



SKRIPSI

**AMOBILISASI ION KROM TOTAL DARI
LIMBAH INDUSTRI *ELECTROPLATING* DESA
NGINGAS MENGGUNAKAN GEOPOLIMER
DARI ABU LAYANG PT.IPMOMI**

ERNA ERVIANA
NRP 1412 100 006

Dosen Pembimbing
Ir. Endang Purwanti S., M.T.
Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D

JURUSAN KIMIA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



SCRIPT

**IMMOBILIZATION OF TOTAL CHROM ION
FROM WASTE WATER OF
ELECTROPLATING INDUSTRY AT DESA
NGINGAS BY USING GEOPOLYMER FROM
FLY ASH OF PT.IPMOMI**

ERNA ERVIANA
NRP 1412 100 006

Supervisor
Ir. Endang Purwanti S., M.T.
Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D

CHEMISTRY DEPARTEMENT
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**AMOBILISASI ION KROM TOTAL DARI LIMBAH
INDUSTRI *ELECTROPLATING* DESA NGINGAS
MENGUNAKAN GEOPOLIMER DARI ABU LAYANG
PT.IPMOMI**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada
Bidang Studi Kimia Material dan Energi
Program Studi S-1 Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ERNA ERVIANA
NRP. 1412 100 006

JURUSAN KIMIA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

**AMOBILISASI ION LOGAM KROM TOTAL DARI
LIMBAH INDUSTRI ELEKTROPLATING DESA
NINGGAS MENGGUNAKAN GEOPOLIMER DARI ABU
LAYANG PT.IPMOMI**

SKRIPSI

Disusun Oleh:

ERNA ERVIANA
NRP. 1412 100 006

Surabaya, 25 Juli 2016

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Ir. Endang Purwanti S., M.T.
NIP. 19600622 198603 2 002



Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D
NIP. 19691017 199412 1 001

Mengetahui :
Ketua Jurusan Kimia,



Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc
NIP. 19710616 199703 1 002

**AMOBILISASI ION KROM TOTAL DARI LIMBAH
INDUSTRI *ELECTROPLATING* DESA NGINGAS
MENGUNAKAN GEOPOLIMER DARI ABU LAYANG
PT.IPMOMI**

Nama : Erna Erviana
NRP : 1412100006
Jurusan : Kimia
Pembimbing 1 : Ir. Endang Purwanti S., M.T.
Pembimbing 2 : Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan amobilisasi logam krom dari limbah *electroplating* Desa Ngingas dengan menggunakan geopolimer dari abu layang PT IPMOMI. Variasi ukuran ayakan *fly ash* yang digunakan adalah 0.074 mm, 0.149 mm dan 0.297 mm. Adapun sampel limbah diambil dari empat titik yang berbeda di Desa Ngingas. Kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh geopolimer dengan bahan dasar *fly ash* yang di-*shieving* dengan ukuran 0.074 mm yaitu sebesar 37 MPa. Leaching dilakukan pada geopolimer yang mempunyai kuat tekan terbaik. Metode leaching yang digunakan adalah TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*). Setelah dilakukan analisis kandungan krom total terhadap *leachate* ternyata tidak ditemukan kandungan krom di dalamnya. Hal ini kemungkinan disebabkan kandungan krom total yang terlalu kecil sehingga tidak mampu dideteksi oleh instrumen SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Akan tetapi berdasarkan hasil analisis kuantitatif dengan SEM-EDX, persebaran ion logam krom total tersebar secara merata pada sampel geopolimer. Hal ini menunjukkan bahwa ion logam krom total dapat diamobilisasi oleh geopolimer dengan baik.

Kata kunci: *geopolimer, ion logam krom total, amobilisasi.*

IMMOBILIZATION OF TOTAL CHROM ION FROM WASTE WATER OF ELECTROPLATING INDUSTRY AT DESA NGINGAS BY USING GEOPOLYMER FROM FLY ASH OF PT.IPMOMI

Name : Erna Erviana
NRP : 1412100006
Department : Kimia
1st Supervisor : Ir. Endang Purwanti S., M.T.
2nd Supervisor : Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D

Abstract

This study has been conducted immobilization total chrom metal ions from electroplating waste of the Ngingas village by using geopolymer from fly ash of PT IPMOMI. Variations in shieving of the fly ash which used was 0.074 mm, 0.149 mm and 0.297 mm. The waste samples taken from four different points in the Ngingas village. The highest compressive strength of geopolymer produced by the base material of fly ash which shieved by size of 0.074 mm that is equal to 37 MPa. Leaching is done on that geopolymer has the best compressive strength. Leaching method used is the TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure). After the analysis of total chromium content of the leachate was not found to contain chromium in it. This is likely due to the total chrome content is too small that can not be detected by the instrument AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer). But based on results of quantitative analysis by SEM-EDX, the distribution of total chromium metal ion is spread evenly on geopolymer samples. It shows that the total chromium ion can be immobilized by geopolymer well.

Key word: *geopolymer, chrom ion, immobilization*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga naskah Tugas Akhir yang berjudul *“Amobilisasi Ion Krom Total dari Industri Electroplating Desa Ngingas Menggunakan Geopolimer dari Abu Layang PT.IPMOMI”* dapat diselesaikan dengan baik.

Desa Ngingas merupakan pusat berbagai jenis industri logam. Salah satu industri yang menghasilkan limbah logam berat yang mengandung logam krom adalah industri electroplating. Logam krom merupakan logam yang biasa terdapat pada limbah industri electroplating . Logam ini berifat toksik dan dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup dalam jangka waktu yang panjang. Oleh karena itu, untuk menangani dampak negatif yang ditimbulkan oleh logam ini diterapkan metode amobilisasi(solidifikasi) dengan geopolimer berbahan dasar abu layang PT.IPMOMI. Dalam naskah ini akan dibahas mengenai amobilisasi ion logam krom yang terkandung dalam limbah electroplating.

Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung atas terselesaikannya tulisan ini, yaitu:

1. Ir. Endang Purwanti S., M.T. selaku dosen pembimbing satu yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian naskah ini.
2. Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing dua yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian naskah ini.
3. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc selaku ketua jurusan kimia yang telah memberikan fasilitas sehingga naskah ini dapat diselesaikan.
4. Prof. Taslim Ersam selaku dosen wali atas pengarahan dalam pengambilan mata kuliah.
5. Orang tua yang selalu menyemangati dan mendoakan kelancaran dalam segala urusan saya.

6. Teman-teman KPU ITS 2014, MM ITS 215, seluruh warga HIMKA dan teman-teman SPECTRA 2012 atas motivasi dan perhatian dalam penyusunan naskah ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan naskah ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut.

Surabaya, 26 Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Fly Ash	5
2.2. Geopolimer	7
2.3. Amobilisasi Ion Logam Krom dengan Geopolimer	10
2.4. <i>Leaching</i>	12
2.5. TCLP	12
2.6. Instrumentasi	13
2.6.1. Spektrofotometri Serapan Atom	13
2.6.2. Spektrofotometri UV-Vis	17
2.6.3. <i>Universal Testing Machine</i>	20
2.6.4. SEM-EDX	22
BAB III METODOLOGI	25
3.1. Alat dan Bahan	25
3.2. Prosedur	25
3.2.1. Pembuatan Kurva Kalibrasi untuk Analisis Krom Bervalensi Enam	26
3.2.2. Analisis Kandungan Krom Bervalensi Enam Sampel Limbah Elektroplating	26

3.2.3. Pembuatan Kurva Kalibrasi untuk Analisis Krom Total dengan AAS	27
3.2.4. Analisis Kandungan Krom Total pada Sampel Limbah Electroplating.....	27
3.2.5. Pembuatan Larutan Basa Pengaktif.....	28
3.2.7. Pembuatan Larutan Al(OH) ₃	28
3.2.8. Preparasi Abu Layang PT.IPMOMI	28
3.2.9. Sintesis Geopolimer.....	29
3.2.10. Amobilisasi Logam Berat	31
3.2.11. Leaching Ion Logam Berat	32
3.2.12. Karakterisasi	32
3.2.12.1. Sifat Mekanik	32
3.2.12.2. Analisis SEM-EDX	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Kadar Krom Total dalam Limbah <i>Electroplating</i>	35
4.2. Kadar Cr ⁶⁺ dalam Limbah <i>Electroplating</i>	37
4.3. Pengaruh Ukuran Ayakan Fly Ash terhadap Kuat Tekan Geopolimer.....	38
4.4. Amobilisasi Ion Logam Krom Total Dengan Geopolimer dari Abu Layang PT.IPMOMI dengan Variasi Distribusi Ukuran Partikel.....	40
4.5. Leaching Ion Logam Krom Total pada Geopolimer	43
4.8. Persebaran Ion Krom Total pada Geopolimer	45
BAB V KESIMPULAN	53
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Reaksi geopolimerisasi	9
Gambar 2.2. Prinsip kerja AAS	15
Gambar 2.3. Foto persebaran ion logam krom pada Geopolimer	23
Gambar 4.1. Grafik hubungan ukuran patikel abu layang terhadap kuat tekan geopolimer.....	42
Gambar 4.2. Foto SEM geopolimer dengan penambahan ion logam krom dari limbah electroplating	47
Gambar 4.3. Foto SEM geopolimer dengan penambahan ion logam krom 2000 ppm.....	48
Gambar 4.4. SEM geopolimer dengan penambahan ion logam krom 8000 ppm.....	49
Gambar 4.5. Foto sebaran ion logam krom pada sampel geopolimer.....	50
Gambar 4.6. Foto sebaran ion logam krom pada sampel geopolimer-2000 ppm dan 8000 ppm.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi berbagai macam batu bara.....	6
Tabel 2.2. Komposisi Kimia Abu Layang PT.IPMOMI	7
Tabel 4.1. Konsentrasi ion logam krom total dalam limbah dalam satuan ppm.....	37
Tabel 4.2. Konsentrasi ion Cr^{6+} dalam limbah.....	38
Tabel 4.3. Data kuat tekan sampel geopolimer tanpa penambahan limbah electroplating.....	40
Tabel 4.4. Hasil uji kandungan krom total dengan AAS pada leachate geopolimer penambahan ion logam krom dari Limbah.....	45
Tabel 4.5. Hasil uji kandungan krom total dengan AAS pada leachate geopolimer penambahan ion Cr^{3+}	45

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A: SKEMA KERJA	59
Pembuatan larutan stock kromium	59
Pembuatan larutan standard kromium	59
Pembuatan larutan Natrium Azida(NaN_3)	59
Pembuatan Larutan H_2SO_4 0.2 N	60
Pembuatan larutan NaOH 1N.....	60
Pembuatan larutan aquaregia.....	61
Pembuatan kurva kalibrasi	63
Analisis Cr^{6+} Sampel Limbah Elektroplating	63
Pembuatan Larutan Stock Krom Total.....	63
Pembuatan Kurva Kalibrasi untuk Analisis Krom Total dengan AAS.....	63
Pembuatan larutan standar untuk analisis krom total	63
Analisis krom total sampel limbah	63
Preparasi abu layang.....	64
Pembuatan basa pengaktif	64
Pembuatan larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$	65
Pembuatan specimen geopolimer	65
Uji leaching	66
LAMPIRAN B: PERHITUNGAN	67
Hasil Analisis Kandungan Abu Layang dan Water Glass.....	67
Prosentase Kemurnian Bahan.....	68
Perhitungan Rasio S/L.....	69
Perhitungan Kuat Tekan Geopolimer	69
Perhitungan Rasio Mol Geopolimer Penambahan Cr^{3+}	70
Perhitungan Pengenceran Asam Asetat	71
Perhitungan <i>Leaching</i>	72
Perhitungan Analisis Spektrofotometer Serapan Atom	73

Perhitungan Analisis Spektrofotometer UV-Vis..... 75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri dalam melakukan proses produksi akan menghasilkan zat sisa yang biasa disebut limbah. Limbah ini dapat bersifat berbahaya dan tidak berbahaya. Salah satu jenis limbah yang berbahaya adalah limbah yang mengandung logam berat. Limbah industri yang banyak mengandung logam berat ini akan terbawa oleh sungai ke laut. Oleh karena itu, limbah industri merupakan sumber pencemar logam berat yang potensial bagi perairan laut. Sebagai contoh, pencemaran raksa (Hg) di Jepang yang dikenal dengan tragedi Minamata berasal dari limbah industri plastik yang memakai senyawa raksa-klorida sebagai katalisator (Irukayama, 1979).

Desa Ngingas merupakan desa yang menjadi pusat berbagai jenis industri logam. Industri logam ini meliputi: industri pemotongan logam, industri *electroplating*, dan industri logam lainnya. Industri *electroplating* merupakan industri yang telah berdiri sejak tahun 1997 yang memproduksi berbagai jenis produk *electroplating*. Produk yang dihasilkan diantaranya peralatan rumah tangga dan *spare part* kendaraan motor. Adapun proses *electroplating* dilakukan dimulai dari pembersihan dengan menggunakan larutan asam, selanjutnya dibilas dan dilakukan perendaman benda-benda yang akan dilapisi dengan logam ke dalam bak *electroplating*. Benda yang *diplating* kembali dicuci, lalu pencucian dilakukan kembali. Setelah itu dilakukan pewarnaan dan tahap terakhir adalah pengeringan.

Industri *electroplating* ini menghasilkan limbah yang mengandung logam berat. Limbah yang berbahaya ini perlu adanya penanganan khusus sehingga limbah ini tidak mencemari lingkungan dan membawa dampak yang

berbahaya bagi ekosistem lingkungan sekitar.

Salah satu logam yang banyak terkandung dalam limbah elektroplating ini adalah logam krom. Kromium merupakan salah satu logam berat yang mencemari lingkungan karena bersifat toksik dalam kadar yang berlebih. Kromium merupakan bahan pencemar yang sangat berbahaya bagi lingkungan, karena mempunyai toksisitas yang sangat tinggi LC 5096 jam, 2.000 – 20.000 g/l terutama Cr(VI)/krom bervalensi enam. Krom bervalensi enam dalam bentuk kromat maupun dikromat sangat toksik yaitu dapat menyebabkan kanker kulit dan saluran pernafasan (Sugiharto, 1987). Oleh karena itu, mengingat toksisitasnya yang cukup tinggi maka dibutuhkan langkah penanganan terhadap limbah ini. Penanganan ini bertujuan untuk mengurangi dampak negatif pencemaran logam kromium terhadap lingkungan dan makhluk hidup.

Industri *electroplating* di Desa Ngingas telah memiliki metode pengolahan limbah industri ini. Sehingga, limbah elektroplating ini cukup aman untuk dibuang ke lingkungan. Adapun proses pengolahan dilakukan dengan menetralisasi limbah ini. Netralisasi limbah ini dilakukan dengan menambahkan kapur sampai terbentuk endapan dan didapatkan PH limbah netral. Selanjutnya, cairan yang tersisa dibuang ke lingkungan. Metode tersebut dianggap kurang efektif karena tidak semua logam mengendap dengan pemberian kapur sehingga kemungkinan besar cairan yang dibuang ke lingkungan masih mengandung logam berat yang dapat membahayakan lingkungan. Sedangkan kendala lain yang dihadapi adalah pemilik usaha mengalami kesulitan untuk membuang endapan limbah yang terbentuk selama proses pengolahan limbah *electroplating*.

Salah satu metode untuk menangani permasalahan limbah ini adalah dengan solidifikasi logam berat dengan geopolimer. Solidifikasi logam berat dengan geopolimer mampu menahan ion logam dalam matriks geopolimer. Ion

logam ini mampu menetap dalam matriks geopolimer ketika geopolimer direndam dalam suasana asam. Amobilisasi ion logam krom dengan geopolimer dari fly ash PT IPMOMI telah dilakukan (Anif, 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Anif, ion logam Cr^{3+} mampu teramobilisasi hampir 100 % oleh geopolimer. Sedangkan spesi ion Cr^{6+} mampu teramobilisasi oleh geopolimer 96%. Meskipun demikian, metode solidifikasi ion logam krom dengan geopolimer merupakan metode yang menjanjikan untuk mengurangi dampak negatif dari limbah industri *electroplating* (Warih, 2009).

Dalam penelitian ini akan dilakukan solidifikasi ion logam krom total dengan geopolimer dengan variasi distribusi ukuran partikel fly ash. Variasi ukuran *shieving* (ayakan) fly ash yang digunakan adalah 0.074mm, 0.149 mm dan 0.297 mm. Optimasi dengan ukuran partikel bertujuan untuk mengetahui kuat tekan tertinggi yang bisa diperoleh. Geopolimer dengan kuat tekan tertinggi akan dilakukan leaching dengan metode TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*).

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan ion krom total dalam limbah *electroplating* Desa Ngingas pada geopolimer terhadap sifat mekanik geopolimer dan bagaimana kemampuan amobilisasi geopolimer dari abu layang PT IPMOMI terhadap ion krom total dalam limbah *electroplating* Desa Ngingas.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan ion krom total pada geopolimer terhadap sifat mekanik geopolimer dan untuk mengetahui kemampuan

amobilisasi geopolimer dari abu layang PT IPMOMI terhadap ion krom total dalam limbah *electroplating* Desa Ngingas.

1.4. Manfaat penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan penerapan metode solidifikasi/amobilisasi ion logam berat dengan menggunakan geopolimer dari *fly ash* PT IPMOMI dapat mengatasi dampak negatif limbah *electroplating* Desa Ngingas terhadap lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fly Ash (Abu Layang)

Fly Ash (Abu layang) merupakan limbah yang berasal dari abu bekas pembakaran batu bara. *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan campuran substitusi semen karena memiliki keunggulan daya lekat yang kuat karena mengandung silika dan alumina dengan kadar kapur yang rendah. Material ini tersedia sangat banyak tapi penggunaannya untuk pembuatan beton masih sangat terbatas. Material abu layang dapat bereaksi secara kimia dengan larutan alkali pada temperatur tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen (Marthin, 2014). Larutan alkali yang paling banyak digunakan dalam geopolimerisasi adalah kombinasi dari natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat atau kalium hidroksida (KOH) dan kalium silikat. Natrium hidroksida yang digunakan sebagai *alkaline activator*, berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam abu terbang dan kapur sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan natrium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Ade, 2009).

Adapun komposisi dari abu layang yang bermacam-macam dipengaruhi oleh jenis batu bara yang digunakan untuk pembakaran. Tabel 2.1. adalah tabel komposisi dari beberapa macam batu bara.

ASTM C168 mengklasifikaikan fly ash menjadi 3, yaitu:

1. Kelas N : Pozzolan alam / pozzolan yang telah di kalsinasi. Selain itu juga hasil berbagai pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.
2. Kelas F : Fly ash yang mengandung $\text{CaO} < 10 \%$, yang di hasilkan dari pembakarn batu bara jenis anthracite atau bitumen.

3. Kelas C : Fly ash yang mengandung CaO >10% yang di hasilkan dari pembakaran batu bara jenis lignite atau sub bitumen.

Tabel 2.1. Komposisi berbagai macam batu bara

Komponen	Jenis Batubara		
	Bituminus	Semi-Bituminus	Lignit
SiO ₂ (%)	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃ (%)	5-35	20-30	20-25
Fe ₂ O ₃ (%)	10-40	4-10	4-15
CaO(%)	1-12	5-30	15-40
LOI(%)	0-15	0-3	0-5

Abu layang yang digunakan sebagai sumber aluminosilikat dalam penelitian ini adalah abu layang dari PT.IP MOMI yang memiliki kandungan SiO₂ sebesar 11,4% dan kandungan Al₂O₃ sebesar 3% sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2. kandungan CaO abu layang PT.IP MOMI adalah sebesar 12.7%. Oleh karena itu, abu layang ini dapat dikategorikan sebagai abu layang kelas C.

Pada tahun 1988 perkiraan produksi abu terbang melebihi 390 juta ton setiap tahunnya, tapi pemanfaatannya masih kurang dari 15% (Malhotra, 1999). Konsumsi batu bara di Indonesia mencapai 36 juta ton yang umumnya digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan menghasilkan sekitar 11.5 juta ton abu layang pada tahun 2004 (Badan Pusat Statistik, 2004). Jumlah abu layang yang dihasilkan tiap tahun sangat besar sehingga perlu adanya langkah memanfaatkan abu layang ini menjadi material yang mempunyai manfaat dan fungsi lebih. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan abu layang dari PT IP MOMI sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer. Hal ini dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah pembakaran batu bara

ini. Selain itu, abu layang PT IPMOMI dipilih sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer karena abu layang ini memiliki kandungan kapur yang tinggi sehingga akan menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan yang baik.

Tabel 2.2. Komposisi kimia abu layang PT.IPMOMI

	Berat Molekul (g/mol)	Persentase (%)
SiO ₂	80	50.67
Al ₂ O ₃	100	13.76
Na ₂ O	62	0.19
H ₂ O	18	-
CaO	56	12.7
MgO	40	0.19
K ₂ O	94	1.28
TiO ₂	80	0.76
Fe ₂ O ₃	160	11.99
MnO ₂	87	0.14
S ₂ O	80	0.63
Se ₂ O ₃	190	0.12
P ₂ O ₅	142	0.08
Ignition loss	-	1.42

(Stiasari, 2011)

2.2. Geopolimer

Di awal tahun 1980-an, Davidovits mengembangkan polimer anorganik alumina silikat dari fase amorf hingga fase kristal. Dewasa ini material tersebut dikenal dengan nama geopolimer.

Geopolimer merupakan polimer mineral yang diperoleh melalui proses geokimia. Aluminasilikat memiliki arti geologi yang penting oleh karena mineral Si-Al seperti kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) tersedia dalam jumlah yang melimpah di permukaan bumi.

Geopolimer adalah material anorganik alumina-silika yang disintesis melalui material yang banyak mengandung Silika (Si) dan alumina (Al) yang berasal dari alam atau dari material hasil sampingan industri. Komposisi kimia material geopolimer serupa dengan Zeolit, tetapi memiliki mikrostruktur amorf (Davidovits, 1999). Selama proses sintesis, atom silika dan alumina menyatu dan membentuk blok yang secara kimia memiliki struktur yang mirip dengan batuan alam. Material sejenis telah diteliti yang lebih dikenal dengan semen tanah (soil cement) (Glukhovsky, 1950). Berbagai penelitian menggunakan nama berbeda untuk material yang memiliki kesamaan secara fisik. Perbedaan nama lebih disebabkan oleh jenis material dasar yang digunakan dan bukan pada jenis reaksi kimia. Dalam perkembangan selanjutnya, apapun bahan dasar pembentuk material ini, terminologi geopolimer sudah sangat luas digunakan untuk merujuk pada material ini. Bahan pengikat geopolimer adalah sistem anorganik dua komponen yang terdiri atas: Komponen solid yang memiliki SiO_2 dan Al_2O_3 dalam jumlah yang cukup untuk bisa bersenyawa (seperti abu tebang, pozzolon, slag). Cairan alkalin sebagai komponen aktivator yang memiliki alkali hidroksida, silika, alumina, carbon dan sulfat atau kombinasi keduanya. Pada saat komponen solid dan komponen aktivator dicampur, maka terjadi proses pengerasan yang disebabkan oleh terbentuknya *aluminosilicate network* yang bervariasi antara fasa amorf dan kristalin (Putra, 2014). Geopolimer terdiri dari kerangka polimer Si-O-Al dengan SiO_4 dan AlO_4 berbentuk tetrahedron yang saling terhubung dengan saling membagi semua atom O yang dimiliki. Kerangka tersebut terdiri dari ikatan-ikatan polimerik yang terbagi kedalam 3 jenis yaitu Si-O-Al-O (*Polysialate*), Si-O-Al-O-Si-O (*Polysialate-*

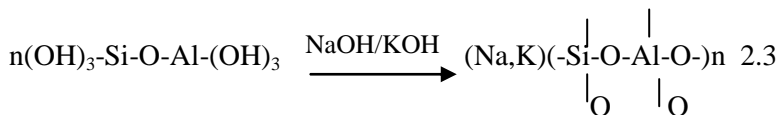
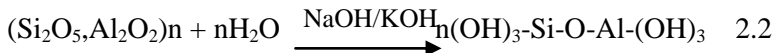
siloxo) dan Si-O-Al-O-Si-O-Si-O (*Polysialate-Disiloxo*) (Sugiri dkk., 2009). Rumus empiris (*polysialate*) yaitu :



Keterangan : m = kation monovalen (Na atau K)
 n = derajat polikondensasi
 z = bilangan sebagai jumlah atau banyak

Reaksi geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia berbagai oksida alumina silikat dengan larutan silikat di bawah kondisi alkali tinggi dan menghasilkan ikatan polimerik –Si-O-Al-O-. Keluarga geopolimer yang diproduksi dari aluminasilikat disebut poly(sialates). Material ini terdiri atas jaringan amorf dari AlO_4 dan SiO_4 tetrahedra yang dihubungkan dengan membagi rata atom oksigen. Sialate adalah singkatan dari silicon-oxo-aluminate(-Si-O-Al-O-) (Davidovit, 1999).

Reaksi geopolimerisasi adalah reaksi geosintetik mineral alumino-silikat dengan larutan alkali pada temperature rendah, mekanisme reaksinya dapat digambarkan pada Gambar 2.1.(Davidovits, 1994):



Gambar 2.1. Reaksi geopolimerisasi

Geopolimer baru-baru ini telah mendapatkan perhatian lebih terkait dengan penerapan dalam berbagai bidang. Salah satu diantaranya adalah geopolimer dijadikan sebagai binder untuk melakukan stabilisasi/solidifikasi terhadap limbah yang mengandung logam berat. Amobilisasi logam beracun dengan geopolimer ini bertujuan sebagai bahan pengikat dalam semen

dengan adanya kondisi enkapsulasi. Selain itu, langkah amobilisasi juga dapat meningkatkan sifat kimia dan fisik, seperti: kesatuan struktur, permeabilitas yang rendah, kuat tekan yang tinggi dan ketahanan geopolimer (Jaarsveld, 1997) .

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Krisbiantoro(2015), geopolimer dengan bahan dasar abu layang PT IPMOMI menghasilkan kuat tekan sebesar 30.53 MPa. Sementara itu, geopolimer dengan penambahan ion logam Fe dan Co mampu meningkatkan nilai kuat tekan geopolimer.

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa kadar kation logam berat Cr^{3+} yang ditambahkan berpengaruh pada kuat tekan geopolimer. Jika dibandingkan dengan geopolimer tanpa penambahan logam berat Na-14 yang memiliki kuat tekan 33,17 MPa pada usia 7 hari, penambahan ion Cr^{3+} pada kadar 857,5; 1715 dan 2000 mg/Kg abu layang menurunkan kuat tekan geopolimer, sedangkan pada penambahan ion Cr^{3+} dengan kadar 3430 mg/Kg abu layang kuat tekan yang didapatkan hampir sama dengan standar yakni 33 MPa. Kuat tekan geopolimer naik pada penambahan ion Cr^{3+} 6860 mg/Kg abu layang mencapai 47,38 MPa kemudian kuat tekan turun secara drastis pada penambahan Cr^{3+} melebihi kadar tersebut.

2.3. Amobilisasi Logam Berat Krom dengan Gepolimer

Logam krom merupakan logam pencemar yang tersebar luas yang dihasilkan oleh industri *electroplating*, industri kulit, industri logam alloy, dan industri tekstil. Logam krom (Cr) adalah salah satu jenis polutan logam berat yang bersifat toksin, dalam tubuh logam krom biasanya berada dalam keadaan sebagai ion Cr^{3+} . Kromium (VI) sangat bahaya bagi kesehatan manusia, terutama bagi orang-orang yang bekerja di industri baja dan tekstil. Orang yang merokok juga memiliki kesempatan yang lebih tinggi terpapar kromium. Kromium dapat menyebabkan gangguan pada saluran pernafasan, pada kulit, pada pembuluh darah, dan pada ginjal (Sudarmaji, Mukono, & Prasasti, 2006). Usaha-usaha yang dilakukan untuk mengurangi kadar pencemar

pada perairan biasanya dilakukan melalui kombinasi proses biologi, fisika dan kimia.

Salah satu metode untuk menangani limbah *electroplating* yang mengandung ion logam krom ini adalah metode solidifikasi(amobilisasi) dengan geopolimer. Dua hal penting yang berkaitan dengan pencemaran tanah oleh logam berat adalah mobilitas dan pelepasan logam berat ke dalam tanah. Mobilitas logam berat berkaitan dengan gerakan senyawa-senyawa berbahaya dalam tanah ke aliran air tanah dan efeknya bila terjadi kontak dengan material biologi. Pelepasan logam berat berkaitan dengan efek kontak fisik dengan kontaminan, termasuk kemungkinan masuknya kontaminan ke dalam material. Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) bisa digunakan untuk menstabilkan logam berat dalam tanah terkontaminasi dengan cara penambahan apatit (kalsium fosfat) dan semen sebagai agen solidifikasi. Kombinasi S/S tersebut akan mereduksi mobilitas logam berat dalam tanah, sehingga hanya sebagian kecil logam berat yang diluluhkan dari tanah yang di-*treatment*, bahkan apabila tanah tersebut dihancurkan.

Solidifikasi merupakan proses pengikatan material yang berbahaya dengan menggunakan material pengikat seperti abu layang. Imobilisasi material beracun bergantung pada interaksi kimia antara material beracun dengan agen pematat yang terjebak dengan interaksi fisik (Habiba dkk.,2011).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Galiano,dkk(2011) yang menyatakan bahwa geopolimer dapat mengamobilisasi ion Cr^{3+} sebesar 99,95% sedangkan ion Cr^{6+} dapat teramobilisasi sekitar 97,76%-95.19%. Hal ini menunjukkan bahwa geopolimer dapat mengamobilisasi ion Cr^{3+} dan ion Cr^{6+} dengan baik.

Menurut Deja(2002) amobilisasi ion logam Cr(VI) dengan binder slag alkali teraktivasi selain menjadi metode yang efektif untuk menangani masalah limbah industri yang mengandung ion logam krom. Akan tetapi, metode ini juga dianggap sebagai metode yang dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer.

Meskipun ion Cr^{6+} tidak teramobilisasi sebaik ion Cr^{3+} oleh geopolimer.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Anif(2014), solidifikasi ion Cr^{3+} dengan geopolimer dari abu layang PT IPMOMI mampu meningkatkan nilai kuat tekan geopolimer. Selain itu, dalam penelitian ini juga menjelaskan bahwa ion Cr^{3+} dapat teramobilisasi hampir 100%.

2.4. Leaching

Leaching adalah proses pemisahan zat yang dapat melarut (solut) dari suatu campurannya dengan padatan yang tidak dapat larut (innert) dengan menggunakan pelarut cair. Uji leaching merupakan metode yang tepat untuk menentukan efisisensi dari amobilisasi kation logam berat yang ditambahkan dalam geopolimer. Uji Leaching pada geopolimer bertujuan untuk menentukan ion logam krom total yang terleaching dan waktu leaching yang paling optimal pada saat sintesis geopolimer yang telah diamobilisasi ion logam krom total nya. Leaching dilakukan untuk melihat kekuatan amobilisasi geopolimer pada penambahan kation logam berat dalam suasana asam yang diharapkan dapat mendekati kondisi di alam dengan menggunakan metode TCLP (*Toxic Characteristic Leaching Procedure*) (Supriadi, 2010).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Galiano,dkk(2011) menyatakan bahwa ion logam Cr^{3+} yang ditambahkan ke dalam pata gepolimer berbahan dasar abu layang yang terleaching sebesar 0.005% sedangkan ion logam Cr^{6+} yang terleaching sebesar 2.4%-4.8%. Hal ini menunjukkan bahwa geopolimer dapat mengamobilisasi logam krom dengan cukup baik. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Anif(2014) ion Cr^{3+} yang terleaching 0%.

2.5. TCLP (*Toxic Characteristic Leaching Procedure*)

TCLP adalah metode leaching yang paling umum digunakan. Metode ini digunakan untuk menentukan tingkat toksisitas di

bawah standar RCRA. Mobilitas logam beracun yang dilepaskan dari limbah dinilai dengan menggunakan berbagai prosedur penilaian risiko (Barna, 1997). TCLP banyak digunakan oleh lembaga negara dan nasional yang dirancang untuk mensimulasikan pencucian logam berat dan senyawa organik dari limbah industri agar relatif aman dibuang di tempat pembuangan sampah padat perkotaan. TCLP (*Toxic Characteristic Leaching Procedure*) memerlukan penggunaan cairan ekstraksi yang terbuat dari buffer media asam dan asam pencernaan langsung untuk menjalankan tes. Metode ini dilakukan untuk penentuan berat logam. Konsentrasi logam berat diperoleh dengan menggunakan TCLP. Dalam prosedur natrium asetat buffer digunakan pada pH 4,99 (Sarade, 2010). Digunakan uji pencucian ini dikembangkan untuk perkiraan dekat dari kondisi lapangan, sehingga dapat meningkatkan prediksi dampak lingkungan yang mungkin terjadi (Prasad, 2008).

2.6. Instrumentasi

2.6.1. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri serapan atom merupakan metode analisis untuk menentukan unsur-unsur dalam suatu bahan dengan kepekaan, ketelitian, dan selektifitas tinggi. Spektrofotometri serapan atom berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom-atom. Atom-atom menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat unsur-unsurnya. Absorpsi cahaya oleh tembaga terjadi pada panjang gelombang 324,8 nm dan seng pada panjang gelombang 213,9 nm. Pada panjang gelombang tersebut cahaya memiliki cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom yang menyerap cahaya tersebut (Khopkar, 1990:275).

Spektrometri merupakan suatu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan banyaknya radiasi yang dihasilkan atau yang diserap oleh spesi atom atau molekul analit. Salah satu bagian dari spektrometri ialah Spektrometri Serapan Atom (SSA), merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif

yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog et. al.,2000).

Adapun prinsip kerja Spektrofotometri Serapan Atom adalah apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang bersangkutan maka sebagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada dalam sel. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari:

1. Hukum Lambert : Bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi.

2. Hukum Beer : Intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.

Dari kedua hukum tersebut diperoleh suatu persamaan:

$$I_t = I_o \cdot e^{-(\epsilon bc)} \quad 2.4$$

atau

$$A = - \text{Log } I_t/I_o = \epsilon bc \quad 2.5$$

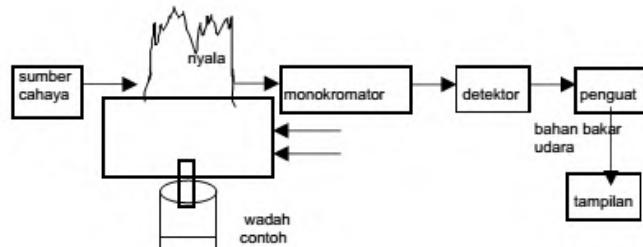
Dimana :

- I_o = Intensitas sumber sinar
- I_t = Intensitas sinar yang diteruskan
- ϵ = Absorptivitas molar
- b = Panjang medium
- c = Konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar
- A = Absorbansi.

Dari persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 1989).

Pada alat SSA terdapat dua bagian utama yaitu suatu sel atom yang menghasilkan atomatom gas bebas dalam keadaan

dasarnya dan suatu sistem optik untuk pengukuran sinyal. Suatu skema umum dari alat SSA dalam gambar 2.2. yang menjelaskan prinsip kerja AAS.



.Gambar 2.2. Prinsip kerja AAS (sumber: Haswel, 1991)

Secara umum pembentukan atom bebas dalam keadaan gas melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a. Pengisatan pelarut, pada tahap ini pelarut akan teruapkan dan meninggalkan residu padat.
 - b. Penguapan zat padat, zat padat ini terdisosiasi menjadi atom-atom penyusunnya yang mulamula akan berada dalam keadaan dasar.
 - c. Beberapa atom akan mengalami eksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi dan akan mencapai kondisi dimana atom-atom tersebut mampu memancarkan energi.
- Berikut ini beberapa komponen spektrometri serapan atom:

a. Sel Atom

Terdapat dua tahap utama yang terjadi dalam sel atompada alat SSA dengan sistem atomisasi nyala. Pertama, tahap nebulisasi untuk menghasilkan suatu bentuk aerosol yang halus dari larutan contoh. Kedua, disosiasi analit menjadi atom-atom bebas dalam keadaan gas. Berdasarkan sumber panas yang digunakan maka terdapat dua metode atomisasi yang dapat digunakan dalam spektrometri serapan atom :

a. Atomisasi menggunakan nyala.

b. Atomisasi tanpa nyala (flameless atomization).

Pada atomisasi menggunakan nyala, digunakan gas pembakar untuk memperoleh energi kalor sehingga didapatkan atom bebas dalam keadaan gas. Sedangkan pada atomisasi tanpa nyala digunakan energi listrik seperti pada atomisasi tungku grafit (grafit furnace atomization). Diperlukan nyala dengan suhutinggi yang akan menghasilkan atom bebas. Untuk alat SSA dengan sistem atomisasi nyala digunakan campuran gas asetilen-udara atau campuran asetilen-N₂O. Pemilihan oksidan bergantung kepada suhu nyala dan komposisi yang diperlukan untuk pembentukan atom bebas.

b. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan dalam alat AAS ialah lampu katoda berongga (hollow cathode lamp). Lampu ini terdiri dari suatu katoda dan anoda yang terletak dalam suatu silinder gelas berongga yang terbuat dari kwarsa. Katoda terbuat dari logam yang akan dianalisis. Silinder gelas berisi suatu gas lembam pada tekanan rendah. Ketika diberikan potensial listrik maka muatan positif ion gas akan menumbuk katoda sehingga terjadi pemancaran spektrum garis logam yang bersangkutan.

c. Monokromator dan Sistem Optik

Berkas cahaya dari lampu katoda berongga akan dilewatkan melalui celah sempit dan difokuskan menggunakan cermin menuju monokromator. Monokromator dalam alat SSA akan memisahkan, mengisolasi dan mengontrol intensitas energi yang diteruskan ke detektor. Monokromator yang biasa digunakan ialah monokromator difraksi grating.

d. Detektor dan Sistem Elektronik

Energi yang diteruskan dari sel atom harus diubah ke dalam bentuk sinyal listrik untuk kemudian diperkuat dan diukur oleh suatu sistem pemroses data. Proses pengubahan ini dalam alat SSA dilakukan oleh detektor. Detektor yang biasa digunakan

ialah tabung pengganda foton (photomultiplier tube), terdiri dari katoda yang dilapisi senyawa yang bersifat peka cahaya dan suatu anoda yang mampu mengumpulkan elektron. Ketika foton menumbuk katoda maka elektron akan dipancarkan, dan bergerak menuju anoda. Antara katoda dan anoda terdapat dinoda-dinoda yang mampu menggandakan elektron. Sehingga intensitas elektron yang sampai menuju anoda besar dan akhirnya dapat dibaca sebagai sinyal listrik. Untuk menambah kinerja alat maka digunakan suatu mikroprosesor, baik pada instrumen utama maupun pada alat bantu lain seperti autosampler (Susila, 2012).

2.6.2. Spektrofotometer UV-Vis

Metode analisis spektrofotometer UV-Vis telah banyak digunakan untuk analisis molekul-molekul anorganik dan organik. Salah satu keuntungan metode tersebut adalah mampu mendeteksi sampel analit dalam range konsentrasi yang kecil. Spektrofotometer sinar UV-Vis merupakan metode analisis yang berdasarkan besarnya energi dan intensitas sinar yang diserap molekul. Besarnya energi sinar yang diserap oleh molekul digunakan sebagai dasar untuk analisis kualitatif, sedangkan besarnya intensitas sinar yang diserap merupakan dasar untuk analisis kuantitatif yang dinyatakan dalam persamaan Bourger-Lambert-Beer:

$$A = a b c \quad 2.6$$

Dimana A adalah absorbansi, a merupakan spesifik, b merupakan tebal media serapan dan c konsentrasi molekul.

Sebuah spektrofotometer adalah suatu instrumen untuk mengukur transmittan atau absorbans suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang; pengukuran terhadap sederatan sampel pada suatu panjang gelombang tunggal dapat pula dilakukan. Instrumen semacam ini dapat dikelompokkan secara manual atau merekam atau sebagai berkas tunggal atau berkas rangkap. Baik spektrofotometer berkas tunggal atau berkas rangkap mempunyai komponen-komponen penting seperti pada gambar berikut

dimana bagian-bagian ini terdiri atas:

1. Sumber Sinar

Sumber sinar yang digunakan pada Spektrofotometer UV-Vis ada dua macam yaitu:

1. Lampu kawat Wolfram
2. Lampu Deuterium

Lampu kawat Wolfram biasa juga disebut lampu tungsten halogen yang dapat menghasilkan cahaya dalam daerah panjang gelombang 350-2500 nm. Lampu tungsten halogen ini terbuat dari tabung kuarsa yang berisi filamen tungsten dan sejumlah kecil iodin. Filamen tungsten tidak lain adalah sebuah resistor, yang ketika dialiri arus, energi listrik tersebut diubah menjadi energi panas (radiasi). Suhu dari filamen bisa mencapai lebih dari 2000 °C, dimana suhu sedemikian tinggi ini mengakibatkan energi panas dan cahaya terpancar dari filamen tersebut. Energi cahaya yang dihasilkan sebanding dengan pangkat empat dari tegangan yang diberikan sehingga stabilitas sumber tegangan sangatlah penting agar diperoleh energi cahaya yang konstan. Distribusi energi merupakan fungsi temperatur kawat Wolfram yang selanjutnya bergantung pada tegangan yang disuplai kepada lampu. Arus cahaya tergantung pada tegangan lampu;

$$i = K \cdot V^n \quad 2.7$$

dimana: i = arus cahaya

V = tegangan

n = eksponen (3 – 4 pada lampu wolfram)

Variasi tegangan masih dapat diterima 0,2% pada suatu sumber DC, misalkan: baterai. Lampu hidrogen atau lampu deuterium digunakan untuk sumber pada daerah UV. Kebaikan lampu wolfram adalah energi radiasi yang dibebaskan tidak bervariasi pada berbagai panjang gelombang. Untuk memperoleh tegangan yang stabil dapat digunakan transformator. Jika potensial tidak stabil, kita akan mendapatkan energi yang bervariasi. Untuk mengkompensasi

hal ini maka dilakukan pengukuran transmittansi larutan sampel selalu disertai dengan larutan pembanding.

Pada panjang gelombang yang lebih pendek, lampu Wolfram tidak dapat dimanfaatkan. Untuk itu, harus digunakan sumber yang berbeda. Dan yang paling lazim digunakan adalah lampu deuterium.

Lampu deuterium memiliki sepasang elektroda yang dipasang didalam tabung kaca tertutup. Tabung ini diisi dengan gas hidrogen yang salah satu dindingnya terbuat dari kuarsa.

Lampu deuterium dapat menghasilkan cahaya dalam daerah panjang gelombang 160-380 nm. Lampu Deuterium ini disebut juga lampu tabung discas hidrogen. Bila suatu discas antara dua elektroda mengeksitasi pancaran cahaya oleh suatu sampel seperti gas hidrogen, maka akan diperoleh suatu karakteristik spektrum yang tak berkesinambungan (diskontinu) dari gas itu pada tekanan yang relatif rendah. Namun jika tekanan gas dinaikkan, maka garis-garis itu akan melebar dan akhirnya tumpang tindih sehingga dipancarkan spektrum yang berkesinambungan. Sinar yang digunakan dalam pengukuran absorban adalah sinar yang

monokromatis dan merupakan warna komplementer dari warna larutan. Tujuannya adalah agar larutan menyerap sinar secara maksimum. Sebagai contoh, larutan yang berwarna merah memerlukan sinar yang berwarna biru hijau dengan panjang gelombang 610-750 nm supaya diserap secara maksimum.

2. Monokromator

Untuk memperoleh rentang panjang gelombang daerah UV-Vis. digunakan sinar monokromatis. Alatnya dapat berupa prisma ataupun grating. Untuk mengarahkan sinar monokromatis yang diinginkan dari hasil penguraian ini dapat digunakan celah prisma ataupun grating. Jika celah posisinya tetap, maka prisma atau gratingnya yang dirotasikan untuk mendapatkan λ yang diinginkan (Underwood, 1999).

2.6.3. Universal Testing Machine

Universal Testing Machine merupakan sebuah mesin pengujian untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan bahan atau material. Universal Testing Machine, biasanya juga dikenal sebagai Universal Tester, Materials Testing Machine atau Materials Test Frame. Mesin pengujian ini telah terbukti bahwa ia dapat melakukan tarik banyak standar dan tes kompresi pada bahan, komponen, dan struktur.

Cara penggunaan Universal Testing Machine adalah dengan memberikan gaya tekan atau gaya tarik kepada terhadap bahan yang diujikan. Untuk melaksanakan pengujian tekan atau tarik terhadap material, kita memerlukan benda uji yang lainnya. Benda uji itu dipasang pada mesin penguji dengan gaya tekan dan gaya tarik yang akan semakin bertambah besar akhirnya menekan dan menarik pada batang tersebut, maka batang ini akan menjadi pendek atau panjang.

Universal Testing Machine akan memberikan informasi mengenai seberapa besar pengukuran yang akan diuji terhadap bahan sehingga standarisasi yang diinginkan dapat tercapai dengan sempurna.

Kekuatan tekan pasta geopolimer adalah muatan atau beban maksimum yang dapat dipikul oleh pasta semen keras persatuan luas. Cara yang digunakan untuk menguji kuat tekan pasta semen keras adalah dengan menggunakan mesin tekan.

Prinsip pengujian kuat tekan pasta semen keras dengan alat mesin tekan adalah untuk mengukur besarnya beban yang dapat dipikul oleh satu satuan luas pasta semen keras (benda uji) sampai benda uji itu hancur atau rusak. Bentuk dari benda uji yang digunakan untuk menguji kekuatan tekan pasta semen keras adalah berupa kubus. Masing-masing benda uji menghasilkan kuat tekan yang berbeda demikian pula untuk ukuran benda

uji yang berbeda, akan menghasilkan kuat tekan yang berbeda pula. Hasil pengujian kuat tekan, menunjukkan hubungan antara makin besar pemberian gaya, maka akan semakin besar pula gaya atau tekanan yang diterima oleh benda uji.

Nilai-nilai kekuatan tekan yang dihasilkan oleh sebuah mesin tekan merupakan angka-angka nyata, jadi nilai-nilai kekuatan tekan tersebut hanya memberikan petunjuk mengenai mutu pasta semen keras. Kuat tekan pada umumnya dipengaruhi oleh umur pasta semen, bahan yang digunakan dalam perbandingan campuran, cara mencampur serta suhu pengerasan. Pada umumnya persyaratan kuat tekan dapat ditentukan setelah berumur 28 hari. Adapun rumus yang digunakan pada perhitungan kuat tekan pasta geopolimer. Pada dasarnya terdapat 2 faktor yang sangat menentukan kuat tekan pasta yaitu berat semen dan water cement ratio. Secara garis besar urutan pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

1. Pada saatnya untuk pengujian, bersihkan permukaan benda uji dengan lap sampai bersih dari butiran-butiran pasir yang menempel pada permukaannya.
2. Ukur rusuk-rusuk kubus dengan teliti dan hitung luas bidang tekannya.
3. Letakkan kubus uji pada tengah-tengah bidang landasan (pelat) baja penekan dalam mesin tekan, lalu atur agar permukaan bidang tekan kubus terjepit antara dudukan dan landasan penekanan dari mesin tekan. Pengujian dihentikan setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban tekan yang ditunjukkan dengan turunnya jarum petunjuk beban.
4. Hidupkan mesin tekan dan beban tekan diberikan secara merata dan terus menerus dengan kecepatan 1,4 kg/cm² sampai dengan 2,5 kg/cm/detik, atau beban maksimal tercapai dalam waktu kurang dari 20 detik, besarnya beban maksimal tercapai dalam satuan Newton atau kgf.

Kuat tekan geopolimer (f_c') = P/A(MPa)

2.8

Dimana :

f_c' = Kuat tekan mortar semen (MPa)

P = beban maksimum (N)

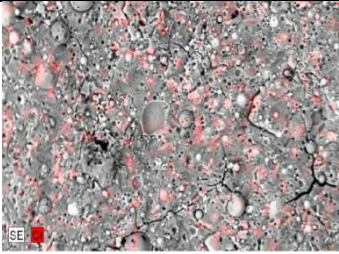
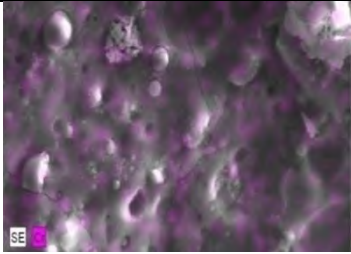
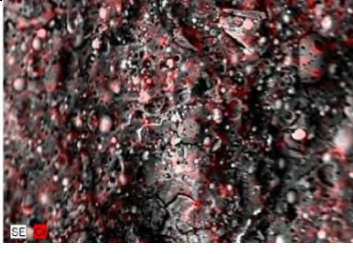
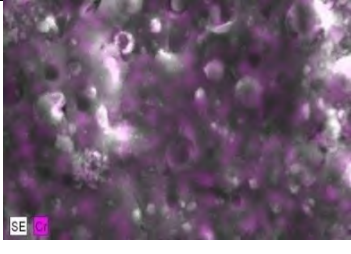
A = luas penampang benda uji (mm²)

(Andiska, 2011)

2.6.4. Scanning Elecrton Microscopy-Energy Dispersive X-ray(SEM-EDX)

Adapun prinsip kerja SEM-EDX adalah sebagai berikut: berkas elektron yang mengenai sampel yang tidak konduktif maka permukaan maka perlu dilapisi emas. Lensa kondensor digunakan untuk mengontrol ukuran dan sudut sebaran elektron pada sampel. Elektron yang diteruskan akan melewati lensa objektif, intermediate, dan proyektor sehingga akan menghasilkan permukaan gambar yang telah diperbesar oleh layar.

Gambar 2.3 adalah contoh hasil SEM-EDX geopolimer dengan amobilisasi ion logam Cr(III). Pada sampel Cr-857,5 dengan kadar Cr 857,5 mg/Kg abu layang serta pada sampel Cr-3430 dengan kadar Cr 3430 mol/Kg abu layang, ion Cr³⁺ tampak terdispersi dengan baik dalam geopolimer, baik pada bagian permukaan yang kontak langsung dengan asam asetat maupun bagian tengah sampel. Secara umum, distribusi kation Cr³⁺ dalam matriks geopolimer tersebar merata dan terlihat lebih banyak logam Cr yang ditemukan dari pada sampel Cr-857,5. Hal ini karena kadar ion logam Cr³⁺ yang ditambahkan memang lebih banyak.

Konsentrasi krom	Sebelum Leaching	Sesudah Leaching
Geo- Cr- 857,5 ppm		
Geo- Cr- 3430		

Gambar 2.3. Foto persebaran ion logam krom pada geopolimer

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: erlenmeyer 250 ml, pro pipet, pipet ukur 10 ml, pipet ukur 1 ml, Spektrofotometer Uv-Vis, Spektrofotometer SSA, pengaduk kaca, labu ukur 100 ml, neraca analitik, beaker glass 250 ml, corong pemisah, hot plate, penangas es, kaca arloji, corong pemisah, botol coklat, labu ukur 1000 ml, botol semprot, stop watch, ph meter, pipet tetes, erlenmeyer 100 ml, beaker glass 100 ml, kertas saring, erlenmeyer 100 ml, mixer, magnetic stirrer, neraca analitik, oven, cetakan yang berbentuk silinder dengan diameter 2,2 cm dan tinggi 4.4 cm. Instrumen yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis merk Genesys, spektrofotometer serapan atom merk Shimadzu AA-6800, alat uji tekan universal testing machine merk UTM-2020 di laboratorium beton Program Diploma Teknik Sipil ITS, SEM-EDX merk Zeiss EVO tipe MA 10.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: $K_2Cr_2O_7$, aqua DM, HNO_3 , H_2SO_4 pekat, H_3PO_4 Pekat, difenil karbazida, larutan natrium azida (NaN_3), es batu, $K_2Cr_2O_4$, $C_6H_5N(NO)ONH_4$ (cupferron), $CHCl_3$, $Na_2S_2O_3$, abu layang PT.IPMOMI, natrium hidroksida ($NaOH$) pro analisis, natrium silikat (Na_2SiO_3) teknis, aluminium hidroksida ($Al(OH)_3$), aqua demineralisasi, dan asam asetat glasial pro analisis.

3.2. Prosedur Kerja

3.2.1. Pembuatan Kurva Kalibrasi untuk Analisis Krom Bervalensi Enam

$K_2Cr_2O_7$ ditimbang 141.4 mg dengan neraca analitik, selanjutnya $K_2Cr_2O_7$ yang telah ditimbang dilarutkan dengan 100 ml aqua DM dalam labu ukur 100 ml sampai tanda batas. Larutan stock kromium yang telah dibuat sebelumnya dipipet sebanyak 1 ml, selanjutnya diencerkan dengan 100 ml aqua DM dalam labu ukur 100 ml sampai tanda batas. Larutan H_2SO_4 6 N dipipet sebanyak 17 ml, selanjutnya diencerkan dengan 500 ml aqua DM dalam labu ukur 500 ml sampai tanda batas. Natrium azida ditimbang sebanyak 0.5 gram dengan neraca analitik, selanjutnya dilarutkan dalam 100 ml aqua DM dalam labu ukur 100 ml sampai tanda batas. Difenil karbazida ditimbang sebesar 250 mg dengan neraca analitik, selanjutnya dilarutkan dengan 50 ml aseton. Larutan standard kromium dipipet masing-masing sebesar 0.2 ml, 0.4 ml, 0.6 ml, 0.8 ml dan 1.0 ml selanjutnya diencerkan dengan aqua DM sebanyak 100 ml dalam labu ukur 100 ml sampai tanda batas. Lalu dimasukkan masing-masing larutan standar dalam Erlenmeyer 250 ml. Selanjutnya ditambahkan 0.25 ml H_3PO_4 ke dalam masing-masing Erlenmeyer, lalu ditambahkan 1 ml H_2SO_4 ke dalam masing-masing Erlenmeyer dan dikocok, lalu ditambahkan 2 ml larutan difenil karbazida ke dalam masing-masing erlenmeyer, lalu dikocok. Kemudian didiamkan selama 5-10 menit untuk pembentukan warna yang sempurna. Selanjutnya, dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang maksimum=540 nm. Adapun larutan blanko yang digunakan adalah aqua DM.

3.2.2. Analisis Kandungan Krom Bervalensi Enam Sampel Limbah Elektroplating

Sampel limbah *electroplating* yang diperoleh dari 4 titik berbeda masing-masing diambil 100 ml dan dimasukkan dalam Erlenmeyer 250 ml. selanjutnya ditambahkan 0.25 ml H_3PO_4 ke dalam masing-masing Erlenmeyer, lalu ditambahkan 1 ml H_2SO_4 ke dalam masing-masing Erlenmeyer dan dikocok, lalu ditambahkan 2 ml larutan difenil karbazida ke dalam masing-masing erlenmeyer, lalu dikocok. Kemudian didiamkan selama 5-10 menit untuk pembentukan warna yang sempurna. Selanjutnya, dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang maksimum=540 nm. Adapun larutan blanko yang digunakan adalah aqua DM.

3.2.3. Pembuatan Kurva Kalibrasi untuk Analisis Krom Total dengan AAS

Ditimbang 3,7348 g K_2CrO_4 dimasukkan ke dalam labu takar 1000 ml, kemudian dicukupkan dengan aquades, sehingga diperoleh larutan standar Cr 1000 ppm.

Dari larutan standar Cr 1000 ppm dipipet sebanyak 10 ml lalu dimasukkan ke dalam labu takar 100 ml, kemudian dicukupkan dengan aquades sampai garis batas, sehingga diperoleh larutan Cr 100 ppm. Selanjutnya dari larutan 100 ppm dipipet masing-masing 2; 4; 6; 8 dan 10 ml lalu dimasukkan ke dalam labu takar 100 ml dan diencerkan dengan aquades sampai garis batas, sehingga diperoleh larutan standar 2; 4; 6; 8 dan 10 ppm. Selanjutnya diatur pH 3 dengan pH meter dengan penambahan Aqua Regia dan NaOH Kemudian diukur nilai absorbansinya dengan AAS pada panjang gelombang 357,9 nm.

3.2.4. Analisis Kandungan Krom Total pada Sampel Limbah Elektroplating

Sampel limbah *electroplating* yang diperoleh dari 4 titik berbeda masing-masing diambil 100 ml dan dimasukkan dalam

Erlenmeyer 250 ml. Selanjutnya diatur pH 3 dengan pH meter dengan penambahan Aqua Regia dan NaOH Kemudian diukur nilai absorbansinya dengan AAS pada panjang gelombang 357,9 nm dan dicatat hasilnya.

3.2.5. Pembuatan Larutan Basa Pengaktif

Larutan basa pengaktif merupakan campuran antara larutan NaOH dan Na_2SiO_3 . Larutan NaOH dibuat dengan melarutkan 28 gram NaOH ke dalam 50 ml aqua DM dalam labu ukur 50 ml. Kemudian larutan NaOH tersebut didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya larutan NaOH ditambahkan ke dalam 80 gram gram Na_2SiO_3 dan diaduk hingga tercampur merata. Lalu larutan basa pengaktif tersebut didiamkan selama 6 jam.

3.2.6. Pembuatan Larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$

Larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dibuat dengan melarutkan 3.4 gram $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan 15 gram air demineralisasi.

3.2.7. Preparasi Abu Layang PT.IPMOMI

Abu layang PT. IPMOMI yang digunakan telah diuji komposisinya oleh Stiasari (2011). Komposisi tersebut ditampilkan pada Tabel 2.1. Hasil analisa menunjukkan bahwa kandungan kalsium (yang dilaporkan sebagai CaO) lebih dari 10% sehingga abu layang tersebut dapat dikategorikan abu layang tipe-C menurut ASTM C 618. Abu layang tipe C dapat mengeras hanya dengan penambahan air walaupun tanpa penambahan bahan pengikat (*cementitious*) lainnya. Selain kandungan kalsium, rasio Si/Al pada abu layang (dalam persen berat) adalah 1,84. Rasio tersebut berada dalam rentang yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan baku geopolimer, yaitu 1,65 sampai 2,25.

Stiasari (2011) melaporkan bahwa unsur-unsur Si dan Al penyusun abu layang PT IPMOMI tersebut terdistribusi ke dalam fasa kwarsa (*quartz/SiO₂*), *mullite* ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dan fasa amorf. Si dan Al yang terkandung dalam fasa kristalin seperti kuarsa dan

mullit tidak mudah larut sehingga tidak semua Si dan Al yang terkandung di dalam abu layang dapat bereaksi membentuk geopolimer. Oleh karena itu, walaupun rasio Si/Al dari abu layang PT. IPMOMI berada dalam rentang yang sesuai untuk membentuk geopolimer yang kuat, masih perlu dilakukan optimasi rasio Si/Al dengan cara penambahan sumber-sumber silikon dan aluminium dari luar untuk memenuhi komposisi rasio Si/Al yang sesuai.

Sebelum digunakan, abu layang diayak dengan ayakan berukuran 50 mesh, 100 mesh, dan 200 mesh. Pengayakan ini dilakukan untuk mendapatkan abu layang yang berukuran seragam. Karena menurut Wang dkk.(2005) ukuran partikel abu layang terkait erat dengan reaktivitas abu layang terhadap larutan pengaktif NaOH. Selain itu, penggunaan ayakan dengan berbagai ukuran ayakan ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh distribusi ukuran partikel terhadap kuat tekan geopolimer. Setelah diayak, abu layang dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan H₂O dalam *fly ash*. Sehingga tidak mempengaruhi perhitungan kadar air yang digunakan dalam reaksi.

Natrium silikat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan natrium silikat teknis (*waterglass*) yang telah diuji komposisinya secara gravimetri oleh Alfiah (2008) dan Mulyanto (2008). *Waterglass* yang digunakan pada penelitian ini mengandung 19,16% SiO₂, 37,99% Na₂O dan 28,07% H₂O. Hasil kandungan ini penting diketahui untuk perhitungan komposisi bahan pembuatan geopolimer. Natrium silikat (2SiO₂.Na₂O) merupakan komponen dari cairan pengaktif yang berfungsi sebagai sumber anion aktif silikat SiO₄⁴⁻ untuk menginisiasi reaksi geopolimerisasi dengan silika dan alumina pada abu layang (Singh dkk., 2005).

3.2.8. Sintesis Geopolimer

Abu layang PT.IPMOMI ditimbang sebanyak 260 gram dengan neraca analitik. Kemudian abu layang dicampur dengan larutan basa alkali. Lalu diaduk dengan mixer selama 40 detik

hingga tercampur merata. Selanjutnya ditambahkan larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan diaduk dengan mixer selama 2.5 menit hingga tercampur secara merata. Kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dengan diameter berukuran 2.2 cm dan tinggi 4.4 cm. Selanjutnya, didiamkan selama 24 jam hingga pasta geopolimer mengeras. Pasta geopolimer yang telah mengeras dikeluarkan dari cetakan dan dimasukkan dalam plastik tertutup. Kemudian dicuring dengan suhu 55°C selama 24 jam. Pasta geopolimer yang telah dicuring selanjutnya diuji tekan pada hari ke-7.

Adapun komposisi bahan yang digunakan daalam proses pembuatan specimen geopolimer adalah sebagai berikut:

- a. Solid/liquid(S/L) =3.59
- b. $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ =0.67
- c. $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ =4.31
- d. $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ =3.33
- e. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ =6.46

Perhitungan komposisi S/L yang digunakan untuk proses pembuatan geopolimer tersebut terlampir pada lampiran. Sedangkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ merupakan hasil penelitian yang sebelumnya.

Pembuatan geopolimer diawali dengan pembuatan larutan basa pengaktif, yaitu: campuran antara water glass dan larutan NaOH. Larutan NaOH dibuat dengan cara melarutkan pellet NaOH pro analis dengan aqua DM. Reaksi antara NaOH dan H_2O merupakan reaksi eksotermis sehingga suhunya meningkat. Oleh karena itu, larutan NaOH ini didiamkan selama 24 jam. proses pendiaman ini, selain mengembalikan suhunya ke suhu kamar, penstandaran waktu pendiaman ini dilakukan dengan tujuan untuk menstandarkan kualitas larutan NaOH. Larutan basa pengaktif ini dibuat dengan mencampurkan larutan NaOH yang telah didiamkan selama 24 jam dengan water glass yang kemudian didiamkan selama 6 jam. Hal ini bertujuan untuk menunggu reaksi eksotermisnya selesai. Menurut Krisbiantoro penambahan water glass ini bertujuan untuk membuat larutan

basa pengaktif yang lebih baik. Hal ini disebabkan basa pengaktif yang hanya berupa NaOH saja akan bereaksi dengan spesi Al^{3+} dan Si^{4+} dari abu layang tanpa diikuti proses pengerasan. Akan tetapi dengan penambahan water glass akan terjadi pergeseran yang disebabkan oleh ikat silang dari spesi Si yang ada.

Larutan basa pengaktif selanjutnya dicampurkan dengan abu layang dan diaduk sampai homogen menggunakan mixer dengan kecepatan rendah selama 40 detik. Saat diaduk, rekasi geopolimerisasi sudah mulai terjadi. Hal ini ditandai dengan terbentuknya pasta geopolimer yang mengeras. Inilah dinamakan setting time. Selanjutnya ke dalam pasta geopolimer tersebut ditambahkan larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan diaduk sampai homogen dengan mixer selama 2 menit 30 detik. Penambahan $\text{Al}(\text{OH})_3$ ini bertujuan untuk menambah kandungan Al sehingga rasio Si/Al yang diharapkan sesuai. Pasta geopolimer mempunyai konsistensi yang cukup mudah dicetak. Akibatnya, udara akan sangat mudah sangat mudah terjebak di dalam pasta geopolimer. Sehingga, setelah pasta geopolimer dituang ke dalam cetakan perlu dilakukan vibrasi pada dinding luar cetakan sehingga udara dalam pasta geopolimer dapat keluar ke udara bebas. Gelembung udara yang tidak dikeluarkan akan menyebabkan terbentuknya pori-pori yang menyebabkan penurunan kuat tekan geopolimer yang dihasilkan.

Selanjutnya, pasta geopolimer didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar lalu pasta geopolimer yang telah mengeras dikeluarkan dari cetakan. Kemudian pasta geopolimer dicuring pada suhu 55°C selama 24 jam. Proses curing bertujuan untuk memaksimalkan proses geopolimerisasi.

3.2.9. Amobilisasi Logam Berat

Ion logam berat yang digunakan dalam amobilisasi adalah ion logam krom total. Sumber ion logam krom total berasal dari limbah electroplating Desa Ngingas. Prosedur pembuatan geopolimer dengan penambahan ion logam krom total

sama dengan prosedur pembuatan geopolimer biasa. Penambahan ion logam berat dilakukan setelah penambahan larutan $Al(OH)_3$.

3.2.10. Leaching Ion Logam Berat

Leaching dilakukan pada geopolimer yang telah ditambahkan ion logam krom total yang bersumber dari limbah electroplating dan mempunyai kuat tekan terbaik. Pada proses leaching digunakan asam asetat 2.5%. Adapun rasio berat geopolimer dan asam asetat yang digunakan dalam proses leaching ini adalah 1:20. Adapun prosedur yang dilakukan dalam leaching ini adalah sebagai berikut: sampel geopolimer yang telah ditambahkan dengan ion logam krom dibungkus dengan jarring kasa lalu dicelupkan dengan larutan asam asetat 2.5% yang telah teraduk dengan magnetic stirrer selama 24 jam. Selanjutnya, larutan asam asetat hasil leaching diambil sebanyak 10 ml pada waktu 1 jam, 2 jam, 4 jam, 8 jam, 16 jam, dan 24 jam. Kemudian cairan ini disaring dengan kertas saring dan dianalisis dengan menggunakan spektrometri AAS untuk menentukan kandungan ion logam krom.

3.2.11. Karakterisasi

3.2.11.1. Sifat Mekanik

Sampel geopolimer baik tanpa penambahan ion logam krom dan penambahan ion logam krom yang telah mencapai hari ke-7 diuji kuat tekan dengan universal testing machine di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil ITS. Data yang diperoleh adalah massa beban yang diberikan pada geopolimer dalam satuan Kilogram Force(Kgf). Kuat tekan geopolimer selanjutnya dilaporkan dalam satuan MPa.

3.2.11.2. Analisis SEM-EDX

Sampel dengan kuat tekan tertinggi dianalisis dengan SEM-EDX sebelum dan sesudah proses leaching untuk mengetahui persebaran ion logam berat pada geopolimer.

Sampel geopolimer dengan kuat tekan tertinggi dipotong bagian tengahnya dengan ukuran sekitar 5 m. Sampel yang telah dipotong dengan ukuran 5 mm selanjutnya diampelas hingga permukaannya halus. Sampel yang sudah halus kemudian dicoating dengan emas-paladium. Lalu sampel dianalisis dengan SEM-EDX.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan amobilisasi kation logam berat krom total dengan variasi distribusi ukuran patikel oleh geopolimer berbahan baku Abu layang PT IPMOMI. Variasi ukuran *shieving* (ayakan) abu layang yang digunakan adalah 0.074 mm, 0.149 mm dan 0.297 mm. Adapun *sampling* limbah *electroplating* dilakukan pada empat titik yang berbeda. Geopolimer yang digunakan untuk mengamobilisasi ion krom total merupakan geopolimer dengan kuat tekan terbaik yang diperoleh melalui percobaan pembuatan geopolimer dengan variasi ukuran *shieving*(ayakan) *fly ash*. Selanjutnya, geopolimer yang ditambahkan ion logam krom total dari limbah industri elektroplating tersebut diuji kuat tekan dengan *universal testing machine*, distribusi ion krom total dan mikrostruktur geopolimer untuk mengetahui pengaruhnya pada geopolimer yang dihasilkan. Serta dilakukan uji *leaching* krom total untuk mengetahui keefektifan amobilisasi kation logam berat krom total dalam geopolimer. Untuk mengetahui kandungan krom total digunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Selain itu, dalam penellitian ini juga dilakukan analisis SEM-EDX untuk mengetahui persebaran ion krom pada sampel geopolimer.

4.1. Kadar krom total dalam limbah *electroplating*

Limbah industri *electroplating* Desa Ngingas merupakan limbah yang telah mengalami proses pengolahan lebih lanjut sehingga limbah cair ini relatif aman untuk dilepas ke lingkungan. Akan tetapi, limbah cair ini belum bisa dikonsumsi oleh makhluk hidup. Hal ini dikarenakan limbah industri ini merupakan kelompok limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Pada limbah ini sebenarnya masih mengandung ion krom total. Sehingga limbah ini perlu dianalisis kadar ion krom totalnya dengan menggunakan analisis spektrometri SSA (Spektrometri Serapan Atom). Kandungan logam berat tersebut dapat ditentukan

dengan metode AAS. Metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) merupakan salah satu metode analisis yang dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan dan kadar logam berat dalam berbagai bahan, namun terlebih dahulu dilakukan tahap pendestruksi cuplikan. Pada metode destruksi basah dekomposisi sampel dilakukan dengan cara menambahkan pereaksi asam tertentu ke dalam suatu bahan yang dianalisis. Asam-asam yang digunakan adalah asam-asam pengoksidasi seperti H_2SO_4 , HNO_3 , H_2O_2 , HClO_4 , atau campurannya. Pemilihan jenis asam untuk mendestruksi suatu bahan akan mempengaruhi hasil analisis. Kandungan matriks atau ion-ion lain dapat mengganggu proses analisis logam berat dengan spektroskopi serapan atom.

Sampling limbah cair electroplating dilakukan pada empat titik yang berbeda. Limbah electroplating selajutnya diambil . Kemudian keempat sampel limbah diukur PHnya dengan menggunakan PH meter. Keempat sampel limbah mempunyai PH netral. Untuk menjaga agar limbah tidak rusak, maka dilakukan pengasaman. Sehingga PH dari masing-masing limbah mencapai 3. Pengasaman dilakukan dengan menambahkan larutan asam nitrat pekat.

Setelah dilakukan analisa terhadap limbah cair diperoleh nilai absorbansi . Dengan cara memplotkan dengan kurva standar yang didapat sebelumnya maka diperoleh konsentrasi krom total. Adapun perhitungannya telah dijelaskan dalam lampiran. Tabel 4.1. merupakan konsentrasi ion logam krom total dalam limbah dalam satuan ppm . Dari keempat sampel limbah electroplating yang telah dianalisis dengan spectrometer serapan atom, kandungan ion krom total tertinggi adalah sebesar 72.7684 ppm. Sedangkan sampel ke-4 tidak terdapat kandungan ion logam krom total di dalamnya. Kandungan ion krom yang kecil ini disebabkan limbah *electroplating* ini telah mengalami proses pengolahan lebih lanjut. Sehingga meskipun konsentrasinya kecil namun apabila ion logam krom total ini terakumulasi di alam akan menyebabkan

4.1. Tabel konsentrasi ion logam krom total dalam limbah dalam satuan ppm

No	Absorbansi	[Cr _{total}] (ppm)
1	0.4400	23.1000
2	1.3900	72.7684
3	0.0319	1.3631
4	0.0037	0.0000

dampak negatif bagi makhluk hidup di sekitarnya. Limbah krom berasal dari limbah industri penyamakan kulit, pelapisan logam, fotografi, industri cat, industrizat warna, dan industri tekstil dimana limbah tersebut dapat membahayakan lingkungan. Walaupun hanya terdapat dalam jumlah kecil, krom bersifat stabil dan terakumulasi dalam tubuh, sehingga lama-kelamaan dapat memicu sel-sel kanker (karsinogenik) yang dapat membahayakan kesehatan. Selain itu bahaya logam krom dapat mengakibatkan anemia, depresi, kelelahan, lemahnya daya ingat, insomnia, sakit kepala, iritasi bahkan kematian.

4.2. Kadar ion logam Cr⁶⁺ dalam limbah electroplating

Dalam limbah industri electroplating kemungkinan juga terdapat ion logam krom bervalensi enam. Salah satu spesiesnya adalah krom (VI) yang mempunyai kelarutan dan toksisitas tinggi, sehingga keberadaan krom dalam limbah tidak boleh melebihi nilai ambang batas yang diperkenankan berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Ion logam krom bervalensi enam merupakan jenis ion logam krom yang paling beracun. kesehatan. Selain itu bahaya logam krom dapat mengakibatkan anemia, depresi, kelelahan, lemahnya daya ingat, insomnia, sakit kepala, iritasi bahkan kematian. Sifat kelarutan dan toksisitas dari logam inilah yang menentukan tingkat bahayanya logam ini sebagai pencemar di lingkungan.

Untuk mengetahui konsentrasi ion logam krom bervalensi enam maka dilakukan analisis dengan spektrometri UV-Vis.. Tabel 4.2. merupakan table yang menjelaskan kandungan Cr^{6+} pada limbah electroplating yang diambil pada empat titik yang berbeda. Pada analisis ini kadar ion logam Cr^{6+} hanya ditemukan pada dua sampel limbah. Pada Sampel limbah 1 mempunyai kadar ion logam Cr^{6+} sebanyak 12.6857 ppm dan sampel limbah 2 mempunyai kadar ion logam Cr^{6+} yang lebih besar yaitu 19.6571 ppm. Sedangkan batas maksimum konsentrasi untuk Cr(VI) pada air permukaan adalah 0,1 mg/l dan untuk air minum sebesar 0,05mg/l (Nomanbhay, dkk). Oleh karena itu, ion logam krom ini perlu ditangani dengan cara melakukan solidifikasi/amobilisasi.

Tabel 4.2. Konsentrasi ion Cr^{6+} dalam limbah (dalam satuan ppm)

No.	Absorbansi	$[\text{Cr}^{6+}]$ (ppm)
1	0.011	12.686
2	0.072	19.651
3	0.000	0.000
4	0.000	0.000

4.3. Pengaruh Distribusi Ukuran Partikel *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan Geopolimer

Sampel geopolimer yang berumur hari ke-7 selanjutnya dilakukan uji tekan dengan *universal testing machine* di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil ITS. Berdasarkan Tabel 4.3. sampel geopolimer tanpa penambahan limbah dengan partikel *fly ash* yang lolos ayakan ukuran 0.297 mm mempunyai kuat tekan yang paling kecil, yaitu 23.0036 MPa. Hal ini dikarenakan partikel *fly ash* terlalu kasar sehingga luas permukaan kontak reaksi dengan pereaktan lebih kecil. Selain itu,

partikel abu layang yang tidak seragam akan menyebabkan terbentuknya makropori yang lebih banyak, dimana keberadaan mikropori yang banyak akan menyebabkan nilai kuat tekannya rendah. Dalam geopolimer, reaktivitas abu layang tergantung pada ukuran partikel, konten kaca dan komposisi kaca (Jaarsveld, 1999). Sedangkan sampel geopolimer tanpa penambahan limbah dengan distribusi partikel *fly ash* lolos ayakan 100 mesh mempunyai kuat tekan yang paling tinggi, yaitu 35.04937 MPa. Hal ini dikarenakan distribusi ukuran partikel *fly ash* lebih baik bila dibandingkan dengan sampel geopolimer sebelumnya. Distribusi partikel yang baik ini akan menyebabkan luas kontak antar pereaksi semakin besar. Sehingga reaksi antar pereaktan lebih optimal dan pada akhirnya ikatan antar Si-O dan Al-O lebih kuat. Selain itu, ukuran partikel yang lebih seragam dan lebih kecil akan meminimalkan terbentuknya pori-pori dalam struktur geopolimer. Kemungkinan abu layang yang lolos ayakan 0.149 mm mempunyai penataan partikel yang lebih baik sehingga kemungkinan terbentuknya makropori lebih sedikit. Struktur geopolimer yang mempunyai pori lebih sedikit akan menyebabkan kuat tekan geopolimer lebih tinggi. Untuk kuat tekan sampel geopolimer dengan distribusi partikel *fly ash* yang lolos ayakan 0.074 mm adalah 32.2429 MPa. Nilai kuat tekan ini hampir mendekati nilai kuat sampel geopolimer dengan ayakan 0.149 mm meskipun lebih kecil bila dibandingkan dengan kuat tekan geopolimer dengan distribusi ukuran partikel *fly ash* lolos ayakan 0.149 mm. Hal ini dikarenakan ukuran partikel abu layang yang paling optimum untuk bereaksi adalah abu layang yang lolos ayakan 0.149 mm.

Tabel 4.3. Data kuat tekan sampel geopolimer tanpa penambahan limbah electroplating

No	Kuat Tekan(MPa)		
	A ₁	B ₁	C ₁
1	25.00	33.95	31.45
2	21.45	36.18	33.00
3	22.55	35.00	32.24
Rata-rata	23.00	35.05	32.20

Keterangan:

A1= ayakan ukuran 0.297 mm

B1= ayakan ukuran 0.149 mm

C1= ayakan ukuran 0.074 mm

4.4. Amobilisasi ion logam krom total dengan geopolimer dari abu layang dengan variasi distribusi ukuran partikel

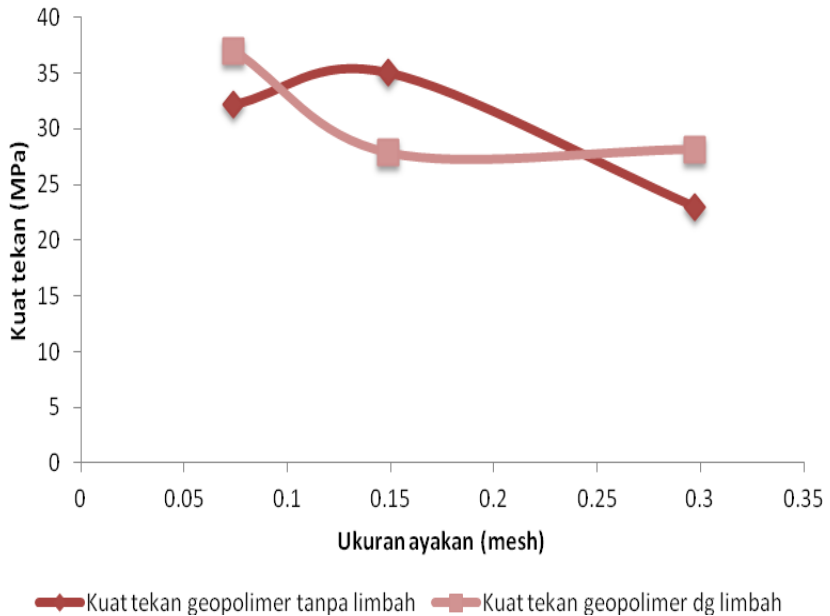
Gambar 4.3 merupakan grafik hubungan ukuran partikel dengan kuat tekan geopolimer. Grafik ini menunjukkan bahwa penambahan ion logam krom total yang berasal dari limbah *electroplating* mampu meningkatkan kuat tekan geopolimer. Akan tetapi, untuk geopolimer dengan ukuran ayakan partikel abu layang 100 mesh tidak menunjukkan peningkatan kuat tekan. Sampel geopolimer yang menggunakan fly ash lolos ayakan 50 mesh dan fly ash lolos ayakan 200 mesh dengan penambahan limbah mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi daripada sampel geopolimer tanpa penambahan ion logam krom total. Hal ini dikarenakan penambahan ion logam menyebabkan terisinya matriks geopolimer yang pada awalnya kosong. Sedangkan untuk kuat tekan geopolimer dengan fly ash ukuran partikel 100 mesh mengalami penurunan bila dibandingkan dua sampel lainnya. Peningkatan kuat tekan ini bisa dijelaskan dengan semakin banyaknya jumlah logam krom total yang mengisi rongga

geopolimer yang terbentuk pada saat sintesis. Hal ini dinamakan densifikasi yang dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer (Warah, 2009). Geopolimer yang lebih kompak dan sedikit rongganya mempunyai struktur yang lebih kuat (Van Jaarsveld dan van Deventer, 1999). Penelitian yang menganalisa hubungan struktur pori (diameter dan volume) dengan jumlah ion logam berat yang ditambahkan dalam geopolimer telah dilakukan oleh Zheng dkk. (2014). Pada penelitian tersebut dilaporkan bahwa kenaikan jumlah logam berat yang ditambahkan menyebabkan ukuran pori geopolimer menjadi lebih kecil. Hal ini dikarenakan penambahan ion logam berat membentuk komponen baru yang membantu mengisi makropori sehingga pori yang terbentuk lebih kecil. Geopolimer yang semula memiliki distribusi pori paling banyak 1000 nm dengan penambahan logam berat, distribusi porinya menurun menjadi 200-500 nm.

Menurut Deja(2002) amobilisasi ion logam Cr(VI) dengan binder slag alkali teraktivasi selain menjadi metode yang efektif untuk menangani masalah limbah industri yang mengandung ion logam krom. Akan tetapi metode ini juga dianggap sebagai metode yang dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer. Geopolimer yang disintesis oleh aktivasi fly ash dengan natrium silikat, dan ditambahkan dengan 0,5% Cr (VI) sebagai Na_2CrO_4 atau 0,125% Cr (VI) sebagai PbCrO_4 . Penambahan ion logam Cr(VI) pada geopolimer menyebabkan kekuatan tekan meningkat bila dibandingkan dengan sampel mortar tidak ditambahkan ion logam krom. Selain itu, penambahan ion logam Cr(III) juga mampu meningkatkan kuat tekan geopolimer (Anif, 2014). Sehingga penambahan ion logam krom total pada geopolimer akan meningkatkan kuat tekan geopolimer.

Sampel geopolimer dengan ukuran fly ash 100 mesh kemungkinan terjadi kesalahan pada saat proses pembuatan geopolimer. Kemungkinan di dalam pasta geopolimer masih terdapat banyak pori-pori. Banyaknya pori-pori dalam geopolimer dapat menyebabkan menurunnya nilai kuat tekan. Kemungkinan juga disebabkan oleh cetakan yang tidak rata sehingga permukaan

menyebabkan turunnya nilai kuat tekan geopolimer. Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh pada kuat tekan geopolimer dengan mengamobilisasi logam berat, diantaranya volume pori geopolimer, terjadinya enkapsulasi logam, reaksi kimia antara kation logam berat dengan silikat atau aluminat dalam geopolimer, serta adanya hambatan anion NO_3^- pada setting pembentukan geopolimer (Warah, 2009 dan Zhang dkk., 2008).



Gambar 4.1. Grafik hubungan ukuran partikel abu layang terhadap kuat tekan geopolimer

Selain itu, hal ini mungkin dikarenakan ion logam berat yang ditambahkan kedalam gel geopolimer akan mengalami hidrolisis dengan melibatkan molekul H_2O dan ion OH^- (Zheng dkk., 2014).

4.5. Leaching Ion Logam Krom Total pada Geopolimer

Uji leaching terhadap geopolimer dilakukan dengan menguji ketahanan geopolimer terhadap kondisi asam. Pada uji leaching digunakan metode TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*). TCLP dirancang untuk menunjukkan limbah ke kondisi yang lebih kondusif untuk pencucian beracun dari kondisi tempat pembuangan limbah akhir dengan membandingkan konsentrasi yang terleaching dengan karakteristik toksisitas yang sesuai batas regulasi serta menentukan apakah limbah dapat dibuang ke tempat pembuangan akhir itu tidak berbahaya. Larutan asam yang digunakan asam asetat dengan PH 4. Perendaman geopolimer dalam larutan asam asetat dilakukan selama 24 jam. Prosedur ini dilakukan sesuai dengan standar TCLP yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

Leaching dilakukan selama 24 jam, cairan leachate diambil 10 ml pada waktu lamanya leaching 1 jam, 2 jam, 4 jam, 8 jam, 16 jam dan 24 jam. Selanjutnya, cairan *leachate* yang telah diambil dianalisis kandungan krom total dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah geopolimer mampu mengamobilisasi ion logam krom total dengan baik. Setelah dilakukan analisis SSA ternyata tidak ditemukan kandungan krom total di dalam leachate. Namun, tes leaching jangka panjang pada media yang berbeda menunjukkan bahwa lebih dari 75% logam krom terekstraksi yang dapat diamati dari sampel Na_2CrO_4 dalam larutan H_2SO_4 , air deionisasi, MgSO_4 dan Na_2CO_3 . Sedangkan logam krom ditambahkan sebagai PbCrO_4 sedikit kurang mudah diekstrak, dengan kisaran antara 50 dan 75% ekstraksi yang diamati selama 90 hari. Hal ini dikaitkan dengan tingginya mobilitas Cr (VI) dalam sistem larutan. Kemungkinan ion Cr^{6+} dalam geopolimer terleaching. Akan tetapi, karena konsentrasi ion ini yang sangat kecil sehingga kemungkinan ion Cr^{6+} dalam leachate tidak terdeteksi oleh SSA.

Tabel 4.4. menunjukkan bahwa dalam leachate tidak ditemukan kandungan ion krom di dalamnya. Sehingga ion krom dapat diamobilisasi dengan baik oleh geopolimer.

Tabel 4.5. menunjukkan hasil uji kandungan krom total dengan AAS pada leachate geopolimer penambahan ion logam krom dari limbah. Hasil leaching geopolimer yang berisi ion logam krom dengan konsentrasi yang telah diketahui sebelumnya menunjukkan bahwa ion logam krom yang terleaching hanya sebesar 4.26%-8.06%. Hal ini menunjukkan bahwa geopolimer dari abu layang PT IPMOMI ini dapat mengamobilisasi logam krom dengan sangat baik.

Tabel 4.4. Hasil uji kandungan krom total dengan AAS pada leachate geopolimer penambahan ion logam krom dari limbah

No	t_{Leaching} (jam)	$[\text{Cr}_{\text{total}}]$ (ppm)	$[\text{Cr}_{\text{total}}]$ (%)
1	1	0	0
2	2	0	0
3	4	0	0
4	8	0	0
5	16	0	0
6	24	0	0

Hal ini menunjukkan bahwa geopolimer dapat mengamobilisasi ion logam krom dalam limbah electroplating Desa Ngingas 100 %. Hal ini dimungkinkan karena kandungan ion logam krom sangat kecil sehingga ion logam krom dapat teramobilisasi dalam sistem geopolimer.

Tabel 4.5. Hasil uji kandungan krom total dengan AAS pada leachate geopolimer penambahan ion Cr^{3+}

No	Sampel	[Cr _{total}](ppm)	[Cr _{total}] _{terleaching} (%)
1	Geo-2000	1.26	4.26
2	Geo-4000	2.20	4.30
3	Geo-8000	7.00	8.06
4	Geo-limbah	0.00	0

4.6. Persebaran Ion Logam Krom Total pada Geopolimer

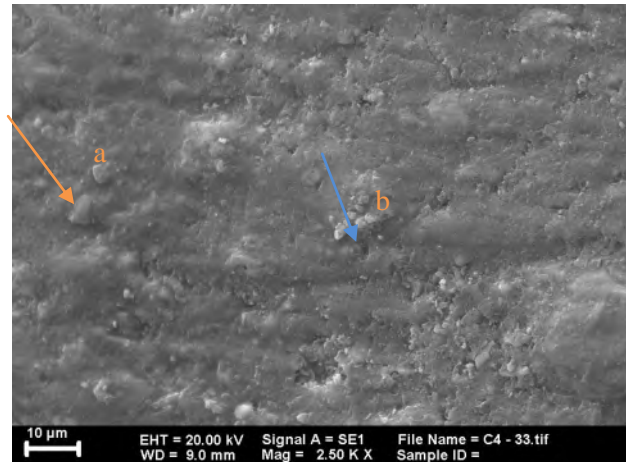
Geopolimer dengan penambahan ion logam krom dari limbah electroplating Desa Ngingas dianalisis menggunakan SEM-EDX. Hal ini dilakukan untuk mengetahui persebaran ion logam krom dalam sistem geopolimer. Selain itu, dari hasil SEM-EDX juga dapat mengetahui apakah proses geopolimerisasi terjadi atau belum.

Gambar 4.2. menunjukkan bahwa sebagian besar abu layang telah mengalami geopolimerisasi. Meskipun masih ada kumpulan abu layang seperti yang ditunjukkan pada foto SEM di atas. Selain itu, pori-pori pada sampel geopolimer di atas juga hanya ditemui pada beberapa titik saja. Hal ini menunjukkan bahwa sifat permukaan fisik sampel geopolimer lebih kompak dengan adanya penambahan ion logam krom. Hal inilah yang menyebabkan kuat tekan geopolimer dengan penambahan ion logam krom dari limbah electroplating lebih baik. Selain itu, tidak ditemukan butiran NaOH pada sampel geopolimer. Hal ini menunjukkan bahwa semua NaOH telah mengalami geopolimerisasi. Sementara persebaran ion logam krom total tersebar secara merata pada sampel. Hal ini menunjukkan bahwa ion logam krom total telah terenkapsulasi dalam matriks geopolimer. Hal ini menunjukkan bahwa ion krom total dapat teramobilisasi oleh geopolimer yang berbahan dasar abu layang PT IPMOMI. Hasil ini juga menunjukkan korelasi dengan hasil

uji kandungan krom total dengan AAS yang menyatakan bahwa tidak ditemukan kandungan krom total di dalam leachate, dimana ion krom total ini telah dapat diamaobilisasi oleh geopolimer.

Gambar 4.3. menunjukkan butiran abu layang secara keseluruhan meskipun masih ditemukan butiran abu terbang pada sampel geopolimer. Sementara itu, pori-pori hanya ditemukan pada sebagian titik saja. Hal ini menunjukkan bahwa struktur geopolimer kompak dan memiliki sifat mekanik yang baik. Gumpalan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ hanya ditemukan pada beberapa titik. Hal ini menunjukkan bahwa logam krom telah bereaksi dengan abu layang.

Gambar 4.4. menunjukkan banyak gumpalan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ di beberapa titik. Hal ini dikarenakan terjadi aglomerasi yang membentuk gumpalan matriks yang dapat merusak kerangka dasar geopolimer. Hal ini dapat dilihat pada penampakan fisik geopolimer yaitu terdapat gumpalan hijau tua di bagian dalam geopolimer sampel Cr-8000 ppm yang merupakan persenyawaan logam Cr yang tidak bereaksi sehingga menghambat pembentukan fasa geopolimer. Selain itu, ditemukan retakan(cracking) pada sampel geopolimer-8000 ppm. Hal ini kemungkinan akibat kerusakan matriks saat proses pengeringan sampel pada kondisi vakum.



Keterangan: a=butiran fly ash

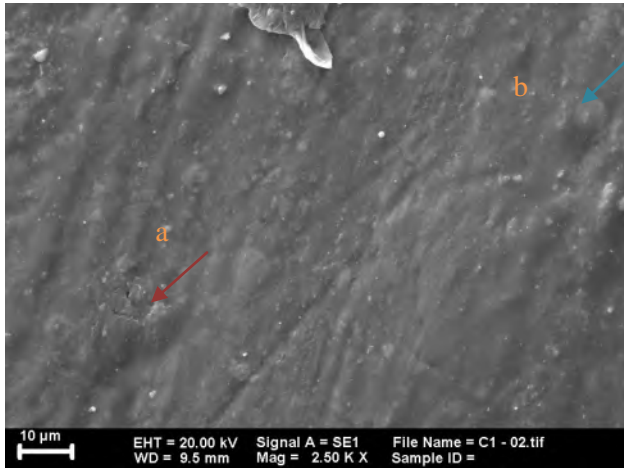
b=pori

Gambar 4.2. Foto SEM geopolimer dengan penambahan ion logam krom dari limbah electroplating

Gambar 4.5. menunjukkan persebaran ion logam krom total pada sampel geopolimer. Pada gambar ini menunjukkan bahwa ion logam krom tersebar merata pada seluruh permukaan sampel geopolimer.

Gambar 4.6. menunjukkan persebaran ion logam krom pada sampel geopolimer dengan penamban ion krom 2000 ppm dan 8000 ppm. Pada gambar ini menunjukkan bahwa persebaran ion krom total tersebar secara merata pada seluruh permukaan sampel geopolimer-2000 ppm dan geopolimer-8000 ppm. Adapun persebaran ion krom total sebelum leaching dan sesudah leaching menunjukkan persebaran ion krom total yang tersebar secara merata pada seluruh bagian sampel geopolimer. Hal ini menunjukkan ion krom total dapat teramobilisasi dengan baik oleh geopolimer dari abu layang PT.IPMOMI. Persebaran ion krom total pada gambar 4.5 ini menunjukkan hasil yang hampir sama dengan persebaran ion krom total pada gambar 4.4. Hal ini menunjukkan bahwa ion krom total dari limbah electroplating

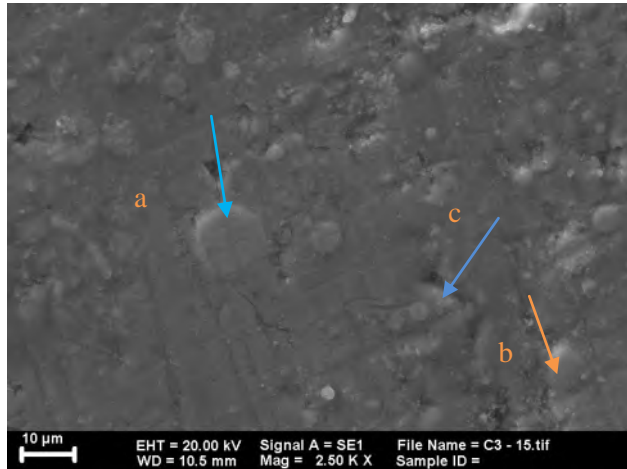
dapat teramobilisasi dengan baik oleh geopolimer dari abu layang PT IPMOMI.



Keterangan:a=pori

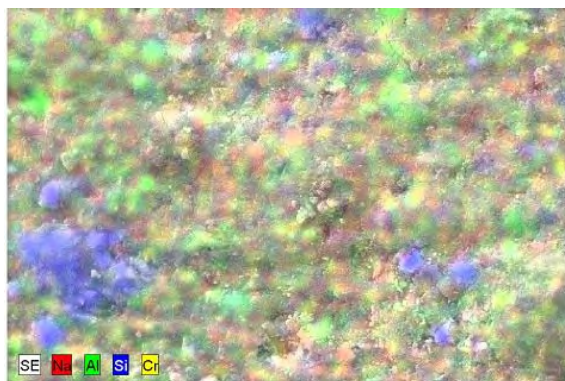
b=butiran fly ash

Gambar 4.3. Foto SEM geopolimer dengan penambahan ion logam krom 2000 ppm



Keterangan: a=gumpalan $\text{Cr}(\text{OH})_3$
b=butiran fly ash
c=retakan

Gambar 4.4. Foto SEM geopolimer dengan penambahan ion logam krom 8000 ppm



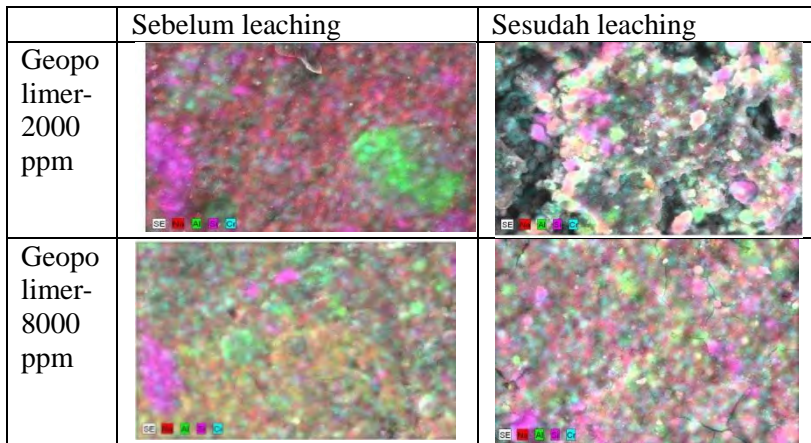
■ =Na

■ =Si

■ =Al

■ =Cr

Gambar 4.5. Foto sebaran ion logam krom pada sampel geopolimer



Ket: ■ =Na ■ =Si
■ =Al ■ =Cr

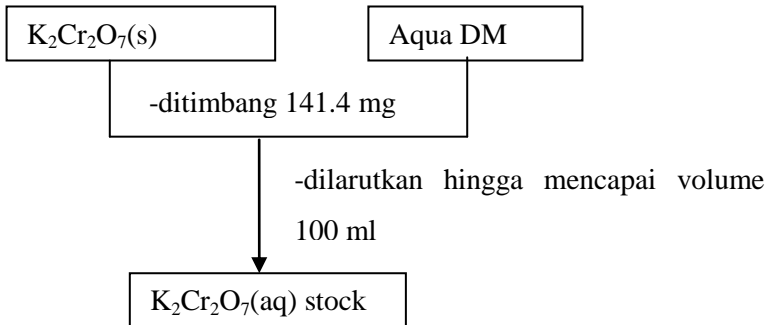
Gambar 4.6. Foto sebaran ion logam krom pada sampel geopolimer-2000 ppm dan 8000 ppm

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

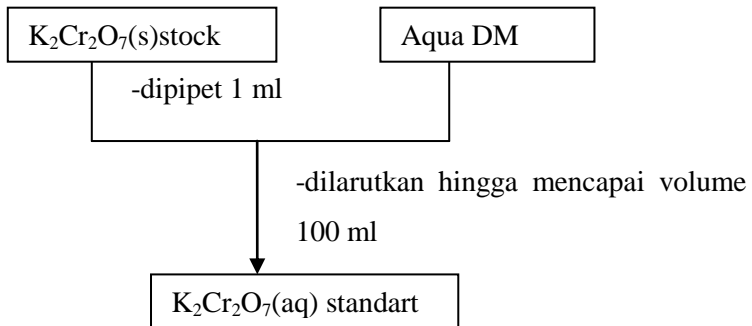
LAMPIRAN

LAMPIRAN A:SKEMA KERJA

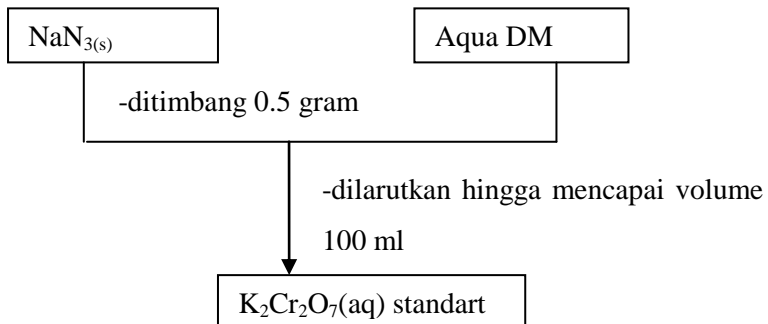
1. Pembuatan larutan stock kromium

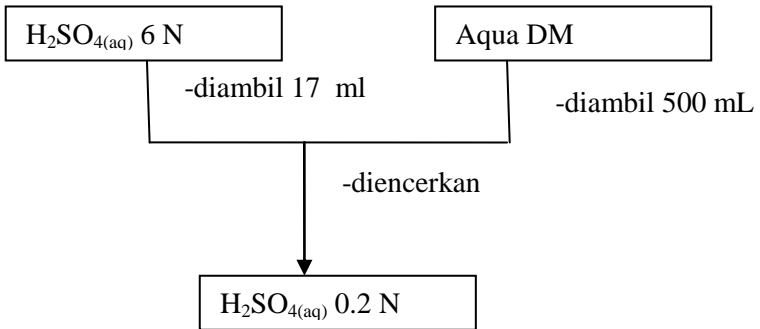
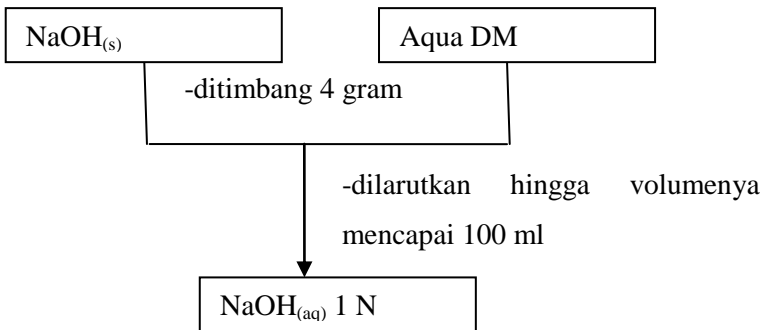


2. Pembuatan larutan standard kromium

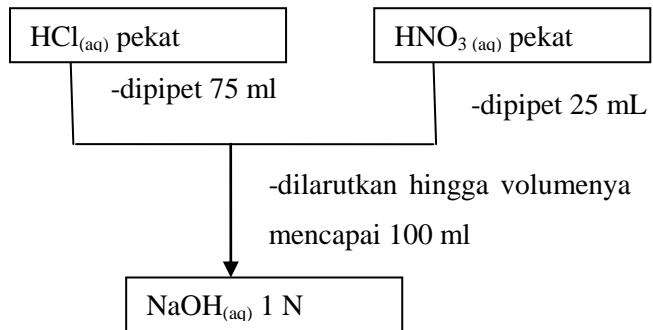


3. Pembuatan larutan Natrium Azida(NaN_3)

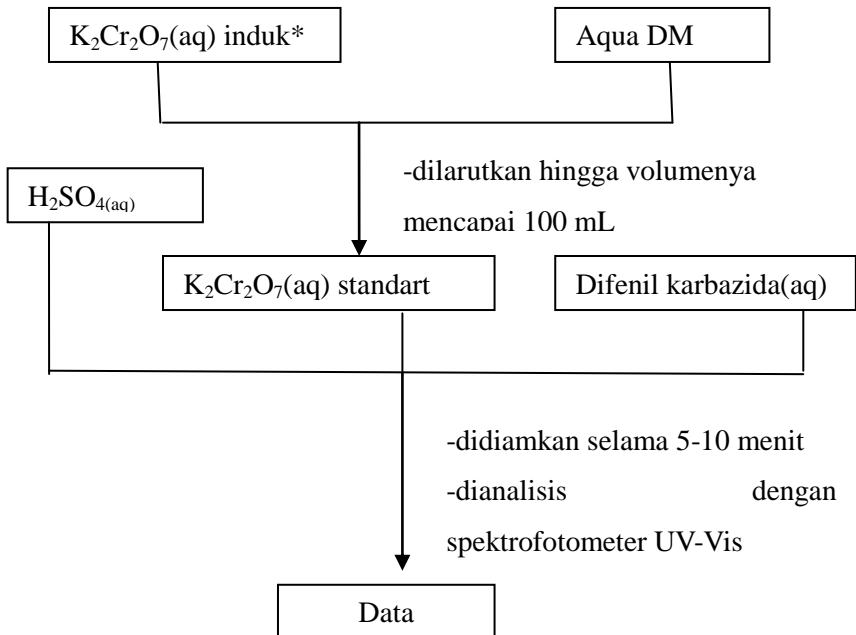


4. Pembuatan Larutan H₂SO₄ 0.2 N**5. Pembuatan larutan NaOH 1N**

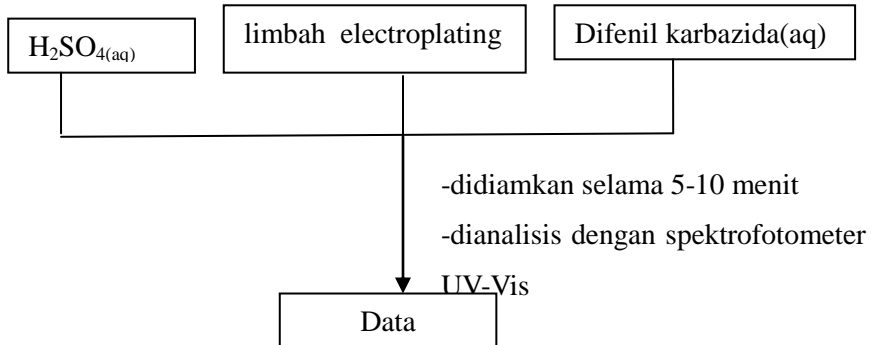
6. Pembuatan larutan aquaregia



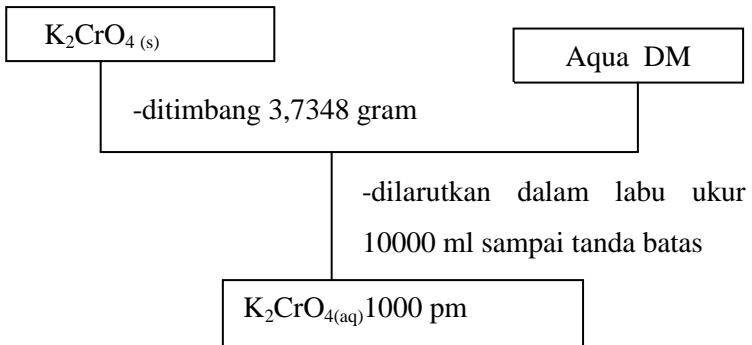
7. Pembuatan kurva kalibrasi



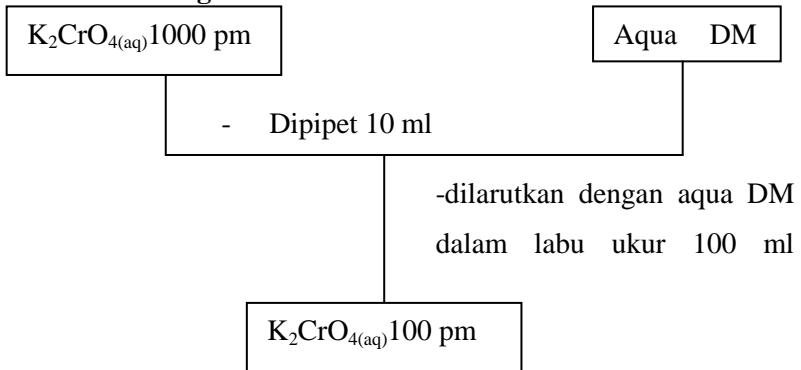
8. Analisis Krom Bervalensi Enam Sampel Limbah Electroplating



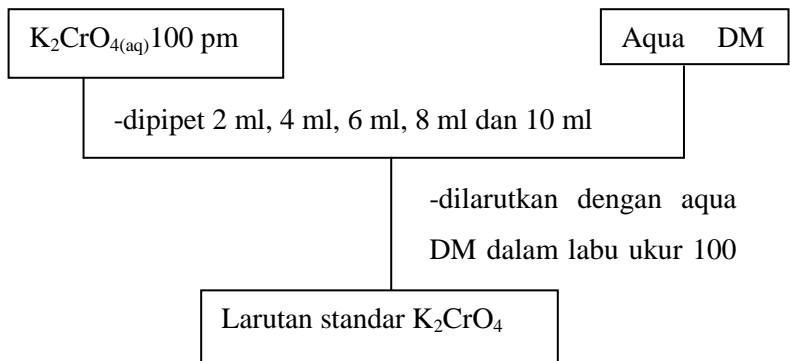
9. Pembuatan Larutan Stock Krom Total



10. Pembuatan Kurva Kalibrasi untuk Analisis Krom Total dengan AAS

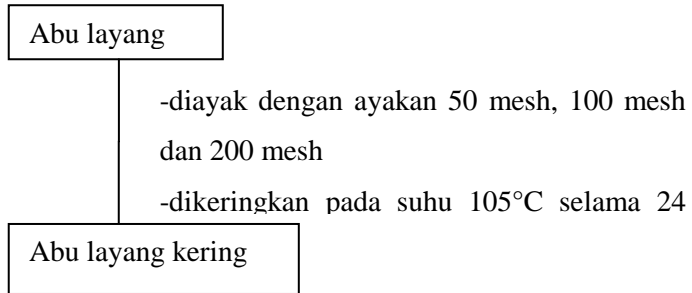


11. Pembuatan larutan standar untuk analisis krom total

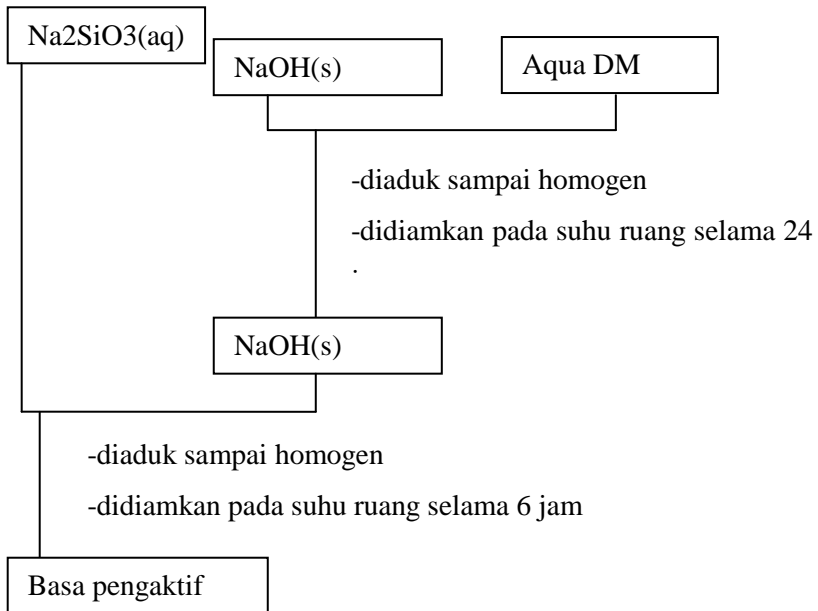


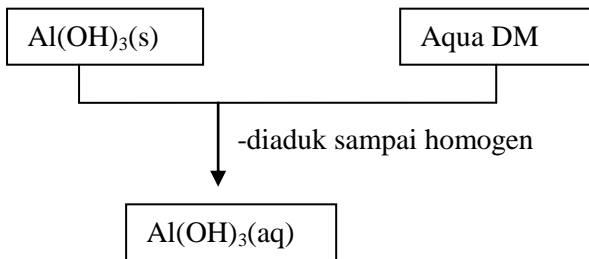
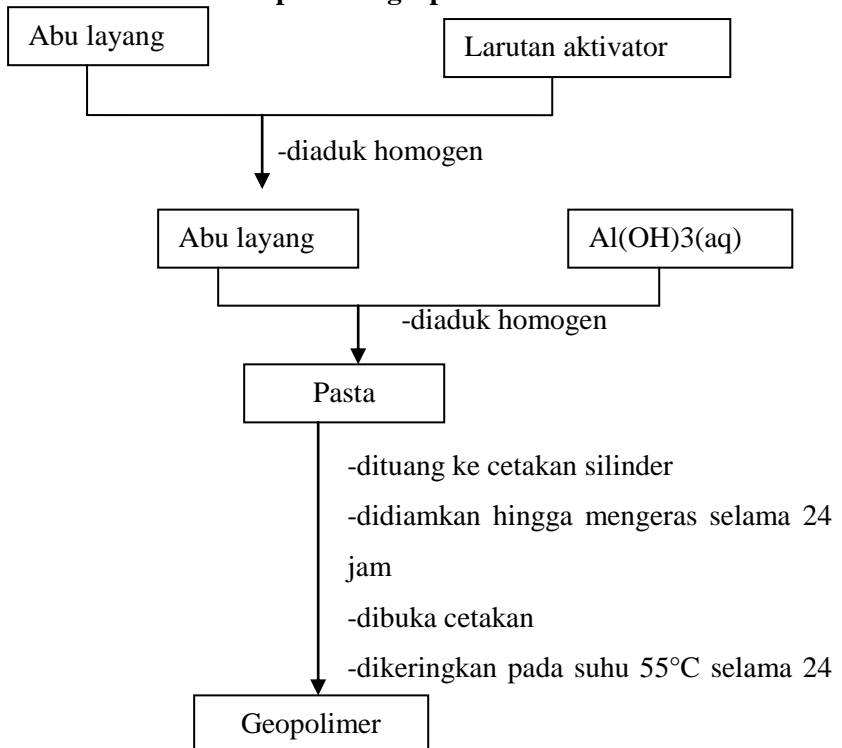
12. Analisis krom total sampel lmbah

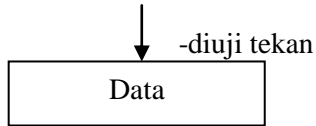
13. Preparasi abu layang



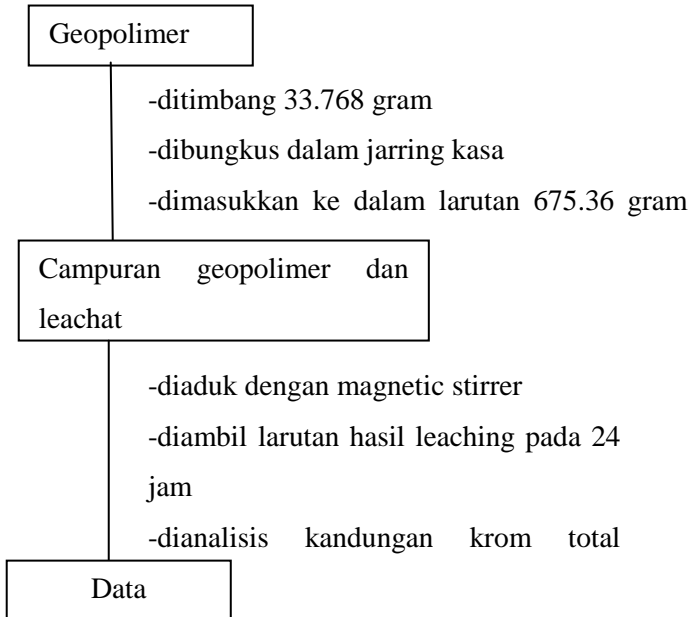
14. Pembuatan basa pengaktif



15. Pembuatan larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ **16. Pembuatan specimen geopolimer**



16. Uji leaching



LAMPIRAN B:PERHITUNGAN GEOPOLIMER

1. Hasil Analisis Kandungan Abu Layang dan Water Glass
 - a. Water glass

	Berat Molekul (g/mol)	persentase (%)
SiO ₂	80	19
Al ₂ O ₃	100	-
Na ₂ O	62	38
Al(OH) ₃	78	-
H ₂ O	18	23
NaOH	40	-

b. Abu layang

	Berat Molekul (g/mol)	persentase (%)
SiO ₂	80	50.67
Al ₂ O ₃	100	13.76
Na ₂ O	62	0.19
H ₂ O	18	-
CaO	56	12.7
MgO	40	0.19
K ₂ O	94	1.28
TiO ₂	80	0.76
Fe ₂ O ₃	160	11.99
MnO ₂	87	0.14
S ₂ O	80	0.63
Se ₂ O ₃	190	0.12
P ₂ O ₅	142	0.08
Ignition loss	-	1.42

2. Prosentase Kemurnian Bahan

Nama Bahan	Prosentase(%)
Abu layang	100
Water glass	76.9
NaOH	100
Al(OH) ₃	99

3. Perhitungan Rasio S/L

Dalam hal ini fasa solid adalah abu layang. Water glass, Al(OH)₃, NaOH. Sedangkan fasa liquid adalah water glass, Al(OH)₃, aqua DM.

Dalam 1 resep berat bahan yang dibutuhkan sebagai berikut:

Bahan	Berat(g)
Abu layang(AL)	260
Al(OH) ₃	3.4
NaOH	28
Water glass(WG)	80
aqua DM	78.6

Sehingga untuk menghitung rasio S/L adalah sebagai berikut:

$$\frac{AL+(WG \times 76.9\%)+(Al(OH)_3 \times 99\%)+NaOH}{(WG \times 23.1\%)+(Al(OH)_3 \times 1\%)+aqua DM} = \frac{260+(80 \times 76.9\%)+(3.4 \times 99\%)+28}{(80 \times 23.1\%)+(3.4 \times 1\%)+78.6} = 3.59$$

4. Perhitungan Kuat Tekan Geopolimer

Data yang diperoleh dari pengukuran kuat tekan adalah massa beban yang dapat diitanggung oleh geopolimer dalam satuan kilogram force(KgF). Maka untuk mendapatkan data kuat tekan dengan satuan MPA. Data yang dimasukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{\pi \times r^2}$$

Dimana:

g adalah gaya gravitasi yang besarnya 10 m/s

m adalah hasil kuat tekan yang tertera pada alat(Kg)

$$\pi=3.14$$

r adalah jari-jari(m)

P adalah kuat tekan(Pa)= 10^{-6} MPa

- a) Kuat tekan geopolimer tanpa penambahan limbah
 Massa beban yang ditanggung oleh sampel geopolimer tanpa penambahan ion logam tanpa penambahan ion logam adalah ...KgF
 Sedangkan jari-jari sampel adalah 1.1 cm. Sehingga kuat tekannya sebagai berikut:

$$P=\frac{1160 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}}{3.14 \times 1.1^2 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}}=3053114 \text{ Pa}=30.53 \text{ MPa}$$

- b) Kuat tekan geopolimer dengan variasi penambahan ion logam krom total.
 Massa beban yang ditanggung oleh sampel geopolimer dengan penambahan limbah adalah ...ton
 Dimana jari-jari sampel adalah 1.1 cm
 Sehingga kuat tekannya sebagai berikut:

$$P=\frac{1650 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}}{3.14 \times 1.1^2 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}}=43427910 \text{ Pa}=43.43 \text{ MPa}$$

5. Perhitungan Rasio Mol Geopolimer Penambahan Cr^{3+}

Kation Cr^{3+} ditambahkan ke dalam geopolimer dalam bentuk senyawa $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Geopolimer dasar yang digunakan merupakan komposisi sampel Na-14 dengan komposisi massa sebagai berikut:

Tabel Komposisi Massa Bahan Pembuatan Geopolimer

Abu layang (g)	NaO H (g)	Aqua DM (g)	Water glass (g)	Serbuk $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{g})$	Total bahan (g)
260	28	80	80	3.4	451.4

Untuk menghitung massa $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ yang ditambahkan, maka harus dihitung dahulu massa Cr^{3+} yang dibutuhkan dengan menetapkan kadar ppm Cr yang diinginkan. Pada penelitian ini, kadar ppm Cr divariasikan dalam 7 varian. Perhitungannya massa Cr yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\text{ppm Cr} = \frac{\text{massaCr (mg)}}{\text{massaabulayang (kg)}}$$

Setelah itu dihitung massa $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ yang diperlukan:

$$\begin{aligned} \text{massa Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \\ = \frac{\text{Mr Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}}{\text{ArCr}} \times \text{gramCr} \end{aligned}$$

Diketahui:

$$\text{Mr Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} = 400 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Cr} = 52 \text{ g/mol}$$

Komposisi senyawa logam berat yang ditambahkan sebagai berikut:

Tabel Komposisi senyawa logam berat yang ditambahkan dalam Geopolimer

Sampel	ppm Cr	Massa Cr (g)	Berat Cr $(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (g)	Mol Cr/ Kg abu layang
Cr-2000	2000	0.52	4.00	1.65
Cr-4000	4000	1.04	8.00	
Cr-8000	8000	4.16	16.00	

6. Perhitungan Pengenceran Asam Asetat

Kadar CH_3COOH = 100%

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$100\% \cdot V_1 = 2.5\% \cdot 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

Sehingga untuk mendapatkan larutan asam asetat dengan konsentrasi 2.5% yaitu dengan mengambil asam

asetat 100% sebanyak 25 mL dan dilarutkan dengan aqua DM sehingga volume akhirnya 1000 mL.

7. Perhitungan *Leaching*

Leaching ion Cr^{3+} dilakukan dalam asam asetat glasial 150 mL. dan geopolimer yang digunakan 6 gram.

Nama Sampel	mg Cr/ Kg abu layang	Cr terleaching (ppm)	Mg Cr/6 gram geopolimer	% Cr terleaching
Cr-2000	2000	-		4.26
Cr-4000	4000	-		4.30
Cr-8000	8000	-		7.67

Perhitungan pada sampel Cr-857,5 sebagai berikut:

massa total = FA + WG + $\text{Al}(\text{OH})_3$ + NaOH + Aqua DM + $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

massa total = 260 g + 80 g + 3,4 g + 28 g + 80 g + 1,71 g

massa total = 453,11 g

massa Cr = $(\text{Mr Cr} / \text{Mr Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}) \times m \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

= $(52/400) \times 1,65 \text{ g} = 0,215 \text{ gram} = 215 \text{ mg}$

massa Cr^{3+} per gram geopolimer = $\frac{215 \text{ mg}}{453,11 \text{ g}}$

= 0,47 mg/g

Pada *leaching*, massa geopolimernya adalah 15 g, sehingga massa Cr^{3+} dalam 6 g geopolimer adalah 7.05 mg.

kadar Cr^{3+} terleaching (ppm) = $\frac{\text{mg Cr}^{3+}}{\text{L asam asetat}}$

$$1 \text{ ppm} = \frac{\text{mg Cr}^{3+}}{0.3 \text{ L}}$$

$$\text{mg Cr}^{3+} = 0.3 \text{ mg}$$

Sehingga, mg Cr³⁺ dalam 300 mL asam asetat adalah 0.3 mg.

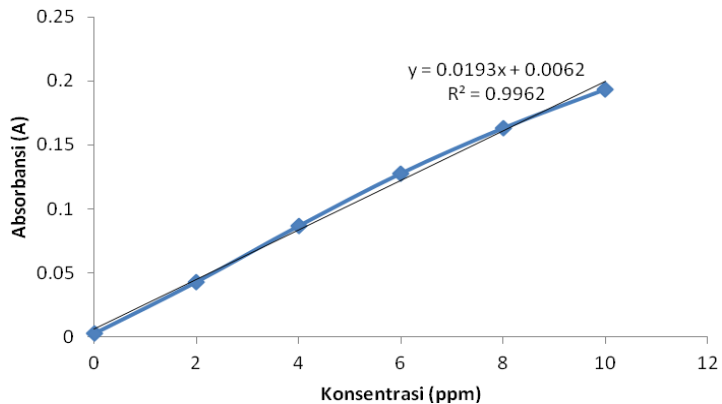
% Cr³⁺ terleaching

$$= \frac{\text{mg Cr}^{3+} \text{ terleaching}}{\text{mg Cr}^{3+} \text{ dalam sampel leaching}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Cr}^{3+} \text{ terleaching} = \frac{0.3 \text{ mg}}{7.05 \text{ mg}} \times 100 \% = 4.26\%$$

8. Perhitungan Analisis Spektrofotometer Serapan Atom

a. Konsentrasi Krom Total dalam Limbah Electroplating



Diketahui $y = \text{Absorbansi}$

$x = \text{konsentrasi dalam ppm}$

dengan $y=0.0193x+0.0062$

$$y=0.44$$

Ditanya: $x=....?$

Jawab:

$$y = 0.0193x + 0.0062$$

$$0.44 = 0.0193x + 0.0062$$

$$x = 22.477 \text{ ppm}$$

b. Pengenceran Larutan

Diketahui: $M_1=1000 \text{ ppm}$

$$M_2=100 \text{ ppm}$$

$$V_2=100 \text{ ml}$$

Ditanya: $V_1=....?$

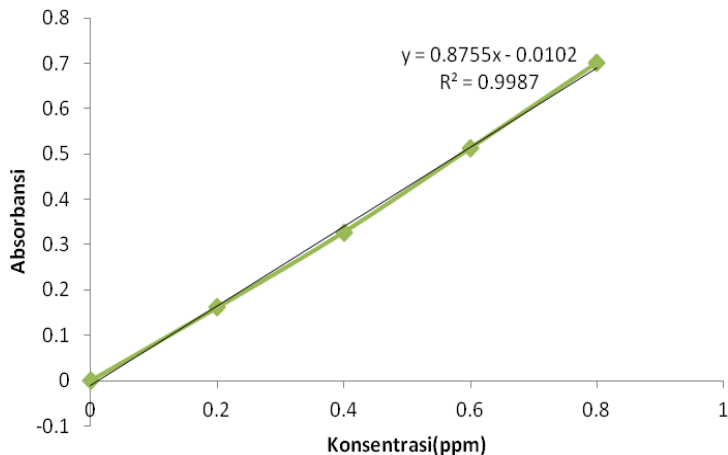
$$\text{Jawab: } M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \cdot V_1 = 100 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 10 \text{ ml}$$

9. Perhitungan Analisis Spektrofotometer UV-Vis

a. Konsentrasi Cr^{6+} dalam Limbah Electroplating



Diketahui $y = \text{Absorbansi}$

$x = \text{konsentrasi dalam ppm}$

dengan $y = 0.8755x - 0.0102$

$y = 0.011$

Ditanya: $x = \dots?$

Jawab: $y = 0.8755x - 0.0102$

$0.011 = 0.8755x - 0.0102$

$x = 0.127 \text{ ppm (konsentrasi krom dengan}$

pengenceran limbah 100 kali)

b. Pengenceran Limbah

$M_1 = 0.127 \text{ ppm}$

$V_1 = 100 \text{ mL}$

$$V_2 = 1 \text{ mL}$$

Ditanya: $M_2 = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab: } M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 0.127 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL} &= M_2 \cdot 1 \text{ mL} \\ M_2 &= 12.7 \text{ ppm} \end{aligned}$$

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Geopolimer dari abu layang PT.IPMOMI dapat digunakan untuk mengamobilisasi ion krom total dari limbah electroplating Desa Ngingas. Amobilisasi ion logam krom total dengan sampel geopolimer yang menggunakan ayakan dengan ukuran 0.297mm.dan 0.074 mm menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan. Sedangkan sampel geopolimer dengan ukuran ayakan 0.149 mm mengalami penurunan nilai kuat tekan. Hal ini disebabkan kesalahan saat proses pembuatan geopolimer. Geopolimer yang digunakan untuk mengamobilisasi ion krom memberikan kuat tekan terbaik sebesar 37 MPa. Kekuatan terbaik ini dihasilkan oleh sampel geopolimer dengan abu layang ukuran partikel 0.074 mm. Penambahan ion krom total memberikan pengaruh sifat mekanik geopolimer.. Hasil leaching menunjukkan ion krom dalam leachate tidak ditemukan. Ion krom dapat teramobilisasi di dalam geopolimer dengan baik. Hal ini juga didukung dengan hasil SEM-EDX menunjukkan bahwa ion logam krom total tersebar secara merata pada sampel geopolimer.

5.2. Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian mengenai amobilisasi ion krom total dari industri electroplating dengan ayakan abu layang 0.149 mm, hal ini dikarenakan penambahan ion logam krom total justru menurunkan kuat tekan geopolimer. Padahal berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya menyatakan bahwa penambahan ion krom dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer dari abu layang PT IPMOMI.

'Halaman ini sengaja dikosongkan'

DAFTAR PUSTAKA

- Davidovits, J. (1994) "Geopolymer: Man-Made Rock Geosynthesis And Resulting Development Of Very Early High Strength Cement", *Journals of materials and Cement*, Vol. 16, hal. 91-139.
- Day, R. A. dan Underwood, A. L. (1999) "Analisis Kimia Kuantitatif", Erlangga, Jakarta.
- Deja, J. (2002) "Immobilization of Cr^{6+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} dan Pb^{2+} in Alkali-Activated Slag Binders", *Cement and Concrete Research.*, Vol 32 No. 12, hal 1971-1979.
- Fatmawati, A. (2014) "Amobilisasi Kation Logam Berat Cr^{3+} pada Geopolimer Berbahan Baku Abu Layang PT. IPMOMI", Skripsi, Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya.
- Forster, U. dan Wittman, T.W. (1983) "Metal Pollution in The Aquatic Environment", Springer Verlag p. 207-213, Berlin
- Galiano, Y. L., et al (2011) "Study on the Immobilization of Cr(VI) and Cr(III) in Geopolymer Based on Coal Combustion Fly Ash", *World of Coal Ash Conference* May 9-12 2011.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., dan Rangan B. V. (2004) "On The Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete", Technical Paper No. 101-M52, *ACI Material Journal*, vol. 101, No. 6, November-Desember, American Concrete Institute.
- Hendrayana, S., Kadarohman, A., Sumarno, A. A. dan Supriatna, A. (1994) "Kimia Analisis Instrumen", IKIP Semarang Press, Semarang.
- Khopkar, S. M. (2003) "Konsep Dasar Kimia Analitik", UI-Press, Jakarta.

- Krisbiantoro. (2015) “Amobilisasi Fe^{3+} dan Co^{2+} Menggunakan Geopolimer dari Abu Layang PT.IP MOMI”, Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya.
- Murtini, Rum Hastuti, Gunawan (2012) “Efek Destruksi Terhadap Penentuan Kadar Cu(II) Dalam Air Sumur, Air Laut Dan Air Limbah Pelapisan Krom Menggunakan AAS”, Jurnal Riset Murty Semarang:FMIPA UNDIP.
- Putra, K. P. (2014) “Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang”, Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.7, November 2014 (330-336) ISSN: 2337-6732.
- Skoog. D. A., Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch, (2000) “Fundamentals of Analytical Chemistry” ,Hardcover: hal.992, Publisher: Brooks Cole
- Stiasari, A. (2011) “Amobilisasi Kation Logam Berat Cd^{2+} Pada Geopolimer dengan Variasi Konsentrasi NaOH dari Abu Layang PT.IP MOMI”, Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya.
- Subaer, (2007) “Pengantar Fisika Geopolimer”. Program Penulisan Buku Teks Perguruan Tinggi. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat. Direktorat Perguruan Tinggi.
- Supriadi, W. (2010) “Amobilisasi Logam berat Cd^{2+} dan Pb^{2+} dengan Geopolimer”, Tesis program magister. Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya.
- Tiwari, K. T. et al (2015) “Suitability of leaching test methods for fly ash and slag: A review”. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 8 (2015) 523-537.
- Utomo, P. M. (2008) “Efek Logam Berat terhadap Sifat Semen Pada Proses Solidifikasi/Stabilisasi Limbah Berbahaya”, Seminar Nasional Kimia.

- Van Jaarsveld, Van Deventer, G.C. Lukey (2003) "The Characterisation of Source Materials in Fly Ash-Based Geopolymers", *Materials Letters* 57 (2003) 1272 – 1280
- Warih (2009) "Amobilisasi Logam Berat Cd Dan Pb pada Geopolimer Berbahan Dasar Abu Layang Cilacap", Tesis, Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya.
- Willard, H. H., Merrit, L; L., and Settle Jr, F. A., (1989) "Instrumental Methods of Analysis", Wadsworth Publishing Company, California.
- Zhang, J., Provis, J.L., Feng, D., van Deventer, J.S.J. (2008) "The Role of Sulfide in the immobilization of Cr(VI) in Fly Ash Geopolymer", *Cement and Concrete Research*, Vol 38, hal. 681-688.
- Zhang J, Provis.J.L, Feng, D., Van Deventer, J.S.J. (2008) "Geopolymers for immobilization of Cr⁶⁺, Cd²⁺, and Pb²⁺", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 157, hal.587-598.
- Zeng, L. Wang, W. Shi, Y. (2010) "The effect of alkaline dosage and Si/Al ratio on the immobilization of heavy metal in municipal solid waste incineration fly ash-based geopolymer". *Chemosphere*, Vol. 79, hal. 665-671
- Zheng, L., Wang, W. (2014) "Immobilization of Cu²⁺, Zn²⁺, Pb²⁺, dan Cd²⁺ during geopolymerization", Hinger Education Press and Springer, Verlag Berlin Heidelberg.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 3 September 1994 dengan nama lengkap Erna Erviana. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis, yaitu di MI Ibtidaiyah Desa Kebalandono, SMP Negeri 2 Babat dan SMA Negeri 1 Babat. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Babat, penulis mengikuti SNMPTN jalur undangan dan diterima di Jurusan Kimia ITS Surabaya pada tahun 2012. Di Jurusan Kimia ini, penulis mengambil bidang minat Kimia Material dan Energi dibawah bimbingan Ir. Endang Purwanti S., M. T. dan Hamzah Fansuri, Ph.D. Penulis pernah aktif dalam organisasi HIMKA sebagai staf Departemen Sosial, sekretaris KPU ITS 2014 dan sebagai Hakim Mahkamah Mahasiswa ITS 2015. Penulis juga pernah melakukan kerja praktek di PT. SIER selama 1 bulan. Penulis dapat dihubungi melalui email ernaerviana89@yahoo.co.id