawa yang terdapat pada batu bara menentukan komposisi kimia dari abu layang. Komposisi kimia abu layang tersusun atas oksida-oksida dari silikat (SiO_2), aluminium (AlO_3), besi (Fe_2O) dan kalsium (CaO), sedangkan magnesium, potassium, sodium, titanium dan sulfur juga dapat ditemukan namun dalam jumlah yang sedikit. Hal yang paling mempengaruhi komposisi kimia dari abu layang adalah jenis batu bara yang digunakan. Pembakaran dari batu bara sub-bituminus menghasilkan kalsium lebih banyak dan besi yang lebih sedikit apabila dibandingkan dengan pembakaran batu bara bituminus (beraspal). Dengan kata lain, karakteristik fisik dan kimia dari suatu abu layang dapat ditentukan oleh metode pembakaran, sumber batu bara dan

bentuk dari partikelnya. Komposisi kimia dari abu layang yang berbeda-beda, menunjukkan bahwa ada berbagai macam variasi batu bara yang digunakan oleh pembangkit listrik diseluruh dunia (Malhotra & Ramezaniapour, 1994).

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

Tabel 2. 1 Komposisi kimia abu layang kelas C PLTU Karang Kandri Cilacap

| Komponen | Persen | Komponen | Persen |
|--------------------------------|--------|-------------------|--------|
| SiO ₂ | 39,439 | SO ₃ | 0,686 |
| Al ₂ O ₃ | 15,496 | Na ₂ O | 0,478 |
| CaO | 13,655 | K ₂ O | 1,579 |
| Fe ₂ O ₃ | 26,232 | Sr | 0,585 |
| MgO | 0,807 | TiO ₂ | 0,952 |

Sumber : Hisan, 2016

Adamiec *et al*, (2008) mempelajari bahwa uji *pozzolanik* pada abu layang membuktikan bahwa kehalusan abu layang mempengaruhi kinetika dan fasa *neofornya* (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 *neofornya*.

Abu layang telah dimanfaatkan sebagai bahan pengganti *portland cement* pada beton karena mempunyai sifat *pozzolanik*. Sebagai *pozzoland* abu layang sangat besar pengaruhnya dalam meningkatkan kekuatan dan durabilitas dari beton. Selain itu abu layang juga digunakan sebagai material konstruksi jalan. Abu layang kelas C dan F keduanya dapat digunakan sebagai mineral *filler* untuk

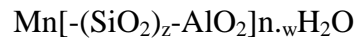
mengisi *void* dan memberikan kontak point antar partikel agregat yang lebih besar pada campuran asphalt concrete. Abu layang juga dapat digunakan sebagai bahan *embankment* atau bahan perkuatan dan sebagai bahan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dengan penambahan abu layang biasanya digunakan pada tanah lunak, subgrade tanah lempung di bawah jalan yang mengalami tekanan atau beban berulang. Perbaikan tanah ini bisa menggunakan abu layang kelas F maupun kelas C. Jika menggunakan kelas F diperlukan bahan tambahan kapur ataupun semen, sedangkan jika menggunakan abu layang kelas C tidak diperlukan bahan tambahan semen atau kapur karena abu layang kelas C mempunyai sifat *self cementing* (Wardani, 2008).

Jumaeri *et al.*, (2009) telah mensintesis zeolit dari abu layang batu bara, hal ini didasarkan pada kandungan utama abu layang yang merupakan SiO_2 dan Al_2O_3 yang memiliki persamaan komposisi dengan batu-batuan vulkanik. Tidak hanya sebagai zeolit abu layang batu bara juga telah dimanfaatkan sebagai adsorben timbal dalam pengolahan limbah elektroplating (Astuti, 2010).

2.2 Geopolimer

Polimer adalah sekelompok material yang terbuat dari molekul besar yang terdiri dari sejumlah besar unit berulang (monomer). Struktur molekular dari unit pembentuk molekul besar mengontrol sifat-sifat dari bahan. Keadaan non kristalin atau amorf adalah keadaan ketika tidak adanya regularitas atau keteraturan pada atom. Jenis padatan amorf yang paling sering dijumpai adalah kaca (Young *et al.*, 1998). Geopolimer adalah salah satu anggota dari polimer anorganik yang rantai strukturnya terbentuk dari ikatan ion Al dan Si. Komposisi kimia dari bahan geopolimer ini mirip dengan bahan zeolit alami, tetapi memiliki mikrostruktur

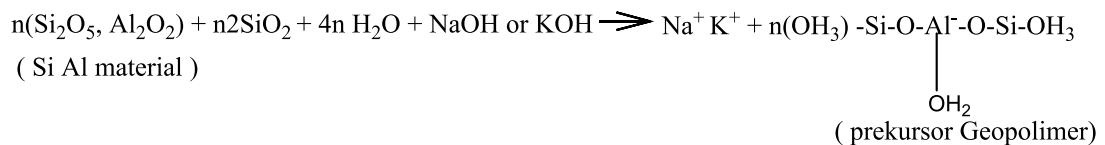
amorf (Palomo *et al.*, 1999; Xu & Van Deventer, 2000). Proses polimerasi melibatkan reaksi substansial yang sangat cepat pada keadaan yang sangat basa pada mineral Si-Al, yang menghasilkan rantai polimer tiga dimensi dan struktur cincin yang terdiri dari ikatan Si-O-Al-O, sebagai berikut :



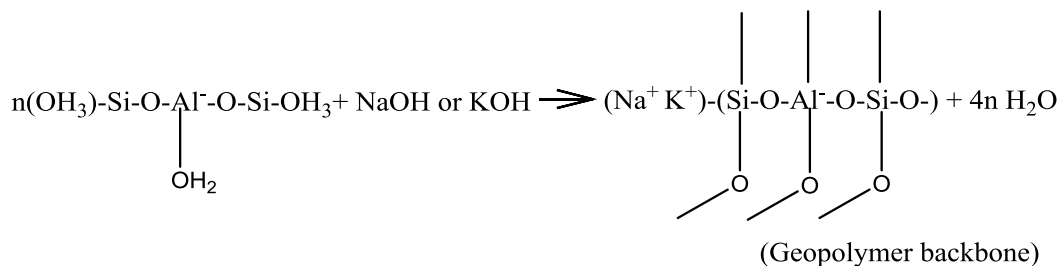
Dimana M = unsur alkalin atau kation seperti potassium, sodium atau kalsium; simbol – menunjukkan adanya ikatan, n adalah derajat polikondensasi atau polimerisasi; z adalah 1,2,3, atau lebih, sampai dengan 32.

Secara skematik pembentukan suatu geopolimer dapat dilihat pada persamaan (2) dan (3) (Van Jaarsveld & Van Deventer, 1997; Davidovits, 1999). Persamaan tersebut menunjukkan bahwa hampir seluruh material yang mengandung Si dan Al dapat digunakan untuk mensintesis geopolimer.

Persamaan 2.1 :



Persamaan 2.2 :



Pada saat ini mekanisme yang tepat dari pengaturan dan pengerasan material geopolimer belum diketahui secara pasti sama halnya dengan kinetika reaksinya. Namun, mekanisme yang paling mungkin adalah sebagai berikut (Davidovits, 1999; Xu & Van Deventer, 2000) Pelarutan atom Si dan Al dari

material melalui pereaksian dengan ion hidroksida, transportasi (orientasi) ion prekursor menjadi monomer-monomer dan polikondensasi/polimerisasi dari monomer-monomer menjadi struktur polimerik. Namun, ketiga langkah ini bisa tumpang tidih satu sama lain dan terjadi hampir secara bersamaan. Hal ini membuatnya sulit untuk diisolasi dan diuji secara terpisah (Palomo *et al.*, 1999).

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 pemadatan garam kimia lainnya seperti KCl, K₂CO₃, K₂C₂O₄.H₂O dan K₂HPO₄ juga digunakan sebagai penggerak untuk reaksi geopolimerisasi dan pemadatan (Brough *et al.*, 2000 ; Lee & Van Deventer, 2002). Pemilihan aktivator untuk pemutusan rantai alumino-silikat dan pengerasan ke dalam struktur tetrahedral sementasi geopolimer sangat penting. Dalam banyak kasus, reaksi alkali alumino-silikat menyebabkan pembentukan zeolit yang bukan merupakan bagian dari fase sementasi.

Sebuah geopolimer dapat mengambil salah satu dari tiga bentuk dasarnya (Davidovits, 1999). Misalnya : Poli (Sialate), yang memiliki [-Si-O-Al-O-] sebagai unit pengulangan, Poli (sialate-siloxo), yang memiliki [-Si-O-Al-O-Si-O-] sebagai unit pengulangan, *poli (sialate-disiloxo)*, yang memiliki [-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-] sebagai unit pengulang. (Sialate adalah singkatan dari Silika-okso-aluminat)

Davidovits. (1991) mengusulkan kemungkinan aplikasi dari bahan Geopolimer, berdasarkan pada rasio molar Si/Al. Seperti yang diberikan dalam Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Aplikasi material geopolimer

| Si/Al | Aplikasi |
|-------------|--|
| 1 | Batu Bata, keramik, Bahan tahan api (<i>Fire Protection</i>) |
| 2 | Semen Rendah CO ₂ , beton, radioaktif enkapsulasi limbah beracun |
| 3 | Komposit tahan panas, alat pengecoran logam, komposit kaca fiber |
| >3 | Sealant untuk industri |
| 20<Si/Al<35 | Komposit serat tahan api dan panas |

(Sumber : Hardjito, 2005)

2.3 Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

Penggilingan padi selalu menghasilkan kulit gabah/sekam padi cukup banyak yang menjadi material sisa. Ketika bulir padi digiling, 78% dari beratnya akan menjadi beras dan 22% beratnya adalah kulit sekam. Kulit sekam terdiri 75% bahan mudah terbakar dan 25% berat akan berubah menjadi abu. Abu ini dikenal sebagai *Rice Husk Ash* (RHA) yang memiliki kandungan silika reaktif sekitar 85-95%. Dalam setiap 1000 kg padi yang digiling akan dihasilkan 220 kg (22%) kulit sekam. Jika kulit sekam itu di bakar pada tungku pembakar, akan dihasilkan sekitar 55 kg (25%) RHA.

Abu sekam padi merupakan bahan ber*ligbo*-selulosa seperti biomassa pada umumnya tetapi mengandung unsur silika yang sangat tinggi. Abu Sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu 400°C-500°C akan menjadi silika *amorphous* dan apabila dibakar pada suhu lebih dari 1000°C akan menjadi silika kristalin. Silika *amorphous* yang dihasilkan diperkirakan dapat digunakan sebagai

sumber penting dalam pembentukan silika murni, karbid silika, dan tepung nitrid silika (Katsuki *et al.*, 2005).

Besarnya kandungan unsur silika inilah yang dimanfaatkan oleh peneliti untuk mengoptimalkan kuat tekan beton geopolimer. Untuk membuat abu sekam padi menjadi silika reaktif yang dapat digunakan sebagai material *pozzolan* dalam beton maka diperlukan kontrol pembakaran dengan temperatur tungku pembakaran tidak boleh melebihi 800°C sehingga dapat dihasilkan abu sekam padi yang terdiri dari silika yang tidak terkristalisasi. Jika kulit sekam ini terbakar pada suhu lebih dari 850°C maka akan menghasilkan abu yang telah terkristalisasi menjadi arang dan tidak reaktif lagi sehingga tidak memiliki sifat *pozzolan* (Nugraha & Antoni, 2007).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penambahan abu sekam padi pada proporsi 35% dapat menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan optimum. Hal tersebut terjadi karena material abu sekam padi yang bersifat *pozzolanic* (Hwang *et al.*, 2013). Komposisi kimia yang terdapat dalam abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Komposisi kimia abu sekam padi (%)

| Oksida | Kandungan |
|--------------------------------|-----------|
| SiO ₂ | 94,9 |
| Al ₂ O ₃ | 0,67 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,84 |
| CaO | 2,84 |
| K ₂ O | 0,69 |
| TiO ₂ | 0,03 |
| CrO | 0,03 |
| MnO | 0,37 |
| NiO | 0,03 |
| CuO | 0,05 |

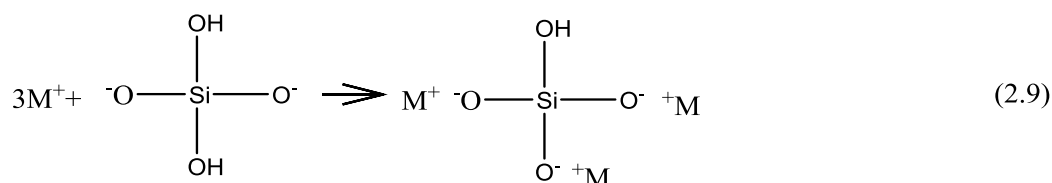
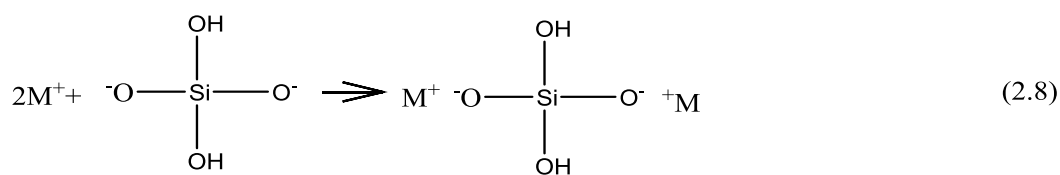
Sumber : Pratomo *et al.*, 2013

2.4 Sintesis Geopolimer

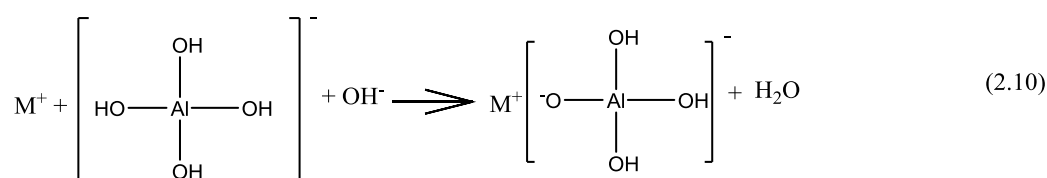
Beberapa faktor telah diidentifikasi sebagai parameter penting yang mempengaruhi sifat geopolimer. Palomo *et al* (1999) menyimpulkan bahwa suhu saat proses *curing* adalah akselerator reaksi pada geopolimer berbasis abu layang dan secara signifikan berpengaruh terhadap kekuatan mekanik dari geopolimer yang dihasilkan. Van Jaarsveld *et al* (2002) menyimpulkan bahwa kadar air, kondisi pada saat *curing* dan kalsinasi pada kaolin *clay* dapat mempengaruhi sifat dari geopolimer. Suhu saat proses *curing* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan timbulnya retak dan memberikan dampak negatif pada material. Oleh karena itu disarankan untuk memberikan perlakuan yang ringan pada saat proses *curing*. Dalam laporan lain Van Jaarsveld *et al*, (2003) menyatakan bahwa sumber bahan menentukan sifat dari geopolimer, khususnya kandungan CaO, rasio air dan sumber abu layang.

Pelarutan silika dan alumina dari beberapa abu layang oleh larutan alkali sudah diteliti oleh Rizain (2008). Fakta yang diperoleh adalah hanya sedikit Si dan Al dalam abu layang dapat larut dalam NaOH. Hanya Si dan Al yang reaktif (mudah larut dalam basa) yang terlibat dalam pembentukan matriks geopolimer. Salah satu faktor penting dalam pelarutan ini adalah komposisi kimia abu layang. Dalam basa, kelarutan Al_2O_3 lebih besar dari pada SiO_2 (Swaddle, 2001).

Reaksi geopolimerisasi dimulai dari pelarutan mineral Si–Al sebagaimana digambarkan pada persamaan reaksi (2.3) & (2.4) (De Silva *et al.*, 2007):

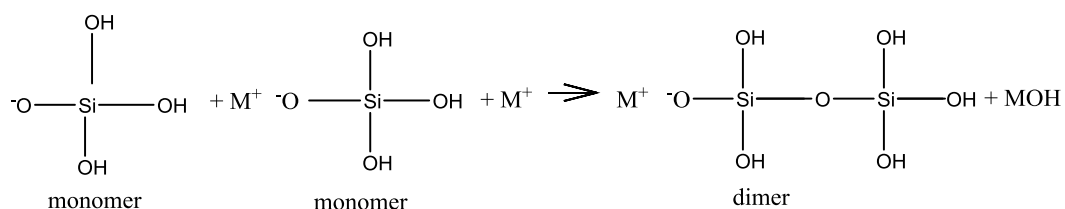


Reaksi monomer aluminat (Xu & Van Deventer, 2000) dalam basa adalah sebagai berikut :

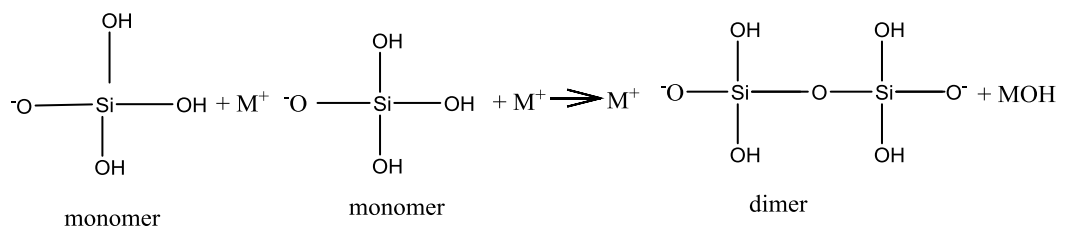


Reaksi pembentukan oligomer silikat digambarkan dengan persamaan reaksi (2.11) dan (2.12) (Xu & Van Deventer, 2000):

Persamaan 2.11 :

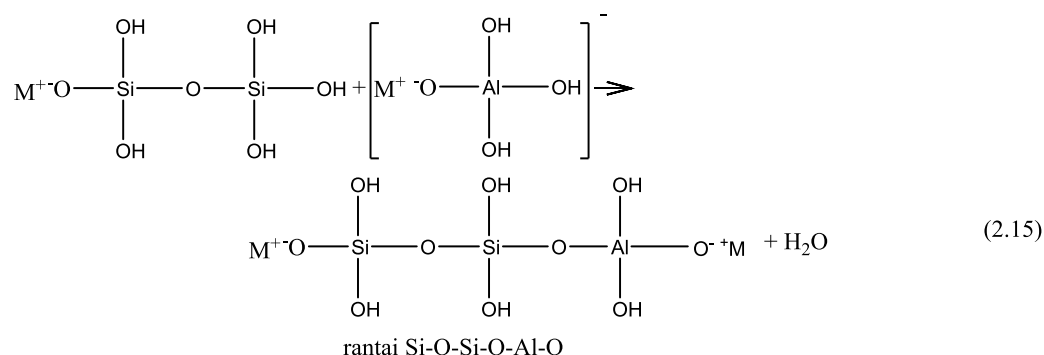
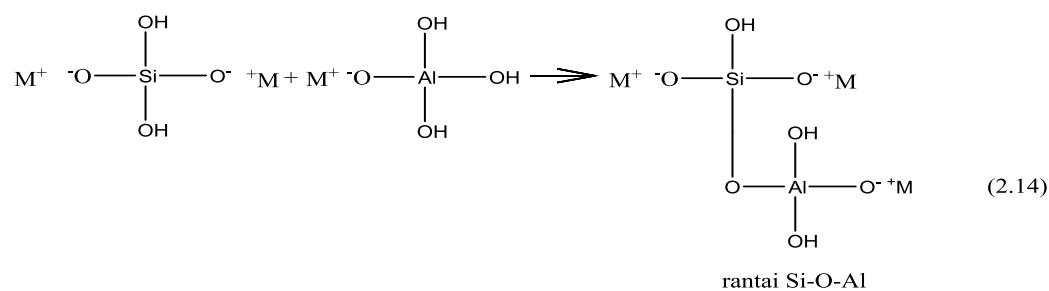
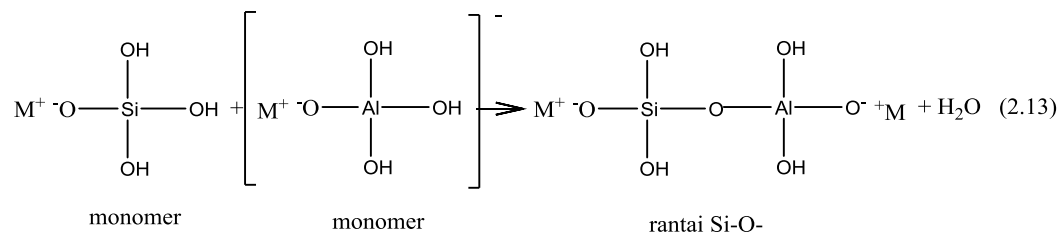


Persamaan 2.12 :



2 Monomer silikat⁻ + 2 Dimer Silikat⁻ + 2M⁺ M⁺ Trimer siklik + M⁺ Trimer linear + 2OH⁻

Reaksi Kondensasi monomer silikat dan aluminat dengan persamaan reaksi (2.13)-(2.15) (Xu & Van Deventer, 2000):



Persamaan 2.3-2.6 adalah reaksi hidrasi, dimana anion OH^- bereaksi dengan Al-Si permukaan padat untuk membentuk $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ dan $^-\text{OSi}(\text{OH})_2$ ion divalen asam ortosilikat dan ion trivalen asam ortosilikat. Persamaan 2.7-2.10 adalah reaksi elektrostatis fisik, dimana logam kation alkali M^+ bereaksi dengan $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ dan $^-\text{OSi}(\text{OH})_2$ ion divalen asam ortosilikat dan ion trivalen asam ortosilikat untuk menyeimbangkan muatan elektrostatis *Coulomb*. Persamaan 2.10-2.15 adalah reaksi pasangan kation-anion penyeimbang muatan dalam interaksi kondensasi berdasarkan gaya tarik elektrostatis *Coulomb*. Persamaan

2.9-2.15, kation M^+ bereaksi dengan $[Al(OH)_4]^-$ dan spesies ion asam ortosilikat untuk membentuk pasangan ion dari monomer $M^+ [Al(OH)_4]^-$ dan minimer silikat, dimer dan ion trimer, yang mengurangi jumlah $[Al(OH)_4]^-$ bebas dan spesies ion asam ortosilikat (Xu & Van Deventer, 2000). Menurut Dent Glasser & Harvey (1984) tidak terdapat reaksi pasangan kation dan anion secara langsung terhadap $[Al(OH)_4]^-$ tertrahedral, dimana akan membatasi pelarutan Al, sehingga konsentrasi Al selalu lebih rendah dari konsentrasi Si.

Persamaan reaksi 2.7-2.15 menyatakan bahwa kation logam alkali akan berpengaruh terhadap kelarutan alumino-silikat. Na^+ dan K^+ memiliki muatan yang sama, tetapi akan memberikan pengaruh yang berbeda dikarenakan ukuran ion yang berbeda. Telah dibuktikan bahwa interaksi pasangan kation-anion menjadi kurang efektif dikarenakan peningkatan ukuran kation. Kation dengan ukuran lebih kecil akan cenderung bereaksi dengan oligomer silikat yang lebih kecil seperti monomer silikat, dimer dan trimer. Dengan demikian, diharapkan bahwa kation Na^+ akan lebih reaktif dalam reaksi 2.7-2.15 dari pada K^+ , sehingga dapat meningkatkan kelarutan mineral alumino-silikat (Xu & Van Deventer, 2000).

Satu atau lebih monomer dan oligomer dapat melakukan kondensasi (disebut polikondensasi) membentuk rantai polimer berikatan Si-O-Al yang lebih panjang dan lebih kompleks strukturnya yakni matriks aluminosilikat berstruktur tiga dimensi dengan pelepasan sejumlah air. Rantai polimer berikatan Si-O-Al tersebut akan mengalami pepadatan (*solidification*) yang bertanggung jawab pada pembentukan karakter atau sifat geopolimer yang dihasilkan (Kusumastuti, 2009).

Geopolimerisasi merupakan reaksi pelepasan air sebagai akibat polikondensasi. Untuk membantu memaksimalkan geopolimerisasi ini, maka pasta yang sudah mengeras perlu dirawat (proses *curing*) pada suhu yang sedikit lebih tinggi dari suhu kamar. Proses *curing* pada 60°C selama 24 jam terbukti menghasilkan kuat tekan optimum dengan *delay time* (jeda waktu setelah pencetakan dengan dimulainya *curing*) sebesar 1 jam (Chindaprasirt *et al.*, 2007).

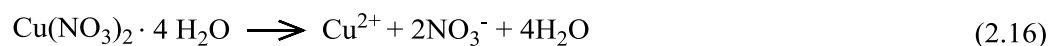
2.5 Immobilisasi

Semakin meningkatnya pembangunan menyebabkan munculnya berbagai kekhawatiran mengenai pencemaran lingkungan, khususnya adalah pencemaran oleh logam berat. Oksida dan larutan logam berat merupakan limbah dari banyak industri seperti pertambangan dan metalurgi. Untuk mencegah limbah logam berat tersebut mencemari ekosistem dapat dilakukan immobilisasi logam berat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Phair & Van Deventer (2004) dapat diketahui bahwa abu layang dapat digunakan sebagai adsorben ion cadmium dalam larutan melalui mekanisme pembentukan geopolimer. Immobilisasi dapat dilakukan melalui kombinasi dua hal, yaitu dengan terjadinya ikatan kimia antara logam-logam tersebut dengan matriks geopolimer dan dengan mengenkapsulasi secara fisik logam tersebut, juga dalam matriks geopolimer. Logam berat yang diserap dalam pembuatan geopolimer ini dapat memberikan efek yang besar terhadap sifat fisika dan kimia pada geopolimer yang dihasilkan (Van Jaarsveld & Van Deventer, 1999).

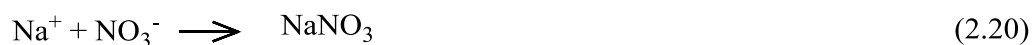
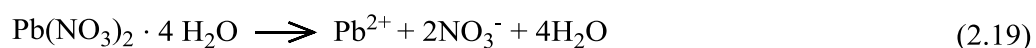
Immobilisasi ion logam dalam geopolimer dipengaruhi oleh dua faktor yaitu valensi ion logam dan ukurannya. Logam yang memiliki ukuran lebih besar cenderung dapat diimmobilisasi dengan lebih baik dalam geopolimer dan akan

lebih sulit untuk dilepaskan dari geopolimer (*leaching rate* rendah). Ion logam seperti terikat dalam struktur geopolimer meskipun ikatan ini tidak menyebabkan perubahan terhadap struktur dasar tetrahedral dari Si dan Al yang merupakan penyusun geopolimer (Van Jaarsveld & Van Deventer, 1999). Menurut Xu *et al* (2006) keberadaan logam berat dalam geopolimer akan berpengaruh terhadap sifat kimia dan sifat fisika dari geopolimer, dan konsentrasi dari alkali sebagai aktivator dalam pembuatan geopolimer akan mempengaruhi sifat-sifat immobilisasi logam dalam sistem geopolimer.

Menurut Tampubolon (2010) dengan adanya penambahan ion logam Cu^{2+} dalam bentuk larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ pada geopolimer akan mengakibatkan terbentuknya $\text{Cu}(\text{OH})_2$ yang ditunjukkan pada persamaan 2.16-2.18 dimana larutan NaOH terionisasi menjadi Na^+ dan OH^- , dimana kedua ion tersebut bereaksi dengan kation logam dalam senyawa $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$.

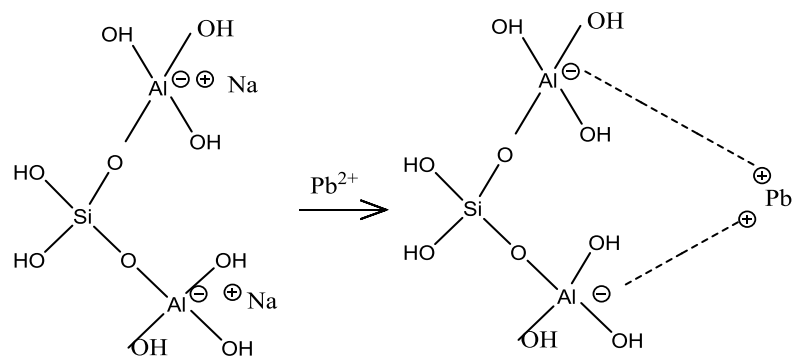


Sedangkan penambahan ion logam Pb^{2+} mengakibatkan terbentuknya $\text{Pb}(\text{OH})_2$ (persamaan 2.19-2.21).



Menurut Anggoro & Atmaja. (2010) dengan adanya penambahan ion logam Pb^{2+} pada geopolimer, ion logam Pb^{2+} akan terimmobilisasi secara fisika

yaitu sebagai penyeimbang muatan pada geopolimer. Geopolimer dengan bahan dasar abu layang mengandung rantai Si-O-Al dengan SiO₄ dan AlO₄ terikat secara tetrahedral yang bersambung secara bergantian menggunakan semua atom oksigennya. Fakta bahwa atom Al berikatan dengan 4 atom O, membuat ketidakseimbangan muatan negatif dalam struktur geopolimer. Oleh karena itu, kehadiran kation-kation seperti Na⁺ berperan penting untuk dapat mempertahankan kenetralan muatan di dalam matriks geopolimer tersebut (Xu & Van Deventer, 1999). Dengan adanya ion Pb²⁺ dalam geopolimer, maka kation Pb²⁺ dapat menggantikan Na⁺ sebagai penyeimbang muatan, ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Ikatan yang terjadi dalam geopolimer
(Anggoro & Atmaja, 2010)

2.6 Ion Logam Fe³⁺

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari. Dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26. Besi dalam terdapat dalam bentuk senyawa, misalnya pada mineral hematite (Fe₂O₃), magnetit (Fe₂O₄), pirit(FeS₂), siderit (FeCO₃) dan limonit (2Fe₂O₃·3H₂O). Unsur besi sangat penting dalam hampir semua organisme yang hidup. Pada manusia besi merupakan unsur penting dalam hemoglobin darah. Sebagian besar besi yang terdapat di

lingkungan berada pada bentuk Fe^{3+} , yang hampir tidak dapat larut ada pH netral (Goswami *et al.*, 2002). Adapun besi terlarut yang berasal dari pipa atau tangki-tangki besi adalah akibat dari beberapa kondisi, diantaranya adalah akibat pengaruh pH yang rendah (bersifat asam), dapat melarutkan logam besi, pengaruh akibat adanya CO_2 agresif yang menyebabkan larutnya logam besi, pengaruh tingginya temperatur air akan melarutkan besi-besi dalam air, kuatnya daya hantar listrik dan adanya bakteri besi dalam air yang akan memakan besi.

Apabila konsentrasi besi terlarut dalam air telah melebihi batas akan menimbulkan berbagai masalah, diantaranya adalah gangguan teknis dimana endapan $\text{Fe}(\text{OH})$ bersifat korosif terhadap pipa dan akan mengendap pada saluran pipa, sehingga mengakibatkan pembuntuan dan efek-efek yang dapat merugikan seperti mengotori bak yang terbuat dari seng, mengotori wastafel dan kloset. Gangguan fisik yang ditimbulkan oleh adanya besi terlarut dalam air adalah timbulnya warna, bau dan rasa. Air akan terasa tidak enak bila konsentrasi besi terlarutnya $>1,0$ mg/l.

Senyawa besi dalam jumlah kecil di dalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah, dimana tubuh memerlukan 7-35 mg/hari yang sebagian diperoleh dari air, tetapi zat Fe yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Hal ini dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mensekresi Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapat transfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe. Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Selain itu dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kematian sering kali disebabkan oleh rusaknya dinding usus ini. Kadar Fe yang lebih dari 1

mg/l akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit. Apabila kelarutan besi dalam air melebihi 10mg/l akan menyebabkan air berbau seperti telur busuk.

Pada hemokromatosis primer (penyakit bawaan yang disebabkan oleh tubuh terlalu banyak menyerap zat besi) besi yang diserap dan disimpan dalam jumlah yang berlebihan pada tubuh. Feritin berada dalam keadaan jenuh sehingga kelebihan mineral ini akan disimpan dalam bentuk kompleks dengan mineral lain yaitu hemosiderin. Akibatnya terjadilah sirosis hati dan kerusakan pankreas sehingga menimbulkan diabetes. Hemokromatosis sekunder terjadi karena transfusi yang berulang-ulang. Dalam keadaan ini besi masuk ke dalam tubuh sebagai hemoglobin dari darah yang ditransfusikan dan kelebihan besi ini tidak disekresikan.

2.7 Ion Logam Cr⁶⁺

Chromium (Cr) adalah unsur yang secara alami terdapat pada kerak bumi, dengan tingkat oksidasi (tingkat valensi) mulai dari kromium (II) hingga kromium (VI). Senyawa kromium berada dalam keadaan stabil pada trivalen Cr(III) terbentuk di alam dalam keadaan bijih seperti ferrokromit. Bentuk hexavalen [Cr(VI)] merupakan bentuk yang stabil kedua (Patlolla *et al.*, 2009). [Cr(0)] tidak dapat muncul secara alami, kromium terdapat di dalam berbagai macam matriks lingkungan (udara, air dan tanah) dari berbagai macam sumber alam dan antropogenik penghasil terbesar logam kromium berasal dari perusahaan dan industri. Industri yang memberikan kontribusi terbesar untuk pelepasan logam kromium adalah industri pengolahan logam, produksi kromat, pengelasan *stainless steel* dan produksi zat warna ferrokrom dan krom. Peningkatan jumlah kromium pada lingkungan berkaitan dengan udara dan air limbah kromium yang

berasal dari industri metalurgi, refraktori dan industri kimia. Kromium yang dilepaskan ke lingkungan berasal dari aktivitas antropogenik sebagian besar berbentuk heksavalen [Cr(VI)].

Heksavalen kromium merupakan polutan industri yang diklasifikasikan sebagai karsinogenik pada manusia oleh *Agency For Toxic and Disease registry* (ATSDR) pada *Toxicological Profile for Chromium*. Bahaya yang ditimbulkan akibat paparan dari kromium tergantung pada tingkat oksidasinya, mulai dari toksisitas rendah dalam bentuk logam hingga toksisitas tinggi dalam bentuk heksavalen. Seluruh senyawa yang mengandung Cr(VI) dipercaya merupakan buatan manusia, berbeda dengan Cr(III) yang secara alami terdapat di udara, air, tanah dan material biologikal. Secara komersial kromium digunakan dalam industri pengelasan, *plating* krom, pewarna dan pigmen, penyamakan kulit dan pengawetan kayu. Kromium juga digunakan sebagai antikorosi pada sistem *boiler* (Wang *et al.*, 2006).

. Jumlah heksavalen kromium Cr(VI) yang terkandung dalam tanah dan permukaan air tidak boleh melebihi batas ketentuan dari *World Health Organization* untuk air minum yaitu sebesar 50 µg Cr(VI) perliter (Velma & Vutukuru, 2009)

2.8 Reduksi Fe₂O₃ Secara Magnetik Pada Abu Layang

Tingginya kandungan senyawa oksida besi (Fe₂O₃) yang terdapat di dalam abu layang kelas C PLTU Karang Kandri Cilacap dapat mempengaruhi jumlah mol larutan Fe³⁺ yang akan diimmobilisasi di dalam geopolimer, sehingga perlu dilakukan reduksi terhadap oksida besi (Fe₂O₃). Reduksi oksida besi (Fe₂O₃) dilakukan dengan menggunakan alat pemisah magnetik. Pemisahan secara

magnetik dapat dilakukan terhadap komponen oksida besi dalam abu layang, karena abu layang merupakan material yang bersifat paramagnetik.

Magnet adalah material yang mempunyai sifat mampu menarik besi. Sifat magnet terdapat dalam magnet alam atau magnet permanen dan konduktor yang dialiri arus listrik, baik arus listrik searah maupun bolak balik (Amaliena, 2010).

Berdasarkan sifatnya bahan magnet dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Paramagnetik, merupakan bahan-bahan yang memiliki susptibilitas magnetik yang positif dan sangat kecil. Paramagnetisme muncul dari bahan yang atom-atomnya memiliki momen magnetik permanen yang berinteraksi satu sama lain secara sangat lemah. Apabila tidak terdapat medan magnetik luar, momen magnetik ini akan berorientasi secara acak. Dengan adanya medan magnetik luar, momen magnetik ini cenderung menyearahkan sejajar dengan medannya, tetapi ini dilawan oleh kecenderungan momen untuk berorientasi acak akibat gerak termalnya. Bahan paramagnetik mencakup aluminium, platina, mangan dan kromium (Gussow & Milton, 2004).
2. Ferromagnetik, merupakan bahan yang memiliki nilai susptibilitas megnetik positif yang sangat tinggi, mempunyai permeabilitas lebih dari satu. Ferromagnetik muncul pada besi murni, kobalt nikel, serta paduan logam-logam ini. Sifat ini juga dimiliki gadolinium, dysprosium, dan beberapa senyawa lain. Dalam bahan-bahan ini sejumlah kecil medan magnetik luar dapat menyebabkan derajat penyearahan yang tinggi ada momen dipol magnetik atomnya. Bahan-bahan ini memiliki permeabilitas yang tinggi (Gussow & Milton, 2004).

3. Diamagnetik, merupakan bahan yang memiliki nilai susptibilitas negatif dan sangat kecil. Momen magnetik pada bahan ini memiliki arah yang berlawanan dengan demikian akan saling meniadakan. Bahan diamagnetik mencakup bismuth, abtimon, tembaga, seng, air raksa, emas dan perak. Permeabilitas relatifnya kurang dari 1 (Gussow & Milton, 2004).

Faridah *et al.* (2012) memisahkan Fe_2O_3 dari abu dasar dengan menggunakan manget separator. Abu dasar diayak pada ayakan berukuran 60-120 *mesh* ditimbang sebanyak 25 gram, kemudian dicampurkan dengan 1 L aquades lalu dimasukkan magnet separator dan diaduk dengan stirer magnetik 300 rpm. Pemisahan Fe_2O_3 dilakukan selama 1 jam dengan 6 kali perlakuan. Abu dasar bebas Fe_2O_3 difiltrasi dan dikeringkan dalam oven dengan temperatur 105°C selama 24 jam. Abu dasar bebas Fe_2O_3 ditimbang sampai konstan setelah diletakkan dalam desikator.

Shoumkova. (2006) pemisahan Fe_2O_3 dalam abu layang dilakukan dengan menggunakan separator berjenis *High Gradient Magnetic Separation* (HGMS) yang merupakan alat separator skala laboratorium dengan tipe solenoida. *High Gradient Magnetic Separation* (HGMS) digunakan untuk memisahkan material karena perbedaan sifat magnetnya yang kecil. Abu layang ditambahkan dengan air dengan konsentrasi 10% dari berat dan dimasukkan kedalam pengaduk (5 menit, 2000 rpm) untuk menghindari terbentuknya gumpalan. Pada proses pemisahan magnetik sampel akan melewati pemisah dimana partikel yang memiliki sifat magnetik yang kuat akan tertahan di dalam matrik, sementara partikel dengan sifat magnetik rendah akan dialirkan keluar dari matrik. Material yang terperangkap di

dalam filter selama pemisahan disebut sebagai fraksi magnetik dan material yang tidak terperangkap oleh magnet disebut fraksi nonmagnetik.

2.9 Uji *Leaching* dengan Metode TCLP

Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) adalah cara untuk menentukan suatu bahan/limbah memiliki kandungan polutan beracun yang mobilitasnya tinggi bila bercampur dengan air. Jika limbah atau bahan ini ditimbun diatas atau di dalam tanah, maka air hujan akan dengan mudah melarutkan (*leach out*) polutan beracun tersebut. Uji *leaching* pada geopolimer bertujuan untuk menentukan kation logam yang *terleaching* dan waktu *leaching* yang paling optimal pada saat sintesis geopolimer yang telah diimmobilisasi kation logamnya. *Leaching* dilakukan untuk melihat kekuatan immobilisasi geopolimer terhadap kation logam dalam suasana asam yang diharapkan dapat mendekati kondisi di alam (Supriadi, 2010).

TCLP terdiri dari empat prosedur mendasar yaitu persiapan sampel untuk pencucian, pencucian sampel, persiapan lindi untuk analisis dan analisis lindi. Prosedur TCLP biasanya berguna untuk mengklasifikasikan bahan limbah untuk pilihan pembuangan. Dalam prosedur TCLP pH bahan harus ditentukan, dan kemudian dicuci dengan asam asetat/larutan natrium hidroksida dengan perbandingan 1:20 campuran sampel dengan pelarut atau 100 gram sampel dengan 2000 mL larutan. Campuran dalam alat ekstraksi harus ditutup untuk mencegah senyawa volatil menguap, dan ekstraksi dilakukan selama 18 jam, kemudian disaring dan larutan dianalisis (Riyanto, 2013). Menurut EPA (*Environmental Protection Agency*) prosedur TCLP yaitu mengambil sub-sampel limbah diekstrak

dengan larutan buffer asam asetat selama 18 ± 2 jam. Ekstrak yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan apakah memenuhi standar.

Menurut Xu & Van Deventer (2002) langkah pertama untuk melihat kemampuan geopolimer dalam mempertahankan ion logam yang diimmobilisasi di dalamnya adalah dengan memasukkan geopolimer kedalam larutan H_2SO_4 yang telah diencerkan dengan aquademin. Larutan H_2SO_4 digunakan untuk proses *leaching* karena kation logam yang *terleaching* akan lebih banyak dengan menggunakan larutan H_2SO_4 dari pada menggunakan larutan CH_3COOH .

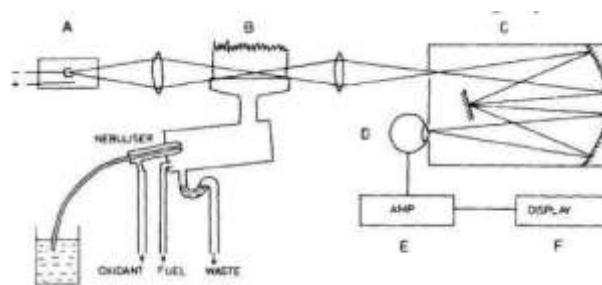
2.10 Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS)

Spektrofotometri atomik adalah metode pengukuran spektrum yang berkaitan dengan serapan dan emisi atom. Bila suatu molekul mempunyai bentuk spektra pita, maka suatu atom mempunyai spektra garis. Atom-atom yang terlibat dalam metode pengukuran spektrometri atomik haruslah atom-atom bebas yang garis spektranya dapat diamati. Pengamatan garis spektra yang spesifik ini dapat digunakan untuk analisis unsur baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Adsorpsi (serapan) atom adalah suatu proses penyerapan bagian sinar oleh atom-atom bebas pada panjang gelombang (λ) tertentu dari atom itu sendiri sehingga konsentrasi suatu logam dapat ditentukan. Karena absorbansi sebanding dengan konsentrasi suatu analit, maka metode ini dapat digunakan untuk sistem pengukuran atau analisis kuantitatif.

Unsur-unsur dalam cuplikan diidentifikasi dengan sensitivitas dan limit deteksi pada teknik pengukuran ini dapat mencapai <1 mg/L (1 ppm). Dalam Spektroskopi atomik, faktor-faktor yang dapat menyebabkan pelebaran garis spektra merupakan suatu problem dalam analisis metode ini. Dua hal yang paling

sering menimbulkan problem adalah pelebaran efek Doppler (*Doppler Boardening*) dan pelebaran tekanan (*Pressure Boardening*).

Pada pelebaran efek *Doppler* (*Doppler Boardening*) selama proses atomisasi dan ionisasi, suatu spesies yang sedang diukur dapat bergerak menjauhi atau melalui detektor. Hal ini dapat menimbulkan loncatan *Doppler* pada spektra garis yang dihasilkan, sehingga garis spektra yang seharusnya berkisar antar 1-15 nm menjadi kira-kira 100 kali lebih lebar. Sedangkan pada pelebaran tekanan (*Pressure Boardening*) efek ini dapat timbul bila suatu analit bertabrakan dengan spesies lain karena perubahan energi. Efek ini semakin besar pengaruhnya sejalan dengan kenaikan suhu.



Gambar 2.2 Skema spektrometer serapan atom
(Kumalasari, 2012)

Prinsip dasar SSA adalah cuplikan atau larutan cuplikan dibakar dalam suatu nyala atau dipanaskan dalam suatu tabung khusus (misal tungku api). Dalam setiap atom tersebut ada sejumlah tingkat energi diskrit yang ditempati oleh elektron. Tingkat energi biasanya dimulai dengan E_0 bila berada dalam keadaan dasar (*ground state level*) sampai E_1 , E_2 , E_∞ . Atom yang tidak tereksitasi, berada dalam keadaan dasar (*ground state*). Untuk mengeksitasi atom, satu atau lebih elektron harus berpindah ke tingkat energi lebih tinggi dengan cara penyerapan energi oleh atom itu. Energi dapat disuplai oleh foton atau dari peristiwa tabrakan

yang disebabkan oleh panas. Dengan peristiwa itu, elektron terluar akan menjauhi inti paling tidak adalah ke tingkat energi pertama E_1 . Energi yang dibutuhkan adalah setara dengan selisih dari energi tingkat satu dengan energi dasar.

Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas maka sebagian cahaya akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari hukum *Lambert* yang mengatakan bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan akan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi, dan hukum *Beer* menyatakan bahwa intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut (Day & Underwood, 1989).

Syarat penggunaan hukum Beer :

1. Baik untuk larutan encer.
2. Hanya berlaku pada cahaya yang benar-benar monokromatik
3. Zat pengabsorpsi tidak boleh berdisosiasi, berasosiasi, atau berinteraksi dengan pelarut yang menghasilkan suatu produk pengabsorpsi spektrum yang berbeda dari zat yang dianalisis.
4. Larutan yang diukur harus jernih.

Dari kedua hukum tersebut diperoleh suatu persamaan:

$$I_t = I_0 \cdot e^{-(\epsilon bc)} \text{ atau } A = -\log I_t/I_0 = \epsilon b c \quad (2.17)$$

Keterangan :

$$I_0 = \text{Intensitas sumber sinar}$$

I_t = Intensitas sinar yang diteruskan

ε = Absorbtivitas molar

b = Panjang medium

c = Konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar

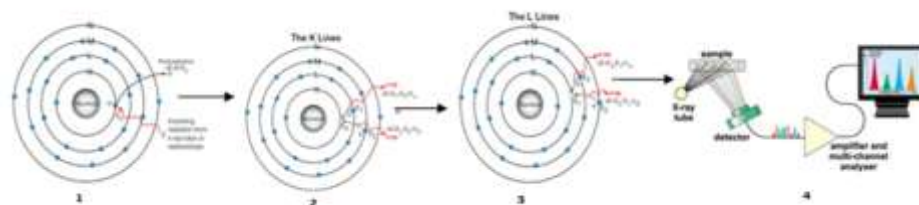
A = Absorbansi

Dari persamaan diatas, dapat disimpulkan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 1989). Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} setelah uji *leaching*. Semakin sedikit logam berat yang *terleaching* berarti geopolimer mengimmobilisasi logam berat dengan baik.

2.11 Karakterisasi

2.11.1 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.



Gambar 2.3 Skema kerja XRF (LPPT UGM, 2016)

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.

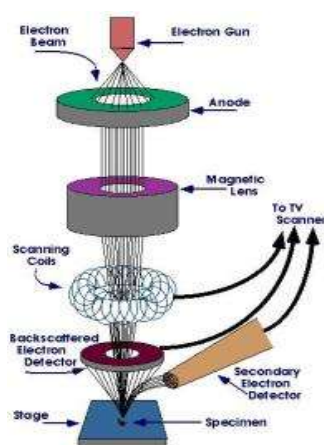
Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses 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 (Anwar, 2015).

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

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 (Trewin, 1998).

SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan perbesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. Sebelum melalui lensa elektromagnetik terakhir *scanning raster* mendefleksikan berkas elektron untuk men-*scan* permukaan sampel. Hasil *scan*

ini tersinkronisasi dengan tabung sinar katoda dan gambar sampel akan tampak pada area yang di *scan*. Tingkat kontras yang tampak pada tabung sinar katoda timbul karena hasil yang berbeda-beda dari sampel. Pembentukan geopolimer ditandai dengan terbentuknya matriks geopolimer. Partikel yang tidak bereaksi terlihat sebagai butiran mikrograf SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (Kusumastuti, 2009).

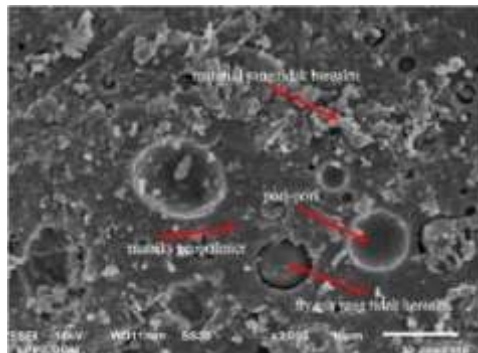


Gambar 2.4 Prinsip kerja SEM (iastate.edu, 2009)

Prinsip kerja SEM di ilustrasikan pada gambar 2.4. Sebuah piston elektron akan memproduksi sinar elektron yang akan dipercepat dengan anoda. Sinar magnetik akan memfokuskan elektron menuju ke sampel, sinar elektron yang terfokus akan melakukan pemindaian (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor.

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 (Anwar, 2015).



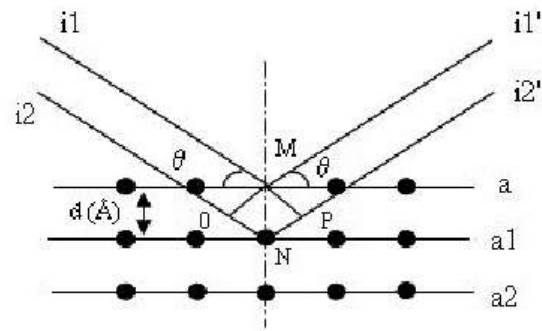
Gambar 2. 5 Mikrogran SEM (*Scanning Electron Microscopy*) geopolimer abu layang batu bara (Anwar & Kusumastuti, 2015)

2.11.3 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, material 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).



Gambar 2. 6 Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang (Mukti, 2012)

Apabila sinar X monokromatis mengenai material kristal, maka setiap bidang kristal akan memantulkan atau menghamburkan sinar X kesegala 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

$$2 d_{hkl} \sin\theta = n\lambda \quad (2.15)$$

dengan :

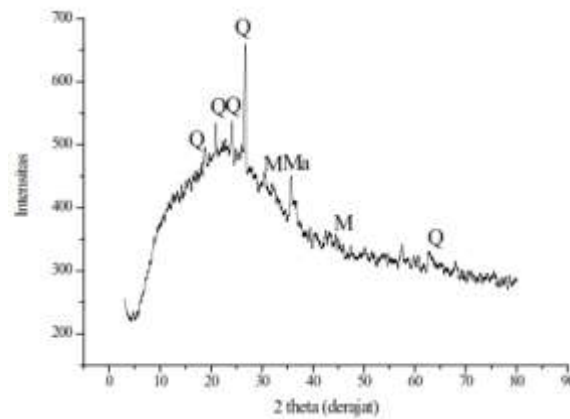
d_{hkl} : jarak antar bidang atom yang berhubungan (\AA)

θ : sudut hamburan($^{\circ}$)

n : orde difraksi

λ : panjang gelombang (\AA)

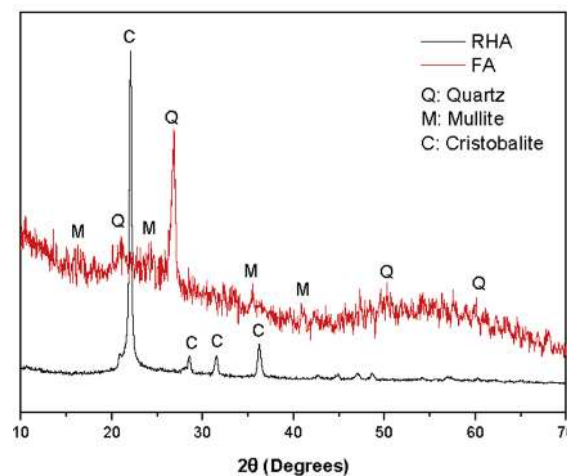
Gambar 2.7 merupakan hasil analisis fasa mineral dengan XRD pada abu layang PLTU Tanjung Jati Jepara.



Gambar 2.7. Difraktogram Abu Layang PLTU Tanjung Jati (Kusumastuti & Nuni, 2015)

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa abu layang memiliki mineral utama (Q) Quartz (SiO_2) ditunjukkan oleh puncak difraksi tajam pada $2\theta = 20,94^\circ; 26,64^\circ; 50,38^\circ; 54,49^\circ$ dan $60,02^\circ$, sedangkan (M) Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) pada $2\theta = 33,31^\circ$ dan $42,94^\circ$ serta (Ma) Magnetite (FeFe_2O_4) pada $2\theta = 35,95^\circ$ dan $62,25^\circ$. Puncak-puncak tajam ini menunjukkan fasa kristalin yang tidak reaktif, sedangkan fasa amorf ditunjukkan dengan adanya *hump* atau gundukan yang lebar pada 2θ antara 10° samapai 40° .

Gambar 2.8 merupakan hasil karakterisasi XRD dari FA (*fly Ash*) dan RHA (*Rice Husk Ash*)

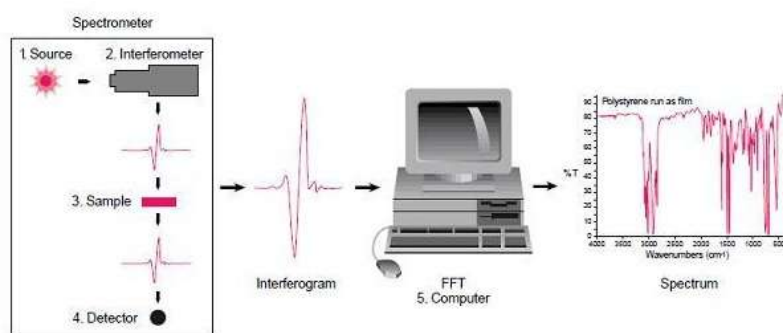


Gambar 2. 8 Difraktogram FA dan RHA (Hwang & Huynh, 2015).

Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa FA sebagian sebagian besar tersusun dari kristal-kristal yang stabil Mulite dan Quartz, sedangkan RHA sebagian besar tersusun kristal-kristal stabil Cristoblite (Hwang & Huynh, 2015).

2.8.1 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

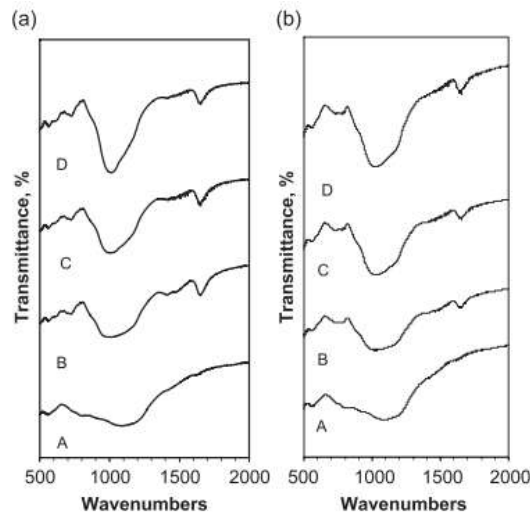
Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisian 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. 9 Skema kerja FTIR (Thermo, 2001)

Skema kerja FTIR ditampilkan pada Gambar 2.9 yang menunjukkan bahwa radiasi IR berjalan melewati sampel. Beberapa radiasi IR diserap oleh sampel dan yang lain dilewatkan (*transmitted*). Hasil spektrum yang ditampilkan merupakan molekul yang diserap dan yang ditransmisikan, menimbulkan puncak seperti sidik jari yang dihasilkan dari sampel. Seperti sidik jari yang ditampilkan

tidak ada struktur molekul lain yang memiliki spektrum infra merah unik yang sama, sehingga spektroskopi infra merah sangat berguna untuk beberapa jenis analisis (Thermo, 2001)



Gambar 2.10. Spektra FTIR (Backharev, 2004).

Gambar 2.10 menunjukkan spektra IR dari sampel abu layang yang dicampurkan dengan sodium hidroksida dan sodium silikat. Dimana spektrum IR dari sampel abu layang dengan aktivator basa menunjukkan beberapa perbedaan ketika dibandingkan dengan spektrum dari abu layang yang tidak ditambahkan aktivator. Apabila dibandingkan antara gambar a dan b menunjukkan bahwa pita vibrasi pada frekuensi 960-100, 750, 600 dan 500 cm^{-1} secara signifikan bertambah dengan adanya penambahan sodium hidroksida dibandingkan dengan aktivator sodium silikat. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan pada panjang rantai dan terbentuknya lebih banyak gel aluminosilikat (Backharev, 2004).

Pada geopolimer terdapat puncak-puncak pita vibrasi yang khas dan utama, yakni pembentukan ikatan Si-O-Al atau Si-O-Al pada daerah 400-1200 cm^{-1} . Puncak-puncak vibrasi yang merupakan puncak vibrasi ulur asimetri

(*asymmetric stretching vibration*) Si-O-Al atau Si-O-Al. Puncak pada daerah sekitar 3400 cm^{-1} dan 1600 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur –OH dan vibrasi tekuk H-O-H dari molekul air (Kusumastuti & warlan., 2012). Spektra yang mungkin muncul pada uji geopolimer disajikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Interpretasi infra merah ($1/\lambda$)

| No | Frek $1/\lambda$ (cm^{-1}) | Interpretasi | Referensi |
|----|---------------------------------------|--|-----------------------------|
| 1 | 3500-3200 | Vibrasi rentang –OH | Panias <i>et al.</i> , 2006 |
| 2 | 1700-1600 | Vibrasi tekuk H-O-H | Gianopoulou, 2006 |
| 3 | 1420 | Vibrasi ulur O-C-O | Kusumastuti, 2009 |
| 4 | 1200-950 | Vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al | Bakharev (b), 2005 |
| 5 | 500-420 | Vibrasi tekuk Si-O-Si atau Si-O-Al | Panias <i>et al.</i> , 2007 |

2.11.5 Uji Kuat Tekan dengan *Torse Universal Testing Machine*

Kualitas Geopolimer dari Skala makro dapat ditentukan oleh sifat mekaniknya yaitu kuat tekan dengan menggunakan alat penguji kuat tekan (*universal Testing Machine*). Hasil pengujian kuat tekan berupa gaya berat dengan satuan *kg force* (kg,f), kemudian dihitung kuat tekannya dengan persamaan 2.16 akan menghasilkan nilai kuat tekan dalam satuan Mpa (ASTM C39M)

$$Fm = \frac{P}{A} \quad (2.16)$$

Dengan :

Fm : kuat tekan dalam psi atau Mpa;

P : beban masimum total dalam N;

A : luas dari permukaan yang dibebani dalam mm^2

Spesifikasi beton siap pakai dibagi menjadi tiga kelas yaitu beton dengan mutu tinggi, sedang dan rendah (SNI 03-4433-1997). Tabel 2.5 Merupakan spesifikasi beton berdasarkan kuat tekannya.

Tabel 2. 5 Mutu beton dan penggunaannya

| Jenis Beton | Kuat tekan (x) MPa | Manfaat |
|-------------|-----------------------|---|
| Mutu Tinggi | $x \geq 45$ | Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton, gelagar beton prategang dan pelat beton prategang. |
| Mutu Sedang | $25 \leq x \leq 45$ | Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti jembatan, jalan, gorong-gorong, bangunan bawah jembatan. |
| Mutu Rendah | $10 \leq x \leq 20$ | Umumnya untuk trotoar, beton siklop dan paving. |

Sumber : SNI 03-4433-1997

Pengukuran kuat tekan akhir geopolimer dilakukan pada saat umur sampel uji 28 hari, karena pada umur tersebut reaksi geopolimerisasi tiak 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 di uji.

BAB 5

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Semakin banyak abu sekam padi yang ditambahkan (gram) maka kuat tekan geopolimer akan meningkat sampai pada titik optimumnya, dalam hal ini kuat tekan geopolimer mencapai titik optimum pada penambahan 3 gram abu sekam padi yaitu 35,4356 MPa dengan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 2,56,
2. Semakin besar konsentrasi (mmol) larutan ion logam $\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{6+}$ yang ditambahkan maka kuat tekan geopolimer yang dihasilkan akan meningkat sampai pada titik optimumnya. Kuat tekan optimum diperoleh dari geopolimer dengan penambahan larutan ion logam Fe^{3+} dan larutan ion logam Cr^{6+} dengan konsentrasi 60mmol/250mL secara berturut-turut 37,2254 MPa dan 36,1468 MPa,
3. Ion logam Fe^{3+} dapat diimmobilisasi lebih baik pada geopolimer dibandingkan dengan ion logam Cr^{6+} . Ion logam Fe^{3+} akan terikat kuat dalam rongga-rongga yang terbentuk pada proses geopolimerisasi maupun berikatan dengan OH^- membentuk senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$,
4. Semakin lama waktu pengambilan sampel (jam) pada geopolimer dengan penambahan ion logam Fe^{3+} konsentrasi ion logam yang *terleaching* akan semakin besar, sama halnya pada geopolimer dengan penambahan ion logam Cr^{6+} .

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mencampurkan kedua larutan ion logam, sehingga kemampuan immobilisasi geopolimer terhadap kedua ion logam dapat diketahui.

Perlu dilakukan pengukuran pH pada pasta geopolimer, karena pH yang terlalu basa akan berpengaruh terhadap ion logam yang diimmobilisasi pada matriks geopolimer, sedangkan pH yang terlalu rendah juga dapat menghambat proses geopolimerisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamiec, P., Benezet, J. C., & Benhassaine, A., 2008, "Pozzolanic Reactivity of Silico- aluminous Fly Ash", *Particuology*, 6:93-98.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) *Toxicological Profile for Chromium*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Anggoro, Wahyu., Lukman, Atmaja., 2010," Amobilisasi Logam Berat Pb Pada Sintesis Geopolimer Dari Abu Layang Semen Gresik", Prosiding Skripsi, Surabaya: Institute Sepuluh Nopember Surabaya.
- Alaerts, G., dan Sumestri, S. S., 1987, "Metode Penelitian Air", Surabaya: Usaha Nasional
- Amaliena, S. H., & Putra, S., 2010, "Pemisahan Ion Fe dan Mn dalam Larutan Menggunakan Pasir Besi Termagnetisasi", Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Anwar, S., & Kusumastuti, E., 2016, "Pemanfaatan Serat Batan Pohon Pisang dalam sintesis Geopolimer Abu Layang Batu Bara", *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(1): 12-18.
- ASTM C39M, 2014, "Standart Test Method For Compressive Strength of Cylindrical concrete Specimens", *United State: West Conshobocken*.
- Aziz. H., & Atmaja, L., 2011, "Immobilisasi Logam Berat Cd pada Sintesis geopolimer Dari Abu layang PT semen Gresik", Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institu Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bakharev, T., 2005, "Resistance of Geopolymer Materials to Acid Attack", *Cement and Concrete Research*, 35: 658–670.
- Bakharev, T., 2005, "Durability of Geopolymer Materials in sodium and Magnesium Sulfat Solution", *Cement and Concrete Research*. 30(6):1375-1379.
- 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.
- Chindaprasirt, P.C., Jaturapitakkul, W., Chalee, U., Rattanasak, 2009, "Comparative Study on the characteristics of fly ash and bottom ash Geopolymers", *Waste Manage*, 29:539-543

- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., dan Sirivivatnanon, V., 2007, "Workability and Strength of Coarse High Calcium Abu layang Geopolymer", *Cement and Concrete Composites*, 29: 224-229.
- 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.
- Della, V. P., Kuhn, L., and Hotz, D., 2002, "Rice husk ash as an alternative source for active silica production", *Material Letters*, 57: 818.
- De Silva, P., Sagoe, C. K., dan Sirivivatnanon, V., 2007, "Kinetics of Geopolymerization : Role of Al₂O₃ and SiO₂", *Cement and Concrete Research*, 37: 512-518.
- Detphan, S., Chindaprasirt, P., 2009, "*Preparation of Fly Ash And Rice Husk Ash Geopolymer*". Thailand: Departmen of Civil Engineering Khon Kaen University.
- Duxson, P., Jhon, L. P., Grand, C., & Janie, S. J., 2007, "The role of inorganic polymer technology in the development of green concret". *Cement and Concrete Research*, 37: 1590-1597.
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., Mallicoat, S. W., Kriven, W. M., & Van Deventer, J. S., 2005, "Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 269(1), 47-58
- Day, Jr. R. A., & Underwood, A.L., 1989, "*Analisis Kimia Kuantitatif*", Jakarta: Erlangga.
- Fansuri, H., Fatmawati, A. N. I. F., Utomo, W. P., Supriadi, W. A. R. I. H., & Bayuaji, R. I. D. H. O. (2016, January). Cd²⁺ and Cr³⁺ Cation Immobilization by Using Geopolymer Based on PT. IPMOMI Fly Ash. In *Materials Science Forum*, 841: 186-192.
- Faridah, A. M., Widiastuti, N., & Prasetyoko, D., 2012, "Karakterisasi Abu Dasar PLTU Paiton: Pengaruh Perlakuan Magnet, HCl, dan Fusi dengan NaOH", *Prosiding Seminar Nasional Kimia*.

- Fletcher, R. A., MacKenzie, K. J., Nicholson, C. L., & Shimada, S., 2005, "The composition range of aluminosilicate geopolymers", *Journal of the European Ceramic Society*, 25(9):1471-1477.
- Gourley, J. T., 2002, "Geopolymers: Opportunities for environmentally friendly construction materials". *The Materials 2003 Conference: Adaptive Materials for Modern Society*. Australia : Sydney.
- Gorhan, G., Kurklu., 2014, "The Influence Of The NaOH Solution On The Properties Of The Fly Ash-based Geopolymer Mortar Cured At Different Temperatures", *Composites: Part B* 58:371-377.
- Gussow., & Milton., 2004, "Dasar-dasar Teknik Listrik Schaum's easy outlines". Erlangga. Jakarta.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V., 2005, "Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete". Research Report GC1. Australia: Faculty of Engineering, Curtin University of Technology.
- Hazardous and Solid Waste Management System Identification and Listing of Special Wastes; Disposal of Coal Combustion Residuals from Electric Utilities. Proposed rule. Page 344.
- He, J., Yuxian, J., Jianhong, Z., 2013, "Synthesis and Characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymer composite", USA : Department of Civil and Environmental Engineering. Louisiana State University.
- He, J., Jie, Y., Zhang, J., Yu, Y., & Zhang, G., 2013, "Synthesis and characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymer composites", *Cement and Concrete Composites*, 37:108-118.
- Hilman, M., 2010, "Indonesia Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)". Republic of Indonesia Ministry of Environment.
- Hisan, A.K., 2016, "Pemanfaatan Serat Daun Nanas dalam Sintesis Geopolimer Berbasis Abu Layang Batu Bara", Skripsi.Semarang: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Hwang, C. L., & Huynh, T. P., 2015, "Effect of alkali-activator and rice husk ash content on strength development of fly ash and residual rice husk ash-based geopolymers". *Construction and Building Materials*, 101, 1-9.
- Jumaeri., Sutarno., Kurniaarti, E. S., *et al.*, 2009, "pengaruh Konsentrasi NaOH dan Temperatur pada Sintesis Zeolit dari Abu Layang Secara Alkali Hidrotermal", *Jurnal Zeolit Indonesia*, 8(1):22-32.
- Katsuki, H., Furuta, S., Watari, T., & Komarneni, S., 2005, "ZSM-5 zeolite/porous carbon composite: Conventional-and microwave-

- hydrothermal synthesis from carbonized rice husk”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 86(1): 145-151.
- Kong, D. L., & Sanjayan, J. G., 2010, “Effect of elevated temperatures on geopolymer paste, mortar and concrete”, *Cement and concrete research*, 40(2), 334-339.
- Komnitsas, K., Zaharaki, D., & Bartzas, G., 2013, “Effect of sulphate and nitrate anions on heavy metal immobilisation in ferronickel slag geopolymers”, *Applied Clay Science*, 73: 103-109.
- Kusumastuti, E., 2009, “Geopolimer Abu Layang Batubara : Studi Rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Dan Sifat-Sifat Geopolimer yang Dihasilkan”. Thesis. Surabaya : Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kusumastuti, E., 2012, “Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat)”. Semarang: UNNES.
- Kusumastuti, E., & Widiarti, N., 2014, “Sintesis Geopolimer Berbusa Berbahan Dasar Abu Layang Batu Bara dengan Hidrogen Peroksida Sebagai Foaming Agent”. Semarang: UNNES.
- Malhotra, V. M., & Ramezani-pour, A. A., 1994, *Fly ash in concrete*.
- Nugraha, P., & Antoni., 2007, “Teknologi Beton”. Yogyakarta: ANDI.
- Ogundiran, M. B., Nugteren, H. W., & Witkamp, G. J., 2013, “Immobilisation of Lead Smelting Slag Within Spent Aluminate Fly Ash Based Geopolymers”, *Journal of Hazardous Materials*, 248-249:29-36.
- 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. P., 2006, “Development of Inorganic Polymeric Material Based on Fired Coal Fly Ash”. *Acta Metallurgical Slovaca*, 13(5):321-327.
- Panias, D., Giannopoulou, I.P., dan Perraki, T., 2007, “Effect of Synthesis Parameters on the Mechanical Properties of Fly Ash-Based Geopolymers”, *Colloids and Surfaces*, 301(12): 246-254.
- Patlolla, A. K., Barnes, C., Yedjou, C., Velma, V. R., & Tchounwou, P. B., 2009, “Oxidative stress, DNA damage, and antioxidant enzyme activity induced by hexavalent chromium in Sprague-Dawley rats”, *Environmental toxicology*, 24(1), 66-73.

- Pratomo, I., Wardhani, S., Purwonugroho, D., 2013, "Pengaruh Teknik Ekstraksi dan Konsentrasi HCl dalam Ekstraksi Silika dari Sekam Padi Untuk Sintesis Silika Xerogel. Malang": Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.
- Putranto, V.H., E Kusumastuti., Jumaeri. 2015, "Pemanfaatan zeolit dari Abu Sekam Padi dengan Aktivasi Asam dengan Penurunan Kesadahan Air". *Jurnal MIPA*, 38 (2), 164-173.
- Phair, J. W., Van Deventer, J. S. J., & Smith, J. D., 2004, "Effect of Al source and alkali activation on Pb and Cu immobilisation in fly-ash based "geopolymers". *Applied Geochemistry*, 19(3), 423-434.
- Riyanto., 2013."Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Rizain., 2008, Pelarutan Aluminium dan Silikon Berbagai Abu Layang Batubara dari Empat PLTU Menggunakan Variasi Konsentrasi NaOH dan Temperatur", Tesis, Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Shoumkova, A., 2006, "Physico-chemical characterization and magnetic separation of coal fly ashes from "Varna", "Bobov Dol" and "Maritza-Istok I" power plants, Bulgaria. II—Magnetic separation", *J Univ Chem Technol Metall*, 4, 181-186.
- Suprpto, S., & Prasetyoko, D., 2016, " Pengaruh Suhu Fusi Terhadap Pembentukan Zeolit A Dari Abu Layang Batubara Paiton: Kapasitas Penukar Kation (Ca^{2+})". *Akta Kimia Indonesia*, 1(1): 42-51.
- Swaddle, T. W., 2001, "Silicate Complexes of Aluminum(III) in Aqueous Systems", *Coordination Chemistry Reviews*, Vol. 219-221, hal. 665-686.
- Tampubolon, F. F., Purwanti, E., & Fansuri, H., 2015, "Pengaruh amobilisasi Kation Cu dan Pb Terhadap Kuat Tekan dan Ketahanan Asam pada Geopolimer Abu Layang", *Jurnal Sains dan seni ITS*,4(2):147:152.
- Tchounwou, P.B., Patlolla, A.K., Centeno, J.A., 2003, "Carcinogenic and systemic health effects associated with arsenic exposure-a critical review". *Toxicol Pathol*. 31(6):575–588.
- Thermo, N., 2001, "Introduction to Fourier Transform Infrared spectrometry". Worldwide: Termonicolet Corporation.
- U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Resource Conservation and Recovery. "Human and Ecological Risk Assessment of Coal Combustion Wastes." Draft EPA document. April 2010. Pp 2-4.

- 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.
- Van Jaarsveld, J. G. S., Van Deventer, J. S. J., & Lorenzen, L., 1998, "Factors affecting the immobilization of metals in geopolymerized flyash". *Metallurgical and materials transactions B*, 29(1), 283-291.
- Velma, V., Vutukuru, S. S., & Tchounwou, P. B., 2009, "Ecotoxicology of hexavalent chromium in freshwater fish: a critical review". *Reviews on environmental health*, 24(2), 129.
- Wang, S., & Vipulanandan, C. (2000). "Solidification/stabilization of Cr (VI) with cement: Leachability and XRD analyses". *Cement and concrete research*, 30(3), 385-389.
- Wang, X.F., Xing, M.L., Shen, Y., Zhu, X., Xu, L.H., 2006, "Oral administration of Cr (VI) induced oxidative stress, DNA damage and apoptotic cell death in mice". *Toxicolog.* 228:16–23.
- Weber, C. F., & Hunt, R. D. (2003). "Modeling alkaline silicate solutions at 25 C". *Industrial & engineering chemistry research*, 42(26), 6970-6976.
- Xu, H., & Van Deventer., 2000, "The Geopolymerisation of Alumino-silicate Minerals". *International Journal of Mineral Processing*. 59 : 247-266.
- Xu, J. Z., Zhou, Y. L., Chang, Q., & Qu, H. Q., 2006, "Study on the factors of affecting the immobilization of heavy metals in fly ash-based geopolymers". *Materials letters*, 60(6), 820-822.
- Young, J. F., Bentur, A., & Mindess, S., 1998, "The science and technology of civil engineering materials". New Jersey. Sidalc.net november 2016.
- Zhang, J., Provis, J.L., Feng, D., Jannie, S.J., Van Deventer., 2008, "Geopolymers for immobilization of Cr⁶⁺, Cd²⁺, and Pb²⁺", Departmen of Chemical Engginering, The University of Melbourne. *Journal of Hazardous Material* 157: 587-598.
- Zhao, Q., Nair, B., Rahimian, T., & Balaguru, P., 2007, Novel geopolymer based composites with enhanced ductility. *Journal of materials science*, 42(9): 3131-3137.