

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANGAN
BALAI KONSERVASI BOROBUDUR
KONSOLIDASI BATUAN FOSIL DENGAN LITIUUM SILIKAT**



**Disusun Oleh :
Nur Baiti Listyaningrum
14/364509/PA/16041**

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2017**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Kerja Praktek Lapangan (PKL) dengan lancar dan sukses. Laporan Kerja praktek Lapangan dengan judul “Konsolidasi Batuan Fosil dengan Litium Silikat” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi matakuliah pilihan Praktek Kerja Lapangan (PKL) pada Program Sarjana Departemen Kimia Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Penulisan laporan ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik berupa bimbingan, bantuan, dan kerjasama. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr.rer.nat. Nuryono, M. S. selaku dosen pembimbing Kerja Praktek Lapangan
2. Kepala Balai Konservasi Borobudur, Drs. Marsis Sutopo, M. Si.
3. Kepala Layanan Konservasi, Iskandar Mulia Siregar, S. Si. selaku pembimbing lapangan,
4. Pembimbing instansi, Nahar Cahyandaru, S. Si., M. Dip.
5. Koordinator Laboratorium, Liliek Agung Haldoko, S. T. selaku penanggung jawab Laboratorium Kimia Balai Konservasi Borobudur (BKB),
6. Laboran Laboratorium Kimia BKB, Yudi Atmaja Hendra,
7. Laboran Laboratorium Kimia BKB, Tri Wahyuni,
8. Seluruh staff dan karyawan Balai Konservasi Borobudur,
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laproran kerja praktek lapangan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan praktek kerja lapangan ini belum sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak. Semoga laporan ini bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan semua pihak yang terkait.

Yogyakarta, Januari 2017

Nur Baiti Listyaningrum

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii	
SURAT KETERANGAN PKL	iii	
KATA PENGANTAR	iv	
DAFTAR ISI	v	
DAFTAR TABEL	vi	
DAFTAR GAMBAR	vii	
DAFTAR LAMPIRAN	viii	
INTISARI	ix	
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Ruang Lingkup	3
	1.3 Tujuan Kegiatan	3
	1.4 Waktu Pelaksanaan	3
BAB II	TINJAUAN INSTANSI	5
BAB III	TINJAUAN PUSTAKA	11
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	23
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	34
DAFTAR PUSTAKA		35
LAMPIRAN		38

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1 Komposisi fuller dalam 10 gram mortar

Tabel V.1 Kandungan SiO₂ dalam mortar fosil

Tabel V.2 Kandungan SiO₂ dalam fosil

DAFTAR GAMBAR

- Gambar III.1** Mekanisme fluoresensi sinar-X
- Gambar V.1** Reaksi kondensasi litium silikat
- Gambar V.2** Pemanasan dan stirrer litium silikat
- Gambar V.3** Larutan litium silika hasil pemanasan 70 °C
- Gambar V.4** Penyaringan gel litium silika dengan kertas saring Whatman
- Gambar V.5** Gel litium silika setelah oven 150 °C
- Gambar V.6** Gel litium silika hasil furnace 650 °C
- Gambar V.7** Gel diencerkan konsentrasi 10% b/v
- Gambar V.8** Mortar fosil hasil konsolidasi litium silikat

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I.1 Uji XRF Fosil

Lampiran I.2 Uji XRF Mortar Fosil

Lampiran I.3 Uji XRF Litium Silikat

Lampiran II. 1 Perhitungan massa LiOH dan SiO₂

Lampiran II. 2 Masa hasil litium silikat secara teoritis

Lampiran II. 3 Perhitungan untuk menghasilkan 5 g litium silikat

Lampiran II. 4 Perhitungan persen rendemen hasil sintesis litium silikat

KONSOLIDASI BATUAN FOSIL DENGAN LITIUM SILIKAT

Nur Baiti Listyaningrum

14/364509/PA/16041

INTISARI

Telah dilakukan penelitian dengan judul Konsolidasi Batuan Fosil dengan Litium Silikat. Pada penelitian ini, dilakukan sintesis LiOH (litium hidroksida) dengan SiO₂ (*fume silica*) pada pH 8,5 dengan penambahan asam sitrat. Larutan campuran dipanaskan dan distirrer 70 °C hingga membentuk gel litium silikat bening. Gel dioven 150 °C kemudian dikalsinasi 650 °C. Padatan yang diperoleh dibuat konsentrasi 10% b/v. Larutan dicampur dengan fosil dari hasil penyaringan batuan fosil yang telah dihaluskan. Campuran diletakkan dalam cetakan dan ditunggu selama 15 hari untuk membentuk mortar kemudian diuji dengan XRF dan skala Mohs.

Berdasarkan hasil penelitian, batuan fosil dapat dikonsolidasi dengan litium silica menggunakan metode *sol-gel*. Uji XRF memberikan kadar SiO₂ dalam fosil adalah 12,819±0,207, sedangkan kadar SiO₂ dalam mortar adalah 14,278±0,712% serta uji skala Mohs menunjukkan mortar fosil dan fosil memiliki kekerasan 2-3 skala Mohs. Hasil ini menunjukkan berhasilnya konsolidasi terhadap batuan fosil dengan menggunakan litium silikat.

Kata kunci : fosil, konsolidasi, sintesis, *sol-gel*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fosil ialah sisa tulang belulang binatang atau sisa-sisa tumbuhan dari zaman purba yang membatu atau yang tertanam di bawah lapisan tanah (Badudu dan Zein, 2001). Suatu benda bisa disebut fosil apabila memiliki syarat antara lain: merupakan sisa organisme, terawetkan secara alamiah, pada umumnya padat/kompak/keras, mengandung kadar oksigen dalam jumlah sedikit, dan berumur lebih dari 10.000 tahun. Fosil kayu merupakan kayu yang sudah membatu dimana semua bahan organiknya telah digantikan oleh mineral (silika dan sejenis kuarsa), dengan struktur kayu tetap terjaga. Proses pembentukan fosil kayu dimulai dari masuknya air yang mengandung mineral ke dalam sel-sel pohon melapisi lignin dan selulosa yang membusuk sehingga menjadi batu. Proses terbentuknya fosil kayu mirip dengan terbentuknya fosil materi lain, yaitu karena permineralisasi secara kimiawi dan fisika melalui proses yang sangat panjang (Andianto, dkk., 2012).

Fosil terbentuk dari proses penghancuran peninggalan organisme yang pernah hidup. Hal ini sering terjadi ketika tumbuhan atau hewan terkubur dalam kondisi lingkungan yang bebas oksigen. Fosil yang ada jarang terawetkan dalam bentuknya yang asli. Dalam beberapa kasus, kandungan mineralnya berubah secara kimiawi atau sisa-sisanya terlarut semua sehingga digantikan dengan cetakan. Fosil kayu memiliki nilai sejarah yang tak ternilai karena dapat menjadi bukti hidupnya suatu jenis pohon tertentu pada zaman pra sejarah. Dari berbagai sumber, fosil kayu yang ditemukan di Indonesia berasal dari masa miocene sampai pliocene yaitu 25 juta tahun BP (Before Present) sampai 2 juta tahun BP.

Terkuburnya tulang yang menjadi fosil selama jutaan tahun dapat mempengaruhi histologi, porositas, kadar kalsium, dan kristalinitas apatit tulang. Sedangkan fosil kayu umumnya ditemukan di perut bumi atau di dasar

sungai, karena sedimentasi dan proses pelapukan yang menghancurkan kayu sehingga hal itu yang menyebabkan kayu berubah menjadi fosil. Banyak faktor yang menyebabkan perubahan pada fosil tulang dan kayu yang sudah terkubur di dalam tanah. Dilihat pada kondisi lingkungan langsung seperti tanah, komposisi sedimen, hidrologi tanah dan pH, suhu, tekanan mekanis dan faktor biologis. Kondisi fosil yang ditemukan biasanya dalam keadaan tertutup endapan tanah yang mengeras terbungkus batuan, kerak – kerak dan juga patah – patah serta rapuh, sehingga sulit dikenali bentuk aslinya. Keberadaan fosil di alam memungkinkan sekali bahan – bahan tersebut mengalami keretakan akibat pengaruh suhu yang berbeda pada waktu di dalam tanah dan di alam terbuka (Sukronedi, 2012).

Warisan budaya dalam bentuk fosil merupakan salah satu bukti peninggalan yang memiliki arti penting bagi pemahaman dan pengembangan sejarah, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan. Selain itu, fosil – fosil tersebut perlu dilestarikan demi pemupukan jati diri bangsa dan kepentingan nasional. Oleh karena itu, perlu diupayakan pelestariannya baik melalui tindakan preservasi maupun konservasi, sehingga kondisi keterawatan benda cagar budaya tersebut tetap terjamin (Sukronedi, 2012). Temuan - temuan arkeologis tersebut sudah seharusnya dipelihara dan dikelola dengan baik agar dapat bertahan lama sehingga di kemudian hari dapat terus dijadikan bahan kajian arkeologis yang bermanfaat bagi generasi mendatang. Sebagaimana fungsi museum, museum wajib melakukan konservasi dan preservasi terhadap benda-benda koleksi. Maka dari itu, dilakukan konsolidasi terhadap batuan fosil dengan mengubah fosil dalam bentuk cetakan batuan yang diberi bahan penguat (konsolidan).

Proses sol-gel telah berhasil diaplikasikan untuk konservasi dan restorasi batu. Namun, kelemahan dari hasil yang diperoleh oleh proses ini adalah kecenderungan retaknya pori-pori batu yang dikonsolidasi selama pengeringan. Penelitian lebih lanjut dilakukan dengan peran surfaktan sebagai template untuk membuat ukuran pori kasar sehingga jaringan gel lebih seragam untuk memberikan alternatif yang efektif untuk mencegah

konsolidan yang retak. Mosquera, dkk., (2009) juga meneliti alternatif lainnya dengan penambahan komponen organik untuk prekursor silika terhadap surfaktan. Gel organik-anorganik *hybrid* yang disiapkan di laboratorium menghasilkan sifat menolak air terhadap batu yang diteliti.

Etil silikat telah digunakan sebagai bahan konsolidan batu Candi Borobudur, kelemahan etil silikat yaitu tidak dapat diterapkan pada batu yang basah atau batu yang memiliki kelembaban tinggi karena sifatnya yang hidrofobik (Thorn, 2011). Telah dilakukan penelitian di Perancis yang menunjukkan bahwa litium silikat merupakan konsolidasi bermanfaat untuk marmer dan dianggap sebagai konsolidan ideal untuk kapur dan pasir plester, termasuk fresco. Penelitian juga sedang dilakukan untuk mengkonsolidasikan tanah liat mendukung lukisan yang sebelumnya telah distabilkan dengan silika koloid (Matteini, 2013). Pada penelitian ini dilakukan kajian lebih lanjut mengenai litium silikat (Li_4SiO_4) yang diujikan sebagai bahan konsolidasi melalui pembuatan mortar fosil.

1.2 Ruang Lingkup

1. Sintesis litium silikat dengan menggunakan asam sitrat
2. Konsolidasi batuan fosil dengan *sol-gel* litium silikat
3. Uji XRF kandungan mineral dalam fosil
4. Uji skala Mohs batuan fosil hasil konsolidasi

1.3. Tujuan Kegiatan

1. Konsolidasi batuan dengan litium silikat menggunakan metode *sol-gel*
2. Menentukan kandungan dan kekerasan batuan fosil hasil konsolidasi dengan uji XRF dan skala Mohs

1.4 Waktu Pelaksanaan

Kerja praktik ini dilaksanakan di Balai Konservasi Borobudur selama 1 bulan terhitung sejak 20 Desember 2016 sampai 22 Januari 2017. Serangkaian kegiatan yang dilaksanakan selama kerja praktik meliputi pengenalan laboratorium, pelaksanaan analisis rutin dan analisis sampel di laboratorium kimia, pelaksanaan sintesis dan konsolidasi batuan (proyek), pengujian hasil batuan, serta penyusunan dan konsultasi laporan kepada pembimbing pelaksanaan kerja praktik di Balai Konservasi Borobudur.

BAB II

TINJAUAN INSTANSI

Balai Konservasi Borobudur adalah Unit Pelaksana Teknis (UPT) di lingkungan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. Instansi ini berlokasi di Jalan Badrawati, Borobudur, Magelang, Jawa Tengah. Pendirian Balai Konservasi Borobudur tidak terlepas dari proyek Pemugaran II Candi Borobudur dimana pendiriannya khusus untuk menangani masalah Candi Borobudur yang telah selesai dipugar justru sangat memerlukan perawatan, pengamatan, dan penelitian terus-menerus. Oleh karena itu pada tahun 1991 didirikanlah Balai Konservasi Borobudur dengan beberapa fasilitas pendukung dan tenaga teknis yang berkompeten di bidangnya mengantarkan instansi ini menjadi pelaksana penelitian tenaga teknis konservasi untuk institusi tingkat nasional maupun internasional.

Konsekuensi dari perubahan tugas akhirnya nama Balai mengalami perubahan nama dalam kurun waktu 23 tahun. Pada awal berdirinya, instansi ini bernama Balai Studi dan Konservasi Borobudur. Berdasarkan Peraturan Menteri Kebudayaan dan Pariwisata Nomor: PM.40/0T.001/MKP-2006 tanggal 7 September 2006, nama tersebut berubah menjadi Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Penggabungan bidang kebudayaan ke Kementerian Pendidikan Nasional pada tahun 2011 menyebabkan perubahan nama menjadi Balai Konservasi Borobudur sesuai Peraturan Menteri Kebudayaan dan Pariwisata Nomor 55 tahun 2012.

Sebenarnya pada awalnya merupakan bentuk lain dari Centre for Borobudur Studies. Fungsinya 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. Di samping itu Balai Konservasi Borobudur juga membantu

konservasi peninggalan sejarah dan purbakala di seluruh Indonesia, bahkan di negara Asia Tenggara.

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 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 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.

Untuk menunjang Tupoksi tersebut, Balai Konservasi Borobudur, dilengkapi berbagai fasilitas penunjang, apalagi Candi Borobudur telah ditetapkan sebagai Warisan Dunia (*World Heritage*) dengan Nomor 592/1992. 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 arkeologi di lingkungan Candi Borobudur serta peninggalan purbakala lainnya Balai Konservasi Borobudur melakukan kerjasama dengan melibatkan beberapa pakar dari universitas - universitas di Indonesia sebagai narasumber. Selain itu Balai Konservasi Borobudur melaksanakan pelatihan tenaga teknis konservasi, pemugaran, dokumentasi, dan satuan pengaman cagar budaya 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 untuk upaya pelestarian Candi Borobudur melaksanakan kegiatan monitoring Candi Borobudur secara kontinyu. Berjalannya organisasi atau institusi tidak terlepas dari adanya visi dan misi untuk memberikan arahan perencanaan ke depan agar dalam melaksanakan Tupoksi lebih terarah, sistematis, komprehensif, dan berorientasi pada keberhasilan program, maka ditetapkan Visi dan Misi Balai Konservasi Borobudur 2015 – 2019, yaitu :

Visi

“Terwujudnya kelestarian Candi Borobudur sebagai warisan dunia dan Balai Konservasi Borobudur sebagai pusat kajian konservasi cagar budaya yang berlandaskan gotong royong”

Misi

Untuk tercapainya Visi tersebut maka ditetapkan Misi sebagai berikut:

1. Meningkatnya kelestarian Candi Borobudur sebagai warisan dunia.
2. Tersedianya sarana dan prasarana untuk mendukung kelestarian candi borobudur sebagai warisan dunia dan Balai Konservasi Borobudur sebagai pusat kajian konservasi cagar budaya.

3. Meningkatnya kajian konservasi cagar budaya.
4. Diperolehnya bahan konservasi cagar budaya yang lebih ramah lingkungan.
5. Meningkatnya apresiasi masyarakat terhadap Candi Borobudur.

Tujuan

Berdasarkan Visi dan Misi Balai Konservasi Borobudur Tahun 2015-2019 tersebut di atas, maka dirumuskan tujuan sebagai berikut :

1. Terwujudnya kelestarian Candi Borobudur sebagai warisan dunia.
2. Tersedianya sarana dan prasarana untuk mendukung kelestarian Candi Borobudur sebagai warisan dunia dan Balai Konservasi Borobudur sebagai pusat kajian konservasi cagar budaya.
3. Terwujudnya kajian konservasi cagar budaya.
4. Terwujudnya bahan konservasi cagar budaya yang lebih ramah lingkungan.
5. Terwujudnya peningkatan apresiasi masyarakat terhadap Candi Borobudur.

Struktur Organisasi Tata Kerja

IHWAN 04/01/2011 STATIS

Susunan organisasi Balai Konservasi Borobudur sebagaimana Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 29 Tahun 2015 terdiri dari :

1. Kepala
2. Sub Bagian Tata Usaha
3. Seksi Konservasi
4. Kelompok Tenaga Fungsional

Untuk kelancaran pelaksanaan tugas dan fungsi Balai Konservasi Borobudur, susunan organisasi tersebut dijabarkan lebih lanjut dengan membentuk urusan-urusan pada Sub Bagian Tata Usaha dan kelompok-kelompok kerja pada Seksi Pelayanan Teknis yang dituangkan dalam keputusan Kepala Balai Konservasi Borobudur.

1. Sub Bagian Tata Usaha

Sub Bagian Tata Usaha membawahi empat urusan yaitu:

1. Urusan Kepegawaian, urusan kepegawaian bertanggung jawab terhadap segala macam yang berkaitan dengan kepegawaian seperti pengusulan kenaikan pangkat, kenaikan gaji berkala, pengusulan kartu pegawai, daftar

urut kepangkatan, surat keterangan untuk mendapatkan tunjangan keluarga dan absensi pegawai,

2. Urusan Perencanaan dan Rumah Tangga, urusan perencanaan dan rumah tangga bertanggung jawab terhadap perencanaan kantor dan keperluan rumah tangga kantor seperti merencanakan dan melaksanakan pengadaan bahan keperluan kantor dan kegiatan teknis serta inventaris kantor, menyimpan dan mendistribusikan bahan dan peralatan kerja, pemeliharaan inventaris kantor,
3. Urusan Keuangan, urusan keuangan bertanggung jawab pada pengelolaan anggaran seperti belanja pegawai, belanja barang, belanja pemeliharaan, belanja perjalanan, dan administrasi keuangan.
4. Urusan Persuratan, urusan persuratan bertanggungjawab menyusun program kerja urusan persuratan serta mengelola segala bentuk persuratan kantor.

2. Seksi Konservasi

Seksi Teknis membawahi enam kelompok kerja yaitu :

1. Kelompok Kerja Pemeliharaan, memiliki tugas pokok rutin melaksanakan pemeliharaan dan perawatan terhadap Candi Borobudur dan Situs (Zona 1) Candi Borobudur, serta melaksanakan perawatan dan pemeliharaan koleksi benda cagar budaya yang berada di Kantor Balai Konservasi Borobudur maupun koleksi yang berada di Museum Karmawibhanga. Kegiatan yang dilakukan meliputi pembersihan batu candi (sampah, mikroorganisme, corat-coret); perawatan kimiawi (pembersihan jamur kerak, pengawetan, pengolesan masonceal, pembersihan endapan garam); perbaikan (injeksi retakan, perbaikan lantai, restoring, pengisian lubang alveoul, pemeliharaan saluran drainase); pembersihan koleksi, pencocokan batu lepas, penanganan kebocoran, dan pembersihan kotoran bawah lantai.
2. Kelompok Kerja Dokumentasi dan Publikasi memiliki tugas pokok rutin melaksanakan kegiatan dokumentasi berupa pendokumentasian kegiatan Balai Konservasi Borobudur; pemutakhiran foto dokumen mengenai Candi Borobudur; penyelamatan negatif film foto pemugaran Candi Borobudur; pembuatan database kegiatan Balai; pembuatan visualisasi Candi Borobudur; kegiatan penggambaran, pemetaan, dan *laser scanner*

fotogrammetri; pengelolaan dan pelayanan perpustakaan; melaksanakan publikasi dalam bentuk pengelolaan website, penyelenggaraan pameran kepurbakalaan, pembuatan leaflet, penerbitan buletin, penyusunan naskah buku.

3. Kelompok Kerja Kajian dan Pengembangan memiliki tugas pokok rutin melaksanakan kajian/studi di bidang konservasi, tehnik sipil, arsitektur, geologi, biologi, kimia dan arkeologi; dan metode konservasi; melaksanakan pengembangan kualitas SDM bidang konservasi dan pemugaran.
4. Kelompok Kerja Pengamanan memiliki tugas pokok rutin melaksanakan perlindungan dan pengamanan terhadap Candi Borobudur dan Kantor BKP Borobudur; melaksanakan pelayanan perijinan; melaksanakan pengaturan pemanfaatan dan pengelolaan serta monitoring kunjungan (visitor management) terhadap Candi Borobudur.
5. Kelompok Kerja Laboratorium dan Kemitraan melaksanakan pengembangan laboratorium dan menjalin kemitraan dengan berbagai pihak yang berkepentingan.
6. Kelompok Kerja Pemanfaatan dan Layanan Masyarakat urusan pelayanan masyarakat bertanggung jawab terhadap pelayanan dan pendampingan tamu-tamu dinas, tamu kantor dan kegiatan pemanfaatan Candi Borobudur serta melaksanakan kegiatan sosialisasi dan penyuluhan kepada masyarakat.

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

III. 1 Fosil

Fosil ialah sisa tulang belulang binatang atau sisa-sisa tumbuhan dari zaman purba yang membatu atau yang tertanam di bawah lapisan tanah (Badudu dan Zein, 2001). Fosil kayu merupakan kayu yang sudah membatu dimana semua bahan organik telah digantikan oleh mineral (silika dan sejenis kuarsa), dengan struktur kayu tetap terjaga. Proses pembentukan fosil kayu dimulai dari masuknya air yang mengandung mineral ke dalam sel-sel pohon melapisi lignin dan selulosa yang membusuk sehingga menjadi batu. Proses terbentuknya fosil kayu mirip dengan terbentuknya fosil materi lain, yaitu karena permineralisasi secara kimiawi dan fisika melalui proses yang sangat panjang (Andianto, dkk., 2012).

Secara kimiawi, tulang terdiri dari 30% unsur organik dan 70% unsur anorganik. Unsur organik terdiri dari protein dan unsur anorganik disusun oleh mineral hydroxyapatite (*carbonated calcium phosphate*) dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{CO}_3\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Ketika terkubur di dalam tanah, tulang akan mengalami proses diagenesa. Seiring dengan perubahan waktu, proses tersebut akan mengakibatkan unsur organik hilang, sedangkan unsur anorganik lambat laun akan bertambah kadarnya karena masuknya unsur kimia anorganik dari luar, salah satunya adalah unsur F (fluorine). Dengan demikian, komposisi kimia tulang yang telah mengalami proses diagenesa akan berbeda sama sekali keadaannya dibandingkan dengan komposisi kimia sebelumnya. Komposisi tulang setelah mengalami diagenesa dapat seluruhnya terdiri dari apatite atau calsit (Arif dan Siregar, 2014).

Pada daerah Coober Peddy dan Andamooka didapatkan data tentang proses opalisasi yang terjadi pada tulang fosil dinosaurus dan fosil kayu, yang secara petrografis memberikan penampakan adanya shatter cracks dan pola banded di sekitar tulang yang telah tergantikan. Opal dihasilkan oleh

proses penggantian atau pengisian koloid silika pada fosil kayu atau rongga batuan. Koloid silika dihasilkan dari pelapukan dan pelarutan batuan vulkanik karena pengaruh sirkulasi air tanah.(Ansori, 2010).

Kondisi fosil yang ditemukan biasanya dalam keadaan tertutup endapan tanah yang mengeras terbungkus batuan, kerak – kerak dan juga patah – patah serta rapuh, sehingga sulit dikenali bentuk aslinya. Hal ini karena keberadaan fosil di alam memungkinkan sekali bahan – bahan tersebut mengalami keretakan akibat pengaruh suhu yang berbeda pada waktu di dalam tanah dan di alam terbuka (Sukronedi, 2012). Dalam proses konservasi koleksi fosil diperlukan pula bahan-bahan konservan. Fosil yang ditemukan biasanya tidak dalam keadaan utuh dan meski fosil tersebut ditemukan utuh, fosil tersebut masih rentan pecah. Oleh karenanya, salah satu material bahan konservan yang penting dalam melakukan konservasi koleksi fosil adalah bahan perekat yang digunakan terutama untuk menyambungkan potongan-potongan fosil (Howie, 1984).

Terdapat berbagai macam bahan dan jenis perekat yang digunakan dalam konservasi koleksi fosil dan terbagi antara perekat alami maupun perekat sintetis. Bahan perekat alami antara lain shellac, gom acacia atau gom arab, dan lem protein hewani, sedangkan bahan perekat sintetis termasuk di antaranya polimer akrilik, epoksi, poliuretan, cyanoacrylates, dan butvar. Setiap bahan perekat yang biasa digunakan dalam konservasi fosil tersebut memiliki kelebihan serta kelemahan dalam penggunaannya (Thornton, 2005).

III. 2 Konsolidasi Batuan

Konsolidasi merupakan upaya untuk mengembalikan kekuatan dari batu, sehingga tidak menjadi semakin rusak. Batu yang mengalami pelapukan akan mudah rusak karena ikatan antar partikel penyusun batu yang telah melemah. Batu menjadi rapuh dan butiran-butiran partikel penyusun batu tersebut dapat terlepas dari batu. Konsolidasi dilakukan untuk menguatkan kembali ikatan antar partikel sehingga batu menjadi kuat kembali. Material konsolidan yang digunakan harus mampu mengikat antar partikel dan

mengisis celah-celah antar partikel yang renggang. Konservasi pada batu dilakukan untuk mencegah kerusakan oleh garam terlarut dalam batu yang menjadi faktor kerusakan pada batu. Konsolidasi dilakukan dengan mengikat garam dengan konsolidan, sehingga menekan aktivitas garam tersebut. Hal ini merupakan salah satu tujuan ketika konsolidan pertama kali diselidiki pada awal tahun 1970-an. Namun, beberapa benda masih menunjukkan pengkristalan setelah konsolidasi (Gupta, 2011).

Mosquera, dkk., (2009) proses sol-gel telah berhasil diaplikasikan untuk konservasi dan restorasi batu. Namun, kelemahan dari hasil yang diperoleh oleh proses ini adalah kecenderungan retaknya pori-pori batu yang dikonsolidasi selama pengeringan. Penelitian lebih lanjut dilakukan dengan peran surfaktan sebagai template untuk membuat ukuran pori kasar sehingga jaringan gel lebih seragam untuk memberikan alternatif yang efektif untuk mencegah konsolidan yang retak. Mosquera, dkk., (2009) juga meneliti alternatif lainnya dengan penambahan komponen organik untuk prekursor silika terhadap surfaktan. Gel organik-anorganik *hybrid* yang disiapkan di laboratorium menghasilkan sifat menolak air terhadap batu yang diteliti.

Salah satu keterbatasan konsolidan etil silikat yaitu tidak cocok untuk batu dalam lingkungan yang memiliki kelembaban tinggi. Air atau kelembaban yang tinggi menyebabkan konsolidan bereaksi terlalu cepat selain itu permukaan batu harus dijaga tetap hidrofobik hingga 8 minggu. Reaksi hidrolisis yang cepat mengarah ke pengembangan silika yang sedikit dan dengan demikian kemampuan mengikat terhadap batu lebih rendah (Thorn, 2012). Litium silikat mengatasi kekurangan etil silikat yang membentuk litium karbonat dan kalsium silikat selain pembentukan silika. Selain hal tersebut, litium silikat dapat diterapkan pada batu dengan kondisi basah atau lembab. Hal ini mengatasi beberapa masalah ketidakcocokan yang dihadapi dengan silan yang diterapkan pada substrat *calcitic* (Wheeler, 2005).

III. 3 Litium Silikat sebagai Konsolidan Batuan

Telah dilakukan penelitian di Perancis yang menunjukkan bahwa litium silikat merupakan konsolidasi bermanfaat untuk marmer dan dianggap

sebagai konsolidan ideal untuk kapur dan pasir plester, termasuk fresco. Penelitian juga sedang dilakukan untuk mengkonsolidasikan tanah liat mendukung lukisan yang sebelumnya telah distabilkan dengan silika koloid (Matteini, 2013). Litium silikat tidak mengandung kelompok hidrofobik dan reaksi dapat berlangsung sepenuhnya dalam lingkungan hidrofilik. Hal ini, menjadikan litium silikat memiliki potensi besar sebagai konsolidan untuk permukaan basah. Manfaat lain dari litium silikat yang patut dipertimbangkan dalam banyak perawatan utama di mana solusi sudah ada seperti dengan kemampuan konsolidasi etil silikat sementara *miscibility* air dan dilusi rasio yang membuatnya lebih aman untuk digunakan, lebih mudah diangkut, dan lebih murah, kelebihan litium silikat ialah (Thorn, 2012) :

1. Menyediakan kuat nat lebih kohesif
2. Mencapai kekuatan konsolidatif mirip dengan 100% etil silikat pada 20% Litium Silikat
3. Tidak dipengaruhi oleh batu yang sangat jenuh air
4. Menjadi pilihan biaya yang efektif yang dapat dikirim lebih leluasa karena sifat kurang peledak dan beracun.

III. 4 Litium Hidroksida

Lithium hydroxide, LiOH, adalah senyawa elemen ringan di persimpangan ikatan molekul dan ionik. Molekul monomer metastabil bersifat linier (seperti LiOLi, tapi bukan HOH), namun cukup tidak kaku. Pada 298 K (dan bawah) dan $P = 1$ atm, LiOH adalah padatan ion higroskopis. Anhidrat LiOH pada $P = 1$ atm relatif stabil, mencair pada 462 °C, membuktikan karakter ioniknya. Ditemukan penggunaannya di ruang sempit: sebagai prekursor lithium seperti lithium stearate, dan sebagai penyerap karbon dioksida dalam pesawat ruang angkasa atau kapal selam (konversi CO₂ sampai litium karbonat). LiOH terhidrasi exis sebagai monohidrat LiOH · H₂O, sinar-X dan kristal neutron struktur yang tersedia. Dalam keadaan padat LiOH anhidrat, tidak seperti air es, misalnya, tidak menampilkan jaringan ikatan hidrogen; tidak adanya ikatan semacam itu pada padatan pada

suhu kamar sesuai dengan hidroksida logam alkali lainnya (dan juga Amida) (Hermann, dkk., 2014).

Pada tekanan atmosfer dan suhu kamar, LiOH mengkristal dalam struktur tetragonal simetri $P4/nmm$ dengan dua unit rumus per satuan sel. Strukturnya terdiri dari lapisan kisi persegi dari atom lithium, masing-masing persegi dibatasi oleh ion hidroksida, bergantian di atas dan di bawah lapisan lithium. Dengan demikian, setiap ion oksigen empat kali dikoordinasikan dengan atom lithium, dan masing-masing atom lithium berada dalam lingkungan tetrahedral oksigen yang terdistorsi atom. Kelompok hidroksil dalam LiOH tidak membentuk hidrogen obligasi, yang juga berlaku untuk padatan yang lebih berat alkali hidroksida (misal, MOH dengan $M = Na, K, Rb,$ atau Cs) pada suhu kamar (Hermann, dkk., 2014).

III. 5 Fume Silica (Aerosil)

Aerosil merupakan material limbah industri yang dihasilkan dari proses peleburan *silicon* dan *ferosilicon* yang juga dikenal dengan nama *microsilica*. *Silica fume* memiliki ukuran partikel yang sangat halus dengan ukuran partikel rata-rata $\approx 100nm$, ukuran tersebut 100 kali lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran partikel dari semen. Kandungan utama Aerosil adalah SiO_2 dalam bentuk *amorphous* sebesar 95% dan sebagian unsur lain dalam jumlah kecil seperti Fe, Al, Ca, Mg, K, Na dan S (Siddique, 2011).

Pada umumnya Penambahan Aerosil dilakukan dalam pembuatan beton pada semen memiliki 3 fungsi: 1) menghaluskan ukuran pori dan meningkatkan kepadatan pada matriknya; 2) bereaksi dengan *lime* (CaO) bebas; 3) menghaluskan ikatan antar muka pasta semen dengan gregat sehingga dari penambahan Aerosil ini tentunya akan meningkatkan kekuatan pada beton (Siddique, 2011). SiO_2 yang diendapkan (silika) telah ditemukan untuk aplikasi sebagai pengisi karet dan plastik, serbuk penyerap, pengeringan, substrat untuk katalis, zat anticorrosion, dan sebagainya. Umumnya, SiO_2 yang diendapkan dapat diproduksi dengan mencampur larutan berair natrium metasilikat dan asam mineral (Music, dkk., 2011).

III. 4 Sintesis Litium Silikat

Larutan basa dalam telah dikembangkan untuk mensintesis kristal litium silikat (Li_4SiO_4) pada temperatur 500°C . Litium hidroksida ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) dan litium nitrat (LiNO_3) digunakan sebagai bahan dasar untuk mensintesis senyawa litium silikat dalam penelitian ini. Pada tahap analisis, luas permukaan dan morfologi, temperatur dari kedua bahan harus diketahui dan dilakukan perbandingan mol $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ dan LiNO_3 (Chang, dkk., 2001). Penelitian mengenai sintesis Litium silikat dilakukan dengan menggunakan $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ dan SiO_2 sebagai bahan dasar pembuatan Li_4SiO_4 dengan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$) sebagai agen khelat. Serbuk Li_4SiO_4 dengan ukuran partikel sekecil 100 nm dapat disintesis pada temperatur sekitar 675°C . Hasil yang didapat menunjukkan bahwa kristal yang diperoleh dari sol-gel pada proses *water-based* memperlihatkan suatu penyusutan yang linier 5,2% saat dikalsinasi pada 900°C . Daya konduksi sol gel jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lainnya dimana sampel di uji pada temperatur yang sama (Wu, dkk., 2009).

Etil silikat telah digunakan sebagai bahan konsolidan batu Candi Borobudur, kelemahan etil silikat yaitu tidak dapat diterapkan pada batu yang basah atau batu yang memiliki kelembaban tinggi karena sifatnya yang hidrofobik (Thorn, 2011). Telah dilakukan penelitian di Perancis yang menunjukkan bahwa litium silikat merupakan konsolidasi bermanfaat untuk marmer dan dianggap sebagai konsolidan ideal untuk kapur dan pasir plester, termasuk fresco. Penelitian juga sedang dilakukan untuk mengkonsolidasikan tanah liat mendukung lukisan yang sebelumnya telah distabilkan dengan silika koloid (Matteini, 2013).

Litium silikat dapat disintesis dari LiOH , Asam sitrat, dan SiO_2 dengan rasio mol 12:4:3, LiOH dilarutkan dengan aquades dan asam sitrat dimana pH larutan diatur hingga pH 8,5. Konsentrasi LiOH dalam larutan ialah $0,3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. SiO_2 ditambahkan kedalam larutan dan dipanaskan pada suhu 70°C hingga membentuk gel transparan. maka *sol-gel* dimasukan ke dalam aseton oleh *nozzle* dan gel terbentuk karena efek dehidrasi dari aseton

dan efek tegangan permukaan. Gel dimasukkan kedalam aseton hingga waktu yang cukup untuk mencapai stabilitas yang lebih besar proses *aging* dilakukan pada suhu kamar maka diperoleh gel dikeringkan perlahan-lahan pada suhu 60-150 °C (Wu, dkk., 2010).

III. 5 Asam Sitrat

Asam sitrat adalah asam organik yang lemah yang terjadi secara alami pada banyak buah, terutama pada buah sitrus, juga ditemukan pada cairan hewan dan jaringan (Brima dan Abbas, 2014). Asam sitrat merupakan salah satu tonase produk fermentasi terbesar di dunia. Asam sitrat memiliki berbagai aplikasi karena kelarutannya tinggi, toksisitas rendah dan palatabilitas di industri makanan dan minuman (70%), obat-obatan (12%) dan aplikasi industri lainnya (18%). Ini diproduksi secara komersial dengan fermentasi terendam media berbasis sukrosa atau molase (Ashour, dkk., 2014).

III. 6 Metode Sol Gel

Metode preparasi sol-gel telah mendapatkan minat yang signifikan sebagai alat untuk mendapatkan bahan keramik pada suhu rendah. Metode ini melibatkan hidrolisis terkontrol dari alkoksida, diikuti dengan gelatinisasi. Struktur bahan akhir sangat sensitif terhadap pH, stabilitas reaktan, jumlah air, suhu refluks, dan kotoran. Jika metode sol gel diikuti, gel harus disiapkan dengan hidrolisis tetraetilortosilikat (TEOS) dengan alkohol atau larutan air yang mengandung senyawa litium seperti LiOH, LiNO₃ atau CH₃OLi. Dalam kasus ini, hanya silikat lithium murni yang diperoleh (Pfeiffer, dkk., 1998).

Proses sol-gel telah berhasil diaplikasikan untuk konservasi dan restorasi batu. Namun, kelemahan dari hasil yang diperoleh oleh proses ini adalah kecenderungan retaknya pori-pori batu yang dikonsolidasi selama pengeringan. Penelitian lebih lanjut dilakukan dengan peran surfaktan sebagai template untuk membuat ukuran pori kasar sehingga jaringan gel lebih seragam untuk memberikan alternatif yang efektif untuk mencegah konsolidan yang retak. Mosquera, dkk., (2009) juga meneliti alternatif lainnya dengan penambahan komponen organik untuk prekursor silika terhadap

surfaktan. Gel organik-anorganik *hybrid* yang disiapkan di laboratorium menghasilkan sifat menolak air terhadap batu yang diteliti.

III. 7 Mortar

Mortar merupakan bahan komposit yang telah digunakan sejak ratusan tahun yang lalu sebagai salah satu komponen penunjang dalam bangunan. merupakan bahan komposit yang dibuat dari satu atau bahan pengikat, satu atau lebih jenis bahan agregat, air dan bahan tambahan dan diklasifikasikan menurut tipe dari bahan pengikat (Candeias, dkk., 2004). Bahan-bahan pengikat yang digunakan terus menerus mengalami perkembangan. Pembuatan didasarkan pada teknologi penggunaan kapur sejak jaman Romawi hingga pada akhirnya kini diganti dengan bahan pengikat Portland Cement (PC). Klasifikasi berdasarkan fungsi dalam aplikasinya secara teknis (Palomo, 2006):

- a. Sebagai plester
- b. Sebagai tampilan depan (lantai, tembok, elemen arsitektural lainnya)
- c. Sebagai dekorasi (pelaph dan relief)
- d. Bangunan (*binding*/perekat, *pointing*, *scaling*, *repair*).

III. 8 X-Ray Fluorescence

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. XRF digunakan untuk analisa kualitatif dari unsur-unsur mayor dan minor dengan nomor atom lebih besar dari natrium dalam suatu sampel. Spektrometri pendar sinar-X adalah cara analisis terhadap cuplikan berdasarkan pengukuran tenaga dan intensitas sinar-X suatu unsur di dalam cuplikan hasil eksitasi sumber radioisotop. Tenaga sinar-X cuplikan yang terukur dipakai sebagai dasar analisis kuantitatif (Dixit dan Deshpande, 1985).

Apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung X-ray atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Pada dasarnya prinsip kerja dari spektrometer pendar sinar-X adalah sinar x primer yang berasal dari sumber pengekstasi ditembakkan terhadap cuplikan. Pancaran radiasi sinar x tersebut akan berinteraksi dengan cuplikan dalam proses efek fotolistrik. Proses interaksi tersebut akan menghasilkan pendaran sinar x sekunder dari cuplikan, yang ditangkap oleh detektor kemudian dianalisis (Eugene, 1978).

Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari energi ikatan elektron dalam kulit K, L atau M dari atom target maka akan menyebabkan elektron tersebut keluar dari orbitnya sehingga terjadi kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini kemudian diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar dengan diikuti adanya pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X ini mempunyai spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu sesuai dengan perpindahan elektron yang terjadi dalam atom yang bersangkutan (Eugene, 1978).

Kelebihan analisis sinar-X adalah mudah dan ekonomis (Shackly, 2011) :

1. Non destruktif

Pada sebagian besar kasus, sampel yang dianalisis tidak dihancurkan atau diubah oleh paparan sinar-X, dengan demikian sampel dapat disimpan untuk referensi di kemudian hari atau digunakan untuk yang lain. Jenis pengujian yang mungkin bersifat destruktif, seperti analisis hidrasi obsidian.

2. Persiapan minimal

Banyak sampel dapat diperiksa dengan sedikit atau tanpa *pre-treatment*, termasuk hampir semua artefak obsidian. Banyak teknik alternatif membutuhkan prosedur yang memakan waktu dan biaya karena reagen yang dibutuhkan.

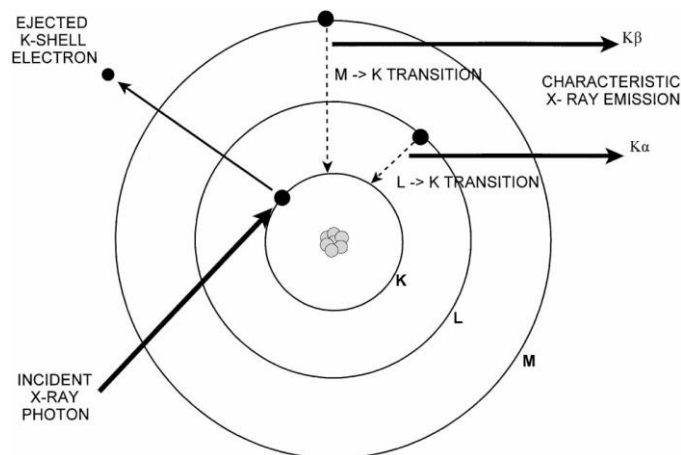
3. Cepat

Spektrometri sinar-X memungkinkan komposisi kimia ditentukan dalam hitungan detik. Untuk analisis elemen Ti-Nb di Berkeley Spectrace dan Thermo Instrumen desktop, pada 200 detik per sampel dibutuhkan sekitar 5-6 menit per sampel tergantung massanya. Instrumen ini mudah digunakan karena modern, sehingga berjalan di bawah kendali komputer, dengan perangkat lunak yang efektif menangani pengukuran set-up dan hasil perhitungan. Tugas yang membutuhkan perhatian konstan dari seorang analis terlatih sekarang dapat ditangani oleh siswa yang terampil dan sepenuhnya otomatis.

4. Hemat biaya

Tanpa persiapan sampel yang lebih banyak diperlukan di kebanyakan WXRf, yaitu analisis destruktif, sehingga biaya turun secara signifikan per sampel. Atom berpondar pada energi spesifik saat terangsang oleh sinar-X. Deteksi foton fluoresen spesifik memungkinkan analisis kualitatif dan kuantitatif dari sebagian besar elemen dalam sampel.

Mekanisme untuk fluoresensi sinar-X dari sebuah atom digambarkan pada Gambar. 1 (Kalnicky dan Shinghvi, 2001).



Gambar III.1 Mekanisme fluoresensi sinar-X

Kekosongan inti *shell* terjadi (oleh foton sinar-X kejadian atau fenomena lainnya) meninggalkan lubang elektron di kulit bagian dalam. Elektron terluar lepas untuk mengisi kekosongan bagian dalam saat atom tersebut mengalami transisi ke keadaan dasar. Proses ini menghasilkan foton dengan

energi di daerah sinar-X dari spektrum elektromagnetik yang setara dengan perbedaan energi antara kedua kulit tersebut (Kalnicky dan Shinghvi, 2001).

Setiap atom memiliki spektrum garis X-ray yang terdiri dari serangkaian energi diskrit dengan intensitas yang terkait dengan kemungkinan bahwa transisi tertentu akan terjadi. Sinar-X yang dipancarkan merupakan ciri khas dari sebuah atom, dan memberikan identifikasi elemen secara kualitatif. Energi foton dari garis spektrum adalah perbedaan energi, $1E$, antara tingkat awal dan akhir yang terlibat dalam transisi elektronik. Membandingkan intensitas sinar-X dari sampel yang tidak diketahui dengan standar yang sesuai memberikan dasar analisis kuantitatif unsur tersebut (Kalnicky dan Shinghvi, 2001).

Jika elektron shell yang diganti adalah elektron K-shell, maka emisi sinar-X adalah sebagai sinar-X K. Demikian pula, transisi L-shell menghasilkan sinar-X L. Garis spektrum sinar-X dikelompokkan dalam seri (K, L, M). Semua garis dalam rangkaian dihasilkan dari transisi elektron dari berbagai tingkatan hingga cangkang yang sama. Sebagai contoh, transisi dari L-dan M-shells ke K-shell memberikan garis spektral yang masing-masing ditujukan untuk $K\alpha$ dan $K\beta$. Spektrum sinar-X dihasilkan oleh semua elemen dalam sampel. Setiap elemen akan memiliki banyak garis karakteristik dalam spektrum, karena sinar-X yang berbeda akan dipancarkan untuk setiap jenis transisi orbital (Kalnicky dan Shinghvi, 2001).

III. 9 Skala Mohs (Metode Gores)

Metode gores merupakan perhatian utama para ahli mineral. Dengan mengukur kekerasan, berbagai mineral dan bahan - bahan yang lain, disusun berdasarkan kemampuan goresan yang satu terhadap yang lain. Kekerasan goresan diukur dengan skala Mohs. Skala ini terdiri dari atas 10 standar mineral disusun berdasarkan kemampuannya untuk digores (Adawiyah, 2015). Skala Mohs tidak cocok untuk logam, karena interval skala pada nilai kekerasan yang tinggi. Logam yang paling keras mempunyai kekerasan pada skala Mohs, antara 4 sampai 8. Suatu jenis lain pengukuran kekerasan dengan

metode gores adalah mengukur kedalaman atau lebar goresan pada permukaan benda uji yang dibuat oleh jarum penggores yang terbuat dari intan dan diberi beban yang terbatas. Cara ini merupakan metode yang sangat berguna untuk mengukur kekerasan relatif kandungan-kandungan mikro, tetapi metode ini tidak memberikan ketelitian yang besar atau kemampuan yang tinggi (Adawiyah, 2015).

Skala Mohs diabadikan dalam kurikulum geosains sebagai alat sederhana dan efektif untuk mengidentifikasi mineral dan memahami pengaruh struktur kristal dan kimia pada sifat fisik; misalnya, kekerasan. Mengukur resistansi gores berbeda dengan pengukuran kekerasan, namun, karena menggores melibatkan komponen pemuatan dan pemangkasan, sedangkan kekerasan "absolut" diukur dengan respon material terhadap pemuatan vertikal (indentasi) (Whitney, et al., 2007).

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

IV.1. Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, SiO₂ (HK 125), LiOH (Merck), Asam sitrat (Merck), dan Akuades (Laboratorium Balai Konservasi Borobudur)

IV.2. Alat

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker (Iwaki) 50 mL, gelas beker (Iwaki) 100 mL, gelas beker (Iwaki) 500 mL, gelas ukur (Pyrex) 50 mL, gelas ukur (Pyrex) 100 mL, batang pengaduk, pipet tetes, labu ukur (Pyrex) 100 mL, pipet ukur 10 mL, thermometer, kaca arloji, oven (Memert), XRF Portabel (Olympus DP-2000 *High Count Rate*), dan alat uji kekerasan (skala Mohs).

IV. 3. Cara Kerja

3. 1. Persiapan Sampel

Sampel fosil disapkan dengan menumbuk fosil hingga berbentuk serpihan dan serbuk halus. Fosil dimasukkan dalam alat penyaring dengan ukuran 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; dan 1 mesh, dan komposisi mortar disesuaikan dengan komposisi Fuller dalam 10 gram mortar.

Ukuran (mm)	<0,063	0,063-0,125	0,125-0,250	0,250-0,500	0,500-1,000
Masa	4,363	0,996	1,239	1,525	1,877

Tabel IV.1 Komposisi fuller dalam 10 gram mortar

3.2. Sintesis Litium Silikat

Litium silikat dibuat dengan metode *sol-gel*. Litium silikat disintesis dari LiOH₂.H₂O, dilarutkan dengan aquades. Larutan yang sudah homogen kemudian diatur pH hingga 8,5 dengan asam sitrat dan dijaga konsentrasi LiOH tetap 0,3 mol.L⁻¹. SiO₂ dimasukan dalam larutan dan dipanaskan hingga terbentuk gel

transparan pada suhu 70 °C. Gel transparan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 150 °C selama 2 jam dan dikalsinasi pada temperatur 675 °C selama 4 jam. Litium silikat dibuat dalam perbandingan mol $\text{LiOH}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ dan SiO_2 yaitu 4:1 mol.

3.3. Pembuatan Mortar Batu Fossil

Sebanyak 10 gram serbuk batuan fosil yang telah dihancurkan dimasukkan kedalam gelas beker dan ditambahkan dengan larutan litium silikat 10% b/v secukupnya, yang dihasilkan dari rasio mol $\text{LiOH}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$, dan SiO_2 yaitu 4:1 mol. Campuran tersebut kemudian dimasukkan kedalam cetakan kubus kemudian dibiarkan mengeras selama 15 hari. Batuan yang sudah mengeras dilakukan uji kekerasan dengan skala Mohs dan analisis kandungan dengan XRF.

BAB V

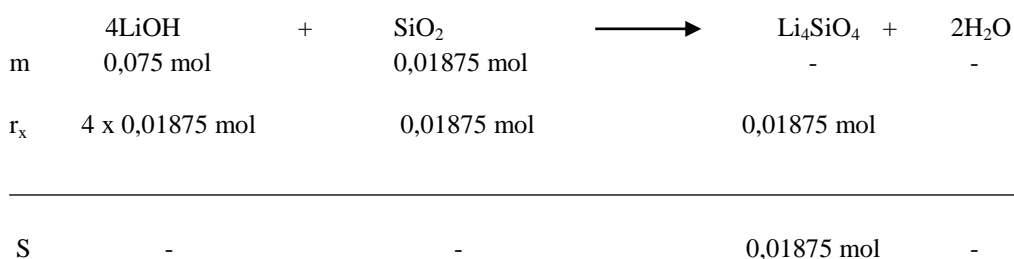
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan konsolidan litium silikat untuk konsolidasi batuan fosil. Litium silikat dapat digunakan untuk konsolidasi pada batuan dalam lingkungan yang memiliki kelembaban tinggi atau air. Litium silikat tidak memiliki kelompok hidrofobik dan reaksi dapat berlangsung sepenuhnya dalam lingkungan hidrofilik, sehingga litium silikat memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai konsolidan pada batu dengan kondisi basah atau lembab. Litium silikat dibuat dengan sintesis menggunakan metode *sol-gel*. *Sol-gel* merupakan bagian dari koloid. Metode *sol-gel* adalah metode basah karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya, dimana pada proses ini terjadi pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah. Pada proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel). Digunakan metode *sol-gel* karena pada proses *sol-gel* reaktan tercampur lebih homogen dibandingkan pada proses reaksi keadaan solid. Hal ini karena pada proses *sol-gel* terdapat kontak cairan – cairan dan laju reaksinya lebih cepat. Metode *sol-gel* memiliki keuntungan, yaitu mudah dalam kontrol komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik), temperatur proses rendah, dan biaya murah.

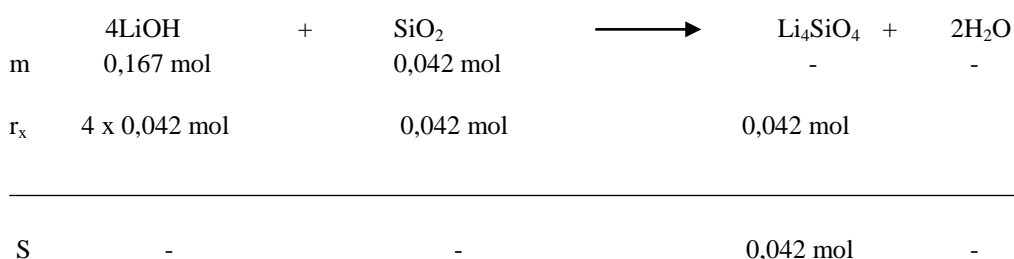
Metode *sol-gel* ini terdapat 4 tahap, yaitu hidrolisis, kondensasi, pematangan atau aging, dan kalsinasi. Pada tahap hidrolisis, SiO_2 dilarutkan dalam $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ dan terhidrolisis dengan penambahan air pada kondisi asam, dengan penambahan asam sitrat. Faktor yang berpengaruh terhadap proses hidrolisis adalah rasio air atau prekursor dan jenis katalis hidrolisis yang digunakan. Peningkatan rasio pelarut atau prekursor akan meningkatkan reaksi hidrolisis. Katalis yang digunakan pada proses hidrolisis adalah jenis katalis asam atau katalis basa. Dengan adanya katalis maka proses hidrolisis akan berlangsung lebih cepat dan konversi menjadi lebih tinggi. Dalam penelitian ini, katalis yang digunakan adalah katalis asam yaitu asam sitrat.

Litium silikat tidak memiliki kemampuan mengikat, sehingga perlu dihidrolisis dengan air untuk membentuk gel sebagai agen pengikat yang sebenarnya. Faktor penting yang dapat mempengaruhi efisiensi reaksi ini adalah faktor-faktor seperti jumlah air dan asam sitrat, stabilitas pH, pelarut yang digunakan, konsentrasi masing-masing spesies dalam larutan atau campuran reaksi, suhu reaksi, dan rasio molar air terhadap alkoksida.

Digunakan LiOH karena dalam metode *sol-gel*, gel harus disiapkan dengan hidrolisis litium silikat dengan alkohol atau larutan air yang mengandung senyawa litium seperti LiOH, LiNO₃, atau CH₃OLi. Asam sitrat digunakan sebagai pengatur pH karena reaksi LiOH dengan SiO₂ menghasilkan larutan basa kuat, sehingga perlu penambahan asam sitrat yang bersifat asam untuk menurunkan pH menjadi 8,5. Digunakan asam sitrat karena asam sitrat memiliki kelarutan tinggi dan toksisitas rendah. Rasio LiOH.H₂O dengan SiO₂ yang digunakan adalah 4:1. Digunakan rasio ini karena pada referensi (skripsi Maya) pada rasio tersebutlah tidak ada endapan pengotor pada permukaan mortar yang dibuat. Hal ini, dikarenakan pada perbandingan 4:1, reaksi sintesis adalah stoikiometri (hubungan kuantitatif dari reaktan dan produk dalam reaksi kimia), sehingga dapat menghasilkan litium silikat murni tanpa ada sisa reaktan yang dapat merubah warna. Reaksi yang terjadi pada perbandingan mol 4:1 :



Pada penelitian ini, litium silikat yang ingin dihasilkan adalah 5 gram, sehingga reaksinya menjadi

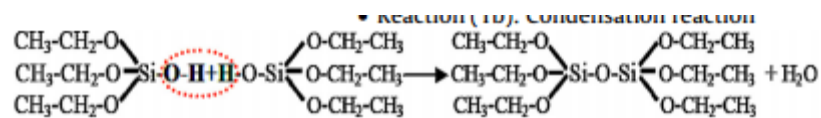


Sintesis litium silikat dimulai dengan menimbang padatan LiOH dan asam sitrat. Kemudian, LiOH dan asam sitrat masing – masing dilarutkan dengan akuades dalam wadah yang berbeda. Ketika melarutkan LiOH diusahakan dilakukan di ruang terbuka untuk mengurangi penghirupan oleh hidung, karena LiOH memiliki sifat berbau menyengat. Pelarutan LiOH dan asam sitrat dilakukan pengadukan untuk mempercepat larutnya padatan akibat tumbukan molekul yang semakin intensif. Pada LiOH, pelarutan relatif lama karena sifatnya yang sukar larut air, sedangkan pada pelarutan asam sitrat, reaksi yang terjadi adalah reaksi endoterm, terjadi perpindahan kalor ke lingkungan, yang ditandai dengan menurunnya suhu larutan asam sitrat, gelas wadah apabila dipegang terasa dingin. Penambahan asam sitrat berfungsi untuk mengatur pH larutan, sehingga larutan asam sitrat dibuat konsentrasi 50%, 5%, dan 1%. pH larutan LiOH dibuat 8,5 karena pada pH tersebut, pH basa LiOH dapat bereaksi secara maksimal dengan SiO₂ yang nantinya akan dicampurkan.

Larutan LiOH dimasukkan dalam labu takar 100 mL dan ditambah akuades hingga volume larutan menjadi 70 mL. Larutan asam sitrat 50% ditambahkan perlahan menggunakan pipet ukur. Pada larutan campuran, pH dicek menggunakan kertas indikator pH. Keadaan larutan masih sangat basa, pada penambahan asam sitrat 50% awal, yaitu sekitar 12. Larutan asam sitrat ditambahkan terus menerus hingga pH semakin turun, namun, larutan LiOH tetap dijaga konsentrasinya, yaitu 0,3 mol.L⁻¹. Larutan dijaga pada konsentrasi tersebut karena pada 0,3 mol.L⁻¹ merupakan konsentrasi optimum larutan LiOH untuk dapat bereaksi secara maksimal. Pada pH sekitar 10, penurunan pH dilakukan dengan penambahan larutan asam sitrat konsentrasi 5%. Penambahan asam sitrat 50% untuk menurunkan pH menjadi 12 sangat banyak, yaitu 22 mL, sedangkan penambahan asam sitrat 5% dilakukan secara tetes per tetes. Hal ini karena apabila suatu larutan telah mengalami penurunan pH, maka akan sangat mudah turun, sehingga untuk menghindari turunnya pH secara berlebihan, maka penambahan dilakukan dengan penetesan. Pada pH sekitar 9, mulai digunakan larutan asam sitrat 1% secara tetes per tetes dan digunakan pH meter untuk

mengukur pH hingga diperoleh pH 8,5 karena pH meter memiliki sensitifitas dan ketelitian yang lebih tinggi.

Setelah pH mencapai 8,5, larutan campuran dituang dalam gelas beker dan ditambah padatan serbuk SiO_2 , kemudian dipanaskan pada suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ dan diaduk 160 rpm dengan stirrer. Dilakukan pemanasan $70\text{ }^\circ\text{C}$ karena merupakan suhu optimum LiOH dan SiO_2 dapat bereaksi pada keadaan basa pH 8,5. Pemanasan dilakukan selama 48 jam hingga terbentuk gel pada larutan, yang merupakan gel litium silikat. Terbentuknya gel ini merupakan tahap kondensasi pada proses *sol-gel*. Pada tahapan ini terjadi proses transisi dari sol menjadi gel.



Gambar V.1 Reaksi kondensasi litium silikat

Reaksi kondensasi melibatkan ligan hidroksil untuk menghasilkan polimer dengan ikatan Si-O-Si kovalen. Ikatan tersebut menstabilkan kekuatan material batuan. Gel litium silikat adalah gel yang berupa cairan kental bening, namun pada penelitian ini gel yang terbentuk kurang kental dan keruh. Hal ini karena waktu pemanasan dan suhu yang kurang. Suhu yang diatur adalah $70\text{ }^\circ\text{C}$ lingkungan, bukan merupakan suhu sistem, serta suhunya kurang terjaga karena gelas beker tidak dalam keadaan vacuum. Gelas beker tidak ditutup pada awal pemanasan, selama sekitar 40 jam, baru setelah itu ditutup dengan alumunium foil dan suhu ditingkatkan agar suhu sistem $70\text{ }^\circ\text{C}$. Setelah hal tersebut dilakukan, baru mulai terbentuk gel litium silikat.



Gambar V.2 Pemanasan dan stirrer litium silika



Gambar V.3 Larutan litium silika hasil pemanasan 70 °C

Gel litium silikat yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring Whatman. Digunakan kertas saring Whatman karena kertas saring Whatman (*ashless filter paper*) adalah kertas saring yang memiliki kadar abu sangat rendah ($< 0,1$ mg). Karakteristik kertas saring Whatman ini adalah berpori-pori medium (sedang), untuk penyaringan dengan kecepatan sedang, dan untuk menyaring endapan berbentuk kristal sedang.



Gambar V.4 Penyaringan gel litium silika dengan kertas saring Whatman

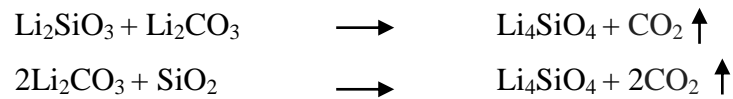
Setelah reaksi hidrolisis dan kondensasi, dilanjutkan dengan proses pematangan gel yang terbentuk. Proses ini lebih dikenal dengan nama proses aging. Pada proses pematangan ini terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat dan menyusut didalam larutan. Pada proses aging, gel dimasukkan dalam oven 150 °C selama 3 jam. Pemanasan 150 °C ini berfungsi untuk menguapkan air yang masih terkandung dalam gel litium silikat, sehingga diperoleh gel litium silikat yang kering bebas air.



Gambar V.5 Gel litium silika setelah oven 150 °C

Tahap terakhir proses *sol-gel* adalah kalsinasi (pengeringan). Kalsinasi adalah proses penguapan larutan dan cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan struktur *sol-gel* yang memiliki luas permukaan yang tinggi. Kalsinasi berguna untuk melepaskan template yang digunakan saat proses sol gel. Padatan yang diperoleh dikalsinasi dengan furnace 650 °C selama 4 jam.

Tujuan dari dilakukannya furnace pada suhu dan waktu tersebut adalah karena litium silikat yang disintesis dengan metode sol gel pada suhu pemanasan tersebut memiliki morfologi yang berbeda. Padatannya berbentuk butiran buSlat dan distribusi ukurannya homogen, rata – rata 100 nm. Ukuran tersebut jauh lebih kecil dibandingkan sampel yang dihasilkan dari reksi dalam keadaan padatan. Reaksi yang terjadi pada pemanasan 650 °C :



Hasil furnace didapatkan padatan putih dan terdapat hitam – hitam. Seharusnya hasil yang didapatkan adalah padatan putih, namun masih terdapat karbon dari silica dalam padatan sehingga mengakibatkan padatan litium silica kurang murni. Padatan litium silikat dilarutkan dalam akuades dengan konsentrasi dibuat 10% b/v.



Gambar V.6 Gel litium silika hasil furnace 650 °C



Gambar V.7 Gel diencerkan konsentrasi 10% b/v

Batuan fosil ditumbuk hingga halus kemudian disaring dengan penyaring mikro. Dengan ukuran penyaring 0,063; 0,125; 0,25; 0,50; dan 1,00. Menggunakan saringan tersebut, dapat dipisahkan serbuk fosil berdasarkan ukurannya. Serbuk tersebut kemudian ditimbang tiap ukurannya berdasarkan perhitungan, dan dicampur untuk membuat mortar. Mortar adalah bahan yang merupakan hasil dari campuran antara agregat (seperti butir pasir), bahan pengikat atau binder (seperti kapur, semen, dan lainnya) dan air. Serbuk kemudian dicampur dengan larutan litium silikat secukupnya pada cetakan kayu berbentuk kotak yang telah dibuat. Campuran litium silikat dengan serbuk tersebut disebut mortar. Mortar didiamkan selama 15 hari. Mortar fosil yang terbentuk membentuk batuan padat dan keras berwarna coklat tua.

Mortar yang telah jadi dianalisis kandungannya menggunakan XRF dan kekuatannya dengan uji skala Mohs. Analisis XRF ini digunakan untuk menganalisis unsur dalam mineral atau batuan fosil. Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah unsur yang terkandung dan kadarnya dalam batuan fosil. Prinsip kerja XRF ini adalah penembakan sinar X primer yang berasal dari sumber pengeksitasi pada batuan fosil. Pancaran radiasi dari sinar X tersebut akan berinteraksi dengan fosil dalam efek fotolistrik. Proses interaksi tersebut akan menghasilkan pendaran sinar X sekunder dari fosil, yang kemudian ditangkap oleh detektor. Analisis XRF pada mortar batuan fosil menunjukkan bahwa Ca dan SiO₂ merupakan kandungan utama mortar fosil ini, dimana kandungan Ca adalah 21,943±0,251% dan kandungan SiO₂ adalah 14,27±0,712%. SiO₂ merupakan kandungan yang dapat memberikan kekerasan pada batuan.

Analisis	SiO ₂ (%)
I	13,898
II	15,100
III	13,837
Rata – rata	14,278 ± 0,712

Tabel V.1 Kandungan SiO₂ dalam mortar fosil

Apabila dibandingkan dengan hasil analisis XRF pada batuan fosil sebelum dikonsolidasi, kandungan SiO₂ dalam fosil adalah :

Analisis	SiO ₂ (%)
I	12,871
II	12,591
III	12,995
Rata – rata	12,819±0,207

Tabel V.2 Kandungan SiO₂ dalam fosil

Hasil tersebut menandakan bahwa kandungan SiO₂ dalam fosil setelah dilakukan konsolidasi dengan menggunakan konsolidan litium silikat sedikit bertambah,

sehingga tidak terlalu mempengaruhi kekerasan fosil. Hal ini dibuktikan pada uji skala Mohs. Pada uji skala Mohs, fosil memiliki kekuatan 2-3 Mohs. Apabila dibandingkan dengan uji skala Mohs pada fosil sebelum dikonsolidasi, kekuatannya sama, yaitu 2-3, sehingga litium silikat berhasil dalam konsolidasi batuan fosil karena dapat mempertahankan kekuatan. Tidak terdapat litium yang terbaca dalam analisis XRF sampel mortar, sedangkan konsolidan yang digunakan pada fosil adalah litium silikat. Hal ini karena litium tidak terdeteksi oleh XRF, karena panjang gelombang yang dipancarkan oleh alat tidak lebih tinggi dari panjang gelombang yang diserap oleh litium.

Menurut Haldoko, dkk., (2014) kekerasan mortar dipengaruhi oleh komposisi kimia batuan, terutama kandungan SiO_2 . Semakin tinggi kandungan SiO_2 dalam mortar maka tingkat kekerasannya akan semakin tinggi. Litium silikat dapat mengkonsolidasi batuan fosil karena dalam batuan fosil terkandung mineral silikat. Molekul silika pada litium silikat secara kimiawi mirip dengan mineral silikat dalam batuan, oleh karena itu silika menunjukkan kompatibilitas yang sangat baik dengan batu yang memiliki komposisi berbasis silikat.



Gambar V.8 Mortar fosil hasil konsolidasi litium silikat

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, konsolidasi terhadap batuan fosil berhasil dilakukan dengan mencampur fosil dengan konsolidan yaitu gel litium silika. Kandungan SiO₂ sebelum dan sesudah konsolidasi adalah 12,819±0,207% dan 14,278±0,712% serta kekerasan fosil sebelum dan sesudah konsolidasi sebesar 2-3 skala Mohs.

VI.2 Saran

Lebih memperhatikan prinsip kerja alat dan sifat bahan yang digunakan karena dapat mempengaruhi baik atau buruknya hasil yang diperoleh. Contoh dalam penelitian ini adalah pemanasan pada sintesis litium silika, suhu yang kurang terjaga mengakibatkan gel litium silikat yang diperoleh tidak maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R., 2015, Pengaruh Beda Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Kekerasan Baja Pegas Daun, *Jurnal Poros Teknik*, 7 (1), 3.
- Andianto, N.E., Lelana, A., dan Ismanto, 2012, *Identifikasi Fosil Kayu dari Kali Cemoro Kabupaten Sragen, Jawa Tengah*, Prosiding Seminar Nasional Biologi, Prospektif Biologi dalam Pengelolaan Sumber Hayati. Fakultas Biologi, UGM, Yogyakarta.
- Ansori, C., 2010, Model Mineralisasi Opal Banten, *Jurnal Geologi Indonesia*, 5 (3), 152-153.
- Arif, J., dan Siregar, D., 2014, *Analisis Kandungan Fluorine (F) di Dalam Fosil Tulang dan Gigi: Kasus Dari Gua Pawon, Sangiran, dan Kalitidu*, Forum Arkeologi, 27 (3), 187-188.
- Ashour, A., El-Sharkawy, S., Amer, M., Marzouk, A., Zaki, A., Kishikawa, A., Ohzono, M., Kondo, R., dan Shimizu, K., 2014, Production of Citric Acid from Corncobs with Its Biological Evaluation, *Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications*, 4, 142.
- Badudu, J.S. dan S.M. Zein, 2001, *Kamus Umum Bahasa Indonesia*, Pustaka Sinar Harapan, Jakarta.
- Brima, E. I., dan Abbas, A. M., 2014, Determination of Citric acid in Soft drinks, Juice drinks and Energy drinks using Titration, *Int. J. Chem*, 1 (6), 30.
- Chang, C.C., Wang, C.C., and Kumta, P.N., 2001, Chemical synthesis and characterization of litium ortho silikat Li_4SiO_4 , *Journal of Materials and Design*, 1, 617-623.
- Choi, J., Park, S., Won, J., Choi, Y., Kang, Y., dan Lee, M., 2012, *Effect Of Pretreatment For Teos Based Stone Consolidants*, 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University, New York.

- Dixit, R.M., and Deshpande S.S., 1985, *X-Ray Florescence Detrmination of Pr, Nd, Gd, Tb, Dy and Y In High Purity Europium Oxide*, Bhabha Atomic Research Centre, Bombay India.
- Eugene, B.P., 1978, *Introduction to X-Ray Spectrometry Analysis*, Plenum Press, New York.
- Gupta, S.P., 2011, Chemical Conservation of Chamunda Devi With Ethyl Silicates Stone Consolidant, *Int. J. Chem. Sci.*, 9, 4, 1987-1992.
- Haldoko, L.A., Muhammad, R., dan Purwoko, W., 2014, Karakteristik Batu Penyusun Candi Borobudur, *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 8 (1), 38-47.
- Hermann, A., Ashcroft, N. W., dan Hoffmann, R., 2014, Lithium Hydroxide, LiOH, at Elevated Densities, *J. Phys. Chem.*, 141, 1.
- Kalnicky, D. J., dan Singhvi Raj, 2001, Field Portable XRF Analysis of Environmental Sample, *J. Hazard. Mater*, 83, 93-94.
- Matteini, M., 2013, *Inorganic Treatments For The ConsolidatIion and Protection of Stone Artefacts and Mural Paintings*, Conservation Science in Cultural Heritage, 8, 13-27.
- Mosquera, M.J., Santos, D.M.D.L., Rivas, T., Sanmartín, P., dan Silva, B., 2009, *New Nanomaterials for Protecting and Consolidating Stone*, Research Gate, 8, 1-12.
- Music, S., Filipovic-Vincekovic, N., dan S8-9ekovanic, L., 2011, Precipitation of Amorphous SiO₂ Particles and Their Properties, *Braz. J. Chem. Eng.*, 28 (1), 89.
- Palomo, A., Blanco-Varela, M.T., Martinez-Ramirez, S., Puertas, F., dan Fortes, C., 2006, *Characterization and Durability*, New Tendencies for Research, Eduardo Torroja Institute, Madrid.
- Pfeiffer, H., Bosch, P., dan Bulbulian, S., 1998, Synthesis of Lithium Silicates, *J. Nucl. Mater.*, 257, 309.
- Shackley, M. S., 2011, *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, Department of Archaeology University of California, USA.

- Siddique, R., 2011, Review, *Utilization of Silica Fume in Concrete*, Review Of hardened Properties, Resources, Conservation and Recycling 55, 923 – 932.
- Sukronedi, 2012, Konservasi Fossil, *Jurnal Sangiran*, 1, 57-58.
- Thorn, A., 2011, *The Consolidation and Bonding of Water-Saturated Siliceous Stone With Litium Silicate*, Columbia University, New York.
- Thorn, A., 2012, *Litium Silicate Consolidation of Wet Stone and Plaster*, Columbia University, New York.
- Wheeler, G.E., 2005, *Alkoxysilanes and The Consolidation of Stone*, Getty Publications, Los Angeles.
- Whitney, D. L., Fayon, A. K., Broz, M. E., and Cook, R. F., 2007, Exploring the Relationship of Scratch Resistance, Hardness, and other Physical Properties of Minerals using Mohs Scale Minerals, *J. Geosci.*, 55 (1), 5.
- Wu, S., Wen. Z., Xu. X., and Liu.Y., 2009, Synthesis and Characterization of Li₄SiO₄ Nano-Powders by a Water-Based Sol–Gel Process. *J. Nucl. Mater.*, 1, 222-226.
- Wu, X., Wen, Z., Xu, X., and Liu, Y., 2010, Fabrication of Li₄SiO₄ Pebbles by a Sol–Gel Technique, *Journal of Fusion Engineering and Design* 200050, PR China.

LAMPIRAN

I. Lampiran Tabel

Lampiran I.1 Uji XRF Fosil

Analisis	Al	Al +/-	Si	Si +/-
I	1,69	0,07	6,0168	0,0468
II	1,50	0,07	5,8858	0,0466
III	1,590	0,07	6,0749	0,0477
Rata – rata	1,593	0,07	5,9925	0,047033

Analisis	SiO ₂	P	P +/-	Ca
I	12,8712	8,5844	0,0452	23,29
II	12,5908	8,4668	0,0452	23,12
III	12,9954	8,5609	0,0457	23,51
Rata – rata	12,81913333	8,537367	0,045367	23,30667

Analisis	Ca +/-	Ti	Ti +/-	V
I	0,1	0,1567	0,0134	0,0785
II	0,1	0,1571	0,0135	0,08
III	0,1	0,1509	0,0135	0,0809
Rata – rata	0,1	0,1549	0,013467	0,0798

Analisis	V +/-	Cr	Cr +/-	Mn
I	0,0077	ND		1,9919
II	0,0078	0,0178	0,0056	1,9729
III	0,0079	0,0191	0,0058	2,0069

Rata – rata	0,0078	0,01845	0,0057	1,990567
-------------	--------	---------	--------	----------

Analisis	Mn +/-	Fe	Fe +/-	Ni
I	0,0207	6,6633	0,0392	0,0104
II	0,0207	6,4602	0,0388	0,0098
III	0,0211	6,6285	0,0397	0,011
Rata – rata	0,020833	6,584	0,039233	0,0104

Analisis	Ni +/-	Cu	Cu +/-	Zn
I	0,0013	0,0064	0,0009	0,0143
II	0,0013	0,0057	0,0008	0,0152
III	0,0013	0,0078	0,0009	0,0157
Rata – rata	0,0013	0,006633	0,000867	0,015067

Analisis	Zn +/-	As	As +/-	Zr
I	0,0009	0,0027	0,0003	0,0115
II	0,001	0,0028	0,0003	0,0109
III	0,001	0,0023	0,0003	0,0114
Rata – rata	0,000967	0,0026	0,0003	0,011267

Analisis	Zr +/-	Ag	Ag +/-	Cd
I	0,0003	0,017	0,0008	0,024
II	0,0003	0,0158	0,0008	0,0246
III	0,0003	0,0174	0,0009	0,0283
Rata – rata	0,0003	0,016733	0,000833	0,025633

Analisis	Cd +/-	Sn	Sn +/-	Sb
I	0,001	0,0091	0,0004	0,0131
II	0,001	0,0091	0,0004	0,013
III	0,001	0,0095	0,0005	0,0134
Rata – rata	0,001	0,009233	0,000433	0,013167

Analisis	Sb +/-	W	LE	LE +/-
I	0,0005	0,0051	51,42	0,21
II	0,0006	ND	52,24	0,21
III	0,0006	ND	51,26	0,21
Rata – rata	0,000567	0,0051	51,64	0,21

Lampiran I.2 Uji XRF Mortar Fosil

Analisis	Al	Si	SiO2	P
I	1,74	6,4969	13,898	8,0928
II	1,9	7,06	15,1	7,6456
III	1,73	6,4683	13,8369	8,0954
Rata – rata	1,79	6,675067	14,2783	7,9446

Analisis	Ca	Ti	V	Cr
I	21,84	0,1701	0,0929	0,0239
II	22,23	0,1957	0,0825	ND
III	21,76	0,1677	0,0869	0,0203
Rata – rata	21,94333	0,177833	0,087433	

Analisis	Mn	Fe	Ni	Cu
I	1,9229	6,2801	0,0084	0,0063
II	1,7664	5,7814	0,0078	0,007
III	1,9164	6,2945	0,0093	0,0074
Rata – rata	1,868567	6,118667	0,0085	0,0069

Analisis	Zn	As	Zr	Ag
I	0,0147	ND	0,0111	0,0162
II	0,0157	0,0023	0,0104	0,0174
III	0,0142	0,002	0,0111	0,0179
Rata – rata	0,014867		0,010867	0,017167

Analisis	Cd	Sn	Sb	W
I	0,0272	0,0086	0,0123	0,0047
II	0,0272	0,0085	0,0129	ND
III	0,027	0,0087	0,0126	ND
Rata – rata	0,027133	0,0086	0,0126	

Analisis	Pb
I	0,001
II	ND
III	ND
Rata – rata	

Lampiran I.3 Uji XRF Litium Silikat

Analisis	Mo +/-	Ag	Ag +/-	Cd
I		0,0105	0,0006	0,0156
II		ND		0,015
III	0,0002	0,0109	0,0006	0,0158
Rata – rata	0,0002	0,0107	0,0006	0,015467

Analisis	Cd +/-	Sn	Sn +/-	Sb
I	0,0007		0,0003	0,0083
II	0,0007		0,0003	0,0074
III	0,0007	0,0002	0,0003	0,0082

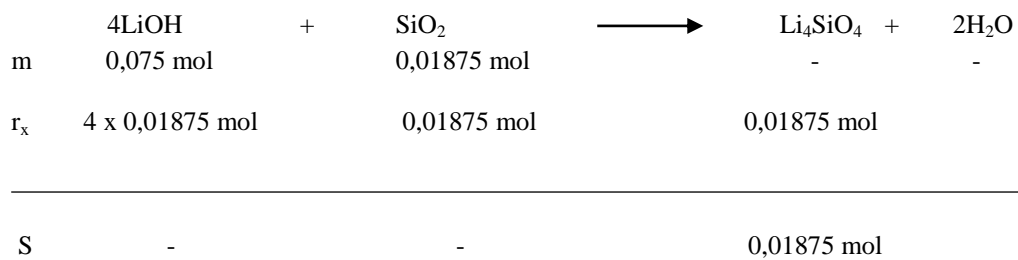
Rata – rata	0,0007	0,005833	0,0003	0,007967	
Analisis	Sb +/-	Pb	Pb +/-	LE	LE +/-
I	0,0004	0,0007	0,0002	63,81	0,14
II	0,0004	0,0008	0,0002	64,33	0,13
III	0,0004	ND		63,96	0,13
Rata – rata	0,0004	0,00075	0,0002	64,03333	0,133333

II. Lampiran Perhitungan

Lampiran II. 1 Perhitungan massa LiOH dan SiO₂

$$\begin{aligned} \text{mol LiOH} &= 0,3 \text{ mol/L} \times 0,25 \text{ L} \\ &= 0,075 \text{ mol} \\ \text{gram LiOH} &= 0,075 \text{ mol} \times 41,941 \text{ g/mol} \\ &= 3,1456 \text{ g} \\ \text{gram SiO}_2 &= \frac{1}{4} 0,075 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} \\ &= 1,1125 \text{ g} \end{aligned}$$

Lampiran II. 2 Masa hasil litium silikat secara teoritis



$$\begin{aligned} \text{Gram Litium silikat} &= \text{mol} \times \text{Mr} \\ &= 0,01875 \text{ mol} \times 119,84 \text{ g/mol} \\ &= 2,247 \text{ g} \end{aligned}$$

Lampiran II. 3 Perhitungan untuk menghasilkan 5 g litium silikat

$$\begin{aligned} \text{Gram litium silica} &= \frac{5 \text{ g}}{2,247 \text{ g}} = 2,225 \text{ g} \\ \text{mol LiOH.H}_2\text{O} &= 2,225 \text{ g} \times 0,075 \text{ mol} = 0,167 \text{ mol} \\ \text{mol SiO}_2 &= 2,225 \text{ g} \times 0,01875 \text{ mol} = 0,042 \text{ mol} \\ \text{gram LiOH.H}_2\text{O} &= 0,167 \text{ mol} \times 41,963 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 7,008 \text{ g} \\ \text{gram SiO}_2 &= 0,042 \text{ mol} \times 60,084 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2,523 \text{ g} \end{aligned}$$

Lampiran II. 4 Perhitungan persen rendemen hasil sintesis litium silikat

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{gram hasil}}{\text{gram teori}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,139}{2,247} \times 100\%$$

$$= 50,690\%$$

