

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN METODE UJI KADAR KALSIUM (Ca)
DALAM SAMPEL MORTAR ABU VULKANIK DENGAN
TITRASI KOMPLEKSOMETRI DAN X-RAY
FLOURESCENCE (XRF) DI BALAI KONSERVASI
BOROBUDUR**

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



Disusun Oleh:

Heardimas Agil Nor Syahfiq

NIM: 17231073

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

2021

LAPORAN TUGAS AKHIR
PERBANDINGAN METODE UJI KADAR KALSIUM (Ca)
DALAM SAMPEL MORTAR ABU VULKANIK DENGAN
TITRASI KOMPLEKSOMETRI DAN X-RAY
FLOURESCENCE (XRF) DI BALAI KONSERVASI
BOROBUDUR

COMPARISON METHOD OF CALCIUM ANALYSIS IN THE
VULCANIC ASH MORTAR USING COMPLEXOMETRY
METHOD AND X-RAY FLOURESENCE AT BOROBUDUR
CONSERVATION CENTER



Disusun oleh:

Heardimas Agil Nor Syahfiq

NIM: 17231073

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

2021

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN METODE UJI KADAR KALSIUM (Ca)

DALAM SAMPEL MORTAR ABU VULKANIK DENGAN

TITRASI KOMPLEKSOMETRI DAN X-RAY

FLOURESCENCE (XRF) DI BALAI KONSERVASI

BOROBUDUR

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Heardimas Agil Nor Syahfiq

NIM: 17231073

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Program Studi DIII Analisis Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia

pada tanggal 23 Februari 2021

Menyetujui,

Ketua Program Studi

Pembimbing



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

NIK.132311102



Bayu Wiyantoko, S.Si., M.Sc.

NIK.132311101

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN METODE UJI KADAR KALSIUM (Ca) DALAM
SAMPEL MORTAR ABU VULKANIK DENGAN TITRASI
KOMPLEKSOMETRI DAN X-RAY FLOURESCENCE (XRF) DI BALAI
KONSERVASI BOROBUDUR**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Heardimas Agil Nor Syahfiq

NIM: 17231073

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji pada tanggal 23 Februari 2021

Susunan Tim Penguji

Pembimbing/Penguji


Bayu Wiyantoko, S.Si., M.Sc.

NIK. 132311101

Penguji I


Kuntari, M.Sc.

NIK. 162310401

Penguji II


Muhaimin, M.Sc.

NIK. 156141305

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 publikasi sebelumnya dan sepengetahuan saya tidak terdapat bagian yang pernah ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka. Saya memperbolehkan sebagian pengutipan karya ini sebagai materi praktikum setelah penerbitan karya ini.

Yogyakarta, 23 Februari 2021



Heardimas Agil

MOTTO

“ Live a life You Will Remember “ (avicii)

“ It’s Only After We’ve Lost Everything That We’re Free To Do Anything ”
(fight club)

“ If You Are Good At Something, Never Do It For Free “ (Joker)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, nikmat, petunjuk, kesehatan, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dan penulisan tugas akhir dengan sebaik-baiknya. Persembahan tugas akhir ini dan rasa terimakasih ini saya ucapkan untuk:

1. Keluarga saya tercinta (Bapak Norman, Ibu Suryanti, Mba Nor Sela, Dinar Jihan, Annisa Salsabiila, Nizam Fadil, Dafiq Syahbani, Solehatin) yang senantiasa memberikan doa, pengorbanan, serta dukungan.
2. Bapak Yudhi Atmaja, Bapak Gunawan, Bapak Santoso, Mas Widyo selaku staff laboratorium dan segenap pegawai Balai Konservasi Borobudur yang telah membantu dan membimbing dalam penelitian tugas akhir ini
3. Sahabat saya keluarga cendana (Ezha, Raihan, Roif, Malindo, Leonardo, Ahmad Zukrifan, Amas, Roy Antares, Ramna Dita, Aulia) yang telah memberikan dukungan serta semangat
4. Teman PKL saya (Iqbal, Iwid, Mas Imam, Agata, Risa) yang telah membantu serta memberikan dukungan
5. Teman-teman seperjuangan DIII Analisis Kimia UII 2017 yang membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Wr.Wb

Puji syukur atas segala berkat dan rahmat Tuhan Yang Maha Esa sehingga laporan tugas akhir ini dapat penulis selesaikan tepat pada waktunya yang berjudul “Perbandingan Metode Uji Kadar Kalsium (Ca) Dalam Sampel Mortar Abu Vulkanik Dengan Titrasi Kompleksometri Dan X-Ray Flourescence (XRF) Di Balai Konservasi Borobudur. Laporan yang mengeksplorasi bahan baru dalam konservasi cagar budaya berbahan batu di Indonesia ini semoga memberikan hasil positif bagi kedua belah pihak (Universitas Islam Indonesia dan Balai Konservasi Borobudur) dan diharapkan dapat dilanjutkan sampai diperoleh formula terbaik sehingga dapat diaplikasikan pada cagar budaya yang sesungguhnya.

Laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md.Si.) Program Studi DIII Analisis Kimia Universitas Islam Indonesia. Laporan Tugas Akhir ini dapat penulis selesaikan atas bantuan dari berbagai pihak, baik berupa dukungan moral, material, maupun pengetahuan. Untuk itu kami menghaturkan terima kasih kepada:

1. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
2. Tri Esti Purbaningtias, S.Si., M.Si. selaku ketua Program Studi DIII Analisis Kimia Universitas Islam Indonesia.
3. Bayu Wiyantoko, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing Praktik Kerja Lapangan yang telah banyak memberikan dukungan, bimbingan, dan arahan dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir.
4. Drs. Tri Hartono, M. Hum. selaku kepala Balai Konservasi Borobudur.
5. Nahar Cahyandaru, S.Si., M.Dipl. selaku ketua Pokja Kajian dan Laboratorium.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan ini bisa bermanfaat bagi kita semua

Wassalamua 'alaikum, Wr.Wb.

Yogyakarta, 23 Februari 2021

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
INTISARI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.4.1 Bagi Balai Konservasi Borobudur	3
1.4.2 Bagi Akademi	3
1.4.3 Bagi Penulis	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Profil Candi Borobudur dan Balai Konservasi Borobudur	4
2.1.1 Candi Borobudur	4
2.1.2 Tugas dan Fungsi	5
2.1.3 Balai Konservasi Borobudur	6
2.2 Mortar	7
2.3 Kalsium	10
2.4 Titrasi Kompleksometri	11

2.5 <i>X-Ray Flourescence</i>	12
2.6 Uji Presisi	14
2.7 Uji Kuat Tekan	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Alat	18
3.2 Bahan	18
3.3 Cara Kerja	18
3.3.1 Pembuatan larutan EDTA 0,1 M	18
3.3.2 Pembuatan larutan ZnSO ₄ 0,1 M	19
3.3.3 Standardisasi larutan NaEDTA 0,1M dengan larutan ZnSO ₄ 0,1 M	19
3.3.4 Pembuatan larutan NaOH 0,1N	19
3.3.5 Destruktif sampel	19
3.3.6 Titrasi	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Hasil Pembuatan Mortar	21
4.2 Pengujian Kadar Kalsium (Ca) dengan Metode Titrasi Kompleksometri	24
4.3 Penentuan Nilai Presisi	25
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	26
5.1 Kesimpulan	26
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	30

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan campuran mortar epoksi	8
Tabel 2.2 Contoh distribusi ukuran butir $<0,063$ mm hingga 2mm dalam gram bubuk batu	10
Tabel 4.1 Kandungan kalsium pada masing-masing sampel mortar berdasarkan analisis menggunakan XRF	22
Tabel 4.2 Hasil pengujian kuat tekan mortar	23
Tabel 4.3 Hasil analisis kandungan kalsium dalam sampel mortar	24
Tabel 4.4 Hasil uji presisi mortar	26



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Candi Borobudur	4
Gambar 2.2 Balai Konservasi Borobudur	6
Gambar 2.3 Mortar yang dicetak	9
Gambar 2.4 Reaksi kalsium dengan EDTA	12
Gambar 2.5 Peristiwa pada tabung sinar X	13
Gambar 2.6 Bagan alat XRF	14
Gambar 2.7 Alat uji kuat tekan	16
Gambar 4.1 Mortar yang telah dicetak	21
Gambar 4.2 Titik akhir titrasi	25
Gambar 4.3 Reaksi kalsium dengan EDTA	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil titrasi kompleksometri sampel mortar	30
Lampiran 2. Perhitungan analisis mortar dengan metode titrasi kompleksometri	31
Lampiran 3. Hasil analisis karakteristik XRF sampel mortar	35
Lampiran 4. Hasil uji kuat tekan	36
Lampiran 5. Proses preparasi batu andesit	36
Lampiran 6. Proses preparasi abu vulkanik	38
Lampiran 7. Proses preparasi kapur	38
Lampiran 8. Proses pembuatan mortar	38
Lampiran 9. Proses preparasi sampel uji	39
Lampiran 10. Analisis mortar	40

PERBANDINGAN METODE UJI KADAR KALSIUM (Ca) DALAM SAMPEL MORTAR ABU VULKANIK DENGAN TITRASI KOMPLEKSOMETRI DAN X-RAY FLOURESCENCE (XRF) DI BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Heardimas Agil Nor Syahfiq

17231073

Program Diploma III Analisis Kimia FMIPA Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km 14,5 Sleman Yogyakarta

Email: 17231073@students.uii.ac.id

INTISARI

Telah dilakukan perbandingan metode pengujian kandungan kalsium (Ca) pada sampel mortar dengan metode titrasi kompleksometri dan *X-Ray Flourescence* perbandingan 2:1:1 yang bertujuan untuk mengetahui kadar kalsium pada sampel mortar berbahan abu vulkanik, mengetahui hasil kuat tekan pada sampel mortar berbahan abu vulkanik, mengetahui perbedaan hasil dari sampel mortar bahan abu vulkanik dengan metode titrasi kompleksometri dan *X-Ray Flourescence*. Hasil uji kalsium pada sampel mortar dengan metode titrasi kompleksometri dan dengan metode XRF pada setiap sampel mortar yaitu pada sampel A1 yaitu 21,55% dan 31,70%; sampel A2 yaitu 21,03% dan 32,41%; sampel A3 yaitu 18,28% dan 25,00%; sampel A4 yaitu 23,93% dan 29,35%; sampel A5 yaitu 17,89% dan 33,88%; sampel A6 yaitu 18,74% dan 32,11 %. Hasil kuat tekan sampel mortar bahan abu vulkanik menunjukkan hasil A1 sebesar 4,02 kgf/cm³; A2 sebesar 5,22 kgf/cm³; A3 sebesar 3,92 kgf/cm³; A4 sebesar 4,54 kgf/cm³; A5 sebesar 2,88 kgf/cm³; dan A6 sebesar 3,94 kgf/cm³. Berdasarkan hasil tersebut kandungan kalsium pada sampel mortar dengan menggunakan metode XRF lebih besar dibandingkan dengan metode titrasi kompleksometri. Nilai %RSD pada sampel mortar A1 sebesar 12,47 %; A2 sebesar 7,75 %; A3 sebesar 15,58 %; A4 sebesar 9,27 %; A5 sebesar 1,59 %; dan A6 sebesar 11,60 %. Data yang dihasilkan belum memenuhi ke dalam kriteria RSD yaitu ≤ 2 % dan dapat dikatakan hasil yang kurang baik dan hanya satu sampel yang memenuhi kriteria %RSD yaitu sampel A5.

Kata Kunci: mortar, titrasi kompleksometri, *X-Ray Flurescence*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Candi adalah bangunan cagar budaya yang perlu di lindungi dan juga di lestarikan, salah satunya adalah Candi Borobudur. Campur tangan manusia secara langsung dapat menyebabkan kerusakan pada Candi Borobudur seperti pembongkaran stupa induk serta pelapukan dan kerusakan material cagar budaya. Bangunan candi adalah Bangunan Cagar Budaya (BCB) yang perlu senantiasa dilindungi dan dipelihara keutuhannya. Merujuk pada Undang- Undang Republik Indonesia No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya, upaya menanggulangi dari kerusakan perlu dilakukan untuk memelihara keberadaan Bangunan Cagar Budaya (BCB). Selain pemeliharaan terhadap bangunan candi, perlu juga dilakukan upaya untuk menghambat kerusakan pada bangunan candi lebih lanjut. Keseluruhan tindakan pelestarian ini termasuk dalam konservasi (Balai Konservasi Borobudur 2015).

Candi Borobudur berada dilingkungan terbuka yang menghadapi pengaruh lingkungan secara langsung, air dapat bergerak di permukaan batu dan juga didalam batu melalui pori-pori batu. Permasalahan air berpengaruh negatif terhadap kelestarian Candi Borobudur sehingga menyebabkan batu-batu candi mulai lapuk dan ditumbuhi lumut hingga keluarnya air dari dinding berelief yang mengindikasikan air adalah permasalahan yang serius. Pada saat candi pertama kali ditemukan dalam keadaan tertutup semak, pohon, dan tanah, kondisi batuan candi justru lebih awet. Hal ini karena candi terlindung dari paparan matahari dan curah hujan secara langsung. Karena matahari dan air adalah penyebab utama pelapukan batuan candi. (Cahyandaru, 2010).

Peneliti melakukan observasi lebih lanjut mengenai bahan dalam pembuatan mortar alternatif yang lebih efektif dan efisien. Penelitian ini menggunakan campuran bahan hidrolik abu vulkanik, batu andesit, dan kapur. Adanya abu vulkanik dalam pembuatan mortar berpengaruh terhadap peningkatan

kuat tekan mortar. Secara mekanik pozolan akan mengisi rongga butiran-butiran batu andesit dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolik $\text{Ca}(\text{OH}_2)$ yang dihasilkan, sehingga abu vulkanik tidak hanya menambah kekedapan, tetapi juga dapat menambah kuat tekan dari mortar.

Peneliti telah melakukan penelitian kadar kalsium pada mortar dengan campuran 50 gram batu andesit; 25 gram abu vulkanik; 25 gram kapur. Kandungan kalsium pada mortar terdapat pada kapur sedangkan pada bahan lainnya tidak terdapat kandungan kalsium. Kandungan kalsium pada mortar perlu diteliti dikarenakan kalsium dapat mengakibatkan penggaraman dan merusak batuan candi. Penelitian ini menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan titrasi kompleksometri karena penelitian ini masih dalam tahap uji coba untuk menentukan metode mana yang lebih akurat dan spesifik. Selain itu keterbatasan alat yang digunakan menyebabkan metode penelitian yang dipilih hanya XRF dan titrasi kompleksometri. Pengujian menggunakan XRF karena instrumen sinar-X yang digunakan untuk analisis kimia batuan, mineral, sedimen dan cairan yang rutin dan relatif tidak merusak. Kemudahan relatif dan biaya persiapan sampel yang rendah, serta stabilitas dan kemudahan penggunaan menjadikan XRF sebagai salah satu metode yang digunakan untuk penelitian ini. Sedangkan titrasi kompleksometri merupakan metode konvensional yang dapat digunakan untuk menentukan kadar kalsium atau logam lain dalam suatu sampel. Kalsium akan dikelat oleh EDTA selama proses titrasi dan titik akhir akan ditunjukkan oleh perubahan warna indikator metalokromik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada pengujian kalsium sampel mortar berbahan abu vulkanik adalah:

1. Berapakah kadar kalsium pada sampel mortar berbahan abu vulkanik dengan titrasi kompleksometri dan XRF?
2. Berapakah hasil kuat tekan pada sampel mortar berbahan abu vulkanik?
3. Bagaimana perbedaan hasil pengujian kalsium menggunakan titrasi kompleksometri dengan XRF?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin didapat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kadar kalsium pada sampel mortar berbahan abu vulkanik yang ditentukan dengan titrasi kompleksometri dan XRF.
2. Mengetahui hasil kuat tekan pada sampel mortar berbahan abu vulkanik.
3. Mengetahui perbedaan hasil dari sampel mortar berbahan abu vulkanik dengan metode titrasi kompleksometri dan XRF.

1.4 Manfaat

1.4.1 Bagi Balai Konservasi Borobudur

1. Dapat melakukan penilaian terhadap kualitas mortar berbahan abu vulkanik sebagai acuan untuk cagar budaya
2. Dapat mengetahui komposisi bahan yang digunakan untuk membuat mortar berbahan abu vulkanik berdasarkan hukum fuller
3. Dengan penelitian ini dapat dijadikan sebagai evaluasi untuk membuat mortar berbahan abu vulkanik untuk cagar budaya

1.4.2 Bagi Akademi

Melalui kegiatan PKL yang dilakukan dapat menambah bahan acuan serta informasi mengenai penelitian yang dilakukan oleh penulis.

1.4.3 Bagi Penulis

Penulis dapat melakukan penerapan terhadap pengetahuan yang telah didapatkan di perkuliahan melalui praktik kerja lapangan di Balai Konservasi Borobudur (BKB).

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Profil Candi Borobudur dan Balai Konservasi Borobudur

2.1.1 Candi Borobudur

Candi Borobudur merupakan candi budha yang terletak di desa Borobudur Kabupaten Magelang Jawa Tengah dan salah satu peninggalan paling bersejarah yang ada di Indonesia. Nama Borobudur berasal dari kata “boro” dan “budur”. Boro berasal dari bahasa Sansekerta yang berarti kompleks “candi, biara, atau asrama”. Sedangkan kata budur menunjukkan pada bahasa Bali, “beduhur” yang berarti “diatas” (Soediman, 1968). Berdasarkan prasasti Kayumwungan, Borobudur adalah sebuah biara yang mengandung berlipat-lipat kebijakan Sugata atau Budha. Namun istilah biara ini terasa janggal bila difahami mengikuti pengertian tentang biara yang sebagaimana kita kenal pada umumnya. Borobudur tegasnya adalah sebuah struktur tempat Budha Sakyamuni tinggal selama berada di dalam rahim ibunya. Struktur itu berbentuk sebagai hasil dari berlipat-lipat kebijakan Budha Sakyamuni (Gunawan, 2004).



Gambar 2.1 Candi Borobudur (Sumber: Tribunnews)

Candi Borobudur memiliki banyak keistimewaan, Candi Borobudur juga memiliki koleksi relief Budha terlengkap di dunia. Unik, letak Candi Borobudur ini dikelilingi oleh beberapa gunung yang ada di pulau Jawa yakni

Gunung Merbabu, Gunung Merapi, Gunung Sumbing, dan Gunung Sindoro (Pratama dan Nur, 2014). Candi Borobudur merupakan sebuah monumen Budha terbesar di dunia yang telah diakui UNESCO. Monumen ini dibangun sebagai tempat suci agama Budha berdasarkan model alam semesta. Pada masa tersebut Candi Borobudur sering digunakan sebagai tempat ziarah umat manusia. Hingga kini Candi Borobudur masih sering digunakan sebagai tempat ziarah umat Budha yang setiap tahunnya datang dari seluruh pelosok Indonesia untuk berkumpul merayakan hari Trisuci Waisak. Candi borobudur ini merupakan contoh puncak pencapaian keselarasan teknik arsitektur dan estetika seni rupa warisan kejayaan Dinasti Budha di Indonesia (Putro, 2014).

2.1.2 Tugas dan Fungsi

Balai Konservasi Borobudur adalah unit pelaksana teknis Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan di bidang konservasi dan pelestarian Candi Borobudur yang berada dibawah tanggung jawab Direktur Jenderal Kebudayaan yang dipimpin oleh kepala. Untuk menangani Candi Borobudur yang telah selesai pemugaran memerlukan perawatan, pengamatan dan penelitian terus menerus. Oleh karena itu, pada tahun 1991 berdirilah Balai Studi dan Konservasi Borobudur. Tahun 2006 berdasarkan peraturan Menteri Kebudayaan dan Pariwisata Nomor: PM.40/OT.001/MKP-2006 tanggal 7 September 2006 berubah nama 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 Studies. Fungsi dari Balai Konservasi Borobudur Studies sebagai pusat pendidikan dan pelatihan tenaga teknis dalam bidang konservasi dan pemugaran. Fasilitas pendukung dan tenaga teknis konservasi 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 konservasi peninggalan sejarah dan purbakala di seluruh Indonesia, bahkan dinegara Asia Tenggara.

2.1.3 Balai Konservasi Borobudur

Berdasarkan peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 29 Tahun 2015 yang ditetapkan pada tanggal 27 Oktober 2015, Balai Konservasi Borobudur mempunyai tugas melaksanakan konservasi dan pelestarian Candi Borobudur dan kawasan cagar budaya Borobudur. Untuk menyelenggarakan tugas tersebut Balai Konservasi Borobudur mempunyai fungsi sebaga 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 dan pelestarian Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan kawasan cagar budaya Borobudur
6. Pelaksanaan pengembangan metode dan teknik
7. Pelaksanaan urusan ketatausahaan Balai Konservasi Borobudur.



Gambar 2.2 Balai Konservasi Borobudur (Sumber: borobudurpedia)

Balai Konservasi Borobudur memiliki laboratorium kimia, mikrobiologi,

fisik/petrografi, dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan laboratorium lapang. Keberadaan laboratorium ini untuk mengembangkan berbagai metode konservasi dan kajian 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 benda cagar budaya di Indonesia.

Balai Konservasi Borobudur melakukan kemitraan dengan 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. Dalam pelaksanaan kajian/studi bidang konservasi, teknik sipil, arsitektur, geologi, biologi, kimia, dan areologi di lingkungan Candi Borobudur melakukan kerja sama dengan melibatkan beberapa pakar dari universitas-universitas di Indonesia sebagai nara sumber. Selain itu Balai Konservasi Borobudur melaksanakan pelatihan tenaga teknis konservasi, pemugaran, dokumentasi, dan satuan pengamanan cagar budaya secara rutin. Balai Konservasi Borobudur juga mengelola berbagai arsip foto, gambar, buku, dan lainnya pada masa pemugaran Candi Borobudur yang kedua dan untuk upaya pelestarian Candi Borobudur melaksanakan kegiatan monitoring Candi Borobudur secara kontinyu.

2.2 Mortar

Mortar merupakan bahan komposit yang telah digunakan sejak ratusan tahun lalu sebagai salah satu komponen penunjang dalam bangunan. Mortar merupakan bahan komposit yang dibuat dari satu atau lebih bahan pengikat, satu atau lebih jenis bahan agregat, air, dan bahan tambahan, dan diklasifikasikan menurut tipe dari bahan pengikat (Candeias et. al, 2004). Bahan-bahan pengikat yang digunakan terus-menerus mengalami perkembangan. Pembuatan mortar didasarkan pada teknologi penggunaan kapur sejak jaman romawi, hingga pada akhirnya kini digantikan dengan bahan pengikat *Portland Cement* (PC). Penelitian mortar telah dikembangkan untuk kegiatan pemugaran dan cagar budaya. Mortar memiliki kegunaan untuk mengisi celah antar batuan. Berikut ini akan diuraikan

berbagai penelitian mortar yang telah dilakukan.

1. Pengembangan Bahan Konservasi Mortar Tradisional

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mencari komposisi bahan mortar yang paling sesuai baik untuk mortar tradisional dan mortar epoksi modifikasi sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui daya tahan dan dampak mortar tradisional terhadap batu dan mengetahui komposisi mortar epoksi modifikasi yang paling sesuai dengan sifat alami batu. Untuk membuat mortar epoksi yang mempunyai porositas maka dipakai air yang dicampurkan kedalam epoksi resin yang diaduk dengan kecepatan tinggi sehingga terjadi emulsi antar air dan epoksi resin (Ekarini, 2017). Perbandingan campuran mortar epoksi yang dicoba dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan campuran mortar epoksi

NO	Epoksi resin + Air	Perbandingan campuran Emulsi epoksi
		resin+air : bubuk Batu
1	Epoksi 60% Air 40%	1 : 3
		1 : 3,5
		1 : 3
2	Epoksi 55% Air 45%	1 : 3
		1 : 3,5
		1 : 4
3	Epoksi 50% Air 50%	1 : 3
		1 : 3,5
		1 : 4

Sumber: Gunawan A, dkk, 2010

2. Pembuatan Mortar untuk Cagar Budaya Berbahan Abu Vulkanik

Kajian mengenai mortar sangat penting untuk dilakukan karena fungsinya yang menutup celah antar batuan untuk mencegah masuknya air ke dalam batuan yang akan mengakibatkan kerusakan atau pelapukan pada batuan candi. Dimasa lalu teknologi penanganan konservasi menggunakan bahan kimia (*epoxy resin*) sebagai bahan perekat maupun bahan ijeksi. Seiring dengan waktu sifat bahan tersebut daya rekatnya kuat dan kedap air bahkan lebih kuat dari batu, maka teknik pembuatan mortar dengan epoksi resin sudah tidak sesuai dengan perkembangan konservasi. Oleh karena itu dalam penelitian ini dikembangkan pembuatan mortar dengan bahan perekat abu vulkanik.

Abu vulkanik gunung merapi merupakan material yang memiliki kandungan silika didalamnya. Berdasarkan hasil pengujian analisis kimia dari abu vulkanik gunung merapi diketahui bahwa kadar SiO_2 56,6%; Al_2O_3 16,13%; dan Fe_2O_3 8,12%. Jika dijumlahkan tiga unsur tersebut didapatkan prosentase sebesar 80,85%. Menurut ASTM C 618-97 disebutkan bahwa abu vulkanik gunung merapi ini merupakan pozzolan alam yang termasuk kelas N (dilihat dari persentase ketiga unsur). Dalam pengujian keaktifan pun bahan tersebut bersifat aktif walaupun lambat. (Nursyafri, 2010)



Gambar 2.3 Mortar yang dicetak

Sebuah mortar akan terbentuk sempurna apabila butiran batu penyusunnya dapat mengisi celah dengan sempurna, karena itu dibutuhkan distribusi ukuran butir penyusun mortar. Bubukan batu untuk membuat mortar ini dihitung sesuai dengan rumus fuller.

Tabel 2.2 Contoh distribusi ukuran butir <0,063 mm hingga 2mm dalam gram bubukan batu

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	8,09	10,6	12,39	15,25	18,77

Sumber: Muhammad R, dkk, 2015

Berikut ini dicontohkan pembuatan bubukan batu berdasarkan distribusi ukuran butir berdasarkan pendekatan hukum Fuller dalam 100 g bubukan batu. Dari tabel 2.2 diatas terlihat bahwa dalam 100 gram bubukan batu terdiri dari ukuran <0,063 mm = 35,44 g, 0,063-0,125 mm = 8,09 g, 0,125-0,25 mm = 10,6 g, 0,25-0,5 mm = 12,39 g, 0,5-1 mm = 15,25 g, 1-2 mm = 18,7 g. Pemilihan ukuran butir yang dipakai menyesuaikan kebutuhan atau tujuan pembuatan mortar. Semisal mortar yang dibuat bertujuan untuk mengisi celah batu yang

sempit maka ukuran butir 2 mm tidak perlu digunakan.

Mortar batu andesit dengan bahan perekat abu vulkanik dibuat dengan mencampurkan bubuk batu andesit yang telah disaring kemudian dibuat dengan komposisi distribusi butiran tertentu (Hukum Fuller) dan ditambahkan bahan pengikat abu vulkanik dan kapur lalu tambahkan air sedikit demi sedikit kemudian aduk hingga rata. Setelah diaduk sampai rata kemudian adonan mortar dimasukan dalam cetakan.

2.3 Kalsium

Kalsium merupakan unsur logam alkali tanah yang reaktif, mudah ditempa dan dibentuk serta berwarna putih perak. Kalsium bereaksi dengan air kemudian membentuk kalsium hidroksida dan hidrogen. Dalam kalsium ditemukan dalam bentuk senyawa-senyawa seperti kalsium karbonat dalam batu kalsit, pualam dan batu kapur (Svehla, 1985). Kalsium berbentuk logam putih perak agak lunak, memiliki titik lebur pada 845°C . Jika kalsium bereaksi dengan oksigen atmosfer dan udara lembab maka akan terbentuk kalsium oksida atau kalsium hidroksida. Kalsium menguraikan air dengan membentuk kalsium hidroksida dan hidrogen. Kalsium klorida padat bersifat higroskopis dan sering digunakan sebagai pengering. Kalsium klorida dan kalsium nitrat larut dengan mudah dalam etanol atau dalam larutan 1:1 dari etanol bebas air dan dietileter (Svehla, 1985).

Jenis pelapukan lain yang terjadi pada Candi Borobudur adalah pelapukan kimia yang berupa penggaraman. Munculnya penggaraman ini disebabkan oleh unsur kalsium yang ada pada batu terlarut oleh air dan keluar melalui pori-pori batu akibat penguapan lalu mengendap pada permukaan batu. Karena itulah banyak faktor yang menyebabkan penggaraman terjadi baik faktor internal maupun eksternal. Faktor eksternal yang bekerja adalah air, karena keberadaan air ini dapat melarutkan unsur yang terkandung pada batu. Selain itu faktor internal juga sangat mempengaruhi terjadinya penggaraman, seperti keberadaan unsur kalsium yang dapat terlarut oleh air maupun porositas batuan, karena keberadaan pori-pori pada batuan menjadi celah untuk keluarnya hasil larutan yang pada akhirnya akan mengendap dipermukaan batuan.

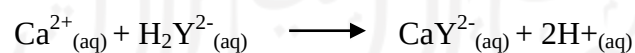
Endapan garam yang terjadi bisa berupa garam karbonat, garam sulfat,

garam fosfat maupun garam silikat tergantung pada jenis mineral yang bereaksi. Jika endapan garam berupa kalsium silikat maka garam tersebut tidak bisa dihilangkan karena sifat garam tersebut lebih keras dibandingkan batu. Ketika garam sudah terbentuk dipermukaan batu dan batu mengalami tekanan yang diakibatkan proses fisika misalnya fluktuasi suhu, maka proses selanjutnya yang terjadi adalah pengelupasan atau scaling (Sudibyo, dkk, 2002).

2.4 Titrasi Kompleksometri

Titration kompleksometri adalah titration berdasarkan reaksi pembentukan senyawa kompleks, misalnya penetapan kadar Ca^{2+} (ion logam) dengan *Ethylene Diamine Tetra Acetate* (EDTA). Titration kompleksometri juga dikenal sebagai reaksi yang meliputi reaksi pembentukan ion-ion kompleks ataupun pembentukan molekul netral yang terdisosiasi dalam larutan persyaratan mendasar terbentuknya kompleks. Demikian adalah tingkat kelarutan tinggi, prinsip dari metode ini membentuk kompleks yang dipakai berupa garam *Ethylene Diamine Tetra Acetate* (EDTA) yang dapat bereaksi dengan logam Ca^{2+} (Khopkar, 2002).

Ethylene Diamine Tetra Acetate (EDTA) adalah senyawa asam berproton empat yang sering ditulis dengan H_4Y . Di dalam pelarut air, senyawa ini dapat terdisosiasi menjadi beberapa spesi (H_3Y^- , H_2Y^{2-} , dan Y^{4-}) dengan komposisi yang bergantung pada pH larutan. Pada titration pembentukan kompleks, ion-ion logam bereaksi dengan spesi Y^{4-} karena spesi ini merupakan spesi paling basa dibanding dengan spesi lainnya. Pentingnya peranan pH larutan pada reaksi ini ditunjukkan dengan reaksi pada titration ion kalsium dengan *Ethylene Diamine Tetra Acetate* (EDTA):



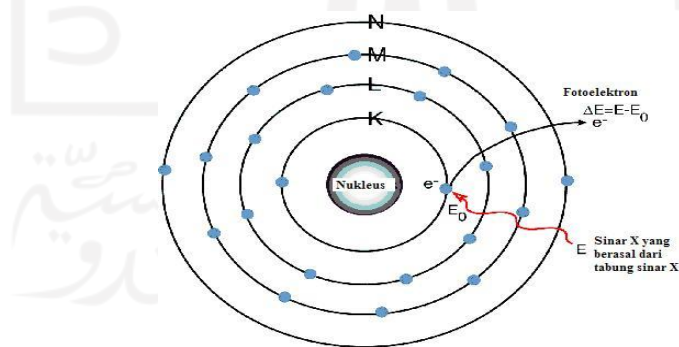
Gambar 2.4 Reaksi kalsium dengan EDTA

Di Indonesia, titration kompleksometri berdasarkan pada SNI 06-6989.13-2004, tersebut merupakan prosedur analisis kadar kalsium untuk air dan air limbah. Pada beberapa penelitian titration kompleksometri untuk menentukan kadar kalsium pada beberapa sampel (Miefthawati dkk. 2013).

2.5 *X-Ray Fluorescence*

X-Ray fluorescence (XRF) adalah instrumen sinar-X yang digunakan untuk analisis kimia batuan, mineral, sedimen dan cairan yang rutin dan relatif tidak merusak. Ini bekerja pada prinsip-prinsip spektroskopi dispersif panjang gelombang yang mirip dengan microprobe elektron (EPMA). Namun, *X-Ray fluorescence* (XRF) pada umumnya tidak dapat membuat analisis pada ukuran titik kecil yang khas dari pekerjaan EPMA (2-5 mikron), sehingga biasanya digunakan untuk analisis massal fraksi yang lebih besar dari bahan geologis. Kemudahan relatif dan biaya persiapan sampel yang rendah, serta stabilitas dan kemudahan penggunaan *X-Ray fluorescence* (XRF) menjadikan ini salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk analisis elemen utama dan jejak pada batuan, mineral, dan sedimen.

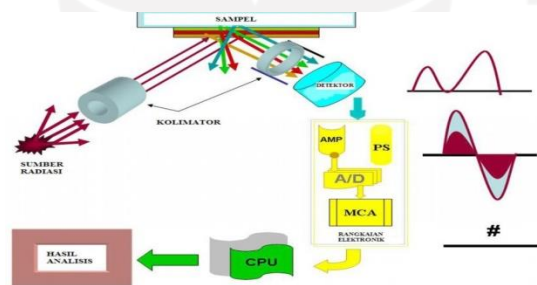
Prinsip kerja dari *X-Ray fluorescence* (XRF) adalah menembakkan radiasi foton elektromagnetik ke material yang diteliti, lalu radiasi elektromagnetik yang dipancarkan akan berinteraksi dengan electron yang berada di kulit K suatu unsur, kemudian electron yang berada di kulit K akan memiliki energy kinetik yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan inti sehingga electron itu akan terpental keluar.



Gambar 2.5 Peristiwa pada tabung sinar X (Sumber: Seiko Instruments)

Analisis secara kualitatif dan kuantitatif dapat dilakukan dengan XRF. Analisis kualitatif dilakukan dengan mengidentifikasi panjang gelombang spesifik atau energi sinar X dan nomor atom elemen yang dianalisis. Analisis kuantitatif dilakukan dengan metode kurva kalibrasi dan parameter fundamental. Analisis

menggunakan XRF berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target terkena sinar berenergi tinggi, bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikatan elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya dan akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti dengan pelepasan energi yang berupa sinar X. Sinar X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (diskrit) dari sampel target yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum diskrit tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom sampel. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar X karakteristik. Alat XRF memanfaatkan sinar X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya diteruskan ke detektor dan akan diubah menjadi sinyal yang intensitasnya sesuai dengan jumlah analat yang terdapat dalam sampel.



Gambar 2.6 Bagan alat XRF (Sumber: Afshari 2009)

X-Ray Fluorescence (XRF) dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti: survei tanah, menambang (misalnya, mengukur kadar bijih), produksi semen, manufaktur keramik dan gelas, studi lingkungan, industri minyak bumi (misalnya, kandungan sulfur minyak mentah dan produk minyak bumi), analisis lapangan dalam studi geologi dan lingkungan (menggunakan spectrometer XRF genggam portabel). *X-Ray Fluorescence* (XRF) sangat cocok untuk investigasi yang melibatkan analisis kimia massal dari unsur-unsur utama (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) dalam batuan dan sedimen.

Dalam kebanyakan kasus untuk batuan, bijih, sedimen dan mineral, sampel digiling menjadi bubuk halus. Pada titik ini dapat dianalisis secara langsung,

terutama dalam kasus analisis elemen jejak. Namun, kisaran yang sangat luas dalam berbagai elemen yang berbeda, terutama besi, dan berbagai ukuran butir dalam sampel bubuk, membuat perbandingan proporsionalitas dengan standar sangat sulit. Oleh karena itu praktik umum untuk mencampur sampel bubuk dengan fluks kimia, menggunakan tungku atau pembakar gas untuk melelehkan sampel bubuk.

2.6 Uji Presisi

Uji Presisi adalah ukuran yang menunjukkan derajat kesesuaian antara hasil uji individual, diukur melalui penyebaran hasil individual dari rata-rata jika prosedur diterapkan secara berulang pada sampel-sampel yang diambil dari campuran yang homogen. Presisi diukur sebagai simpangan baku atau simpangan baku relatif (koefisien variasi). Presisi dapat dinyatakan sebagai repeatability (keterulangan) atau reproducibility (ketertiruan).

Repeatability adalah keseksamaan metode jika dilakukan berulang kali oleh analis yang sama pada kondisi sama dan dalam interval waktu yang pendek. *Repeatability* dinilai melalui pelaksanaan penetapan terpisah lengkap terhadap sampel-sampel identik yang terpisah dari batch yang sama, jadi memberikan ukuran keseksamaan pada kondisi yang normal.

Reproducibility adalah keseksamaan metode jika dikerjakan pada kondisi yang berbeda. Biasanya analisis dilakukan dalam laboratorium-laboratorium yang berbeda menggunakan peralatan, pereaksi, pelarut, dan analis yang berbeda pula. Analisis dilakukan terhadap sampel-sampel yang diduga identik yang dicuplik dari *batch* yang sama. *Reproducibility* dapat juga dilakukan dalam laboratorium yang sama dengan menggunakan peralatan, pereaksi, dan analis yang berbeda.

Kriteria seksama diberikan apabila metode memberikan simpangan baku relatif (RSD) atau koefisien variasi (CV) 2% atau kurang. Kriteria ini sangat fleksibel tergantung pada konsentrasi analit yang di[periksa, jumlah sampel, dan kondisi laboratorium. Menurut Harmita (2004), kadar analit yang dianalisis semakin turun maka koefisien variasi akan semakin meningkat.

Hasil penelitian ditemukan bahwa koefisien variasi meningkat seiring dengan menurunnya konsentrasi analit. Pada kadar 1% atau lebih, standar deviasi relatif antara laboratorium adalah sekitar 2,5% ada pada satu perseribu adalah 5%. Nilai *relative standard deviation* satu per sejuta (ppm) adalah 16% dan pada kadar *part per bilion* (ppb) adalah 32%. Metode yang kritis secara umum diterima bahwa *relative standard deviation* harus lebih kecil dari 2% (Harmita, 2004). Koefisien variasi atau persen relatif standar deviasi (%RSD) dan persentase KV Horwits dapat dihitung dengan rumus (Harmita, 2004)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$KV(\%) = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$KV \text{ Horwitz } (\%) = 2^{1-0,5 \log C}$$

Keterangan:

SD : standar deviasi

KV : koefisien variasi (RSD, simpangan baku relatif)

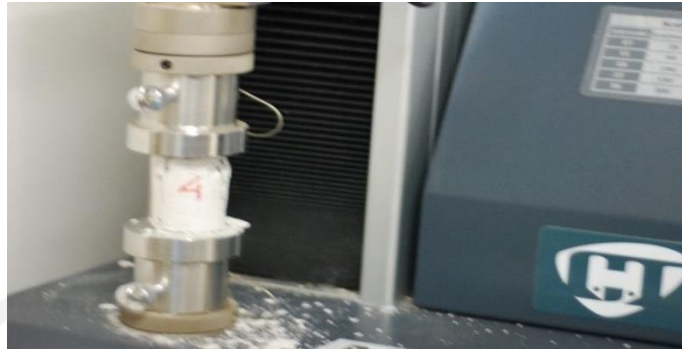
X_i : nilai dari masing-masing pengukuran

$\bar{X}$: rata-rata pengukuran

N : jumlah pengukuran (pengulangan)

2.7 Uji Kuat Tekan

Pengertian uji kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air dapat meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi dapat menurunkan kekuatan beton (Wang dan Salmon, 1990).



Gambar 2.7 Alat uji kuat tekan pada mortar

Prosedur pengujian kuat tekan beton di Indonesia dilakukan dengan mengacu SNI: 03-1974-1990. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil uji kuat tekan beton meliputi: a) kondisi ujung benda uji, b) ukuran benda uji, c) rasio diameter benda uji terhadap ukuran maksimum agregat, d) rasio panjang terhadap diameter benda uji, e) kondisi kelembaban, f) suhu benda uji, g) arah pembebanan terhadap arah pengecoran, h) laju penambahan beban pada compression testing machine, dan i) bentuk geometri benda uji.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah wadah gelas plastik, loyang, palu, sekop, sendok plastik, oven, pisau lukis, paralon ukuran 3x6 cm, ayakan bertingkat 2mm – 63 μ m, ayakan bertingkat 1mm – 63 μ m, mesin ayakan, mortar dan alu, cawan platina, kaca arloji, neraca analitik, pengaduk kaca, spatula, corong gelas, cawan platina, hotplate thermolyne, mesin penghancur batu (*stone crusher*), pipet tetes, labu ukur 1000 mL, erlenmeyer 250 mL (Iwaki), gelas beaker 250 mL, gelas beaker 100mL, termometer, pipet ukur 10mL $\pm$ 0,02 mL, micro buret $\pm$ 0,01 mL, *X-Ray Fluorescence (XRF Portabel Olympus DP-2000 High Count Rate)*, *furnace barnstead thermolyne 1400*, alat kuat tekan (*Micro Universal Testing Machine*)

3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain batu andesit, kapur, abu vulkanik, air, akuades, larutan asam etilenadiaminatetraasetat 0,1M (EDTA), larutan seng sulfat 0,1 M (ZnSO_4), larutan natrium hidroksida 0,1N (NaOH), larutan asam klorida 2N (HCl), padatan potasium sodium karbonat (KNaCO_3), indikator buffer tablet, larutan amoniak (NH_3), indikator *calsein*, kertas saring whatman No.40, kertas pH meter (Universal).

3.3 Cara Kerja

3.3.1 Pembuatan mortar 2:1:1

Serbuk batu andesit sebanyak 50 gram dimasukkan kedalam wadah dan diaduk sampai homogen. Ditambahkan abu vulkanik sebanyak 25 gram dan air sedikit demi sedikit hingga homogen. Lalu bubur kapur ditambahkan sebanyak 50 mL atau setara dengan 25 gram. Kemudian adonan diaduk dengan *painting knife* hingga adonan homogen dan cukup lekat. Adonan mortar diaplikasikan kedalam cetakan mortar berupa paralon berukuran 4x8 cm yang telah dibelah

menjadi dua dan diikat dengan tali rafia. Terakhir adonan mortar ditekan-tekan hingga permukaan paralon terisi secara merata dan biarkan mortar kering didalam ruangan.

3.3.2 Pembuatan larutan EDTA 0,1 M

Adapun pembuatan larutan EDTA 0,1M dilakukan dengan cara EDTA 0,1M ditimbang 37,224 g, lalu dimasukkan dalam labu ukur 1L, kemudian ditambah aquades sampai tanda batas, setelah itu diseka pada dinding dinding labu ukur, kemudian digojog labu ukur hingga rata.

3.3.2 Pembuatan larutan ZnSO_4 0,1 M

Pembuatan larutan ZnSO_4 0,1M dilakukan dengan cara ZnSO_4 ditimbang dengan kaca arloji 28,754 gram, kemudian dimasukkan dalam labu ukur 1 L, lalu ditambah akuades sampai tanda batas, diseka pada dinding labu, kemudian digojog hingga rata.

3.3.3 Standardisasi larutan NaEDTA 0,1M dengan larutan ZnSO_4 0,1 M

Adapun standardisasi larutan NaEDTA 0,1M pada penelitian ini dengan cara ZnSO_4 0,1 M dimasukkan dalam mikroburet dan dipaskan pada skala yang tertera pada mikroburet. Larutan EDTA 0,1M dipipet 20 mL lalu dimasukkan dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan 10mL akuades, setelah itu dicek larutan sampai pH 7 dengan kertas pH universal dengan cara penambahan NaOH 0,1N tetes demi tetes, kemudian ditambahkan 1 butir indikator buffer tablet, setelah itu ditambahkan 5mL NH_3 , lalu diaduk menggunakan *magnetic stirer* agar semuanya tercampur dengan rata. Selanjutnya larutan tersebut dititrasi dengan larutan ZnSO_4 dan diamati perubahan warna yang terjadi. Titrasi dilakukan secara duplo.

3.3.4 Pembuatan larutan NaOH 0,1N

Adapun pembuatan larutan NaOH 0,1N dengan cara ditimbang 4 g NaOH menggunakan gelas arloji, kemudian dimasukkan dalam labu ukur 1L, lalu ditambahkan aquades sampai tanda batas, diseka pada dinding dinding labu, kemudian digojog hingga rata.

3.3.5 Destruktif sampel

Mortar yang telah kering masing-masing dihaluskan dan disaring ,

kemudian diayak dengan ayakan bertingkat berukuran 0,063-0,125 mm. Ditimbang serbuk mortar yang telah halus sebesar 1gram lalu ditambahkan KNaCO_3 4 g. Dicampurkan serbuk mortar dengan KNaCO_3 sampai rata. Lalu dibakar menggunakan furnace sampai suhu 900°C selama 1 jam. Didinginkan sampel dan dimasukkan gelas beaker 250 mL kemudian dilarutkan dengan HCl 2N sebanyak 50mL sampai bereaksi. Lalu disaring menggunakan kertas saring whatman No. 40 hingga menghasilkan filtrat dan endapan. Filtrat kemudian dipanaskan pada suhu 70°C selama 20 menit setelah itu didiamkan hingga suhu kamar.

3.3.6 Titrasi

Sampel dipipet 1 mL, kemudian dimasukkan dalam erlenmeyer 250 mL kemudian ditambah aquadest hingga 100 mL. Selanjutnya pH dibuat 12- 14 dengan penambahan NaOH sedikit demi sedikit lalu ditambahkan 0,04 g indikator *calsein* dan berubah warna menjadi hijau seulas kemudian dititrasi dengan larutan EDTA 0,1M. Diamati perubahan warna hingga warna orange seulas. Rumus penentuan kadar kalsium:

$$\frac{V. EDTA (mL) \times (Mr Ca \times 0,1 \text{ mol titriplex III}) \times V. filtrat (mL)}{V. sampel diambil (mL) \times berat sampel awal (mg)}$$

Keterangan

V. EDTA = Volume titrasi

Mr Ca = Molekul relatif/ Berat Molekul kalsium

Mr Ca x 0,1 mol tritriplex III = Konsentrasi Ca dalam 0,1 mol tritriplex III

V. filtrat = Volume filtrat yang diambil pada destruktif sampel

V. sampel diambil = Volume sampel yang diambil dalam erlenmeyer

Berat sampel awal = Berat sampel awal dalam penimbangan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kalsium (Ca) pada mortar berbahan abu vulkanik dengan menggunakan metode titrasi kompleksometri dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang didasarkan pada terjadinya tumbukan atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X yang dihasilkan berupa data komposisi unsur yang terkandung dalam sampel secara kualitatif maupun kuantitatif. Sampel yang digunakan berupa mortar sebanyak 6 buah.

4.1 Hasil Pembuatan Mortar

Hasil pembuatan mortar variasi berat 2:1:1 sebanyak 6 sampel menunjukkan hasil yang sama. Mortar dibuat dengan campuran berupa 50 gram batu andesit; 25 gram abu vulkanik; 25 gram kapur yang telah dihitung berdasarkan rumus fuller. Mortar yang dihasilkan seperti Gambar 4.1



Gambar 4.1 Mortar yang telah dicetak

Mortar yang dihasilkan berbentuk silinder. Berdasarkan Gambar 4.1 mortar variasi 2:1:1 memiliki beberapa rongga di setiap permukaan mortar dikarenakan komposisi batu andesit yang lebih besar sehingga permukaan mortar tidak rapat dan berongga. Mortar yang telah mengeras kemudian dikarakterisasi menggunakan XRF.

Tabel 4.1 Kandungan kalsium pada masing-masing sampel mortar berdasarkan analisis menggunakan XRF

Sampel Mortar	Pengulangan	Kadar Ca (%)	Rata-rata Kadar Ca (%)
A1	1	33.11	31.70
	2	30.13	
	3	31.87	
A2	1	32.66	32.41
	2	33.22	
	3	31.34	
A3	1	25.56	25.00
	2	26.24	
	3	23.21	
A4	1	29.68	29.35
	2	29.61	
	3	28.76	
A5	1	32.68	33.88
	2	35.49	
	3	33.46	
A6	1	32.51	32.11
	2	31.89	
	3	31.92	

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat kadar Ca yang dihasilkan. Kadar Ca tertinggi pada sampel mortar A5 sebesar 33,88 % dan untuk kadar Ca terendah terdapat pada sampel mortar A3 sebesar 25,00 %. Berdasarkan dari hasil pada Tabel 4.1 perbandingan kadar setiap sampel tidak terlalu jauh berbeda.

Mortar yang dihasilkan diharapkan memiliki kualitas kuat tekan yang bagus agar mortar tidak mudah pecah dan rapuh. Untuk memastikan hal tersebut maka perlu dilakukan uji kuat tekan mortar. Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur

apabila dibebani dengan gaya tekan mesin. Uji ini dilakukan pada setiap sampel mortar dengan harapan dapat menunjukkan pola peningkatan kekuatan pada setiap sampel mortar.

Proses pengujian kuat tekan masing-masing berupa silinder dengan ukuran cetakan (4cm x 8cm) mortar dipasang pada mesin *micro* UTM dan pembebasan dilakukan sampai benda uji hancur dan tidak dapat lagi menahan beban yang diberikan, sehingga didapatkan beban maksimum yang ditahan oleh benda tersebut. Uji kuat tekan mortar dilakukan setelah mortar mengeras, kemudian menghitung kuat tekan mortar besarnya beban persatuan luas. Perbandingan kuat tekan pada masing-masing sampel mortar terlihat berbeda meskipun ukuran mortar sama. Pada sampel mortar A1 dihasilkan kuat tekan sebesar 4,02 kgf/cm³. Untuk sampel A2 didapatkan sebesar 5,22 kgf/cm³ dan mengalami peningkatan kuat tekan mortar, namun pada sampel A3 terjadi penurunan yaitu sebesar 3,92 kgf/cm³. Untuk sampel A4 mengalami kenaikan tetapi tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 4,54 kgf/cm³, namun pada sampel A5 terjadi penurunan yang signifikan yaitu sebesar 2,88 kgf/cm³ dan yang paling terendah diantara semua sampel mortar. Pada sampel A6 terjadi kenaikan pada jumlah kuat tekan yaitu sebesar 3,94 kgf/cm³. Dilihat pada Tabel 4.2 terjadi naik turunnya nilai. Hal tersebut terjadi karena adanya komposisi yang kurang tepat dan dapat mempengaruhi pada kuat tekan sampel mortar.

Tabel 4.2 Hasil pengujian kuat tekan mortar

Sampel Mortar	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas Area (cm ²)	Beban Max	Kuat Tekan (kgf/cm ³)
A1	2,71	5,52	5,81	23,37	4,02
A2	2,73	5,58	5,89	30,77	5,22
A3	2,75	5,66	5,98	23,44	3,92
A4	2,70	5,41	5,72	25,97	4,54
A5	2,70	5,56	5,72	16,49	2,88
A6	2,72	5,64	5,81	22,90	3,94

Adanya pengaruh abu vulkanik terhadap peningkatan kuat tekan bersesuaian dengan pozolan yang akan mengisi secara mekanik, pozolan mengisi rongga diantara butiran-butiran semen secara kimiawi akan memberikan sifat

hidrolik pada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan pada saat proses hidrasi mortar, dimana mortar akan lebih kuat, sehingga abu vulkanik tidak hanya menambah kekedapan dan kemudahan pengerjaan, akan tetapi juga dapat menambah kuat tekanan mortar.

4.2 Pengujian Kadar Kalsium (Ca) dengan Metode Titrasi

Kompleksometri

Analisis kandungan kalsium (Ca) dalam mortar dengan metode titrasi kompleksometri dilakukan dengan variasi mortar 2:1:1 yaitu campuran 50 g batu andesit; 25 g abu vulkanik; dan 25 g kapur, dengan 6 sampel mortar dan pengulangan sebanyak 3 kali.

Tabel 4.3 Hasil analisis kandungan kalsium dalam sampel mortar

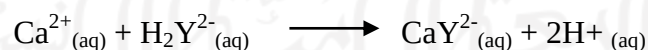
Sampel Mortar	Pengulangan	Kadar (%)	Rata-Rata Kadar (%)
A1	1	24.57	21.55
	2	20.62	
	3	19.44	
A2	1	19.31	21.03
	2	22.55	
	3	21.25	
A3	1	16.90	18.28
	2	21.56	
	3	16.39	
A4	1	23.34	23.93
	2	22.06	
	3	26.38	
A5	1	17.89	17.89
	2	18.18	
	3	17.61	
A6	1	17.15	18.74
	2	17.86	
	3	21.22	

Tabel 4.3 menunjukkan hasil analisis kompleksometri yang ditandai adanya perubahan warna pada sampel dari hijau seulas menjadi orange seulas yang menandakan titik akhir titrasi.



Gambar 4.2 Titik akhir titrasi

Prinsip dasar dari titrasi kompleksometri adalah terjadinya reaksi pembentukan ion-ion kompleks antara bahan yang akan dianalisis dengan titran. Terdapat dua cara yang terkenal dari jenis titrasi kompleksometri ini yaitu cara *Liebig* dan *Schwarzenbach*. Cara *Liebig* menggunakan ligan monodental sebagai pengkelat misalnya menggunakan titran AgNO_3 untuk menentukan kadar CN^- , sedangkan pada cara *Schwarzenbach* menggunakan ligan polidental terutama tertuju pada asam-asam aminopolikarboksilat salah satunya adalah *ethylenediaminetetraaceticacid* (EDTA) yang merupakan suatu asam organik berbasis empat. Titrasi kompleksometri ini merupakan metode konvensional yang dapat digunakan untuk menentukan kadar kalsium atau logam lain dalam suatu sampel. Kalsium akan dikelat oleh EDTA selama proses titrasi dan titik akhir akan ditunjukkan oleh perubahan warna indikator metalokromik. Pentingnya peranan pH larutan pada reaksi ditunjukkan dengan reaksi pada titrasi ion kalsium dengan EDTA:



Gambar 4.3 Reaksi kalsium dengan EDTA

4.3 Penentuan Nilai Presisi

Presisi adalah nilai yang menunjukkan seberapa dekat perbedaan nilai pada saat dilakukan pengulangan pengukuran. Presisi ini juga merupakan keadaan kedekatan antara hasil tes yang diperoleh dibawah kondisi yang ditetapkan (Fleming dkk, 1996). Semakin dekat nilai pengulangan pengukuran maka semakin tinggi presisi pengukuran tersebut. Uji presisi metode ini dilakukan dengan cara keterulangan yang dilakukan *standar deviasi* (SD) dan *percentage of relative*

standard deviation (%RSD) dari keterulangan (*repeatability*). Data presisi sampel mortar dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil uji presisi mortar

Sampel	Pengulangan	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Mortar 2:1:1	1	24.57	19.31	16.90	23.34	17.89	17.15
	2	20.62	22.55	21.56	22.06	18.18	17.86
	3	19.44	21.25	16.39	26.38	17.61	21.22
Rata-rata		21.54	21.04	18.28	23.93	17.89	18.74
Standar Deviasi		2.69	1.63	2.85	2.22	0.29	2.17
RSD		0.12	0.08	0.16	0.09	0.02	0.12
%RSD		12.47	7.75	15.58	9.27	1.59	11.60

Berdasarkan tabel 4.4 hasil uji presisi mortar yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai RSD untuk sampel A1 didapatkan hasil sebesar 12,47%; A2 sebesar 7.75%; A3 sebesar 15.58%; A4 sebesar 9.27%; A5 sebesar 1.59% dan A6 sebesar 11.60 %. Data yang dihasilkan menunjukkan bahwa tidak masuk kedalam kriteria yaitu $RSD \leq 2\%$ (Gonzalez dan Herrador, 2007) dan dapat dikatakan hasil yang didapat kurang baik dan hanya satu sampel yang memenuhi kriteria %RSD yaitu sampel A5.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kadar kandungan kalsium dengan metode titrasi kompleksometri pada setiap sampel mortar didapat rata-rata A1 sebesar 21,55% ; A2 sebesar 21,03% ; A3 sebesar 18,28 % ; A4 sebesar 23,93 % ; A5 sebesar 17,89 % ; dan A6 sebesar 18,74 %. Kadar kandungan kalsium menggunakan XRF pada setiap sampel didapatkan hasil A1 sebesar 31,70 % ; A2 sebesar 32,41 % ; A3 sebesar 25,00 % ; A4 sebesar 29,35 % ; A5 sebesar 33,88 % ; dan A6 sebesar 32,11 %.
2. Uji hasil kuat tekan pada setiap sampel mortar didapat A1 sebesar 4,02 kgf/cm³; A2 sebesar 5,22 kgf/cm³; A3 sebesar 3,92 kgf/cm³; A4 sebesar 4,54 kgf/cm³; A5 sebesar 2,88 kgf/cm³; dan A6 sebesar 3,94 kgf/cm³.
3. Perbedaan hasil nilai dengan metode titrasi kompleksometri dan dengan metode XRF pada setiap sampel mortar yaitu pada sampel A1 dengan metode titrasi kompleksometri didapat sebesar 21,55% sedangkan pada metode XRF sebesar 31,70%; pada sampel A2 dengan metode titrasi kompleksometri didapat sebesar 21,03% sedangkan pada metode XRF sebesar 32,41%; sampel A3 dengan metode titrasi kompleksometri didapat sebesar 18,28% sedangkan pada metode XRF sebesar 25,00%; sampel A4 dengan metode titrasi kompleksometri didapat sebesar 23,93% sedangkan pada metode XRF sebesar 29,35%; sampel A5 dengan metode titrasi kompleksometri didapat sebesar 17,89% sedangkan pada metode XRF sebesar 33,88 %; sampel A6 dengan metode titrasi kompleksometri didapat sebesar 18,74% sedangkan pada metode XRF sebesar 32,11%. Berdasarkan

hasil tersebut kandungan kalsium pada sampel mortar dengan menggunakan metode XRF lebih besar dibandingkan dengan metode titrasi kompleksometri.

5.2 Saran

Telah diketahui kadar kandungan kalsium dalam sampel mortar dengan bahan abu vulkanik, batu andesit, dan kapur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan hasil mortar dapat dikatakan kurang baik. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui komposisi dan bahan yang tepat untuk menghasilkan ketahanan mortar yang kuat dan tidak dapat menimbulkan pelapukan pada batuan candi. Sehingga mortar abu vulkanik ini dapat dimanfaatkan dengan maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2014, *Hasil Kajian Balai Konservasi Borobudur*, Magelang: Jurnal konservasi Cagar Budaya.
- Balai Konservasi Borobudur, 2015, *Laporan Penanganan Kebocoran Atap Candi Mendut*, Magelang: Balai Konservasi Borobudur.
- Cahyandaru, N., 2010, *Material Konservasi Pada Pemugaran Van Erp*. Jurnal, 35-36.
- Candeias P., Costa, A.C. and Coelho, E., 2004, *Shaking table test of 1:3 reduced scale modelsof four story unreinforced masonrybuildings*, Proc of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada.
- Ekarini, D. F., 2017, *Penanganan Konservasi Candi Mendut*, Magelang: Balai Konservasi Borobudur.
- Gonzales, A.G. and Herrador, M.A., 2007, A Practical Guide to Analytical Method Validation, Including Measurement Uncertainty and Accuracy Profiles. *TrAC Trends in Analytical Chemistry.*, 26: 227-238.
- Gunawan, I., Arif, Rony., 2010, *Laporan Hasil Kajian Pengembangan Bahan Konservasi Mortar Tradisional (Hydraulic Mortar)*, Magelang: Balai Konservasi Borobudur.
- Gunawan, I., 2015, Desertasi Mengungkapkan Asal-usul dan Pembangunan Borobudur, Kompas.<http://print.kompas.com/baca/2015/06/02/DesertasiMengungkapkanAsalUsuldanPembangunanBorobudur>., diakses pada tanggal 02 Juni 2015.
- Harmita, 2004, Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya, *Majalah Ilmu Kefarmasian.*, Vol. 1, No. 3. Hal. 117-135.
- Miefthawati, N. P. L., Gusrina dan Axela, F., 2013, Penetapan Kadar Kalsium Pada Ikan Kembung Segar Dan Ikan Kembung Asin Secara Kompleksometri. *Jurnal Analis Kesehatan Klinikal Sains* 1:1-9.

- Muhammad, S., Rony, Arif., 2015, *Laporan Hasil Kajian Mortar Etil Silikat untuk Konservasi Cagar Budaya Berbahan Andesit*, Magelang: Balai Konservasi Borobudur.
- Nursyafril, E. N., 2010, *Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Bahan Substitusi semen pada mortar*, Bandung: Politeknik Bandung.
- Pratama, dan Nur, G., 2014, *Candi Borobudur Yogyakarta*, Magelang: Balai Konservasi Borobudur.
- Putro., 2014. *Relief Borobudur; Buku Kehidupan Manusia Jawa kuno*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.
- Soediman, 1968, *Glimpses of The Borobudur.*, Jogjakarta: Kanisius.
- Sudibyo, Suhardi, dan Hersaktiningrum., 2002, *Studi Proses Penggaraman pada Batu Candi dan Metode Penanganannya*, Magelang: Balai Studi dan Konservasi Borobudur.
- Svehla, G. (1985). *Analisis Anorganik Kualitatif Makro Dan Semimakro*. Edisi Kelima, Bagian I, Kalman Media Pusaka, Jakarta.
- Wang, C.K. dan Salmon, C.G., 1990, *Desain Beton Bertulang*, Jakarta: Penerbit Erlangga, Edisi ke 4 Jilid 1.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil titrasi kompleksometri sampel mortar

Sampel mortar	Berat sampel awal (mg)	Volume EDTA (mL)	Perubahan Warna
A1	1003	1.06	Hijau seulas - Orange seulas
A1	1003	0.86	Hijau seulas - Orange seulas
A1	1002	0.86	Hijau seulas - Orange seulas
A2	1003	0.84	Hijau seulas - Orange seulas
A2	1002	0.98	Hijau seulas - Orange seulas
A2	1000	1.06	Hijau seulas - Orange seulas
A3	1008	0.72	Hijau seulas - Orange seulas
A3	1003	0.62	Hijau seulas - Orange seulas
A3	1007	0.58	Hijau seulas - Orange seulas
A4	1000	0.82	Hijau seulas - Orange seulas
A4	1001	1.08	Hijau seulas - Orange seulas
A4	1001	1.08	Hijau seulas - Orange seulas
A5	1004	0.70	Hijau seulas - Orange seulas
A5	1000	0.72	Hijau seulas - Orange seulas
A5	1004	0.70	Hijau seulas - Orange seulas
A6	1000	0.69	Hijau seulas - Orange seulas
A6	1002	0.62	Hijau seulas - Orange seulas
A6	1002	0.78	Hijau seulas - Orange seulas

Lampiran 2. Perhitungan analisis mortar dengan metode titrasi kompleksometri

Rumus :

$$\frac{V.EDTA(mL) \times (Mr \text{ Ca} \times 0,1 \text{ mol titriplex III}) \times V.filtrat (mL)}{V.sampel diambil (mL) \times \text{berat sampel awal (mg)}} \times 100$$

1. Kadar sampel mortar A1

a) Pengulangan 1

$$= \frac{1,06 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 58 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1003 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 24,57 \%$$

b) Pengulangan 2

$$= \frac{0,86 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 60 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1003 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 20,62 \%$$

c) Pengulangan 3

$$= \frac{0,86 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 56,5 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1002 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 19,44 \%$$

Rata-rata kadar

$$= \frac{24,57 + 20,62 + 19,44}{3}$$

$$= 21,55 \%$$

2. Kadar sampel mortar A2

a) Pengulangan 1

$$= \frac{0,84 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 57,5 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1003 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 19,31 \%$$

b) Pengulangan 2

$$= \frac{0,98 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 57,5 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1002 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 22,55 \%$$

c) Pengulangan 3

$$= \frac{1,06 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 21,25 \%$$

Rata-rata

$$= \frac{19,31 + 24,55 + 21,25}{3}$$
$$= 21,03 \%$$

3. Kadar sampel mortar A3

a) Pengulangan 1

$$= \frac{0,72 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 59 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1008 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 16,90 \%$$

b) Pengulangan 2

$$= \frac{0,62 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 87 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1003 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 21,56 \%$$

c) Pengulangan 3

$$= \frac{0,58 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 71 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1007 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 16,39 \%$$

Rata-rata

$$= \frac{16,90 + 21,56 + 16,39}{3}$$
$$= 18,28 \%$$

4. Kadar sampel mortar A4

a) Pengulangan 1

$$= \frac{0,82 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 71 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$
$$= 23,34 \%$$

b) Pengulangan 2

$$= \frac{1,08 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 51 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1001 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 22,06 \%$$

c) Pengulangan 3

$$= \frac{1,08 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 61 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1001 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 26,38 \%$$

Rata-rata

$$= \frac{23,34 + 22,06 + 26,38}{3}$$

$$= 23,93 \%$$

5. Kadar sampel mortar A5

a) Pengulangan 1

$$= \frac{0,70 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 64 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1004 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 17,89 \%$$

b) Pengulangan 2

$$= \frac{0,72 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 63 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 18,18 \%$$

c) Pengulangan 3

$$= \frac{0,70 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 63 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1004 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 17,61 \%$$

Rata-rata

$$= \frac{17,89 + 18,18 + 17,61}{3}$$

$$= 17,89 \%$$

6. Kadar sampel mortar A6

a) Pengulangan 1

$$= \frac{0,69 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 62 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 17,15 \%$$

b) Pengulangan 2

$$= \frac{0,62 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 72 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1002 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 17,86 \%$$

c) Pengulangan 3

$$= \frac{0,78 \text{ mL} \times 4,009 \text{ mg Ca} \times 68 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 1002 \text{ mg}} \times 100$$

$$= 21,22 \%$$

Rata-rata

$$= \frac{17,15 + 17,86 + 21,22}{3}$$

$$= 18,74 \%$$

7. Penentuan Presisi

Sampel	Pengulangan	A1	A2	A3	A4	A5	A6
mortar 2:1:1	1	24.57	19.31	16.90	23.34	17.89	17.15
	2	20.62	22.55	21.56	22.06	18.18	17.86
	3	19.44	21.25	16.39	26.38	17.61	21.22
Rata-rata		21.54	21.04	18.28	23.93	17.89	18.74
standar deviasi		2.69	1.63	2.85	2.22	0.29	2.17
N				2			
RSD		0.12	0.08	0.16	0.09	0.02	0.12
%RSD		12.47	7.75	15.58	9.27	1.59	11.60

Lampiran 3. Hasil analisis karakteristik XRF sampel mortar

Sampel Mortar	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
A1	ND	1.65	6.72	ND	ND	ND	0.226	33.11
A1	ND	1	5.69	ND	ND	ND	0.2269	30.13
A1	ND	2	6.22	ND	ND	ND	0.2037	31.87
Rata-rata		1.55	6.21				0.218866	31.70333
							7	3
A2	ND	1.95	6.75	ND	ND	ND	0.1903	32.66
A2	ND	2.28	6.61	ND	ND	ND	0.1977	33.22
A2	ND	2.33	6.66	ND	ND	ND	0.1802	31.34
Rata-rata		2.186666	6.673333				0.1894	32.40666
		7	3					7
A3	ND	2.53	7.19	ND	ND	ND	0.2943	25.56
A3	ND	2.06	7.49	ND	ND	ND	0.2771	26.24
A3	ND	2.37	6.85	ND	ND	ND	0.2496	23.21
Rata-rata		2.32	7.176666				0.273666	25.00333
			7				7	3
A4	ND	1.85	5.92	ND	ND	ND	0.1444	29.68
A4	ND	2.65	6.75	ND	ND	ND	0.1696	29.61
A4	ND	2.24	6.89	ND	ND	ND	0.2151	28.76
Rata-rata		2.246666	6.52				0.176366	29.35
		7					7	
A5	ND	1.66	6.21	ND	ND	ND	0.1785	32.68
A5	ND	2.25	6.68	ND	ND	ND	0.1861	35.49
A5	ND	1.41	5.99	ND	ND	ND	0.2055	33.46
Rata-rata		1.773333	6.293333				0.190033	33.87666
		3	3				3	7
A6	ND	2.38	6.93	ND	ND	ND	0.1901	32.51
A6	ND	2.14	6.88	ND	ND	ND	0.1982	31.89
A6	ND	2.34	6.98	ND	ND	ND	0.2055	31.92
Rata-rata		2.286666	6.93				0.197933	32.10666
		7					3	7

Lampiran 4. Hasil uji kuat tekan

Mortar	Diameter	Tinggi	Luas Area	Beban Max	Kuat Tekan
A1	2,71	5,52	5,81	23,37	4,02
A2	2,73	5,58	5,89	30,77	5,22
A3	2,75	5,66	5,98	23,44	3,92
A4	2,70	5,41	5,72	25,97	4,54
A5	2,70	5,56	5,72	16,49	2,88
A6	2,72	5,64	5,81	22,90	3,94

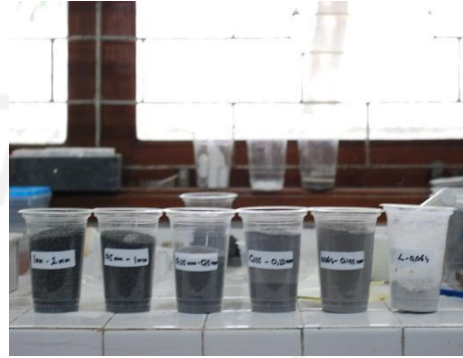
Lampiran 5. Proses preparasi batu andesit





Lampiran 6. Proses preparasi abu vulkanik





Lampiran 7. Proses preparasi kapur



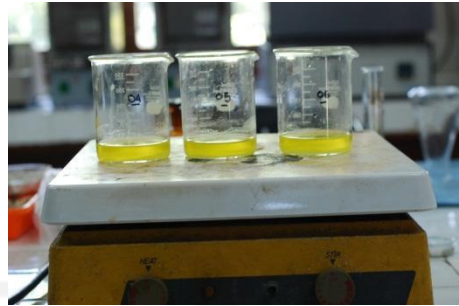
Lampiran 8. Proses pembuatan mortar





Lampiran 9. Proses preparasi sampel uji





Lampiran 10. Analisis mortar

