



SKRIPSI

**KAJIAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN FISIKA ABU
LAYANG YANG MENJADI PENENTU KEKUATAN
MEKANIK PEREKAT GEOPOLIMER BERBAHAN
DASAR ABU LAYANG**

**DIAH KARTIKA SARI
NRP. 0121144000049**

Dosen Pembimbing

**Ir. Endang Purwanti S., MT
Tri Eddy Susanto, ST., MT**

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



SCRIPT

**STUDY OF CHEMICAL AND PHYSICAL
CHARACTERISTIC OF FLY ASH TO DETERMINE
THE MECHANICAL STRENGTH OF FLY ASH-
BASED GEOPOLYMER**

**DIAH KARTIKA SARI
NRP. 0121144000049**

Advisor Lecturer

**Ir. Endang Purwanti S., MT
Tri Eddy Susanto, ST., MT**

**DEPARTEMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

**KAJIAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN FISIKA ABU
LAYANG YANG MENJADI PENENTU KEKUATAN
MEKANIK PEREKAT GEOPOLIMER BERBAHAN
DASAR ABU LAYANG**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Program Studi S-1 Departemen Kimia
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

DIAH KARTIKA SARI
NRP. 0121144000049

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN
KAJIAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN FISIKA ABU
LAYANG YANG MENJADI PENENTU KEKUATAN
MEKANIK PEREKAT GEOPOLIMER BERBAHAN
DASAR ABU LAYANG

SKRIPSI

Oleh:

DIAH KARTIKA SARI

NRP. 01211440000049

Surabaya, 03 Agustus 2018

Menyetujui,

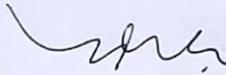
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Endang Purwanti S., MT

NIP. 19560110 198502 2 001



Tri Eddy Susanto, ST., MT

NIK. 00811



Mengetahui,

Kepala Departemen Kimia,

Prof. Dr. Didik Prasetyoko, MSc.

NIP. 19710616 199703 1 002

KAJIAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN FISIKA ABU LAYANG YANG MENJADI PENENTU KEKUATAN MEKANIK PEREKAT GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR ABU LAYANG

Nama : Diah Kartika Sari
NRP : 0121144000049
Departemen : Kimia
Pembimbing : Ir. Endang Purwanti S., MT
Tri Eddy Susanto, ST., MT

ABSTRAK

Abu layang adalah limbah B3 dan setiap tahunnya terus menerus meningkat produksinya. Oleh karena itu, diperlukan cara untuk menanggulangi limbah ini. Konversi abu layang menjadi geopolimer merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah tersebut. Dalam penelitian ini, abu layang yang digunakan diperoleh dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan Australia. Metode pembuatan geopolimer didasarkan pada penelitian Supriadi (2017). Kekuatan geopolimer diuji pada usia 7 hari setelah proses *curing*. Hasil uji kekuatan tekan diperoleh sebesar 46,71; 42,46; 42,46; 9,55 MPa dengan standar dari geopolimer Supriadi (2017) sebesar 19,2 MPa. Pengaruh kuat tekan dianalisis dengan hasil analisis abu layang yang dikarakterisasi menggunakan XRD, XRF, SEM, PSA, dan kelarutan Si dan Al.

Keywords: Geopolimer, abu layang, kuat tekan, XRD, XRF

STUDY OF CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTIC OF FLY ASH TO DETERMINE THE MECHANICAL STRENGTH OF FLY ASH-BASED GEOPOLYMER

Name : Diah Kartika Sari
NRP : 0121144000049
Department : Kimia
Supervisor : Ir. Endang Purwanti S., MT
Tri Eddy Susanto, ST., MT

ABSTRACT

Fly ash is a B3 waste and its amount are increasing every year. Hence, it is necessary to treat this waste. The conversion of fly ash to geopolymer is one of methods to treat this waste. In this study, fly ash were obtained from PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, and Australia. The method to synthesize this geopolymer is based on research by Supriadi in 2017. Compressive strength test were carried out on geopolymer with 7 days curing process. The result obtained from compressive strength test are 46.71; 42.6; 42.6; 9.55 Mpa respectively and geopolymer standard from Supriadi (2017) is 19,2 Mpa. The effect of compressive strength was analyzed with the result of fly ash analysis characterized using XRD, XRF, SEM, PSA, and the solubility of Si and Al.

Keywords : Geopolymer, fly ash, compressive strength test, XRD, XRF

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“KAJIAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN FISIKA ABU LAYANG YANG MENJADI PENENTU KEKUATAN MEKANIK PEREKAT GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR ABU LAYANG”**. Dengan penuh kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Ir. Endang Purwanti S., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan naskah skripsi ini.
2. Bapak Tri Eddy Susanto, ST., MT. selaku pembimbing di PT Semen Indonesia yang telah memberikan pengarahan dan memfasilitasi selama melakukan pengujian di Laboratorium Pusat Penelitian Semen Indonesia.
3. Bapak Hamzah Fansuri, M.Si., Ph.D. selaku dosen yang telah memberikan pengarahan selama pengerjaan penelitian geopolimer.
4. Bapak Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc, selaku Kepala Departemen Kimia atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah Skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Prof.Dr. R Y Perry Burhan, M Sc. Selaku dosen wali yang telah membimbing selama saya kuliah di Kimia ITS.
6. Bapak Dr. Djoko Hartanto, M.Si, selaku kepala laboratorium Kimia Material dan Energi yang telah memberikan fasilitas selama pengerjaan tugas akhir.

7. Kedua orang tua dan keluarga besar saya yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
8. Teman-teman mahasiswa Kimia FIA ITS angkatan 2014 beserta rekan-rekan seperjuangan di Laboratorium KME atas semua bantuan, semangat, doa dan dukunganya
9. Om Kistiari yang telah membantu jalannya proses pengambilan sampel abu layang di PLTU Pacitan,
10. Pihak lain yang telah membantu terselesaikannya naskah skripsi ini, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 30 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ... Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Abu Layang.....	5
2.2 Aktivator	7
2.3 Geopolimer	7
2.4 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	8
2.5 <i>X-Ray Fluoresence (XRF)</i>	10

2.6	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	11
2.7	<i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	13
2.8	<i>Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP)</i> .	15
2.9	Uji Kuat Tekan.....	16
BAB III		18
METODOLOGI		19
3.1	Alat dan Bahan.....	19
3.1.1	Alat	19
3.1.2	Bahan	19
3.2	prosedur kerja.....	20
3.2.1	Preparasi Abu Layang	20
3.2.2	Uji Kelarutan Abu Layang.....	20
3.2.3	Pembuatan Basa Pengaktif	20
3.2.4	Pembuatan Geopolimer	21
3.2.5	Karakterisasi	21
BAB IV		24
HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Pembuatan Geopolimer.....	25
4.2	Hasil-hasil Karakterisasi Abu Layang	30
4.2.1	Komposisi fasa dan kekeristalan	30
4.2.2	Morfologi Abu Layang	33
4.2.3	Sebaran Ukuran Partikel	36

4.2.4	Kelarutan Si dan Al	40
4.2.5	Komposisi Unsur Penyusun Abu Layang	41
BAB V	.....	45
KESIMPULAN	.....	45
DAFTAR PUSTAKA	.....	46
LAMPIRAN	.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Difraktogram Sinar-X abu layang dari PT IPMOMI (Supriadi, 2017)	10
Gambar 2. 2 Komponen SEM.....	12
Gambar 2. 3 Foto SEM Abu Layang dari PT IPMOMI (Supriadi, 2017)	13
Gambar 4.1 Proses pencetakan dan pemeraman pasta geopolimer pada cetakan silinder, dengan abu layang (A) Australia, (B) Semen Gresik, (C) PLTU Pacitan, (D) Petrokimia Gresik.....	27
Gambar 4.2 Hasil pengukuran kuat tekan geopolimer pada usia 7 hari.....	28
Gambar 4.3. Difraktogram sinar-X abu layang dari A) PLTU Pacitan, B) Petrokimia Gresik, C) Semen Gresik, dan D) Australia.....	32
Gambar 4.4 Foto SEM abu layang dari (A) PLTU Pacitan dan (B) Petrokimia Gresik	34
Gambar 4. 5 Foto SEM abu layang dari (C) Semen Gresik, dan (D) Australia	35
Gambar 4.6 Distribusi ukuran partikel abu layang A) PLTU Pacitan, B) Semen Gresik, C) Petrokimia Gresik, dan D) Australia.....	39
Gambar 4.7 Kelarutan Si dan Al pada abu layang PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, Semen Gresik, dan Australia.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Komposisi dan Klasifikasi Abu Layang	6
Tabel 2. 2	Pengelompokan kelas abu layang berdasarkan ASTM C 618 1994.....	6
Tabel 4. 1	Hasil pengamatan pada pembuatan geopolimer	26
Tabel 4. 2	Rincian data hasil pengukuran uji kuat tekan geopolimer pada usia 7 hari	29
Tabel 4. 3	Persen kekristalan abu layang yang digunakan dalam pembuatan geopolimer.....	33
Tabel 4. 4	Ukuran partikel abu layang (dalam μm)	36
Tabel 4. 5	Hasil pengukuran ukuran partikel abu layang..	37
Tabel 4. 6	Hasil pengukuran uji kelarutan	40
Tabel 4. 7	Hasil analisa komposisi abu layang menggunakan XRF	42
Tabel 4. 8	klasifikasi tipe abu layang yang digunakan dalam pembuatan geopolimer berdasarkan data XRF	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Abu layang merupakan salah satu limbah B3 yang diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu penghasil limbah B3 abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) dalam jumlah yang sangat besar. Di Indonesia, salah satunya di Jawa Timur produksi abu layang dan abu dasar dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU (Harijono, 2006).

Pada saat ini, abu layang telah banyak digunakan oleh para peneliti untuk meningkatkan pemanfaatannya. Abu layang tersebut dapat dikonversi menjadi material lain yang disebut dengan geopolimer. Geopolimer merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai pengganti Semen Portland. Geopolimer merupakan polimer anorganik yang terbentuk dari aluminosilikat yang teraktivasi oleh basa pengaktif. Aluminosilikat bisa berasal dari kaolin, abu layang, dan abu vulkanik. Penggunaan abu layang sebagai sumber aluminosilikat, selain dapat bertahan melawan kondisi lingkungan yang ekstrim, juga dapat mengurangi masalah lingkungan karena, abu layang merupakan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dan mungkin tidak dilewati tanpa di proses terlebih dahulu (Bakrie dkk., 2011).

Abu layang adalah limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara seperti pabrik kertas, pabrik semen, pembangkit listrik tenaga uap, dan lain-lain yang menghasilkan abu layang dalam jumlah yang sangat besar.

Sifat-sifat abu layang sangat bergantung pada jenis batubara yang digunakan dan juga proses pembakarannya. Oleh karena itu abu layang yang dihasilkan memiliki komposisi kimia seperti rasio Si/Al, ukuran partikel dan sebarannya serta sifat fisika-kimianya tidak akan sama meskipun dihasilkan dari tempat yang sama. Sifat-sifat fisika-kimia tersebut akan mempengaruhi proses geopolimerisasi dari abu layang (Fansuri dkk., 2008)

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan kajian sifat fisika-kimia dari abu layang yang dihasilkan dari berbagai sumber tempat abu layang tersebut diperoleh melalui uji XRD, XRF, PSA, SEM, uji kelarutan serta uji kuat tekan pada geopolimer yang telah dibuat.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kekuatan mekanik geopolimer berbahan dasar abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik dan Australia.
2. Apakah produk geopolimer yang dihasilkan memenuhi SNI bahan bangunan (perekat non organik).
3. Apakah komposisi fasa dan kekristalan, morfologi, sebaran ukuran partikel, kelarutan Si dan Al, komposisi unsur abu layang dapat mempengaruhi kekuatan geopolimer.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik dan Australia terhadap kekuatan geopolimer.

2. Mendapatkan produk geopolimer yang sesuai dengan SNI bahan bangunan (perekat non organik).
4. Mengetahui pengaruh komposisi fasa dan kekristalan, morfologi, sebaran ukuran partikel, kelarutan Si dan Al, komposisi unsur abu layang terhadap kekuatan geopolimer.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang formulasi geopolimer abu layang yang dihasilkan. Geopolimer abu layang yang dihasilkan diharapkan mampu menghilangkan ketergantungan kualitas geopolimer terhadap jenis dan kualitas abu layang sehingga geopolimer dengan kualitas yang baik selalu dapat dihasilkan walaupun abu layang yang digunakan berbeda-beda.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Layang

Abu batubara adalah limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang dihasilkan dari pembakaran batubara salah satunya abu layang. Secara kimia abu layang merupakan material oksidasi anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Salah satu penghasil limbah abu layang terbesar di dunia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), termasuk Indonesia. Di Indonesia terdapat banyak PLTU yang beroperasi. Semakin banyak PLTU yang beroperasi, semakin banyak pula limbah abu batubara yang dihasilkan. Limbah batubara yang relatif besar ini menimbulkan dampak pencemaran yang cukup berat. Sehingga perlu difikirkan sebuah alternatif pemecahan permasalahan pencemaran ini. (Husin, 2005).

Keberadaan abu layang yang semula masih dianggap sebagai limbah pencemar, kini telah mengalami pergeseran fungsi. Pada era modern ini abu layang banyak diteliti baik sifat fisika maupun sifat kimiawinya untuk dapat dimanfaatkan keberadaannya. Salah satu manfaat dari limbah abu layang ini adalah mengkonversinya menjadi material lain yang disebut dengan geopolimer. Geopolimer merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai pengganti Semen Portland.

Abu layang batubara mengandung unsur kimia antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CaO , juga mengandung unsur tambahan lain yaitu MgO , TiO_2 , alkalin (Na_2O dan K_2O),

SO₃, P₂O₅ dan karbon. Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Komposisi dan Klasifikasi Abu Layang

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

Sumber : Wardani, 2008

Berdasarkan komposisi kimianya, ASTM C 618 mengelompokkan abu layang ke dalam tiga kelas yaitu kelas N, kelas F, dan kelas C (Tabel 2.2).

Tabel 2. 2 Pengelompokan kelas abu layang berdasarkan ASTM C 618 1994

Persyaratan	Komposisi (%)		
	Kelas N	Kelas F	Kelas C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	70	70	50
Belerang trioksida (SO ₃)	4	5	5
Kelembaban	3	3	3
Susut bakar	10	6	6

Sumber : Wardani (2008)

Abu layang kelas N merupakan material pozzolan alami yang terkalsinasi. Abu layang kelas F diproduksi dari pembakaran batu bara antrasit atau bituminus yang bersifat pozzolan sedangkan kelas C berasal dari pembakaran batubara

jenis lignite atau *sub-bituminus* yang bersifat pozzolan dan *cementitious*.

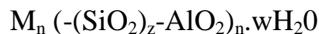
2.2 Aktivator

Pada pembuatan geopolimer diperlukan aktivator untuk memperlancar jalannya reaksi. Karena saat pembuatan geopolimer terjadi reaksi polimerisasi secara kondensasi. Senyawa aktivator yang secara umum digunakan ialah senyawa NaOH dan KOH. Aktivator dengan senyawa NaOH cenderung dapat menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan aktivator yang menggunakan senyawa KOH meskipun, kedua senyawa aktivator yang digunakan dalam pembuatan geopolimer memiliki konsentrasi yang sama. Pada pembuatan geopolimer aktivator yang berupa padatan dilarutkan kedalam air yang disesuaikan dengan molaritas larutan aktivator yang diinginkan (Adiputro, 2013). Konsentrasi dari aktivator sangat berpengaruh pada kekuatan mekanik geopolimer. Karena sifat dan konsentrasi dari alkali aktivator memiliki pengaruh yang dominan pada struktur dan sifat geopolimer (Kornjenovic dkk., 2010). Semakin tinggi konsentrasi aktivator, semakin besar kekuatan dari geopolimer. Hal tersebut dikarenakan apabila konsentrasi tinggi, jumlah mol yang dapat membentuk ikatan polimer juga semakin banyak (Adiputro, 2013).

2.3 Geopolimer

Beton geopolimer merupakan beton geosintetik yang tidak menggunakan semen sebagai bahan dasar, tetapi menggunakan bahan *pozzolan* berupa abu layang yang banyak mengandung unsur Al dan Si dimana unsur-unsur ini sangat memegang peranan penting dalam mempengaruhi karakteristik geopolimer.

Dalam pembuatan geopolimer dibutuhkan larutan alkali yang berfungsi sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari Si dan Al yang terkandung dalam abu layang . Larutan alkali yang umum digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat (Lloyd dan Rangan, 2010). Hardjito dan Rangan (2005), menyebutkan bahwa ketika konsentrasi (molaritas) dari larutan natrium hidroksida semakin tinggi maka kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkanpun semakin tinggi. Perbandingan rasio Na_2SiO_3 dengan NaOH juga turut menentukan kuat tekan beton geopolimer. Kandungan Na_2SiO_3 yang lebih banyak menyebabkan nilai kuat tekan beton geopolimer yang lebih tinggi dibanding dengan kandungan NaOH yang lebih banyak. Rumus empirik dari geopolimer adalah:



dimana M merupakan kation monovalent seperti K^+ atau Na^+ , n adalah derajat polikondensasi, z adalah bilangan 1, 2, atau 3 sampai dengan 32, dan w adalah jumlah H_2O yang terikat.

Proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si–Al sehingga menghasilkan rantai polymerik tiga dimensi dan ikatan struktur Si–O–Al–O yang konsisten (Davidovits,1991).

2.4 *X-Ray Diffraction (XRD)*

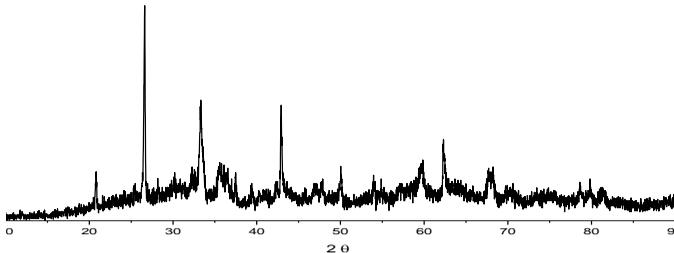
Difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) merupakan salah satu metode karakterisasi material untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam mineral dengan cara menentukan parameter struktur kisi untuk mendapatkan

ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg :

$$n\lambda = 2d \sin\theta ; n = 1,2,\dots \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2.1)$$

dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n merupakan orde difraksi. Dari perasamaan ini dapat dihitung jarak interplanar material kristal yang diuji. Jarak interplanar hanya bergantung pada unit sel kristal, dimana intensitas sinar yang dibiaskan merupakan fungsi perpindahan atom dalam unit sel (Sibilia, 1996).

XRD dapat digunakan untuk menentukan komposisi mineral dan kristalinitas pada sampel abu layang awal dan geopolimer sehingga dari data komposisi mineral dan kristalinitas pada XRD dapat memprediksi bagaimanakah kemungkinan geopolimer yang akan terbentuk. Berikut adalah gambar hasil analisa XRD pada abu layang yang digunakan pada pembuatan geopolimer yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Difraktogram Sinar-X abu layang dari PT IPMOMI (Supriadi, 2017)

2.5 *X-Ray Fluorescence (XRF)*

X-Rays Fluorescence (XRF) adalah salah satu metode analisis yang digunakan untuk menganalisis unsur dalam suatu sampel atau bahan secara kualitatif. Prinsip kerja metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh spektrum yang mewakili jenis unsur yang sesuai dengan energi sinar-X sedangkan untuk analisa kuantitatif diperoleh dengan membandingkan sampel dengan standar.

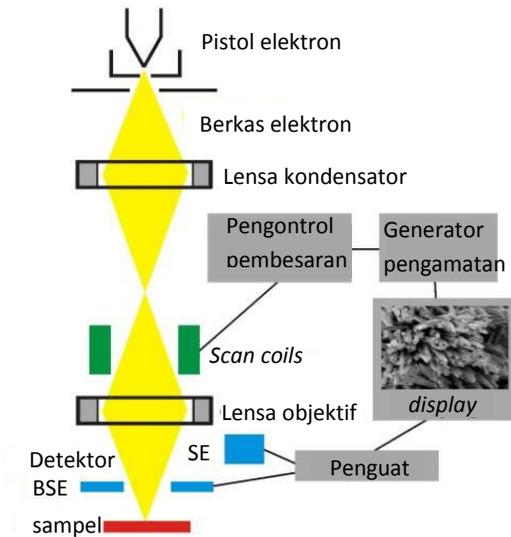
Dalam analisis kuantitatif faktor-faktor yang berpengaruh dalam analisis antara lain adalah matriks bahan, kondisi kevakuman dan konsentrasi unsur dalam bahan, pengaruh unsur yang memiliki energi karakteristik unsur yang dianalisis (Kriswarini dkk., 2010). Analisis XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (Beckhoff B dkk., 2007).

2.6 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan bagian dari mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar sampel dengan resolusi tinggi. Batas resolusi dari mikroskop elektron adalah 0,01-10,0 mikrometer sedangkan mikroskop elektron yang lebih kompleks memiliki batas resolusi hingga 0,005 mikrometer (Mulder, 1996)

Komponen dasar penyusun SEM adalah sistem vakum, sumber berkas elektron, sistem lensa, sistem deteksi, proses sinyal, *display*, dan perekam. Sistem penyusun secara bersama menentukan hasil dan kualitas, seperti perbesaran, resolusi, kedalaman medan, dan kecerahan (Prasetyoko dkk., 2016).

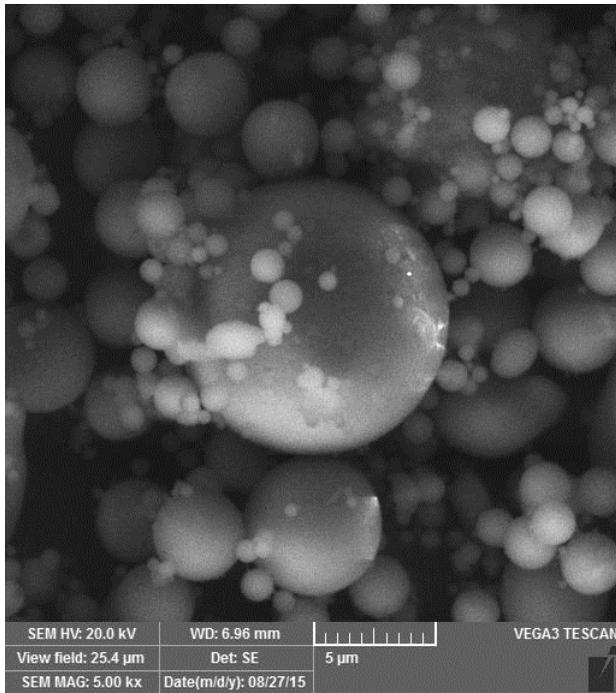
Kegunaan SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan dari suatu bahan atau material. Alat SEM ini juga dilengkapi dengan *detector disperse energy (EDX)* sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dianalisis.



Gambar 2. 2 Komponen SEM

(sumber : [www. Microscopy.ethz.ch](http://www.Microscopy.ethz.ch), diakses pada tanggal 08 April 2018 pukul 20.00 WIB)

Prinsip kerja SEM adalah *scanning*. Berkas elektron diarahkan dari titik (*electron gun*) ke titik objek spesimen. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca (*scanning*). Gambar SEM yang didapat menyatakan perbedaan unsur yang terkandung dalam bahan atau material. Terdapat warna gelap dan terang yang dihasilkan yang menunjukkan bahwa warna terang adanya unsur kimia yang memiliki nomor atom yang lebih tinggi dibandingkan warna yang gelap (Sujatno, 2015). Berikut terdapat contoh hasil SEM dari abu layang PT IPMOMI yang menunjukkan adanya warna gelap dan terang yang dihasilkan.



Gambar 2. 3 Foto SEM Abu Layang dari PT IPMOMI (Supriadi, 2017)

2.7 Particle Size Analyzer (PSA)

Analisis *particle size analyzer* (PSA) digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran dari suatu partikel. Alat ini menggunakan metode *laser diffractions* (LAS). Terdapat beberapa metode pengukuran selain metode LAS yaitu antara lain metode ayakan (*Sieve analysis*), metode sedimentasi, analisa gambar (mikrografi), *electronical sensing zone*, dan *electron microscope*. Digunakan metode LAS karena metode ini dinilai lebih akurat bila dibandingkan dengan metode analisis gambar maupun metode ayakan (*sieve analysis*),

terutama untuk sampel-sampel dalam ukuran nanometer maupun submikron. Metode ini menjadi prinsip dasar dalam instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA). Prinsip dari *laser diffraction* sendiri ialah ketika partikel-partikel melewati berkas sinar laser dan cahaya dihamburkan oleh partikel-partikel tersebut dikumpulkan melebihi rentang sudut yang berhadapan langsung. Distribusi dari intensitas yang dihamburkan ini dianalisis oleh komputer sebagai hasil distribusi ukuran partikel (James, 1991).

Penggunaan metode LAS pada *Particle Size Analyzer* (PSA) terdapat dua buah metode dalam pengukuran menggunakan antara lain metode basah dan kering. Metode basah, metode ini menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji. Sedangkan metode kering, merupakan metode yang memanfaatkan udara atau aliran udara yang berfungsi untuk melarutkan partikel dan membawanya ke *sensing zone*. Metode ini baik digunakan untuk ukuran yang kasar, dimana hubungan antar partikel lemah dan kemungkinan untuk beraglomerasi kecil (James, 1991).

PSA juga merupakan alat yang mampu mengukur partikel distribusi ukuran emulsi, suspensi dan bubuk kering. Hal ini dapat melakukan berbagai analisis dalam penggunaan operasi yang sangat ramah lingkungan.

1. Keunggulannya antara lain: Akurasi dan reproduksibilitas berada dalam $\pm 1\%$
2. Mengukur berkisar dari 0,02 nm sampai 2000 nm
3. Dapat digunakan untuk pengukuran distribusi ukuran partikel emulsi, suspensi, dan bubuk kering (Ehsan, 2016).

2.8 Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP)

Inductively coupled plasma spectrometer (ICP) merupakan instrumen yang digunakan untuk menganalisis kadar unsur-unsur logam dari suatu sampel dengan menggunakan metode spektrofotometer emisi. Terdapat 80 jenis unsur yang dapat dianalisis dengan metode ini. Prinsip umum dari alat ini adalah dengan mengukur intensitas energi atau radiasi yang dipancarkan oleh unsur-unsur yang mengalami perubahan tingkat energi atom (eksitasi / ionisasi) (Nugroho, dkk., 2007). Larutan sampel dihisap dan dialirkan melalui tabung kapiler ke nebulizer. Nebulizer akan mengubah larutan sampel menjadi bentuk aerosol yang selanjutnya diinjeksi oleh ICP. Pada temperatur plasma maka sampel akan mengalami ionisasi dan eksitasi. Atom yang tereksitasi akan kembali ke dalam keadaan awal (*ground state*) dan memancarkan sinar radiasi. Sinar radiasi ini didispersi dengan komponen optik. Sinar yang terdispersi secara berurutan muncul pada masing-masing panjang gelombang unsur dan dirubah dalam bentuk sinyal listrik yang besarnya sebanding dengan sinar yang dipancarkan oleh besarnya konsentrasi unsur. Sinyal ini kemudian diproses oleh bagian sistem pengolahan data (Amini, 1997).

Kelebihan alat ICP ini adalah sangat selektif dan dapat digunakan untuk mengukur beberapa unsur sekaligus secara berurutan dalam setiap pengukuran. ICP juga memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi semua elemen dengan pengecualian argon. Karena sensitivitas panjang gelombang bervariasi untuk setiap penentuan suatu unsur. ICP dapat dilakukan pada semua konsentrasi dan tidak memerlukan sampel yang banyak. Selain itu ketika melakukan analisis kuantitatif, analisis multi elemen dapat dicapai dan cukup

cepat. Analisis tersebut dapat dilakukan dalam waktu 30 detik dengan memakai 0.5 mL larutan sampel. Sedangkan kelemahan dari metode ini adalah pada sampel organik dan pada unsur-unsur yang tidak stabil tertentu memerlukan perlakuan khusus. Selain itu, ICP juga sulit untuk menganalisis unsur halogen, diperlukan optik khusus untuk transmisi dari panjang gelombang yang rendah.

2.9 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tinggi (P) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996)

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan dilaboratorium adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana: P = kuat tekan (MPa)
F = Beban tekan (N)
A = luas penampang benda uji (m²)

Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan

penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996).

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu ukur 25 mL, gelas beaker 100 mL, gelas beaker 250 mL, gelas ukur 50 mL, krusibel 100 mL, oven, pengaduk kaca, *mixer*, pengaduk besi, botol PP 100 mL, *magnetic stirrer*, pipet ukur 10 mL, pro-pipet, kertas indikator pH, pipet tetes, pipet tetes plastik, plastik *wrap*, kertas saring, plastik *clip*, toples plastik, *stirrer*, corong plastik, botol vial, cetakan yang berbentuk silinder dengan rasio diameter dan tinggi yaitu 1:2 dan neraca analitik. Sedangkan instrumen analisis yang digunakan untuk karakterisasi adalah mesin penguji kuat tekan (*universal testing machine*) di laboratorium beton program D3 Teknik Sipil ITS, *X-Ray Diffraction (XRD)* merk Expert PANalytical, *Scanning Electron Microscopy (SEM)* merk Zeiss EVO tipe MA 10, *Inductively Coupled Plasma (ICP)* merk Teledyne-Leeman di Laboratorium Studi Energi ITS, *Particle Size Analyzer (PSA)* merk Malvern Mastersizer 2000, *X-Ray Fluorescence (XRF)* yang ada di Laboratorium Pusat Pembelajaran PT Semen Indonesia, Gresik

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu layang (PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, Semen Gresik, dan Australia), natrium hidroksida (NaOH) p.a., HCl 37%, natrium silikat (Na_2SiO_3) teknis (*water glass*),

aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) dari merk, dan air terdemineralisasi (aqua DM).

3.2 Prosedur kerja

3.2.1 Preparasi Abu Layang

Abu layang diayak dengan menggunakan ayakan 100 mesh dan dikeringkan dalam oven pada suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Abu layang yang telah dikeringkan selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui kekristalan dan komposisi fasa abu layang. XRF (*X-Ray Fluorescence*) digunakan untuk mengetahui komposisi unsur dari abu layang, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi dan bentuk partikel abu layang, dan PSA (*Particle Size Analyzer*) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel abu layang.

3.2.2 Uji Kelarutan Abu Layang

Abu layang dilarutkan ke dalam basa kuat menggunakan NaOH 10 M dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 5 jam pada suhu ruang. Setelah pengadukan, selanjutnya larutan sampel disaring dan filtratnya dinetralkan menggunakan HCl 37% didalam lemari asam sampai dengan pH 7. Untuk mengetahui konsentrasi unsur terlarut maka diuji menggunakan *Inductively Coupled Plasma Spectrometer* (ICP).

3.2.3 Pembuatan Basa Pengaktif

Larutan basa pengaktif dibuat dengan cara mereaksikan larutan NaOH 14 M dan larutan Na_2SiO_3 (*waterglass*). Larutan NaOH dibuat dengan melarutkan 28 gram padatan NaOH ke dalam air terdemineralisasi (aqua

DM) hingga volume totalnya menjadi 50 mL. Larutan tersebut kemudian dibiarkan selama 24 jam. Selanjutnya, larutan NaOH ditambahkan ke dalam 80 gram Na_2SiO_3 dan diaduk hingga homogen.

3.2.4 Pembuatan Geopolimer

Metode pembuatan geopolimer ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Supriadi (2017). Pasta geopolimer dibuat dengan cara mencampurkan abu layang yang telah dikeringkan dengan larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan basa pengaktif. Larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dibuat dengan melarutkan 3,4 gram serbuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ ke dalam 24,5 mL air terdemineralisasi (aqua DM). Pencampuran bahan-bahan tersebut dilakukan dengan cara pengadukan yang menggunakan *mixer* selama 4 menit. Selanjutnya pasta geopolimer dimasukkan ke dalam cetakan yang berbentuk silinder dengan rasio diameter dan tinggi yaitu 1:2. Pasta yang dicetak dibiarkan selama 24 jam supaya ia mengeras. Geopolimer yang telah mengeras selanjutnya dioven selama 24 jam pada suhu 55 °C.

3.2.5 Karakterisasi

3.2.5.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Dilakukan analisis fasa atau kandungan mineral abu layang dari empat sumber tempat yang berbeda. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan alat XRD merk Expert PANalytical yang terdapat di laboratorium Teknik material dan metalurgi ITS. Kondisi operasional difraktogram sinar-X adalah dengan sumber sinar $\text{CuK}_\alpha 1$ ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), tegangan dan arusnya sebesar 40 kV dan 30 mA, dengan kecepatan : 2° permenit dan sudut difraksi $2\theta = (5-90)^\circ$.

3.2.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Abu layang dari empat sumber tempat yang berbeda dianalisis menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) merk Zeiss EVO tipe MA 10 yang ada di laboratorium Teknik material dan metalurgi ITS. Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari abu layang. Gambar yang diperoleh dibandingkan dan dilihat secara detail bentuk dan sebaran partikelnya.

3.2.5.2 X-Ray Fluorescence (XRF)

Dilakukan analisis X-Ray Fluorescence (XRF) pada abu layang dari empat sumber tempat yang berbeda. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat didalam abu layang. Analisis XRF dilakukan di laboratorium Pusat Pembelajaran PT Semen Indonesia yang berada di Gresik.

3.2.5.3 Particle Size Analyzer (PSA)

Dilakukan analisis *Particle Size Analyzer* (PSA) pada abu layang yang bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari abu layang tersebut. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Pusat Pembelajaran PT Semen Indonesia yang berada di Gresik.

3.2.5.4 Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP)

Dilakukan analisis *Inductively Coupled Spectrometer* (ICP) untuk mengetahui konsentrasi unsur Si dan Al yang terlarut pada uji kelarutan abu layang didalam larutan NaOH 10 M. Analisis ICP merk Teledyne-Leeman dilakukan di Laboratorium Studi Energi ITS.

3.2.5.5 Uji Kuat Tekan

Sampel geopolimer yang dibuat dan sudah mencapai hari ke-7 diuji kuat tekannya menggunakan mesin penguji kuat tekan (*universal testing machine*) di laboratorium beton Program D3 Teknik Sipil ITS. Setiap pengujian kuat tekan menggunakan 3 benda uji agar didapatkan kuat tekan rata-rata. Data yang diperoleh merupakan massa beban yang diberikan kepada geopolimer dalam satuan Newton. Kuat tekan geopolimer selanjutnya dilaporkan dalam satuan MPa.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Geopolimer

Pembuatan geopolimer diawali dengan pembuatan basa pengaktif terlebih dahulu. Basa pengaktif yang digunakan dalam pembuatan geopolimer merupakan campuran dari natrium silikat dengan larutan NaOH. Pertama-tama pellet NaOH dilarutkan kedalam aqua DM dan diperam minimal 6 jam untuk mengembalikan suhu dari larutan NaOH tersebut. Karena, pada proses pembuatan larutan NaOH terjadi reaksi eksoterm yang menyebabkan suhu pada larutan NaOH terasa panas. Ketika suhu dari larutan NaOH kembali normal selanjutnya, ditambahkan natrium silikat kedalamnya dan diperlakukan sama seperti pembuatan larutan NaOH yaitu, diperam dengan waktu minimal 6 jam hingga suhu kembali normal dan larutan basa pengaktif siap digunakan dalam pembuatan geopolimer.

Pembuatan geopolimer, abu layang ditimbang dan ditambahkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang telah dilarutkan dengan aqua DM. Pencampuran dilakukan hingga homogen dengan cara mengaduknya menggunakan *mixer*. Selanjutnya larutan basa pengaktif dituangkan kedalam campuran bahan tersebut dan diaduk hingga homogen selama 4 menit. Pasta geopolimer yang telah dibuat dituang kedalam cetakan silinder dengan perbandingan diameter cetakan:tinggi cetakan yaitu 1:2. Pasta geopolimer yang telah dicetak dibiarkan hingga mengeras hingga geopolimer dapat dikeluarkan dari cetakan. Geopolimer yang telah dikeluarkan dari cetakan, selanjutnya dioven dengan suhu $55\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam dan diuji kekuatan tekan ketika geopolimer berusia 7 hari.

Abu layang yang digunakan pada pembuatan geopolimer ini adalah abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan Australia. Metode pembuatan geopolimer yang digunakan mengacu pada penelitian Supriadi (2017) dengan menggunakan abu layang dari PT IPMOMI. Berikut adalah hasil pengamatan pada pembuatan geopolimer yang terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil pengamatan pada pembuatan geopolimer

No	Nama Sampel	Waktu <i>setting</i>	Keterangan
1	PLTU Pacitan	48 jam (2 hari)	Agak kental dan mudah dicetak
2	Semen Gresik	24 jam (1 hari)	Kental dan mudah dicetak
3	Petrokimia Gresik	24 jam (1 hari)	Agak kental dan mudah dicetak
4	Australia	168 jam (7 hari)	Kental dan mudah dicetak

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 di atas, waktu *setting* pada pembuatan geopolimer dengan sampel abu layang dari Semen Gresik dan Petrokimia Gresik membutuhkan waktu 24 jam (1 hari) untuk mengeras dan dapat dikeluarkan dari cetakan. Namun, geopolimer dengan abu layang dari Semen Gresik lebih cepat mengeras dibandingkan dengan abu layang dari Petrokimia Gresik. Berbeda dengan geopolimer yang menggunakan sampel abu layang dari PLTU Pacitan dan Australia, waktu *setting* pada geopolimer abu layang PLTU Pacitan membutuhkan waktu 48 jam (2 hari) dan Australia 168 jam (7 hari) untuk mengeras dan dapat dikeluarkan dari cetakan. Perbedaan waktu *setting* ini dapat terjadi

dikarenakan adanya perbedaan tipe C dan tipe F dari abu layang yang digunakan (Purwantoro dkk., 2016). Hal ini juga disebabkan oleh perbandingan kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ yang tidak sesuai dengan abu layang yang digunakan pada pembuatan geopolimer ini (Satria dkk., 2016)

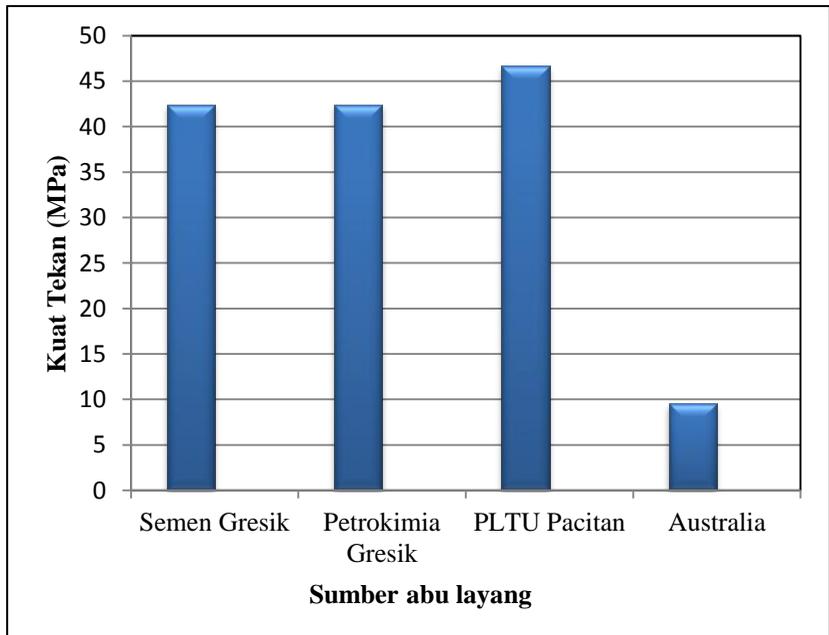


Gambar 4.1 Proses pencetakan dan pemeraman pasta geopolimer pada cetakan silinder dengan abu layang (A) Australia, (B) Semen Gresik, (C) PLTU Pacitan, (D) Petrokimia Gresik.

Gambar 4.1 di atas merupakan proses pencetakan dan pemeraman pasta geopolimer dari empat sumber abu layang yang berbeda-beda. Pemeraman dilakukan hingga geopolimer mencapai waktu *final setting*. Dengan begitu, geopolimer dapat dikeluarkan dari cetakan silinder dan dilakukan *curing* pada suhu $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. *Curing* dilakukan untuk memfasilitasi reaksi geopolimerisasi abu layang sehingga kuat tekan akan meningkat (Ferdy, 2010). Selain itu, *curing* juga dapat mencegah timbulnya retakan pada geopolimer, menjaga perbedaan suhu geopolimer dengan lingkungan sekitar, dan juga meningkatkan kuat tekan. Pada proses *curing*, geopolimer dibungkus dengan plastik untuk mengurangi penguapan selama *curing* berlangsung hingga pengujian kuat tekan dilakukan (Ekaputri, 2007).

4.1.1 Kuat Tekan Geopolimer

Pengukuran kuat tekan dilakukan pada geopolimer yang telah berusia 7 hari. Pengukuran kuat tekan yang dilakukan sesuai dengan acuan yang tertulis di dalam SNI 1974 tahun 2011 (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Kuat tekan geopolimer merupakan indikasi mutu sebuah struktur dimana semakin tinggi kekuatan tekannya, semakin tinggi pula mutu geopolimer yang dihasilkan. Berikut adalah grafik hasil pengukuran kuat tekan yang disajikan pada Gambar 4.2 dan data rata-rata hasil pengukuran kuat tekan pada Tabel 4.2.



Gambar 4.2 Hasil pengukuran kuat tekan geopolimer pada usia 7 hari

Tabel 4. 2 Rincian data hasil pengukuran uji kuat tekan geopolimer pada usia 7 hari

Nama sampel	Kuat Tekan (MPa)
Semen Gresik	42,46
Petrokimia Gresik	42,46
PLTU Pacitan	46,71
Australia	9,55

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 di atas, hasil rata-rata pengukuran kuat tekan terendah diperoleh sebesar 9,55 MPa yang terjadi pada geopolimer bersumber abu layang dari Australia. Sedangkan hasil kuat tekan tertinggi didapatkan sebesar 46,71 MPa yaitu pada geopolimer bersumber abu layang dari PLTU Pacitan. Jika dibandingkan data kuat tekan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Supriadi (2017) dengan menggunakan abu layang dari PT IPMOMI pada pembuatan geopolimernya, kuat tekan geopolimer dengan abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, dan Petrokimia Gresik jauh lebih unggul. Karena hasil kuat tekan pada penelitian supriadi (2017) didapatkan data sebesar 19,2 MPa dengan metode pembuatan geopolimer yang sama. Berdasarkan SNI 2847 tahun 2013, produksi beton mempunyai standar uji kuat tekan sebesar 7 MPa (Badan Standardisasi Nasional, 2013). Hasil pengukuran kuat tekan geopolimer dengan abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan australia dalam hal ini sangat sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dalam SNI 2847 tahun 2013.

Terdapat beberapa faktor yang dapat menentukan besar kecilnya hasil pengukuran kuat tekan geopolimer ini

yaitu, perbandingan kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ yang tidak sesuai dengan abu layang yang digunakan, usia geopolimer, waktu *curing*, jenis abu layang yang digunakan, dan proses pengamplasan. Kuat tekan geopolimer semakin meningkat dengan bertambahnya usia geopolimer. Kemudian, jenis abu layang juga mempengaruhi besar kecilnya hasil pengukuran. Pada abu layang terdapat tipe F dan tipe C, yang mana kandungan didalamnya sangat mempengaruhi hasil pengukuran. Waktu *curing* juga dapat mempengaruhi kuat tekan. Seperti yang terjadi pada geopolimer dengan abu layang dari Australia membutuhkan waktu *curing* 7 hari untuk terjadi *final setting*. Namun bila dilihat dari data kuat tekan yang rendah, menandakan bahwa geopolimer yang terbentuk tidak begitu keras struktur fisiknya seperti geopolimer lainnya. Hal tersebut dimungkinkan ia membutuhkan waktu *curing* lebih lama (≥ 7 hari) untuk menghasilkan geopolimer yang lebih keras struktur fisiknya agar mendapatkan hasil kuat tekan yang lebih tinggi dari yang sudah dihasilkan. Selanjutnya ialah proses pengamplasan permukaan geopolimer. Proses pencetakan menyebabkan permukaan geopolimer yang tidak rata dan juga mempengaruhi pada ketinggiannya. Sehingga diperlukan perlakuan pengamplasan untuk meratakan permukaan dan menyeragamkan tinggi dari geopolimer-geopolimer yang akan diujikan.

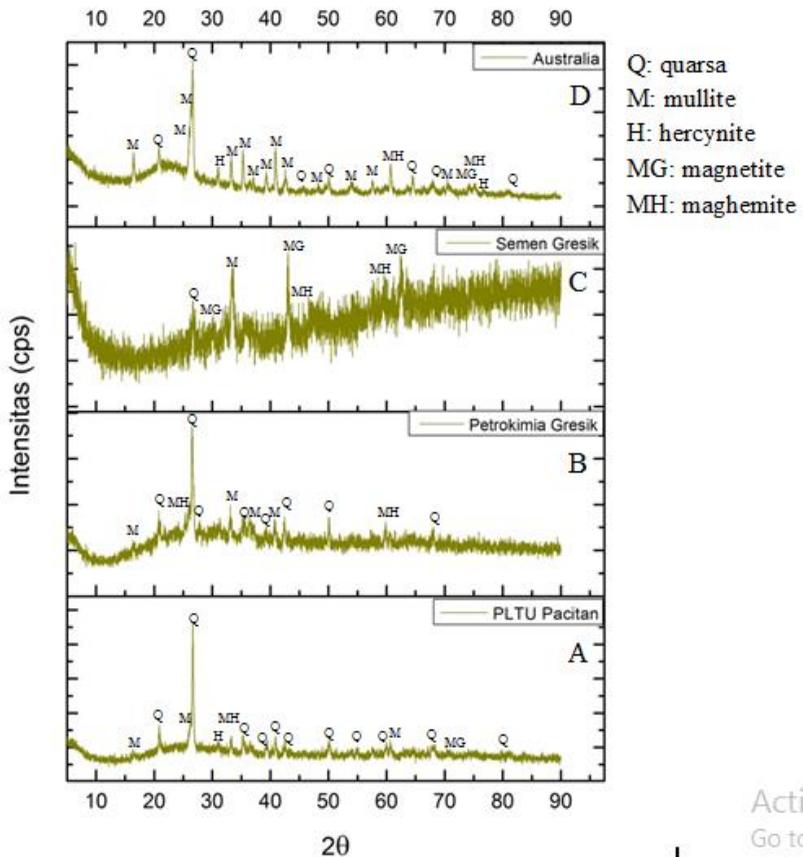
4.2 Hasil-hasil Karakterisasi Abu Layang

4.2.1 Komposisi fasa dan kekeristalan

Tahap awal dari penelitian ini adalah dilakukan preparasi abu layang yang diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 100 mesh dan selanjutnya dikeringkan di dalam oven dengan suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Pengeringan

Abu layang dilakukan untuk menghilangkan kadar air didalamnya supaya tidak mengganggu proses analisis serta proses perhitungan rasio *solid/liquid* pada sampel abu layang tersebut.

Komposisi fasa dan kekristalan abu layang dianalisis menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Analisis dilakukan dengan sumber sinar $\text{CuK}_{\alpha 1}$ ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), tegangan dan arusnya sebesar 40 kV dan 30 mA, dengan kecepatan $2^\circ/\text{menit}$ dan sudut difraksi $2\theta = (5-90)^\circ$. Gambar 4.3 adalah difraktogram abu layang dari PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, Semen Gresik, dan Australia. Hasil difraktogram menunjukkan pola difraksi yang relatif sama, untuk puncak khas dari abu layang yaitu terdapat puncak khas kuarsa secara berurutan yang berada di 2θ : 26,63; 26,55; 26,66 dan 26,63 $^\circ$ pada masing-masing abu layang. Pada abu layang PLTU Pacitan dan Petrokimia, puncak-puncak difraksi didominasi oleh fasa kuarsa. Sedangkan untuk abu layang semen gresik, puncak-puncak difraksi didominasi oleh fasa magnetit dan Australia didominasi oleh fasa mullite. Hal yang harus diperhatikan terhadap abu layang adalah reaktifitasnya sebagai sumber bahan. Tidak semua Si dan Al pada abu layang larut pada saat pencampuran dengan larutan NaOH dan natrium silikat. Hanya Si dan Al dalam fasa amorf yang lebih mudah melarut dalam kondisi basa yang kuat (Xu dan Deventer, 2002). Abu layang yang amorf lebih reaktif sehingga, lebih mudah mengalami pelarutan Si dan Al dalam larutan alkalin.



Gambar 4. 3 Difraktogram sinar-X abu layang dari A) PLTU Pacitan, B) Petrokimia Gresik, C) Semen Gresik, dan D) Australia

Pada Gambar 4.3 di atas terlihat adanya fasa quarsa (ditandai dengan Q), mullite (ditandai dengan M), Hercynite ditandai dengan H), Magnetite (ditandai dengan MG), dan Maghemite (ditandai dengan MH). Berdasarkan difraktogram

diatas dari empat abu layang yang digunakan, abu layang dari Semen Gresik lebih amorf dibandingkan dengan abu layang dari PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, dan Australia. Hal tersebut dapat dilihat dari difraktogram yang dihasilkan, sedikit sekali puncak kristalin yang terbentuk pada abu layang semen gresik. Oleh karena itu, abu layang dari semen gresik adalah abu layang yang paling reaktif dan mudah mengalami pelarutan Si dan Al dibandingkan abu layang dari PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, dan Australia.

Tabel 4.3 merupakan data persen kekristalan dari masing-masing abu layang yang digunakan pada pembuatan geopolimer ini. Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa kekristalan dari abu layang tidak berkaitan langsung dengan kuat tekan dari geopolimer yang dihasilkan.

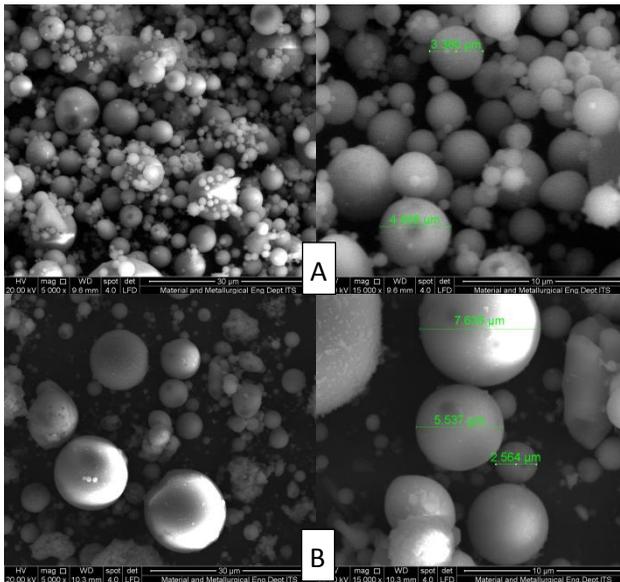
Tabel 4. 3 Persen kekristalan abu layang yang digunakan dalam pembuatan geopolimer

Nama Sampel	Kekristalan (%)	Kuat Tekan (Mpa)
Petrokimia Gresik	100	42,46
Australia	71,42	9,55
PLTU Pacitan	70	46,71
Semen Gresik	38,89	42,46

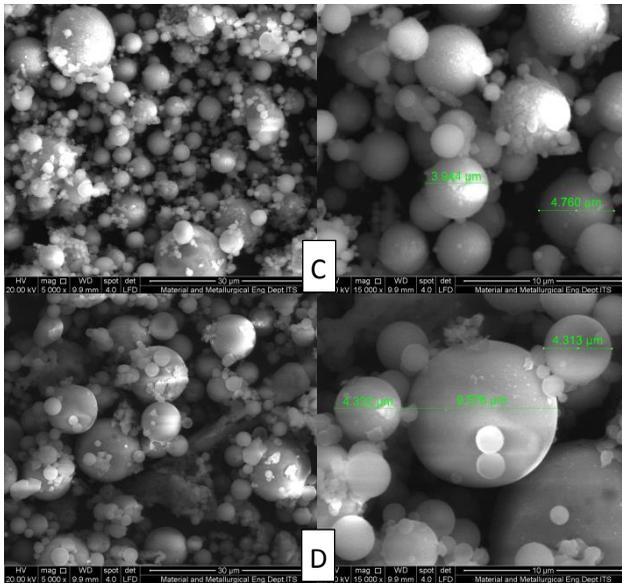
4.2.2 Morfologi Abu Layang

Analisis SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari sampel abu layang yang digunakan dalam pembuatan geopolimer. Analisis SEM juga dilakukan untuk mengetahui sebaran ukuran pasrtikel dari abu layang. Hal tersebut akan

diperkuat dengan adanya data dari uji distribusi ukuran partikel. Abu layang adalah padatan/serbuk partikel yang berbentuk bulat (*spherical*). Abu layang memiliki ukuran yang berbeda-beda dan heterogen karena saat melalui daerah pembakaran (*burning zone*) pada pembangkit listrik setiap partikel batubara mengalami perubahan sifat kimia dan sifat fisika yang berbeda (Supriadi 2017).



Gambar 4.4 Foto SEM abu layang dari (A) PLTU Pacitan dan (B) Petrokimia Gresik



Gambar 4.5 Foto SEM abu layang dari (C) Semen Gresik, dan (D) Australia

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan 4.5 yang mana merupakan hasil analisis SEM. Abu layang dari PLTU Pacitan dan Semen Gresik didominasi oleh partikel yang berukuran $\leq 5\mu\text{m}$. Sedangkan untuk abu layang dari Petrokimia Gresik dan Australia didominasi oleh partikel yang berukuran $\leq 6\mu\text{m}$ untuk Petrokimia Gresik dan $\leq 10\mu\text{m}$ untuk Australia. Hal tersebut menandakan bahwa terdapat banyak partikel yang halus dalam abu layang tersebut. Kehalusan ini juga dapat mempengaruhi reaktivitas pada abu layang dan juga dapat meningkatkan *workability*.

4.2.3 Sebaran Ukuran Partikel

Analisis PSA dilakukan untuk mendapatkan ukuran dan sebaran partikel sebagai bahan dasar pada penelitian ini. Abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan Australia dianalisis menggunakan alat *Particle Size Analyzer* Malvern Mastersizer 2000. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan distribusi ukuran partikel dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.6 . Pada Tabel 4.5 terlihat bahwa abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan Australia mengandung partikel halus berukuran $\leq 43\mu\text{m}$ secara berurutan sebesar 80,37%; 91,09%; 82,09%; dan 83,76%. Komljenovic dkk. (2010) telah melaporkan bahwa abu layang dapat menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan yang baik apabila mengandung partikel halus $\leq 43\mu\text{m}$ lebih dari 68,5 % dengan kuat tekan mencapai 42,9 MPa setelah 7 hari waktu *curing*. Sehingga, dapat dikatakan bahwa kehalusan ukuran partikel dari abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan Australia memenuhi persyaratan sebagai bahan baku yang dapat menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan tinggi.

Tabel 4. 4 Ukuran partikel abu layang (dalam μm)

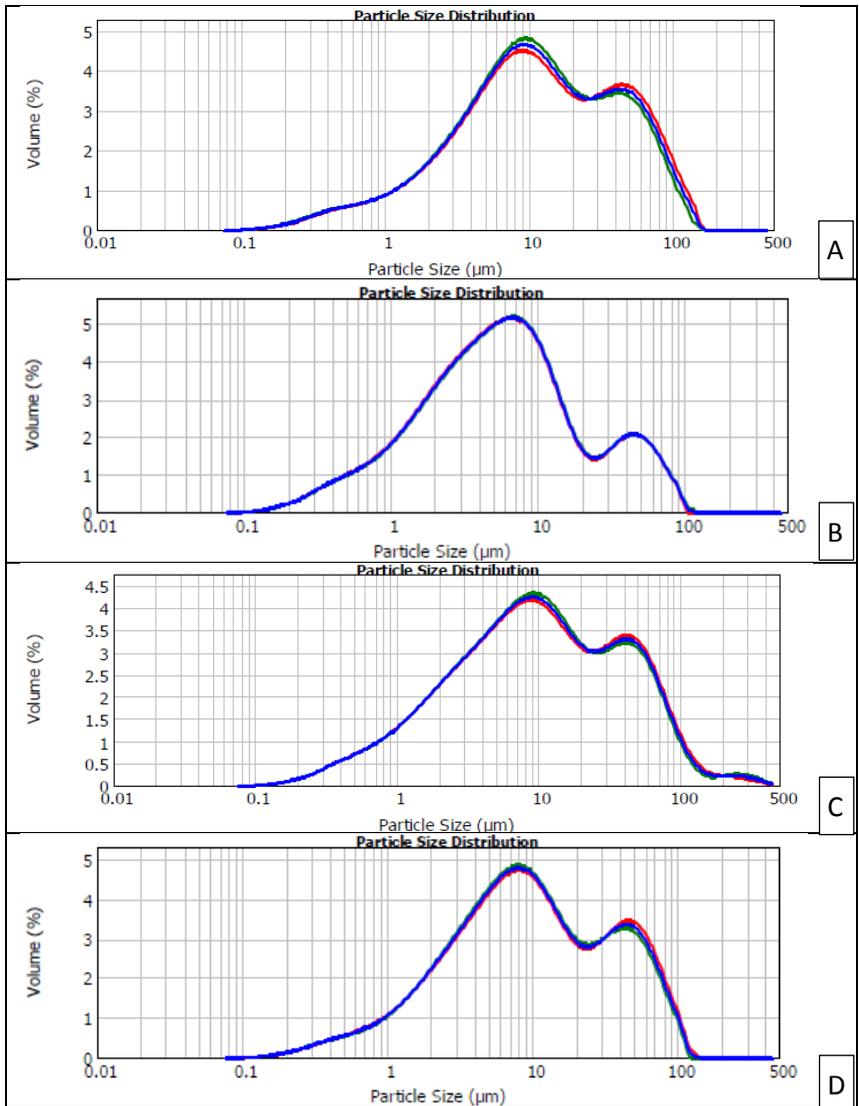
Parameter	Asal Abu Layang			
	PLTU Pacitan	Semen Gresik	Petrokimia Gresik	Australia
Diameter 10% (d_{10})	1,80	0,99	1,34	1,59
Diameter 50% (d_{50})	11,29	5,49	9,62	9,02
Diameter 90% (d_{90})	61,34	36,77	58,45	53,28
Luas Permukaan (m^2/g)	0,43	0,71	0,51	0,47

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran ukuran partikel abu layang

Ukuran (μm)	PLTU Pacitan (%)	Semen Gresik (%)	Petrokimia Gresik (%)	Australia (%)
0,5	2,40	4,04	2,74	2,29
1,0	5,56	10,12	7,10	5,77
2,0	11,10	21,62	15,08	13,0
2,5	13,84	26,85	18,64	16,59
3,0	16,53	31,62	21,90	20,04
5,0	26,71	46,93	32,73	32,24
1,0	46,33	69,72	51,07	53,17
12,18	52,21	75,13	56,40	58,89
15,0	57,99	79,59	61,64	64,22
20,0	65,04	83,65	67,99	70,29
25,0	69,96	85,83	72,45	74,42
36,0	77,96	89,73	79,84	81,51
40,0	80,37	91,09	82,09	83,76
45,0	83,10	92,68	84,64	86,34
50,0	85,52	94,10	86,87	88,64
63,0	90,55	96,93	91,37	93,33
80,0	94,86	99,0	94,94	97,08
90,0	96,51	99,64	96,20	98,37
100,0	97,70	99,94	97,06	99,23
112,0	98,68	100,0	97,73	99,83
125,0	99,37	100,0	98,18	99,97
150,0	99,97	100,0	98,64	100,0
224,0	100,0	100,0	99,26	100,0
355,0	100,0	100,0	99,87	100,0
400,0	100,0	100,0	99,95	100,0
450,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Berdasarkan Tabel 4.5 abu layang dari Semen Gresik lebih halus dibandingkan dengan abu layang dari PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, dan Australia. Hal tersebut dapat dilihat dari ukuran partikel 112 μm , kehalusan abu layang dari Semen Gresik mencapai 100% dibandingkan abu layang dari PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, dan Australia. Ukuran partikel abu layang yang heterogen atau tidak seragam ini dapat mempengaruhi sifat mekanik dari geopolimer yaitu dapat menurunkan nilai kekuatan dari geopolimer. Van Jarsveld dkk. (2003) dan Soutsos dkk. (2016) menyatakan bahwa salah satu faktor yang berpengaruh besar pada sifat mekanik dan fisik geopolimer dari abu layang adalah ukuran partikel abu layang. Meskipun terjadi sinergi antara sifat fisika, sifat kimia dan mineralogi bahan baku, sifat fisik dan kekuatan mekanik geopolimer abu layang sangat dipengaruhi oleh partikel-partikel abu layang yang berukuran lebih besar dari 43 μm yang jumlah minimumnya adalah sekitar 68,5 % berat abu layang (Kopljenovic, 2010). Semakin banyak partikel yang berukuran besar pada abu layang yang disintesis menjadi geopolimer, abu layang akan sulit untuk larut sempurna dalam larutan basa pengaktif sehingga dapat mempengaruhi kuat tekan dari geopolimer itu sendiri.

Distribusi ukuran partikel abu layang memiliki peranan yang penting dalam perkembangan sifat mekanik dari geopolimer (Chindaprasirt dkk., 2004). Abu layang dengan jumlah partikel yang halus dapat menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan yang baik. Hal ini diperkuat oleh penelitian Leong dkk. (2016) yang menyatakan variasi ukuran dan distribusi partikel berkaitan dengan kuat tekan geopolimer.



Gambar 4.6 Distribusi ukuran partikel abu layang A) PLTU Pacitan, B) Semen Gresik, C) Petrokimia Gresik, dan D) Australia

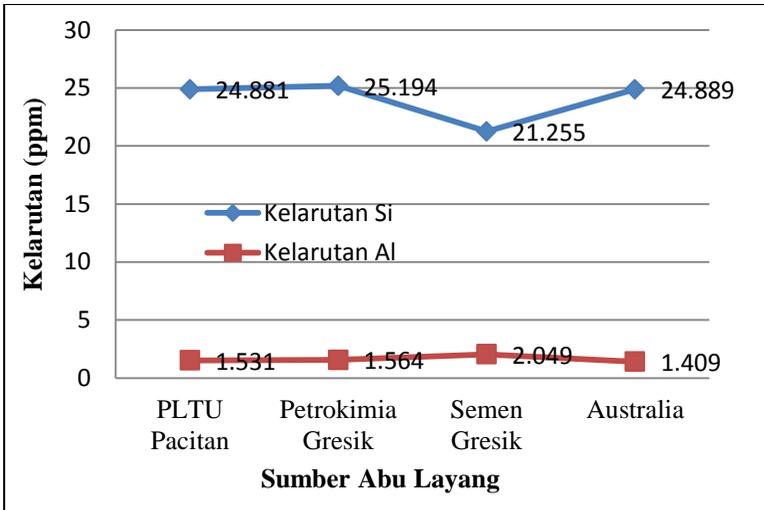
4.2.4 Kelarutan Si dan Al

Hasil kelarutan abu layang dalam larutan NaOH disajikan pada Tabel 4.6. Uji kelarutan dilakukan pada suhu ruang dengan menggunakan larutan NaOH 10 M dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam.

Tabel 4. 6 Hasil pengukuran uji kelarutan

No	Nama Sampel	Si (ppm)	Al (ppm)
1	PLTU Pacitan	24,88	1,53
2	Petrokimia Gresik	25,19	1,56
3	Semen Gresik	21,25	2,05
4	Australia	24,89	1,41

Pada Tabel 4.6 terlihat bahwa kelarutan Si tertinggi yaitu sebesar 25,19 ppm didapatkan pada abu layang petrokimia Gresik sedangkan kelarutan Al tertinggi yaitu sebesar 2,05 ppm didapatkan pada abu layang Semen Gresik. Penggunaan konsentrasi larutan NaOH dapat memengaruhi kelarutan dari Si dan Al. Pengaruh konsentrasi larutan NaOH yang digunakan dalam pembuatan geopolimer ini telah banyak dilaporkan oleh banyak peneliti. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH untuk mendisolusi permukaan abu layang, semakin tinggi pula jumlah kelarutan Si dan Al yang dihasilkan (Goni dkk., 2003). Somna dkk. (2011) telah menggunakan konsentrasi larutan NaOH antara 9,5 M sampai 16,5 M dimana konsentrasi larutan NaOH pada 9,5 M-14 M menghasilkan kuat tekan pada geopolimer antara 20-23 MPa. Namun, semakin tinggi konsentrasi NaOH juga dapat menurunkan kuat tekan geopolimer itu sendiri. Hasil ekstrapolasi uji kelarutan Si dan Al disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kelarutan Si dan Al pada abu layang PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, Semen Gresik, dan Australia

4.2.5 Komposisi Unsur Penyusun Abu Layang

Analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur penyusun abu layang. Pada umumnya abu layang mengandung unsur-unsur Si, Al, Fe sebagai penyusun utama dan unsur-unsur Mg, Ca, S dan lainnya dengan jumlah yang bervariasi. Unsur-unsur tersebut dilaporkan dalam bentuk oksida. Informasi komposisi unsur abu layang ini sangat penting karena dasar pembuatan geopolimer adalah dari kandungan komposisi unsurnya. Sehingga, dilakukan analisis XRF ini. Dari komposisi abu layang ini dapat digunakan untuk mengetahui rasio Si/Al yang selanjutnya dapat ditentukan resep pembuatan geopolimernya.

Tabel 4. 7 Hasil analisa komposisi abu layang menggunakan XRF

No	Senyawa	Kandungan (%)			
		PLTU Pacitan	Semen Gresik	Petrokimia Gresik	Australia
1	MgO	0,00	1,60	0,00	0,00
2	Al ₂ O ₃	19,50	6,20	19,80	22,90
3	SiO ₂	49,40	17,30	36,10	68,30
4	P ₂ O ₅	1,00	0,00	1,10	0,82
5	SO ₃	1,70	0,40	0,40	0,00
6	K ₂ O	1,03	1,07	1,27	0,36
7	CaO	8,75	30,90	9,18	0,40
8	Sc ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02
9	TiO ₂	1,56	0,97	1,88	4,43
10	V ₂ O ₅	0,05	0,05	0,07	0,19
11	Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,03	0,04
12	MnO	0,25	0,36	0,2	0,00
13	Fe ₂ O ₃	16,50	34,4	24,1	1,34
14	CuO	0,04	0,00	0,05	0,07
15	ZnO	0,07	0,09	0,07	0,15
16	ZrO ₂	0,00	0,00	0,00	0,40
17	Rb ₂ O	0,00	0,4	0,00	0,00
18	MoO ₃	0,00	4,1	5,10	0,00
19	BaO	0,20	0,55	0,3	0,00
20	Re ₂ O ₇	0,00	0,00	0,30	0,60
21	HgO	0,00	1,5	0,00	0,00

Tabel 4.7 diatas merupakan data hasil analisa XRF abu layang yang digunakan dalam pembuatan geopolimer.

Data-data kandungan abu layang yang didapatkan kemudian diklasifikasikan tipe abu layangnya yang disajikan pada Tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4. 8 klasifikasi tipe abu layang yang digunakan dalam pembuatan geopolimer berdasarkan data XRF

No	Keterangan	PLTU Pacitan	Semen Gresik	Petrokimia Gresik	Australia
1	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	85,4	57,9	80	92,54
2	Klasifikasi	Tipe F	Tipe C	Tipe F	Tipe F

Menurut Zerfu dan Ekaputri (2016), geopolimer terbaik hanya dapat dihasilkan dari abu layang tipe F. dalam penelitian ini, abu layang yang diklasifikasikan dalam tipe F adalah abu layang dari PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, dan Australia dengan data kuat tekan secara berurutan sebesar 46,71; 42,46; dan 9,55 MPa. Geopolimer dengan abu layang dari Australia memiliki data kuat tekan terendah diantara geopolimer dengan abu layang dari PLTU Pacitan dan Petrokimia Gresik meskipun dinyatakan telah sesuai dengan SNI 2847 tahun 2013. Hasil kuat tekan yang rendah ini juga dapat disebabkan oleh waktu *curing* yang kurang lama dan kandungan CaO yang terlalu sedikit. Dalam abu layang dari Australia ini memiliki kandungan CaO yaitu sebesar 0,4%. sehingga, waktu *setting* geopolimer dengan abu layang dari Australia ini juga membutuhkan waktu yang lama menuju *final setting*. keberadaan kandungan CaO dalam abu layang

ini cukup penting. Karena kandungan kalsium pada abu layang dalam pembuatan geopolimer ini mempengaruhi waktu *setting* dan juga kuat tekan. Sedangkan pada abu layang tipe C, keberadaan kandungan kalsium yang tinggi pada abu layang tersebut hanya baik digunakan sebagai baham baku geopolimer jika diperlukan kekuatan awal yang tinggi..

BAB V

KESIMPULAN

Digunakan abu layang dari PLTU Pacitan, Semen Gresik, Petrokimia Gresik, dan Australia sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer pada penelitian ini. Dihasilkan uji kuat tekan secara berurutan sebesar 46,71; 42,46; 42,46; 9,55 MPa. Kekuatan tekan yang dihasilkan sesuai dengan standar SNI 2847 tahun 2013 yang dinyatakan produksi beton mempunyai standar uji kuat tekan sebesar 7 MPa. Selain kelarutan Si dan Al, komposisi unsur dan keberadaan fasa amorf dalam abu layang menjadi salah satu faktor penentu kekuatan tekan. Karena, abu layang yang amorf lebih mudah mengalami pelarutan Si dan Al dalam larutan alkalin dikarenakan lebih reaktif, CaO dalam abu layang mempengaruhi waktu *setting* pada geopolimer. Kandungan CaO yang tinggi dapat menghasilkan kekuatan awal yang tinggi pada geopolimer. selain itu, ukuran partikel dan kehalusan juga dapat mempengaruhi kekuatan tekan. kehalusan dapat mempengaruhi reaktivitas abu layang. Pada penelitian ini abu layang dari Semen Gresik memiliki tingkat kehalusan yang lebih tinggi dibandingkan abu layang dari PLTU Pacitan, Petrokimia Gresik, dan Australia.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adiputro, S. T. (2013) *Campuran Geopolimer Fly Ash Sebagai Material Mortar Perbaikan*, Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Politeknik Negeri Bandung.
- Amini, S. (1997) *Spektrometri Emisi, Pelatihan dan Keahlian Analisis Kimia Bahan Nuklir Secara Spektrometri*, Pusdiklat Batan, Serpong.
- ASTM C 618 (2005) *Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Mixture in Portland Cement Concrete*. American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, Pennsylvania, Volume 04.02.
- Badan Standardisasi Nasional (2011) SNI 1974:2011 *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2013) SNI 2847:2013 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Bakrie, A.M. Mustafa Al, Kamarudin, H., Bnhussain, M., Nizar, I. K., Rafiza, A.R. and Zarina, Y. (2012) *The Processing, Characterization, and Properties of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Sci 30. Hal 90-97.
- Beckhoff, B., Kanggieber, B. Langhoff, N., Wedell, R., and Wolff. H (2006) *Handbook of Practical X-ray Fluoresense analysis*. ISBN 3-540-28603-9. Berlin:Springer.
- Chindapasirt, P., Jaturapitakkul, C., Chalee, W. and Rattanasak, U. (2009) Comparative study on the

- characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers, *Journal Waste Management*, Vol. 29, hal. 539-543.
- Davidovits, J. (1991). *Geopolymer : Inorganic Polymeric New Materials, journal of thermal analysis*. Vol 37, PP. 1633-1656
- Dipohusodo, I. (1996) *Manajemen Proyek & Konstruksi*, Kanisius, Jogjakarta.
- Ehsan, K. M., Hossain, Md. R., Manzur, T., Shohag, A., Tabassum, N. (2016). Particle Size Analysis by Image Processing Technique. Department of Civil Engineering. Bangladesh University of Engineering & Technology, Dhaka.
- Ekaputri, J. J., Triwulan. dan Damayanti, O. (2007) Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif, *Jurnal PONDASI*, Vol. 13 No.2.
- Fansuri, H., Swastika, N. dan Atmaja, L. (2008) Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton, *Akta Kimindo*, Vol.3 No. 2, hal. 61-66.
- Ferdy (2010) *Pengaruh Temperatur dan Waktu Curing Terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang*, Skripsi, Teknik Material dan Metalurgi. Universitas Indonesia.
- Goni, S., Guerrero, A., Luxan, M. P., and Macias, S. (2003) Activation of the fly ash pozzolanic reaction by hydrothermal conditions, *Chemistry Concrete Research*, Vol. 39, hal. 1339-1405.
- Hardjito, D. and Rangan, B. V. (2005) Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Research Report GC, 94*.

- Harijono, D (2006). Fly Ash dan Pemanfaatannya, *Prosiding Seminar Nasional Batubara Indonesia*, Yogyakarta:UGM.
- Husin, A. A. (2005) *Pemanfaatan Limbah untuk Bahan Bangunan*, Jakarta.
- James P. M. S. (1991) *Principles, Methods, and Application of Particle Size Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Komljenovic, M., Bascarevic, Z. and Bradic, V. (2010) Mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash geopolymers, *Journal of Hazardous Materials*, hal. 35-42.
- Kriswarini, R., Anggraini, D. dan Djamaludin, A. (2010) Validasi Metoda XRF (XRay Fluorescence) Secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn dan Fe dalam Paduan Aluminium, *Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta.
- Leong, H.Y., Ong, D.E.L., Sanjayan, J.G. and Nazari, A. (2016) Suitability of Sarawak and Gladstone fly ash to produce geopolymers: A physical, chemical, mechanical, mineralogical and microstructural analysis, *Journal of Ceram. Int*, Vol. 42, hal. 9613-9620.
- Lloyd, N. A. and Rangan, B. V. (2010) Geopolymer Concrete with Fly Ash, *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Vol. 3, 1493–1504
- Mulder, M. (1996) *Basic Principle of membrane technology*. Kluwer Academic Publisher, Netherlands.

- Nugroho, A., Wahyono, H., dan Fatimah, S. (2007) Metode Analisis untuk Penentuan Unsur As dan Sb Menggunakan ICP AES Plasma 40, *Prosiding PPI-PDIPTN 2007*, Batan-Yogyakarta.
- Prasetyoko, D., Fansuri, H., Nikmah, Y, L. dn Fadlan, A. (2016). *Karakterisasi Struktur Padatan*, Deepublish, Kaliurang, Yogyakarta.
- Purwantoro, A., Suyanto, W., Antoni., Hardjito, Dj. (2016). *Pengaruh Penambahan Boraks dan Kalsium Oksida Terhadap Setting Time dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C*. Universitas Kristen Petra.
- Satria, J., Sugiarto, A., Antoni., Hardjito, Dj. (2016) Karakteristik Beton Geopolimer Berdasarkan Variasi Waktu Pengambilan Fly Ash. Universitas Kristen Petra.
- Sibilia, J. P. (1996) *A Guide to Materials Characterization and Chemical analysis*, second edition, Wiley-VCH, New York.
- Somna, K., Jaturapitakkul, C., Kajitvichyanukul, P. and Chindaprasirt, P. (2011) NaOH activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature, *Fuel*, Vol 90, hal. 2118–2124.
- Soutsos, M., Boyle, A. P., Vinai, R., Hadjierakleous, A. and Barnett, S. J. (2016) Factors influencing the compressive strength of fly ash based geopolymers, *Construction.Building.Material*, Vol. 110, hal. 355–368.
- Sujatno, A. (2015) Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium, *Jurnal Forum Nuklir*, Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju. PSTBM-BATAN.

- Supriadi, W. (2017) *Amobilisasi Kation-kation Logam Berat Menggunakan Geopolimer Dari Abu Layang*, Disertasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- van Jaarsveld, J. G. S., van Deventer, J. S. J. and Schwartzman, A. (1999) The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic metals: Part II. Material and leaching characteristics. *Miner. Eng.* Vol. 12, hal. 75–91.
- Wardani (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
- www.microscopy.ethz.ch, diakses pada tanggal 08 April 2018 pukul 20.00 WIB
- Xu, H. and van Deventer, J. S. J. (2002) Microstrutural characterization of geopolymers synthesized from kaolinite/stabile mixture using XRD, MASNMR, SEM/EDX, TEM/EDX and HREM, *Cement and Concrete research*, Vol. 32, hal. 1705-1716.
- Zerfu, K. and Ekaputri, J. J. (2016) Review on Alkali-Activated Fly Ash Based Geopolymer Concrete, *Materials Science Forum*, Vol. 841, pp 162-169

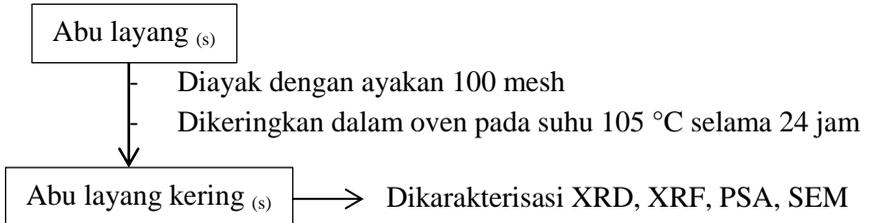
“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

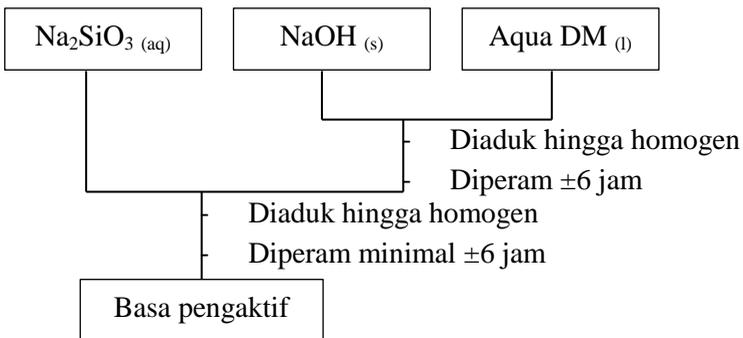
Lampiran 1

Skema kerja

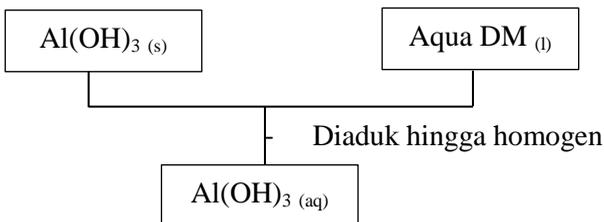
1. Preparasi abu layang



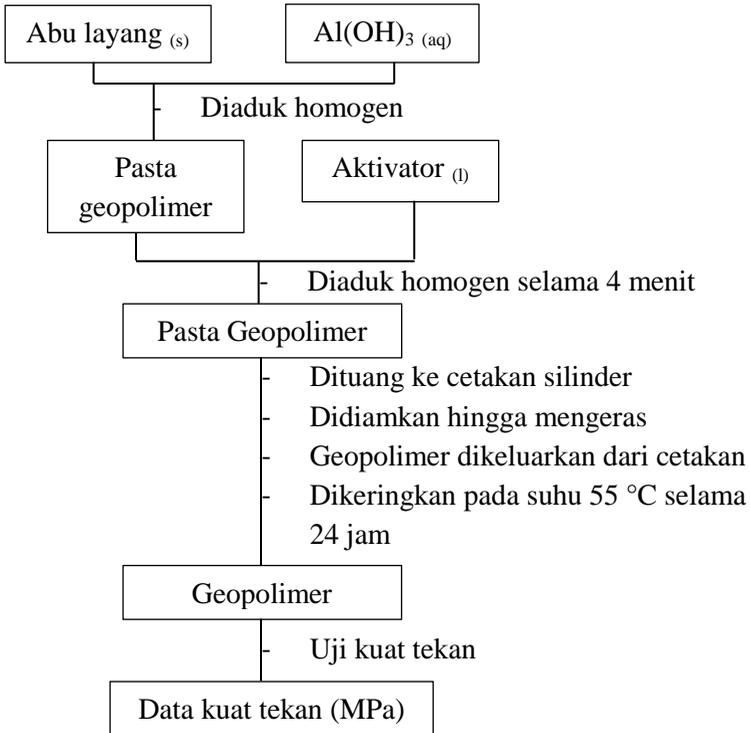
2. Pembuatan basa pengaktif



3. Pembuatan larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$

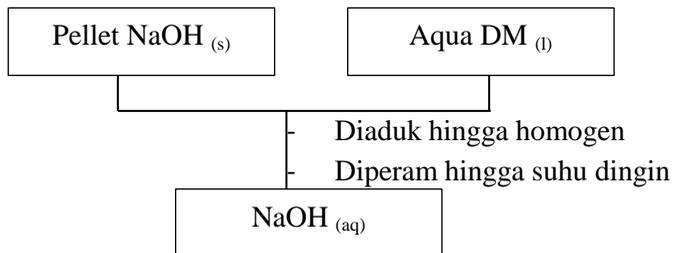


4. Pembuatan geopolimer

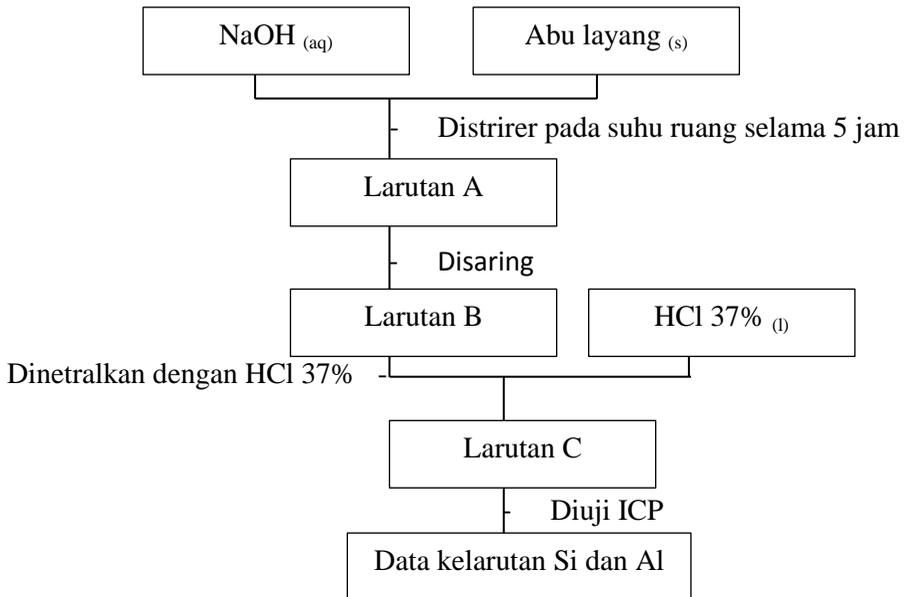


5. Uji kelarutan abu layang

A) Pembuatan larutan NaOH 10 M



B) Uji kelarutan Si dan Al

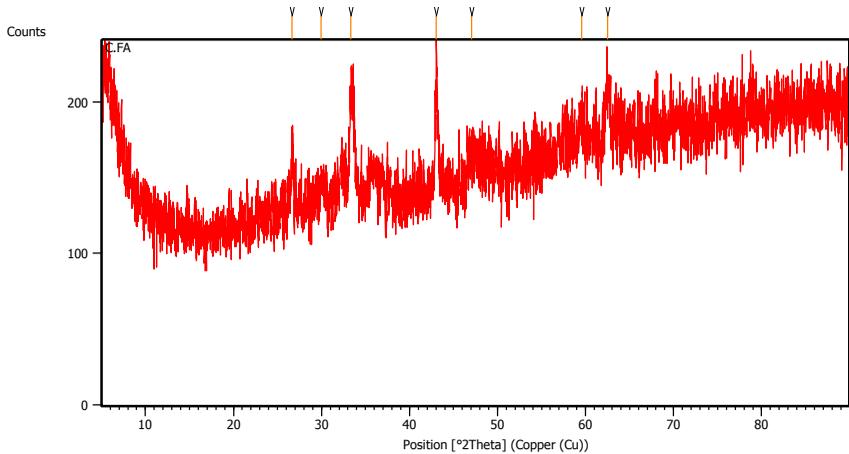


Lampiran 2

Hasil Karakterisasi Abu Layang

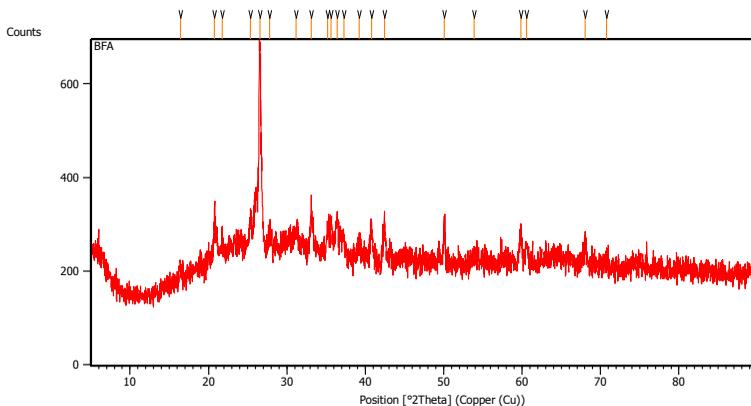
1. Analisis XRD (X-Ray Diffraction)

A) Abu layang Semen Gresik



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.6570	35.77	0.2342	3.34414	51.72
29.9365	14.25	0.8029	2.98484	20.60
33.3400	69.17	0.3346	2.68751	100.00
43.0167	67.45	0.2676	2.10273	97.52
47.0407	13.34	0.8029	1.93181	19.29
59.5645	20.28	0.5353	1.55210	29.32
62.5272	40.73	0.5353	1.48550	58.88

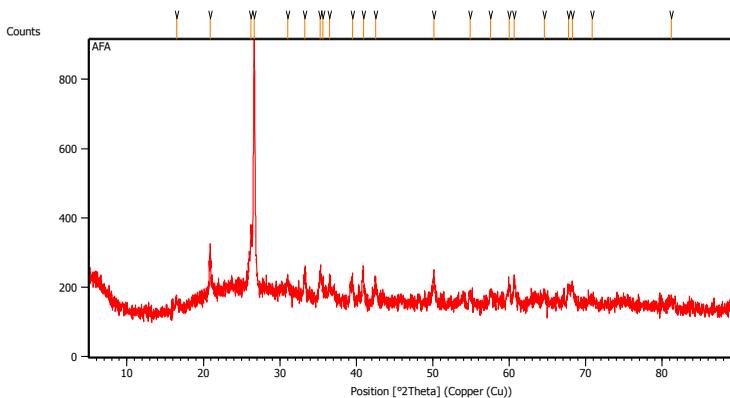
B) Abu layang Petrokimia Gresik



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.4538	23.94	0.4015	5.38764	5.68
20.7718	85.56	0.3346	4.27640	20.29
21.7897	16.79	0.4015	4.07888	3.98
25.3510	58.18	0.2676	3.51338	13.80
26.5480	421.71	0.1673	3.35762	100.00
27.8166	22.56	0.4015	3.20731	5.35
31.1714	27.29	0.4015	2.86936	6.47
33.0856	97.17	0.1338	2.70759	23.04
35.2106	52.80	0.2007	2.54891	12.52
35.6393	72.61	0.2007	2.51923	17.22
36.4286	73.81	0.2007	2.46643	17.50
37.2654	43.57	0.4015	2.41294	10.33
39.2120	29.96	0.4684	2.29753	7.10
40.7782	66.09	0.2676	2.21283	15.67

42.4364	80.93	0.2007	2.13013	19.19
50.0888	65.94	0.1673	1.82117	15.64
53.8460	17.53	0.6691	1.70263	4.16
59.8461	76.19	0.2007	1.54547	18.07
60.5506	40.70	0.3346	1.52917	9.65
68.0479	45.32	0.2676	1.37781	10.75
70.7737	23.28	0.4015	1.33128	5.52

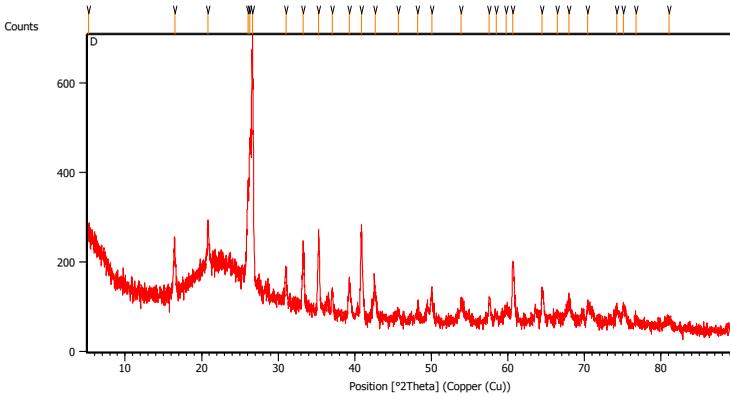
C) Abu Layang PLTU Pacitan



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.5333	25.90	0.5353	5.36191	3.61
20.9058	115.24	0.1673	4.24930	16.04
26.2456	168.69	0.1004	3.39562	23.49
26.6326	718.22	0.1171	3.34715	100.00
31.0577	28.73	0.4015	2.87961	4.00
33.2892	74.98	0.1673	2.69150	10.44
35.2747	66.17	0.2007	2.54442	9.21
35.6602	49.21	0.1171	2.51780	6.85
36.5179	57.23	0.2007	2.46060	7.97
39.5316	49.63	0.4684	2.27969	6.91
40.9135	100.01	0.1004	2.20582	13.92
42.5307	54.10	0.2676	2.12562	7.53
50.1155	82.03	0.1673	1.82026	11.42
54.9216	22.48	0.2676	1.67180	3.13
57.5424	35.32	0.2676	1.60174	4.92
60.0103	50.74	0.2676	1.54163	7.06
60.6279	72.46	0.2007	1.52740	10.09

64.5914	25.26	0.4015	1.44292	3.52
67.7497	45.09	0.2007	1.38314	6.28
68.2271	54.06	0.2007	1.37462	7.53
70.8649	14.46	0.8029	1.32979	2.01

D) Abu layang Australia

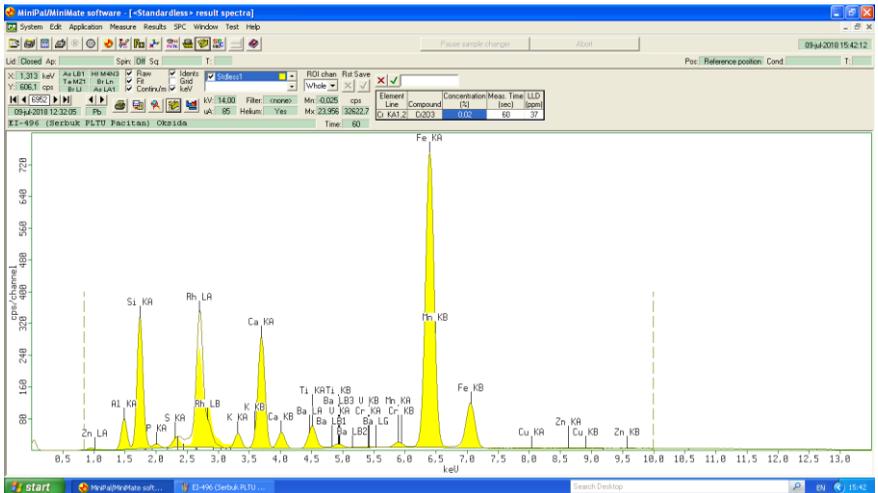


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.2161	38.74	0.4015	16.94231	7.71
16.4849	117.73	0.1004	5.37756	23.42
20.8217	91.91	0.1673	4.26626	18.28
26.0646	210.36	0.1171	3.41878	41.84
26.2924	312.09	0.1338	3.38968	62.08
26.6263	502.73	0.2007	3.34792	100.00
31.0178	61.42	0.2007	2.88322	12.22
33.2285	125.55	0.1673	2.69627	24.97
35.2836	181.35	0.0836	2.54380	36.07
37.0422	57.29	0.1338	2.42697	11.40
39.3018	72.60	0.2676	2.29249	14.44
40.8551	190.91	0.2342	2.20884	37.97
42.6385	74.77	0.2676	2.12050	14.87
48.2088	22.50	0.4015	1.88770	4.48
50.0892	64.84	0.2007	1.82115	12.90
53.8864	44.83	0.2676	1.70145	8.92
57.5515	54.57	0.1338	1.60151	10.86
59.8075	28.69	0.4015	1.54638	5.71

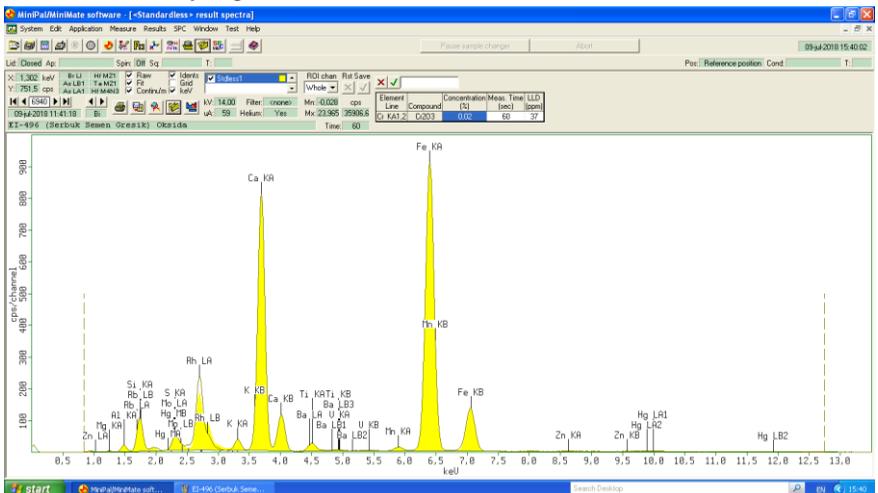
60.6601	132.17	0.2007	1.52667	26.29
64.4460	62.38	0.1673	1.44582	12.41
67.9791	36.54	0.6691	1.37903	7.27
70.3906	30.76	0.4015	1.33758	6.12
74.2044	38.44	0.2007	1.27800	7.65
75.0915	40.29	0.3346	1.26509	8.02

2. Analisis XRF (X-Ray Fluorescence)

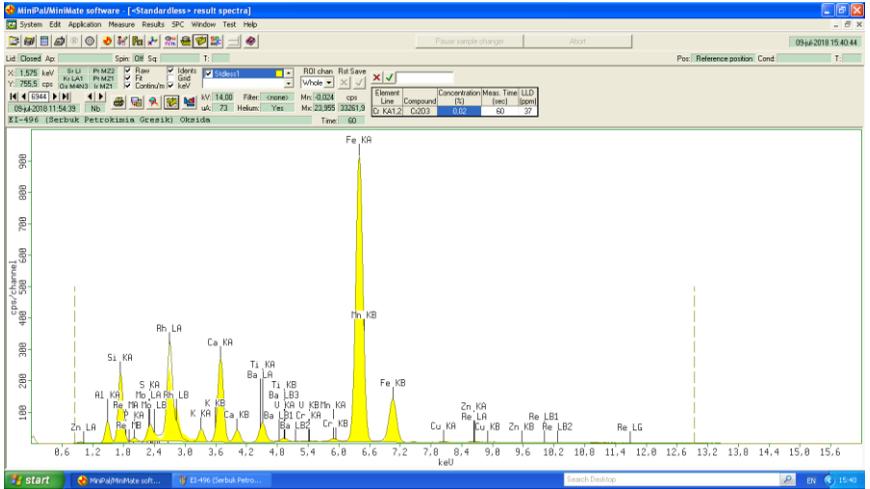
A) Abu Layang PLTU Pacitan



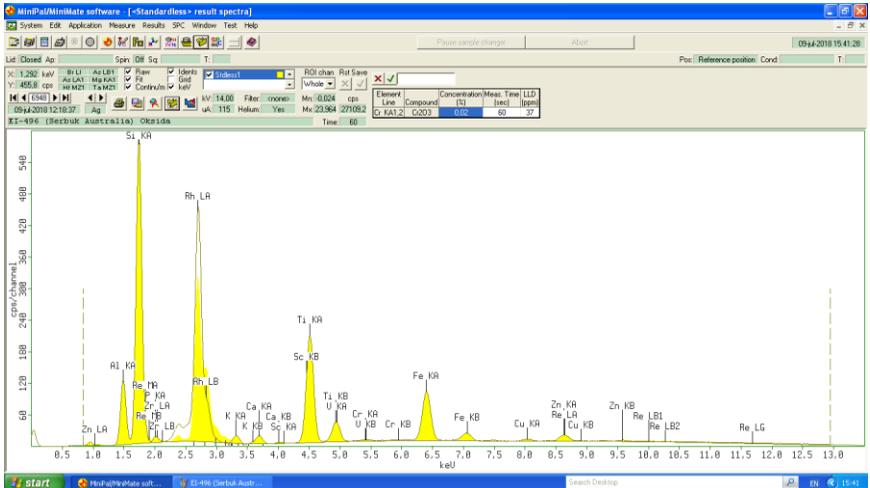
B) Abu Layang Semen Gresik



C) Abu Layang Petrokimia Gresik



D) Abu Layang Australia



3. PSA (Particle Size Analyzer)

A) Abu layang PLTU Pacitan

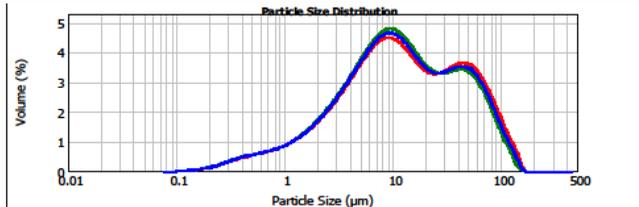


Result Analysis Report

Sample Name: FA A - Average
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref:
SOP Name: Cement OPC
Measured by: MALVERN INSTRUMENTS
Measured: Tuesday, June 05, 2018 1:20:15 PM
Analysed: Tuesday, June 05, 2018 1:20:17 PM

Particle Name: Cement OPC
Particle Rt: 1.860
Dispersant Name:
Concentration: 0.0003 %Vol
Specific Surface Area: 0.438 m²/g
Accessory Name: Scirocco 2000
Absorption: 0.1
Dispersant Rt: 1.000
Span : 5.270
Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.756 μ m
Analysis mode: General purpose (fine)
Size range: 0.020 to 2000.000 μ m
Weighted Residual: 0.229 %
Uniformity: 1.56
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 22.607 μ m
Sensitivity: Normal
Obscuration: 2.25 %
Result Emulation: On
Result units: Volume

d(0.1): 1.801 μ m **d(0.5): 11.298 μ m** **d(0.9): 61.348 μ m**



- FA A, Tuesday, June 05, 2018 1:20:15 PM
 - FA A, Tuesday, June 05, 2018 1:20:31 PM
 - FA A - Average, Tuesday, June 05, 2018 1:20:15 PM

Size (μ m)	Vol Under %	Residual	Vol Under %	Residual	Vol Under %	Residual	Vol Under %	Residual	Vol Under %	Residual	Vol Under %
0.500	2.40		10.000	46.33		50.000	86.84		140.000	90.92	
1.000	5.56		12.181	52.21		56.000	88.05		150.000	90.97	
1.046	5.82		15.000	57.59		60.000	90.55		160.000	100.00	
1.487	8.27		20.000	65.04		71.000	92.85		180.000	100.00	
1.500	8.34		25.000	69.06		75.000	93.81		200.000	100.00	
1.526	8.37		32.000	75.20		80.000	94.86		212.000	100.00	
1.715	9.53		36.000	77.86		85.000	95.51		224.000	100.00	
2.000	11.10		38.000	79.19		100.000	97.70		250.000	100.00	
2.500	13.84		40.000	80.37		106.000	98.24		280.000	100.00	
3.000	15.53		45.000	83.10		112.000	98.69		300.000	100.00	
5.000	26.71		50.000	85.52		125.000	99.57		315.000	100.00	
									350.000	100.00	
									400.000	100.00	
									450.000	100.00	
									500.000	100.00	
									550.000	100.00	
									600.000	100.00	
									650.000	100.00	
									700.000	100.00	
									750.000	100.00	
									800.000	100.00	
									850.000	100.00	
									900.000	100.00	
									950.000	100.00	
									1000.000	100.00	
									1100.000	100.00	
									1200.000	100.00	
									1300.000	100.00	
									1400.000	100.00	
									1500.000	100.00	
									1600.000	100.00	
									1700.000	100.00	
									1800.000	100.00	
									1900.000	100.00	
									2000.000	100.00	

Operator notes:

B). Abu layang Semen Gresik

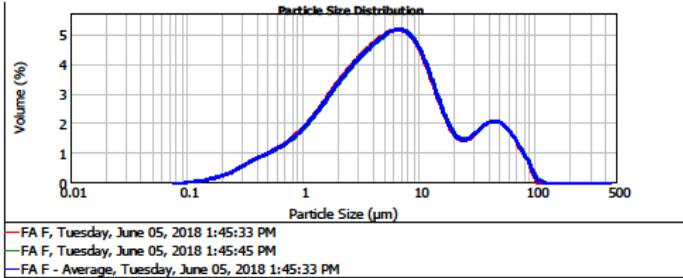


Result Analysis Report

Sample Name: FA F - Average	SOP Name: Cement OPC	Measured: Tuesday, June 05, 2018 1:45:33 PM
Sample Source & type:	Measured by: MALVERN INSTRUMENTS	Analysed: Tuesday, June 05, 2018 1:45:35 PM
Sample bulk lot ref:		

Particle Name: Cement OPC	Accessory Name: Sciocco 2000	Analysis mode: General purpose (fine)	Sensitivity: Normal
Particle Rt: 1.860	Absorption: 0.1	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 2.89 %
Dispersant Name:	Dispersant Rt: 1.000	Weighted Residual: 0.392 %	Result Emulation: On
Concentration: 0.0002 %Vol	Span : 6.517	Uniformity: 1.75	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.715 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 2.300 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 12.095 um	

d(0.1): 0.990 um d(0.5): 5.491 um d(0.9): 36.777 um



Size (µm)	Vol Under %								
0.500	4.04	10.000	69.72	50.000	94.87	140.000	100.00	355.000	100.00
1.000	10.12	12.181	75.13	56.000	96.56	150.000	100.00	400.000	100.00
1.945	10.66	15.000	79.59	62.000	98.00	160.000	100.00	425.000	100.00
1.487	15.84	20.000	83.65	71.000	98.10	180.000	100.00	450.000	100.00
1.500	15.99	25.000	85.83	75.000	98.55	200.000	100.00	500.000	100.00
1.595	16.04	32.000	88.30	80.000	99.00	210.000	100.00	500.000	100.00
1.715	16.46	36.000	89.79	90.000	99.54	254.000	100.00	600.000	100.00
2.000	21.02	38.000	90.42	100.000	99.94	250.000	100.00	620.000	100.00
2.500	26.85	40.000	91.00	106.000	99.97	280.000	100.00	710.000	100.00
3.000	31.82	45.000	92.68	112.000	100.00	300.000	100.00	800.000	100.00
5.000	46.35	50.000	94.10	125.000	100.00	315.000	100.00	850.000	100.00

Operator notes:

C). Abu layang Petrokimia Gresik

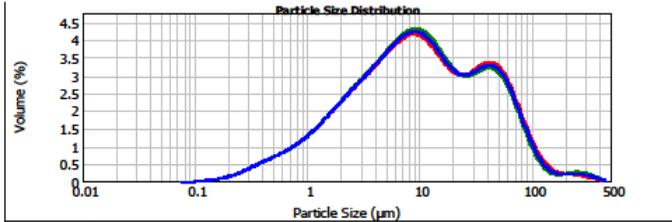


Result Analysis Report

Sample Name: FA G - Average	SOP Name: Cement OPC	Measured: Tuesday, June 05, 2018 1:48:11 PM
Sample Source & type:	Measured by: MALVERN INSTRUMENTS	Analyzed: Tuesday, June 05, 2018 1:48:12 PM
Sample bulk lot ref:		

Particle Name: Cement OPC	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis mode: General purpose (fine)	Sensitivity: Normal
Particle Rt: 1.960	Absorption: 0.1	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 2.55 %
Dispersant Name:	Dispersant Rt: 1.000	Weighted Residual: 0.270 %	Result Emulation: On
Concentration: 0.0003 %Vol	Span : 5.995	Uniformity: 1.96	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.516 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.186 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 22.679 um	

d(0.1): 1.349 um d(0.5): 9.621 um d(0.9): 58.450 um



— FA G, Tuesday, June 05, 2018 1:48:11 PM
 — FA G, Tuesday, June 05, 2018 1:48:24 PM
 — FA G - Average, Tuesday, June 05, 2018 1:48:11 PM

Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.500	2.74	10.000	51.07	50.000	88.08	140.000	96.50	350.000	99.87
1.000	7.10	12.181	54.40	56.000	88.17	150.000	96.64	400.000	99.95
1.046	7.40	15.000	61.64	63.000	91.37	160.000	96.76	425.000	99.98
1.487	11.11	20.000	67.90	71.000	93.32	180.000	96.84	450.000	100.00
1.500	11.22	25.000	72.46	75.000	94.11	200.000	96.89	500.000	100.00
1.526	11.26	32.000	77.38	80.000	94.84	232.000	96.18	562.000	100.00
1.715	12.82	36.000	79.84	90.000	95.30	254.000	96.36	600.000	100.00
2.000	15.08	38.000	80.90	100.000	97.06	250.000	96.43	630.000	100.00
2.500	18.64	40.000	82.00	106.000	97.40	280.000	96.59	710.000	100.00
3.000	21.90	45.000	84.64	112.000	97.75	300.000	96.68	800.000	100.00
5.000	32.75	50.000	86.97	125.000	98.10	315.000	96.75	850.000	100.00

Operator notes:

D). Abu layang Australia

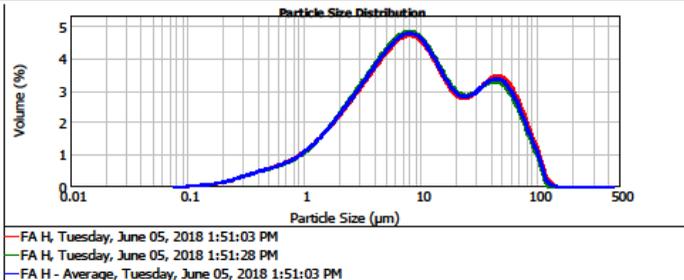


Result Analysis Report

Sample Name: FA H - Average	SOP Name: Cement OPC	Measured: Tuesday, June 05, 2018 1:51:03 PM
Sample Source & type:	Measured by: MALVERN INSTRUMENTS	Analysed: Tuesday, June 05, 2018 1:51:05 PM
Sample bulk lot ref:		

Particle Name: Cement OPC	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis mode: General purpose (fine)	Sensitivity: Normal
Particle Rt: 1.860	Absorption: 0.1	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 2.62 %
Dispersant Name:	Dispersant Rt: 1.000	Weighed Residual: 0.238 %	Result Emulation: On
Concentration: 0.0003 %Vol	Span : 5.734	Uniformity: 1.65	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.475 m ² /g	Surface Weighed Mean D[3,2]: 3.459 um	Vol. Weighed Mean D[4,3]: 18.869 um	

d(0.1): 1.590 um d(0.5): 9.016 um d(0.9): 53.286 um



Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.500	2.29	10.000	53.77	50.000	99.89	140.000	100.00	350.000	100.00	900.000	100.00
1.000	5.77	12.181	58.80	56.000	91.03	150.000	100.00	400.000	100.00	1000.000	100.00
1.046	6.00	15.000	64.22	63.000	93.33	160.000	100.00	450.000	100.00	1120.000	100.00
1.487	9.25	20.000	70.29	71.000	95.36	180.000	100.00	490.000	100.00	1180.000	100.00
1.590	9.34	25.000	74.42	75.000	96.21	200.000	100.00	530.000	100.00	1250.000	100.00
1.935	9.38	32.000	79.10	80.000	97.08	212.000	100.00	560.000	100.00	1400.000	100.00
1.715	10.92	36.000	81.51	90.000	98.37	224.000	100.00	600.000	100.00	1600.000	100.00
2.000	13.00	38.000	82.65	100.000	99.23	250.000	100.00	630.000	100.00	1700.000	100.00
2.500	16.59	40.000	83.76	100.000	99.59	280.000	100.00	710.000	100.00	1800.000	100.00
3.000	20.04	45.000	85.34	112.000	99.83	300.000	100.00	830.000	100.00	2000.000	100.00
5.000	32.34	50.000	86.64	125.000	99.97	315.000	100.00	850.000	100.00		

Operator notes:

Lampiran 3

A). Perhitungan Kuat Tekan

Data yang diperoleh dari pengukuran kuat tekan adalah beban tekan yang dapat ditanggung oleh geopolimer dalam satuan Newton. Untuk mendapat data kuat tekan dengan satuan MPa, data yang diperoleh dimasukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

P adalah kuat tekan dalam satuan MPa

F adalah beban tekan geopolimer dalam satuan newton

A adalah luas penampang geopolimer dalam satuan (m^2)

Karena penampang geopolimer berbentuk lingkaran sehingga digunakan rumus luas lingkaran, dengan rumus :

$$A = \pi \times r^2$$

$$\pi = 3.14$$

$$r = 0.01 \text{ cm}$$

$$r^2 = 10^{-4}$$

Hasil Uji Kuat Tekan			
Nama sampel	7 hari (N)		
Semen Gresik	11000	16000	13000
Petrokimia	12000	15000	13000
PLTU Pacitan	16000	15000	13000
Australia	2000	3000	4000

$$P = \frac{F}{A} = \frac{11000}{3.14 \times 10^{-4}} = 35.05 \text{ MPa}$$

dengan cara perhitungan diatas, didapatkan hasil kuat tekan dari geopolimer yang berusia 7 hari sebesar ,

Hasil Uji Kuat Tekan (MPa)				
Nama sampel	Usia 7 Hari			Rata-Rata
Semen Gresik	35.03	50.95	41.4	42.46
Petrokimia Gresik	38.21	47.77	41.4	42.46
PLTU Pacitan	50.95	47.77	41.4	46.71
Australia	6.36	9.55	12.73	9.55

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Diah Kartika Sari, dilahirkan di Sidoarjo, 03 Maret 1996 yang merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis merupakan lulusan dari SMAN 16 Surabaya. Penulis diterima di Departemen Kimia FIA ITS melalui jalur SNMPTN dengan NRP 01211440000049. Selama kuliah, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) ITS sebagai *staff* periode 2015/2016 Sosial Politik (SOSPOL). Penulis aktif mengikuti pelatihan LKMM, kerohanian, karya tulis ilmiah. penulis. Penulis juga pernah menjadi panitia dalam acara olimpiade nasional Chemistry Week 7 sebagai *staff* perlengkapan dan Chemistry Week 8 sebagai koordinator 2 *staff* perlengkapan. penulis mengambil bidang minat Geopolimer sebagai penelitian Tugas Akhir di bawah bimbingan Ibu Ir. Endang Purwanti S., MT. dan Bapak Hamzah Fansuri, M.Si., Ph.D dalam Laboratorium Kimia Material dan Energi dan Bapak Tri Eddy Susanto, ST., MT dalam Laboratorium Pusat Penelitian Semen Indonesia. Kritik dan saran dapat disampaikan kepada penulis melalui email diah.kartika488@gmail.com.