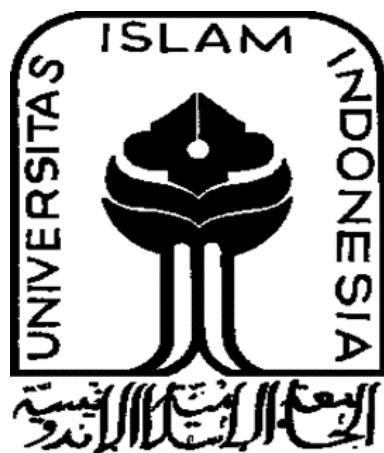


LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN METODE PENENTUAN KADAR BESI
DALAM MORTAR BAHAN HIDROLIK ABU VULKANIK
DENGAN METODE XRF (X-RAY FLUORESCENCE) DAN
TITRASI KOMPLEKSOMETRI DI BALAI KONSERVASI
BOROBUDUR**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat Ahli
Madya (A.Md.Si) Analis Kimia Program Studi D III Analisis Kimia**



Disusun oleh:

Widya Kasuma Dewi

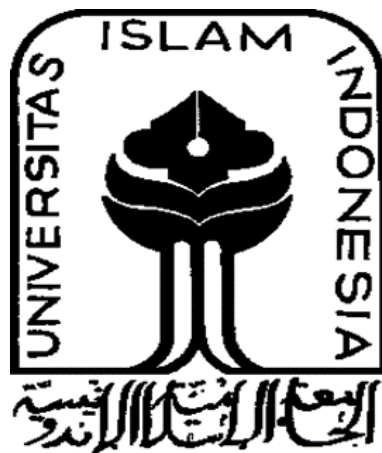
NIM: 17231049

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III ANALISIS KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN KADAR BESI DALAM MORTAR BAHAN
HIDROLIK ABU VULKANIK DENGAN METODE XRF (X-
RAY FLUORESCENCE) DAN TITRASI KOMPLEKSOMETRI
DI BALAI KONSERVASI BOROBUDUR**

**COMPARISON METHODS FOR DETERMINING IRON
CONDITION IN VULANIC ASH HYDRAULIC MORTAR
WITH XRF (X-RAY FLUORESCENCE) METHOD AND
COMPLEXOMETRY TITRATION IN BALAI KONSERVASI
BOROBUDUR**



Disusun oleh:

Widya Kasuma Dewi

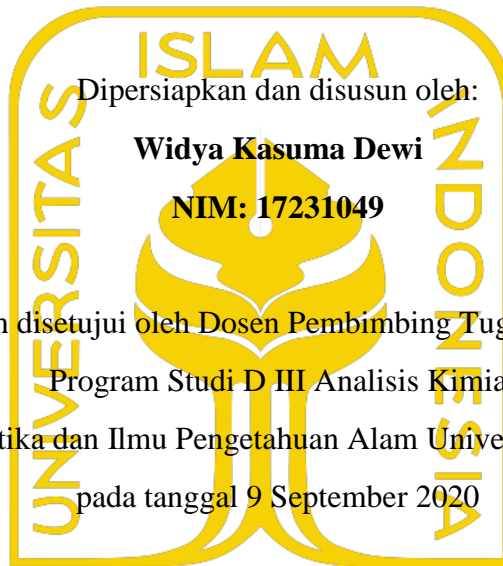
NIM: 17231049

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III ANALISIS KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN METODE PENENTUAN KADAR BESI
DALAM MORTAR BAHAN HIDROLIK ABU VULKANIK
DENGAN METODE XRF (X-RAY FLUORESCENCE) DAN
TITRASI KOMPLEKSOMETRI DI BALAI KONSERVASI
BOROBUDUR**



الجامعة الإسلامية
الاستاذة البانوية

Menyetujui,

Ketua Program Studi

Tri Esti Purbaningtias, S.Si., M.Si

NIK.132311102

Pembimbing

Yuli Rohyami, S.Si., M.Sc

NIK.052316004

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN METODE PENENTUAN KADAR BESI
DALAM MORTAR BAHAN HIDROLIK ABU VULKANIK
DENGAN METODE XRF (X-RAY FLUORESCENCE) DAN
TITRASI KOMPLEKSOMETRI DI BALAI KONSERVASI
BOROBUDUR**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Widya Kasuma Dewi
NIM: 17231049

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 9 September 2020

Susunan Tim Penguji

Pembimbing/ penguji



Yuli Rohyami, S.Si., M.Sc
NIK.052316004

Penguji 1



Ganjar Fadillah, S.Si., M.Si
NIK. 182310101

Penguji 2



Febi Indah Fajarwati, S.Si., M.Sc
NIK.156121311

Mengetahui,

Dekan Fakultas MIPA UII



Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D

NIK. 006120101

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa Laporan Tugas akhir ini tidak terdapat bagian yang pernah digunakan untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau gelar lainnya di suatu Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya tidak terdapat bagian yang pernah ditulis dan ditertbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 1 September 2020



Widya Kasuma Dewi

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“ Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan) kerjakan dengan sesungguhnya (urusan) yang lain dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”.

(Al-Insyiroh: 6-8)

“ It is not the strongest of the species that survive, not the most intelligent, but the one most responsive to change”.

(Charles Darwin)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, nikmat, petunjuk dan karunia-Nya serta memberikan perlindungan, kemudahan serta kesabaran dalam setiap pekerjaan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dan penulisan tugas akhir dengan sebaik-baiknya.

Persembahan tugas akhir ini dan rasa terimakasih saya ucapkan untuk:

1. Keluarga tercinta terutama bapak dan ibu tercinta sebagai wujud kasih sayang, bakti, dan terimakasih saya kepada kedua orangtua saya yang senantiasa memberikan limpahan kasih sayang, do'a yang tulus, pengorbanan dan dukungan.
2. Bapak Yudhi atmaja, Mas Widyo, Bapak Gunawan, Bapak Santoso selaku staff laboratorium dan segenap pegawai Balai Konservasi Borobudur yang telah membantu dalam penelitian tugas akhir.
3. Sahabat saya: Frista, Novi, Iqbal, Risa, Agtha, Setya Aji, Ulul, Yusuf dan Nindya. Terimakasih yang telah memberikan semangat dan motivasi.
4. Teman-teman seperjuangan Analisis Kimia 2017 yang membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabaraktuh

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul Perbandingan Metode Penentuan Kadar Besi dalam Mortar Bahan Hidrolik Abu Vulkanik dengan Metode XRF (*X-ray fluorescence*) dan Titrasi Kompleksometri di Balai Konservasi Borobudur.

Tugas Akhir ini menguraikan tentang perbandingan metode penentuan kadar sampel mortar dengan metode X-Ray Fluorescence (XRF) dan titrasi kompleksometri. Laporan ini memberikan informasi tentang kuat tekan mortar serta karakterisasi menggunakan FTIR dan XRD. Laporan ini juga memberikan informasi tentang verifikasi metode berupa akurasi dan presisi dan juga uji T untuk mengetahui perbandingan metode penentuan mortar.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Derajat Ahli Madya (A.Md.Si) di Program Studi D III Analisis Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universtas Islam Indonesia. Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bimbingan, serta dukungan dari beberapa pihak.

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Tri Esti Purbaningtias, S.Si., M.Si. selaku Ketua Progam Studi D III Analisis Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Yuli Rohyami, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir.
4. Bapak Nahar Cahyandaru, S.Si., M.Dip. selaku pembimbing instansi yang telah memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena masih banyak kekurangan yang ada pada penulis. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Aamiin.

Wassalamu'aikum warahmatullahi wabaraktuh

Yogyakarta, 1 September 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN.....	v
MOTO DAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Profil Balai Konservasi Borobudur	4
2.2 Mortar dan aplikasinya pada cagar budaya	9
2.3 Batu Andesit	12
2.4 Abu Vulkanik	13
2.5 Kapur	15
2.6 Titrasi Kompleksometri.....	16
2.7 X-Ray Diffraction (XRD).....	18
2.8 X- Ray Fluorescence	19
2.9 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR).....	21
2.10 Validasi Metode	22
2.11 Presisi	22
2.12 Akurasi	22
BAB III METODOLOGI	25
3.1 Alat	25
3.2 Bahan.....	25
3.3 Cara Kerja.....	25

3.3.1 Preparasi Bahan Pembuatan Mortar	25
3.3.2 Pembuatan mortar.....	26
3.3.3 Preparasi Sampel Uji	27
3.3.4 Standarisasi Na-EDTA 0,1 M dengan ZnSO ₄ 0,1 M.....	27
3.3.5 Penentuan Kandungan Fe dengan Metode Titrasi kompleksometri	27
3.3.6 Penentuan Akurasi	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Preparasi Batu Andesit.....	29
4.2 Hasil Preparasi Abu Vulkanik.....	29
4.3 Hasil Preparasi Kapur.....	31
4.4. Karakterisasi Batu andesit, Abu vulkanik, dan Kapur	32
4.5 Hasil karakterisasi variasi komposisi mortar 2:1:1 ; 2:2:1 ; dan 3:2:2.....	34
4.6 Hasil Pembuatan Mortar.....	37
4.7 Hasil Analisis Mortar Titrasi Kompleksometri	41
4.8 Hasil Nilai Akurasi.....	42
4.9 Hasil Nilai Presisi.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur EDTA (Khopkar, 2010)	17
Gambar 2.2 Tetapan penguraian H ₄ Y (Khopkar,2010).....	18
Gambar 2.3 Ilustrasi difraksi sinar-X (Taqiyah, 2012).....	19
Gambar 2.4 Peristiwa pada tabung sinar X (Girard,2010).....	20
Gambar 2.5 Bagan alat XRF (Munasir,2012)	21
Gambar 4.1 Hasil analisis FTIR batu andesit dan abu vulkanik	32
Gambar 4.2 Hasil analisis XRD batu andesit, abu vulkanik, dan kapur	33
Gambar 4.3 Hasil analisis FTIR mortar pada masing-masing variasi komposisi 2:1:1 : 2:2:1 dan 3:2:2	34
Gambar 4.4 Hasil analisis XRD mortar pada masing-masing variasi komposisi 2:1:1 : 2:2:1 dan 3:2:2	36
Gambar 4.5 Hasil pembuatan mortar a) 2:1:1; b) 2:2:1; c) 3:2:2.....	37
Gambar 4.6 Grafik hasil pengujian mortar	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia batu andesit.....	13
Tabel 2.2 Komposisi kimia abu vulkanik.....	15
Tabel 3.1 Ukuran butir dan massa batu andesit menurut rumus Fuller	26
Tabel 4.1 Hasil XRF kandungan senyawa batu andesit.....	29
Tabel 4.2 Hasil penyaringan abu vulkanik.....	30
Tabel 4.3 Hasil XRF kandungan senyawa abu vulkanik	30
Tabel 4.4 Hasil penentuan komposisi kapur	31
Tabel 4.5 Hasil XRF kandungan senyawa kapur	32
Tabel 4.6 Kandungan senyawa kimia pada masing-masing variasi komposisi mortar berdasarkan analisis menggunakan XRF.....	37
Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat tekan mortar	40
Tabel 4.8 Hasil analisis kandungan besi dalam berbagai variasi mortar	41
Tabel 4.9 Nilai akurasi pada penentuan kadar besi	42
Tabel 4.10 Hasil uji presisi mortar	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 . Perhitungan Analisis Variasi Mortar Dengan Metode Titrasi Kompleksometri.....	50
Lampiran 2.Uji t metode penentuan besi metode titrasi kompleksometri dan XRF.....	61
Lampiran 3. Proses preparasi batu andesit.....	64
Lampiran 4. Preparasi abu vulkanik.....	65
Lampiran 5. Preparasi kapur	66
Lampiran 6. Hasil pembuatan mortar.....	66
Lampiran 7. Preparasi sampel uji.....	66
Lampiran 8. Analisis mortar titrasi kompleksometri	71
Lampiran 9. Instrumen yang digunakan.....	72
Lampiran 10. Hasil karakterisasi XRF.....	73
Lampiran 11. Hasil uji kuat tekan mortar	75
Lampiran 12. Hasil karakterisasi FTIR.....	76
Lampiran 13. Hasil karakterisasi XRD	81

PERBANDINGAN METODE PENENTUAN KADAR BESI DALAM MORTAR BAHAN HIDROLIK ABU VULKANIK DENGAN METODE XRF (X-RAY FLUORESCENCE) DAN TITRASI KOMPLEKSOMETRI DI BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Widya Kasuma Dewi

17231049

Program Studi D III Analisis Kimia FMIPA Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta
Email: 17231049@students.uii.ac.id

INTISARI

Telah dilakukan analisis kadar besi pada mortar variasi berat 2:1:1 ; 2:2:1 dan 3:2:2. Komposisi mortar yang digunakan telah ditentukan ukuran butir berdasarkan rumus Fuller. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kadar besi dengan metode titrasi kompleksometri dan XRF. Hasil variasi mortar dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), uji kuat tekan, titrasi kompleksometri, verifikasi metode dan uji t. Karakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa ketiga variasi mortar menghasilkan spektrum dan gugus fungsi yang tidak jauh berbeda setiap variasi. Hasil karakterisasi kandungan besi dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan kadar sampel mortar variasi 2:1:1 sebesar 2,75 %, mortar variasi 2:2:1 sebesar 2,42 % dan mortar variasi 3:2:2 sebesar 2,25 %. Mortar dianalisis kandungan besi dengan titrasi kompleksometri mortar variasi 2:1:1 sebesar 5,31 % \pm 0,1582 %, mortar variasi 2:2:1 sebesar 5,86 % \pm 0,0916 %, dan mortar variasi 3:2:2 sebesar 6,70 % \pm 0,0936 %.. Nilai %*Recovery* mortar variasi 2:1:1 sebesar 28,44 % ; mortar variasi 2:2:1 sebesar 34,28 % dan mortar variasi 3:2:2 sebesar 103,98%. Nilai % RSD sebesar mortar variasi 2:1:1 sebesar 28,53%; mortar variasi 2:2:1 sebesar 9,99 % dan mortar variasi 3:2:2 sebesar 10,54 % dan tidak masuk kedalam syarat keberterimaan RSD yaitu sebesar $\leq 2\%$. Berdasarkan hasil Uji t perbandingan metode penentuan besi mortar variasi berat 2:1:1 ; 2:2:1 dan 3:2:2 dengan XRF dan titrasi kompleksometri menunjukkan bahwa nilai t tabel < t hitung dan ditolak

Kata Kunci : Mortar, abu vulkanik, titrasi kompleksometri, XRF, verifikasi metode

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki berbagai peninggalan sejarah, berupa bangunan seperti candi, artefak, keraton, kitab sastra dan sebagainya. Peninggalan sejarah merupakan suatu warisan budaya pada masa lalu yang menyimbolkan ketinggian budaya masyarakat dan nilai keluhuran. Peninggalan sejarah yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia harus dijaga dan dilestarikan agar nilai-nilai luhur budaya bangsa Indonesia tetap terpelihara. Melindungi benda-benda peninggalan sejarah yang menjadi kekayaan budaya bangsa tersebut, pemerintah mengeluarkan Undang-undang No. 5 Tahun 1992 dan Peraturan Pemerintah No. 10 Tahun 1993 sebagai pedoman pelaksanaan undang-undang tersebut. Undang-undang No. 5 Tahun 1992 merupakan penyempurnaan dari produk hukum sebelumnya yaitu *Monumenten Ordonantie* Nomor 21 Tahun 1934 (Haldoko, dkk., 2014).

Upaya pencegahan kebocoran menggunakan mortar (plester) masih terkendala karena belum ditemukannya formula bahan mortar yang ideal untuk diaplikasikan pada Candi Borobudur di daerah tropis yang terekspos di luar ruangan. Berdasarkan penelitian Balai Konservasi Borobudur (2019) bahan konsolidasi dalam pembuatan mortar menggunakan epoksi resin, dan etil silikat. Kelemahan dari penelitian yaitu etil silikat tidak dapat diterapkan pada batu yang basah atau batu yang memiliki kelembaban tinggi karena sifatnya yang hidrofobik (Thorn, 2011) sedangkan epoksi resin memiliki sifat yang kedap air sehingga air hujan maupun air dari kelembaban tertahan dan terakumulasi dibagian yang tertutup oleh resin (Anonim, 2014). Tantangan yang muncul adalah menemukan formula mortar yang cukup kuat dan stabil serta bersifat *reversible* karena diaplikasikan pada bangunan Candi Borobudur.

Pengujian perbandingan kadar besi variasi berat 2:1:1 ; 2:2:1 dan 3:2:2 dilakukan karena besi memiliki sifat yang mudah larut dalam air. Air hujan yang masuk kedalam bilik melalui celah antar batu, baik dalam bentuk rembesan maupun tetesandalam jangka panjang dapat menyebabkan proses pelapukan batuan

berlangsung lebih cepat dan merusak kulit tanah dan air tanah Candi Borobudur sehingga harus diatasi. Salah satu cara mengatasi rembesan air yang sering diterapkan para pelestari candi adalah dengan menggunakan plester (mortar) untuk menutup celah antarbatu.

Metode analisis yang digunakan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan titrasi kompleksometri. Perbandingan metode dilakukan untuk mendapatkan metode yang lebih efektif dan efisien dalam menganalisis kandungan besi dalam mortar. Perbandingan metode ditentukan melalui uji t.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil karakterisasi variasi mortar komposisi 2:1:1, 2:2:1, dan 3:2:2 dengan menggunakan FTIR dan XRD?
2. Apakah ada perbedaan hasil penentuan besi menggunakan metode *X-ray fluorescence* (XRF) dan titrasi kompleksometri?
3. Bagaimana hasil verifikasi metode pengujian kandungan besi variasi mortar komposisi 2:1:1, 2:2:1, dan 3:2:2?
4. Bagaimana hasil perbandingan metode penentuan besi antara XRF dan titrasi kompleksometri menggunakan uji t?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil karakterisasi variasi mortar komposisi 2:1:1, 2:2:1, dan 3:2:2 dengan menggunakan FTIR, XRD dan kuat tekan .
2. Mengetahui ada tidaknya perbedaan hasil penentuan besi menggunakan metode *X-ray fluorescence* (XRF) dan titrasi kompleksometri.
3. Mengetahui hasil verifikasi metode kandungan besi variasi mortar komposisi 2:1:1, 2:2:1, dan 3:2:2.
4. Mengetahui perbandingan metode penentuan besi antara XRF dan titrasi kompleksometri menggunakan uji t.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari praktik kerja lapangan ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengoperasikan alat *X-ray fluorescence* (XRF) secara langsung
2. Dapat mengikuti perkembangan kajian yang dilakukan Balai Konservasi Borobudur
3. Dapat mengetahui proses pembuatan mortar untuk Candi Borobudur
4. Dapat mengetahui cara pelestarian Cagar Budaya

BAB II DASAR TEORI

2.1 Profil Balai Konservasi Borobudur

Balai konservasi borobudur merupakan unit pelaksana teknis di lingkungan Direktorat Jendral Kebudayaan. Berdirinya Balai Konservasi Borobudur tidak lepas dari proyek Pemugaran Candi Borobudur tahun 1973- 1983. Penanganan Candi Borobudur yang telah selesai dipugar memerlukan perawatan, pengamatan, dan penelitian secara terus menerus oleh karena itu, maka pada tahun 1991 berdirilah Balai Studi dan Konservasi Borobudur. Berdasarkan Peraturan Menteri Kebudayaan dan Pariwisata Nomor 40 Tahun 2006 berubah namanya menjadi Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Tahun 2011 bidang kebudayaan kembali bergabung ke dalam Kementerian Pendidikan Nasional yang kini menjadi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 55 Tahun 2012 kembali berubah nama menjadi Balai Konservasi Borobudur. Balai Konservasi Borobudur merupakan bentuk lain dari *Centre for Borobudur Studies* yang berfungsi sebagai pusat pendidikan dan pelatihan tenaga teknis dalam bidang konservasi dan pemugaran. Beberapa fasilitas pendukung dan tenaga teknis yang menguasai bidang pelestarian, khususnya pemugaran dan konservasi, mengantarkan Balai Konservasi Borobudur menjadi pelaksana pelatihan tenaga teknis konservasi dan pemugaran untuk institusi tingkat nasional dan internasional. Balai Konservasi Borobudur juga membantu dalam hal konservasi peninggalan sejarah dan purbakala di seluruh Indonesia, bahkan negara Asia Tenggara.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 55 Tahun 2012 yang ditetapkan pada tanggal 20 Juli 2012, Balai Konservasi Borobudur mempunyai tugas pokok melaksanakan kajian di bidang konservasi, teknik sipil, arsitektur, geologi, biologi, kimia, arkeologi, dan melaksanakan pelatihan tenaga teknis konservasi serta perawatan Borobudur dan peninggalan purbakala lainnya. Balai Konservasi Borobudur mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Pelaksanaan kajian konservasi terhadap aspek teknik sipil, arsitektur, geologi, biologi, kimia dan arkeologi Candi Borobudur dan cagar budaya lainnya;

2. Pelaksanaan pengamanan, pemeliharaan, dan pemugaran Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan kawasan cagar budaya Borobudur;
3. Pelaksanaan pengembangan dan pemanfaatan Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon dan kawasan cagar budaya Borobudur;
4. Pelaksanaan dokumentasi dan publikasi Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan kawasan cagar budaya Borobudur;
5. Pelaksanaan kemitraan di bidang konservasi, pelestarian Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan kawasan cagar budaya Borobudur;
6. Pelaksanaan pengembangan metode dan teknik konservasi cagar budaya fasilitasi pelaksanaan kajian konservasi Candi Borobudur dan candi lainnya serta pengembangan tenaga teknis peninggalan purbakala, dan;
7. Pelaksanaan urusan ketatausahaan Balai Konservasi Borobudur.

Menunjang fungsi tersebut Balai konservasi Borobudur dilengkapi berbagai fasilitas penunjang, apalagi Candi Borobudur yang telah ditetapkan sebagai warisan dunia (*World Heritage*) dengan Nomor 592 pada tahun 1992. Balai Konservasi Borobudur memiliki laboratorium kimia, mikrobiologi, fisik/petrografi, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan laboratorium. Keberadaan laboratorium ini untuk mengembangkan berbagai metode konservasi baik dari batu, bata, kayu, dan lainnya. Selain itu juga digunakan untuk uji coba bahan konservasi sebagai bahan pengganti yang lebih aman, efektif, dan efisien. Bahan-bahan yang telah diuji direkomendasikan untuk pelaksanaan konservasi pada cagar budaya di Indonesia. Balai Konservasi Borobudur melakukan kemitraan dalam berbagai universitas dan institusi lain baik dari Indonesia maupun luar negeri. Beberapa kerjasama kemitraan dilakukan seperti membantu pelaksanaan analisis sampel, tempat pemagangan mahasiswa yang sedang melaksanakan penelitian, maupun kerja sama pengembangan metode dan teknik konservasi dengan negara lain. Kajian konservasi, teknik sipil, arsitektur, geologi, biologi, kimia, dan arkeologi di lingkungan Candi Borobudur serta peninggalan lainnya Balai Konservasi Borobudur melakukan kerjasama dengan melibatkan pakar dari beberapa universitas di Indonesia sebagai narasumber. Selain itu Balai Konservasi Borobudur melaksanakan pelatihan tenaga teknis konservasi, pemugaran,

dokumentasi, dan satuan pengaman warisan dunia secara rutin. Selain kegiatan pengembangan konservasi Balai Konservasi Borobudur juga mengelola berbagai arsip foto, gambar, buku, dan lainnya pada masa pemugaran Candi Borobudur yang kedua dan upaya untuk pelestarian Candi Borobudur melaksanakan kegiatan monitoring Candi Borobudur secara kontinyu.

Mencermati fungsi Balai Konservasi Borobudur, terdapat lima pilar utama yang perlu dikembangkan untuk meningkatkan upaya pelestarian terhadap Candi Borobudur sekaligus untuk meningkatkan fungsi dan kinerja Balai Konservasi Borobudur. Lima pilar tersebut sebagai berikut:

1. Kelestarian Candi Borobudur sebagai warisan dunia

Candi Borobudur pertama kali dipugar pada tahun 1907-1911 oleh Van Erp untuk memperbaiki dan mengembalikannya bagian Arupadatu dan stupa induk. Pemugaran kedua pada tahun 1973-1983 oleh pemerintah Indonesia yang dibantu dari UNESCO dan negara-negara donor. Pemugaran tahap kedua adalah untuk memperbaiki dan mengembalikannya bagian Rupadatu (tubuh candi). Meskipun pemugaran dinyatakan sudah selesai, tetapi masih meninggalkan pekerjaan besar yaitu pemeliharaan, perawatannya, dan pelestariannya sebagai Warisan dunia. Candi Borobudur sebagai salah satu karya besar nenek moyang bangsa Indonesia dan sudah ditetapkan sebagai salah satu warisan dunia (*World Heritage*) tentunya memerlukan pemeliharaan, perawatan, dan upaya pelestarian secara khusus sesuai dengan standard pemeliharaan sebagaiinggalan warisan dunia.

Kelestarian Candi Borobudur tentunya sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal yang dimaksud adalah aspek bahan dan aspek konstruksi bangunan candi. Faktor eksternal yang mempengaruhi kelestarian Candi Borobudur adalah faktor lingkungan, baik yang bersifat seperti lumut, algae, dan jasad renik lainnya dan yang bersifat abiotis seperti panas matahari, hujan, kelembaban, dan sebagainya. Kedua faktor tersebut saling berinteraksi yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kelestarian terhadap Candi Borobudur. Candi Borobudur berada ditempat yang terbuka sehingga menjadi faktor lingkungan yang bersifat abiotis, khususnya pengaruh air hujan sangat berpengaruh terhadap kelestarian bangunan Candi Borobudur.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi kelestarian Candi Borobudur sebagai dampak negatif dari pemanfaatan sebagai obyek wisata. Pemanfaatan yang intensif sebagai obyek wisata antara lain dapat mengakibatkan tekanan pada daya dukung (*carrying capacity*) baik terhadap bangunan candi maupun lingkungan. Oleh karena itu, untuk meminimalisir kerusakan akibat faktor-faktor penyebab kerusakan dan dampak negatif dari pemanfaatan dilakukan berbagai bentuk monitoring secara kontinyu. Monitoring yang kontinyu ini juga bertujuan untuk menciptakan kondisi keterawatan (*state of conservation*) sesuai standard keterawatan sebagai warisan dunia. Monitoring rutin yang dilakukan terhadap Candi Borobudur dan lingkungannya antara lain:

- 1) Monitoring dan evaluasi keterawatan Candi Borobudur
 - 2) Monitoring dan evaluasi stabilitas candi dan bukit
 - 3) Observasi dampak lingkungan
 - 4) Monitoring geohidrologi
 - 5) Observasi kawasan
2. Pusat studi dan kajian konservasi

Konservasi merupakan tindakan pelestarian yang dilakukan untuk memelihara dan mengawetkan benda cagar budaya dengan cara modern maupun tradisional sebagai upaya menghambat kerusakan dan pelapukan lebih lanjut. Konservasi terhadap benda cagar budaya di Indonesia telah mengalami berbagai perkembangan, baik secara metode, teknik, maupun prosedur teknis. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain pengetahuan tentang ilmu bahan (*material*), pengetahuan tentang proses kerusakan (*degradasi*) bahan, pengetahuan tentang bahan-bahan konservan, pengetahuan tentang metode konservasi, dan sebagainya.

Faktor-faktor tersebut diatas, penanganan konservasi tentunya dipengaruhi oleh faktor eksternal, khususnya faktor iklim mikro setempat. Hal ini karena benda cagar budaya umumnya rentan dari pengaruh faktor iklim. Oleh karena itu masalah konservasi dapat menjadi masalah yang kompleks jika berbagai faktor sudah saling memberikan pengaruh. Kompleksitas masalah konservasi terhadap benda cagar budaya tentunya menjadi tantangan bagi Balai Konservasi Borobudur untuk

melakukan berbagai studi dan kajian dalam bidang konservasi, teknik sipil, arsitektur, arkeologi, biologi, kimia, dan geologi. Studi dan kajian lintas disiplin ilmu tersebut diarahkan untuk menghasilkan metode baru yang lebih sesuai dalam hal konservasi terhadap benda cagar budaya.

Studi dan kajian di Balai Konservasi Borobudur dilengkapi dengan laboratorium kimia, laboratorium petrografi, laboratorium mikrobiologi, laboratorium SEM, laboratorium lapangan, green house, fotogrametri, dan stasiun klimatologi. Fungsi laboratorium sebagai sarana untuk menganalisis data hasil studi dan kajian yang membutuhkan analisis laboratorium. Oleh karena itu, maka keberadaan laboratorium dan fungsinya perlu dikembangkan melalui pengembangan analisis laboratorium.

3. Pengembangan SDM yang profesional

Salah satu Tugas Balai Konservasi Borobudur adalah melaksanakan pelatihan tenaga teknis di bidang konservasi peninggalan purbakala. Tenaga teknis di bidang konservasi perlu dipersiapkan dengan berbagai bentuk pendidikan dan pelatihan sehingga menjadi tenaga konservator yang siap dan profesional.

Seiring berjalannya waktu akan adanya pergantian generasi, SDM generasi terdahulu yang ahli dibidang pemugaran dan konservasi yang terlibat langsung dalam proyek restorasi Candi Borobudur tahun 1973-1983 sebagian besar sudah banyak yang memasuki masa pensiun. Pergantian generasi ini tentunya tidak hanya terjadi dilingkungan Balai Konservasi Borobudur saja tetapi juga dilingkungan semua BPCB. Oleh karena itu kaderisasi dan regenerasi tenaga ahli diprioritaskan. Berkaitan dengan meningkatkan profesionalitas SDM dibidang konservasi dan pemugaran maka kegiatan diklat, bintek, pemagangan, dan sebagainya perlu dilakukan pemrograman secara berkesinambungan dan berkelanjutan sehingga dihasilkan generasi baru yang ahli dibidang konservasi dan pemugaran benda cagar budaya.

4. Publikasi dan penyebaran informasi

Penyebaran informasi tidak hanya melalui jaringan internet tetapi tetap memanfaatkan media publikasi seperti dalam bentuk buletin penerbitan buku, website, film dokumenter, pameran, dan sebagainya. Melalui berbagai media maka

masyarakat akan mendapatkan berbagai bentuk informasi tentang Candi Borobudur dan hal-hal yang berkaitan dengan upaya pelestarian benda Cagar Budaya.

5. Kerjasama antar publik

Prinsip upaya pelestarian terhadapinggalan budaya dalam hal ini adalah benda cagar budaya dan pelestarian tersebut tidak dapat hanya dilakukan oleh satu pihak, tetapi harus sinergis antar pemangku kepentingan (*stakeholder*), yaitu pemerintah, masyarakat, LSM, kalangan akademik, dan pihak-pihak terkait lainnya. Terlebih jika Balai Konservasi Borobudur yang mengemban tupoksi melaksanakan pemeliharaan Candi Borobudur sebagai warisan dunia, melaksanakan studi/kajian dibidang konservasi, serta melaksanakan pembinaan dan pelatihan tenaga teknis konservasi, maka kerjasama dan koordinasi dengan para pemangku kepentingan menjadi salah satu kunci keberhasilan dalam pelestarian.

2.2 Mortar dan aplikasinya pada cagar budaya

Mortar adalah produk campuran proporsional antara agregat, bahan pengikat terdiri dari kapur, semen, dan sebagainya, dan air. Agregat menurut Revisi SNI 03-1737-1989 tentang Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) untuk jalan raya adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan. Dunia konstruksi modern, jenis-jenis agregat alam utama yaitu pasir, kerikil (*gravel*), dan pecahan batu (*crushed stone*) menjadi kebutuhan pokok dalam pembangunan (Langer, Dkk., 2004). Mortar banyak diaplikasikan pada candi berbahan batu untuk menanggulangi rembesan air yang mempercepat proses pelapukan. Mortar yang banyak digunakan pada pemugaran masa kolonial adalah campuran *cement portland*(PC), namun karena dalam jangka panjang ternyata menyebabkan penggaraman dan bersifat *irreversible* maka semen PC diganti dengan mortar hidrolis dengan pengikat kapur.

Sifat-sifat dan karakteristik mortar sangat tergantung pada sifat komponen pengikatnya. Bahan pengikat mortar dikembangkan dari waktu ke waktu untuk memenuhi kebutuhan konservasi warisan budaya. Mortar sebagai elemen bangunan memiliki dua fungsi yaitu sebagai pengikat antarmaterial terdiri dari batu atau bata sebagai penutup dan melindungi permukaan kolom, dinding, fasad, atau dengan kata lain menjadi kulit bangunan (Palomo, dkk., 2002).

Berdasarkan fungsi bahan pengikatnya, mortar diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Mortar berbasis kapur (*lime mortar*)

Pengikat (*binder*) yang digunakan pada *lime mortar* adalah kalsium hidroksida yang menghasilkan CaCO_3 ketika terkarbonasi. Kalsium karbonat ini berperan dalam pengerasan material. Sifat-sifat mortar berbasis kapur adalah memiliki kekuatan mekanik yang rendah, mudah diaplikasikan, kapasitas deformasi tinggi (modulus elastisitas rendah), permeabilitas air tinggi, dan resistensi terhadap titik beku rendah. Mortar ini tidak terdapat garam terlarut sehingga tidak menyebabkan penggaraman.

2. Mortar berbasis kapur dan bahan *pozzolanic*

Material *pozzolanic* adalah bahan alam yang diindustrialisasi dengan sifat amorf atau berstruktur kristalin sebagian yang terbentuk oleh silika, siliko-aluminium, atau kombinasi keduanya. Sifat dasar mortar ini hampir sama dengan *lime mortar*, namun kekuatan mekanikalnya lebih kuat dan permeabilitasnya lebih rendah.

3. Mortar berbasis pengikat hidrolis

Binder semen portland merupakan bahan artifisial berstruktur halus yang, terdiri dari bahan anorganik dan mineral alam. Percampuran antara air dan perekat akan memberikan kestabilan dalam jangka panjang dan mengeras. Sifat dasar semen portland antara lain volumenya stabil (tidak mudah mengerut), tahan terhadap agresi kimia, memiliki kekuatan mekanikal yang tinggi, dan tahan terhadap panas (Palomo, dkk., 2002).

4. Mortar berbasis bahan dasar lain

Bahan yang banyak digunakan sebagai perekat mortar antara lain gipsum, tanah liat, dan bahan organik. Kekuatan mekanik gipsum cukup rendah sehingga tidak sesuai digunakan pada ruang terbuka yang banyak terpapar air. Tanah liat, tingkat kekerasannya rendah, rentan terhadap perubahan kelembaban, dan mudah mengalami kembang susut (Cahyandaru, dkk., 2008).

5. Mortar dengan bahan pengikat lebih dari satu jenis.

Mortar jenis ini dibuat dengan kombinasi lebih dari satu pengikat, misalnya kapur dengan semen. Pembuatan mortar didasarkan pada teknologi penggunaan

kapur sejak zaman romawi hingga pada akhirnya kini diganti dengan bahan pengikat *portland cement* (PC). Kalsifikasi berdasarkan fungsi dalam aplikasinya secara teknis (Palomo, 2006);

- 1) Sebagai plester
- 2) Sebagai tampilan depan (lantai, tembok, elemen arsitektural lainnya)
- 3) Sebagai dekorasi (pelapis dan relief)
- 4) Bangunan (*binding/perekat, pointing, scaling, repair*).

Di Indonesia, pemakaian mortar pada cagar budaya berbahan batu andesit telah dilakukan saat pemugaran pertama Candi Borobudur oleh Theodore van Erp tahun 1907 – 1911. Van Erp mengaplikasikan mortar berbahan agregat, pasir dan bahan pengikat dari bahan kapur (*gamping*) dan serbuk bata untuk menutup sela-sela batu (*nat*) sebagai upaya untuk meminimalkan penetrasi air. Metode ini terbukti berdampak positif pada kelestarian batu candi yang ditunjukkan dengan minimnya pelapukan, penggaraman, dan pertumbuhan mikroorganisme di lokasi-lokasi aplikasi mortar (Cahyandaru, dkk., 2008).

Penelitian mortar pada lingkungan pesisir telah dilakukan di Padaleeswarar Temple, Tamil Nadu, India. Candi yang telah berusia hampir 2000 tahun ini berada 2 km dari laut, sehingga komposisi penyusun mortar juga mengandung bahan dari hasil laut. Kapur yang berasal dari cangkang binatang laut digunakan sebagai pengikat mortar. Sampel mortar diperiksa secara visual, banyak serpihan cangkang, gumpalan kapur, dan koral terlihat dengan jelas. Kapur cangkang memiliki karakteristik hidrolik yang bagus karena mengandung banyak mineral lempung seperti ferro dan kalsium magnesium silikat sehingga dapat mempertajam aktivitas pozzolan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mortar asli masih dalam kondisi bagus meskipun telah di kenal di lingkungan laut secara berabad-abad. Hal ini mungkin disebabkan oleh keberadaan bahan organik yang berperan sebagai lapisan akrilik mortar dan menghambat pembentukan kristal NaCl (Thirumalini, dkk., 2016).

2.3 Batu Andesit

Batu andesit adalah batuan beku intermediete dengan kandungan silika lebih tinggi dibandingkan dengan batuan basalt, dan mempunyai kandungan silika lebih rendah dibandingkan dengan batuan *rhyolite* atau *felsite*. andesit dinamakan dari pegunungan Andes di Amerika Selatan, unsur batuan abu vulkanik bercampur dengan magma basalt dengan batuan-batuan keras jenis granit yang menghasilkan lava dengan komposisi intermediete. Batuan andesit mempunyai kandungan fluida lebih sedikit dibandingkan batuan basalt dan diletuskan dengan hebatnya dikarenakan adanya gas-gas terlarut yang terdapat di dalamnya.

Batu andesit sebagian yang berwarna gelap vesicular batuan vulkanik yang biasanya berisi kristal yang lebih besar diatur dalam massa dasar halus (porfiritik) sedangkan batuan vulkanik yang mempunyai kristal lebih besar (fenokris) terdiri dari plagioklas, kaya kalsium, kalsium-rendah piroksen, dan titanium oksida besi diatur dalam halus. Sebagian andesit mengandung *fenokris* dan *olivine* dan beberapa berisi *amphibole* dan *biotit*, batuan ini umumnya lebih banyak mengandung potassium. Sifat porfiritik batu andesit berasal dari sejarah rumut magmatik kristalisasi dan evolusi sebagai mencair naik ke permukaan dari dalam bumi. Kebanyakan gunung berapi di Indonesia meletus *lava andesit* dan *tephras* (abu vulkanik) yang berkisar dalam komposisi dari andesit basal ke desit. Letusan yang meledak mencerminkan air yang relatif tinggi dan kandungan gas dari magma. Aliran prioklastik adalah fitur tertentu dari tipe vulkanisme andesit dan termasuk diantara yang paling berbahaya dari gunung berapi (Haldoko, dkk., 2014).

Batu andesit berasal dari pembekuan magma di permukaan bumi, oleh karena itu batu andesit sering disebut dengan beku luar. Batu andesit berguna untuk bahan bangunan, fondasi jalan dan dalam masyarakat batu andesit disebut sebagai batu gunung. Keberadaan batu andesit dapat berupa batuan gunung maupun bongkahan batuan sungai.

Batu andesit termasuk batuan yang terbentuk pada temperatur menengah dan banyak mengandung mineral andesin. Batu andesit mempunyai komposisi mineralogi piroksin, kuarsa, plagioklas dan feldspar. Piroksi merupakan suatu mineral yang mempunyai warna gelap-hitam dan termasuk dalam kategori mineral

mafik karena kaya akan magnesium (Mg) dan besi (Fe). Komposisi kimia dari kuarsa terdiri dari SiO_2 . Komposisi kimia dari feldspar terdiri dari orthoklas (KAlSi_3O_8) sebagai sumber utama unsur kalium (K) pada batuan (Suharyadi, 1984). Plagioklas mempunyai komposisi kimia yang terdiri dari mineral-mineral yang merupakan suatu larutan keras dari dua molekul $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ dan $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ yang tercampur dalam suatu perbandingan. Plagioklas, kuarsa dan feldspar berwarna terang (felsik) karena kurang akan kandungan (Mg) dan besi (Fe). (Haldoko, dkk., 2014).

Tabel 2.1 Komposisi kimia batu andesit

Senyawa	% jumlah
SiO_2	46%
FeO_3	1,39%
FeO	7,07%
MgO_3	1%
CaO	7,47%
K_2O	1,60%
P_2O_5	0,28%

Batu penyusun Candi Borobudur jenis andesit mempunyai komposisi kimia terdiri dari unsur-unsur utama silikat, aluminium, besi, kalsium, magnesium, natrium, dan kalium. Hasil analisis komposisi kimia batu andesit Candi Borobudur menunjukkan bahwa batu andesit yang memiliki warna cerah relatif memiliki kandungan silika lebih tinggi dari pada batu andesit yang berwarna gelap. Batu andesit yang berwarna gelap memiliki kandungan besi lebih tinggi daripada batu andesit yang berwarna cerah dikarenakan kandungan mineral mafik terdiri dari ferro magnesium silikat lebih tinggi, sehingga dapat menyebabkan batu yang berwarna lebih gelap (Haldoko, dkk., 2014).

2.4 Abu Vulkanik

Abu vulkanik merupakan suatu mineral batuan vulkanik yang termasuk kedalam material glass yang memiliki ukuran sebesar krikil dan pasir dengan diameter kurang lebih 2 mm yang merupakan hasil dari suatu erupsi gunung berapi. Abu vulkanik memiliki partikel yang sangat kecil sehingga mempunyai penampang

lebih kecil dari 0,001 mm. Abu vulkanik bukan merupakan produk hasil dari pembakaran seperti abu terbang yang lunak dan halus seperti hasil pembakaran kayu, daun atau kertas. Abu vulkanik memiliki sifat yang sangat keras dan tidak dapat larut di dalam air sehingga sangat abrasive dan sedikit korosif serta dapat menghantarkan listrik ketika dalam keadaan basah.

Abu vulkanik disebut juga pasir vulkanik atau jatuhan piroklastik adalah bahan material vulkanik jatuhan yang disemburkan ke udara saat terjadi letusan, yang terdiri dari batuan berukuran besar sampai berukuran halus. Bebatuan yang berukuran besar (bongkah –kerikil) biasanya jatuh disekitar kawah sampai radius 5 -7 km dari kawah, dan yang berukuran halus (debu) dapat jatuh pada jarak ratusan kilometer bahkan ribuan kilometer dari kawah karena dapat terpengaruh oleh adanya hembusan angin. Debu vulkanik adalah partikel halus batuan vulkanik diameter kurang dari 2 mikrometer. Debu vulkanik memiliki kandungan lapisan asam yang dapat menyebabkan iritasi pada paru, mata dan kulit(Yuarsa, 2019).

Secara umum abu vulknik dari hasil letusan gunung berapi mengandung beberapa sunsur logam seperti silikon (Si), aluminium(Al), besi (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan kalium (K). Komposisi logam untuk silikon (Si), aluminium (Al), dan kalsium (Ca) yang terkandung didalam abu vulkanik dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar semen,keramik atau produk lain yang berbahan dasar semen. Abu vulkanik yang mengandung belerang dapat memberikan sifat asam pada tanah maupun air disekitarnya. Sifat asam yang diakibatkan oleh belerang dapat merusak benda-benda berbahan logam, mengganggu kesehatan dan dapat menurunkan kessuburan tanah. Abu vulkanik mengandung oksida besi (Fe_2O_3) dan titania (TiO_2) yang relatif tinggi. Kandungan oksida besi dan titania yang relatif tinggi, kandungan oksida besi dan titania yang relatif tinggi dimungkinkan untuk dilakukan ekstraksi kedua logam dari abu vulkanik sehingga didapatkan besi atau oksida besi maupun titanium murni. Besi memiliki nilai yang relatif tinggi karena mempunyai sifat fisik yang kuat dan juga bersifat magnetik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai campuran pembuatan barang-barang berbahan magnetic. Titania memiliki warna putih yang stabil

terhadap pengaruh lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai bahan zat warna cat, antioksidan, pemutih wajah dan semikonduktor untuk fotokatalis maupun sel surya (Athanasius P. Bayuseno,2010).

Abu vulkanik mengandung suatu komponen utama berupa silika dan alumina. Tahun 1994 Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Yogyakarta telah meneliti kandungan abu vulkanik yang ternyata mengandung silikon dioksida (SiO_2) 54,56%, aluminium oksida (Al_2O_3) 18,37%, ferri oksida (Fe_2O_3) 18,59%, dan kalsium oksida (CaO) 8,33%. Abu vulkanik dapat dikatakan pozzolan jika suatu material dengan kandungan utama silika dan alumina tinggi dapat bereaksi dengan kapur (lime) pada suhu rendah dan dengan bantuan air untuk menghasilkan suatu hidrat (Kusumastuti,2012).

Tabel 2.2 Komposisi kimia abu vulkanik

Kandungan oksida abu vulkanik	Jumlah (%)
SiO_2	45,7
Al_2O_3	14
K_2O_3	3,86
CaO	16,1
FeO_3	18,2
TiO_2	1,4
V_2O_5	0,07
MnO	0,47
CuO	0,05
BaO	0,24

2.5 Kapur

Batu kapur (*limestone*) adalah jenis batuan karbonat yang terjadi di alam, disebut juga batu gamping. Mineral utama batu kapur adalah kalsit (CaCO_3), mineral lainnya merupakan mineral pengotor, biasanya terdiri dari kuarsa (SiO_2), karbonat yang berasosiasi dengan mineral besi dan mineral lempung, serta bahan organik sisa tumbuhan. Mineral kalsit terbentuk melalui proses sedimentasi sehingga batu kapur disebut pula batuan sedimen. Mineral kalsit berstruktur kristal sistem heksagonal. Selain kalsit di alam ditemukan pula mineral karbonat lainnya yaitu aragonit (CaCO_3) yang mempunyai komposisi kimia sama dengan kalsit

namun struktur kristalnya berbeda yaitu sistem ortorombik. Aragonit ditemukan pada kulit kerang (*oyster shells*) dan keong (*oolites*). Aragonit bersifat metastabil, dalam waktu lama akan berubah menjadi kalsit. Mineral karbonat lain yang berasosiasi dengan kalsit adalah Siderit (FeCO_3), Ankerit ($\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$), dan Magnesit (MgCO_3), mineral-mineral tersebut umumnya ditemukan dalam jumlah kecil. Mineral-mineral karbonat tidak mudah dibedakan satu dari yang lainnya karena mempunyai sifat-sifat fisis yang hampir sama, seperti berat jenis, warna, bentuk kristal, dan sifat-sifat fisik lainnya (Aziz,2010).

Kapur termasuk bahan bangunan yang penting. Bahan kapur telah dipakai sejak zaman kuno. Orang-orang mesir kuno memakai serbuk kapur sebagai plester bangunan. Di indonesia serbuk kapur digunakan sebagai bahan ikat dalam pembuatan mortar (Zuraidah,2017).

1. Sifat-sifat serbuk kapur sebagai bahan bangunan (bahan ikat) yaitu:
 - 1) Mempunyai sifat plastis yang baik (tidak getas)
 - 2) Sebagai mortar, member kekuatan pada tembok.
 - 3) Dapat mengeras dengan cepat dan mudah.
 - 4) Mudah dikerjakan.
 - 5) Mempunyai ikatan yang bagus dengan batu ataubata.
2. Serbuk Kapur dapat dipakai untuk keperluan sebagai berikut:
 - 1) Sebagai bahan ikat pada mortar
 - 2) Sebagai bahan ikat pada beton. Bila dipakai bersama-sama Semen Portland, sifatnya menjadi lebih baik dan dapat mengurangi kebutuhan semen Portland.
 - 3) Sebagai batuan jika berbentuk batu kapur

2.6 Titrasi Kompleksometri

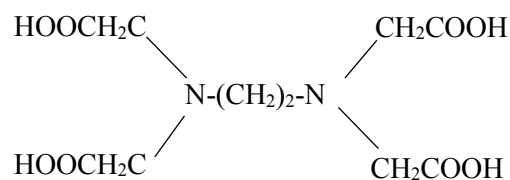
Titration kompleksometri merupakan penetapan kadar dengan menggunakan metode titrasi berdasarkan pada pembentukan senyawa kompleks (ion kompleks atau garam yang sukar mengion) atau *kompleksing agent* dengan ion logam sebagai ion pusat. Kompleksometri merupakan jenis titrasi dimana titran dan titrat saling mengkompleks, membentuk hasil berupa kompleks. Kompleks adalah kompleks yang dibentuk melalui reaksi ion logam, sebagai kation dengan sebuah anion atau

molekul netral. Gugus yang terikat pada atom pusat disebut ligan. Banyaknya ikatan yang dibentuk oleh atom logam pusat disebut bilangan koordinasi dan atom logam tersebut.

Hampir semua logam dapat secara akurat ditentukan oleh titerasi kompleksometri. Kompleksometri memainkan peran penting dalam kimia dan biokimia. Ikatan kation akan membentuk kompleks dalam larutan dengan berbagai zat yang memiliki pasangan elektron baik terbagi (misalnya pada N,O,S atom dalam molekul) mampu memuaskan bilangan koordinasi pada logam, m. Ion logam adalah asam lewis (elektron pasangan aseptor), kompleksnya adalah basa lewis (donor pasangan elektron). Asam yang paling banyak digunakan dalam titrasi adalah EDTA (Christian,2014).

Persyaratan mendasar terbentuknya kompleks adalah tingkat kelarutan yang tinggi, selain titrasi kompleksometri yang dikenal sebagai kelatometri seperti yang menyambut penggunaan EDTA. Selektivitas kompleks dapat diatur dengan pengendalian pH= 10 EDTA. Sebagian besar titrasi kompleksometri menggunakan indikator yang bertindak sebagai pengkompleksnya sendiri (Khopkar,2012).

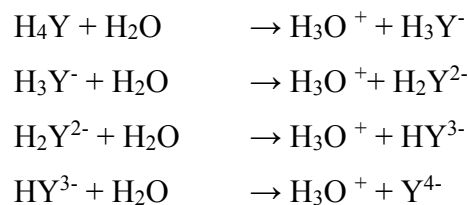
Asam etilen diamin tetraasetat (EDTA) merupakan salah satu jenis asam amina polikarboksilat. Asam etilen diamin tetraasetat adalah ligan seksidentat yang dapat berkoordinasi dengan suatu ion logam lewat kedua nitrogen dan keempat gugus karboksilnya atau disebut dengan ligan multidentat yang mengandung lebih dari dua atom koordinasi per molekul, misalnya asam 1,2- diaminoetanatetraasetat (EDTA) mempunyai dua atom nitrogen penyumbang dan empat atom oksigen penyumbang dalam molekul.



Gambar 2.1 Struktur EDTA (Khopkar, 2010)

Suatu EDTA dapat membentuk senyawa kompleks yang mantap dengan bantuan sejumlah ion logam sehingga EDTA merupakan ligan yang tidak selektif. Larutan

suasana asam dapat terjadi protonasi parsial EDTA tanpa pematangan sempurna kompleks logam yang dapat menghasilkan spesies seperti CuHY^- . Apabila beberapa ion logam yang ada dalam larutan dititisi dengan larutan EDTA maka akan menunjukkan jumlah semua ion logam yang ada dalam larutan tersebut. EDTA mengandung enam basa dan empat karboksilat oksigen dan dua nitrogen maka enam spesies yaitu H_6Y^{2+} , H_5Y^+ , H_4Y , H_3Y^- , H_2Y^{2-} , dan HY^{3-} . Dua asam pertama adalah asam-asam yang relatif kuat dan biasanya tidak penting dalam suatu perhitungan kesetimbangan. Empat tetapan penguraian dari H_4Y adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Tetapan penguraian H_4Y (Khopkar,2010)

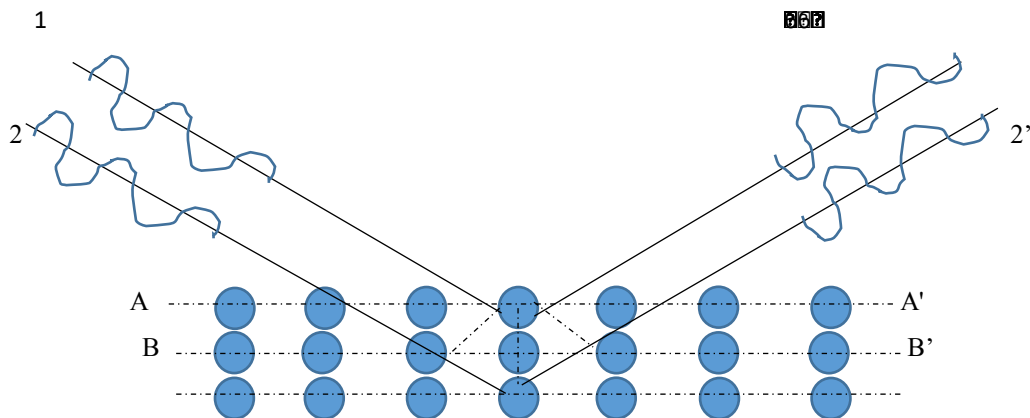
Langkah ionisasi ketiga dan keempat jauh lebih lemah dibandingkan dengan dua yang pertama. Hal ini disebabkan karena adanya kedua proton dalam H_2Y^- bergabung pada kedua atom nitrogen dan tidak begitu cepat hilang dibandingkan dengan proton yang bergabung dalam oksigen.

2.7 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk analisis komposisi fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi Kristal. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksikan cahaya yang melalui celah Kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi Kristal atau Kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut yang berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar -X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai 2,5 Angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan siabsorpsi, ditransmisikan dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD (Jamaluddin, 2010).

Komponen utama XRD terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel holder serta detektor. Instrumen XRD menghasilkan data-dat difraksi dan kuantitatif intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ . Pola yang muncul pada XRD mewakili satu bidang Kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).

Material jika dikenai sinar-X maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang karena adanya penyerapan material dan penghamburan oleh atom-atom material tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada yang saling menguatkan karena fasenya yang sama. Berkas sinar-X yang menguatkan dari gelombang yang terhambur disebut dengan berkas difraksi (Taqiyah, 2012). Ilustrasi sinar-X pada XRD dapat dilihat pada Gambar 2.3



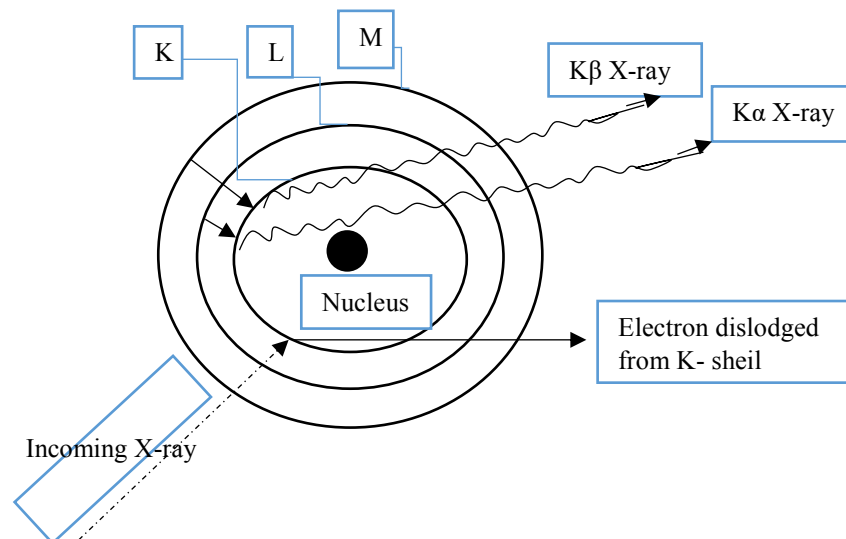
Gambar 2.3 Ilustrasi difraksi sinar-X (Taqiyah, 2012)

2.8 X-Ray Fluorescence

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah metode analisis yang digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kuantitatif dan 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 puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya,

sedangkan untuk analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar (Kriswarini, dkk., 2010).

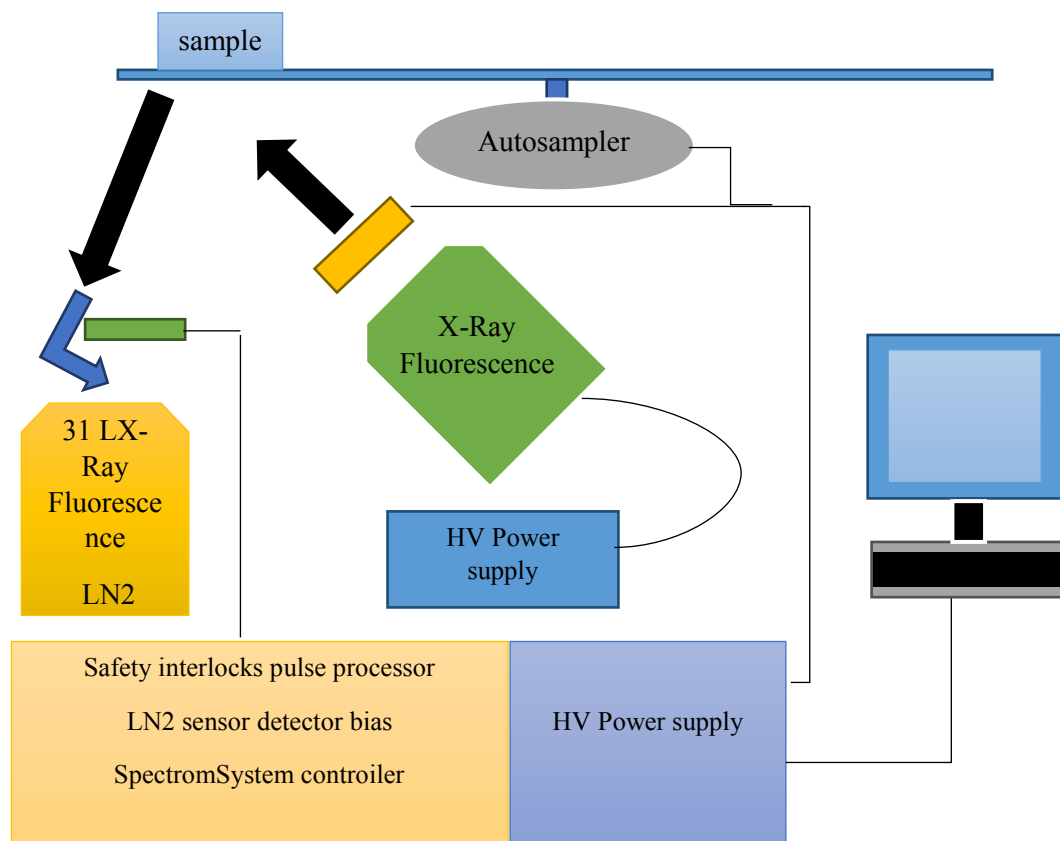
Analisis XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik dapat terjadi apabila elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Energi sinar lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya dan atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Peristiwa pada tabung sinar X (Girard,2010)

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum discreet yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif

dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan (Munasir,2012).Bagan alat *X-Ray fluorescence* (XRF) dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Bagan alat XRF (Munasir,2012)

2.9 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) merupakan proses identifikasi struktur molekul suatu senyawa. Komponen utama spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yang mempunyai fungsi menguraikan (mendispersi) radiasi inframerah menjadi komponen-komponen frekuensi. Keunggulan metode FTIR adalah informasi struktur molekul dapat didapatkan memiliki resolusi yang tinggi. Keuntungan yang lain dari metode ini adalah dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase seperti gas, padat atau cair (Sankari,2010).

Spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang

gelombang $0.75 - 1.000 \mu\text{m}$ atau pada bilangan gelombang $13.000 - 10 \text{ cm}^{-1}$. Metode spektroskopi meliputi teknik serapan (*absorption*), teknik emisi (*emission*), dan teknik fluoresensi (*fluorescence*). Penyerapan gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan terjadinya eksitasi tingkat-tingkat energi dalam molekul, dapat berupa eksitasi elektronik, vibrasi, atau rotasi (Yudhapratama,2010).

2.10 Validasi Metode

Validasi metode merupakan proses untuk memastikan bahwa prosedur yang memenuhi standar reliabilitas, akurasi, presisi sesuai tujuan yang diharapkan. Validasi metode dilakukan untuk menjamin bahwa metode analisis akurat, spesifik, reproduksibel dan tahan pada kisaran analit yang akan dianalisis (Gandjar dan Rohman, 2014). Validasi metode analisis adalah suatu tindakan parameter tertentu, berdasarkan percobaan laboratorium untuk membuktikan bahwa parameter tersebut memenuhi persyaratan dalam penggunaannya.

2.11 Presisi

Presisi merupakan ukuran kedekatan hasil analisis diperoleh dari pengukuran ulangan dari suatu ukuran yang sama. Hal ini menunjukkan kesalahan acak yang terjadi dalam sebuah metode. Dua set diterima secara umum kondisi di mana presisi diukur adalah kondisi berulang dan reproduksi. Presisi biasanya diukur sebagai koefisien variasi atau deviasi standar relative dari hasil analisis yang diperoleh dari independen disiapkan standar control kualitas (Riyanto, 2014).

Presisi dibagi menjadi dua yaitu keterulangan (*repeatability*) dan ketertiruan (*reproducibility*). Keterulangan merupakan suatu nilai presisi yang diperoleh apabila seluruh pengukuran dihasilkan oleh satu orang analis didalam satu periode tertentu menggunakan contoh, peralatan, dan pereaksi yang sama dalam satu laboratorium. Ketertiruan merupakan nilai presisi yang dihasilkan oleh analis yang berbeda dalam laboratorium yang sama. Ketertiruan dari analisis tidak akan lebih baik hasilnya dari nilai keterulangan (Utami,2017).

2.12 Akurasi

Akurasi adalah ketepatan metode analisis atau kedekatan antara nilai terukur dengan nilai yang diterima baik nilai sebenarnya, nilai konversi, atau nilai

rujukan. Akurasi dapat diukur sebagai banyaknya analit yang diperoleh kembali pada suatu pengukuran dengan melakukan spiking pada suatu sampel. Pengujian senyawa obat, akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan bahan rujukan standar (Gandjar,2014). Terdapat tiga acara yang dapat digunakan untuk menentukan akurasi suatu metode analisis yaitu:

1. Uji perolehan kembali atau perolehan kembali dengan memasukkan analit kedalam matriks blanko (*spiked placebo*).
2. Membandingkan hasil analisis dengan CRM (*certified refrence material*) dari organisasi internasional.
3. Penambahan baku pada matriks sampel yang mengandung analit (*standard addition method*).

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat

Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah loyang, wadah gelas plastik, palu, neraca analitik, sekop, sendok plastik, oven, mesin penghancur batu (*Stone Crusher*), pisau lukis (*Painting knife*), paralon ukuran 3 x 6 cm, gelas beaker 100 mL, ayakan bertingkat 2 mm - 63 μm , ayakan bertingkat 1 mm - 63 mikro, mesin ayakan, mortar dan alu, cawan platina, spatula, *Furnace Barnstead Thermolyne 1400*, propipet, pengaduk kaca, sendok sungu, corong gelas, gelas arloji, pipet tetes, erlenmeyer 250 mL (*Iwaki*), labu ukur 1000 mL, gelas beaker 250 mL, pipet ukur 10 mL, termometer, *hotplate thermolyne*, *X-ray fluorescence (XRF Portabel Olympus DP-2000 High Count Rate)*, *X-ray diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)*, Alat kuat tekan (*Micro Universal Testing Machine*) dan Micro buret $\pm 0,01$ mL.

3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada pengujian ini adalah batu andesit, kapur, abu vulkanik, air, akuabides, padatan potassium sodium karbonat (KNaCO_3), larutan asam klorida 2N (HCl), larutan asam nitrat 1N (HNO_3), larutan asam etilenadiamin tetraasetat 0,01 M (EDTA), larutan seng sulfat 0,1 M (ZnSO_4), larutan natrium hidroksida 0,1 N (NaOH), larutan natrium asetat 1% (CH_3COONa), larutan amoniak (NH_4OH), larutan titrisol Fe 1000 ppm, indikator natrium asetat (sulfasalilat acid) Indikator, buffer tablet, kertas PH meter (Universal) dan kertas saring whatman No. 40

3.3 Cara Kerja

3.3.1 Preparasi Bahan Pembuatan Mortar

1. Batu andesit

Batu andesit dihancurkan menggunakan *stone crusher* (pemecah batu). Batu andesit diayak sesuai dengan ukuran distribusi agregat sesuai komposisi *Fuller* yang ditunjukkan pada Tabel 3.1. Batuan yang sudah diayak dilakukan uji XRF, XRD, dan FTIR.

Tabel 3.1 Ukuran butir dan massa batu andesit menurut rumus Fuller

Ukuran (mm)	< 0,063	0,063- 0,125	0,125-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2
Massa (g)	35,44	3,4	10,6	12,39	15,25	18,77

2. Abu Vulkanik

Abu vulkanik yang diperoleh dikeringkan dalam oven sampai kering. Abu vulkanik ditimbang sebanyak 100 g. Abu vulkanik disaring dengan ayakan bertingkat ukuran < 63 mikro - 1 mm. Abu vulkanik ditimbang masing-masing berdasarkan ukuran yang dihasilkan dan dimasukkan dalam wadah. Abu vulkanik yang dihasilkan dilakukan uji XRF, XRD dan FTIR.

3. Kapur

Bongkahan kapur padalarang dimasukkan dalam loyang dan ditambahkan air sampai menjadi bubur. Kapur dimasukkan dalam gelas beaker 100 mL sebanyak 20 mL dan ditimbang massa kapur. Kapur dikeringkan dalam oven dengan suhu 100° C sampai kering. Kapur ditimbang untuk didapatkan massa kapur yang dihasilkan setelah dioven. Kapur yang sudah dikeringkan dilakukan uji XRF dan XRD.

3.3.2 Pembutan mortar variasi 2:1:1 ; 2:2:1; dan 3:2:2

Serbuk batu andesit dimasukkan dalam wadah dan diaduk sampai serbuk homogen, ditambahkan abu vulkanik dan air hingga homogen, ditambahkan bubur kapur dan diaduk dengan *painting knife* hingga adonan homogen dan cukup lekat. Adonan mortardiaplikasikan kedalam cetakan mortar berupa paralon berukuran 3x6 cm yang telah dibelah menjadi dua dan diikat dengan tali rafia, adonan mortar ditekan-tekan hingga permukaan pralon terisi secara merata dan biarkan mortar kering dalam ruangan. Mortar yang telah kering dilakukan uji XRF, XRD, FTIR dan kuat tekan. Perbandingan variasi berat antara batu andesit, abu vulkanik, dan kapur dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Perbandingan variasi berat batu andesit, abu vulkanik, dan kapur

Mortar variasi	Batu andesit	Abu vulkanik	Kapur
2:1:1	50 g	50 g	25 g
2:2:1	40 g	40 g	20 g
3:2:2	60 g	20 g	20 g

3.3.3 Preparasi Sampel Uji

Mortar yang telah kering masing-masing dihaluskan dan disaring dengan ayakan bertingkat berukuran $<0,063$ mm. Sebanyak 1 g serbuk mortar sebanyak dan ditambahkan padatan KNaCO_3 sebanyak 4 g diaduk hingga tercampur. Campuran dimasukkan kedalam cawan platina dan di *furnace* dengan temperatur 900 °C selama 1 jam. Sampel didinginkan dan dimasukkan kedalam gelas beaker 250 mL, kemudian dilarutkan dengan larutan HCl 2 N sebanyak 50 mL dan dipanaskan hingga larutan mendidih. Larutan didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring whatman No. 40.

3.3.4 Standarisasi Na-EDTA 0,1 M dengan ZnSO_4 0,1 M

Larutan Na-EDTA sebanyak 20 mL dimasukkan kedalam erlenmeyer 250 ml dan ditambahkan 10 mL akuabides dilakukan stirrer dan dicek pH larutan hingga 7 dengan penambahan larutan NaOH 0,1 N, ditambah 1 butir indikator buffer tablet, kemudian ditambah larutan NH_3 sebanyak 5 mL dan dilakukan titrasi dengan ZnSO_4 0,1 M dan diamati perubahan warna yang terjadi. Titrasi dilakukan secara duplo.

3.3.5 Penentuan Kandungan Fe dengan Metode Titrasi kompleksometri

Sampel sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan diberi label, ditambahkan akuabides sebanyak 100 mL dan larutan HNO_3 sebanyak 1 mL pada setiap sampel, panaskan hingga suhu 70 °C, kemudian didinginkan. Sampel ditambah larutan CH_3COONa hingga pH 2-3 dan indikator *sulfalisilat acid* hingga terbentuk warna merah muda, kemudian dititrasi dengan Na-EDTA 0,1 M dari merah muda seulas berubah menjadi bening.

3.3.6 Penentuan Akurasi

Ambil masing-masing sampel sebanyak 1 mL dimasukkan kedalam erlenmeyer dan diberi label. Ditambah akuades sebanyak 100 mL dan larutan HNO_3 sebanyak 1 mL pada setiap sampel, panaskan hingga suhu 70 °C, didinginkan. Ditambahkan CH_3COONa hingga pH 2-3 dan indikator *sulfalisilat acid* hingga terbentuk warna merah muda seulas, selanjutnya dilakukan ditambahkan larutan titrisol Fe 1000

ppm sebanyak 1 mL kemudian dititrasi dengan Na-EDTA 0,1 M dari merah muda berubah menjadi bening.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil preparasi batu andesit

Agregat batu andesit yang dihasilkan dari *Stone crusher machine* dilakukan pengeringan dengan oven yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air pada agregat batu andesit sehingga pada proses penyaringan dapat tersaring dengan sempurna. Ukuran saringan terkecil yang digunakan adalah <0,063 mm dan yang terbesar adalah 2,00 mm. Agregat batu andesit digunakan untuk membuat mortar yang diharapkan dapat diaplikasikan sebagai pengisi nat batu candi. Mortar dibentuk dengan mengatur distribusi ukuran agregat sehingga mendekati komposisi batu andesit. Distribusi agregat yang dianggap dapat memberikan kepadatan (densitas) dan kekerasan paling optimal dikemukakan oleh Fuller dan Thompson.

Tabel 4.1 Hasil XRF kandungan senyawa batu andesit

Sampel	Si (%)	SiO ₂ (%)	Al (%)	Fe (%)	Ca (%)
	24,49	52,39	9,83	6,37	6,36
Batu andesit	23,97	51,29	9,62	4,73	4,78
	23,44	50,15	9,35	5,43	4,78
Rata-rata	23,97	51,28	9,6	5,51	5,31

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa rata-rata hasil kandungan senyawa pada batu andesit yang meliputi senyawa Si sebesar 23,97 %, SiO₂ sebesar 51,28% kandungan SiO₂ dalam batu andesit ini termasuk tertinggi, Al sebesar 9,68 %, Fe sebesar 5,51 %, dan Ca sebesar 5,31 %. Dapat dilihat bahwa hasil tertinggi terdapat pada komposisi kimia SiO₂ pada batu andesit.

4.2 Hasil preparasi abu vulkanik

Bahan hidrolis yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu vulkanik sisa letusan gunung berapi yang sebagian disimpan didalam laboratorium fisik Balai Konservasi Borobudur. Abu vulkanik yang diperoleh dilakukan pengeringan dengan oven yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air pada abu vulkanik sehingga pada proses penyaringan dapat tersaring dengan sempurna. Ukuran saringan terkecil yang digunakan adalah <63 mic dan yang terbesar adalah 1 mm

dengan massa total abu vulkanik sebanyak 100 g yang digunakan untuk mengetahui komposisi dari abu vulkanik berdasarkan Fuller.

Tabel 4.2 Hasil penyaringan abu vulkanik

Ukuran (mikro)	<63	63 -125	125-250	250-500	500 -1 mm	1 mm
Massa (g)	25,2	18,1	22,1	29,7	2,4	0,4

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa hasil penyaringan dengan massa paling banyak terdapat pada ukuran <63 mikro yaitu sebanyak 25,2 g. Hasil penyaringan abu vulkanik ini dapat dikatakan bagus dibuktikan dengan perhitungan dengan variasi massa abu vulkanik dalam pembuatan mortar tidak melebihi komposisi Fuller. Penyaringan abu vulkanik ini sangat berpengaruh dalam pembuatan mortar karena jika massa abu vulkanik yang diperoleh melebihi dari komposisi Fuller maka harus dilakukan penyaringan ulang sampai tidak melebihi komposisi Fuller.

Tabel 4.3 Hasil XRF kandungan senyawa abu vulkanik

Sampel	Si(%)	SiO ₂ (%)	Al(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe(%)	Ca(%)	CaO(%)
	29,51	63,12	9,23	17,44	6,07	5,56	7,77
Abu vulkanik	29,43	62,95	8,97	16,95	5,82	5,18	7,25
	31,7	67,81	10,06	19,01	7	6,03	8,43
Rata-rata	30,21	64,63	9,42	17,80	6,30	5,59	7,82

Analisis komposisi abu vulkanik menggunakan XRF menunjukkan kandungan SiO₂ merupakan kandungan tertinggi dibandingkan dengan senyawa yang lainnya. Hasil dari analisis XRF didapatkan kandungan Si sebesar 30,21 %, kandungan SiO₂ didapatkan sebesar 64,63%, kandungan Al sebesar 9,42 %, kandungan Al₂O₃ sebesar 17,80 %, kandungan Fe sebanyak 6,30 %, kandungan Ca sebesar 5,59 % dan kandungan CaO sebesar 7,82%. Dari analisis yang telah dilakukan kandungan tertinggi kedua yaitu senyawa Si. Senyawa Si, SiO₂, Al, Al₂O₃, Fe, Ca, CaO merupakan kandungan utama didalam abu vulkanik. Kandungan SiO₂, Al₂O₃, dan

CaO yang cukup besar memungkinkan pemanfaatan abu tersebut sebagai bahan dasar pembuatan benda berbasis semen.

4.3 Hasil preparasi kapur

Pengikat (*binder*) yang digunakan pada penelitian ini adalah kalsium hidroksida yang menghasilkan CaCO₃ ketika terkarbonasi. Kalsium karbonat ini berperan dalam pengerasan material. Kapur yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk bubuk maka dari itu dalam pembuatan mortar dengan berbagai variasi kapur bubuk tersebut dilakukan pengeringan dengan oven suhu 100° C untuk menghilangkan kadar airnya. Penentuan komposisi kapur ini hanya diambil bubuk kapur sebanyak 20 mL untuk ditentukan berapa gram dalam kapur sebanyak 20 mL yang kemudian dapat dilanjutkan perhitungan pada saat pembuatan mortar. Rumus perhitungan kapur adalah sebagai berikut:

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{Massa (g)}}{\text{volume (mL)}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Massa : jumlah kapur kering setelah dioven (g)

Volume : jumlah kapur yang ditentukan komposisinya (mL)

Tabel 4.4 Hasil penentuan komposisi kapur

No	Keterangan	Massa (g)
1	Beaker kosong 100 mL	62,3
2	Bubur kapur 20 mL	20,5 g
3	Bubur kapur setelah oven	72,8
4	Kapur yang diperoleh	10,5
5	20 mL kapur	0,525 g/mL

Berdasarkan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa dalam 20 mL bubuk kapur bermassa 0,525 g/mL dengan perhitungan *bulk density*. Kapur yang didapatkan setelah dioven sebanyak 10,5 g dihasilkan dari massa beaker kosong 100 mL dikurang dengan bubuk kapur setelah oven. Data dari preparasi dan penentuan komposisi kapur ini selanjutnya digunakan dalam pembuatan mortar.

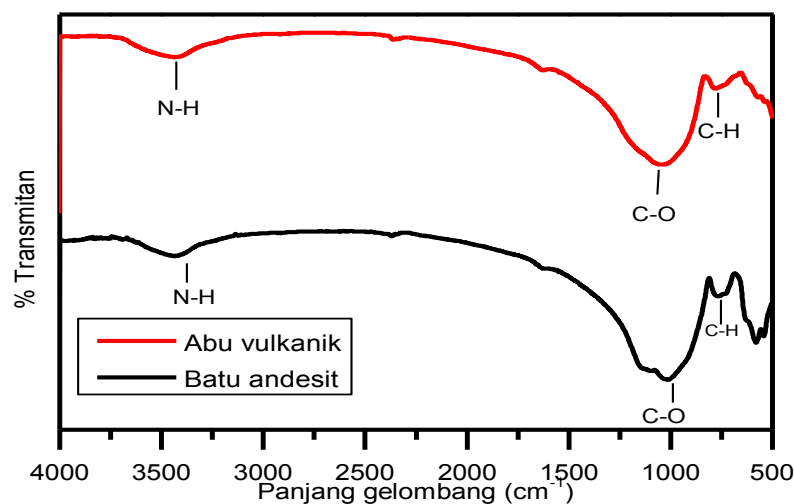
Tabel 4.5 Hasil XRF kandungan senyawa kapur

Sampel	Si(%)	SiO ₂ (%)	Cl(%)	Fe(%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ca(%)	CaO(%)
Kapur	0,2747	0,5876	18,25	0,0438	0,0626	64,36	90,1
	0,3805	0,8141	15,3	0,0412	0,0589	60,68	84,9
	0,3292	0,7042	16,01	0,0508	0,0727	61,45	86
Rata-rata	0,33	0,7	16,52	0,05	0,06	62,16	87

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa kandungan kapur terdapat senyawa kimia seperti Si, SiO₂, Cl, Fe, Fe₂O₃, Ca, dan CaO. Kandungan senyawa tertinggi terdapat dalam senyawa CaO yaitu sebesar 86,98 % dan kandungan terendah terdapat dalam senyawa Fe yaitu sebesar 0,05 %.

4.4. Karakterisasi batu andesit, abu vulkanik, dan kapur

Batu andesit dan abu vulkanik yang telah dihaluskan dan disaring ukuran <0,063 dandikeringkan dikarakterisasi dengan FTIR yang bertujuan untuk mengetahui kemurniannya. Hasil karakterisi batu andesit dan abu vulkanik menggunakan FTIR ditunjukkan pada Gambar 4.1

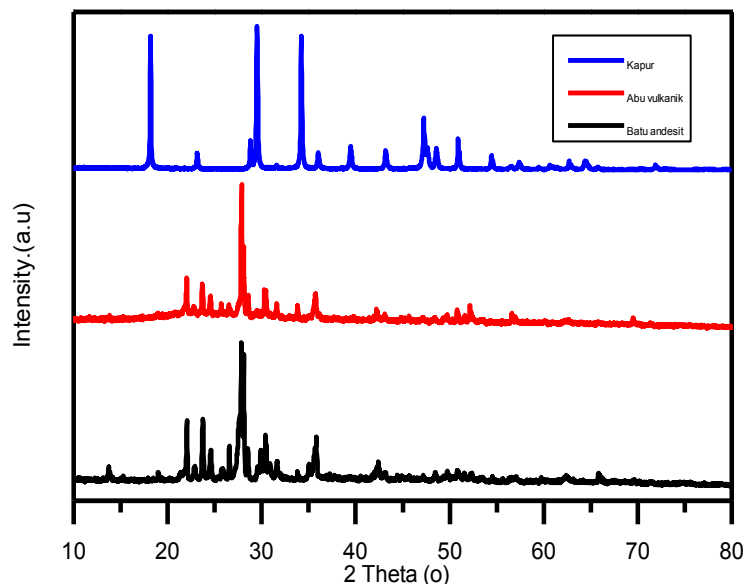


Gambar 4.1 Hasil analisis FTIR batu andesit dan abu vulkanik

Hasil analisis FTIR pada ditunjukkan pada Gambar 4.1 merupakan spektrum sampel bahan mortar yaitu batu andesit dan abu vulkanik. Sampel batu andesit diperoleh serapan sebanyak 5 puncak. Serapan paling tajam pada 1013,71 cm⁻¹

¹terdapat ikatan gugus fungsi C-O, serapan pada 3436,55 cm⁻¹ berupa ikatan NH (amina), serapan pada 769,34 terdapat ikatan gugus fungsi C-H vibrasi bengkok keluar bidang, dan serapan pada 580,65 cm⁻¹ serta 542,59 cm⁻¹ disebut sebagai daerah vibrasi bengkok keluar bidang (*out of plane oop*) yang dapat mendukung vibrasi bengkok C-H metil dan metilen. Sampel abu vulkanik diperoleh serapan sebanyak 4 puncak. Serapan paling tajam pada 1045,29 cm⁻¹ terdapat ikatan gugus fungsi C-O, serapan pada 3436,30 cm⁻¹ terdapat gugus fungsi N-H (amina), serapan pada 778,69 cm⁻¹ terdapat gugus fungsi C-H, serapan pada 457,58 cm⁻¹ yaitu daerah vibrasi bengkok keluar bidang (*out of plane oop*) yang dapat mendukung vibrasi bengkok C-H metil dan metilen. Berdasarkan data yang didapatkan dari sampel bahan batu andesit dan abu vulkanik menggunakan FTIR didapatkan hasil dari yang tidak jauh berbeda dan memiliki gugus fungsi yang sama.

Batu andesit, abu vulkanik dan kapur yang telah dilakukan penyaringan dengan ukuran <0,063 selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui difraksi pada sudut-sudut tertentu suatu sampel. Hasil karakterisasi menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 4.2

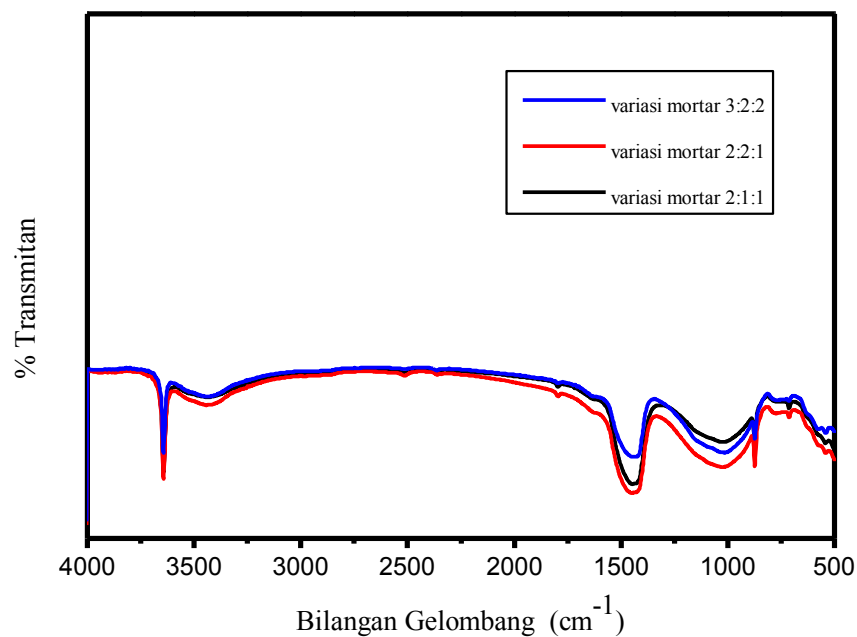


Gambar 4.2 Hasil analisis XRD batu andesit, abu vulkanik, dan kapur

Hasil analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) pada Gambar 4.2 merupakan difraktogram batu andesit, abu vulkanik, dan kapur. Berdasarkan difraktogram batu andesit menunjukkan bahwa puncak 2θ yang intensitasnya tertinggi berada disekitar $27,839^\circ$ dan $28,094^\circ$. Difraktogram abu vulkanik menunjukkan puncak 2θ yang intensitasnya tertinggi berada disekitar $27,876^\circ$ dan difraktogram kapur puncak 2θ yang intensitasnya tertinggi berada disekitar $18,181^\circ$; $29,505^\circ$; dan $34,205^\circ$.

4.5 Hasil karakterisasi variasi komposisi mortar 2:1:1 ; 2:2:1 ; dan 3:2:2

Mortar yang telah hancur oleh kuat tekan kemudian dihaluskan dan disaring ukuran $<0,063$ dan telah dikeringkan dilakukan karakterisasi dengan FTIR yang bertujuan untuk mengetahui kemurniannya. Hasil karakterisasi variasi mortar komposisi 2:1:1 ; 2:2:1 dan 3:2:2 dengan FTIR ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Hasil analisis FTIR mortar pada masing-masing variasi komposisi 2:1:1 : 2:2:1 dan 3:2:2

Hasil analisis FTIR pada ditunjukkan pada Gambar 4.3 merupakan spektrum sampel mortar komposisi 2:1:1 terdiri dari campuran 50 g batu andesit; 25 g abu

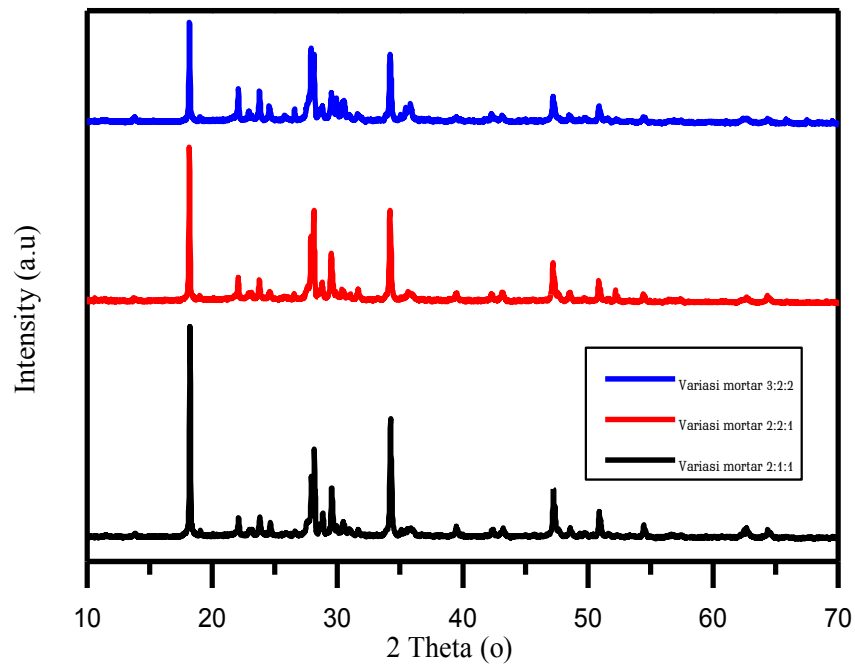
vulkanik; dan 25 g kapur , mortar komposisi 2:2:1 terdiri dari campuran 40 g batu andesit; 40 g abu vulkanik; dan 20 g kapur ; dan mortar komposisi 3:2:2 terdiri dari campuran 60 g batu andesit; 20 g abu vulkanik; dan 20 g kapur.

Sampel variasi mortar komposisi 2:1:1 diperoleh spektrum sebanyak 6 puncak. Serapan paling tajam pada $3643,02\text{ cm}^{-1}$ berupa ikatan gugus OH puncak ini terjadi karena vibrasi ulur dari atom hidrogen dengan atom lainnya, serapan pada $3429,9\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus NH, serapan pada $1446,83\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus -C-NO₂ berupa senyawa Nitro aromatik, serapan pada $1023,83\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus C-O, serapan pada $873,77\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus cincin aromatik dengan vibrasi bengkok =C-H keluar bidang, dan serapan pada $712,83\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus alkena cincin aromatik.

Sampel variasi komposisi mortar 2:2:1 diperoleh spektrum sebanyak 6 puncak. Serapan paling tajam pada $3643,37\text{ cm}^{-1}$ berupa ikatan gugus OH puncak ini terjadi karena vibrasi ulur dari atom hidrogen dengan atom lainnya, serapan pada $3443,73\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus NH, serapan pada $1450,56\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus -C-NO₂ berupa senyawa Nitro aromatik, serapan pada $1028,30\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus C-O, serapan pada $873,36\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus cincin aromatik dengan vibrasi bengkok =C-H keluar bidang, dan serapan pada $712,89\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan gugus alkena cincin aromatik.

Sampel variasi komposisi mortar 3:2:2 diperoleh spektrum sebanyak 6 puncak. Serapan paling tajam pada $3643,50\text{ cm}^{-1}$ berupa ikatan gugus OH puncak ini terjadi karena vibrasi ulur dari atom hidrogen dengan atom lainnya, serapan pada $3429,40\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus NH, serapan pada $1446,21\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus -C-NO₂ berupa senyawa Nitro aromatik, serapan pada $1016,10\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus C-O, serapan pada $873,23\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan gugus cincin aromatik dengan vibrasi bengkok =C-H keluar bidang, serapan pada $713,89\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan gugus alkena cincin aromatik dan serapan pada $540,96\text{ cm}^{-1}$ disebut sebagai daerah vibrasi bengkok keluar bidang “ *out of plane,oop*”. Berdasarkan data yang didapatkan dari beberapa uji sampel variasi komposisi mortar menggunakan FTIR didapatkan hasil dari masing-masing variasi komposisi mortar yang tidak jauh berbeda dan memiliki gugus fungsi yang sama.

Hasil penyaringan dengan ukuran $<0,063$ selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui difraksi pada sudut-sudut tertentu suatu sampel. Hasil karakterisasi menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 4.4



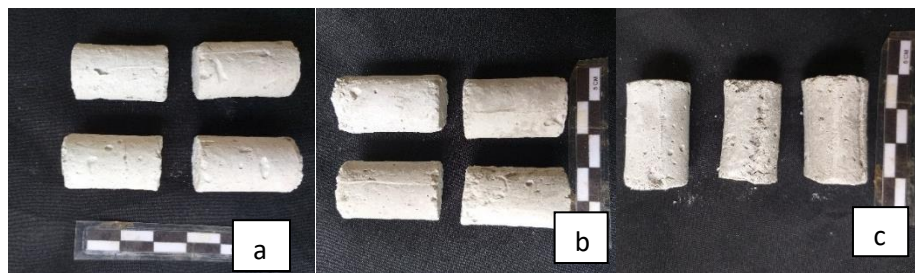
Gambar 4.4 Hasil analisis XRD mortar pada masing-masing variasi komposisi 2:1:1 : 2:2:1 dan 3:2:2

Hasil analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) pada Gambar 4.4 merupakan difraktogram mortar variasi 2:1:1 campuran 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; 25 g kapur, mortar variasi 2:2:1 campuran 40 g batu andesit; 40 g abu vulkanik; 20 g kapur, dan mortar variasi 3:2:2 campuran 60 g batu andesit; 20 g abu vulkanik; 20 g kapur. Berdasarkan difraktogram mortar variasi 2:1:1 menunjukkan bahwa puncak 2θ yang intensitasnya tertinggi berada disekitar $18,212^\circ$. Difraktogram mortar variasi 2:2:1 menunjukkan bahwa puncak 2θ yang intensitasnya tertinggi berada disekitar $18,16^\circ$, $28,116^\circ$, $34,192^\circ$ dan difraktogram mortar variasi 3:2:2

menunjukkan bahwa puncak 2θ yang intensitasnya tertinggi berada disekitar $18,173^\circ$.

4.6 Hasil Pembuatan Mortar

Hasil mortar pada masing-masing variasi komposisi menunjukkan jenis produk yang sama. Masing-masing variasi komposisi mortar memberikan pengaruh yang berbeda terhadap mortar yang dihasilkan. Mortar yang dibuat dengan campuran abu vulkanik, kapur dan juga batu andesit. Mortar yang dihasilkan seperti Gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil pembuatan mortar a) 2:1:1; b) 2:2:1; c) 3:2:2

Mortar yang dibuat dalam bentuk silinder. Masing-masing variasi komposisi mortar memberikan hasil yang berbeda pula. Gambar 4.5 (a) merupakan mortar yang dibuat menggunakan perbandingan komposisi 2:1:1 yaitu 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; 25 g kapur yang dihitung berdasarkan rumus Fuller, gambar 4.5 (b) mortar perbandingan komposisi 2:2:1 yaitu 40 g batu andesit; 40 abu vulkanik; 20 g kapur dan gambar 4.6 (c) 3:2:2 merupakan komposisi mortar 60 g batu andesit; 20 g abu vulkanik; 20 g kapur, mortar yang dihasilkan terlihat sedikit berongga karena komposisi paling besar yaitu batu andesit sehingga permukaan mortar tidak rapat dan terdapat celah karena kurangnya pengikat.

Mortar yang dihasilkan dari beberapa variasi komposisi dan sudah mengeras kemudian dikarakterisasi menggunakan XRF untuk melihat kadar senyawa kimia yang dihasilkan.

Tabel 4.6 Kandungan senyawa kimia pada masing-masing variasi komposisi mortar berdasarkan analisis menggunakan XRF

Kode Sampel	Fe	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al	Ca
Mortar	3,05	4,37	7,71	1,16	29,67
2:1:1	2,8	4	11,29	1,96	29,07

	2,41	3,44	7,07	1,09	29,32
Rata-rata	2,75	3,94	8,69	1,4	29,35
Mortar	2,47	3,54	7,11	0,99	26,59
2:2:1	2,35	3,36	4,23	ND	29,55
	2,43	3,48	13,37	2,07	23,36
Rata-rata	2,42	3,46	8,24		26,5
Mortar	2,75	3,94	6,23	0,99	28,71
3:2:2	1,9068	2,7262	3,82	ND	25,86
	2,1	3	4,05	0,51	24,59
Rata-rata	2,25	3,22	4,7		26,39

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa dengan adanya variasi komposisi mortar maka bervariasi juga kadar besi yang dihasilkan. Kadar besi tertinggi terdapat pada mortar variasi 2:1:1 sebesar 2,75 % dengan campuran 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; dan 25 g kapur untuk hasil kadar besi terendah terdapat pada variasi mortar komposisi 3:2:2. Kandungan SiO₂ tertinggi terdapat pada variasi mortar komposisi 2:1:1 sebanyak 8,69 % dan kemungkinan dapat menyebabkan terjadinya pengendapan garam pada mortar karena didalam batu andesit kandungan senyawa kimia yang tertinggi ialah SiO₂, dan untuk kandungan Ca tertinggi pada variasi mortar komposisi 2:1:1 sebesar 29,39 % dari hasil tersebut perbandingan kadar masing-masing senyawa pada beberapa variasi komposisi mortar tidak terlalu jauh.

Mortar yang dihasilkan diharapkan memiliki kuat tekan yang bagus agar mortar yang dihasilkan tidak mudah rapuh. Untuk memastikan hal tersebut maka dilakukan uji kuat tekan mortar variasi 2:1:1 ; 2:2:1; dan 3:2:2 untuk melihat perbandingan hasil uji kuat tekan mortar. Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan mesin. Uji ini dilakukan pada sampel mortar dengan harapan dapat menunjukkan pola peningkatan kekuatan pada beberapa variasi mortar.

Pengujian kuat tekan yang dilakukan benda uji dibuat 3 sampel masing-masing variasi komposisi mortar 2:1:1 ; 2:2:1 ; dan 3:2:2. Proses pengujian kuat tekan masing-masing berupa silinder dengan ukuran cetakan (3cm x 6 cm) mortar dipasang pada mesin *micro* UTM dan pembebanan dilakukan sampai benda uji

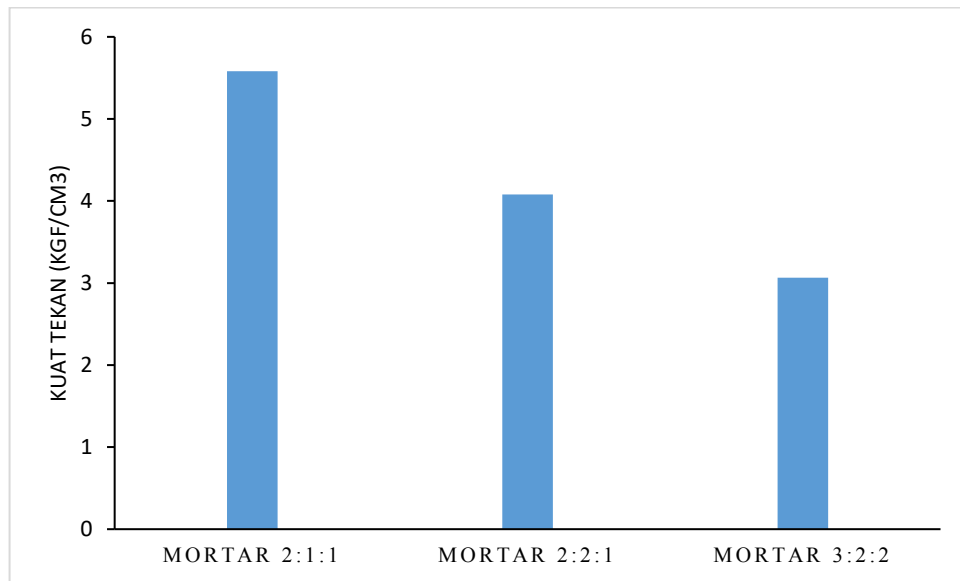
hancur dan tidak dapat lagi menahan beban yang diberikan (angka yang bergerak pada layar mesin berhenti jika benda uji telah selesai), sehingga didapatkan beban maksimum yang ditahan oleh benda uji tersebut. Uji kuat tekan pada mortar dilaksanakan setelah mortar mengeras, kemudian menghitung kuat tekan mortar besarnya beban persatuan luas ditunjukkan pada Tabel 4.7. Berdasarkan pada Tabel 4.7 dapat dilihat grafik hasil pengujian kuat tekan mortar pada masing-masing variasi komposisi mortar pada Gambar 4.7. Berdasarkan Gambar 4.7 perbandingan kuat tekan masing-masing variasi mortar terlihat meskipun ukuran mortar yang sama, namun kuat tekan yang dihasilkan terjadi perbedaan untuk masing-masing variasi mortar. Pada pengujian mortar untuk variasi 2:1:1 campuran 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; dan 25 g kapur dihasilkan kuat tekan sebesar 4,91919 untuk sampel pertama. Untuk sampel kedua didapatkan sebesar 6,31967 kgf/cm³ dan mengalami peningkatan kuat tekan mortar, namun pada sampel ketiga terjadi penurunan sedikit dan tidak selisih jauh antara pengujian kuat tekan pada sampel kedua dan ketiga sebesar 5,50856 kgf/cm³. Hasil uji kuat tekan pada variasi mortar komposisi 2:2:1 campuran 40 g batu andesit; 40 g abu vulkanik; dan 20 g kapur dihasilkan kuat tekan sebesar 4,17745 kgf/cm³ untuk sampel pertama dan untuk hasil sampel kedua tidak terlalu jauh yaitu sebesar 4,98021 kgf/cm³ namun pada sampel kedua terjadi peningkatan walaupun hanya sedikit peningkatan yang terjadi, dan pada sampel ketiga terjadi penurunan kuat tekan mortar menjadi sebesar 3,07862 kgf/cm³. Hasil uji kuat tekan variasi mortar komposisi 3:2:2 campuran 60 g batu andesit; 20 g abu vulkanik; dan 20 g kapur dihasilkan kuat tekan sebesar 3,67742 kgf/cm³, untuk sampel kedua didapatkan sebesar 2,70646 kgf/cm³ terjadi penurunan namun pada sampel ketiga terjadi peningkatan sedikit sebesar 2,81365 kgf/cm³. Berdasarkan rata-rata hasil uji kuat mortar yang tertinggi terdapat pada komposisi 2:1:1 dengan rata-rata kuat tekan sebesar 5,58247 kgf/cm³ dan rata-rata kuat tekan mortar terendah terdapat pada variasi komposisi mortar 3:2:2. Dilihat pada Gambar 4.6 terjadi naik turunnya grafik dan grafik yang ditunjukkan semakin kecil kuat tekannya pada masing-masing sampel mortar. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya komposisi yang kurang bagus dan tidak cocok juga menjadi hal yang

berpengaruh pada mortar yang dihasilkan dan berpengaruh terhadap kuat tekan tersebut.

Adanya pengaruh abu vulkanik terhadap peningkatan kuat tekan bersesuaian dengan pozolon akan mengisi secara mekanik pozolan akan mengisi rongga diantara butiran-butiran semen dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolis pada Ca(OH)_2 yang dihasilkan pada saat proses hidrasi mortar, dimana mortar hidrolis ini akan lebih kuat daripada mortar udara, sehingga abu vulkanik tidak hanya menambah kekedapan dan kemudahan pangerjaan, tetapi juga dapat menambah kuat tekan dari mortar.

Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat tekan mortar

Kode sampel	Diameter	Tinggi (cm)	Luas	Max load	Kuat tekan (kgf/cm³)	Rata-rata
Mortar	0,79	2,61	1,95967	9,64	4,91919	
2:1:1	0,8	2,73	2,0096	12,7	6,31967	5,58247
	0,8	2,62	2,0096	11,07	5,50856	
Mortar	0,82	2,88	2,11134	8,82	4,17745	
2:2:1	0,81	2,76	2,06015	10,26	4,98021	4,07876
	0,82	2,74	2,11134	6,5	3,07862	
Mortar	0,87	2,88	2,37667	8,74	3,67742	
3:2:2	0,85	2,79	2,26865	6,14	2,70646	3,065844
	0,72	2,66	1,62778	4,58	2,81365	



Gambar 4.6 Grafik hasil pengujian mortar

4.7 Hasil Analisis Mortar Titrasi Kompleksometri

Analisis kandungan besi dalam mortar dengan metode titrasi kompleksometri dilakukan dalam beberapa variasi mortar yaitu mortar komposisi 2:1:1 yaitu campuran 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; dan 25 g kapur, mortar komposisi 2:2:1 yaitu campuran 40 g batu andesit; 40 g abu vulkanik; dan 20 g kapur, serta mortar komposisi 3:2:2 yaitu campuran 60 g batu andesit; 20 g abu vulkanik; dan 20 g kapur dengan pengulangan setiap sampel sebanyak 6 kali.

Tabel 4.8 Hasil analisis kandungan besi dalam berbagai variasi mortar

Variasi mortar	Pengulangan	Kadar (%)	Rata-rata
2:1:1	replikasi 1	3,91	5,31
	replikasi 2	4,47	
	replikasi 3	5,03	
	replikasi 4	6,14	
	replikasi 5	6,14	
	replikasi 6	6,14	
2:2:1	replikasi 1	6,14	5,86
	replikasi 2	5,59	
	replikasi 3	6,14	

	replikasi 4	5,59	
	replikasi 5	6,7	
	replikasi 6	5,03	
3:2:2	replikasi 1	6,7	6,7
	replikasi 2	6,14	
	replikasi 3	6,14	
	replikasi 4	7,26	
	replikasi 5	6,14	
	replikasi 6	7,82	

Tabel 4.8 menunjukkan hasil analisis menggunakan titrasi kompleksometri yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna pada sampel dari medah muda menjadi tidak berwarna yang menandakan titik akhir titrasi. Penetapan kadar besi dilakukan dengan variasi mortar masing-masing pengulangan sebanyak 6 (enam) kali. Dari analisis yang telah dilakukan rata-rata variasi komposisi mortar 2:1:1 sebesar 5,31 mg/mL ; untuk variasi komposisi mortar 2:2:1 sebesar 5,86 mg/mL ; dan variasi komposisi mortar 3:2:2 didapatkan sebesar 6,7 mg/mL

4.8 Hasil Nilai Akurasi

Akurasi dilakukan dengan metode *%recovery*, penentuan nilai akurasi menggunakan 3 (tiga) sampel yaitu mortar variasi 2:1:1 ; mortar variasi 2:2:1 dan mortar variasi 3:2:2 dengan pengulangan duplo. Hasil uji akurasi dapat dinyatakan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai akurasi pada penentuan kadar besi

Variasi mortar	konsentrasi spike	% recovery
Mortar variasi 2:1:1	8,1	28,44
Mortar variasi 2:2:1	9,22	34,29
Mortar variasi 3:2:2	16,89	103,98

Berdasarkan Tabel 4.9 hasil analisis mortar didapatkan *%recovery* berturut-turut sebesar 28,44 %, 34,29 %, dan 103,98 %. Nilai yang didapatkan menunjukkan bahwa hasil uji akurasi yang telah memenuhi syarat keberterimaan dengan nilai %

Recovery berada dalam rentang maksimum 80-110%. Hasil analisis akurasi yang masuk kedalam rentang hanya mortar variasi 3:2:2 yaitu campuran 60 g batu andesit; 20 g abu vulkanik; 20 g kapur. Sedangkan mortar variasi 2:1:1 yaitu campuran 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; 25 g kapur dan mortar variasi 2:2:1 yaitu campuran 40 g batu andesit; 40 g abu vulkanik; 20 g kapur tidak memenuhi syarat karena % recovery yang didapatkan tidak masuk kedalam rentang maksimum.

4.9 Hasil Nilai Presisi

Presisi merupakan tingkat kesamaan antar hasil uji individual ketika metode tersebut diterapkan secara berulang dari suatu sampel. Presisi akan memenuhi keberterimaan apabila RSD yang diperoleh <2 %. Data hasil uji presisi pada sampel mortar variasi 2:1:1 ; mortar variasi 2:2:1 dan mortar variasi 3:2:2 dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil uji presisi mortar

pengulangan	Kadar besi	Kadar besi	kadar besi
	variasi mortar 2:1:1	variasi mortar 2:2:1	variasi mortar 3:2:2
1	3,91	6,14	6,70
2	4,47	5,59	6,14
3	5,03	6,14	6,14
4	6,14	5,59	7,26
5	6,14	6,70	6,14
6	6,14	5,03	7,82
rata-rata	5,31	5,86	6,70
SD	0,98	0,59	0,71
RSD	0,19	0,10	0,11
RSD (%)	18,53	9,99	10,54

Berdasarkan Tabel 4.10 hasil uji presisi mortar yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai RSD untuk sampel variasi mortar 2:1:1 yaitu campuran 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; 25 g kapur didapatkan hasil sebesar 18,53%, sampel variasi mortar 2:2:1 yaitu campuran yaitu campuran 40 g batu andesit; 40 g abu vulkanik; dan 20 g kapur didapatkan hasil sebesar 9,99 % dan untuk variasi mortar

3:2:2 yaitu campuran 60 g batu andesit; 20 g abu vulkanik; dan 20 g kapur didapatkan hasil sebesar 10,54 dan menunjukkan tidak masuk kedalam syarat keberterimaan RSD $< 2\%$ dan dapat dikatakan data yang dihasilkan kurang baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil karakterisasi mortar variasi berat 2:1:1 ; 2:2:1 dan 3:2:2 menggunakan FTIR menghasilkan spektrum dan gugus fungsi yang tidak jauh berbeda pada setiap variasi, dan karakterisasi XRD menunjukkan bahwa pada puncak 2θ intensitas yang dihasilkan tidak jauh berbeda pula antara mortar. Hasil uji kuat tekan mortar variasi 2:1:1 ; 2:2:1 dan 3:2:2 memiliki kuat tekan secara berturut-turut sebesar $5,58247 \text{ kgf/cm}^3$; $4,07877 \text{ kgf/cm}^3$ dan $3,065844 \text{ kgf/cm}^3$.
2. Kadar kandungan besi dengan metode titrasi kompleksometri pada sampel mortar 2:1:1 sebesar $5,31 \% \pm 0,01582 \%$, mortar variasi 2:2:1 sebesar $5,86 \% \pm 0,0916 \%$ dan mortar variasi 3:2:2 sebesar $6,70 \% \pm 0,0936 \%$. Kadar kandungan besi dengan metode XRF secara berturut-turut didapatkan hasil sebesar $2,75 \%$, $2,42 \%$ dan $2,25 \%$.
3. Hasil akurasi memenuhi syarat keberterimaan dengan rentang maksimum 80-120% adalah mortar variasi 3:2:2. Hasil nilai %RSD mortar variasi 2:1:1 sebesar 18,53%; mortar variasi 2:2:1 sebesar 9,99 % dan mortar variasi 3:2:2 sebesar 10,54 % dan menunjukkan bahwa tidak masuk kedalam kriteria syarat keberterimaan RSD yaitu sebesar $<2\%$ dan dapat dikatakan kurang baik.
4. Hasil uji t perbandingan metode penentuan besi mortar variasi berat 2:1:1 ; 2:2:1 dan 3:2:2 dengan XRF dan titrasi kompleksometri menunjukkan bahwa nilai t tabel $< t$ hitung dan ditolak

5.2 Saran

Telah diketahui kadar kandungan besi dalam beberapa variasi komposisi mortar dengan bahan abu vulkanik; kapur; dan juga batu andesit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan hasil mortar dapat dikatakan baik, untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pori-pori mortar yang dihasilkan dengan karakterisasi menggunakan SEM agar dapat digunakan atau dimanfaatkan dengan maksimal dan dapat dilakukan konsolidasi mortar abu vulkanik ini

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2014. *Hasil Kajian Balai Konservasi Borobudur Balai Konservasi Borobudur Magelang*. Jurnal Konservasi Cagar budaya Borobudur.
- Athanasius P. Bayusenpo, S. A. 2010. *Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik dan Erupsi Gunung Merapi*. ROTASI- vol. 12,10-16
- Aziz, M. (2010). *Batu dan Peningkatan Nilai Tambah serta Spesifikasi Untuk Industri*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Volume 6, 118.
- Cahyandaru, N., Atmadja, Y. H., & Widodo, A. (2008). *Analisis Mortar Pemugaran I dan Kajian Kemungkinan Dampaknya Terhadap Kelestarian Candi Borobudur*. Magelang.
- Girard, J. E. 2010. *Principles of Enviromental Chemistery*. Jones and Bartlett Publishers. USA.
- Haldoko, L.A., Muhammad, R., dan Purwoko, W., 2014, *karakteristik Batu Penyusun Candi Borobudur*, Jurnal konservasi Cagar Budaya Borobudur, **8**, 1, 38-47.
- Kriswarini, R., Anggraini, D., dan Djamaludin, A., 2010, *Validasi Metoda XRF (X-Ray Fluorescence) secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn, dan Fe dalam Panduan Aluminium, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*, ISSN 1978-0176, 273-278.
- Kurugöl, S., & Güleç, A. (2015). *Physico-chemical, petrographical and mechanical properties of mortars used in an ancient roman basilica in Amasra/Turkey*. Gazi University Journal of Science, 28(4), 609–621.
- Kusumastuti, E., 2012. *Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat)*. Jurnal MIPA, Universitas Negeri Semarang.
- Lange, M., Ivanova, M., & Lebedeva, M. (1991). *Geologi Umum*. Jakarta: Penerbit Gaya Media Pratama.

- Lefond J. Stanley, 1995 : *Industrial Mineral and Rocks*. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., New York, N.Y.
- Munasir. 2012. *Uji XRD dan FTIR pada Bahan Meneral (Batuan dan Pasir) sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂)*. *Jurnal Penelitian Fisika dan aplikasinya*,24-25.
- Palomo, A., Blanco-Varela, M., Martinez-Ramirez, S., Puertas, F., & Fortes, C. (2002). *Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Historic Mortars. New Tendencies for Research*.
- Printz, M., Harlow, G., & Peters, J. (1977). *Guide to Rocks and Materials*. New York: Penerbit Simon and Schuster inc.
- Riyanto. 2014. *Validasi dan Verifikasi Metode Uji: Sesuai Dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan kalibrasi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Sankari, G., E, Kriahnamoorthy, S. Jayakumar, S. Gunaeakaran, V. V. Priya, S. Subramanlam, S. Subramanlam, and S.K. Mohan. 2010. *Analysis of serum immunoglobulins using fourier transform infrared spectral measurements*. *Biol. Med.* 2(3):42-48.
- Sastrohamidjojo, H. 2019. *Dasar-dasar spektroskopi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Silverstein,2002, *Identification of organic Compound,3rd Edition*,John Wiley & Sons Ltd, New York.
- Thorn, A.,2011. *The Consolidation and Bonding of Water-Saturated Siliceous Stone With Litium Silicate*. New York: Colombia University.
- Thirumalini, S., Sekar, S. ., & Ravi, R. 2016.*Revealing the Ancient Secret of Lime Mortar Exposed to Marine Environment Used in and around Padaleeswarar Temple, Tamil Nadu, India. In I. Papayianni, M. Stefanidou, & V. Pachta (Eds.), Proceedings of the 4th Historic Mortars Conference - HMC 2016*. Santorini: Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, Aristotle Univ.
- Utami, Yeti putri. 2012. *Verifikasi Metode Penetapan Kadar vitamin B2 Dalam Sereal Bubur Bayi Secara Liquid Chromatografi Tendem Mass*

- Spectrofotometry (LC-MMS)*. Politeknik Kesehatan Kemenkes Jakarta II.
- Viklund, A., 2008. *Teknik pemeriksaan material menggunakan XRF, XRD, dan SEM-EDS*. Bandung: ITB.
- Yuarsa, T.A.,2019. *Pengaruh Debu Vulkanik pada Erupsi Gunung Merapi DIY Terhadap Kesehatan Paru*. *Jurnal*,52-53.
- Yudhapratama, Ersan dkk. 2010. *Keberadaan Zat Aditif pada Plastik Kemasan Melalui Perlakuan Pemanasan pada Spektrometer IR*. Bandung: UPI
- Zuraidah1, S. (2017). *Serbuk Kapur Sebagai Cementitious Pada Mortar*.*Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura Vol. 2 No. 1 Juni 2017 ISSN 2527-5542*, 28.

LAMPIRAN

Lampiran 1 . Perhitungan Analisis Variasi Mortar Dengan Metode Titrasi Kompleksometri

Rumus :

$$= \frac{V.\text{titrasi (mL)} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times V.\text{induk (mL)}}{V.\text{sampel diambil (mL)} \times \text{berat sampel awal (mg)}} \times 100$$

1. Kadar mortar variasi 2:1:1

a. Sampel 1

$$= \frac{0,14 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 3,91 \%$$

b. Sampel 2

$$= \frac{0,16 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 4,47 \%$$

c. Sampel 3

$$= \frac{0,18 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 5,03 \%$$

d. Sampel 4

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

e. Sampel 5

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

f. Sampel 6

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

Rata-rata kadar

$$= \frac{3,91+4,47+5,03+6,14+6,14+6,14}{6}$$
$$= 5,31 \%$$

2. Kadar mortar variasi 2:2:1

a. Sampel 1

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

b. Sampel 2

$$= \frac{0,2 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 5,59 \%$$

c. Sampel 3

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

d. Sampel 4

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

e. Sampel 5

$$= \frac{0,24 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,70 \%$$

f. Sampel 6

$$= \frac{0,18 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 5,03 \%$$

Rata-rata kadar

$$= \frac{6,14 + 5,59 + 6,14 + 5,59 + 6,70 + 5,03}{6}$$
$$= 5,86 \%$$

3. Kadar mortar variasi 3:2:2

a. Sampel 1

$$= \frac{0,24 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,70 \%$$

b. Sampel 2

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

c. Sampel 3

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 6,14 \%$$

d. Sampel 4

$$= \frac{0,26 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 7,26 \%$$

e. Sampel 5

$$= \frac{0,22 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 6,14 \%$$

f. Sampel 6

$$= \frac{0,28 \text{ mL} \times 5,585 \text{ mg Fe} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 7,82 \%$$

Rata-rata kadar

$$= \frac{6,70 + 6,14 + 6,14 + 7,26 + 6,14 + 7,82}{6}$$

$$= 6,70 \%$$

4. Kadar c spike

Mortar	Pengulangan	berat sampel awal (mg)	1 mL 0,1 M EDTA	volume induk (mL)	volume sampel yang diambil (mL)	volume titrasi EDTA (mL)	Rata-rata volume titrasi
Mortar variasi 2:1:1	1	1000	5,585	50	1	0,3	0,29
	2	1000	5,585	50	1	0,28	
Mortar variasi 2:2:1	1	1000	5,585	50	1	0,34	0,33
	2	1000	5,585	50	1	0,32	
Mortar variasi 3:2:2	1	1000	5,585	50	1	0,52	0,605
	2	1000	5,585	50	1	0,69	

Rumus :

$$= \frac{\text{rata-rata V.titrasi (mL) x 5,585 mg Fe x V.induk (mL)}}{\text{V.sampel diambil (mL) x berat sampel awal (mg)}} \times 100$$

a. Mortar variasi 2:1:1

$$= \frac{0,29 \text{ mL x } 5,585 \text{ mg Fe x } 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL x } 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 8,10 \%$$

b. Mortar variasi 2:2:1

$$= \frac{0,33 \text{ mL x } 5,585 \text{ mg Fe x } 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL x } 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 9,22 \%$$

c. Mortar variasi 3:2:2

$$= \frac{0,605 \text{ mL x } 5,585 \text{ mg Fe x } 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL x } 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 16,89 \%$$

5. C target

Mortar	Pengulangan	konsentrasi standar	volume standar (mL)	volume total	c target	Rata-rata
Mortar variasi 2:1:1	1	1000	1	102	9,80	9,80
	2	1000	1	102	9,80	
Mortar variasi 2:2:1	1	1000	1	102	9,80	9,80
	2	1000	1	102	9,80	
Mortar variasi 3:2:2	1	1000	1	102	9,80	9,80
	2	1000	1	102	9,80	

6. Penentuan akurasi

% Recovery				
Mortar	konsentrasi sampel	konsentrasi spike	konsentrasi target	% recovery
Mortar variasi 2:1:1	5,31	8,1	9,8	28,47
Mortar variasi 2:2:1	5,86	9,22	9,8	34,29
Mortar variasi 3:2:2	6,7	16,89	9,8	103,98

7. Penentuan presisi

Presisi				
SAMPEL	PENGULANGAN	Mortar variasi 2:1:1	Mortar variasi 2:2:1	Mortar variasi 3:2:2
Mortar	1	3,91	6,14	6,70
	2	4,47	5,59	6,14
	3	5,03	6,14	6,14
	4	6,14	5,59	7,26
	5	6,14	6,70	6,14
	6	6,14	5,03	7,82
	RATA-RATA	5,31	5,86	6,70
STANDAR DEVIASI		0,98	0,59	0,71
RSD		0,19	0,10	0,11
% RSD		18,53	9,99	10,54
N		6	6	6
Ketidakpastian presisi ($\mu(p)$)		0,401447169	0,239135413	0,28840816

8. Estimasi ketidakpastian pengukuran variasi mortar 2:1:1

1) Ketidakpastian volume contoh ($\mu(v)$)

Pipet ukur 10 mL

Ketidakpastian kalibrasi

$$\mu(v) = \frac{v}{\sqrt{6}} = \frac{0,02}{\sqrt{6}} = 8,16 \times 10^{-3}$$

ketidakpastian faktor muai

$$\mu(T) = \frac{v \times \beta \times \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{10 \text{ mL} \times (2,1 \times 10^{-4}) \times 5}{\sqrt{3}} = 6,06 \times 10^{-3}$$

ketidakpastian v contoh ($\mu(v)$)

$$\begin{aligned}\mu_{vc} &= \sqrt{\mu(v)^2 + \mu(T)^2} \\ &= \sqrt{(8,16 \times 10^{-3})^2 + (6,06 \times 10^{-3})^2} \\ &= \sqrt{1,033 \times 10^{-4}} = 0,010\end{aligned}$$

2) Ketidakpastian volume titrasi (μ_{vt})

Ketidakpastian kalibrasi mikroburet

$$\mu(v) = \frac{v}{\sqrt{6}} = \frac{0,01}{\sqrt{6}} = 0,0041$$

ketidakpastian faktor muai

$$\mu(T) = \frac{v \times \beta \times \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{2 \text{ mL} \times (2,1 \times 10^{-4}) \times 5}{\sqrt{3}} = 0,0012$$

ketidakpastian v contoh (μ_{vc})

$$\begin{aligned}\mu_{vt} &= \sqrt{\mu(v)^2 + \mu(T)^2} \\ &= \sqrt{(0,0041)^2 + (0,0012)^2} = 0,0041\end{aligned}$$

3) Ketidakpastian presisi ($\mu(P)$)

Pengulangan sampel	Konsentrasi sampel (%)
1	3,91
2	4,47
3	5,03
4	6,14
5	6,14
6	6,14
rata-rata	5,31
SD (S)	0,98

$$(\mu(P)) = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$(\mu(P)) = \frac{0,98}{\sqrt{6}}$$

$$(\mu(P)) = 0,4014$$

4) Ketidakpastian gabungan ($\mu(C)$)

$$\mu(C) = \sqrt{\left(\frac{\mu(Vc)}{Vc}\right)^2 + \left(\frac{\mu(Vt)}{Vt}\right)^2 + \left(\frac{\mu(p)}{p}\right)^2}$$

$$\mu(C) = \sqrt{\left(\frac{0,010}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,0041}{0,19}\right)^2 + \left(\frac{0,4014}{5,31}\right)^2}$$

$$\mu(C) = 0,0791$$

5) Ketidakpastian diperluas (μ)

$$\mu = (\mu(C)) \times 2$$

$$\mu = 0,0791 \times 2$$

$$\mu = 0,1582$$

$$\mu = 5,31 \pm 0,1582 \%$$

8. Estimasi ketidakpastian pengukuran variasi mortar 2:2:1

1) Ketidakpastian volume contoh (μ_{vc})

Pipet ukur 10 mL

Ketidakpastian kalibrasi

$$\mu(v) = \frac{v}{\sqrt{6}} = \frac{0,02}{\sqrt{6}} = 8,16 \times 10^{-3}$$

ketidakpastian faktor muai

$$\mu(T) = \frac{v \times \beta \times \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{10 \text{ mL} \times (2,1 \times 10^{-4}) \times 5}{\sqrt{3}} = 6,06 \times 10^{-3}$$

ketidakpastian v contoh (μ_{vc})

$$\mu_{vc} = \sqrt{\mu(v)^2 + \mu(T)^2}$$

$$= \sqrt{(8,16 \times 10^{-3})^2 + (6,06 \times 10^{-3})^2}$$

$$= \sqrt{1,033 \times 10^{-4}} = 0,010$$

2) Ketidakpastian volume titrasi (μ_{vt})

Ketidakpastian kalibrasi mikroburet

$$\mu(v) = \frac{v}{\sqrt{6}} = \frac{0,01}{\sqrt{6}} = 0,0041$$

ketidakpastian faktor muai

$$\mu(T) = \frac{v \times \beta \times \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{2 \text{ mL} \times (2,1 \times 10^{-4}) \times 5}{\sqrt{3}} = 0,0012$$

ketidakpastian v contoh (μ_{vc})

$$\begin{aligned} \mu_{vt} &= \sqrt{\mu(v)^2 + \mu(T)^2} \\ &= \sqrt{(0,0041)^2 + (0,0012)^2} = 0,0041 \end{aligned}$$

3) Ketidakpastian presisi ($\mu(P)$)

Pengulangan sampel	Konsentrasi sampel (%)
1	6,14
2	5,59
3	6,14
4	5,59
5	6,70
6	5,03
rata-rata	5,86
SD (S)	0,59

$$(\mu(P)) = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$(\mu(P)) = \frac{0,59}{\sqrt{6}}$$

$$(\mu(P)) = 0,2391$$

4) Ketidakpastian gabungan ($\mu(C)$)

$$(\mu(C)) = \sqrt{\left(\frac{\mu(Vc)}{Vc}\right)^2 + \left(\frac{\mu(Vt)}{Vt}\right)^2 + \left(\frac{\mu(P)}{P}\right)^2}$$

$$(\mu(C)) = \sqrt{\left(\frac{0,010}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,0041}{0,21}\right)^2 + \left(\frac{0,2391}{5,86}\right)^2}$$

$$(\mu(C)) = 0,0458$$

5) Ketidakpastian diperluas (μ)

$$\mu = (\mu(C)) \times 2$$

$$\mu = 0,0458 \times 2$$

$$\mu = 0,0916$$

$$\mu = 5,86 \pm 0,0916\%$$

10. Estimasi ketidakpastian pengukuran variasi mortar 3:2:2

1) Ketidakpastian volume contoh (μ_{vc})

Pipet ukur 10 mL

Ketidakpastian kalibrasi

$$\mu (v) = \frac{v}{\sqrt{6}} = \frac{0,02}{\sqrt{6}} = 8,16 \times 10^{-3}$$

ketidakpastian faktor muai

$$\mu (T) = \frac{v \times \beta \times \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{10 \text{ mL} \times (2,1 \times 10^{-4}) \times 5}{\sqrt{3}} = 6,06 \times 10^{-3}$$

ketidakpastian v contoh (μ_{vc})

$$\begin{aligned} \mu_{vc} &= \sqrt{\mu (v)^2 + \mu (T)^2} \\ &= \sqrt{(8,16 \times 10^{-3})^2 + (6,06 \times 10^{-3})^2} \\ &= \sqrt{1,033 \times 10^{-4}} = 0,010 \end{aligned}$$

2) Ketidakpastian volume titrasi (μ_{vt})

Ketidakpastian kalibrasi mikroburet

$$\mu (v) = \frac{v}{\sqrt{6}} = \frac{0,01}{\sqrt{6}} = 0,0041$$

ketidakpastian faktor muai

$$\mu (T) = \frac{v \times \beta \times \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{2 \text{ mL} \times (2,1 \times 10^{-4}) \times 5}{\sqrt{3}} = 0,0012$$

ketidakpastian v contoh (μ_{vc})

$$\begin{aligned} \mu_{vt} &= \sqrt{\mu (v)^2 + \mu (T)^2} \\ &= \sqrt{(0,0041)^2 + (0,0012)^2} = 0,0041 \end{aligned}$$

3) Ketidakpastian presisi ($\mu(P)$)

Pengulangan sampel	Konsentrasi sampel (%)
1	6,70
2	6,14
3	6,14
4	7,26
5	6,14
6	7,82
rata-rata	6,70
SD (S)	0,71

$$(\mu(P)) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$(\mu(P)) = \frac{0,71}{\sqrt{6}}$$

$$(\mu(P)) = 0,2884$$

4) Ketidakpastian gabungan ($\mu(C)$)

$$(\mu(C)) = \sqrt{\left(\frac{\mu(Vc)}{Vc}\right)^2 + \left(\frac{\mu(Vt)}{Vt}\right)^2 + \left(\frac{\mu(p)}{p}\right)^2}$$

$$(\mu(C)) = \sqrt{\left(\frac{0,010}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,0041}{0,24}\right)^2 + \left(\frac{0,2884}{6,70}\right)^2}$$

$$(\mu(C)) = 0,0468$$

5) Ketidakpastian diperluas (μ)

$$\mu = (\mu(C)) \times 2$$

$$\mu = 0,0468 \times 2$$

$$\mu = 0,0936$$

$$\mu = 6,70 \pm 0,0936\%$$

Lampiran 2. Uji t metode penentuan besi metode titrasi kompleksometri dan XRF

1. Uji T mortar variasi 2:1:1

Kode sampel	Hasil XRF	Hasil titrasi
	3,05	4,19
2;1;1	2,8	5,585
	2,41	6,14

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	<i>HASIL XRF</i>	<i>HASIL TITRASI</i>
Mean	2,753333333	5,305
Variance	0,104033333	1,009425
Observations	3	3
Pooled Variance	0,556729167	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	4	DERAJAT KEBEBASAN
t Stat	-4,18839452	T HITUNG
P(T<=t) one-tail	0,006912196	P-VALUE
t Critical one-tail	2,131846782	T TABEL
P(T<=t) two-tail	0,013824392	
t Critical two-tail	2,776445105	

Hasil :

t hitung < nilai t tabel (ditolak)

2. Uji T mortar variasi 2:2:1

Kode sampel	Hasil XRF	Hasil titrasi
	2,47	5,865
2:2:1	2,35	5,865
	2,43	6,365

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	<i>HASIL XRF</i>	<i>HASIL TITRASI</i>
Mean	2,416666667	6,031666667
Variance	0,003733333	0,083333333
Observations	3	3
Pooled Variance	0,043533333	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	4	DERAJAT KEBEBASAN
t Stat	21,21988227	T HITUNG
P(T<=t) one-tail	1,45796E-05	P-VALUE
t Critical one-tail	2,131846782	T TABEL
P(T<=t) two-tail	2,91593E-05	
t Critical two-tail	2,776445105	

Hasil :

t hitung < nilai t tabel (ditolak)

3. Uji T mortar variasi 3:2:2

Kode sampel	Hasil XRF	Hasil titrasi
	2,75	6,42
3;2;2	1,9068	6,7
	2,1	6,98

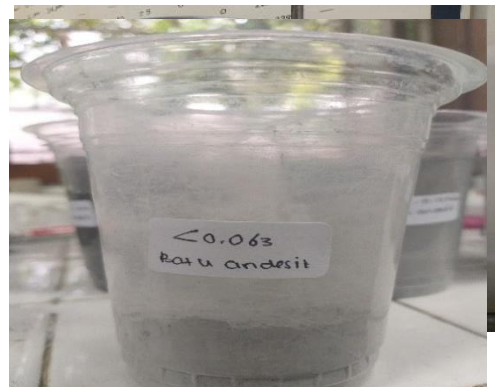
t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	<i>HASIL XRF</i>	<i>HASIL TITRASI</i>
Mean	2,252266667	6,7
Variance	0,195135413	0,0784
Observations	3	3
Pooled Variance	0,136767707	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	4	DERAJAT KEBEBASAN
t Stat	14,72965545	T HITUNG
P(T<=t) one-tail	6,18191E-05	P-VALUE
t Critical one-tail	2,131846782	T TABEL
P(T<=t) two-tail	0,000123638	
t Critical two-tail	2,776445105	

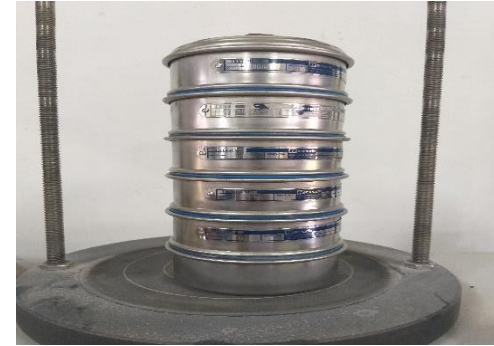
Hasil :

t hitung < nilai t tabel (ditolak)

Lampiran 3. Proses preparasi batu andesit



Lampiran 4. Preparasi abu vulkanik



Lampiran 5. Preparasi kapur



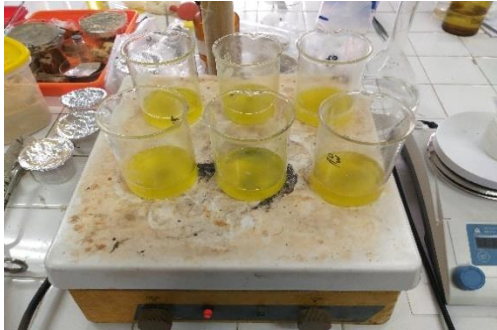
Lampiran 6. Hasil pembuatan mortar



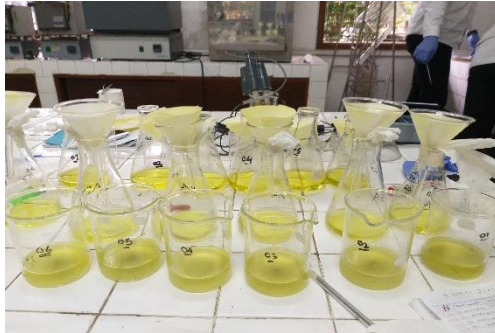


Lampiran 7. Preparasi sampel uji





Lampiran 8 Analisis mortar titrasi kompleksometri



Lampiran 9. Instrumen yang digunakan



Lampiran 10. Hasil karakterisasi XRF

KODE SAMPEL	Al	Al ₂ O ₃	Si	SiO ₂	P	P ₂ O ₅	S
MORTAR 2 : 1 : 1	1,16	2,18	3,6	7,71	ND	ND	ND
	1,96	3,7	5,28	11,29	ND	ND	ND
	1,09	2,05	3,3	7,07	ND	ND	ND
RATA-RATA	1,40	2,64	4,06	8,69			
MORTAR 2 : 2 : 1	0,99	1,86	3,32	7,11	ND	ND	ND
	ND	ND	1,98	4,23	ND	ND	ND
	2,07	3,92	6,25	13,37	ND	ND	ND
RATA-RATA			3,85	8,24			
MORTAR 3 : 2 : 2	0,99	1,87	2,91	6,23	ND	ND	ND
	ND	ND	1,79	3,82	ND	ND	0,1689
	0,51	0,96	1,89	4,05	ND	ND	0,0552
RATA-RATA			2,20	4,70			
BUBUKAN BATU ANDESIT	9,83	18,58	24,49	52,39	0,1283	0,2939	ND
	9,62	18,17	23,97	51,29	ND	ND	ND
	9,35	17,66	23,44	50,15	0,0689	0,1578	ND
RATA-RATA	9,60	18,14	23,97	51,28			
ABU VULKANIK	9,23	17,44	29,51	63,12	ND	ND	ND
	8,97	16,95	29,43	62,95	ND	ND	ND
	10,06	19,01	31,7	67,81	ND	ND	ND
RATA-RATA	9,42	17,80	30,21	64,63			
KAPUR	ND	ND	0,2747	0,5876	ND	ND	ND
	ND	ND	0,3805	0,8141	ND	ND	ND
	ND	ND	0,3292	0,7042	ND	ND	ND
RATA-RATA			0,33	0,70			

KODE SAMPEL	SO ₄	Cl	K	K ₂ O	Ca	CaO	Ti
MORTAR 2 : 1 : 1	ND	ND	0,1103	0,1329	29,67	41,51	0,1775
	ND	ND	0,1422	0,1713	29,07	40,68	0,2078
	ND	ND	0,1176	0,1417	29,32	41,02	0,1582
RATA-RATA			0,12	0,15	29,35	41,07	0,18
MORTAR 2 : 2 : 1	ND	ND	0,1625	0,1957	26,59	37,2	0,2239
	ND	ND	0,0511	0,0615	29,55	41,34	0,1464
	ND	ND	0,1369	0,1649	23,36	32,69	0,2076

RATA-RATA			0,12	0,14	26,50	37,08	0,19
MORTAR 3 : 2 : 2	ND	ND	0,1536	0,185	28,71	40,17	ND
	0,5061	ND	0,0695	0,0837	25,86	36,18	0,1209
	0,1653	ND	0,0984	0,1185	24,59	34,4	0,0955
RATA-RATA			0,11	0,13	26,39	36,92	
BUBUKAN BATU ANDESIT	ND	ND	1,238	1,4912	6,36	8,9	0,5085
	ND	ND	1,4141	1,7034	4,78	6,68	0,4008
	ND	ND	1,4091	1,6974	4,78	6,7	0,4729
RATA-RATA			1,35	1,63	5,31	7,43	0,46
ABU VULKANIK	ND	ND	0,6116	0,7367	5,56	7,77	0,4117
	ND	ND	0,6648	0,8008	5,18	7,25	0,3935
	ND	ND	0,7281	0,8771	6,03	8,43	0,4667
RATA-RATA			0,67	0,80	5,59	7,82	0,42
KAPUR	ND	18,25	ND	ND	64,36	90,05	ND
	ND	15,3	ND	ND	60,68	84,9	ND
	ND	16,01	ND	ND	61,45	85,98	ND
RATA-RATA		16,52			62,16	86,98	

KODE SAMPLER	TiO2	Cr	Mn	Fe	Fe2O3	Cu	CuO
MORTAR 2 : 1 : 1	0,2961	ND	0,0827	3,05	4,37	0,0193	0,0241
	0,3467	0,0591	0,0903	2,8	4	0,0188	0,0236
	0,2639	0,0555	0,0733	2,41	3,44	0,0142	0,0178
RATA-RATA	0,30		0,08	2,75	3,94	0,02	0,02
MORTAR 2 : 2 : 1	0,3735	ND	0,0591	2,47	3,54	ND	ND
	0,2442	ND	0,0394	2,35	3,36	0,0163	0,0205
	0,3463	ND	0,0759	2,43	3,48	0,0225	0,0282
RATA-RATA	0,32		0,06	2,42	3,46		
MORTAR 3 : 2 : 2	ND	0,0755	0,0548	2,75	3,94	0,0211	0,0264
	0,2017	ND	0,0416	1,9068	2,7262	0,0141	0,0176
	0,1594	ND	0,0453	2,1	3	0,0185	0,0232
RATA-RATA			0,05	2,25	3,22	0,02	0,02
BUBUKAN BATU ANDESIT	0,8484	ND	0,1885	6,37	9,11	0,018	0,0225
	0,6687	ND	0,1468	4,73	6,77	0,0193	0,0241
	0,789	ND	0,1419	5,43	7,77	ND	ND
RATA-RATA	0,77		0,16	5,51	7,88		
ABU VULKANIK	0,6869	ND	0,1765	6,07	8,68	0,02	0,0251

	0,6565	ND	0,1498	5,82	8,32	ND	ND
	0,7785	ND	0,1793	7	10,01	0,0147	0,0185
RATA-RATA	0,71		0,17	6,30	9,00		
KAPUR	ND	ND	ND	0,0438	0,0626	ND	ND
	ND	ND	ND	0,0412	0,0589	ND	ND
	ND	ND	ND	0,0508	0,0727	ND	ND
RATA-RATA				0,05	0,06		

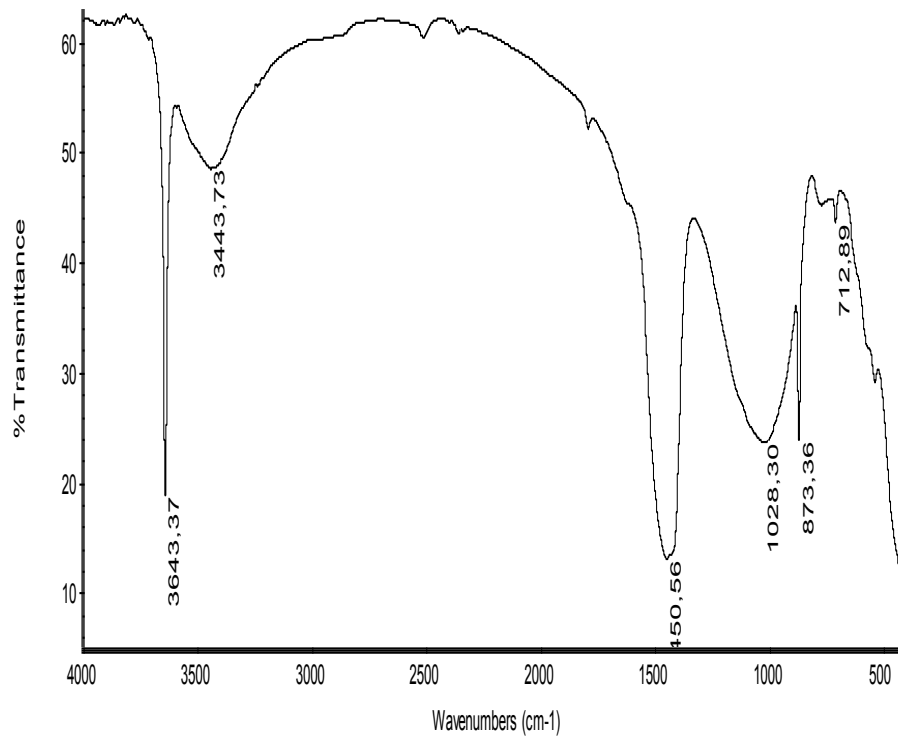
KODE SAMPEL	Zn	Zr	Ag	AgO	Cd	Sn	Sb
MORTAR 2 : 1 : 1	ND	0,0121	0,0173	0,0199	0,0241	0,0088	0,0119
	ND	0,013	0,0214	0,0245	0,0285	0,0121	0,0145
	ND	0,0146	0,0201	0,0231	0,0293	0,0119	0,0141
RATA-RATA		0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01
MORTAR 2 : 2 : 1	ND	0,0144	0,0186	0,0214	0,0259	0,0115	0,0127
	ND	0,0147	0,0141	0,0162	0,0243	0,0092	0,0108
	ND	0,012	0,0186	0,0214	0,0262	0,011	0,0127
RATA-RATA		0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01
MORTAR 3 : 2 : 2	ND	0,0142	0,0206	0,0236	0,0285	0,0114	0,0141
	ND	0,0103	0,0148	0,017	0,0278	0,01	0,0121
	ND	0,0124	0,02	0,023	0,0278	0,0118	0,0138
RATA-RATA		0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01
BUBUKAN BATU ANDESIT	ND	0,0221	0,0212	0,0243	0,0285	0,0098	0,0131
	ND	0,0229	0,0187	0,0214	0,0193	0,008	0,0108
	ND	0,0218	ND	ND	0,0222	ND	ND
RATA-RATA		0,02			0,02		
ABU VULKANIK	ND	0,0186	ND	ND	0,0194	ND	ND
	ND	0,018	ND	ND	0,0188	ND	ND
	ND	0,0189	ND	ND	ND	ND	ND
RATA-RATA		0,02					
KAPUR	0,0402	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,0362	ND	ND	ND	0,0181	ND	ND
	0,0241	ND	ND	ND	0,0196	ND	ND
RATA-RATA							

Lampiran 11. Hasil uji kuat tekan mortar

Kode sampel	Diameter	Tinggi	Luas	Max load	Kuat tekan (kg/cm³)	Rata-rata
Mortar 2 : 1 : 1	0,79	2,61	1,95967	9,64	4,91919	5,58247
	0,8	2,73	2,0096	12,7	6,31967	
	0,8	2,62	2,0096	11,07	5,50856	
Mortar 2 : 2 : 1	0,82	2,88	2,11134	8,82	4,17745	4,07876
	0,81	2,76	2,06015	10,26	4,98021	
	0,82	2,74	2,11134	6,5	3,07862	
Mortar 3 : 2 : 2	0,87	2,88	2,37667	8,74	3,67742	3,065844
	0,85	2,79	2,26865	6,14	2,70646	
	0,72	2,66	1,62778	4,58	2,81365	

Lampiran 12. Hasil karakterisasi FTIR

Tue Mar 10 14:11:01 2020 (G)



Collection time: Tue Mar 10 09:50:08 2020 (GMT+0)

Tue Mar 10 14:10:59 2020 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: *200200-2 mortar komposisi 2:2:1

Region: 4000,00 400,00

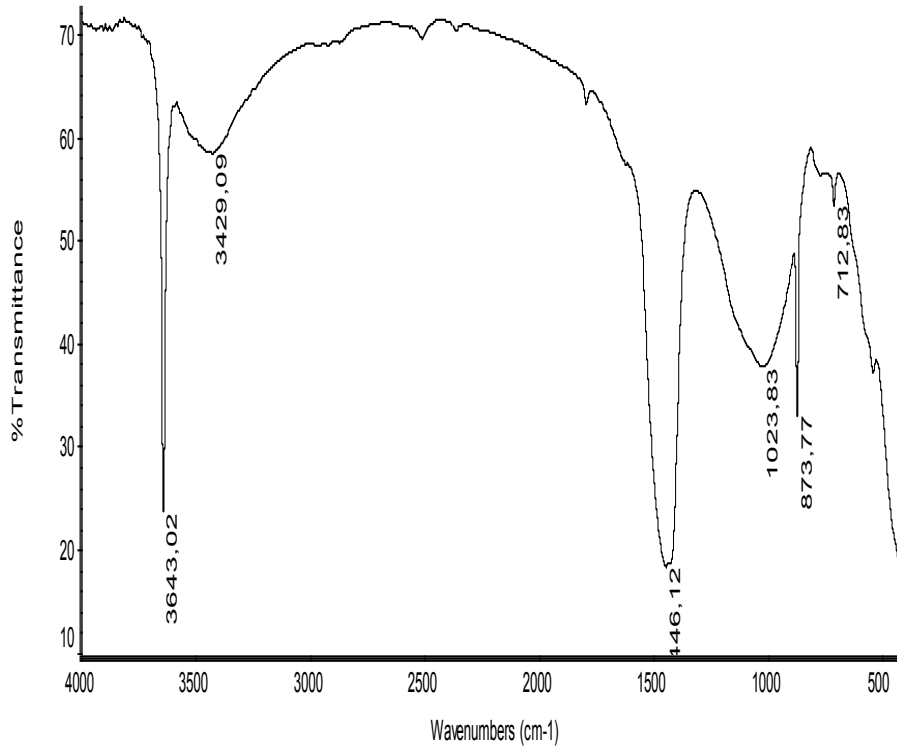
Absolute threshold: 63,879

Sensitivity: 50

Peak list:

Position: 1450,56	Intensity: 12,836
Position: 3643,37	Intensity: 18,583
Position: 1028,30	Intensity: 23,379
Position: 873,36	Intensity: 23,652
Position: 712,89	Intensity: 43,340
Position: 3443,73	Intensity: 48,346

Tue Mar 10 14:12:06 2020 (G)



Collection time: Tue Mar 10 09:57:06 2020 (GMT+07)

Tue Mar 10 14:12:03 2020 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: *200200-3 mortar komposisi 2:1:1

Region: 4000,00 400,00

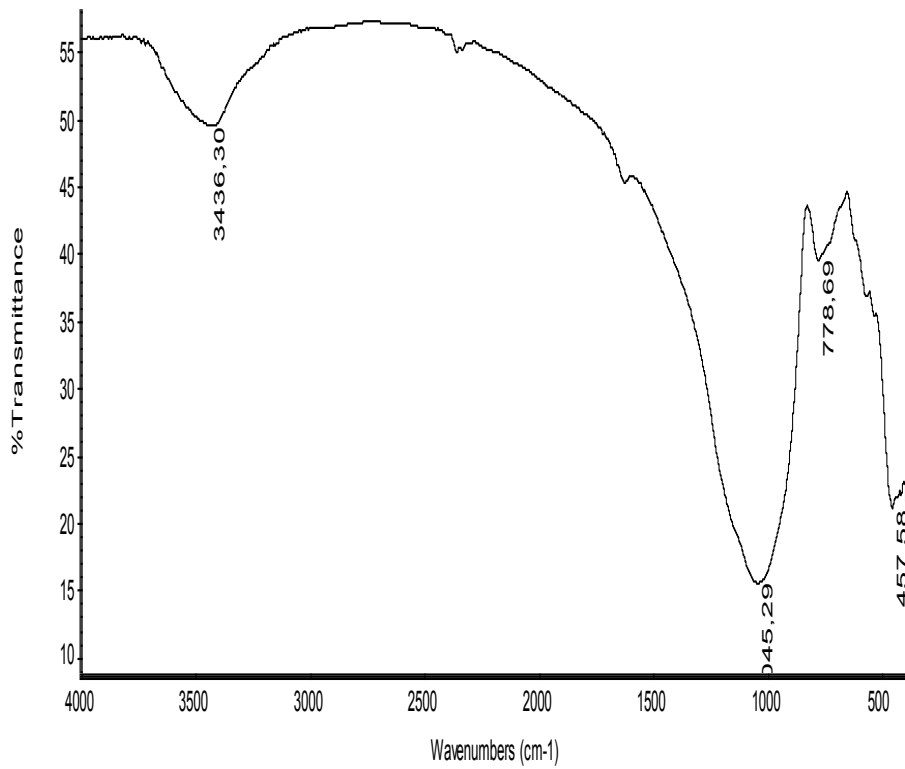
Absolute threshold: 73,172

Sensitivity: 50

Peak list:

Position: 1446,12	Intensity: 18,040
Position: 3643,02	Intensity: 23,422
Position: 873,77	Intensity: 32,775
Position: 1023,83	Intensity: 37,511
Position: 712,83	Intensity: 53,134
Position: 3429,09	Intensity: 58,196

Tue Mar 10 14:13:03 2020 (G)



Collection time: Tue Mar 10 10:04:23 2020 (GMT+07)

Tue Mar 10 14:13:01 2020 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: *200200-4 Abu Vulkanik

Region: 4000,00 400,00

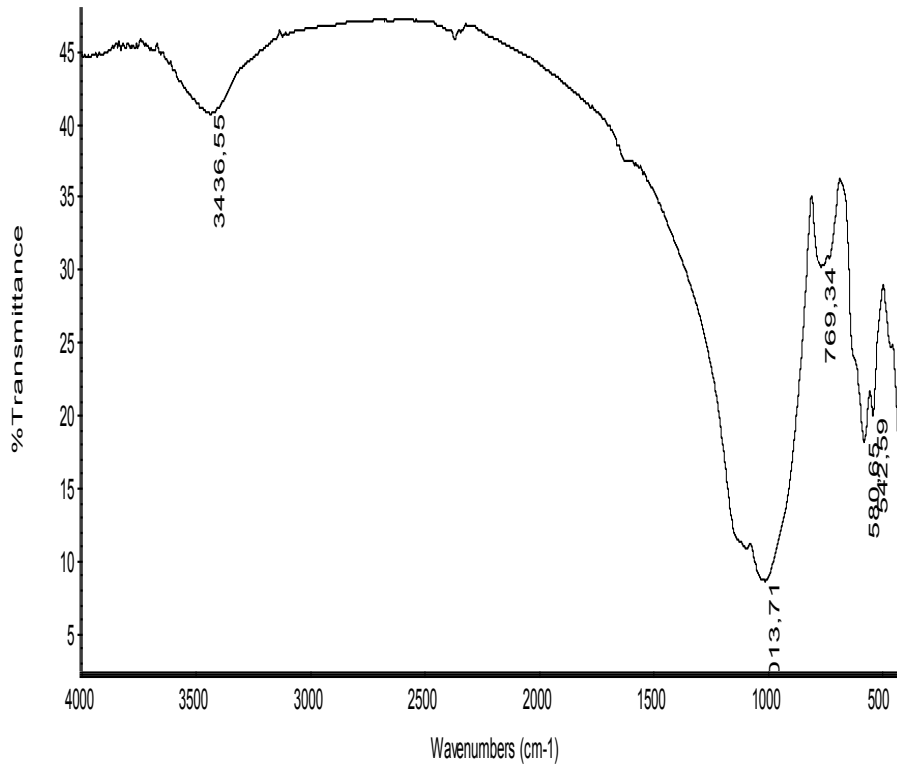
Absolute threshold: 58,538

Sensitivity: 50

Peak list:

Position: 1045,29	Intensity: 15,314
Position: 457,58	Intensity: 20,833
Position: 778,69	Intensity: 39,368
Position: 3436,30	Intensity: 49,366

Tue Mar 10 14:14:15 2020 (G



Collection time: Tue Mar 10 10:12:12 2020 (GMT+07)

Tue Mar 10 14:14:11 2020 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: *200200-5 Batu andesit

Region: 4000,00 400,00

Absolute threshold: 48,335

Sensitivity: 50

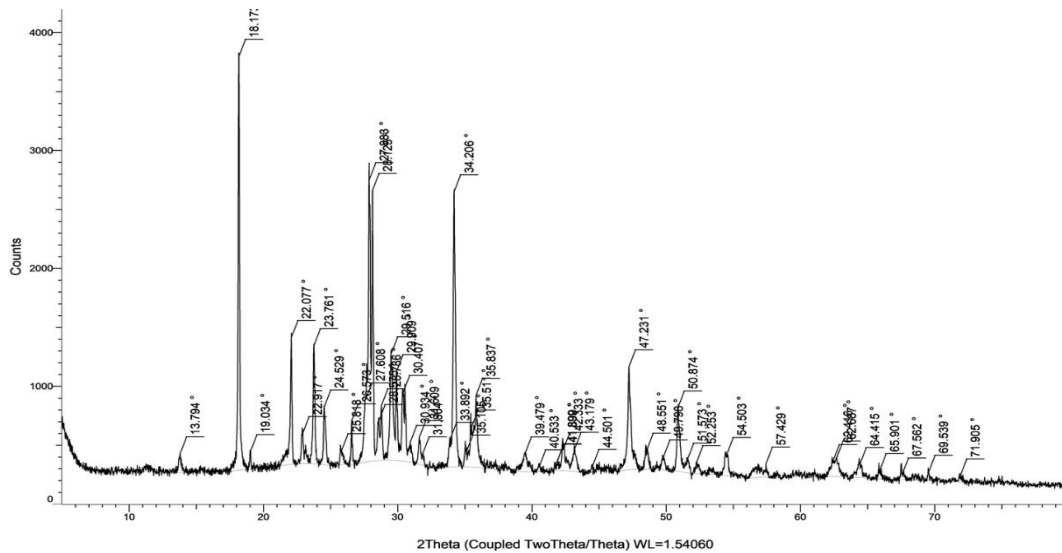
Peak list:

Position: 1013,71	Intensity: 8,388
Position: 580,65	Intensity: 17,976
Position: 542,59	Intensity: 19,691
Position: 769,34	Intensity: 30,049
Position: 3436,55	Intensity: 40,550

Lampiran 13. Hasil karakterisasi XRD

200200-5 Komposisi 3_2_2.raw, 3/12/2020 1:45:50 PM

(Coupled TwoTheta/Theta)



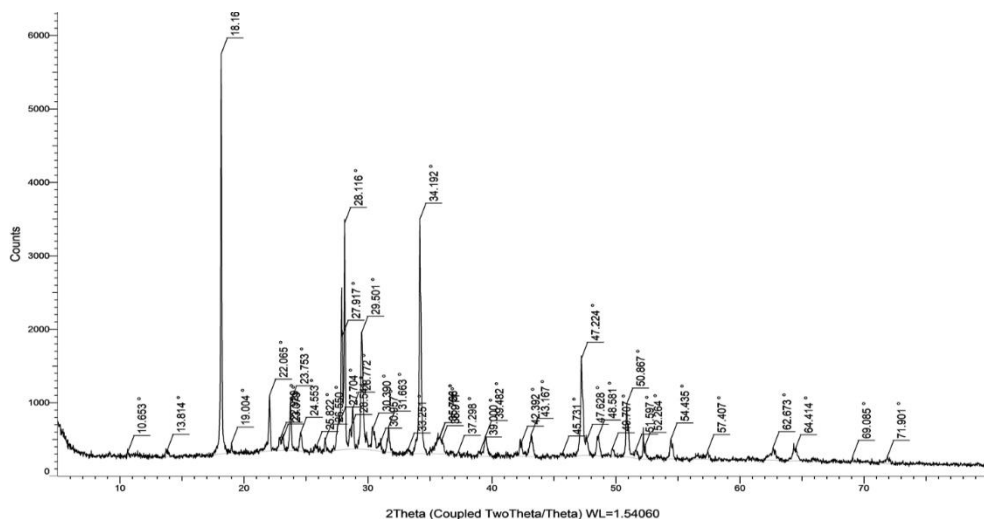
Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan
Yes		■	1	Peak #1	Peak List #1	13.794 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	2	Peak #2	Peak List #1	18.173 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	3	Peak #3	Peak List #1	19.034 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	4	Peak #4	Peak List #1	22.077 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	5	Peak #5	Peak List #1	22.917 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	6	Peak #6	Peak List #1	23.761 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	7	Peak #7	Peak List #1	24.529 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	8	Peak #8	Peak List #1	25.818 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	9	Peak #9	Peak List #1	26.573 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	10	Peak #10	Peak List #1	27.608 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	11	Peak #11	Peak List #1	27.608 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	12	Peak #12	Peak List #1	27.883 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	13	Peak #13	Peak List #1	28.125 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	14	Peak #14	Peak List #1	28.575 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	15	Peak #15	Peak List #1	28.786 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	16	Peak #16	Peak List #1	29.516 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	17	Peak #17	Peak List #1	29.909 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	18	Peak #18	Peak List #1	30.407 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	19	Peak #19	Peak List #1	30.934 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	20	Peak #20	Peak List #1	31.609 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	21	Peak #21	Peak List #1	31.864 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	22	Peak #22	Peak List #1	33.892 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	23	Peak #23	Peak List #1	34.206 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1

Yes		■	24	Peak #24	Peak List #1	35.105 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	25	Peak #25	Peak List #1	35.511 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	26	Peak #26	Peak List #1	35.837 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	27	Peak #27	Peak List #1	39.479 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	28	Peak #28	Peak List #1	40.533 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	29	Peak #29	Peak List #1	41.890 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	30	Peak #30	Peak List #1	41.899 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	31	Peak #31	Peak List #1	42.333 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	32	Peak #32	Peak List #1	43.179 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	33	Peak #33	Peak List #1	44.501 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	34	Peak #34	Peak List #1	47.231 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	35	Peak #35	Peak List #1	48.551 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	36	Peak #36	Peak List #1	49.798 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	37	Peak #37	Peak List #1	50.874 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	38	Peak #38	Peak List #1	51.573 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	39	Peak #39	Peak List #1	52.253 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	40	Peak #40	Peak List #1	54.503 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	41	Peak #41	Peak List #1	57.429 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	42	Peak #42	Peak List #1	62.416 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	43	Peak #43	Peak List #1	62.687 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	44	Peak #44	Peak List #1	64.415 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	45	Peak #45	Peak List #1	65.901 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	46	Peak #46	Peak List #1	67.562 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	47	Peak #47	Peak List #1	69.539 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1
Yes		■	48	Peak #48	Peak List #1	71.905 °	200200-5 Komposisi 3_2_2.raw #1

200200-4 Komposisi 2_2_1.raw, 3/12/2020 1:33:41 PM

(Coupled TwoTheta/Theta)



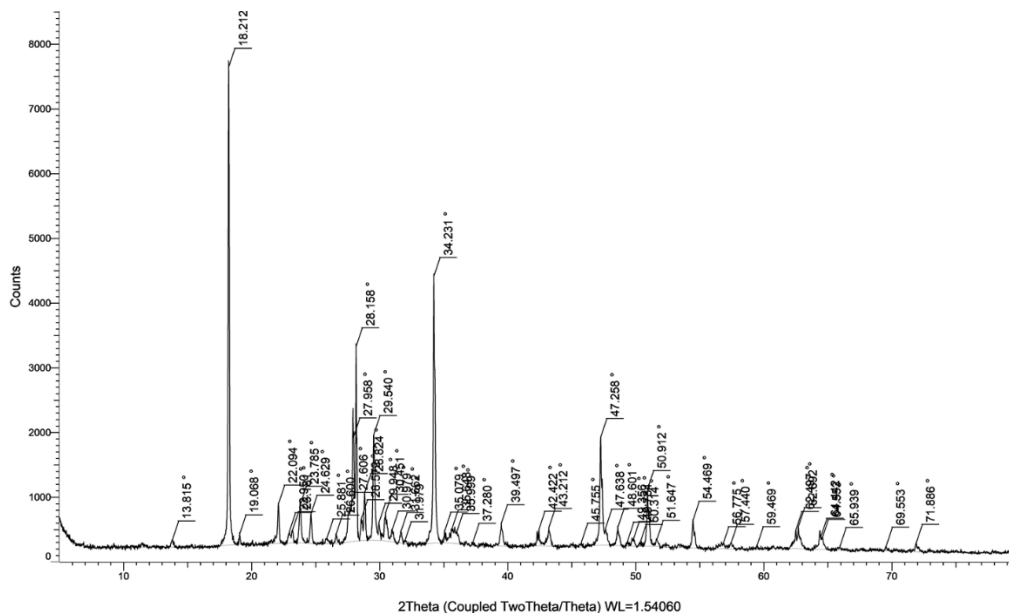
Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan
Yes		■	1	Peak #1	Peak List #1	10.653 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	2	Peak #2	Peak List #1	13.814 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	3	Peak #3	Peak List #1	18.165 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	4	Peak #4	Peak List #1	19.004 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	5	Peak #5	Peak List #1	22.065 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	6	Peak #6	Peak List #1	22.929 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	7	Peak #7	Peak List #1	23.079 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	8	Peak #8	Peak List #1	23.753 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	9	Peak #9	Peak List #1	24.553 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	10	Peak #10	Peak List #1	25.822 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	11	Peak #11	Peak List #1	26.550 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	12	Peak #12	Peak List #1	27.704 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	13	Peak #13	Peak List #1	27.917 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	14	Peak #14	Peak List #1	28.116 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	15	Peak #15	Peak List #1	28.541 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	16	Peak #16	Peak List #1	28.772 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	17	Peak #17	Peak List #1	29.501 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	18	Peak #18	Peak List #1	30.390 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	19	Peak #19	Peak List #1	30.957 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	20	Peak #20	Peak List #1	31.663 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	21	Peak #21	Peak List #1	33.251 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	22	Peak #22	Peak List #1	34.192 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	23	Peak #23	Peak List #1	35.726 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	24	Peak #24	Peak List #1	35.758 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	25	Peak #25	Peak List #1	35.911 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	26	Peak #26	Peak List #1	37.298 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	27	Peak #27	Peak List #1	39.000 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	28	Peak #28	Peak List #1	39.482 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	29	Peak #29	Peak List #1	42.392 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	30	Peak #30	Peak List #1	43.167 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	31	Peak #31	Peak List #1	45.731 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	32	Peak #32	Peak List #1	47.224 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	33	Peak #33	Peak List #1	47.628 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	34	Peak #34	Peak List #1	48.581 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	35	Peak #35	Peak List #1	49.707 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	36	Peak #36	Peak List #1	50.867 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	37	Peak #37	Peak List #1	51.597 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	38	Peak #38	Peak List #1	52.264 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	39	Peak #39	Peak List #1	54.435 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	40	Peak #40	Peak List #1	57.407 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	41	Peak #41	Peak List #1	62.673 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	42	Peak #42	Peak List #1	64.414 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	43	Peak #43	Peak List #1	69.085 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1
Yes		■	44	Peak #44	Peak List #1	71.901 °	200200-4 Komposisi 2_2_1.raw #1

Angle	d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
10.653 °	8.29794 Å	66.7	335	1.2%	n.a.	No
13.814 °	6.40546 Å	87.7	353	1.6%	n.a.	No
18.165 °	4.87972 Å	5448	5751	100.0%	n.a.	No
19.004 °	4.66615 Å	137	451	2.5%	n.a.	No
22.065 °	4.02524 Å	760	1104	14.0%	n.a.	No
22.929 °	3.87551 Å	163	516	3.0%	n.a.	No
23.079 °	3.85064 Å	141	494	2.6%	n.a.	No
23.753 °	3.74288 Å	665	1015	12.2%	n.a.	No
24.553 °	3.62268 Å	246	584	4.5%	n.a.	No
25.822 °	3.44756 Å	64.8	392	1.2%	n.a.	No
26.550 °	3.35455 Å	157	491	2.9%	n.a.	No
27.704 °	3.21738 Å	369	726	6.8%	n.a.	No
27.917 °	3.19338 Å	1546	1906	28.4%	n.a.	No
28.116 °	3.17119 Å	3079	3442	56.5%	n.a.	No
28.541 °	3.12495 Å	256	623	4.7%	n.a.	No
28.772 °	3.10041 Å	557	925	10.2%	n.a.	No
29.501 °	3.02540 Å	1591	1958	29.2%	n.a.	No
30.390 °	2.93887 Å	291	644	5.3%	n.a.	No
30.957 °	2.88633 Å	97.2	436	1.8%	n.a.	No
31.663 °	2.82360 Å	344	667	6.3%	n.a.	No
33.251 °	2.69226 Å	63.7	370	1.2%	n.a.	No
34.192 °	2.62033 Å	3195	3500	58.6%	n.a.	No
35.726 °	2.51120 Å	210	512	3.9%	n.a.	No
35.758 °	2.50907 Å	210	512	3.9%	n.a.	No
35.911 °	2.49874 Å	171	471	3.1%	n.a.	No
37.298 °	2.40893 Å	58.1	337	1.1%	n.a.	No
39.000 °	2.30764 Å	49.3	317	0.9%	n.a.	No
39.482 °	2.28055 Å	272	541	5.0%	n.a.	No
42.392 °	2.13051 Å	194	465	3.6%	n.a.	No
43.167 °	2.09403 Å	305	570	5.6%	n.a.	No
45.731 °	1.98239 Å	68.5	330	1.3%	n.a.	No
47.224 °	1.92315 Å	1325	1607	24.3%	n.a.	No
47.628 °	1.90778 Å	204	488	3.7%	n.a.	No
48.581 °	1.87257 Å	269	547	4.9%	n.a.	No
49.707 °	1.83274 Å	97.1	371	1.8%	n.a.	No
50.867 °	1.79362 Å	720	982	13.2%	n.a.	No
51.597 °	1.76996 Å	113	356	2.1%	n.a.	No
52.264 °	1.74894 Å	145	377	2.7%	n.a.	No
54.435 °	1.68419 Å	273	507	5.0%	n.a.	No
57.407 °	1.60387 Å	122	349	2.2%	n.a.	No
62.673 °	1.48116 Å	174	390	3.2%	n.a.	No
64.414 °	1.44528 Å	139	348	2.6%	n.a.	No
69.085 °	1.35851 Å	77.8	270	1.4%	n.a.	No
71.901 °	1.31207 Å	101	271	1.9%	n.a.	No

200200-3 Komposisi 2_1_1.raw, 3/12/2020 1:28:34 PM

(Coupled TwoTheta/Theta)



Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan
Yes		■	1	Peak #1	Peak List #1	13.815 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	2	Peak #2	Peak List #1	18.212 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	3	Peak #3	Peak List #1	19.068 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	4	Peak #4	Peak List #1	22.094 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	5	Peak #5	Peak List #1	22.950 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	6	Peak #6	Peak List #1	23.181 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	7	Peak #7	Peak List #1	23.785 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	8	Peak #8	Peak List #1	24.629 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	9	Peak #9	Peak List #1	25.881 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	10	Peak #10	Peak List #1	26.600 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	11	Peak #11	Peak List #1	27.606 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	12	Peak #12	Peak List #1	27.958 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	13	Peak #13	Peak List #1	28.158 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	14	Peak #14	Peak List #1	28.572 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	15	Peak #15	Peak List #1	28.824 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	16	Peak #16	Peak List #1	29.540 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	17	Peak #17	Peak List #1	29.948 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	18	Peak #18	Peak List #1	30.451 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	19	Peak #19	Peak List #1	30.979 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	20	Peak #20	Peak List #1	31.662 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	21	Peak #21	Peak List #1	31.979 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	22	Peak #22	Peak List #1	34.231 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	23	Peak #23	Peak List #1	35.079 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		■	24	Peak #24	Peak List #1	35.648 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1

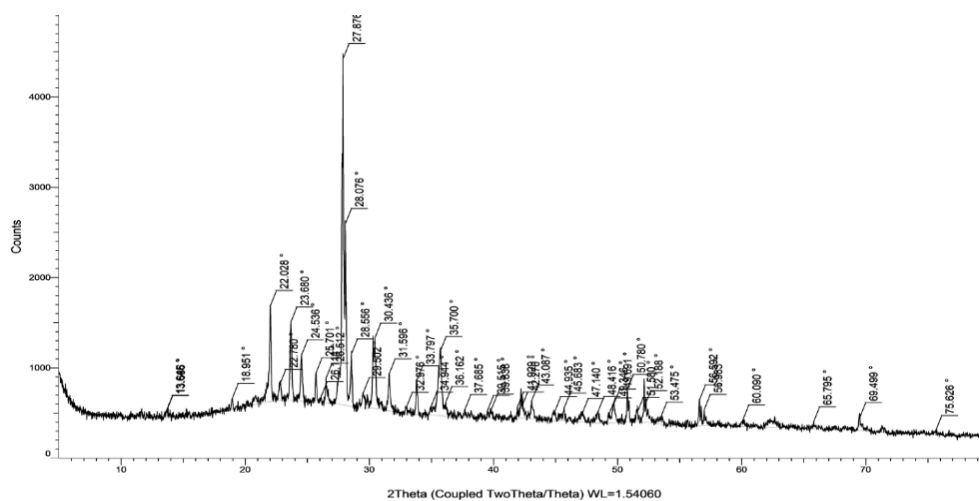
Yes		█	25	Peak #25	Peak List #1	35.999 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	26	Peak #26	Peak List #1	37.280 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	27	Peak #27	Peak List #1	39.497 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	28	Peak #28	Peak List #1	42.422 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	29	Peak #29	Peak List #1	43.212 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	30	Peak #30	Peak List #1	45.755 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	31	Peak #31	Peak List #1	47.258 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	32	Peak #32	Peak List #1	47.638 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	33	Peak #33	Peak List #1	48.601 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	34	Peak #34	Peak List #1	49.356 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	35	Peak #35	Peak List #1	49.784 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	36	Peak #36	Peak List #1	50.314 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	37	Peak #37	Peak List #1	50.912 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	38	Peak #38	Peak List #1	51.647 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	39	Peak #39	Peak List #1	54.469 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	40	Peak #40	Peak List #1	56.775 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	41	Peak #41	Peak List #1	57.440 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	42	Peak #42	Peak List #1	59.469 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	43	Peak #43	Peak List #1	62.497 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	44	Peak #44	Peak List #1	62.692 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	45	Peak #45	Peak List #1	64.442 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	46	Peak #46	Peak List #1	64.553 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	47	Peak #47	Peak List #1	65.939 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	48	Peak #48	Peak List #1	69.553 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	49	Peak #49	Peak List #1	71.886 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1
Yes		█	50	Peak #50	Peak List #1	79.202 °	200200-3 Komposisi 2_1_1.raw #1

Angle	d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
13.815 °	6.40498 Å	114	339	1.5%	n.a.	No
18.212 °	4.86720 Å	7383	7645	100.0%	n.a.	No
19.068 °	4.65060 Å	166	435	2.3%	n.a.	No
22.094 °	4.02004 Å	609	895	8.3%	n.a.	No
22.950 °	3.87196 Å	180	470	2.4%	n.a.	No
23.181 °	3.83387 Å	195	487	2.6%	n.a.	No
23.785 °	3.73796 Å	583	876	7.9%	n.a.	No
24.629 °	3.61165 Å	454	738	6.2%	n.a.	No
25.881 °	3.43976 Å	89.4	374	1.2%	n.a.	No
26.600 °	3.34838 Å	149	434	2.0%	n.a.	No
27.606 °	3.22867 Å	477	784	6.5%	n.a.	No
27.958 °	3.18881 Å	1617	1935	21.9%	n.a.	No
28.158 °	3.16661 Å	3004	3326	40.7%	n.a.	No
28.572 °	3.12158 Å	340	669	4.6%	n.a.	No
28.824 °	3.09486 Å	740	1072	10.0%	n.a.	No
29.540 °	3.02145 Å	1638	1973	22.2%	n.a.	No
29.948 °	2.98123 Å	283	614	3.8%	n.a.	No
30.451 °	2.93318 Å	429	753	5.8%	n.a.	No
30.979 °	2.88438 Å	183	495	2.5%	n.a.	No
31.662 °	2.82363 Å	179	471	2.4%	n.a.	No

31.979 °	2.79643 Å	47.6	328	0.6%	n.a.	No
34.231 °	2.61743 Å	4124	4413	55.9%	n.a.	No
35.079 °	2.55602 Å	187	480	2.5%	n.a.	No
35.648 °	2.51654 Å	223	511	3.0%	n.a.	No
35.999 °	2.49283 Å	173	455	2.3%	n.a.	No
37.280 °	2.41003 Å	59.8	304	0.8%	n.a.	No
39.497 °	2.27974 Å	349	593	4.7%	n.a.	No
42.422 °	2.12904 Å	246	493	3.3%	n.a.	No
43.212 °	2.09196 Å	290	534	3.9%	n.a.	No
45.755 °	1.98142 Å	76.5	309	1.0%	n.a.	No
47.258 °	1.92184 Å	1666	1926	22.6%	n.a.	No
47.638 °	1.90739 Å	261	522	3.5%	n.a.	No
48.601 °	1.87183 Å	283	537	3.8%	n.a.	No
49.356 °	1.84496 Å	81.0	324	1.1%	n.a.	No
49.784 °	1.83010 Å	91.2	332	1.2%	n.a.	No
50.314 °	1.81205 Å	45.3	286	0.6%	n.a.	No
50.912 °	1.79215 Å	878	1122	11.9%	n.a.	No
51.647 °	1.76837 Å	110	349	1.5%	n.a.	No
54.469 °	1.68324 Å	429	645	5.8%	n.a.	No
56.775 °	1.62019 Å	47.4	253	0.6%	n.a.	No
57.440 °	1.60303 Å	85.0	288	1.2%	n.a.	No
59.469 °	1.55308 Å	53.1	253	0.7%	n.a.	No
62.497 °	1.48491 Å	282	490	3.8%	n.a.	No
62.692 °	1.48075 Å	339	546	4.6%	n.a.	No
64.442 °	1.44471 Å	191	384	2.6%	n.a.	No
64.553 °	1.44249 Å	172	365	2.3%	n.a.	No
65.939 °	1.41549 Å	56.4	241	0.8%	n.a.	No
69.553 °	1.35050 Å	74.7	245	1.0%	n.a.	No
71.886 °	1.31230 Å	131	288	1.8%	n.a.	No
79.202 °	1.20843 Å	38.4	169	0.5%	n.a.	No

200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw, 3/12/2020 11:32:16 AM

(Coupled TwoTheta/Theta)



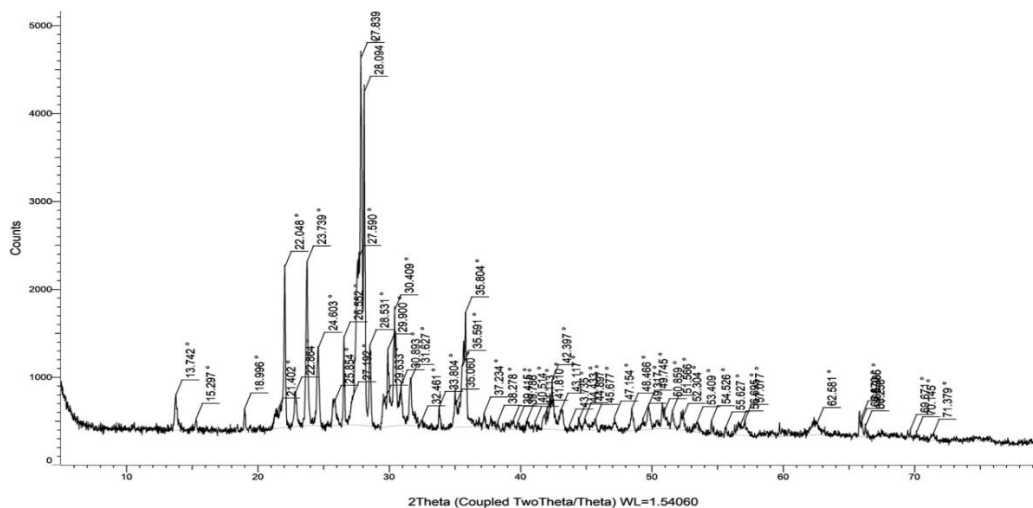
Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan
Yes		■	1	Peak #1	Peak List #1	13.645 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	2	Peak #2	Peak List #1	13.686 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	3	Peak #3	Peak List #1	18.951 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	4	Peak #4	Peak List #1	22.028 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	5	Peak #5	Peak List #1	22.780 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	6	Peak #6	Peak List #1	23.680 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	7	Peak #7	Peak List #1	24.536 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	8	Peak #8	Peak List #1	25.701 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	9	Peak #9	Peak List #1	26.114 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	10	Peak #10	Peak List #1	26.512 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	11	Peak #11	Peak List #1	27.876 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	12	Peak #12	Peak List #1	28.076 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	13	Peak #13	Peak List #1	28.556 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	14	Peak #14	Peak List #1	29.502 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	15	Peak #15	Peak List #1	30.436 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	16	Peak #16	Peak List #1	31.596 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	17	Peak #17	Peak List #1	32.976 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	18	Peak #18	Peak List #1	33.797 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	19	Peak #19	Peak List #1	34.944 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	20	Peak #20	Peak List #1	35.700 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	21	Peak #21	Peak List #1	36.162 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	22	Peak #22	Peak List #1	37.685 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	23	Peak #23	Peak List #1	39.515 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	24	Peak #24	Peak List #1	39.838 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	25	Peak #25	Peak List #1	41.929 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	26	Peak #26	Peak List #1	42.270 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	27	Peak #27	Peak List #1	43.087 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	28	Peak #28	Peak List #1	44.935 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	29	Peak #29	Peak List #1	45.683 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	30	Peak #30	Peak List #1	47.140 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	31	Peak #31	Peak List #1	48.416 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	32	Peak #32	Peak List #1	49.346 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	33	Peak #33	Peak List #1	49.691 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	34	Peak #34	Peak List #1	50.780 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	35	Peak #35	Peak List #1	51.580 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	36	Peak #36	Peak List #1	52.188 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	37	Peak #37	Peak List #1	53.475 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	38	Peak #38	Peak List #1	56.592 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	39	Peak #39	Peak List #1	56.983 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	40	Peak #40	Peak List #1	60.090 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	41	Peak #41	Peak List #1	65.795 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	42	Peak #42	Peak List #1	69.499 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1
Yes		■	43	Peak #43	Peak List #1	75.626 °	200200-2 Sampel Abu Vulkanik.raw #1

Angle	d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
13.645 °	6.48420 Å	74.2	523	1.9%	n.a.	No
13.686 °	6.46478 Å	80.4	529	2.1%	n.a.	No
18.951 °	4.67915 Å	123	659	3.2%	n.a.	No
22.028 °	4.03198 Å	1062	1688	27.7%	n.a.	No
22.780 °	3.90048 Å	179	815	4.7%	n.a.	No
23.680 °	3.75425 Å	868	1506	22.6%	n.a.	No
24.536 °	3.62516 Å	513	1143	13.4%	n.a.	No
25.701 °	3.46351 Å	320	941	8.4%	n.a.	No
26.114 °	3.40964 Å	63.7	679	1.7%	n.a.	No
26.512 °	3.35937 Å	271	883	7.1%	n.a.	No
27.876 °	3.19793 Å	3831	4423	100.0%	n.a.	No
28.076 °	3.17568 Å	2010	2596	52.5%	n.a.	No
28.556 °	3.12331 Å	581	1153	15.2%	n.a.	No
29.502 °	3.02531 Å	165	723	4.3%	n.a.	No
30.436 °	2.93456 Å	777	1326	20.3%	n.a.	No
31.596 °	2.82939 Å	407	930	10.6%	n.a.	No
32.976 °	2.71412 Å	70.4	561	1.8%	n.a.	No
33.797 °	2.65000 Å	371	854	9.7%	n.a.	No
34.944 °	2.56561 Å	85.3	562	2.2%	n.a.	No
35.700 °	2.51301 Å	707	1178	18.5%	n.a.	No
36.162 °	2.48194 Å	159	623	4.2%	n.a.	No
37.685 °	2.38508 Å	85.4	536	2.2%	n.a.	No
39.515 °	2.27872 Å	80.4	525	2.1%	n.a.	No
39.838 °	2.26100 Å	97.7	540	2.5%	n.a.	No
41.929 °	2.15295 Å	121	563	3.1%	n.a.	No
42.270 °	2.13635 Å	121	564	3.2%	n.a.	No
43.087 °	2.09771 Å	201	640	5.3%	n.a.	No
44.935 °	2.01564 Å	101	513	2.6%	n.a.	No
45.683 °	1.98435 Å	139	553	3.6%	n.a.	No
47.140 °	1.92640 Å	90.8	493	2.4%	n.a.	No
48.416 °	1.87854 Å	127	514	3.3%	n.a.	No
49.346 °	1.84528 Å	112	500	2.9%	n.a.	No
49.691 °	1.83329 Å	205	596	5.4%	n.a.	No
50.780 °	1.79651 Å	363	759	9.5%	n.a.	No
51.580 °	1.77049 Å	104	504	2.7%	n.a.	No
52.188 °	1.75129 Å	183	580	4.8%	n.a.	No
53.475 °	1.71216 Å	78.6	452	2.1%	n.a.	No
56.592 °	1.62502 Å	289	644	7.5%	n.a.	No
56.983 °	1.61478 Å	177	537	4.6%	n.a.	No
60.090 °	1.53850 Å	68.7	420	1.8%	n.a.	No
65.795 °	1.41823 Å	79.2	399	2.1%	n.a.	No
69.499 °	1.35143 Å	137	446	3.6%	n.a.	No
75.626 °	1.25643 Å	42.6	303	1.1%	n.a.	No

200200-1 Sampel Batu Andesit.raw, 3/12/2020 11:19:51 AM

(Coupled TwoTheta/Theta)



Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan	Angle
Yes		■	1	Peak #1	Peak List #1	13.742 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	13.742 °
Yes		■	2	Peak #2	Peak List #1	15.297 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	15.297 °
Yes		■	3	Peak #3	Peak List #1	18.996 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	18.996 °
Yes		■	4	Peak #4	Peak List #1	21.402 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	21.402 °
Yes		■	5	Peak #5	Peak List #1	22.048 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	22.048 °
Yes		■	6	Peak #6	Peak List #1	22.864 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	22.864 °
Yes		■	7	Peak #7	Peak List #1	23.739 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	23.739 °
Yes		■	8	Peak #8	Peak List #1	24.603 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	24.603 °
Yes		■	9	Peak #9	Peak List #1	25.854 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	25.854 °
Yes		■	10	Peak #10	Peak List #1	26.552 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	26.552 °
Yes		■	11	Peak #11	Peak List #1	27.192 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	27.192 °
Yes		■	12	Peak #12	Peak List #1	27.590 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	27.590 °
Yes		■	13	Peak #13	Peak List #1	27.839 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	27.839 °
Yes		■	14	Peak #14	Peak List #1	28.094 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	28.094 °
Yes		■	15	Peak #15	Peak List #1	28.531 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	28.531 °
Yes		■	16	Peak #16	Peak List #1	29.633 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	29.633 °
Yes		■	17	Peak #17	Peak List #1	29.900 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	29.900 °
Yes		■	18	Peak #18	Peak List #1	30.409 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	30.409 °
Yes		■	19	Peak #19	Peak List #1	30.893 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	30.893 °
Yes		■	20	Peak #20	Peak List #1	31.627 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	31.627 °
Yes		■	21	Peak #21	Peak List #1	32.461 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	32.461 °
Yes		■	22	Peak #22	Peak List #1	33.804 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	33.804 °
Yes		■	23	Peak #23	Peak List #1	35.060 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	35.060 °
Yes		■	24	Peak #24	Peak List #1	35.591 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	35.591 °
Yes		■	25	Peak #25	Peak List #1	35.804 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	35.804 °
Yes		■	26	Peak #26	Peak List #1	37.234 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	37.234 °

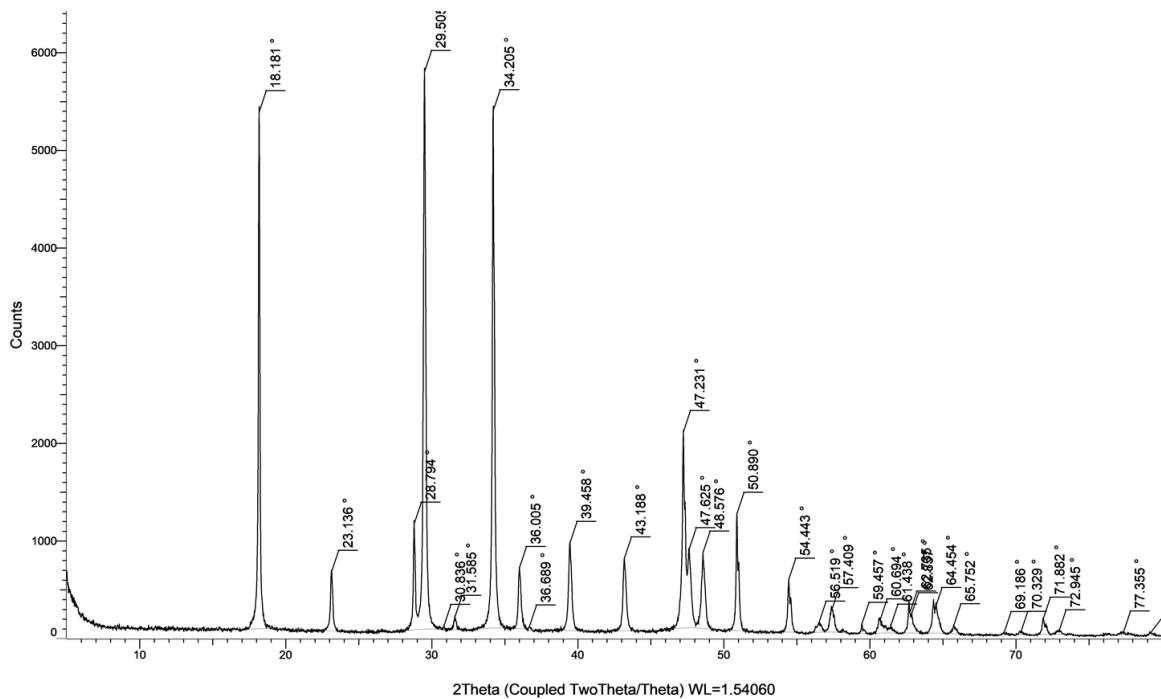
Yes		█	27	Peak #27	Peak List #1	38.278 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	38.278 °
Yes		█	28	Peak #28	Peak List #1	39.415 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	39.415 °
Yes		█	29	Peak #29	Peak List #1	39.786 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	39.786 °
Yes		█	30	Peak #30	Peak List #1	40.514 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	40.514 °
Yes		█	31	Peak #31	Peak List #1	41.113 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	41.113 °
Yes		█	32	Peak #32	Peak List #1	41.810 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	41.810 °
Yes		█	33	Peak #33	Peak List #1	42.397 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	42.397 °
Yes		█	34	Peak #34	Peak List #1	43.117 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	43.117 °
Yes		█	35	Peak #35	Peak List #1	43.735 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	43.735 °
Yes		█	36	Peak #36	Peak List #1	44.433 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	44.433 °
Yes		█	37	Peak #37	Peak List #1	44.897 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	44.897 °
Yes		█	38	Peak #38	Peak List #1	45.677 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	45.677 °
Yes		█	39	Peak #39	Peak List #1	47.154 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	47.154 °
Yes		█	40	Peak #40	Peak List #1	48.466 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	48.466 °
Yes		█	41	Peak #41	Peak List #1	49.317 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	49.317 °
Yes		█	42	Peak #42	Peak List #1	49.745 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	49.745 °
Yes		█	43	Peak #43	Peak List #1	50.859 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	50.859 °
Yes		█	44	Peak #44	Peak List #1	51.566 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	51.566 °
Yes		█	45	Peak #45	Peak List #1	52.304 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	52.304 °
Yes		█	46	Peak #46	Peak List #1	53.409 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	53.409 °
Yes		█	47	Peak #47	Peak List #1	54.526 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	54.526 °
Yes		█	48	Peak #48	Peak List #1	55.627 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	55.627 °
Yes		█	49	Peak #49	Peak List #1	56.695 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	56.695 °
Yes		█	50	Peak #50	Peak List #1	57.077 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	57.077 °
Yes		█	51	Peak #51	Peak List #1	62.581 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	62.581 °
Yes		█	52	Peak #52	Peak List #1	65.870 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	65.870 °
Yes		█	53	Peak #53	Peak List #1	65.985 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	65.985 °
Yes		█	54	Peak #54	Peak List #1	66.258 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	66.258 °
Yes		█	55	Peak #55	Peak List #1	69.671 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	69.671 °
Yes		█	56	Peak #56	Peak List #1	70.145 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	70.145 °
Yes		█	57	Peak #57	Peak List #1	71.379 °	200200-1 Sampel Batu Andesit.raw #1	71.379 °

d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
6.43877 Å	396	791	9.5%	n.a.	No
5.78752 Å	129	526	3.1%	n.a.	No
4.66813 Å	248	642	5.9%	n.a.	No
4.14846 Å	171	587	4.1%	n.a.	No
4.02826 Å	1828	2254	43.8%	n.a.	No
3.88644 Å	389	826	9.3%	n.a.	No
3.74504 Å	1869	2316	44.7%	n.a.	No
3.61548 Å	887	1334	21.2%	n.a.	No
3.44336 Å	280	731	6.7%	n.a.	No
3.35440 Å	1000	1453	23.9%	n.a.	No
3.27688 Å	315	771	7.5%	n.a.	No
3.23042 Å	1866	2321	44.7%	n.a.	No
3.20212 Å	4177	4630	100.0%	n.a.	No
3.17364 Å	3797	4247	90.9%	n.a.	No
3.12606 Å	920	1364	22.0%	n.a.	No

3.01218 Å	300	733	7.2%	n.a.	No
2.98595 Å	878	1316	21.0%	n.a.	No
2.93706 Å	1314	1760	31.5%	n.a.	No
2.89222 Å	455	905	10.9%	n.a.	No
2.82674 Å	517	967	12.4%	n.a.	No
2.75594 Å	56.5	498	1.4%	n.a.	No
2.64947 Å	244	661	5.8%	n.a.	No
2.55738 Å	258	687	6.2%	n.a.	No
2.52046 Å	695	1129	16.6%	n.a.	No
2.50591 Å	1302	1737	31.2%	n.a.	No
2.41289 Å	172	597	4.1%	n.a.	No
2.34948 Å	100	503	2.4%	n.a.	No
2.28429 Å	89.0	499	2.1%	n.a.	No
2.26382 Å	80.5	493	1.9%	n.a.	No
2.22482 Å	105	517	2.5%	n.a.	No
2.19376 Å	82.2	490	2.0%	n.a.	No
2.15879 Å	150	561	3.6%	n.a.	No
2.13025 Å	557	965	13.3%	n.a.	No
2.09632 Å	243	641	5.8%	n.a.	No
2.06812 Å	68.8	461	1.6%	n.a.	No
2.03723 Å	116	517	2.8%	n.a.	No
2.01726 Å	131	534	3.1%	n.a.	No
1.98461 Å	114	514	2.7%	n.a.	No
1.92584 Å	154	550	3.7%	n.a.	No
1.87672 Å	253	642	6.1%	n.a.	No
1.84632 Å	128	528	3.1%	n.a.	No
1.83142 Å	269	677	6.4%	n.a.	No
1.79388 Å	163	578	3.9%	n.a.	No
1.77096 Å	206	618	4.9%	n.a.	No
1.74769 Å	125	526	3.0%	n.a.	No
1.71412 Å	110	487	2.6%	n.a.	No
1.68160 Å	145	499	3.5%	n.a.	No
1.65089 Å	94.4	429	2.3%	n.a.	No
1.62231 Å	99.2	439	2.4%	n.a.	No
1.61234 Å	176	514	4.2%	n.a.	No
1.48312 Å	132	478	3.1%	n.a.	No
1.41681 Å	145	468	3.5%	n.a.	No

200200-6 Sampel Kapur.raw, 3/12/2020 1:42:34 PM

(Coupled TwoTheta/Theta)



Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan
Yes		■	1	Peak #1	Peak List #1	18.181 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	2	Peak #2	Peak List #1	23.136 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	3	Peak #3	Peak List #1	28.794 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	4	Peak #4	Peak List #1	29.505 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	5	Peak #5	Peak List #1	30.836 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	6	Peak #6	Peak List #1	31.585 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	7	Peak #7	Peak List #1	34.205 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	8	Peak #8	Peak List #1	36.005 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	9	Peak #9	Peak List #1	36.689 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	10	Peak #10	Peak List #1	39.458 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	11	Peak #11	Peak List #1	43.188 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	12	Peak #12	Peak List #1	47.231 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	13	Peak #13	Peak List #1	47.625 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	14	Peak #14	Peak List #1	48.576 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	15	Peak #15	Peak List #1	50.890 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	16	Peak #16	Peak List #1	54.443 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	17	Peak #17	Peak List #1	56.519 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	18	Peak #18	Peak List #1	57.409 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	19	Peak #19	Peak List #1	59.457 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	20	Peak #20	Peak List #1	60.694 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	21	Peak #21	Peak List #1	61.438 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	22	Peak #22	Peak List #1	62.735 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	23	Peak #23	Peak List #1	62.857 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes		■	24	Peak #24	Peak List #1	64.454 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1

Yes			25	Peak #25	Peak List #1	65.752 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes			26	Peak #26	Peak List #1	69.186 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes			27	Peak #27	Peak List #1	70.329 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes			28	Peak #28	Peak List #1	71.882 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes			29	Peak #29	Peak List #1	72.945 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes			30	Peak #30	Peak List #1	77.355 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1
Yes			31	Peak #31	Peak List #1	79.238 °	200200-6 Sampel Kapur.raw #1

Angle	d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
18.181 °	4.87557 Å	5289	5391	92.7%	n.a.	No
23.136 °	3.84126 Å	605	685	10.6%	n.a.	No
28.794 °	3.09805 Å	1088	1178	19.1%	n.a.	No
29.505 °	3.02501 Å	5705	5803	100.0%	n.a.	No
30.836 °	2.89742 Å	39.7	131	0.7%	n.a.	No
31.585 °	2.83039 Å	134	225	2.3%	n.a.	No
34.205 °	2.61930 Å	5292	5400	92.8%	n.a.	No
36.005 °	2.49239 Å	620	723	10.9%	n.a.	No
36.689 °	2.44748 Å	32.8	124	0.6%	n.a.	No
39.458 °	2.28188 Å	896	980	15.7%	n.a.	No
43.188 °	2.09306 Å	741	823	13.0%	n.a.	No
47.231 °	1.92288 Å	2007	2116	35.2%	n.a.	No
47.625 °	1.90788 Å	807	918	14.1%	n.a.	No
48.576 °	1.87274 Å	778	882	13.6%	n.a.	No
50.890 °	1.79286 Å	1197	1279	21.0%	n.a.	No
54.443 °	1.68395 Å	537	605	9.4%	n.a.	No
56.519 °	1.62693 Å	98.3	164	1.7%	n.a.	No
57.409 °	1.60382 Å	234	302	4.1%	n.a.	No
59.457 °	1.55335 Å	98.8	152	1.7%	n.a.	No
60.694 °	1.52463 Å	129	186	2.3%	n.a.	No
61.438 °	1.50793 Å	75.0	133	1.3%	n.a.	No
62.735 °	1.47985 Å	209	268	3.7%	n.a.	No
62.857 °	1.47728 Å	191	250	3.3%	n.a.	No
64.454 °	1.44447 Å	247	305	4.3%	n.a.	No
65.752 °	1.41906 Å	85.2	137	1.5%	n.a.	No
69.186 °	1.35678 Å	18.5	58.2	0.3%	n.a.	No
70.329 °	1.33750 Å	19.9	59.0	0.3%	n.a.	No
71.882 °	1.31237 Å	163	206	2.9%	n.a.	No
72.945 °	1.29584 Å	29.7	75.0	0.5%	n.a.	No
77.355 °	1.23260 Å	24.8	63.3	0.4%	n.a.	No
79.238 °	1.20798 Å	31.5	63.6	0.6%	n.a.	No