

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Cagar Budaya menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 merupakan warisan budaya bersifat kebendaan berupa Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, Struktur Cagar Budaya, Situs Cagar Budaya, dan Kawasan Cagar Budaya di darat dan/atau di air yang perlu dilestarikan keberadaannya karena memiliki nilai yang penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan melalui proses penetapan. Pengertian Bangunan Cagar Budaya juga dijelaskan sebagai susunan binaan yang terbuat dari benda alam atau buatan manusia untuk memenuhi kebutuhan ruang ber dinding dan/atau tidak ber dinding dan beratap.

Kegiatan pelestarian cagar budaya salah satunya dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur (BKB) sebagai pusat pengembangan dan kajian konservasi cagar budaya di bawah Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. Kajian konservasi yang dilakukan berupa konsolidasi dengan bahan kimia, baik dari hasil isolasi bahan alam maupun hasil sintesis di laboratorium. Konsolidasi tersebut dilakukan pada material penyusun bangunan cagar budaya seperti kayu dan batuan untuk memperkuat strukturnya.

Batu bata merupakan salah satu material penyusun bangunan cagar budaya di Indonesia misalnya, di wilayah Jawa Timur, Jawa Barat, Bali, Jambi, dan Sumatera Barat. Menurut Martinez dkk. (2016) batu bata mudah mengalami destruksi atau pelapukan jika dibandingkan dengan material bangunan lainnya karena porositasnya yang relatif tinggi antara 11-40% pada bangunan kontemporer dan 30-38% pada bangunan bersejarah. Porositas yang terinterkoneksi dapat memfasilitasi transport air dan agen pendestruksi masuk ke dalam matriks batu bata sehingga semakin mudah mengalami destruksi. Salah satu contoh kerusakan dan pelapukan batu bata menurut Swastikawati (2011) yaitu pada bata pengganti Candi Brahu di Trowulan, Jawa Timur akibat proses fisik, mekanik, biologis, dan kimia.

Konsolidasi terhadap batuan yang lapuk telah banyak dilakukan seperti dengan tetra-etil orto silikat (TEOS), *methyltrimethoxysilane* (MTMOS), Paraloid B72 (kopolimer etil-metakrilat), dan Tegovakon. Menurut Martinez dkk. (2016) TEOS sebagai konsolidan memiliki kelemahan yaitu tidak dapat diaplikasikan pada batuan dengan kelembaban tinggi karena sifatnya yang hidrofobik. Pada kondisi tersebut hidrolisis akan terjadi secara cepat dan meninggalkan residu Si-OH yang menyebabkan keretakan. Pada kondisi dengan kelembabannya rendah, material yang terhidrolisis tidak retak namun terjadi evaporasi monomer yang tinggi sehingga mereduksi jumlah akhir dari polimer yang terendapkan dalam substrat batuan.

Pinto dan Rodrigues (2008) melaporkan bahwa konsolidasi dengan MTMOS belum maksimal karena afinitas kimia yang rendah antara kalsit dengan molekul silika setelah kondensasi alkoksilan dan cenderung retak saat pengeringan karena kerusakan *gel*. Penggunaan Paraloid B72 sebagai cat pelapis dalam konservasi benda seni dan Tegovakon sebagai etil silikat yang khusus untuk konsolidasi material yang kaya akan Si misalnya batu bata ternyata menyebabkan warna batuan menjadi lebih gelap (Agan, 2016).

Litium silikat mengatasi kekurangan etil silikat dengan membentuk litium karbonat dan kalsium silikat selain pembentukan silika. Konsolidan ini dapat diterapkan pada batu dengan kondisi basah atau lembab sehingga dapat mengatasi masalah ketidakcocokan yang dihadapi dengan silan, dimana telah diterapkan pada substrat kalsit (Wheeler, 2005).

Kelompok hidrofobik tidak terdapat pada litium silikat sehingga reaksi dapat berlangsung sepenuhnya dalam lingkungan hidrofilik dan berpotensi besar sebagai konsolidan untuk permukaan basah. Konsolidasi yang telah dilakukan ini terkait dengan empat lokasi yaitu tuff vulkanik di Selandia Baru, sebuah gua kapur di Kepulauan Chatham, sebuah kalsit terkonsolidasi gundukan pasir di Australia Barat, dan konglomerat berbutir halus di Uluru di Australia Tengah.. Ketidakcocokan antara kelembaban dan konsolidan dan antara kalsit dan silan telah diatasi dengan sistem saat ini (Thorn, 2012). Litium silikat juga menjadi cat yang paling efektif untuk menjaga kekuatan batu dan penampilan batuan. Hal ini

telah dibuktikan pada penelitian konsolidasi batuan kapur Sanliurfa oleh Agan (2016).

Berdasarkan pada kelebihan konsolidan litium silikat yang telah disebutkan di atas maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efek konsolidasinya pada batu bata melalui uji pembuatan mortar. Kekerasan dan komposisi kimia dalam mortar digunakan sebagai parameternya. Litium silikat disintesis dari litium hidroksida monohidrat ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) dan aerosil (SiO_2) serta asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) yang berperan sebagai agen khelat.

I.2 Ruang Lingkup

Lingkup kerja praktek mahasiswa di Balai Konservasi Borobudur yaitu pada kajian konservasi cagar budaya di bawah pengawasan Seksi Konservasi Balai Konservasi Borobudur. Kegiatan kerja praktek yang dilakukan adalah kajian konservasi batu bata dengan konsolidan litium silikat.

I.3 Tujuan Kegiatan

1. Mengetahui hasil sintesis dan karakterisasi litium silikat dengan menggunakan bahan baku litium hidroksida (LiOH) dan *fumed silica* (SiO_2) dengan rasio mol 4:1.
2. Mengetahui karakteristik mortar batu bata hasil konsolidasi dengan litium silikat.

I.4 Waktu Pelaksanaan

Praktek Kerja Lapangan ini dilaksanakan mulai tanggal 21 Desember 2016 sampai 20 Januari 2017 di Laboratorium Kimia, Balai Konservasi Borobudur, Jalan Badrawati, Borobudur, Magelang, Jawa Tengah.

BAB II

TINJAUAN INSTANSI

II.1 Sejarah Singkat Balai Konservasi Borobudur

Balai Konservasi Borobudur adalah Unit Pelaksana Teknis (UPT) di lingkungan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. Balai 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/OT.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.

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 Medukung Kelestarian Candi Borobudur .
3. Sebagai Warisan Dunia dan Balai Konservasi Borobudur Sebagai Pusat Kajian Konservasi Cagar Budaya.
4. Meningkatnya Kajian Konservasi Cagar Budaya.
5. Diperolehnya Bahan Konservasi Cagar Budaya Yang Lebih Ramah Lingkungan.
6. Meningkatnya Apresiasi Masyarakat Terhadap Candi Borobudur.

II.2 Tugas Pokok dan Fungsi

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 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 pelastarian Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan kawasan cagar budaya Borobudur;
6. Pelaksanaan pengembangan metode dan teknik; dan
7. Pelaksanaan urusan ketatausahaan Balai Koservasi Borobudur.

II.3 Struktur Organisasi Tata Kerja

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

- Kepala
- Sub Bagian Tata Usaha
- Seksi Konservasi
- 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.

A. Sub Bagian Tata Usaha

Sub Bagian Tata Usaha membawahi empat urusan yaitu:

1. **Urusan Kepegawaian**, urusan kepegawaian bertanggung jawab 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.

B. 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 I) 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 bertanggungjawab terhadap pelayanan dan pendampingan tamu-tamu dinas, tamu kantor, dan kegiatan pemanfaatan Candi Borobudur serta melaksanakan kegiatan sosialisasi dan penyuluhan kepada masyarakat.

II.4 Fasilitas Pendukung

Balai Konservasi Borobudur memiliki laboratorium kimia, mikrobiologi, fisik/petrografi, 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.

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.

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

III.1 Batu Bata

III.1.1 Karakteristik

Bata adalah bahan bangunan yang digunakan sebagai dinding yang merupakan bangunan non struktural yang tidak memikul beban secara langsung. Bata terbuat dari tanah liat dengan atau tanpa campuran bahan lain, yang dicetak dan kemudian dibakar pada suhu cukup tinggi hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam air. Suatu batu-batuan yang digunakan untuk pembuatan dinding bangunan juga dapat digunakan untuk pembuatan pondasi apabila tidak ada bahan lain. Karakteristik batu bata sebagai bahan bangunan adalah sebagai berikut (Suseno dkk., 2012);

1. batu bata mudah menyerap air dan mudah rusak bisa mengabsorpsi air garam, sehingga tidak cocok untuk struktur bawah air,
2. mudah menyerap panas pada saat musim kemarau dan mudah menyerap dingin pada saat musim dingin sehingga sulit mendapatkan kestabilan suhu ruangan apabila menggunakan dinding batu bata, dan
3. jika terjadi perubahan suhu yang ekstrim, maka akan menyebabkan retak-retak rambut pada plesteran

III.1.2 Mineralogi

Bata yang baik sebagian besar terdiri dari silika dan alumina. Bahan dasar dari batu bata yang terdiri dari lempung (tanah liat) yang berkisar antara 50-65%, pasir 35-50% dan air secukupnya, sampai diperoleh campuran yang bersifat plastis sehingga mudah dicetak. Keberadaan lempung di alam biasanya sudah tercampur dengan pasir, sehingga sebelumnya harus diuji dulu kandungan pasirnya agar persentasenya tidak melebihi kebutuhan (Suseno dkk., 2012).

Lempung atau tanah liat terdiri dari silikon oksida (SiO_2), alumina oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kapur (CaO), magnesium oksida (MgO), dan senyawa kimia lainnya, sedangkan pasir terbentuk dari silikon oksida (SiO_2). Oksida-oksida lempung ini tersusun dalam bentuk mineral-mineral lempung seperti, kaolinit, illit, montmorillonit yang akan memberikan sifat plastis dan

kohesif bila ditambahkan air serta akan memberikan kekerasan dan kekuatan pada hasil akhir setelah pembakaran (Suseno dkk., 2012).

Pasir yang digunakan untuk menghindari penyusutan, retak-retak, dan pelengkungan dimensinya pada saat pengeringan dan pembakaran. Kapur dan oksida besi berperan sebagai fluks yang membantu butiran pasir meleleh mengikat partikel lempung secara bersamaan pada saat pembakaran (Suseno dkk., 2012).

III.1.3 Kerusakan dan pelapukan

Batu bata sangat dipengaruhi oleh bentuk makroskopiknya yang berbeda akibat pelapukan dan sebagai konsekuensi dari proses degradasi kimia, fisik-mekanik dan biologis karena paparan agresif dari lingkungan. Kerusakan bata sering dikaitkan dengan bahan bangunan berpori yang kuno lainnya, seperti batu alam, mortar, dan lain-lain. Akibatnya, elemen batu bata (seperti batu bata yang tidak diplester atau hiasan luar bangunan dan patung dari tanah liat) yang terpapar lingkungan luar dapat mengalami erosi, detasemen dan mengelupas, runtuh, endapan dan remah, persis seperti pada batu alam (Franzoni dkk., 2014).

Kandungan silika pada batu candi yang ditumbuhi lumut lebih rendah dibandingkan dengan yang tidak ditumbuhi lumut. Hal ini karena proses pelapukan yang terjadi menyebabkan berkurangnya kadar silika pada batu. Selain itu, kandungan kalium pada batu candi yang ditumbuhi lumut lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang tidak ditumbuhi lumut, karena kalium merupakan unsur yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan lumut. Oleh karena itu, perlu dilakukan pelestarian dan pemeliharaan untuk mengatasi kerusakan/pelapukan bahan bangunan candi atau perawatan candi yang mengalami retakan maupun patahan (Haldoko dkk., 2014).

III.2 Mortar dan Aplikasinya pada Bangunan Bersejarah

Mortar adalah produk campuran proporsional antara air, pasir dan pengikat (kapur dan/atau semen) yang digunakan sebagai bahan penghubung pada struktur pasangan bata, dan oleh karena itu sifat mortar sebagian besar diatur oleh karakteristik pengikat. Keunggulan mortar yang dibuat dengan menggunakan campuran air, pasir dan kapur yang sudah dikenal sekitar 2000 tahun sebelum

Masehi. Kehadiran bangunan bersejarah dan monumen merupakan bukti efisiensi dan daya tahan mortar kapur tradisional (Lumantarna, 2012).

Pembuatan mortar didasarkan pada teknologi penggunaan kapur sejak zaman Romawi hingga pada akhirnya kini diganti dengan bahan pengikat *Portland Cement* (PC). Klasifikasi berdasarkan fungsi dalam aplikasinya secara teknis (Palomo, 2006);

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

III.3 Konsolidasi Batuan

Konservasi dengan objek batuan selalu penting dan merupakan masalah yang kompleks. Berbagai variabel dipertimbangkan untuk mengidentifikasi masalah, menentukan tindakan konservasi yang sesuai, dan memilih material serta prosedur yang akan digunakan. Banyak faktor yang dianalisis termasuk sifat internal batuan, kondisi konservasi, jenis pelapukan, mekanisme pelapukan, dan faktor lingkungan. Selanjutnya harus memilih material dan prosedur tepat untuk perlakuan konservasi yang benar (Pinto dan Rodrigues, 2008).

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 mengisi celah-celah antar partikel yang renggang (Gupta, 2011).

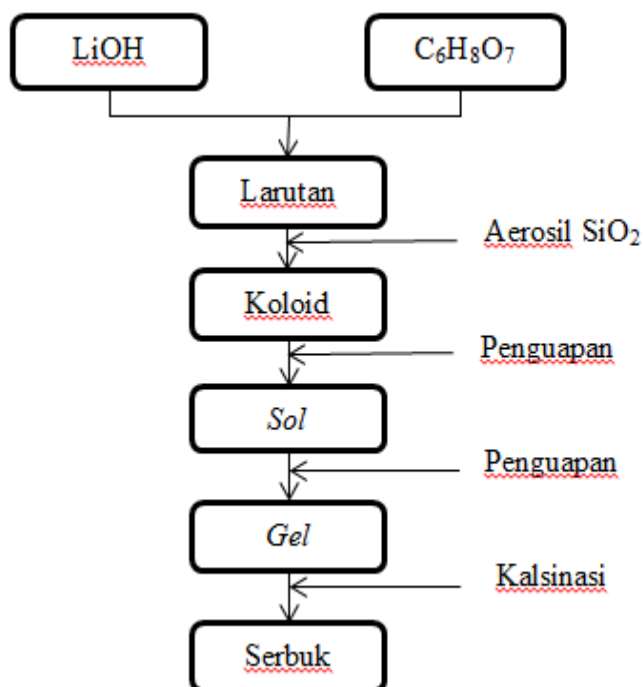
III.4 Sintesis Litium Silikat

III.4.1 Proses *sol-gel*

Proses *sol-gel* merupakan suatu teknik sintesis berbasis larutan pada temperatur preparasi rendah dari kedua padatan nanokristalin (material kaca dan mirip kaca) dan keramik kristalin. Nama proses ini diperoleh dari dua tahap utama

yang terlibat yaitu pembentukan *sol* (suspensi partikel koloid di dalam fasa cair) melalui reaksi hidrolisis dan polimerisasi dari precursor yang tepat dan hasil yang diperoleh selanjutnya berupa *gel* berpori semirigid. Titik gelasi secara umum diterima sebagai titik dimana viskositas *sol* ini mencapai kestabilan dan mampu menunjang elastisitas tegangan. Kristalinitas produk akhir yang diperoleh setelah penghilangan pelarut dan residu dari pori-pori oleh proses *aging*, pengeringan, dan *annealing* sangat tergantung pada kondisi eksperimental yang digunakan (Lalena dkk., 2008).

Metode *sol-gel* ini lebih disukai untuk mensintesis serbuk keramik, karena tidak hanya sintesis material pada temperatur rendah tetapi juga memungkinkan untuk mengontrol morfologi dan struktur mikro. Metode *sol-gel* berdasarkan perkursor alkoksida atau menggunakan tetraetil ortosilikat (TEOS) dan $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ sebagai bahan dasar yang dilakukan untuk mensintesis bubuk nano Li_4SiO_4 . Namun, semua proses *so-gel* ini dilakukan dalam medium organik. Tahapan dalam prosedur *sol-gel* ditunjukkan pada Gambar III.1 (Wu dkk., 2009).



Gambar III.1 Prosedur *sol-gel* untuk preparasi serbuk Li_4SiO_4

III.4.2 Litium silikat

Litium ortosilikat (Li_4SiO_4) merupakan material dengan berbagai aplikasi yang luas karena sifat fisik, kimia, mekaniknya yang memadai pada temperatur tinggi. Serbuk dan membrannya dapat digunakan sebagai absorben karbon dioksida dalam industri bahan bakar fosil. Kerikil dan peletnya dapat digunakan sebagai material pemuliaan padatan tritium pada reactor fusi nuklir (Zarins dkk., 2015). Hal tersebut dikarenakan tingginya densitas atom litium dan menguntungkan perilaku pelepasan tritium. Sebagai material pemuliaan, perilaku migrasi tritium merupakan hal penting yang secara signifikan berhubungan dengan konduktivitas. Padatan terlarut dari material litium ortosilikat ini dikenal sebagai konduktor Li-ion (Wu dkk., 2009).

Litium silikat tidak mengandung kelompok hidrofobik dan reaksi berlangsung sepenuhnya dalam lingkungan hidrofilik sehingga berpotensi besar sebagai konsolidan untuk permukaan basah. Dispersi berair dari litium silikat memberikan sedikit keuntungan dalam hal pengangkutan dan keamanan pengguna umum. Rasio pengenceran diperlukan untuk mencapai efek konsolidatif yang sebanding sehingga menghasilkan alternatif yang lebih murah dari etil silikat. Berikut ini adalah kelebihan litium silikat dibandingkan dengan etil silikat (Thorn, 2011);

1. menyediakan *grout* kuat yang lebih kohesif,
2. mencapai kekuatan konsolidatif mirip dengan 100% etil silikat hanya dengan 20% litium silikat,
3. tidak dipengaruhi oleh batu yang sangat jenuh air, dan
4. menjadi pilihan biaya yang efektif dan dapat dikirim lebih leluasa karena sifat kurang peledak dan sedikit beracun.

III.4.3 Fumed silica

Fumed silica atau aerosil merupakan material limbah industri yang dihasilkan dari proses peleburan *silicon* dan *ferosilicon* yang juga dikenal dengan nama *microsilica*. Material ini memiliki ukuran partikel yang sangat halus dengan ukuran partikel rata-rata 100 nm, ukuran tersebut 100 kali lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran partikel dari semen. Kandungan utama aerosil

adalah SiO₂ dalam bentuk amorf sebesar 95% dan sebagian unsur lain dalam jumlah kecil seperti Fe, Al, Ca, Mg, K, Na dan S (Siddique, 2011).

III.4.4 Litium hidroksida

Litium hidroksida, LiOH adalah senyawa yang tersusun dari unsur/elemen ringan. Molekul monomer metastabilnya berbentuk linier (seperti Li-O-Li, tapi bukan H-O-H), namun ikatannya tidak kaku. Pada 298 K (dan temperatur di bawahnya) dan tekanan 1 atm, LiOH sebagai padatan ionik yang higroskopis. Karakter ionik LiOH anhidrat dibuktikan dengan sifatnya yang relatif stabil pada tekanan 1 atm dan mencair pada temperatur 426 °C. Hal ini menemukan penggunaan LiOH sebagai prekursor lemak litium seperti litium stearat dan sebagai penyerap karbon dioksida dalam pesawat ruang angkasa atau kapal selam (konversi CO₂ sampai litium karbonat) (Hermann, 2014).

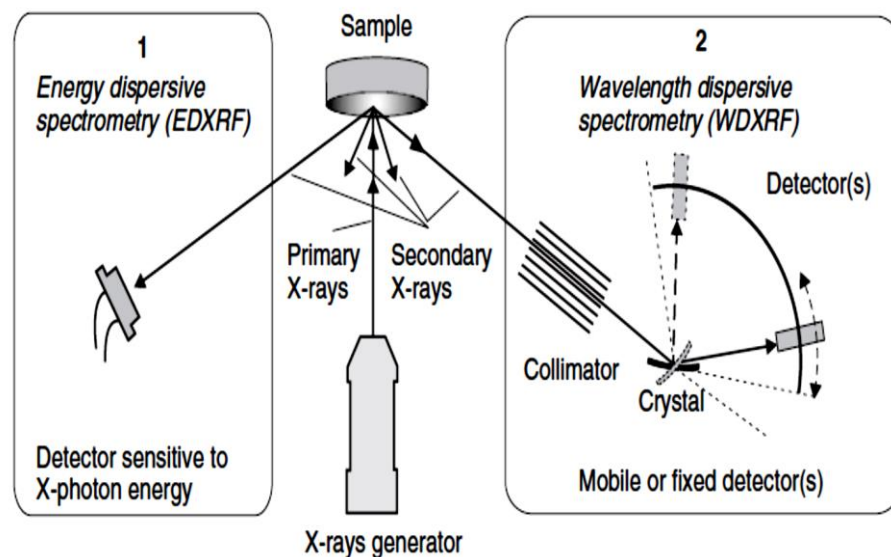
Litium hidroksida terhidrat juga ada sebagai monohidrat LiOH.H₂O, yang tersedia dalam struktur kristal neutron dan sinar-X. Pada saat berbentuk padatan, LiOH anhidrat tidak seperti air es yaitu tidak menampilkan jaringan ikatan hidrogen, tidak adanya ikatan semacam itu dalam bentuk padatan pada suhu kamar sesuai dengan hidroksida logam alkali lainnya (dan juga amida) (Hermann, 2014).

III.4.5 Asam sitrat

Asam sitrat merupakan salah satu senyawa asam organik lemah. Keasaman ini diperoleh dari tiga gugus karboksilat (COOH) yang dapat melepas proton dalam larutan. Jika hal ini terjadi, ion yang dihasilkan adalah ion sitrat. Sitrat sangat baik digunakan dalam larutan penyangga untuk mengendalikan pH larutan. Ion sitrat dapat bereaksi dengan banyak ion logam membentuk garam sitrat. Selain itu, sitrat dapat mengikat ion-ion logam dengan pengkhelatan (Di Palma dan Mecozzi, 2007). Bentuk struktur asam sitrat menjadi membentuk senyawa kompleks dengan logam. Asam sitrat ini bersifat sebagai senyawa pengkelat (*chelating agent*) paling efisien untuk logam seperti Fe, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Pb, dan Cd (Ekholm dkk., 2003).

III.5 X-ray Fluorescence

X-ray fluorescence (XRF) merupakan sifat spektral atom, yang saat ini diakui secara umum sebagai metode yang sangat akurat untuk menyajikan informasi kualitatif dan kuantitatif komposisi unsur dari berbagai tipe sampel. Prinsip operasinya meliputi radiasi sampel dengan berkas sinar X (*X-ray*) atau oleh penembakan partikel, misalnya electron yang mempunyai cukup energi, untuk mengamati hasil *X-ray fluorescence* (XRF) yang dipancarkan oleh sampel. Karakteristik umum dari fenomena ini memungkinkan sampel teruji dengan cepat, tanpa preparasi, menjelaskan sebagian besar keberhasilan metode analisis non-destruktif ini. Skema alat XRF ditunjukkan pada Gambar III.2 (Rouessac dan Rouessac, 2007).



Gambar III.2 Skema alat XRF

Pada saat sampel dieksitasi dengan sumber utama *X-ray* memancarkan radiasi fluoresensi yang dapat menyebabkan dua representasi dari spektrum yang tergantung pada detektor; (1) spektrum energi dispersif (ED-XRF) diperoleh dengan cara dioda didinginkan yang memberikan sinyal sesuai dengan energi setiap foton insiden; (2) Panjang gelombang dispersif spektrum (WD-XRF) yang diperoleh melalui penggunaan kristal berputar berfungsi sebagai kisi a. Perakitan goniometrik ini berisi satu atau beberapa detektor seluler (s) namun, karena energi

dan panjang gelombang terkait maka spektrum disajikan dalam satuan energi (eV), apapun modus deteksinya (Rouessac dan Rouessac, 2007).

Analisis XRF ini merupakan teknik spektroskopi pilihan bagi sebagian besar petrologi dan geokimia untuk mendapatkan komposisi kimia batuan dan dalam beberapa tahun terakhir ini banyak digunakan untuk studi di bidang konservasi dan restorasi batuan, marmer, keramik, mortar dan material cagar budaya lainnya (Lezzerini dkk., 2014). XRF juga digunakan untuk analisis komposisi dan unsur oksida minor seperti besi, kalsium, magnesium dan dan lainnya dari lempung kaolin dalam bentuk serbuk kering (Saikia dan Parthasarathy, 2010).

III.6 Uji Kekerasan

Kekerasan biasanya digunakan untuk memperkirakan kekuatan mekanik logam, batuan, dan mineral. Pengujian yang terkait dengan kekerasan permukaan tidak hanya bersifat non-destruktif, namun juga lebih murah, lebih cepat dan mudah dilakukan dibandingkan dengan uji kuat tekan yang merusak. Contoh uji kekerasan antara lain, uji palu Waitzmann, uji bor TZUS, uji palu Schmidt dan uji goresan Mohs (Lumantarna, 2012).

Uji goresan digunakan untuk memperkirakan sifat material berdasarkan ketahanan material terhadap abrasi dan dikaitkan dengan skala kekerasan Mohs. Bilangan Mohs dari 1 sampai 10 digunakan untuk menentukan peringkat mineral dengan kekerasan yang berbeda dan jumlah goresan yang diberikan pada sampel yang diuji sama dengan jumlah mineral Mohs yang menggoresnya. Uji goresan pada dasarnya mirip dengan uji abrasi, dimana daya tahan satu material diuji terhadap material lain dari kekerasan yang berbeda. Kekerasan abrasi juga mempunyai hubungan linier dengan kuat tekan batuan (Lumantarna, 2012).

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

IV.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain, serbuk asam sitrat ($C_6H_8O_7$), serbuk litium hidoksida monohidrat ($LiOH.H_2O$), dan indikator pH universal dari MERCK, SiO_2 (*fumed silica*), akuades, kertas saring Whatman No. 40, dan sampel batu bata yang diambil di lingkungan Balai Konservasi Borobudur.

IV.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain, peralatan gelas, *stirrer* Thermo Scientific, timbangan Mettler Toledo AB204-5, *magnetic stirrer*, termometer Hg, pH-meter OAKTON PC650, *muffle furnace*, XRF Portabel (Olympus DP-2000 *High Count Rate*), oven Barnstead Thermolyne 1400 furnace, morar dan alu dan penyaring bertingkat.

IV.3 Cara Kerja

IV.3.1 Preparasi sampel batuan

Sampel batu bata ditumbuk halus dan disaring menggunakan penyaringan bertingkat dengan ukuran serbuk bata 0,063; 0,125; 0,250; 0,500; dan 1,000 mm. Serbuk bata dengan berbagai ukuran tersebut dibuat mortar 10 g yang komposisinya disesuaikan dengan komposisi Fuller Tabel IV.1.

Tabel IV.1 Ukuran dan komposisi mortar

| Ukuran (mm) | < 0,063 | 0,063-0,125 | 0,125-0,250 | 0,250-0,500 | 0,500-1,000 |
|-------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Massa (g) | 0,363 | 0,996 | 1,239 | 1,525 | 1,877 |

IV.3.2 Sintesis Litium Silikat

Sintesis litium silikat dibuat dengan proses *sol-gel* yang dimulai dengan pelarutan padatan litium hidoksida monohidrat ($LiOH.H_2O$) sebanyak 7,0078 g ke dalam 170 mL akuades. pH dari campuran yang sudah homogen diatur hingga 8,5 dengan asam sitrat dan konsentrasi $LiOH$ tetap dijaga pada $0,3 \text{ mol L}^{-1}$. Larutan litium sitrat direaksikan dengan *fumed silica* sebanyak 2,523 g pada

temperatur 70 °C dan disertai dengan pengadukan hingga terbentuk *gel* transparan. *Gel* transparan yang diperoleh dikeringkan pada temperatur 150 °C dan dikalsinasi pada temperatur 675 °C selama 4 jam hingga terbentuk padatan putih (Wu dkk., 2009). Litium silikat dibuat dengan perbandingan jumlah mol LiOH.H₂O dan SiO₂ 4:1.

IV.3.3 Pembuatan mortar batu bata

Serbuk batu bata (telah disaring) sebanyak 10 g dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan dengan 1,5 mL larutan litium silikat 10% b/v yang dihasilkan dari pelarutan litium silikat dengan akuades. Campuran tersebut dimasukkan kedalam cetakan berbentuk kubus dan dibiarkan mengeras selama 15 hari. Material yang digunakan untuk pembuatan satu mortar dengan cetakan berukuran 8 cm³ ini adalah 10 g serbuk batu bata dan 4 mL larutan litium silikat 10% b/v.

IV.3.4 Karakterisasi hasil

Litium silikat hasil sintesis dan mortar yang sudah mengeras dianalisis kandungan unsurnya menggunakan XRF dengan 3 kali pengulangan pada temperatur ruang. Batu bata dan mortar juga dianalisis tingkat kekerasannya dalam skala Mohs.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litium silikat disintesis menggunakan material dasar $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (litium hidroksida monohidrat) dan SiO_2 (*fumed silica*) melalui proses *sol-gel*. Terdapat dua tahap utama yang terlibat pada proses ini yaitu pembentukan *sol* (suspensi partikel koloid di dalam fasa cair) dan diperoleh hasil selanjutnya berupa *gel*. *Gel* tersebut kemudian dikalsinasi hingga didapatkan serbuk litium silikat.

Pada penelitian ini digunakan perbandingan mol $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ dan SiO_2 yaitu 4:1 karena akan menghasilkan mortar terbaik ketika litium silikat digunakan sebagai konsolidan. Hal tersebut telah dilaporkan oleh Agustina (2016) bahwa litium ortosilikat sebagai bahan konsolidan yang disintesis pada perbandingan 4:1 mol $\text{LiOH}:\text{SiO}_2$ memberikan hasil mortar andesit terbaik dengan hasil yang mendekati sifat fisik batu andesit tanpa sisa reaktan pada permukaan mortar.

Metode *sol-gel* lebih dipilih karena dapat mensintesis material pada temperatur relatif rendah yaitu $670\text{ }^\circ\text{C}$ dan digunakan air sebagai mediumnya. Hal ini jika dibandingkan dengan metode reaksi *solid-state* yang berlangsung pada temperatur lebih dari $900\text{ }^\circ\text{C}$ dan penggunaan metil alkohol sebagai mediumnya (Wu dkk., 2009). Demikian juga apabila dibandingkan dengan metode pengendapan yang membutuhkan temperatur kalsinasi $900\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam untuk mendapatkan serbuk litium silikat dari perbandingan mol Li:Si sebesar 4:1 (Pfeiffer dkk., 1998).

Pemilihan metode sintesis pada temperatur rendah akan berdampak pada penggunaan energi yang lebih kecil dan penggunaan air sebagai medium reaksi sekaligus menerapkan prinsip dasar *Green Chemistry* yang dikemukakan oleh Manahan (2005) antara lain, kebutuhan energi harus diminimalkan, penggunaan zat kimia tambahan juga harus diminimalkan dan sebaiknya benar-benar dihindari.

Pembuatan *sol* diawali dengan hidrolisis dimana senyawa prekursor ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) dilarutkan dengan akuades. Pelarutan tersebut juga bertujuan untuk mempercepat terjadinya reaksi karena reaktan dalam bentuk ion terlarut. Penggunaan asam sitrat selain sebagai pengatur pH juga sebagai agen khelat.

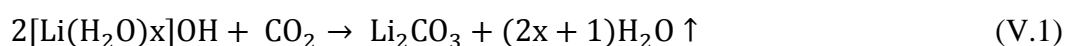
Pengaturan larutan pada pH 8,5 dikarenakan proses hidrolisis akan dapat berlangsung relatif lebih cepat pada suasana basa. Agen khelat ini akan menstabilkan ion logam Li dalam larutan melalui proses khelasi karena menurut Manahan (2005) agen pengkhelat akan mengikat ion logam dan cenderung membentuk partikel yang stabil. Struktur material yang diperoleh sangat sensitif terhadap pH, stabilitas reaktan, banyaknya air, temperatur refluks, dan kemurnian senyawa litium yang digunakan .

Serbuk SiO₂ yang ditambahkan akan tersuspensi dalam fasa cair (larutan LiOH) dan diperoleh koloid. Pemanasan pada temperatur 70 °C bertujuan untuk menguapkan koloid sehingga terbentuk *sol*. *Sol* tersebut akan mengalami proses gelasi (pembentukan *gel*) selama proses pemanasan yang disertai dengan pengadukan. Proses transisi dari fasa *sol* menjadi *gel* inilah yang disebut sebagai tahap kondensasi. Pengadukan dilakukan supaya laju reaksinya berjalan lebih cepat akibat kontak cair-cair yang menghasilkan medium homogen.

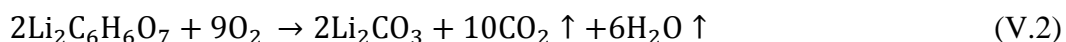
Pengeringan *gel* transparan menggunakan oven pada temperatur 150 °C bertujuan untuk menghilangkan pelarut air. Tahap ini disebut sebagai tahap pematangan atau *aging* dimana *gel* akan berubah menjadi lebih kaku, kuat, dan memadat. Tahap kalsinasi atau pengeringan pada temperatur 675 °C selama 4 jam dilakukan untuk mendapatkan serbuk litium silikat. Pelarut dan produk samping (residu) seperti asam sitrat yang belum hilang ketika proses pematangan akan dihilangkan melalui proses kalsinasi ini.

Menurut Wu dkk. (2009) selama proses kalsinasi terjadi karbonasi *gel*, dekomposisi litium sitrat, pembentukan Li₂SiO₃, dan pembentukan Li₄SiO₄. *Gel* mengalami karbonasi secara eksotermis dan terjadi pembentukan litium karbonat serta pelepasan sejumlah molekul air.

Berikut ini adalah reaksi karbonasi yang terjadi,



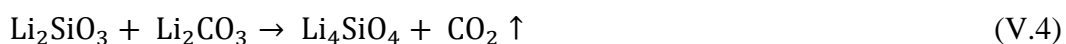
Wu dkk. (2009) juga menjelaskan bahwa senyawa litium sitrat yang terbentuk dari proses khelasi antara asam sitrat dengan ion Li juga mengalami dekomposisi menjadi litium karbonat, karbon dioksida, dan uap air seperti pada reaksi berikut ini,



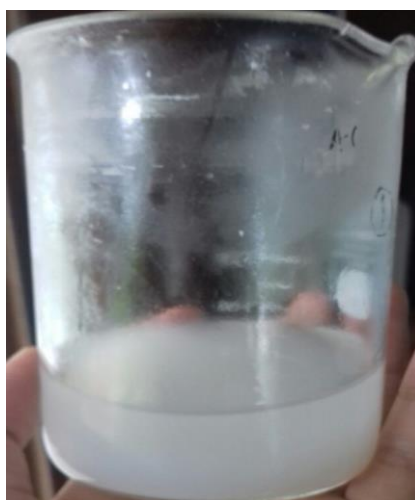
Pembentukan senyawa Li_2SiO_3 diperoleh setelah perkursor Li_2CO_3 dan SiO_2 dikalsinasi sehingga melepaskan gas CO_2 sesuai dengan reaksi dibawah ini,



Litium karbonat hasil dekomposisi $\text{Li}_2\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_7$ akan bereaksi dengan Li_2SiO_3 secara eksotermis sehingga terbentuk Li_4SiO_4 (litium ortosilikat) dan disertai pelepasan molekul gas CO_2 sesuai dengan reaksi sebagai berikut,



Gel yang dihasilkan pada penelitian ini tidak begitu transparan dimana masih terdapat endapan putih berupa koloid yang ditunjukkan pada Gambar V.1, sedangkan pada penelitian yang sama oleh Agustina (2016) dan Wu dkk. (2009) diperoleh *gel* transparan. Begitu juga pada serbuk litium silikat yang dihasilkan tidak berwarna putih namun putih kehitaman. Adanya koloid menggambarkan bahwa *gel* belum sepenuhnya terbentuk. Hal ini diakibatkan oleh pemanasan yang tidak berlangsung secara kontinyu, sedangkan pada penelitian sebelumnya dilakukan pemanasan secara kontinyu oleh Agustina (2016).



Gambar V.1 Koloid litium silikat

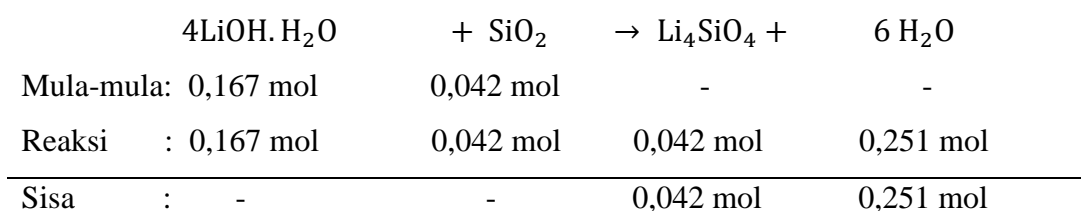
Noda hitam pada serbuk litium silikat disebabkan adanya karbon dari proses dekomposisi asam sitrat yang tidak sempurna saat proses kalsinasi

berlangsung. Seharusnya adanya karbon dalam bentuk padatan litium karbonat yang berwarna putih dan dalam bentuk gas CO₂ sesuai dengan persamaan reaksi (V.2).

Berdasarkan hasil karakterisasi litium silikat menggunakan XRF diperoleh unsur silika (Si) sebagai penyusun utamanya dengan komposisi (35,78±0,21)%. Hal ini menunjukkan bahwa litium silikat dapat digunakan sebagai konsolidan pada batuan berbasis silika seperti batu bata. Kandungan Si yang cukup banyak akan meningkatkan kekuatan bahan agregat litium silikat dalam mortar.

Hasil sintesis litium silikat digunakan sebagai bahan pengikat (*binder*) serbuk batu bata dalam pembentukan mortar. Pengenceran konsolidan sebesar 10% b/v karena menurut Thorn (2012) penggunaan konsolidan pada konsentrasi tersebut paling efektif jika dibandingkan dengan penggunaan konsentrasi 20% yang akan menyebabkan warna permukaan mortar menjadi lebih gelap. Pendiaman mortar selama 15 hari bertujuan untuk mengetahui efek konsolidasi litium silikat terhadap mortar batu bata.

Secara fisik diperoleh mortar dengan skala kekerasan batuan 2-3 skala Mohs atau setara dengan 0,61-1,49 GPa menurut Whitney dkk. (2007). Ukuran skala Mohs yang diperoleh sudah sesuai dengan kekerasan batu bata sebelum dikonsolidasi (2-3 Mohs) sehingga dapat dikatakan litium silikat berhasil menjadi konsolidan yang baik bagi batu bata. Selain itu, aplikasi litium silikat pada batu bata tidak menimbulkan perubahan warna akibat sisa reaktan pada permukaan mortar yang telah dibuktikan secara stoikiometri sesuai dengan reaksi dibawah ini,



Tidak adanya sisa reaktan pada permukaan mortar juga dibuktikan dengan hasil konsolidasi yang ditunjukkan pada Gambar V.2 dimana tidak ada bercak putih yang terbentuk di permukaan mortar. *Performance* mortar tersebut

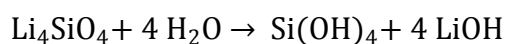
mengindikasikan bahwa litium silikat dengan rasio mol $\text{LiOH}:\text{SiO}_2$ 4:1 berhasil menjadi konsolidan yang baik bagi batu bata. Agustina (2016) melaporkan bahwa sisa reaktan yang terbentuk menyebabkan adanya bercak-bercak putih pada permukaan mortar andesit.



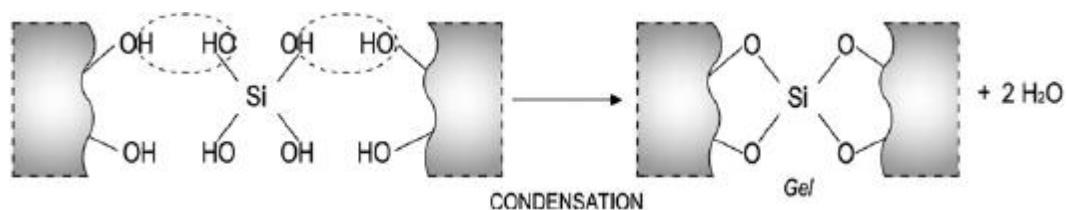
Gambar V.2 Mortar hasil konsolidasi

Berdasarkan stoikiometri reaksi pembentukan litium silikat maka dapat diperoleh massa Li_4SiO_4 yang terbentuk sebesar 5 g sedangkan dari hasil eksperimen diperoleh 1,1389 g produk. Oleh karena itu, nilai rendemen litium silikat yang terbentuk sebesar 22,89% dan termasuk rendemen yang rendah. Hal ini dikarenakan pembentukan *gel* yang tidak sempurna.

Komposisi kimia mortar hasil konsolidasi ditentukan dengan XRF sehingga diperoleh unsur Si dengan komposisi $(28,28 \pm 0,24)\%$. Jika dibandingkan dengan komposisi Si pada bata yang belum dikonsolidasi yaitu $(27,69 \pm 0,54)\%$ maka terjadi kenaikan kandungan Si 2,13% dalam mortar. Kandungan Si yang banyak akan memperkuat struktur mortar yang padat. Pemadatan mortar disebabkan karena proses hidrolisis (dengan air di pori-pori dan uap air di atmosfer), membentuk silanol (Si-OH) dan litium hidroksida sesuai dengan reaksi di bawah ini,



Menurut Sandrolini dkk. (2012) silika *gel* mengendap di dalam mikrostruktur material berpori melalui proses dehidrasi/kondensasi sehingga mortar semakin kuat dan memadat (Gambar V.3).



Gambar V.3 Reaksi kondensasi silika *gel*

Pada batu yang mengandung fase silikat (misalnya batu pasir), silika *gel* juga bereaksi dengan gugus hidroksil yang ada pada permukaan pori-pori, sehingga sebagian mengembalikan pengikat alami yang hilang selama proses pelapukan dan menghubungkan kembali butiran mineral yang longgar, dengan efek konsolidasi dan peningkatan kekuatan mekanik material yang cukup besar.

Komposisi unsur Fe (besi) sebesar $(7,86 \pm 0,16)\%$ pada mortar menyebabkan warna merah seperti halnya warna batu bata standar. Hal ini sesuai dengan pendapat Lumantarna (2012) bahwa bahan pewarna bata yang utama adalah besi oksida sebagai mineral besi. Pembakaran mineral besi pada suhu tinggi menyebabkan munculnya warna merah atau merah-coklat akibat pembentukan hematit (Fe_2O_3). Kehadiran hematit di struktur bata akhir sebagian besar dipengaruhi oleh proporsi oksida besi dalam bahan baku tanah liat.

Jika proporsi oksida besi rendah, semua Fe^{3+} yang tersedia digunakan oleh mineral lain yang terbentuk selama pembakaran suhu tinggi, dan sebaliknya kekurangan hematit pada struktur bata akhir akan menyebabkan pembentukan batu bata berwarna coklat muda atau kuning. Distribusi oksida besi yang tinggi menyebabkan pembentukan hematit dalam struktur bata akhir karena Fe^{3+} yang tersisa yang belum digabungkan oleh mineral lain ada, dan oleh karena itu batu bata berwarna kemerahan terbentuk.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

1. Hasil sintesis litium silikat dengan bahan baku litium hidroksida (LiOH) dan *fumed silica* (SiO₂) dengan rasio mol 4:1 berupa padatan serbuk berwarna putih dengan noda-noda hitam dan diperoleh rendemen hasil 22,78%. Karakterisasi dengan XRF menunjukkan bahwa komponen utama produk adalah Si dengan komposisi (35,78±0,21)%.
2. Karakteristik mortar batu bata hasil konsolidasi dengan litium silikat yaitu padatan berwarna merah bata dengan kekerasan 2-3 skala Mohs (0,61-1,49 GPa). Komponen utama mortar adalah Si dengan komposisi yang diperoleh dari karakterisasi dengan XRF (28,28±0,24)%.

VI.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan analisis lanjutan mengenai efek konsolidasi litium silikat pada batu bata dengan parameter sifat fisik-mekanik, kekuatan, dan struktur mikronya.
2. Sebaiknya Laboratorium Kimia BKB dilengkapi dengan tempat pembuangan limbah zat-zat kimia sehingga tidak mencemari lingkungan.
3. Sebaiknya matakuliah Praktek Kerja Lapangan dijadikan matakuliah wajib mengingat banyaknya mahasiswa yang mengambil dan banyaknya manfaat yang diperoleh selama PKL.

DAFTAR PUSTAKA

- Agan, C., 2016, A Preliminary Study on The Conservation and Polishing Performance of Sanliurfa Limestones as a Traditional Building Material. *Bull Eng. Geol. Environ.*, 75(1), 13–25.
- Agustina, M., 2016, Sintesis Litium Silikat untuk Konsolidasi Batu Andesit di Balai Konservasi Borobudur, *Skripsi*, Departemen Kimia Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Anonim, 2010, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya*.
- Cultrone, G. and Madkour, F., 2013, Evaluation of The Effectiveness of Treatment Products in Improving The Quality of Ceramics Used in New and Historical Buildings. *J. Cult. Herit.*, 14(4), 304–310.
- Di Palma, L. and Mecozzi, R., 2007, Heavy Metals Mobilization from Harbour Sediments Using EDTA and Citric Acid as Chelating Agents, *J. Hazard. Mater.*, 147, 768-775.
- Ekhholm, P. et al., 2003, The Effect of Phytic Acid and Some Natural Chelating Agents on The Solubility of Mineral Elements in Oat Bran. *Food Chem.*, 80(2), 165–170.
- Francis, Rouessac, A., and Brooks, S., 2007, *Chemical Analysis Modern Instrumentation Methods and Techniques*, Rouessac, F. and Rouessac, A., 1994, *Chemical Analysis Modern Instrumentation Methods and Techniques*, 2nd Ed., Masson, Paris.
- Franzoni, E., Pigino, B., Leemann, A., and Lura, P., 2014, Use of TEOS for Fired-Clay Bricks Consolidation, *Mater. Struct.*, 47(7), 1175–1184.
- 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., and Hoffman, R., 2014, Lithium hydroxide , LiOH , at Elevated Densities, *J. Chem. Phys.*, 141, 1.
- Lalena, L. N., Cleary, D. A., Carpenter, E. E., and Dean, N. F., 2008, *Inorganic Materials Synthesis and Fabrication*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Lezzerini, M., Tamponi, M., and Bertoli, M., 2014, Calibration of XRF Data on Silicate Rocks Using Chemicals as In-House Standards, *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A*, 121, 65.
- Lumantarna, R., 2012, Material Characterisation of New Zealand's Clay Brick Unreinforced Masonry Buildings, *Thesis*, Department of Civil and Environmental Engineering The University of Auckland, New Zealand.
- Manahan, S.E., 2006, *Green Chemistry and The Ten Commandments of Sustainability*, 2nd Ed., ChemChar Research, Inc., Columbia.
- Martinez, P., Soto, M., Zunino, F., Stuckrath, C., and Lopez, M., 2016, Effectiveness of Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate (TEOS) Consolidation of Fired-Clay Bricks Manufactured with Different Calcination Temperatures, *Constr. Build. Mater.*, 106, 209–217.

- Palomo, A., Blanco-Varela, M.T., Martinez-Ramirez, S., Puertas, F., and Fortes, C., 2006, *Characterization and Durability*, New Tendencies for Research, Eduardo Torroja Institute, Madrid.
- Pfeiffer, H., Bosch, P., and Bulbulian, S., 1998. Synthesis of Lithium Silicates. *J. Nuc. Mater.*, 257(3), 309–317.
- Pinto, A.P.F. & Rodrigues, J.D., 2008. Stone consolidation: The role of treatment procedures. *J. Cult. Herit.*, 9(1), 38–53.
- Saikia, B. J. and Parthasarathy, G., 2010, Fourier Transform Infrared Spectroscopic Characterization of Kaolinite from Assam and Meghalaya, Northeastern India, *J. Mod. Phys*, 1, 207.
- Sandrolini, F., Franzoni, E., and Pigino, B., 2012, Ethyl Silicate For Surface Treatment of Concrete - Part I: Pozzolanic Effect of Ethyl Silicate, *Cem. Concr. Compos.*, 34(3), 306–312.
- Siddique, R., 2011, Review, Utilization of Silica Fume in Concrete: Review of Hardened Properties, *Resources, Conservation, and Recycling*, 55, 923–932.
- Suseno, H., Prastumi, Susanti, L., dan Setyowulan, D., 2012, Pengaruh Penggunaan Bottom Ash sebagai Pengganti Tanah Liat pada Campuran Bata Terhadap Kuat Tekan Bata, *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(3), 272-276.
- Swastikawati, A., 2011, Standar Pengujian Kualitas Bata Pengganti, *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 5(5), 4.
- Thorn, A., 2011, The Consolidation and Bonding of Water Saturated Siliceous Stone With Lithium Silicate A Preliminary Evaluation, *Proceeding of Symposium 2011- Adhesives and Consolidants for Conservation: Research and Applications*, 17-21 October 2011, Ottawa.
- Thorn, A., 2012, Lithium Silicate Consolidation of Wet Stone and Plaster, *Proceeding 12th International Congress on The Deterioration and Conservation of Stone*, 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., and Cook. R. F., 2007, Exploring The Relation of Scratch Resistance, Hardness, and Other Physical Properties of Minerals Using Mohs Scale Minerals, *J. Geo. Edu.*, 55(1), 59.
- Wu, X., Wen, Z., Xu, X., Wang, X., and Lin, J., 2009, Synthesis and Characterization of Li₄SiO₄ Nano-Powders by a Water-Based Sol-Gel Process, *J. Nucl. Mater.*, 392(3), 471–475.
- Zarins, A., Kizane, G., Supe, A., Baumane, L., and Valtenbergs, O., 2015, Physico-Chemical Properties and Application Possibility of Nano-Sized Lithium Orthosilicate Powders, *Euro. Chem. Forum.*, Institute of Chemical Physics University of Latvia, Latvia.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan massa LiOH dan SiO₂

| | | | | |
|------------|--------------|-------------|---------------------------|------------|
| | $4LiOH.H_2O$ | + SiO_2 | $\rightarrow Li_4SiO_4 +$ | $6 H_2O$ |
| Mula-mula: | 0,075 mol | 0,01875 mol | - | - |
| Reaksi : | 0,075 mol | 0,01875 mol | 0,01875 mol | 0,1875 mol |
| Sisa : | - | - | 0,01875 mol | 0,1875 mol |

$$\begin{aligned} \text{mol LiOH.H}_2\text{O} &= 0,3 \text{ mol L}^{-1} \times 0,25 \text{ L} \\ &= 0,075 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol Li}_4\text{SiO}_4 &= \frac{1}{4} \times \text{mol LiOH.H}_2\text{O} \\ &= \frac{1}{4} \times 0,075 \text{ mol} \\ &= 0,01875 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa Li}_4\text{SiO}_4 &= 0,01875 \text{ mol} \times 119,84 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 2,247 \text{ g} \end{aligned}$$

mol LiOH.H₂O untuk menghasilkan 5 g Li₄SiO₄ dibutuhkan;

$$\begin{aligned} \text{mol LiOH.H}_2\text{O} &= (5 \text{ g} : 2,247 \text{ g}) \times 0,075 \text{ mol} \\ &= 0,167 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol SiO}_2 &= (5 \text{ g} : 2,247 \text{ g}) \times 0,01875 \text{ mol} \\ &= 0,042 \text{ mol} \end{aligned}$$

| | | | | |
|------------|--------------|-----------|---------------------------|-----------|
| | $4LiOH.H_2O$ | + SiO_2 | $\rightarrow Li_4SiO_4 +$ | $6 H_2O$ |
| Mula-mula: | 0,167 mol | 0,042 mol | - | - |
| Reaksi : | 0,167 mol | 0,042 mol | 0,042 mol | 0,251 mol |
| Sisa : | - | - | 0,042 mol | 0,251 mol |

$$\begin{aligned} \text{massa LiOH.H}_2\text{O} &= 0,167 \text{ mol} \times 41,963 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 7,0078 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{massa SiO}_2 &= 0,042 \text{ mol} \times 60,048 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 2,523 \text{ g} \end{aligned}$$

Lampiran 2. Perhitungan rendemen Li_4SiO_4

Diketahui:

$$\text{Massa Li}_4\text{SiO}_4 \text{ teoritis} = 5 \text{ g}$$

$$\text{Massa Li}_4\text{SiO}_4 \text{ hasil penelitian} = 1,1389 \text{ g}$$

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{massa hasil eksperimen}}{\text{massa teoritis}} \times 100\%$$

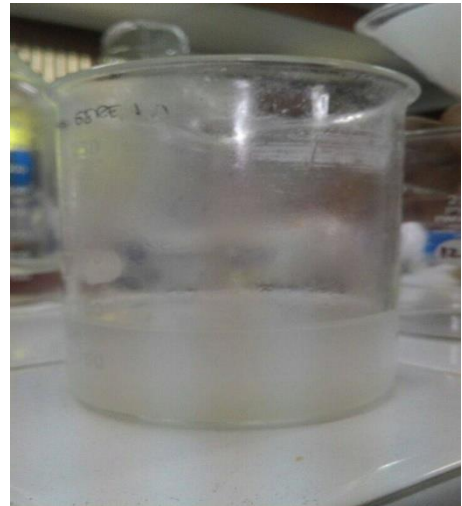
$$\text{Rendemen} = \frac{1,389 \text{ g}}{5 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen} = 22,78\%$$

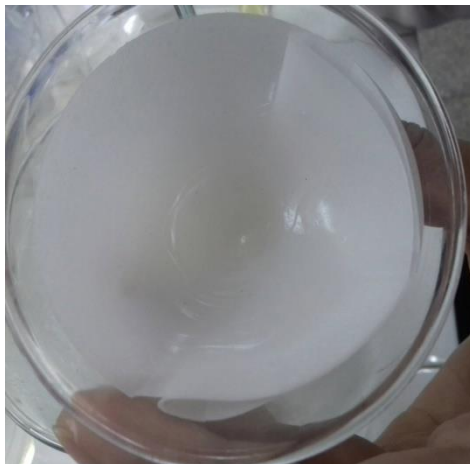
Lampiran 3. Sintesis litium silikat



Larutan litium silikat



Litium silikat setelah pemanasan



Gel litium silikat



Hasil dari proses pematangan gel

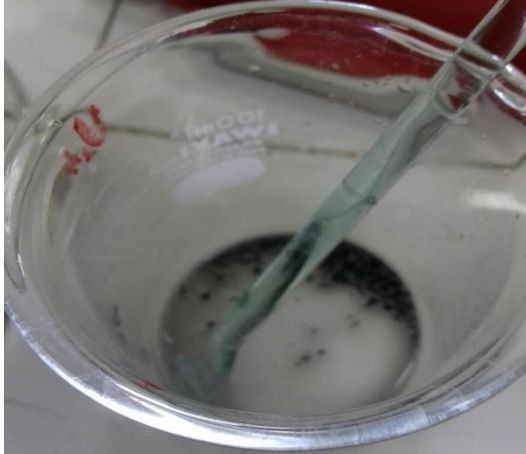


Padatan litium silikat hasil kalsinasi I



Padatan litium silikat hasil kalsinasi II

Lampiran 4. Pembuatan mortar



Litium silikat terlarut



Pengenceran litium silikat terlarut



Serbuk mortar



Mortar hari ke-1

Lampiran 5. Hasil karakterisasi dengan XRF

1. Litium silikat

| Date | Time | Reading | Mode | Elapsed Time 1 | Elapsed Time 2 | Elapsed Time Total |
|----------|----------|---------|-----------|----------------|----------------|--------------------|
| 4/4/2017 | 13:47:01 | #1 | Cal Check | 14,97 | | 14,97 |
| | | | Mining | | | |
| 4/4/2017 | 13:48:26 | #2 | Plus | 29,7 | 29,94 | 59,63 |
| | | | Mining | | | |
| 4/4/2017 | 13:49:40 | #3 | Plus | 29,69 | 29,95 | 59,64 |
| | | | Mining | | | |
| 4/4/2017 | 13:50:53 | #4 | Plus | 29,69 | 29,93 | 59,62 |

| Mg | Al | Si | Si +/- | Si Compound | Si Compound Level | Si Compound Error | P |
|----|----|-------|--------|-------------|-------------------|-------------------|----|
| ND | ND | 36 | 0,14 | SiO2 | 77,02 | 0,29 | ND |
| ND | ND | 35,5 | 0,13 | SiO2 | 75,95 | 0,29 | ND |
| ND | ND | 35,85 | 0,13 | SiO2 | 76,68 | 0,29 | ND |

| S | Cl | K | Ca | Ti | Ti +/- | V | Cr |
|----|----|----|----|--------|--------|----|----|
| ND | ND | ND | ND | 0,0538 | 0,0091 | ND | ND |
| ND | ND | ND | ND | 0,0587 | 0,009 | ND | ND |
| ND | ND | ND | ND | 0,0679 | 0,0091 | ND | ND |

| Mn | Mn +/- | Fe | Fe +/- | Co | Ni | Cu | Cu +/- |
|--------|--------|--------|--------|----|----|--------|--------|
| 0,0067 | 0,0018 | 0,0691 | 0,003 | ND | ND | 0,0031 | 0,0005 |
| ND | | 0,0662 | 0,0029 | ND | ND | ND | |

| | | | | | | | |
|-------------|-------------|------------|---------------|--------------|-----------|------------|-----------|
| 0,0081 | 0,0018 | 0,0661 | 0,0029 | ND | ND | 0,0025 | 0,0005 |
| Zn | Zn +/- | As | Zr | Zr +/- | Mo | Mo +/- | Ag |
| ND | | ND | 0,0075 | 0,0002 | ND | | 0,0105 |
| 0,0037 | 0,0004 | ND | 0,007 | 0,0002 | ND | | ND |
| 0,0039 | 0,0004 | ND | 0,007 | 0,0002 | 0,0009 | 0,0002 | 0,0109 |
| Ag +/- | Cd | Cd +/- | Sn | Sn +/- | Sb | Sb +/- | W |
| 0,0006 | 0,0156 | 0,0007 | 0,0057 | 0,0003 | 0,0083 | 0,0004 | ND |
| | 0,015 | 0,0007 | 0,0056 | 0,0003 | 0,0074 | 0,0004 | ND |
| 0,0006 | 0,0158 | 0,0007 | 0,0062 | 0,0003 | 0,0082 | 0,0004 | ND |
| | | | | | | Best Match | 2nd Match |
| Pb | Pb +/- | Bi | LE | LE +/- | Pass/Fail | Number | Number |
| | | | | | | 0 | 0 |
| 0,0007 | 0,0002 | ND | 63,81 | 0,14 | PASS | 0 | 0 |
| 0,0008 | 0,0002 | ND | 64,33 | 0,13 | PASS | 0 | 0 |
| ND | | ND | 63,96 | 0,13 | PASS | 0 | 0 |
| | | Live | | | | | |
| Live Time 1 | Live Time 2 | Time Total | Instrument SN | Model | | Tube Anode | Unit |
| | | | | Delta | | | |
| 12,85 | | 12,85 | 540496 | Professional | | Rh | % |
| | | | | Delta | | | |
| 27,64 | 27,98 | 55,62 | 540496 | Professional | | Rh | % |
| 27,59 | 27,94 | 55,53 | 540496 | Delta | | Rh | % |

| | | | | Professional | | | |
|-------|------|-------|--------|--------------|----|---|--|
| | | | | Delta | | | |
| 27,58 | 27,9 | 55,48 | 540496 | Professional | Rh | % | |

2. Batu bata sebelum dikonsolidasi

| Date | Time | Reading | Mode | Elapsed Time 1 | Elapsed Time 2 |
|-----------|----------|---------|-----------|----------------|----------------|
| 5/24/2017 | 13:33:58 | #1 | Cal Check | 14,91 | |
| | | | Mining | | |
| 5/24/2017 | 13:38:12 | #2 | Plus | 29,73 | 29,8 |
| | | | Mining | | |
| 5/24/2017 | 13:39:30 | #3 | Plus | 29,74 | 29,81 |
| | | | Mining | | |
| 5/24/2017 | 13:40:51 | #4 | Plus | 29,73 | 29,8 |

| Elapsed Time | | | | | | |
|--------------|----|-------|--------|-------|--------|-------------|
| Total | Mg | Al | Al +/- | Si | Si +/- | Si Compound |
| 14,91 | | | | | | |
| 59,53 | ND | 10,48 | 0,11 | 27,32 | 0,12 | SiO2 |
| 59,54 | ND | 10,53 | 0,11 | 27,29 | 0,12 | SiO2 |
| 59,53 | ND | 10,74 | 0,11 | 28,46 | 0,12 | SiO2 |

| Si Compound Level | Si Compound Error | P | S | Cl | K | K +/- |
|-------------------|-------------------|----|----|----|--------|--------|
| 58,44 | 0,25 | ND | ND | ND | 0,5962 | 0,0066 |
| 58,37 | 0,26 | ND | ND | ND | 0,5961 | 0,0067 |
| 60,89 | 0,26 | ND | ND | ND | 0,6622 | 0,0070 |

| Ca | Ca +/- | Ti | Ti +/- | V | V +/- | Cr |
|----|--------|----|--------|---|-------|----|
|----|--------|----|--------|---|-------|----|

| 0,4891 | 0,0065 | 0,6005 | 0,0167 | 0,0358 | 0,0061 | 0,0142 |
|--------|--------|--------|--------|-----------|------------|-----------|
| 0,4746 | 0,0065 | 0,5940 | 0,0168 | 0,0375 | 0,0062 | ND |
| 0,4543 | 0,0066 | 0,5886 | 0,0168 | 0,0371 | 0,0062 | 0,016 |
| Cr +/- | Mn | Mn +/- | Fe | Fe +/- | Co | Co +/- |
| 0,0041 | 0,2022 | 0,0054 | 7,8946 | 0,0377 | 0,0197 | 0,0025 |
| | 0,2088 | 0,0055 | 7,7106 | 0,0375 | 0,0187 | 0,0025 |
| 0,0042 | 0,2004 | 0,0054 | 7,5293 | 0,0362 | 0,0204 | 0,0025 |
| Ni | Cu | Cu +/- | Zn | Zn +/- | As | Zr |
| ND | 0,0065 | 0,0007 | 0,0148 | 0,0008 | ND | 0,0255 |
| ND | 0,0062 | 0,0007 | 0,0136 | 0,0008 | ND | 0,0254 |
| ND | 0,0048 | 0,0007 | 0,0120 | 0,0008 | ND | 0,0259 |
| Zr +/- | Mo | Ag | Ag +/- | Cd | Cd +/- | Sn |
| 0,0003 | ND | 0,0162 | 0,0008 | 0,0229 | 0,0009 | 0,0082 |
| 0,0003 | ND | 0,0169 | 0,0008 | 0,0228 | 0,0009 | 0,0092 |
| 0,0003 | ND | 0,0162 | 0,0008 | 0,0231 | 0,0009 | 0,0093 |
| Sn +/- | Sb | Sb +/- | W | W +/- | Pb | Pb +/- |
| 0,0004 | 0,0116 | 0,0005 | 0,004 | 0,0008 | 0,0025 | 0,0003 |
| 0,0004 | 0,0132 | 0,0005 | ND | | 0,0023 | 0,0003 |
| 0,0004 | 0,0126 | 0,0005 | 0004 | 0,0007 | 0,0025 | 0,0003 |
| Bi | Bi +/- | LE | LE +/- | Pass/Fail | Best Match | 2nd Match |

| | | | | | Number | Number |
|--------|--------|-------|------|------|--------|--------|
| | | | | | 0 | 0 |
| 0,0026 | 0,0004 | 52,23 | 0,18 | PASS | 0 | 0 |
| ND | | 52,43 | 0,18 | PASS | 0 | 0 |
| 0,0027 | 0,0004 | 51,18 | 0,18 | PASS | 0 | 0 |

| Live | | | | | | |
|--------|--------|-------|------------|--------------|-------|------|
| Live | Live | Time | Instrument | | | Tube |
| Time 1 | Time 2 | Total | SN | Model | Anode | Unit |
| Delta | | | | | | |
| 12,78 | | 12,78 | 540496 | Professional | Rh | % |
| Delta | | | | | | |
| 27,63 | 25,63 | 53,26 | 540496 | Professional | Rh | % |
| Delta | | | | | | |
| 27,66 | 25,69 | 53,35 | 540496 | Professional | Rh | % |
| Delta | | | | | | |
| 27,64 | 25,64 | 53,29 | 540496 | Professional | Rh | % |

3. Mortar batu bata hasil konsolidasi

| | | | | Elapsed | Elapsed Time | | | |
|-----------|---------|---------|------|---------|--------------|--------|--------|--------|
| Date | Time | Reading | Mode | Time 1 | 2 | | | |
| Mining | | | | | | | | |
| 2/13/2017 | 8:35:40 | #8 | Plus | 29.71 | 29.79 | | | |
| Mining | | | | | | | | |
| 2/13/2017 | 8:37:13 | #9 | Plus | 29.71 | 29.79 | | | |
| Mining | | | | | | | | |
| 2/13/2017 | 8:38:37 | #10 | Plus | 29.71 | 29.79 | | | |
| | | | | | | | | |
| Al | Si | SiO2 | P | S | Cl | K | Ca | Ti |
| 11,02 | 28,51 | 60,98 | ND | ND | ND | 0,5054 | 0,4675 | 0,6393 |

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|----|----|--------|--------|--------|
| 11,14 | 28,08 | 60,06 | 0,0193 | ND | ND | 0,5068 | 0,4151 | 0,6118 |
| 10,9 | 27,96 | 59,81 | 0,0237 | ND | ND | 0,5249 | 0,4193 | 0,6132 |

| V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | As |
|--------|--------|--------|--------|--------|----|--------|--------|----|
| 0,0432 | 0,0139 | 0,3169 | 7,6401 | 0,0199 | ND | 0,0058 | 0,0126 | ND |
| 0,0461 | ND | 0,2756 | 7,9703 | 0,0179 | ND | 0,0065 | 0,0152 | ND |
| 0,0464 | 0,0152 | 0,2081 | 7,9729 | 0,0172 | ND | 0,0069 | 0,0144 | ND |

| Zr | Mo | Ag | Cd | Sn | Sb | W | Pb | Bi |
|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0251 | ND | 0,0162 | 0,0236 | 0,0083 | 0,0121 | 0,0035 | 0,0026 | ND |
| 0,0261 | ND | 0,016 | 0,0254 | 0,0094 | 0,0123 | ND | 0,0021 | 0,0030 |
| 0,2590 | ND | 0,016 | 0,0252 | 0,0083 | 0,0126 | ND | 0,0023 | 0,0024 |

| LE | LE +/- | Pass/Fail | Best | 2nd | Live Time | Live Time 2 |
|-------|--------|-----------|-------|-------|-----------|-------------|
| | | | Match | Match | | |
| 50,72 | 0,17 | PASS | 0 | 0 | 27,49 | 25,41 |
| 50,80 | 0,17 | PASS | 0 | 0 | 27,47 | 25,36 |
| 51,19 | 0,17 | PASS | 0 | 0 | 27,47 | 25,35 |

| Live Time | | | | Tube | |
|-----------|---------------|--------------------|-------|------|--|
| Total | Instrument SN | Model | Anode | Unit | |
| 52,90 | 540496 | Delta Professional | Rh | % | |
| 52,82 | 540496 | Delta Professional | Rh | % | |
| 52,82 | 540496 | Delta Professional | Rh | % | |

