

HASIL KAJIAN 2014



ktorat
yaan



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL KEBUDAYAAN
BALAI KONSERVASI BOROBUDUR
2015

302.072

1516

1

HASIL KAJIAN 2014

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL KEBUDAYAAN
BALAI KONSERVASI BOROBUDUR
2015

Pengarah
Kepala Balai Konservasi Borobudur

Penanggung jawab:
Iskandar Mulia Siregar, S.Si

Editor:
Drs. Marsis Sutopo, M.Si

Redaksi:
Winda Diah Puspita Rini, S.S
Henny Kusumawati, S.S

Tata letak:
Bambang Kasatriyanto, S.I.Kom

Diterbitkan oleh:
Balai Konservasi Borobudur
Direktorat Jenderal Kebudayaan
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
Jl. Badrawati, Borobudur, Magelang, Jawa Tengah 56553
Telp. (0293) 788225, 788175/Fax (0293) 788367
Email : balai@konservasiborobudur.org
konservasiborobudur@yahoo.com
Website: www.konservasiborobudur.org
www.kebudayaan.kemdikbud.go.id/bkborobudur
Cetakan I : 2015
ISBN : 978-602-17306-8-3

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat, karunia, serta taufik dan hidayah-Nya penerbitan Buku Hasil Kajian 2014 dapat terselesaikan. Penerbitan Buku Hasil Kajian 2014 merupakan salah satu sarana penyebaran informasi kepada masyarakat mengenai hasil-hasil kajian Cagar Budaya. Hal ini selaras dengan fungsi Balai Konservasi Borobudur yang salah satunya melaksanakan kajian konservasi terhadap aspek teknik sipil, arsitektur, geologi, biologi, kimia, dan arkeologi Candi Borobudur dan cagar budaya lainnya.

Buku Hasil Kajian 2014 merupakan kompilasi hasil kajian yang telah dilakukan Balai Konservasi Borobudur pada tahun 2014. Buku Hasil Kajian 2014 berisi 8 laporan hasil kajian yaitu Pembersihan Cagar Budaya Logam dengan Metode Tradisional, Konservasi Cagar Budaya Kayu dengan Bahan Tradisional, Dampak Negatif Dupa dan Lilin terhadap Batu Candi, Efektifitas Endapan Garam pada Cagar Budaya Berbahan Batu dengan Resin Penukar Ion, Pengembangan Metode Pengukuran Deformasi Vertikal dan Horizontal Candi Borobudur dan Bukit, Konservasi Situs Liyangan, Visitor Management Candi Borobudur Tahap II, dan Pelapis Tangga Candi Borobudur.

Terimakasih kami ucapkan kepada Kepala Balai Konservasi Borobudur yang telah memberikan kepercayaan kepada Tim Redaksi untuk menyusun Buku Hasil Kajian 2014. Terimakasih juga kami ucapkan kepada para penulis dan semua pihak yang telah berkontribusi membantu dalam penyelesaian buku ini. Kami sadar buku ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran terhadap penyempurnaan buku ini sangat kami harapkan. Semoga buku ini dapat memberi manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Magelang, November 2015

Tim Redaksi

Pengantar Editor

Candi Borobudur yang berada di tempat terbuka kelestariannya sangat dipengaruhi berbagai faktor, baik faktor internal maupun faktor eksternal. Faktor internal yang mempengaruhi kelestarian Candi Borobudur antara lain bahan candi dari batu andesit yang tentunya mengalami proses kerusakan dan pelapukan. Sementara itu berbagai faktor eksternal yang dapat mempengaruhi kelestarian Candi Borobudur antara lain faktor biotis (tumbuhan dan binatang), faktor fisis (iklim, suhu, panas matahari, hujan, bencana alam), dan perilaku manusia (vandalisme dan pemanfaatan tidak terkendali).

Salah satu dampak negatif yang cukup serius mengancam kelestarian Candi Borobudur, khususnya pada bagian batu kulit luar dan relief adalah terjadinya penggaraman. Proses penggaraman ini terjadi adanya rembesan air dari dalam tubuh candi yang membawa garam-garaman dan kemudian terendapkan pada permukaan dinding candi, khususnya pada permukaan relief dinding candi. Berbagai cara dan teknik untuk pembersihan endapan garam ternyata belum dapat diperoleh hasil yang optimal. Oleh karena itu dilakukan berbagai kajian yang salah satu kajiannya adalah *Pembersihan Endapan Garam Pada Cagar Budaya Berbahan Batu Dengan Resin Penukar Ion* yang dilakukan oleh Sri Wahyuni, Iskandar Mulia Siregar, Bambang Kasatriyanto, Jati Kurniawan, dan Puji Santoso. Namun demikian pembersihan garam pada batu kulit luar candi dengan teknik resin penukar ion belum dapat membersihkan berbagai garam yang sudah mengendap dan mengeras pada kulit batu secara optimal. Teknik pembersihan garam dengan menggunakan larutan EDTA 5% sebenarnya lebih optimal daripada dengan teknik penukar ion. Meskipun demikian teknik pembersihan garam dengan menggunakan larutan EDTA 5% juga belum dapat membersihkan endapan garam (lapisan kerak) secara menyeluruh.

Ancaman kelestarian Candi Borobudur juga bukan hanya berasal dari berbagai pengaruh lingkungan, tetapi juga akibat perilaku manusia. Salah satu ancaman yang diakibatkan oleh perilaku manusia adalah keausan batu tangga Candi Borobudur. Hal ini terjadi karena gesekan alas kaki pengunjung yang berupa sandal maupun sepatu dapat menggerus permukaan batu tangga sehingga akan mengakibatkan keausan pada permukaan

batu tangga pada bagian dataran pijak yang berupa cekungan. Salah satu alternatif untuk mengatasi keausan batu tangga Candi Borobudur adalah dengan memberikan pelapis (*cover*). Kajian yang dilakukan oleh Iskandar Mulia Siregar, Yudi Suhartono, Hari Setyawan, Nahar Cahyandaru, Brahmantara, Dian Eka Puspitasari, dan Irawan Setiyawan yang bertema *Pelapisan Tangga Candi Borobudur*.

Selain itu untuk mengurangi dampak negatif terhadap perkembangan pengunjung yang dari tahun ke tahun mengalami penambahan dilakukan kajian oleh Panggah Ardiyansyah, Sugiyono, Fitri Anandasari, Dian Eka Puspitasari, dan Sri Sularsih dengan tema *Visitor Management Candi Borobudur*. Dari hasil kajian tersebut direkomendasikan untuk meningkatkan kenyamanan pengunjung agar semakin memperoleh kenyamanan dalam mengapresiasi Candi Borobudur antara lain dilakukan pembatasan pengunjung, memperpanjang rute pengunjung menuju candi, dan perbaikan media informasi dan interpretasi.

Masalah lain yang berkaitan dengan kelestarian Candi Borobudur adalah keberadaannya yang berada di tempat terbuka dan dibangun di atas sebuah bukit. Hal ini tentunya memberikan dampak jangka panjang dalam kaitannya dengan stabilitas struktur bangunan. Salah satu upaya untuk mengetahui stabilitas struktur bukit tempat berdirinya bangunan candi dan stabilitas struktur bangunan candi telah dilakukan monitoring dan evaluasi secara rutin. Kajian dengan tema *Pengembangan Metode Pengukuran Deformasi Vertikal dan Horizontal Candi Borobudur dan Bukit* yang dilakukan Brahmantara, Joni Setiyawan, Yenny Supandi, Ajar Priyanto, dan Pramudianto Dwi Hanggoro. Dari kajian tersebut telah memberikan gambaran agar metode yang diterapkan dalam pengukuran deformasi terhadap bangunan candi maupun bukit menggunakan desain jaring pengukuran titik kontrol yang sama dengan menggunakan Robotic Total Station yang pengukurannya secara terus menerus.

Ancaman lain berkaitan dengan kelestarian Candi Borobudur adalah penyalaan lilin untuk kepentingan ritual keagamaan. Penyalaan lilin dapat mengakibatkan residu lilin tumpah dan mengotori permukaan batuan. Kondisi demikian tidak hanya mengurangi estetika saja tetapi juga dapat berakibat dampak negatif lainnya terhadap kelestarian batu candi. Kajian yang dilakukan oleh Yudi Suhartono, Al. Widy Purwoko, Basuki Rachmad, dan Ahmad Mudzakkir tentang *Dampak Negatif Dupa*

dan Lilin Terhadap Batu Candi yang telah dilakukan dengan sampel Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, Kompleks Percandian Dieng, Kompleks dan Percandian Gedong Songo telah memberikan gambaran bahwa dampak negatif penggunaan dupa dan lilin tidak hanya mengurangi estetika saja. Namun reaksi kimia selanjutnya dapat mengakibatkan percepatan proses pelapukan batuan. Untuk itu maka dalam penggunaan lilin dan dupa harus diupayakan tidak mengakibatkan residu lilin dan dupa jatuh pada permukaan batu candi.

Pada sisi lain metode dan teknik konservasi terhadap material cagar budaya telah mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. Konservasi cagar budaya di Indonesia yang sudah dilaksanakan secara intensif mulai tahun tujuh puluhan pada saat restorasi Candi Borobudur tahun 1973 – 1983 dapat dipakai sebagai titik tolak perkembangan konservasi cagar budaya di Indonesia. Pada tahun tujuh puluhan tersebut penggunaan bahan konservan kimia produk pabrikan menjadi sesuatu yang lazim digunakan. Namun dalam perjalanan waktu dan seiring dengan kesadaran terhadap kelestarian lingkungan, ternyata diperoleh indikasi bahwa penggunaan bahan kimia pabrikan untuk konservasi terhadap cagar budaya dapat berdampak negatif dalam jangka menengah dan panjang, baik terhadap material benda cagar budaya maupun lingkungannya. Untuk itu maka sebagai alternatif adalah penggunaan bahan-bahan konservan alami yang berasal dari tumbuhan (bahan herbal) dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti bahan konservan kimia pabrikan.

Dalam kenyataannya, bangsa Indonesia sebenarnya sudah memiliki metode dan teknik konservasi dengan memanfaatkan bahan-bahan alami yang ada di sekitar lingkungannya, khususnya yang berupa bahan-bahan konservan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, yang biasanya terkandung dalam daun, bunga, biji, kulit, batang, akar, dan bagian lainnya dari tumbuhan. Untuk itu maka Balai Konservasi Borobudur pada beberapa tahun terakhir ini mulai fokus terhadap kajian konservasi berbasis tradisional sebagai upaya untuk mencari bahan konservan alami yang pandang lebih ramah lingkungan.

Konservasi Kayu Dari Bahan Tradisional yang telah dilakukan oleh Liliek Agung Haldoko, Winda Diah Puspita Rini, Dwi Wahyanto, dan Arif Gunawan telah memberikan gambaran baru bahwa bahan alami yang terkandung dalam lada hitam dan

daun sereh wangi dengan pelarut alkohol dapat secara efektif digunakan untuk konservasi kayu. Zat alami yang terkandung dalam lada hitam dan daun sereh wangi yang dicampur pelarut alkohol dapat berfungsi sebagai insektisida dan fungisida alami yang secara efektif dapat melindungi kayu dari serangan rayap dan jamur.

Selain itu bahan yang berasal dari tumbuhan dapat dimanfaatkan untuk konservasi cagar budaya dari bahan logam. Metode dan teknik konservasi tradisional yang sudah dilakukan oleh nenek moyang bangsa Indonesia dalam bentuk jamasan keris memberikan bukti yang nyata bahwa bahan-bahan alami secara efektif dapat dimanfaatkan untuk konservasi cagar budaya dari bahan logam. Kajian *Konservasi Logam Dengan Bahan Tradisional* yang dilakukan oleh Ari Setyawati, Henny Kusumawati, Rony Muhammad, Heri Yulianto, dan Yudi Atmaja HP, memberikan gambaran bahwa bahan-bahan alami yang terkandung dalam buah belimbing wuluh, buah mengkudu, buah nanas, dan jeruk nipis dapat secara efektif berfungsi untuk pembersihan korosi pada cagar budaya berbahan logam.

Dalam perkembangan selanjutnya konservasi cagar budaya tidak hanya dilakukan pada material bendanya saja, tetapi juga teradap situs dan kawasan. Hal ini sesuai dengan Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 bahwa jenis cagar budaya di Indonesia terdiri Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, Struktur Cagar Budaya, Situs, dan Kawasan Cagar Budaya. Sesuai dengan jenis Cagar Budaya tersebut tentunya memerlukan bentuk konservasi yang sesuai dengan jenis Cagar Budaya. Kajian *Konservasi Situs Liyangan* yang dilakukan oleh Nahar Cahyandaru, Marsis Sutopo, Fr. Dian Ekarini, Hari Setyawan, Ari Kristiyanto, Achmat Chabib Santoso memberikan gambaran bahwa konservasi pada tingkat Situs dapat bersifat kompleks sesuai dengan temuan yang terkandung di dalamnya. Menggabungkan beberapa metode dan teknik konservasi yang disesuaikan dengan jenis cagar budaya dan kondisi eksisting lingkungannya merupakan langkah yang harus ditempuh sehingga upaya konservasinya harus dilakukan secara komprehensif.

Borobudur, Desember 2015

Marsis Sutopo

Daftar isi

Redaksi	ii
Kata Pengantar	iii
Pengantar Editor	iv
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xii
Daftar Grafik	xiii
Daftar Tabel	xiv
Daftar Foto	xvi

PEMBERSIHAN ENDAPAN GARAM PADA CAGAR BUDAYA BERBAHAN BATU DENGAN RESIN PENUKAR ION

Sri Wahyuni, Iskandar Mulia Siregar, Bambang Kasatriyanto, Jati Kurniawan, Puji Santoso	2
BAB I PENDAHULUAN	6
A. Latar Belakang	6
B. Metode Penelitian	8
BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN	10
A. Komposisi lapisan kerak pada Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Kalasan	10
B. Pembahasan	24
BAB III PENUTUP	26
A. Kesimpulan	26
B. Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27

PELAPIS TANGGA CANDI BOROBUDUR

Iskandar Mulia Siregar, Yudi Suhartono, Hari Setyawan, Nahar Cahyandaru, Brahmantara, Dian Eka Puspitasari, Irawan Setiyawan	30
BAB I PENDAHULUAN	32
A. Latar Belakang	32
B. Kerangka Pemikiran	33
C. Maksud dan Tujuan Kajian	34
D. Manfaat Kajian	34
E. Ruang Lingkup Kajian	34
F. Tinjauan Pustaka	35
BAB II PEMBAHASAN	38
A. Kondisi Fisik Batu Struktur Candi Borobudur	38
B. Kondisi Keausan Batu Penyusun Struktur Tangga Candi Borobudur	39
C. Metode Kajian	43
BAB III MONITORING PRA DESAIN MODEL PELAPIS TANGGA	61

A. Monitoring Material	61
B. Persepsi Pengunjung	62
BAB IV KESIMPULAN	63
DAFTAR PUSTAKA	65

KONSERVASI LOGAM DENGAN BAHAN TRADISIONAL

Ari Swastikawati, Henny Kusumawati,	
Rony Muhammad, Heri Yulianto, Yudi Atmaja H.P	67
BAB I PENDAHULUAN	70
A. Latar Belakang	70
B. Metode Penelitian	73
C. Eksperimen dan Analisis Kimia di Laboratorium	76
BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN	79
A. Karakteristik Korosi Pasif dan Aktif pada Besi dan Paduan Tembaga	79
B. Pembersihan Korosi Besi Menggunakan Bahan Alam	86
BAB III PENUTUP	120
A. Kesimpulan	120
B. Saran	121
DAFTAR PUSTAKA	122

PENGEMBANGAN METODE PENGUKURAN DEFORMASI VERTIKAL DAN HORISONTAL CANDI BOROBUDUR

Brahmantara, Joni Setiyawan, Yenny Supandi,	
Ajar Priyanto, Pramudianto Dwi Hanggoro	125
BAB I PENDAHULUAN	128
A. Latar belakang	128
B. Rumusan masalah	129
C. Tujuan	129
D. Manfaat	130
E. Ruang lingkup Kajian	130
F. Landasan Teori	130
BAB II ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	138
A. Persiapan	138
B. Pelaksanaan	139
C. Studi Lapangan	140
D. Pembuatan rancangan jaring kontrol deformasi alternatif	140
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	142
A. Hasil hitungan perataan poligon dengan metode bowdith	142
B. Hasil hitungan perataan dengan hitung kuadrat terkecil metode parameter	144
C. Hasil hitungan poligon lorong I dengan 40 titik	144
D. Hasil hitungan poligon lorong I dengan 8 titik	146
F. Hasil studi lapangan di waduk sermo	149

H. Pembuatan pilar / tugu	153
G. Pembuatan rancangan jaring pengukuran Candi Borobudur dengan robotic total station	151
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	155
A. Kesimpulan	155
B. Saran	156
DAFTAR PUSTAKA	157

VISITOR MANAGEMENT CANDI BOROBUDUR

Panggah Ardiyansyah, Sugiyono, Fitri Andana Sari, Dian Eka Puspitasari, Sri Sularsih	160
BAB I PENDAHULUAN	163
A. Latar Belakang	163
B. Rumusan Masalah	165
C. Maksud dan Tujuan	165
D. Manfaat	166
E. Ruang Lingkup	166
BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN	167
A. Tinjauan Pustaka	167
B. Metode Kajian	168
C. Analisis Data	170
D. Metode Visitor Management	172
BAB III PENUTUP	175
A. Kesimpulan	175
B. Saran	175
DAFTAR PUSTAKA	180

KONSERVASI KAYU DENGAN BAHAN TRADISIONAL

Leliek Agung Haldoko, Winda Diah Puspita Rini, Dwi Wahyanto, Arif Gunawan	184
BAB I PENDAHULUAN	186
A. Latar Belakang	186
B. Metode Penelitian	187
BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN	192
A. Pengujian Efektivitas Sereh Wangi dan Lada Hitam untuk Menangkal Serangan Rayap	192
B. Pengujian Efektivitas Sereh Wangi dan Lada Hitam untuk Menghambat Serangan Jamur	196
BAB III PENUTUP	200
A. Kesimpulan	200
B. Saran	200
DAFTAR PUSTAKA	201

KONSERVASI SITUS LIYANGAN JAWA TENGAH

Nahar Cahyandaru, Marsis Sutopo, Fr. Dian Ekarini, Hari Setyawan, Ari Kristiyanto, Achmat Chabib Santoso	204
---	-----

BAB I PENDAHULUAN	206
A. Latar Belakang	206
B. Maksud dan Tujuan Penelitian	208
C. Batasan Kegiatan	209
D. Tinjauan Pustaka	209
E. Metode Kajian	219
BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN	221
A. Kondisi Lingkungan dan Analisis Kerentanan	221
B. Dokumentasi	225
C. Uji Konsolidasi Arang	226
D. Konservasi terhadap Temuan	226
E. Konsep Pelindungan Artefak dan Fitur di Lapangan	227
BAB III PENUTUP	229
A. Kesimpulan	229
B. Saran	230
DAFTAR PUSTAKA	231

DAMPAK NEGATIF DUPA DAN LILIN TERHADAP BATU CANDI

Yudi Suhartono, Al. Widyo Purwoko, Basuki Rachmad, Ahmad Mudzakkir	234
BAB I PENDAHULUAN	237
A. Latar Belakang	237
B. Tinjauan Pustaka	240
BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN	242
A. Dampak Secara Estetika Penggunaan Dupa dan Lilin terhadap Batu Candi	242
B. Dampak Penggunaan Dupa dan Lilin terhadap Pelapukan Batu	247
C. Penanggulangan Dampak Lilin dan Dupa	259
BAB III PENUTUP	266
A. Kesimpulan	266
B. Saran	267
DAFTAR PUSTAKA	268

Daftar Gambar

Gambar 2.2.1. Keausan Batu Tangga sisi TIMUR Selasar I – Selasar II	42
Gambar 2.2.2. Detil Pembuatan Pra desain Model Pelapis Tangga Candi	53
Gambar 2.2.3. Detil Gambar Pra Desain Model Penyempurnaan Awal	55
Gambar 2.2.4. Detil Gambar Lapisan Karet pada Landasan Dataran Pijak, Model Pelapis Berbahan Kayu Ulin	56
Gambar 2.2.5 Detil Gambar Landasan Kayu dan Dataran Pijak yang Dipasang Melintang	57
Gambar 2.2.6. Detil Pemasangan Landasan Kayu dan Dataran Pijak Pelapis Tangga Candi	57
Gambar 4.1.1. Poligon tertutup	131
Gambar 4.1.2 Jarak antara koordinat A dan B	135
Gambar 4.1.3. Pengamatan sudut A	135
Gambar 4.2.1. Tahapan pelaksanaan kajian	139
Gambar 4.3.1 Desain jaring pengukuran poligon lorong I	147
Gambar 4.3.5. Letak sensor robotic total station dan target monitoring	150
Gambar 4.3.3. Desain pilar permanen untuk station monitoring	150
Gambar 4.3.4. Sketsa jaring pengukuran dengan robotic total station	151
Gambar 4.3.5 Titik target monitoring	153
Gambar 4.3.6. Desain pilar titik refrensi	154
Gambar 4.3.7. Desain pilar station monitoring	154
Gambar 6.1.1 kertas saring dipotong lingkaran	187
Gambar 6.1.2. Pengolesan bahan pada kertas saring	188
Gambar 6.1.3. Kondisi rayap kayu kering di dalam gelas	189
Gambar 6.1.4. Kondisi tempat penyimpanan rayap	189
Gambar 6.1.5. Sampel kayu yang dipakai untuk percobaan..	189
Gambar 6.1.6. Penanaman spora pada media PDA	190
Gambar 6.2.1. Kondisi kertas saring terdapat bekas dimakan oleh rayap	195
Gambar 6.2.2. Kondisi kertas saring yang diolesi minyak sereh wangi relatif terbebas dari serangan rayap	195
Gambar 6.2.3. Kondisi kertas saring yang diolesi minyak lada hitam relatif terbebas dari serangan rayap	196
Gambar 8.2.1. Hasil EDS Sampel Jelaga di Mendut	256
Gambar 8.2.2. Hasil EDS Sampel Bawah Altar Candi Mendut	257

Daftar Grafik

Grafik. 1.2.1	Kelarutan Ca, Mg dalam EDTA 5% dan Pertukaran Resin Penukar Kation dengan Ca, Mg dalam Lapisan Kerak Candi Borobudur	12
Grafik. 1.2.2	Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukar ion dari Lapisan Kerak Candi Borobudur	14
Grafik 1.2.3	Kelarutan Ca, Mg dalam EDTA 5% dan Pertukaran Resin Penukar Kation dengan Ca, Mg dalam Lapisan Kerak Candi Mendut	15
Grafik 1.2.4	Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukaran Sulfur dengan Resin Penukar Anion Lapisan Kerak Candi Mendut	16
Grafik 1.2.5	Kelarutan garam Ca, Mg dalam EDTA 5% dan Penukaran garam Ca, Mg dengan Resin Penukar Ion dari Lapisan Kerak Candi Pawon	17
Grafik 1.2.6	Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukaran Sulfur dengan Resin Penukar Ion dari lapisan Kerak Candi Pawon	19
Grafik 1.2.7	Kelarutan Ca, Mg dalam EDTA 5% dan Pertukaran Resin Penukar Kation dengan Ca, Mg dalam Lapisan Kerak Candi Kalasan	22
Grafik 1.2.8	Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukaran Sulfur dengan Resin Penukar Ion dari Lapisan Kerak Candi Kalasan	23
Grafik 6.2.1.	Efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam untuk menangkal serangan rayap	194
Grafik 6.2.2.	Efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam untuk menghambat serangan jamur	198
Grafik 8.2.1.	Kandungan SiO ₂ pada Batu Candi Mendut	252
Grafik 8.2.2.	Keberadaan Unsur SiO ₂ Sebelum Diuji dengan Lilin	253
Grafik 8.2.3.	Keberadaan unsur SiO ₂ setelah diuji dengan Lilin	253
Grafik 8.2.4.	Keberadaan unsur SiO ₂ Sebelum Diuji dengan Lilin pada miniatur Candi 2	254
Grafik 8.2.5.	Keberadaan Unsur SiO ₂ Setelah Diuji dengan Lilin pada miniatur Candi 2	254

Daftar Tabel

Tabel 1.2.1	Komposisi Lapisan Kerak Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Kalasan serta Batu Segar Candi Kalasan	10
Tabel 1.2.2.	Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Borobudur	11
Tabel 1.2.3.	Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Mendut	15
Tabel 1.2.4.	Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Pawon	17
Tabel 1.2.5.	Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Kalasan	21
Tabel 2.2.1.	Persentase keausan rata-rata keseluruhan tangga	42
Tabel 3.1.1.	Prosedur pembersihan lapisan karat pasif dan aktif	76
Tabel 3.2.1	Komposisi Unsur Keris Besar	86
Tabel 3.2.2	Komposisi Unsur Besi dengan Baut	88
Tabel 3.2.3	Komposisi Unsur Keris Kecil	90
Tabel 3.2.4	Komposisi Unsur Pisau Besar	92
Tabel 3.2.5	Komposisi Unsur Besi Persegi Panjang	93
Tabel 3.2.6	Komposisi Unsur pada Pisau Pengot	95
Tabel 3.2.7	Komposisi Unsur Pasah	96
Tabel 3.2.8	Komposisi Unsur Pasah (Nanas)	99
Tabel 3.2.9	Komposisi Unsur pada Keris	103
Tabel 3.2.10	Komposisi Unsur pada Warangka	107
Tabel 3.2.11	Komposisi Unsur pada Koin 1	109
Tabel 3.2.12	Komposisi Unsur pada Koin 2	110
Tabel 3.2.13	Komposisi Unsur pada Cawan 1	112
Tabel 3.2.14	Komposisi Unsur pada Cawan 2	114
Tabel 3.2.15	Komposisi Unsur pada Nampan	116
Tabel 3.2.16	Komposisi Unsur pada Koin 3	118
Tabel 4.1.2.	Kelas ketelitian poligon	132
Tabel 4.3.1.	Hasil perhitungan bowdith lorong I dengan 8 titik	142
Tabel 4.3.2.	Hasil perhitungan bowdith lorong I dengan 40 titik	143
Tabel 4.3.3.	Hasil pengujian data ukuran poligon lorong I dengan 40 titik	144
Tabel 4.3.4.	Hasil estimasi koordinat poligon lorong I dengan 40 titik kontrol	145
Tabel 4.3.5.	Hasil pengujian data ukuran poligon lorong I dengan 8 titik	146
Tabel 4.3.6.	Hasil estimasi koordinat poligon lorong I dengan 8 titik kontrol	147
Tabel 4.3.7.	Elemen elips kesalahan jaring titik kontrol lama	148
Tabel 4.3.8.	Elemen elips kesalahan jaring titik kontrol baru	148
Tabel 6.2.1.	Hasil pengujian efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam untuk mematkan rayap	192

Tabel 6.2.2	Hasil pengujian efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam untuk menghambat pertumbuhan jamur	197
Tabel 8.2.1.	Kandungan Unsur Batu Candi Gedong 1 Kompleks Gedongsongo	248
Tabel 8.2.2.	Kandungan Unsur Batu Candi Arjuna Kompleks Dieng	248
Tabel 8.2.3.	Kandungan Unsur Batu Candi Mendut	249
Tabel 8.2.4.	Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 1 Setelah Dipasang Lilin	250
Tabel 8.2.5.	Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 1 Setelah Dipasang Lilin	250
Tabel 8.2.6.	Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 2 Sebelum Dipasang Dupa	250
Tabel 8.2.7.	Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 2 Setelah Dipasang Dupa	250

Daftar Foto

Foto 2.2.1.	Kondisi blok batu struktur candi beserta kuncian dan takikannya	38
Foto 2.2.2.	Kondisi tangga undag – Selasar pada sisi Timur dan aktifitas pengunjung yang melewati tangga	39
Foto 2.2.3.	Contoh keausan Batu candi pada tangga sisi Barat penghubung lorong I - lorong II.	41
Foto 2.2.4.	Lokasi Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga pada Tangga Sisi Timur Lorong I – Lorong II.....	52
Foto 2.2.6.	Lokasi Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga pada Tangga Sisi Utara Lorong I – Lorong II.	52
Foto 2.2.5.	Lokasi Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga pada Tangga Sisi Selatan Lorong I – Lorong II	52
Foto 2.2.7.	Proses Pemasangan Dataran Pijak pada Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga	58
Foto 2.2.8.	Hasil Akhir Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga Berbahan Kayu dengan Susunan Melintang	58
Foto 2.2.9.	Model Pelapis Tangga Candi dengan Kerangka Besi dan Dataran Pijak Kayu Jati di Tangga Utara Lorong II – Lorong	60
Foto 2.2.10.	Desain Knock Down pada Model Pelapis Tangga Candi dengan Kerangka Besi	60
Foto 2.3.1.	Monitoring Desain Model Pelapis Tangga Candi	62
Foto 2.3.2.	Pelaksanaan Monitoring pada Dataran Pijak Model Pelapis Tangga Candi yang Mengalami Pergeseran	62
Foto 3.1.1.	Kegiatan Wawancara dengan Gusti kanjeng Winarno	74
Foto 3.1.2.	Melihat Proses Pembuatan Keris Di Padepokan Serta Kegiatan Wawancara Dengan Empu Daliman	75
Foto 3.2.1.	Meriam di Museum Benteng Vredeburg yang Mengalami Korosi Pasif	79
Foto 3.2.2.	Contoh Korosi Pasif pada Panduan Tembaga	80
Foto 3.2.3.	Korosi Aktif pada Tang Besi Hasil Temuan Eskavasi Situs Liangan	81
Foto 3.2.4.	Korosi Aktif yang terjadi pada temuan hasil eskavasi situs liangan yang ditandai adanya pengelupasan dan retakan	81
Foto 3.2.5.	Korosi Aktif yang pada artefak besi yang ditandai adanya “sweating” or “weeping” (berkeringat dan menangis)	82
Foto 3.2.6.	Korosi Aktif pada Paduan Tembaga	82
Foto 3.2.7.	Permukaan Bilah yang mengalami Karat Tahun	84
Foto 3.2.8.	Karat darah yang belum dibersihkan	84
Foto 3.2.9.	Karat darah yang sudah dibersihkan tapi belum sempurna sehingga masih meninggalkan bekas	85
Foto 3.2.10.	Karat darah yang belum dibersihkan	85
Foto 3.2.11.	Bilah pisau yang ditemukan di sungai mengalami korosi aktif	86
Foto 3.2.12.	Bilah keris yang ditemukan di sungai mengalami korosi aktif tapi sudah dibersihkan dengan sempurna	86
Foto 3.2.13.	Proses pembersihan keris menggunakan blimbing wuluh	87
Foto 3.2.14.	Kondisi keris setelah dibersihkan	87

Foto 3.2.15.	Kondisi dan baut yang belum dibersihkan	88
Foto 3.2.16.	Proses perendaman objek dalam air mengkudu dan pengukuran pH	89
Foto 3.2.17.	Proses pembersihan dengan lerak	89
Foto 3.2.18.	Kondisi dan baut yang belum dibersihkan	90
Foto 3.2.19.	Kondisi keris sebelum dibersihkan	90
Foto 3.2.20.	Proses pembersihan keris dengan direndam dalam air nanas.....	91
Foto 3.2.21.	Kondisi keris setelah dibersihkan	91
Foto 3.2.22.	Kondisi pisau sebelum dibersihkan	92
Foto 3.2.23.	Kondisi pisau setelah dibersihkan	92
Foto 3.2.24.	Kondisi besi persegi dibersihkan	93
Foto 3.2.25.	Proses pembersihan karat menggunakan belimbing wuluh	94
Foto 3.2.26.	Proses pembersihan karat menggunakan belimbing wuluh	94
Foto 3.2.27.	Kondisi Pisau Pengot sebelum dibersihkan	95
Foto 3.2.28.	Proses pembersihan pisau pengot menggunakan buah maja	96
Foto 3.2.29.	Kondisi Pisau setelah dibersihkan	96
Foto 3.2.30.	Kondisi kunciian sebelum dibersihkan	97
Foto 3.2.31.	Proses penyiapan larutan dari buah mengkudu	97
Foto 3.2.32.	Proses pembersihan korosi menggunakan buah mengkudu	97
Foto 3.2.33.	Proses setelah direndam dalam air mengkudu	98
Foto 3.2.34.	Kondisi larutan Mengkudu dan Pengukuran pH Larutan ...	98
Foto 3.2.35.	Proses pencucian perendaman	99
Foto 3.2.36.	Kondisi setelah proses pencucian dengan Lerak	99
Foto 3.2.37.	Kondisi kunciian pasah sebelum dibersihkan	100
Foto 3.2.38.	Perendaman kunciian pasah dalam air nanas	101
Foto 3.2.39.	Kondisi kunciian pasah setelah perendaman	101
Foto 3.2.40.	Pengukuran pH air Nanas setelah digunakan untuk perendaman dan proses pembersihan secara mekanis ...	102
Foto 3.2.41.	Kondisi kunciian pasah setelah dibersihkan dengan air nanas	102
Foto 3.2.42.	Kondisi keris sebelum dibersihkan	103
Foto 3.2.43.	Garam dan sulfur yang digunakan dalam proses pembersihan karat	103
Foto 3.2.44.	Campuran sulfur, garam, dan air serta pengukuran pH.....	104
Foto 3.2.45.	Proses Pembalutan awal	104
Foto 3.2.46.	Kondisi Keris sebelum dibersihkan	104
Foto 3.2.47.	Pembalutan ulang keris	105
Foto 3.2.48.	Kondisi keris setelah pembalutan 24 jam	105
Foto 3.2.49.	Kondisi keris setelah dibersihkan dengan pembalutan 24 jam	106
Foto 3.2.50.	Kondisi Warangka Sebelum Dibersihkan	107
Foto 3.2.51.	Proses Penyiapan Santan	108
Foto 3.2.52.	Kondisi Keris Setelah Dibersihkan	108
Foto 3.2.53.	Kondisi Koin Sebelum Dibersihkan	109
Foto 3.2.54.	Kondisi pembersihan dengan jeruk nipis	109
Foto 3.2.55.	Kondisi koin setelah dibersihkan	110
Foto 3.2.56.	Kondisi koin 2 sebelum dibersihkan	111
Foto 3.2.57.	Proses pembersihan koin 2 menggunakan jeruk nipis dan abu gosok	111
Foto 3.2.58.	Kondisi koin 2 setelah dibersihkan dengan jeruk nipis dan abu gosok	112
Foto 3.2.59.	Kondisi cawan sebelum dibersihkan	113

Foto 3.2.60.	Kondisi cawan Setelah dibersihkan	114
Foto 3.2.61.	Kondisi cawan 2 Setelah dibersihkan	115
Foto 3.2.62.	Kondisi cawan 2 Setelah dibersihkan	115
Foto 3.2.63.	Kondisi nampun sebelum dicuci	117
Foto 3.2.64.	Kondisi nampun setelah dicuci	117
Foto 3.2.65.	Kondisi nampun sebelum dicuci	118
Foto 3.2.66.	Proses pencampuran jeruk nipis dan soda kue	119
Foto 3.2.67.	Proses pembersihan korosi pada koin 3 dengan pasta jeruk nipis dan soda kue	119
Foto 3.2.68.	Kondisi Koin 3 setelah dibersihkan	119
Foto 4.3.1	Prisma target monitoring	150
Foto 4.3.2	Posisi target monitoring dan prisma target monitoring	152
Foto 8.1.1.	Pembakaran lilin pada acara Waisak di Candi Borobudur	240
Foto 8.1.2.	Penggunaan lilin dan dupa di Candi Mendut	240
Foto 8.2.1.	Lelehan lilin di saluran drainase	242
Foto 8.2.2.	Lelehan lilin di batu-batu halaman	242
Foto. 8.2.3.	Penyalaaan lilin dan dupa di altar Candi Mendut, terlihat warna putih dan kehitaman di batu altar	244
Foto. 8.2.4.	Bekas lilin pada relung Candi Mendut	244
Foto 8.2.5	Sisa lilin yang menempel pada batu relung di bilik candi	244
Foto 8.2.6	Sisa lilin yang menempel pada batu relung di bilik candi	244
Foto 8.2.7	Yoni yang tampak kotor terkena bekas pembakaran lilin dan dupa pada Candi Gedong 1	246
Foto 8.2.8	Lapisan hitam dan bekas lelehan llin di dalam relung pada Candi Gedong 1	246
Foto 8.2.9	Yoni yang tampak kotor terkena bekas pembakaran lilin dan dupa pada Candi Arjuna	246
Foto 8.2.10	Lapisan hitam di Candi Dwarawati	246
Foto 8.2.11	Bekas lelehan lilin di batu halaman	262
Foto 8.2.12	Pemanasan bekas lilin	262
Foto 8.2.13	Pemberian pasir	262
Foto 8.2.14	Gosok dengan sikat ijuk	262
Foto 8.2.15	Pembagian sampel untuk bahan uji	265
Foto 8.2.16	Bahan Alkohol	265
Foto 8.2.17	Bahan Aseton	265
Foto 8.2.18	Bahan Xylol	265
Foto 8.2.19	Pembersihan	265
Foto 8.2.20	Setelah dibersihkan	265

1. PEMBERSIHAN ENDAPAN GARAM PADA CAGAR BUDAYA BERBAHAN BATU DENGAN RESIN PENUKAR ION

Sri Wahyuni, Iskandar Mulia Siregar,

Bambang Kasatriyanto,

Jati Kurniawan, Puji Santoso

PEMBERSIHAN ENDAPAN GARAM PADA CAGAR BUDAYA BERBAHAN BATU DENGAN RESIN PENUKAR ION

Sri Wahyuni, Iskandar Mulia Siregar, Bambang Kasatriyanto,
Jati Kurniawan, Puji Santoso

Abstrak

Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan merupakan candi yang tersusun dari batuan dan berada di alam terbuka sehingga sangat rentan terhadap kerusakan dan pelapukan. Salah satu pelapukan yang terjadi adalah penggaraman yang dapat mengancam kelestarian candi sehingga perlu dilakukan upaya untuk mengatasi permasalahan yang terjadi. Upaya yang dilakukan untuk menangani masalah penggaraman adalah dilakukan kajian dalam rangka mencari bahan dan metode pembersihan endapan garam yang menempel pada permukaan dinding batu candi. Kajian yang pernah dilakukan adalah 2010 dengan judul “Metode Konservasi Relief”, hasilnya menunjukkan bahwa larutan NH_4HCO_3 (Ammonium Bikarbonat) dan EDTA serta campuran keduanya memiliki kemampuan melarutkan kalsium (Ca) dari endapan garam pada batu relief Candi Borobudur. Akan tetapi kedua bahan tersebut belum mampu membersihkan endapan garam. Kajian pembersihan endapan garam juga dilakukan kembali pada tahun 2012. Kajian ini mengacu pada hasil kajian tahun 2010 yang memfokuskan pada penggunaan bahan EDTA, adapun judul kajian ini adalah Pembersihan Endapan Garam pada Batu Candi” dengan berbagai variasi konsentrasi dan waktu. Berdasarkan hasil kajian ini, EDTA mampu melarutkan kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Besi (Fe), dan Tembaga (Cu). Akan tetapi EDTA tidak dapat membersihkan endapan garam/lapisan kerak secara menyeluruh. Berdasarkan hasil kajian yang belum dapat membersihkan endapan garam dengan maksimal maka dilaksanakan kajian pembersihan

endapan garam kembali dengan menggunakan resin penukar ion pada Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan dengan berbagai variasi percobaan dan variasi waktu serta dilakukan pembandingan dengan menggunakan EDTA.

Maksud kajian “Efektifitas Pembersihan Endapan Garam pada Cagar Budaya Berbahan Batu dengan Resin Penukar Ion” adalah mencari metode yang paling tepat untuk menangani pengaraman yang terdapat pada permukaan dinding candi. Adapun tujuan dari kajian ini adalah mengetahui efektifitas resin penukar ion (kation dan anion) dalam mengatasi masalah pengaraman, mengetahui cara pengaplikasian resin penukar ion baik kation maupun anion yang efektif untuk membersihkan endapan garam dan menentukan lama waktu pengaplikasian resin penukar kation dan resin penukar anion yang tepat untuk membersihkan endapan garam.

Metode percobaan yang dilakukan dengan resin penukar ion dengan cara penempelan pada permukaan batu yang terdapat lapisan kerak dengan 5 variasi pengaplikasian yaitu resin penukar kation-anion, resin penukar anion-kation, resin campur kation+anion, sebagai pembandingan digunakan kontrol dan larutan EDTA 5% dalam bubur kertas serta variasi larutan EDTA 5% dalam bubur kertas diganti resin penukar ion dengan aplikasi percobaan selama 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa resin penukar ion mampu menukarkan kation berupa kalsium(Ca) dan magnesium(Mg) maupun anion berupa Sulfur(S), akan tetapi resin penukar kation maupun anion belum dapat membersihkan lapisan kerak pada Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan. Hasil analisis menunjukkan adanya variasi waktu penempelan baik 24 jam, 48 jam, maupun 72 jam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Apabila dibandingkan dengan larutan EDTA 5% maka ion Ca, Mg dalam lapisan kerak terlarutkan lebih banyak daripada resin penukar ion dalam menukarkan ion Ca, Mg dalam lapisan kerak.

Kata Kunci : Endapan Garam, Resin Penukar Ion

Abstract

Borobudur Temple, Mendut Temple, Pawon Temple and Kalasan Temple are temples that are constructed by stones and located in open environment so that they are prone to damages and deteriorations. One of the deteriorations is salt deposit, which could threaten the state of conservation of the stone so that efforts should be made to overcome this problem. Efforts made for salt deposit includes studies on finding substances and methods in cleaning salt deposit on the surface of stone wall. The study in 2010 named "Method in Relief Conservation" shows that solution NH_4HCO_3 (Ammonium Bicarbonate) and EDTA, as well as mix of both has a potency to dissolve calcium (Ca) inside the salt deposit, although the both solutions could not entirely clean the salt deposit. Study on the cleaning of salt deposit is performed again in 2012. Based on finding in 2010 study, the latter study, named "Efficacy of EDTA in Cleaning Salt Deposit in Temple Stones", focuses on the use of EDTA in various concentrations and period of application. Based on the result, EDTA could dissolve calcium (Ca), Magnesium (Mg), Iron (Fe), and Copper (Cu), but EDTA could not wholly clean the salt deposit/crust. With regards to that matter, study on the cleaning of salt deposit is conducted again by using ion exchange resins Borobudur Temple, Mendut Temple, Pawon Temple, and Kalasan Temple in various testing and period of application as well as comparison to cleaning with EDTA.

The aim is to find the most suitable method in cleaning salt deposit on the surface of stone wall. The objective is to know the efficacy of ion exchange resins (cation and anion) to clean salt deposit, the effective application method of ion exchange resins, both cation and anion, and the determination of period of application.

The method used in by sticking the resins in stone surface by 5 variations of application, which are exchange resin cation-anion, exchange resin anion-cation, and mixed resin cation+anion. As comparison, EDTA 5% is used in pulp and variation of EDTA solution 5% in pulp plus ion exchange resins in period of 24 hours, 48 hours, and 72 hours. Based on the result, ion exchange resins could exchange cation of calcium (Ca) and magnesium (Mg) as

well as anion of Sulfur (S), but the exchange resin of cation and anion could not clean the crust in Borobudur Temple, Mendut Temple, Pawon Temple, and Kalasan Temple. The result shows variation in period of application does not show any significant different. Compared to EDTA 5%, ion Ca, Mg in crust layer is dissolved more than ion exchange resin in exchanging Ca, Mg in crust layer.

Keywords : *Salt Deposit, Ion Exchange Resin*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Material penyusun Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan tersusun atas batuan dan terletak di lingkungan terbuka sehingga berkontak langsung dengan udara, air hujan, dan sinar matahari. Oleh sebab itu candi yang tersusun dari batuan sangat rentan terhadap kerusakan dan pelapukan. Salah satu pelapukan yang terjadi adalah adanya penggaraman pada permukaan dinding batu. Penggaraman menurut Ariyanto (1993) dijelaskan bahwa pada dinding Candi Borobudur terjadi pengelupasan akibat adanya pemuaian dan pengkerutan yang berbeda antara mineral-mineral penyusun batuan dan endapan garam. Adanya endapan garam yang bisa menyebabkan pengelupasan pada permukaan dinding candi dapat mengancam kelestariannya maka Balai Konservasi Borobudur sebagai instansi yang memiliki tugas pokok dan fungsi sebagai pusat kajian konservasi melakukan kajian khusus mengenai penanganan endapan garam.

Adapun judul kajian yang sudah dilakukan mengenai penanganan endapan garam adalah kajian dengan judul "Studi Proses Penggaraman pada Batu Candi dan Metode Penanganannya" pada tahun 2002. Hasil dari kajian ini adalah percobaan pembersihan endapan garam dengan menggunakan bubuk kertas dengan larutan Natrium Hidroksida(NaOH) konsentrasi 0,1 N, endapan garam menipis tetapi batu korosif. Percobaan juga menggunakan bubuk kertas dengan larutan Asam Klorida(HCl) konsentrasi 0,1 N hasil endapan garam menipis tetapi belum maksimal.

Kajian dengan judul "Metode Konservasi Relief Candi

Borobudur” pada tahun 2010. kajian ini fokus dalam menentukan bahan yang efektif untuk melarutkan mineral penyusun endapan garam. Adapun bahan yang digunakan dalam kajian ini adalah NH_4HCO_3 (*Amonium Bikarbonat*) dan EDTA (*Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid*). Hasil kajian ini menurut Ari (2010), bahwa penggunaan diantara kedua bahan tersebut yang paling baik melarutkan kalsium dari mineral penyusun endapan garam adalah EDTA. Oleh sebab itu kajian pada tahun 2012 fokus pada penggunaan EDTA untuk membersihkan endapan garam. Judul kajian adalah “*Efektifitas EDTA dalam Membersihkan Endapan Garam pada Cagar Budaya Berbahan Batu*”. Berdasarkan hasil kajian ini ternyata EDTA belum efektif untuk menangani permasalahan pengaraman yang terdapat pada permukaan dinding candi.

Permasalahan pengaraman pada dinding candi perlu ditangani. Balai Konservasi Borobudur pada tahun 2012 kedatangan seorang expert UNESCO perwakilan Jerman yaitu Dr.Eberhard, memberi saran untuk mencoba menggunakan resin penukar ion dalam upaya penanganan pengaraman yang terjadi pada permukaan dinding batu candi. Resin penukar ion sendiri juga telah digunakan dalam lingkup konservasi benda purbakala berbahan batu, antara lain resin penukar ion digunakan sebagai pembersih kerak yang disebabkan oleh lapisan yang mengandung ion kalsium tinggi (Giovagnoli dkk, 1979 dalam makalah yang disampaikan oleh Prof Nuryono), penghilangan ion fosfat dari batuan dapat menghambat pertumbuhan organisme dalam batuan (Young dan Urquhart, 1998 dalam makalah yang disampaikan oleh Prof Nuryono).Oleh sebab itu pada tahun 2014 ini akan dilakukan kajian dengan judul “*Kajian Efektifitas Pembersihan Endapan Garam pada Cagar Budaya Berbahan Batu dengan Resin Penukar Ion*”.

B. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini antara lain studi pustaka, observasi lapangan, eksperimen, dan analisis laboratorium.

- Studi Pustaka

Adapun literatur yang dipakai adalah mengenai batuan, penelitian mengenai penanganan penggaraman yang sudah dilakukan, dan penelitian penggunaan resin penukar ion.

- Observasi lapangan

Observasi dilakukan sebelum dilakukan percobaan untuk menentukan lokasi percobaan, observasi selama percobaan untuk mengamati perubahan yang terjadi dan observasi setelah percobaan untuk mengetahui dampak penggunaan resin penukar ion setelah percobaan.

- Eksperimen Lapangan

Prosedur percobaan yang dilakukan di lapangan sebagai berikut

- Pemilihan lokasi
- Pendokumentasian berupa foto
- Blok batu dibasahi hingga jenuh
- Pencucian resin penukar kation maupun resin penukar anion dengan menggunakan aquadest
- Pengaplikasian bahan pada blok batu yang terdapat lapisan kerak. Variasi pengaplikasian bahan resin penukar kation dan anion serta campuran resin kation dan anion dengan variasi waktu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam
- Blok batu yang telah ditempeli dengan resin penukar ion (kation maupun anion) ditutup dengan kapas yang telah dibasahi agar resin tetap menempel pada blok batu
- Pengecekan pH (derajat keasaman) dan dilakukan

penyempotan dengan aquadest untuk membasahi permukaan batu yang ditemplei dengan resin penukar kation maupun anion. Pengecekan dilakukan setiap hari

- Pada lokasi yang kurang lembab atau kering agar proses pertukaran ion antara lapisan kerak yang berada dalam blok batu dengan resin penukar ion maka dibantu dengan meneteskan aquadest melalui celah kapas dan permukaan blok batu dengan infus
- Penggantian pengaplikasian resin penukar kation dengan resin penukar anion pada blok batu percobaan sesuai dengan variasi waktu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam
- Pendokumentasian setelah percobaan selesai, melalui foto

BAB II

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Komposisi lapisan kerak pada Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Kalasan

Berdasarkan data hasil kajian tahun 2012 dengan judul “Efektifitas EDTA dalam Membersihkan Endapan garam” komposisi lapisan kerak pada Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Kalasan dengan menggunakan analisis EDS yang dilaksanakan di laboratorium SEM Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung sebagai berikut :

Tabel 1.2.1 Komposisi Lapisan Kerak Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Kalasan serta Batu Segar Candi Kalasan

Asal Sampel(Kode)	Jenis Mineral(%)											
	C	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	CaO	FeO	K ₂ O	MnO	CuO
Batu Segar K.	0	5,52	0	21,05	65,45	0	0	4,71	0	3,27	0	0
Bajralepa K.	27,83	0,47	0,73	1,74	35,86	0	0,07	32,66	0,64	0	0	0
Kerak K. Hijau	8,72	0,43	0,28	4,83	13,38	1,27	41,74	29,02	0,33	0	0	0
Kerak K. Merah	5,1	0,47	9,65	0,5	1,57	33,16	18,39	25,24	0	0	5,62	0,3
Kerak K. Putih	10,58	0,36	0	31,42	7,94	34,85	8,78	4,82	0,73	0	0	0,52
Kerak B.	15,63	0	0,38	9,15	71,8	0	0	2,59	0,25	0	0	0,21
Kerak M.	6,18	0,97	0,28	3,45	66,91	0	12,42	9,02	0,77	0	0	0

Keterangan :

- B : Borobudur
- K : Kalasan
- M : Mendut
- C : Karbon
- S : Sulfur

Berdasarkan hasil analisis tersebut adanya unsur karbon, fosfat, dan belerang menunjukkan bahwa dalam lapisan kerak terdapat material organik. Apabila dibandingkan dengan batu segar/batu yang belum mengalami proses pelapukan yang tidak mengandung unsur karbon, fosfat, dan belerang sehingga batu segar hanya mengandung material anorganik.

Hasil analisis lapisan kerak ini dijadikan acuan untuk menentukan parameter analisis, hasil percobaan pengaplikasian resin penukar ion untuk membersihkan lapisan kerak Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Kalasan. Adapun unsur yang dianalisis adalah kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan juga Belerang/Sulfur (S).

1. Lapisan Kerak Candi Borobudur

1) Pengamatan Lapisan Kerak pada Permukaan Batuan secara Visual

Lokasi percobaan pembersihan lapisan kerak Candi Borobudur, dilakukan pada satu blok batu yang terdapat lapisan kerak hampir merata/homogen. Variasi percobaan terdiri dari 5 macam variasi dan 1 kontrol. Satu buah blok batu dibagi menjadi 6 bagian yaitu kontrol, percobaan dengan menggunakan bubuk kertas dalam EDTA 5 %, bubuk kertas dalam EDTA 5% diganti resin penukar ion, resin penukar kation-anion, resin penukar anion- kation, dan resin campuran (kation + anion).

Foto Sebelum Percobaan	Foto Setelah Percobaan	Keterangan
		<p>Tidak terdapat perubahan secara fisik pada lapisan kerak batuan sebelum dan setelah percobaan dengan berbagai macam variasi pengaplikasian bahan baik larutan EDTA 5% maupun resin penukar ion</p>

Tabel 1.2.2. Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Borobudur

2) Pertukaran Kalsium dan Magnesium Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Kation

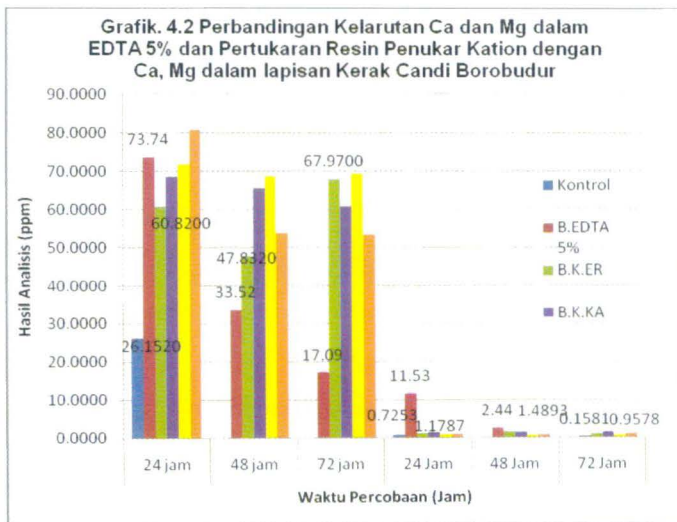
Pertukaran kation berupa kalsium dan magnesium yang merupakan unsur dasar penyusun lapisan kerak yang terdapat pada permukaan batuan Candi Borobudur dilakukan percobaan

dengan berbagai macam variasi percobaan yaitu bubur kertas dengan larutan EDTA 5 %, bubur kertas dengan larutan EDTA 5 %, 1 hari kemudian diganti resin kation-anion, resin penukar kation-anion, resin penukar anion-kation dan resin campur anion dan kation.

Resin setelah pengaplikasian kemudian dicuci, diregenerasi, dan dibilas menggunakan aquadest. Larutan hasil pencucian, regenerasi, dan pembilasan kemudian dianalisis dengan menggunakan instrument AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer*).

Untuk memudahkan dalam melakukan analisis maka dilakukan pengkodean pada setiap lokasi dan variasi percobaan.

- K = Kontrol (Aquadest)
- B.EDTA 5 % = Borobudur, EDTA 5 %
- B.K.ER = Borobudur, kation, variasi aplikasi bahan EDTA 5% kemudian resin penukar ion
- B.K.KA = Borobudur, Kation, variasi kation kemudian anion
- B.K.AK = Borobudur, Kation, variasi pengaplikasian anion kemudian kation
- B.C = Borobudur, Campuran antara resin kation dan anion



Grafik. 1.2.1 Kelarutan Ca, Mg dalam EDTA 5% dan Pertukaran Resin Penukar Kation dengan Ca, Mg dalam Lapisan Kerak Candi Borobudur

Berdasarkan grafik di atas diketahui bahwa lamanya waktu aplikasi resin penukar ion tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap pertukaran resin kation dengan kalsium dan magnesium pada lapisan kerak Candi Borobudur. Hasil analisis ini apabila dibandingkan dengan kontrol maka hasil analisis larutan bekas penempelan resin penukar kation maupun campuran resin penukar kation dan anion, kandungan kalsium maupun magnesium masih di atas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa resin penukar ion dapat menukarkan garam kalsium dan magnesium dalam lapisan kerak Candi Borobudur.

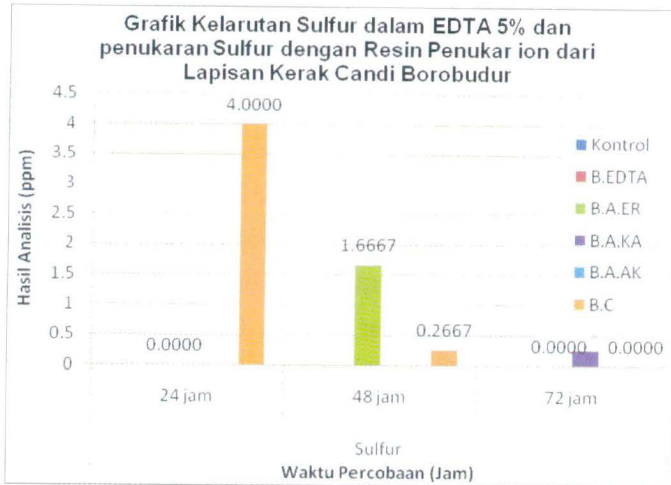
Dalam kajian ini juga dilakukan perbandingan pembersihan endapan garam dengan menggunakan bubuk kertas dalam larutan EDTA 5 % dan resin penukar kation. Dalam grafik 4.2 terlihat bahwa larutan EDTA 5 % jauh lebih baik melarutkan Ca dan Mg lapisan kerak Candi Borobudur dibandingkan resin penukar ion dalam menukarkan Ca dan Mg lapisan kerak Candi Borobudur. Grafik di atas menunjukkan bahwa waktu aplikasi 24 jam sudah menunjukkan hasil yang optimum baik aplikasi menggunakan larutan EDTA 5 % maupun resin penukar ion.

3) Pertukaran Sulfur Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Anion

Larutan bekas resin penukar ion yang telah diaplikasikan pada lapisan kerak Candi Borobudur kemudian dianalisis dengan menggunakan instrument Spektro UV-VIS.

Untuk memudahkan dalam melakukan analisis maka dilakukan pengkodean pada setiap lokasi dan variasi percobaan.

- K = Kontrol(Aquadest)
- B.EDTA 5 % = Borobudur, EDTA 5 %
- B.A.ER = Borobudur, Anion, variasi aplikasi bahan EDTA 5% kemudian resin penukar ion
- B.A.KA = Borobudur, Anion, variasi kation kemudian anion
- B.A.AK = Borobudur, Anion, variasi pengaplikasian anion kemudian kation
- B.C = Borobudur, Campuran antara resin kation dan anion



Grafik. 1.2.2 Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukar ion dari Lapisan Kerak Candi Borobudur

Berdasarkan grafik di atas pengaplikasian resin penukar ion campuran(B.C) variasi waktu 24 jam mampu menukarkan ion sulfur sebanyak 4 ppm.

2. Lapisan Kerak Candi Mendut

1) Pengamatan Lapisan Kerak secara Visual

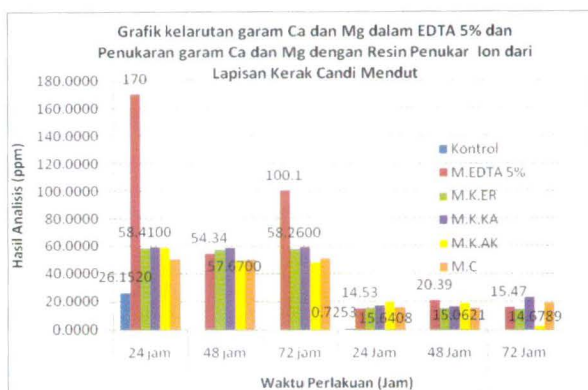
Pengamatan secara visual dilakukan dengan membandingkan foto sebelum dilakukan percobaan dan foto setelah percobaan untuk mengetahui perbedaannya secara visual.

Foto Sebelum Percobaan	Foto Setelah Percobaan	Keterangan
		Tidak terdapat perubahan secara fisik pada lapisan kerak batuan sebelum dan setelah percobaan dengan berbagai macam variasi pengaplikasian bahan baik larutan EDTA 5% maupun resin penukar ion

Tabel 1.2.3. Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Mendut

2) Pertukaran Kalsium dan Magnesium Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Kation

Larutan bekas resin penukar ion yang telah diaplikasikan pada lapisan kerak Candi Mendut kemudian dianalisis dengan menggunakan instrument AAS.



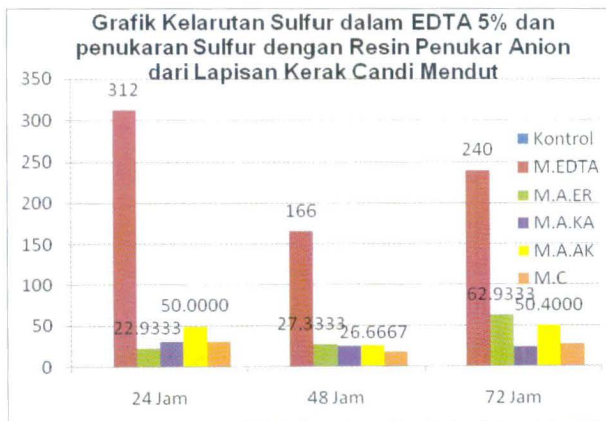
Grafik 1.2.3 Kelarutan Ca, Mg dalam EDTA 5% dan Pertukaran Resin Penukar Kation dengan Ca, Mg dalam Lapisan Kerak Candi Mendut

Berdasarkan grafik di atas diketahui bahwa lamanya waktu aplikasi tidak berpengaruh terhadap pertukaran resin kation dengan kalsium dan magnesium pada lapisan kerak Candi Mendut. Waktu aplikasi penempelan selama 24 jam sudah menunjukkan hasil yang optimal. Apabila dibandingkan dengan kontrol maka hasil analisis larutan bekas penempelan resin penukar kation maupun resin campuran kandungan kalsium

maupun magnesium masih di atas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa resin penukar ion dapat menukarkan garam kalsium dan magnesium dalam lapisan kerak Candi Mendut.

Dalam kajian ini juga dilakukan perbandingan pembersihan endapan garam dengan menggunakan bubuk kertas dalam larutan EDTA 5 % dan resin penukar kation. Dalam grafik terlihat bahwa larutan EDTA 5 % jauh lebih baik melarutkan Ca dan Mg Lapisan Kerak Candi Mendut dibandingkan resin penukar ion dalam menukarkan Ca dan Mg lapisan kerak Candi Mendut. Grafik di atas menunjukkan bahwa waktu aplikasi 24 jam dengan menggunakan larutan EDTA 5 % mampu melarutkan kalsium lapisan kerak Candi Mendut secara optimal sedangkan magnesium dapat larut dalam larutan EDTA waktu percobaan 48 jam. Sedangkan kemampuan bekerja resin penukar ion dalam menukarkan kalsium dan magnesium lapisan kerak Candi Mendut tidak ada perbedaan yang signifikan antara waktu aplikasi 24 jam, 48 jam maupun 72 jam.

3) Pertukaran Sulfur Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Anion



Grafik 1.2.4 Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukaran Sulfur dengan Resin Penukar Anion Lapisan Kerak Candi Mendut

Berdasarkan grafik di atas penempelan resin penukar anion dengan berbagai variasi waktu 24 jam, 48 jam, 72 jam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam menukarkan ion sulfur lapisan kerak Candi Mendut. Apabila dibandingkan dengan EDTA 5% variasi waktu pengaplikasian 24 jam sudah mampu melarutkan ion sulfur sebesar 312 ppm.

3. Lapisan Kerak Candi Pawon

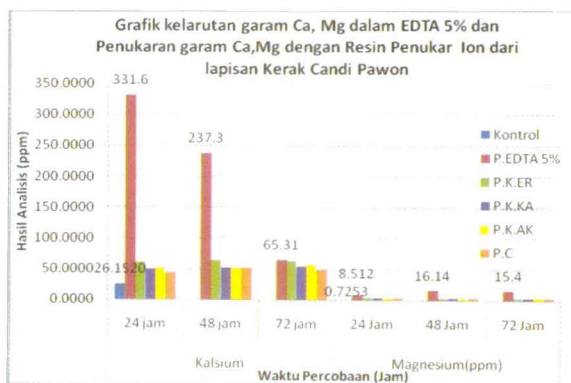
1) Pengamatan Lapisan Kerak secara Visual

Foto Sebelum Percobaan	Foto Setelah Percobaan	Keterangan
		Tidakterdapat perubahan secara fisik pada lapisan kerak batuan sebelum dan setelah percobaan dengan berbagai macam variasi pengaplikasian bahan baik larutan EDTA 5% maupun resin penukar ion.

Tabel 1.2.4. Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Pawon

2) Pertukaran Kalsium dan Magnesium Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Kation

Larutan hasil pencucian, regenerasi, dan pembilasan resin penukar ion yang telah diaplikasikan pada lapisan kerak Candi Mendut kemudian dianalisis dengan menggunakan instrument AAS.

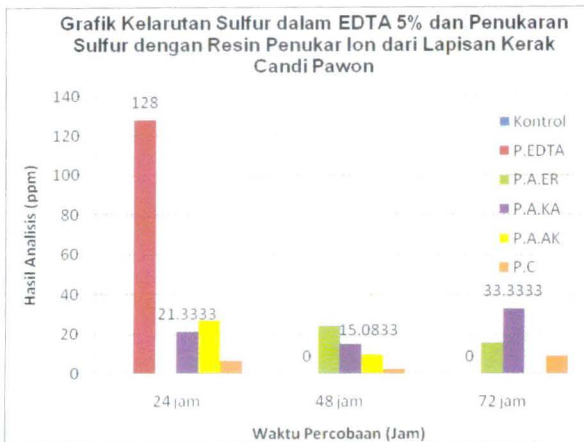


Grafik 1.2.5 Kelarutan garam Ca, Mg dalam EDTA 5% dan Penukaran garam Ca, Mg dengan Resin Penukar Ion dari Lapisan Kerak Candi Pawon

Berdasarkan grafik di atas diketahui bahwa lamanya waktu aplikasi tidak berpengaruh terhadap pertukaran resin kation dengan kalsium dan magnesium pada lapisan kerak Candi Pawon. Tetapi apabila dibandingkan dengan kontrol maka hasil analisis larutan bekas penempelan resin penukar kation maupun campuran resin penukar kation dan anion kandungan kalsium maupun magnesium masih di atas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa resin penukar ion dapat menukarkan garam kalsium dan magnesium dalam lapisan kerak Candi Pawon.

Dalam kajian ini juga dilakukan perbandingan pembersihan endapan garam dengan menggunakan bubuk kertas dalam larutan EDTA 5 % dan resin penukar kation. Dalam grafik terlihat bahwa larutan EDTA 5 % jauh lebih baik melarutkan Ca dan Mg Lapisan Kerak Candi Pawon dibandingkan resin penukar ion dalam menukarkan Ca dan Mg lapisan kerak Candi Pawon. Grafik di atas menunjukkan bahwa waktu aplikasi 24 jam dengan menggunakan larutan EDTA 5 % mampu melarutkan kalsium dan magnesium lapisan kerak Candi Pawon secara optimal. Sedangkan kemampuan bekerja resin dalam menukarkan kalsium dan magnesium lapisan kerak Candi Pawon tidak ada perbedaan yang signifikan antara waktu aplikasi 24 jam, 48 jam maupun 72 jam.

3) Pertukaran Sulfur Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Anion



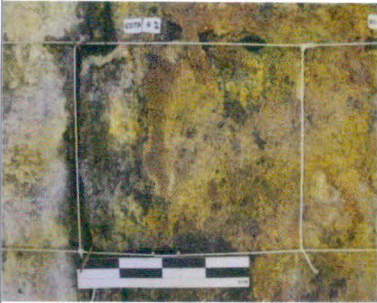





Grafik 1.2.6 Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukaran Sulfur dengan Resin Penukar Ion dari lapisan Kerak Candi Pawon

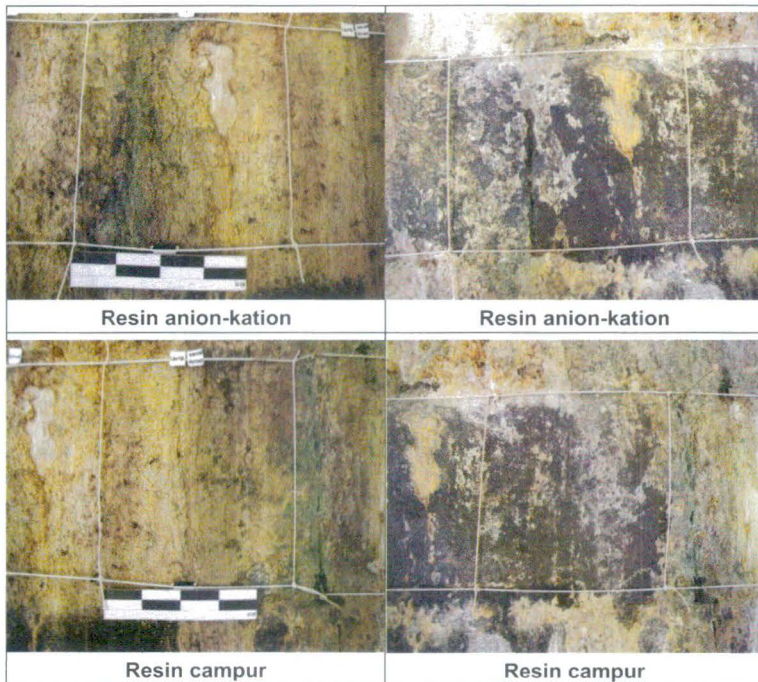
Berdasarkan grafik di atas pengaplikasian resin penukar anion variasi waktu 24 jam, 48 jam dan 72 jam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam menukarkan ion sulfur lapisan kerak Candi Pawon. Apabila dibandingkan dengan EDTA 5% waktu pengaplikasian 24jam mampu melarutkan ion sulfur sebesar 128 ppm.

4. Lapisan Kerak Candi Kalasan

1) Pengamatan Lapisan Kerak secara Visual

Terdapat perubahan secara fisik pada lapisan kerak batuan sebelum dan setelah percobaan dengan berbagai macam variasi pengaplikasian menggunakan larutan EDTA 5% untuk lapisan kerak yang lunak dapat dibersihkan dengan bantuan secara mekanik.

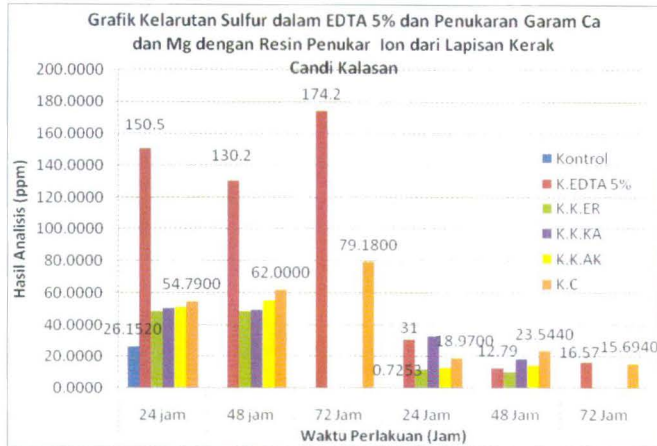
Foto Sebelum Percobaan	Foto Setelah Percobaan
	
Larutan EDTA 5%	Larutan EDTA 5%
	
Larutan EDTA 5% diganti resin penukar ion	Larutan EDTA 5% diganti resin penukar ion
	
Resin kation-anion	Resin kation-anion



Tabel 1.2.5. Pengamatan lapisan kerak sebelum dan setelah percobaan pada Candi Kalasan

2) Pertukaran Kalsium dan Magnesium Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Kation

Larutan bekas resin penukar ion yang telah diaplikasikan pada lapisan kerak Candi Kalasan kemudian dianalisis dengan menggunakan instrument AAS.

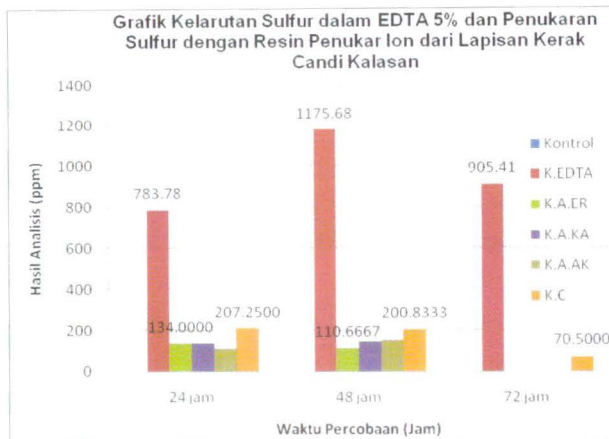


Grafik 1.2.7 Kelarutan Ca ,Mg dalam EDTA 5% dan Pertukaran Resin Penukar Kation dengan Ca, Mg dalam Lapisan Kerak Candi Kalasan

Berdasarkan grafik di atas diketahui bahwa lamanya waktu aplikasi tidak berpengaruh terhadap pertukaran resin kation dengan kalsium dan magnesium pada lapisan kerak Candi Kalasan. Tetapi apabila dibandingkan dengan kontrol maka hasil analisis larutan bekas penempelan resin penukar kation maupun campuran resin penukar kation dan anion kandungan kalsium maupun magnesium masih di atas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa resin penukar ion dapat menukarkan garam kalsium dan magnesium dalam lapisan kerak Candi Kalasan. Dalam kajian ini juga dilakukan perbandingan pembersihan endapan garam dengan menggunakan bubuk kertas dalam larutan EDTA 5 % dan resin penukar kation. Berdasarkan grafik 4.8 terlihat bahwa larutan EDTA 5 % jauh lebih baik melarutkan Ca dan Mg Lapisan Kerak Candi Kalasan dibandingkan resin penukar ion dalam menukarkan Ca dan Mg lapisan kerak Candi Kalasan. Grafik di atas menunjukkan bahwa waktu aplikasi 24 jam dengan menggunakan larutan EDTA 5 % mampu melarutkan kalsium dan magnesium lapisan kerak Candi Mendut secara optimal.

Sedangkan kemampuan bekerja resin dalam menukarkan kalsium dan magnesium lapisan kerak Candi Kalasan tidak ada perbedaan yang signifikan antara waktu aplikasi 24 jam, 48 jam maupun 72 jam.

1.1 Pertukaran Sulfur Lapisan Kerak dengan Resin Penukar Anion



Grafik 1.2.8 Kelarutan Sulfur dalam EDTA 5% dan Penukaran Sulfur dengan Resin Penukar Ion dari Lapisan Kerak Candi Kalasan

Berdasarkan grafik di atas pengaplikasian resin penukar anion variasi waktu 24 jam dan 48 jam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam menukarkan ion sulfur lapisan kerak Candi Kalasan. Apabila dibandingkan dengan EDTA 5% waktu pengaplikasian 24jam mampu melarutkan ion sulfur sebesar 783,78 ppm dan waktu aplikasi 48 jam lebih maksimal melarutkan dibanding waktu aplikasi 72 jam.

B. Pembahasan

Berdasarkan data di atas secara umum penggunaan variasi percobaan resin penukar ion dalam pengaplikasian pembersihan lapisan kerak baik kation-anion, anion-kation dan campuran antara resin kation anion, bahan resin penukar ion tidak mampu membersihkan lapisan kerak pada batu penyusun Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Pawon hal ini disebabkan karena lapisan kerak pada batu penyusun candi sudah sangat keras sehingga dengan bantuan pembersihan mekanik setelah pengaplikasian bahan masih sangat sukar dibersihkan dan tidak efektif. Sedangkan pada lapisan kerak pada Candi Kalasan secara visual mengalami tingkat kebersihan yang relatif lebih bersih dibandingkan dengan ketiga Candi yang lain, hal ini disebabkan oleh karena sifat dari lapisan kerak/endapan garam yang masih lunak dan belum mengeras dengan bantuan pembersihan secara mekanik sangat mudah untuk dibersihkan hanya lapisan yang sudah mengeras masih menempel pada batu penyusun candi.

Percobaan pembersihan lapisan kerak pada batu penyusun candi dengan menggunakan resin penukar ion baik kation maupun anion dengan berbagai variasi waktu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam tidak menunjukkan hasil yang linier. Hasil analisis pertukaran kalsium, magnesium, dan sulfur lapisan kerak candi dengan resin penukar ion baik kation maupun anion variasi waktu 24jam, 48 jam, dan 72 jam memiliki pola yang tidak beraturan. Hal ini kemungkinan terjadi karena kesalahan metode penempelan resin penukar ion pada permukaan lapisan kerak. Pada saat penempelan resin penukar ion pada permukaan lapisan kerak dalam kondisi kering sehingga resin penukar ion tidak bekerja secara optimal karena resin mengelupas. Resin penukar ion dapat bekerja secara optimal dalam menukarkan ion ketika ada air atau larutan yang melewatinya.

Percobaan pembersihan lapisan kerak dengan menggunakan bubur kertas dalam EDTA 5 % juga dilakukan sebagai pembanding resin penukar ion. Berdasarkan hasil analisis kelarutan kalsium, magnesium, dan sulfur lapisan kerak pada Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan dapat larut dalam EDTA 5% jauh lebih efektif dibandingkan resin penukar ion. Hal ini disebabkan karena sifat dari EDTA sendiri yang dapat melarutkan logam dari oksidanya. Akan tetapi EDTA juga memiliki kelemahan karena akan melepaskan garam Natrium dan dikemudian hari akan menimbulkan efek yaitu pembentukan garam baru pada permukaan batu penyusun candi.

Apabila dibandingkan antara resin penukar ion dengan EDTA dari segi efektifitas, bahan resin penukar ion lebih aman dan efektif digunakan karena tidak menimbulkan dampak negatif kedepan karena resin penukar ion hanya melepas ion H^+ dan OH^- sehingga tidak akan berdampak negatif apabila bereaksi dengan batu. Selain itu resin penukar ion dapat digunakan kembali setelah dilakukan regenerasi. Sedangkan EDTA kurang efektif karena dalam jangka waktu ke depan dapat menimbulkan garam yang baru dan EDTA tidak dapat diregenerasi. Sedangkan dari kelarutannya EDTA mampu melarutkan ion logam kalsium, magnesium dan sulfur lapisan kerak lebih efektif digunakan untuk pembersihan lapisan kerak apabila dibandingkan dengan resin penukar ion yang hanya sedikit menukar ion kalsium, magnesium, dan sulfur.

BAB III

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan pembersihan lapisan kerak Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Penempelan Resin Penukar Ion pada lapisan kerak secara analisis kimia mampu menukarkan ion Kalsium (Ca), Magnesium (Mg) dan Sulfur (S) lapisan kerak Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan.
- b. Penempelan Resin Penukar Ion pada lapisan kerak secara visual tidak dapat membersihkan lapisan kerak Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, dan Candi Kalasan.
- c. Pengaplikasian resin penukar ion sangat berpengaruh terhadap lokasi lapisan kerak(luar/dalam candi) dan musim. Ketika musim kemarau penguapan sangat tinggi, resin mudah kering dan mengelupas sehingga reaksi tidak berjalan secara maksimal.
- d. Metode pengaplikasian resin penukar ion dengan cara penempelan kurang efektif sehingga dengan adanya variasi waktu penempelan 24 jam, 48 jam, dan 72 jam dari hasil analisis tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

B. Saran

Perlu dicari metode yang tepat sehingga resin penukar ion dapat bekerja secara maksimal karena dengan cara penempelan tidak dapat membersihkan lapisan kerak.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Y.B, 1993, *Laporan Studi Konservasi Tentang Penanganan Pengelupasan Batuan Candi Borobudur*, Balai Studi dan Konservasi Borobudur, Magelang.
- Ari Swastikawati, Yudhi Atmadja, Sri Wahyuni, 2010, *Laporan Kajian Metode Konservasi Relief Candi Borobudur*, Balai Konservasi Peninggalan Borobudur, Magelang.
- Ari Swastikawati, Fr.Dian Ekarini, Sri Wahyuni, 2012, *Laporan Kajian Efektifitas EDTA dalam Membersihkan Endapan Garam pada Cagar Budaya Berbahan Batu*, Balai Konservasi Borobudur, Magelang.
- Bernasconi, G.H, Gerster, H.Hauser, H. Stauble, E. Scheiter, 1995, "*Teknologi Kimia 2*", PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- C. Pujiastuti, 2008, *Kajian Penurunan Ca dan Mg dalam Air laut Menggunakan Resin(Dowex)*, Jurnal Teknik Kimia, Vol 3, No. 1, September 2008.
- Croci, Giorgio, 1989, *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, Computational Mechanics Publication Southmpton, UK and Boston, USA.
- Diyah Erlina Lestari, September 2006, *Kimia Air*, Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor, Pusbang Teknologi Reaktor Riset
- Dofner, K dan Hartono, A.J, 1995, *Iptek Penukar Ion*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Khopkar, S.M, 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Penerjemah : A. Saptoharjo, UI-Press.

- Laila, dkk, 2009, *Pembuatan Aquadm(Aquademinerализed) dari Air AC (Air Conditioner) Menggunakan Resin Kation dan Anion*, Jurnal Skripsi Jurusan Kimia Universitas Diponegoro, Semarang.
- Muryowiharjo, S , 2005, *Petrografi Batuan Beku*, Jurusan Teknik geologi UGM, Yogyakarta.
- Price, T.D & Borton, J.H, 2011, *An. Introduction to Archeological Chemistry*, Springer, New York.
- Sudiby, Suhardi, Hersaktiningrum, 2002, *Studi Proses Penggaraman pada Batu Candi dan Metode Penanganannya.*, Balai Studi dan Konservasi Borobudur, Magelang.
- Vercoef, 1992, *Geologi untuk Teknik Sipil*, Jakarta.
- Winarno, S, 2001, *Peranan Laboratorium dalam Konservasi Benda Cagar Budaya*, Makalah disampaikan dalam Penataran Tenaga Teknis Kepurbakalaan Tingkat Dasar di Bogor, 4-18 September 2001.



2. PELAPIS TANGGA CANDI BOROBUDUR

**Iskandar Mulia Siregar, Yudi Suhartono,
Hari Setyawan, Nahar Cahyandaru, Brahmantara,
Dian Eka Puspitasari, Irawan Setyawan**

PELAPIS TANGGA CANDI BOROBUDUR

Iskandar Mulia Siregar, Yudi Suhartono, Hari Setyawan, Nahar Cahyandaru, Brahmantara, Dian Eka Puspitasari, Irawan Setiyawan

Abstrak

Keausan batu penyusun struktur tangga Candi Borobudur disadari merupakan hal yang perlu segera ditanggulangi, karena menyangkut nilai-nilai kesejarahan dan kebudayaan yang melekat pada Candi Borobudur.

Setelah selesai di pugar tahun 1983 dan ditetapkannya Candi Borobudur sebagai Warisan Budaya Dunia No. 592 oleh UNESCO tahun 1991, kunjungan para wisatawan terus meningkat. Hal inilah yang merupakan penyebab utama keausan pada batu penyusun struktur tangga Candi Borobudur.

Untuk mengurangi laju keausan batu tangga Candi Borobudur salah satu caranya adalah dengan membuat model pelapis tangga candi. Kajian terhadap pelapis tangga Candi Borobudur telah dilakukan di tahun 2010 yang mencobakan berbagai jenis pelapis tangga candi. Berdasarkan kajian tersebut direkomendasikan bahwa pelapis tangga dari bahan kayu merupakan jenis yang mempunyai banyak keunggulan. Maka dari itu, pada kajian kali ini pelapis tangga dengan bahan kayu akan dikembangkan dalam berbagai bentuk. Selain pelapis tangga candi, dalam kajian ini juga disampaikan bahwa penggunaan alas kaki merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi laju keausan tangga candi.

Kata kunci : Candi Borobudur, keausan struktur tangga, model pelapis tangga, pelapis kayu.

Abstract

The eroded stone structure of Borobudur Temple stairways need an immediate measure because it is related to the historical and cultural value of Borobudur Temple.

By completion of restoration project in 1983 and recognition of Borobudur Temple as World Cultural Heritage No. 592 by UNESCO in the year of 1991, the number of tourists visiting the temple continues to rise. This is the main cause of eroded stone structure of Borobudur Temple Stairways.

The efforts to prevent further erosion on stairways stone structure is already done by conducting the study of stairways cover in 2010 which is using different kinds of material to make stairways cover of Borobudur Temple. Based on the 2010 study, the stairways cover which is made from timber has many advantages. Therefore in this study, the timber material for stairways cover will be developed in various kinds of intervention techniques. This study also delivered the use of recommended footwear to minimize the eroded stairways of Borobudur Temple.

Keywords : *Borobudur Temple, eroded stairways structure, stairs cover model, timber stairs cover.*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Candi Borobudur merupakan candi bercorak agama Buddha yang berada di Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Hingga saat ini Candi Borobudur adalah situs purbakala yang termasuk dalam situs purbakala warisan dunia nomor 592 yang ditetapkan oleh UNESCO. Keberadaan candi sebagai monumen terbuka sangat rentan terhadap pengaruh iklim yang dapat menyebabkan kerusakan, disisi lain tingginya jumlah pengunjung yang naik ke atas candi juga merupakan faktor yang mempengaruhi kerusakan.

Sebagai monumen dengan batu andesit sebagai struktur utamanya adalah alasan utama mengapa Candi Borobudur saat ini masih dapat kita saksikan kemegahannya. Berjuta-juta orang yang kagum akan candi ini telah berkunjung dan menjejakan kakinya di atas struktur batu andesit penyusun candi. Banyaknya orang yang berkunjung dan menaiki candi ternyata meninggalkan jejak-jejak kerusakan pada batu struktur candi. Jejak-jejak kerusakan tersebut diantaranya adanya keausan batu khususnya pada tangga dan lantai Candi Borobudur. Aktifitas pengunjung candi yang bermacam-macam ternyata telah menyebabkan beberapa batu yang sering dilalui atau sering bersentuhan (kontak dengan pengunjung) menjadi aus atau rusak. Dalam hal ini, struktur batu paling rentan rusak adalah struktur batu penyusun tangga candi.

Kerusakan karena keausan tersebut tidak bisa disepelekan dan dipandang sebelah mata. Batu yang berkontak langsung dengan pengunjung berangsur-angsur akan menjadi aus dan rusak, hal ini selain mengurangi nilai arkeologis dan sejarah dari candi juga menyebabkan berkurangnya nilai estetis candi dalam

kaitannya dengan konservasi.

Penyebab keausan yang paling dominan adalah manusia. Pengunjung yang berjalan pada tubuh candi melakukan aktivitas berjalan dan berinteraksi dengan manusia lain dan dengan batu struktur. Aktivitas berjalan dengan alat bantu berupa alas kaki secara tidak disadari dan berangsur-angsur akan merusak struktur batu candi. Sedangkan interaksi dengan manusia lain atau dengan batu struktur maksudnya adalah aktivitas memanjat pada stupa teras atau stupa induk karena maksud tertentu.

B. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dimaksudkan untuk mempertegas dan menunjukkan bahwa “Pelapis Tangga dan Lantai Candi Borobudur” ini layak untuk dilakukan. Melalui kerangka pemikiran juga disampaikan ketentuan internasional berupa piagam-piagam internasional, maupun undang-undang yang menjadi dasar pelaksanaan kajian ini. Pada intinya kajian ini adalah untuk mempertahankan keotentikan dari batu andesit penyusun struktur tangga candi agar tidak mengalami kerusakan yang lebih parah dikarenakan aktifitas manusia.

Selain itu kajian ini juga didasari kriteria yang belum begitu jelas mengenai pernyataan menyangkut kerusakan batu. Sehingga pada saat blok batu yang rusak akan diganti masih belum ada kriteria yang pasti. Hal ini biasanya didasari pendapat mengenai daya dukung batu terhadap monumen. Tetapi keadaan di lapangan, blok batu pada tangga Candi Borobudur masih mempunyai daya dukung yang kuat walaupun kerusakan akibat keausannya dinilai parah. Secara sederhana kerangka pemikiran dalam kajian ini adalah pembuatan pelapis tangga yang diharapkan mampu menutup dataran pijak batu tangga sehingga terhindar dari keausan. Selain itu, pengunjung yang naik ke candi juga

bisa merasa nyaman karena tangga yang dipijak tidak berlubang maupun licin. Sehingga dalam hal ini keselamatan pengunjung saat naik dan turun candi bisa lebih terjamin. Selain pembuatan pelapis tangga, dalam kajian ini juga direkomendasikan alas kaki yang dapat digunakan pengunjung yang naik ke candi. Dengan harapan bahwa agar alas kaki tersebut merupakan salah satu solusi dalam mengurangi laju keausan lantai candi.

C. Maksud dan Tujuan Kajian

Maksud kajian ini adalah untuk menguji model penanganan keausan batu tangga dan lantai dengan cara membuat pelapis struktur batu tangga candi dan model alas kaki pengunjung untuk lantai candi.

Adapun tujuan dari kajian ini adalah untuk mencari model pelapis tangga yang aman dan sesuai baik untuk wisatawan yang berkunjung maupun sesuai dengan standar pelestarian struktur batu Candi Borobudur. Selain itu, yang juga menjadi tujuan dari kajian ini adalah untuk mendapatkan model alas kaki yang sesuai bagi pengunjung yang berjalan di atas struktur Candi Borobudur.

D. Manfaat Kajian

Manfaat kajian adalah terpeliharanya kelestarian Candi Borobudur dari kerusakan dan keausan batu terutama pada bagian tangga dan lantai. Adapun indikator kinerja pada kajian ini adalah terhindarnya struktur tangga dan lantai candi dari keausan dan kerusakan yang lebih parah. Maka diharapkan setelah diselesaikannya kajian ini, model pelapis tangga candi dan alas kaki dapat diaplikasikan pada Candi Borobudur untuk mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh aktifitas pengunjung.

E. Ruang Lingkup Kajian

Ruang lingkup kajian akan menentukan arah dan batasan

kajian. Sehingga kajian yang dilakukan dapat mencapai tujuan. Ruang lingkup kajian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengamatan keausan struktur penyusun tangga Candi Borobudur pada keempat sisinya.
2. Pembuatan model pelapis tangga candi dari berbagai bahan.
3. Analisis fisik dan uji bahan pelapis.
4. Evaluasi model pelapis tangga candi.
5. Penyempurnaan model pelapis pada Candi Borobudur pada tangga naik dan turun pengunjung di lereng Timur dan Utara.
6. Model alas kaki yang akan digunakan pengunjung pada lantai candi.

F. Tinjauan Pustaka

Salah satu bentuk kerusakan material yang secara langsung disebabkan oleh banyaknya pengunjung adalah keausan batu candi. Keausan batu banyak terjadi pada tangga dan lantai lorong maupun teras stupa Candi Borobudur. Secara teori keausan terjadi akibat gesekan alas kaki pengunjung dengan permukaan batu. Kebanyakan alas kaki memiliki kekerasan yang lebih rendah dari batu, namun keberadaan pasir/tanah pada alas kaki menyebabkan gesekan yang dapat menyebabkan keausan. Pengaruh keausan sebenarnya terjadi secara lambat, namun karena tingginya jumlah pengunjung maka saat ini keausan sudah sampai pada taraf yang mengkhawatirkan.

Muhammad Taufik (2009:119) dalam tesisnya, menyampaikan bahwa keausan pada Candi Borobudur tersebar di lantai dan tangga candi. Sementara Sutantio (1985) menyampaikan bahwa di Candi Borobudur ditemukan 801 blok batu yang mengalami keausan. Hasil pengamatan di tahun 2000 jumlah batu yang mengalami keausan menjadi 1.383 blok batu,

hal ini berarti terjadi peningkatan sebesar 582 blok batu. Jika dirata-rata, maka keausan yang terjadi setiap tahunnya adalah 36 blok batu. Apabila keausan batu-batu Candi Borobudur mulai terjadi ketika pertama kali dimanfaatkan sebagai objek wisata, maka keausan tangga sisi Timur adalah antara 0,2 – 1,8 cm sedangkan tangga di ketiga sisi lainnya antara 0,2 – 1,3 cm (Taufik, 2005:120).

Apabila keausan batu penyusun struktur tangga Candi Borobudur diasumsikan telah terjadi sejak pertama kali candi ini di buka untuk kegiatan pariwisata, maka dengan jumlah pengunjung 35.766.820 orang mengakibatkan keausan sebesar 1,2 – 1,5 cm. Sehingga dapat diperkirakan 20 tahun kemudian dengan jumlah pengunjung yang sama, batu-batu tersebut mengalami keausan yang sudah membahayakan, yaitu 3 cm. keausan batu akan lebih cepat lagi jika pengunjung candi mencapai 3.000.000 orang per tahun, dengan jumlah itu berarti setiap tahun batu-batu pada tangga atau lantai akan mengalami keausan sebesar 0,1 – 0,32 cm (Taufik, 2005:156).

Selain itu melalui “Kajian Struktur Permukaan Halaman Candi Borobudur dan Korelasinya dengan Keausan Batu Tangga”, Brahmantara, dkk (2008:35) juga menyampaikan bahwa keausan yang terbesar disebabkan karena aktifitas manusia. Material pasir yang terbawa pada alas kaki pengunjung candi, dapat memberikan gaya gesekan yang cukup signifikan pada lantai dan tangga candi, sehingga menimbulkan keausan pada permukaan batu. Pada tangga naik dari tahun 2003 sampai 2007 terjadi tingkat keausan sebesar 0,7 cm dan untuk tangga turun (sisi Utara, Selatan dan Barat) dari tahun 2003 sampai 2007 kenaikan tingkat keausan pertahunnya sebesar 0,8 cm. Dari hasil uji kekesatan permukaan dengan *Skid Pendulum Resistance* dapat diketahui bahwa nilai kekesatan permukaan

Candi borobudur ada pada nilai aman, namun untuk batu tangga, batu dengan asumsi umur 24 tahun yaitu batu yang dipasang pada saat pemugaran mempunyai nilai aman yang kritis dengan nilai *skid resistance* sebesar 37 BPN. Semakin tinggi tingkat keausan batu, maka memberikan nilai kekesatan permukaan yang semakin lemah.

Sementara itu berdasarkan pengamatan terhadap keausan batu penyusun struktur tangga candi yang dilakukan di awal tahun 2010, disampaikan bahwa persentase keausan mencapai tingkat yang mengkhawatirkan. Dari hasil pengamatan tersebut dapat disampaikan bahwa persentase keausan rata-rata batu penyusun struktur tangga pada sisi Timur adalah 74,40 %. Persentase keausan rata-rata batu penyusun struktur tangga pada sisi Barat dan Utara adalah 63,39 % dan 27,84 %. Sedangkan persentase keausan rata – rata batu penyusun struktur tangga pada sisi Selatan adalah 30,96 % (Setyawan, 2010:50-51).

Dari beberapa kajian seperti disebutkan di atas, diketahui bahwa faktor aktifitas manusia memegang peranan penting terhadap keausan khususnya pada tangga dan lantai Candi Borobudur. Mengenai langkah-langkah penanganannya, (Taufik, 2008:156) menyarankan untuk mengganti batu yang aus dengan batu yang baru. Sedangkan Brahmantara, dkk (2008:35) melalui kajiannya mengajukan saran menyangkut penataan dan pengendalian pasir halaman, pengaturan jumlah pengunjung, penggunaan alas kaki khusus untuk naik ke candi, dan pembuatan lapisan pelindung pada tangga candi dengan beberapa bahan yang dapat melindungi dari keausan.

BAB II

PEMBAHASAN

A. Kondisi Fisik Batu Struktur Candi Borobudur

Candi Borobudur adalah struktur candi yang didirikan di atas bukit alam yang di potong pada bagian puncaknya. Blok-blok batu disusun dari bawah ke atas sesuai dengan kemiringan bukit. Hasilnya adalah bentuk persegi pada bagian kaki dan bulat pada bagian atasnya. Blok-blok batu penyusun Candi Borobudur disusun dengan menggunakan teknik takikan dan kuncian yang spesifik. Jenis batu penyusun struktur Candi Borobudur adalah dari batuan andesit dengan sifat-sifat sebagai berikut :

- Jenis : batuan andesit
 - Porositas : (21,6 – 51,3) %
 - Berat Jenis Riil : 2,62 – 2,83
 - Kekerasan (skala *Mohs*) : 5 – 7
 - Kuat Tekan : 66,5 Kg/cm² – 207 Kg/cm²
 - Kadar Air jenuh : 8,63 – 13,59 %
 - Permeabilitas : (0,6 – 12,7) *darcsys*
 - Massa padat :
1. Mineral : (31,01 – 63,55) %
 2. Massa dasar : (36,45 – 68,99) %

(Brahmantara dkk, 2008: 15)



Foto 2.2.1. Kondisi blok batu struktur candi beserta kuncian dan takikannya

B. Kondisi Keausan Batu Penyusun Struktur Tangga Candi Borobudur

1. Penyebab Keausan

Penyebab utama keausan khususnya pada batu penyusun struktur tangga pada Candi Borobudur yang paling besar adalah karena aktifitas manusia yang naik ke candi. Pengunjung yang menggunakan alas kaki yang bervariasi secara tidak sengaja telah menyebabkan keausan pada batu candi.



Foto 2.2.2. Kondisi tangga undag – Selasar pada sisi Timur dan aktifitas pengunjung yang melewati tangga.

2. Keausan pada Tangga Candi

Dalam menghitung keausan dan kedalaman bidang batu yang aus karena pijakan manusia, dapat digunakan rumus sebagai berikut (Taufik, 2005:120).

$$fk = Uk \times N$$

$$N = W - F \cdot \sin a$$

$$F \cdot h = fk \cdot s$$

$$h = \frac{fk \cdot s}{F}$$

Keterangan :

f_k : Gaya gesek

u_k : Koefisien gesekan

N : Gaya Normal : $m \times g$ (massa x gaya gravitasi)

W : Gaya berat

F : Gaya tahan/gaya gerak

s : Panjang gesekan

Dengan menggunakan rumus tersebut maka dari tahun 1984 hingga tahun 2007, didapatkan data keausan dikarenakan aktifitas pengunjung yang naik ke candi. Berdasarkan rumus di atas maka didapatkan data rata-rata keausan lantai candi, tangga naik candi dan tangga turun candi per tahunnya. Rata-rata keausan pada lantai candi $\pm 0,042$ cm. Adapun rata-rata keausan pada tangga naik candi $\pm 0,175$ cm. Sedangkan rata-rata keausan pada tangga turun candi $\pm 0,2$ cm (Brahmantara, 2008: 27,28).

3. Identifikasi Keausan

Keausan batu penyusun struktur tangga Candi Borobudur, terjadi hampir merata pada tangga di keempat sisi candi. Dalam kajian ini, keausan tangga candi akibat aktifitas manusia dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu aus sudut dan aus bidang. Aus sudut pada struktur batu tangga adalah keausan batu candi pada bagian sudut luar yang langsung membentuk sisi tangga untuk berpijak. Sedangkan aus bidang pada struktur batu tangga adalah keausan batu candi pada bagian datar atau bidang datar yang dapat menjadi pijakan (dataran pijak).

Berdasarkan data laporan pengamatan keausan batu struktur candi pada bagian tangga, stupa teras, dan lantai stupa teras yang dilakukan oleh Balai Konservasi Peninggalan Borobudur tahun 2010, maka didapatkan data keausan pada

tangga candi di keempat sisinya, diantaranya seperti disampaikan di bawah ini.

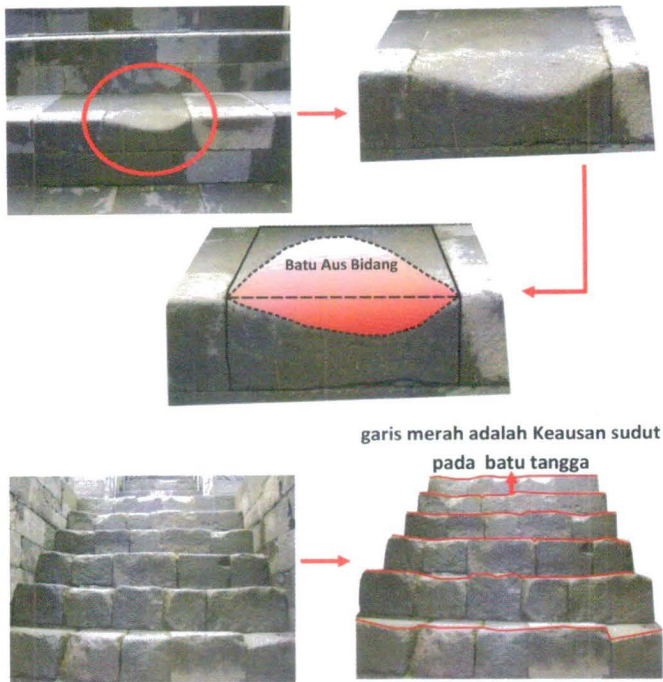
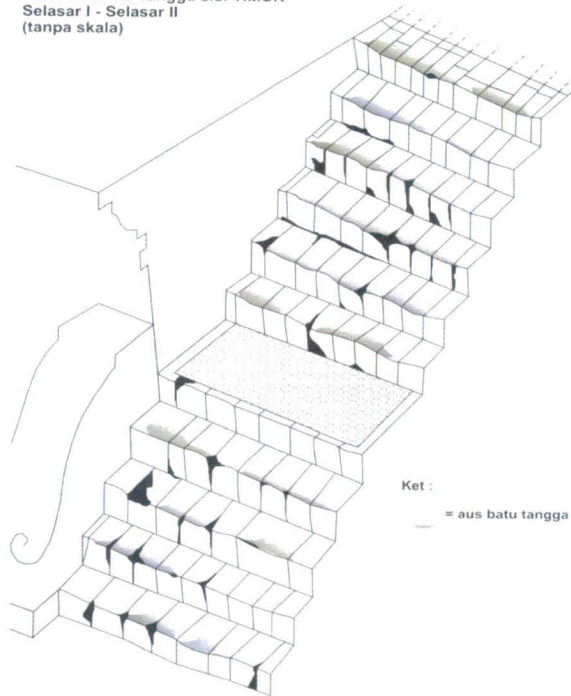


Foto 2.2.3. Contoh keausan Batu candi pada tangga sisi Barat penghubung lorong I - lorong II.

Pada gambar no. 2.4 adalah struktur batu penyusun tangga candi pada sisi Timur, yaitu tangga penghubung Selasar I – Selasar II/tangga penghubung undag dengan selasar. Dari gambar tersebut dapat disampaikan bahwa bagian tangga yang berwarna abu-abu adalah blok batu yang aus karena aktifitas manusia. Sedangkan bagian yang berwarna hitam adalah bagian yang rusak atau nat-nat batu yang mengalami kerontokan karena sudah rapuh.

Keausan Batu Tangga sisi TIMUR
Selasar I - Selasar II
(tanpa skala)



Gambar 2.2.1. Keausan Batu Tangga sisi TIMUR Selasar I – Selasar II

4. Persentase Keausan Batu Penyusun Struktur Tangga

Tabel 2.2.1. Persentase keausan rata-rata keseluruhan tangga

Posisi Tangga	Jumlah Batu Pijakan	Jumlah Keausan Batu Pijakan		Persentase Keausan	
		Aus Sudut	Aus Bidang	Aus Sudut	Aus Bidang
Timur	512	512	377	100%	74,40%
Barat	528	528	342	100%	63,39%
Utara	456	456	133	100%	27,84%
Selatan	537	537	176	100%	30,96%
Jumlah	2033	2033	1028		
Rata-rata Keausan				100%	49,15%

Dari hasil pengamatan keausan tangga candi pada awal tahun 2010, maka hasil yang didapatkan dapat dikatakan

memprihatinkan kondisinya. Kondisi tersebut bisa dilihat dari presentase keausan yang telah disampaikan di atas.

Dalam hal keausan sudut seperti yang telah disampaikan di atas bahwa semua anak tangga pada keempat sisi candi telah mengalami keausan. Sudut yang terbentuk karena pertemuan dua bidang sisi batu yang seharusnya membentuk sudut 90° ternyata tidak bisa ditemukan lagi, baik pada batu lama maupun batu pengganti. Hal ini menunjukkan bahwa keausan karena aktifitas manusia begitu tinggi. Masih menjadikan sebuah pertanyaan, adalah mengenai aus sudut, apakah sudah terjadi pada masa lalu dimana candi masih digunakan, ataukah karena aktifitas pengunjung pada saat ini.

Sedangkan dalam hal keausan bidang, tidak semua batu mengalami keausan. Hal ini dikarenakan langkah dan tapak kaki manusia saat berpijak pada tangga candi cenderung membentuk pola yang sama. Sehingga keausan yang terjadi pada tangga dapat diketahui polanya dari aktifitas pengunjung yang melaluinya.

C. Metode Kajian

Usaha-usaha untuk mengatasi keausan sudah dilakukan, antara lain dengan pemasangan keset dan pemasangan koral di jalur pengunjung agar alas kaki pengunjung tidak membawa pasir. Selain itu, saat ini juga tengah digalakkan pemakaian sandal yang lunak sebagai pengganti sepatu hak tinggi dan sepatu yang mempunyai alas keras. Namun usaha preventif tersebut telah terbukti belum mampu memberikan hasil yang memuaskan.

Hal ini tentu saja tidak bisa dibiarkan, karena semakin lama batu penyusun struktur khususnya pada tangga candi tetap mengalami keausan. Salah satu alternatif yang diajukan dalam kajian ini adalah dengan membuat pelapis batu tangga candi dari beberapa material. Dalam hal menentukan material pelapis,

tim kajian akan mempertimbangkan beberapa hal utama dalam menentukannya yaitu dengan mempertimbangkan keaslian bentuk, keaslian tata letak, keaslian pengerjaan, dan keaslian bahan.

Beberapa material dapat menjadi alternatif untuk mengatasi keausan batu penyusun tangga tersebut, namun belum dapat diputuskan kesepakatan yang dapat menjadi acuan. Hal ini disebabkan karena belum adanya model eksisting yang dapat dilihat dan dipertimbangkan bersama dalam pengambilan keputusan. Oleh karena ini dalam kegiatan ini diusulkan pembuatan beberapa model penanganan batu tangga. Model-model tersebut selanjutnya dianalisis dan didiskusikan bersama dengan para ahli dan pemangku kepentingan lainnya agar diperoleh kesepakatan yang dapat dijadikan acuan penanganan.

Pelaksanaan kegiatan ini adalah dengan membuat beberapa model pelapis tangga pada tangga sisi Barat Candi Borobudur. Akan tetapi sebelum pembuatan model pelapis tangga dilakukan, maka hal yang dilakukan pertama kali adalah melakukan studi banding pada beberapa objek benda cagar budaya yang mempunyai kondisi hampir mirip dengan Candi Borobudur. Dengan demikian studi banding akan dilakukan di Candi Prambanan. Adapun hal yang dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi studi banding dikarenakan Candi Prambanan merupakan tinggalan arkeologi yang berasal dari masa yang sama dengan Candi Borobudur. Batu andesit material utama penyusun struktur candi juga mempunyai sifat yang mirip dengan Candi Borobudur. Selain itu, ornamen arsitektural kedua candi juga relatif sama pada bagian struktur tangganya. Hal yang juga dipertimbangkan adalah bahwa kedua candi yaitu sama-sama merupakan benda cagar budaya yang banyak dikunjungi oleh masyarakat dengan aktifitas pengunjung yang hampir mirip

dengan Candi Borobudur.

Tahap selanjutnya adalah tahap pemilihan bahan dan pemasangan model pelapis. Pada pemilihan bahan dan metode pengerjaan didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut :

1. Tidak bersifat merusak keaslian batu penyusun struktur tangga atau struktur asli lain di sekitarnya.
2. Mengutamakan prinsip keaslian bentuk, tata letak, pengerjaan, dan bahan.
3. *Reversible* (dapat dihilangkan kembali tanpa menyebabkan kerusakan).
4. Efektif dapat langsung digunakan untuk melapisi struktur tangga candi tanpa menggunakan alat bantu apapun.
5. Estetis atau selaras (tidak mengganggu pandangan dan selaras arsitektur candi).
6. Aman dan nyaman bagi pengunjung.

Setelah dilakukan percobaan berbagai bahan berdasarkan parameter di atas, maka berdasarkan uji coba pembuatan pelapis pada tangga candi didapatkan data kelebihan dan kekurangan dari berbagai material adalah sebagai berikut:

1. Model Percobaan Pelapis Tangga dari Bahan Kayu Reng Jati

Pada model pelapis dengan menggunakan kayu reng jati mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah dari segi kuat bahan. Selian itu kualitas bahannya juga tidak membuat perubahan dari batu yang dilapisinya.

- 1) Kelebihan
 - Tidak membahayakan struktur batu yang dilapisi.
 - Tidak membahayakan lingkungan.
 - Bahan kayu jati mudah didapatkan.
 - Mudah untuk di buat maupun dimodifikasi.
 - Tidak memerlukan alat-alat khusus.

- Kelembaban dan sirkulasi udara pada batu tetap terjaga.
- 2) Kekurangan
- Bahan dari kayu dapat lapuk/masa guna bahan lebih cepat.
 - Dari segi warna dan bentuk kayu dinilai tidak estesis bila dibandingkan dengan kondisi struktur batu pada candi.
 - Pembuatan pola pelapis pijakan yang berlubang-lubang, baik arah vertikal maupun horizontal dapat membahayakan pengunjung.
 - Perawatan pada bahan dari kayu harus rutin karena material dari kayu merupakan bahan organik yang bisa lapuk terkena pengaruh hujan dan panas.
 - Pembersihan harus rutin dilakukan agar kotoran di bawah pelapis pijakan tidak mengendap pada permukaan struktur tangga candi.

2. Model Percobaan Pelapis Tangga dari Bahan Papan Kayu Jati

- 1) Kelebihan
- Tidak membahayakan struktur batu yang dilapisi.
 - Tidak membahayakan aktivitas pengunjung di atas struktur candi.
 - Tidak membahayakan lingkungan.
 - Bahan kayu jati mudah didapatkan.
 - Mudah untuk dibuat maupun dimodifikasi.
 - Tidak memerlukan alat-alat khusus dalam pemasangan.
- 2) Kekurangan
- Bahan dari kayu dapat lapuk/masa guna bahan lebih cepat.
 - Dari segi warna dan bentuk kayu dinilai tidak estesis

bila dibandingkan dengan kondisi struktur batu pada candi.

- Perawatan pada bahan dari kayu harus rutin karena material dari kayu merupakan bahan organik yang bisa lapuk terkena pengaruh hujan dan panas.
- Pembersihan harus rutin dilakukan agar kotoran di bawah pelapis pijakan tidak mengendap pada permukaan struktur tangga candi.
- Banyak muncul organisme yaitu, lumut, jamur, dan tumbuhan lain yang tumbuh di bawah pelapis pijakan

3. Model Percobaan Pelapis Tangga dari Bahan Akrilik Tembus Pandang

1) Kelebihan

- Tidak membahayakan struktur batu yang dilapisi.
- Tidak membahayakan lingkungan.
- Permukaan atas struktur batu tangga dapat terlihat, karena akrilik bersifat tembus pandang.
- Ketahanan bahan dapat lebih lama.

2) Kekurangan

- Bahan akrilik, mahal dan sulit didapatkan.
- Memerlukan alat khusus dalam pembuatannya.
- Dari segi warna dan bentuk kayu dinilai tidak estesis bila dibandingkan dengan kondisi struktur batu pada candi.
- Permukaan akrilik akan tergores apabila sering dilalui oleh pengunjung.
- Pada pagi hari terjadi pengembunan pada bagian dalam permukaan akrilik sehingga struktur batu tangga tidak terlihat.
- Pembersihan harus rutin dilakukan agar kotoran

di bawah pelapis pijakan tidak mengendap pada permukaan struktur tangga candi

- Kelembaban dan sirkulasi udara pada struktur batu tidak baik.
- Banyak muncul organisme yaitu, lumut, jamur, dan tumbuhan lain yang tumbuh di bawah pelapis pijakan

4. Model Percobaan Pelapis Tangga dari Bahan Mortar Berpori, Menggunakan Epoxy Resin, Sikadur 31 CF dan EP-IS AW 2101 dengan Campuran Bubukan Batu dan Pasir

1) Kelebihan

- Tidak membahayakan struktur batu yang dilapisi.
- Tidak membahayakan lingkungan.
- Bidang-bidang yang aus pada batu, dapat dilapisi dengan baik.
- Dari segi warna dapat dimodifikasi sesuai warna batu struktur candi.
- Dari segi keamanan dinilai baik.
- Tidak memungkinkan tumbuhnya organisme seperti jamur dan lumut.
- Hanya melapisi struktur batu candi tetapi tidak menyatu dengan batu candi.
- Perawatannya mudah.

2) Kekurangan

- Bahan yang digunakan adalah bahan kimia yang sulit untuk didapatkan.
- Dianggap melakukan penambahan struktur baru dan perubahan bentuk pada batu struktur candi asli yang tidak sesuai dengan kaidah arkeologi.
- Permukaan batu, yaitu pada lapisan pijaknya tertutup seluruhnya sehingga mirip dengan batu baru.

5. Penyempurnaan Model Pelapis Tangga

Dari berbagai model pelapis struktur batu candi seperti tersebut di atas ternyata belum didapatkan model yang tepat dan sesuai dengan kondisi struktur tangga Candi Borobudur. Berbagai bahan mempunyai kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri misalnya pada bahan kayu yang mudah diolah tetapi dari segi estetika dan ketahanan kurang baik. Sedangkan pada mortar dengan perekat Sikadur maupun EP-IS sebenarnya baik, apabila digunakan untuk menutup bidang tangga yang aus. Tetapi dari kaidah arkeologi tidak sesuai. Hal ini dikarenakan penggunaan mortar yang melapisi pijakan tangga candi termasuk ke dalam penambahan dan perubahan struktur yang dinilai kurang baik.

Menyelesaikan persoalan keausan batu penyusun struktur tangga candi memang tidak mudah. Hal ini dikarenakan, penanganannya harus disesuaikan dengan kaidah arkeologi dengan memperhatikan hal-hal seperti keaslian bentuk, tata letak, pengerjaan, dan bahan.

Kondisi batu penyusun struktur tangga Candi Borobudur sudah mengalami keausan yang dinilai parah karena aktifitas kunjungan wisata pada candi tersebut. Namun demikian langkah-langkah untuk melakukan pelestarian masih berjalan hingga saat ini khususnya dengan membuat model percobaan pelapis tangga candi. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan mengenai penanganan keausan pada tangga Candi Borobudur diantaranya:

- 1) Beberapa bahan harus benar-benar bersifat aman bagi struktur batu tangga candi maupun bagi pengunjung candi. Selain itu juga perlu diperhatikan dari segi estetikanya. Sehingga dalam hal ini sangat diperlukan uji model dan bahan secara lebih mendalam.
- 2) Pada bahan-bahan yang bersifat menambah atau mengubah struktur batu tangga candi hendaknya dihindari

karena dapat mengurangi nilai arkeologisnya.

- 3) Penggunaan alas kaki yang lunak bagi pengunjung perlu untuk diimplementasikan kembali untuk mengurangi kerusakan lantai candi.

Dengan demikian, berdasarkan hal di atas maka pelapis dari bahan papan kayu merupakan model yang dinilai mempunyai kualitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan model yang lain. Akan tetapi pembuatan model pelapis dengan papan kayu harus dikembangkan dengan beberapa penyempurnaan untuk meminimalkan kekurangannya. Dalam melakukan pemilihan terhadap kayu yang akan dibuat sebagai bahan dasar pembuatan model pra desain pelapis tangga candi, maka perlu mempertimbangkan kualitas fisik dan daya tahan kayu tersebut.

6. Pra Desain Model Pengembangan Pelapis Tangga Candi dan Alas Kaki Pengunjung

1) Lokasi Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga Candi

Pada pembuatan pra desain model pelapis maka lokasi yang ditentukan dan disetujui adalah pada tangga Candi Borobudur yang menghubungkan antara lorong I – lorong II pada sisi Selatan, Timur, dan Utara. Hal ini dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan penggunaan pra desain pelapis tangga sehingga nantinya dapat dimonitor kekurangan dan kelebihannya. Adapun pemilihan lokasi pada tangga yang menghubungkan antara lorong I – lorong II Candi Borobudur dikarenakan adanya pertimbangan bahwa lokasi tersebut selain merupakan lokasi dengan tingkat keausan batu tangga yang tinggi juga merupakan lokasi yang sering dilintasi oleh pengunjung.

Pemilihan lokasi percobaan pada tangga Candi Borobudur telah melalui proses pertimbangan yang matang. Sehingga dalam

hal ini bahan-bahan yang digunakan untuk membuat pra desain tangga candi adalah bahan yang aman, reversible, dan tidak merusak ataupun merubah struktur tangga. Sehingga apabila dikehendaki untuk dilepas maka pra desain pelapis tangga candi tersebut dapat dengan mudah dilepas dalam waktu yang singkat.

Dalam rangka pemasangan pra desain pelapis tangga maka hal yang sangat dipertimbangkan adalah aktifitas pengunjung dan keamanan pengunjung dalam melintasi model pelapis tangga. Sehingga pembuatan model tidak dilakukan dalam satu waktu, akan tetapi dibuat secara bergantian. Adapun yang dimaksud pembuatan secara bergantian yaitu apabila yang dikerjakan adalah model pra desain di sisi Timur lorong I – lorong II, maka aktifitas pengunjung yang naik dialihkan ke sisi Selatan. Sehingga pembuatan pra desain dilakukan secara bergantian dan tidak dalam satu waktu. Dari segi keamanan, apabila model pra desain pelapis tangga sedang dibuat maka jalur tangga yang dilapisi akan ditutup sementara supaya tidak dilintasi oleh pengunjung.

Tangga sisi Timur lorong I – lorong II



Foto 2.2.4. Lokasi Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga pada Tangga Sisi Timur Lorong I – Lorong II.

Tangga sisi Selatan lorong I – lorong II



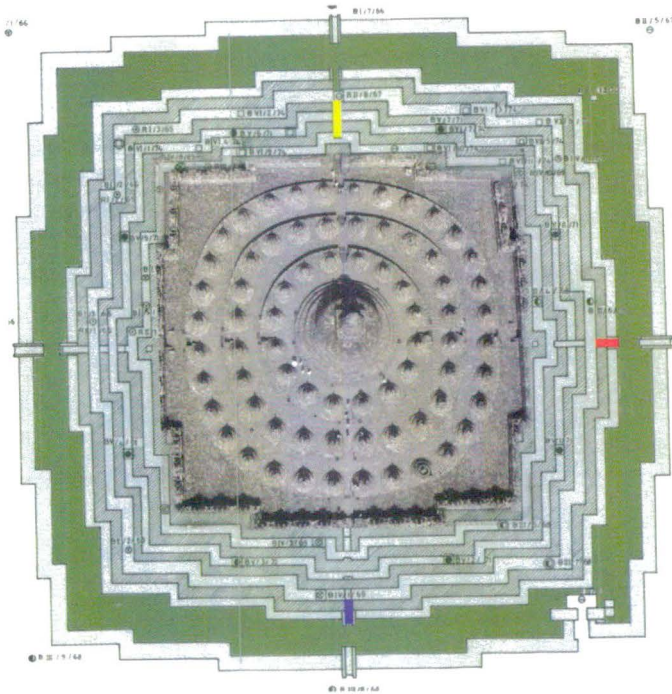
Foto 2.2.5. Lokasi Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga pada Tangga Sisi Selatan Lorong I – Lorong II.

Tangga sisi Utara lorong I – lorong II



Foto 2.2.6. Lokasi Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga pada Tangga Sisi Utara Lorong I – Lorong II.

Adapun secara mendetil, lokasi pemasangan dan uji coba pembuatan pra desain model pelapis tangga candi adalah seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Ket :

- Utara, 9 trap kayu ulin membujur dan 9 trap dengan pengait plat logam
- Timur, 9 trap kayu jati
- Selatan, 10 trap kayu ulin

Gambar 2.2.2. Detil Pembuatan Pra desain Model Pelapis Tangga Candi

2) Pra Desain Model Pelapis Tangga Candi

Berdasarkan evaluasi dan penyempurnaan model pelapis tangga seperti yang disampaikan di atas, maka pra desain model yang dikerjakan pada tangga Candi Borobudur merupakan bentuk pengembangan dari bahan-bahan di atas. Sehingga pada pengembangan model tersebut akan diujikan beberapa bentuk

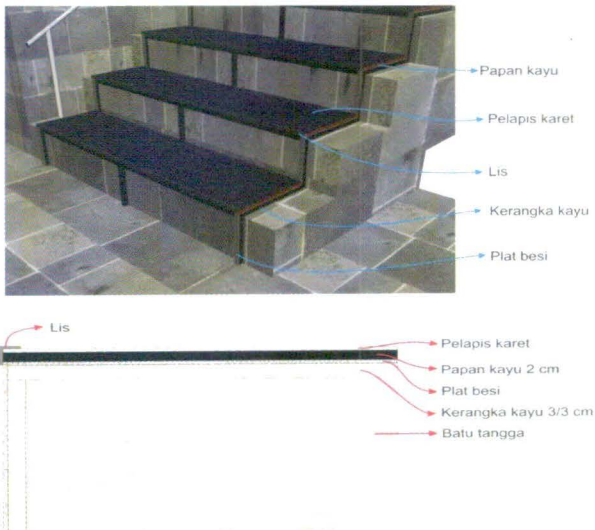
model pelapis yang diajukan untuk mendapatkan persetujuan dari berbagai pihak.

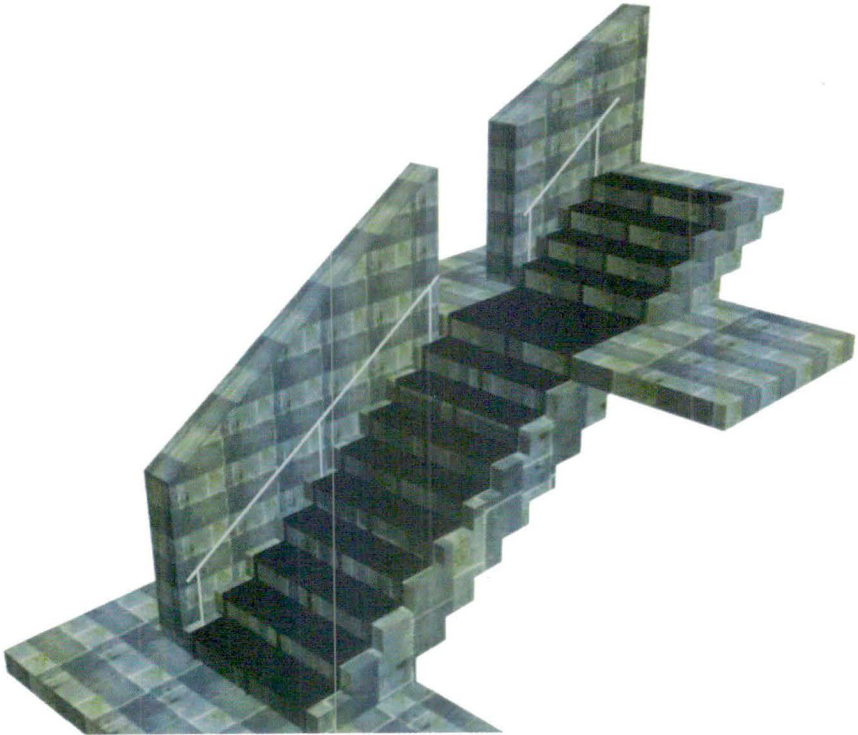
a. Desain model penyempurnaan awal

Pada model penyempurnaan awal ini digunakan kerangka kayu yang terbuat dari kayu jati dan dataran pijak yang terbuat dari papan kayu ulin. Adapun dataran pijak dan kerangka kayu pada model ini disatukan menggunakan plat besi yang berguna sebagai pengait antara kerangka dan dataran pijak. Sehingga dengan penggunaan plat besi maka serangkaian pelapis tangga tersebut bisa disatukan ataupun dilepas dengan mudah tanpa merusak konstruksinya.

Berikut ini adalah gambar pra desain model penyempurnaan awal.

b. Desain model dataran pijak berbahan kayu ulin/kayu jati (tersusun melintang)





Gambar 2.2.3. Detil Gambar Pra Desain Model Penyempurnaan Awal

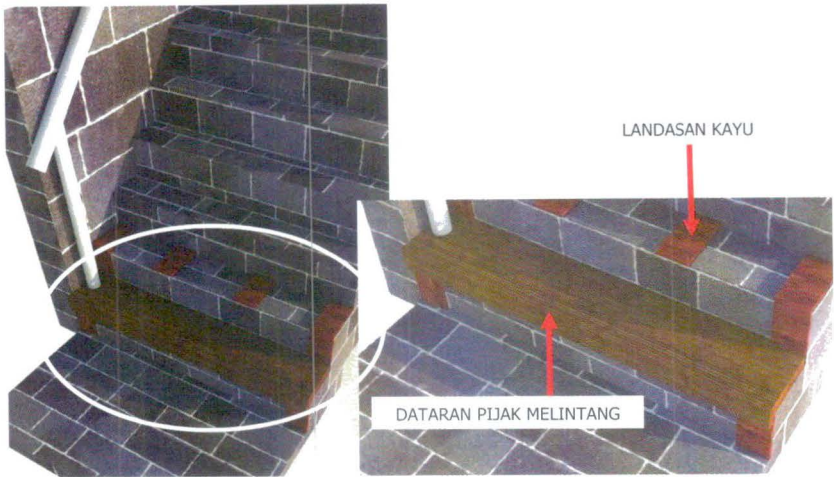
Pada pra desain model ini tidak digunakan kerangka kayu. Sehingga pada model ini peranan kerangka kayu digantikan dengan landasan kayu yang dilapisi karet setebal 0,5 – 0,75 cm. Landasan kayu berlapis karet berfungsi menyangga dataran pijak di atasnya. Sedangkan bagian bawah landasan kayu yang berlapis karet berfungsi menumpu batu struktur tangga. Dengan adanya lapisan karet maka permukaan batu tangga dapat terjaga dari goresan dan tumpuan langsung dari landasan kayu. Selain itu lapisan karet juga berfungsi meratakan tumpuan pada dataran pijak sehingga dapat lebih aman dan nyaman saat dilintasi.



LAPISAN KARET

Gambar 2.2.4. Detil Gambar Lapisan Karet pada Landasan Dataran Pijak, Model Pelapis Berbahan Kayu Ulin

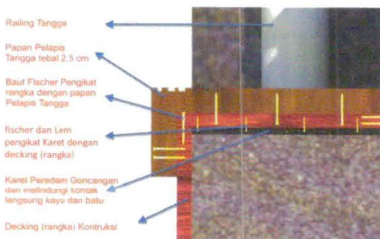
Pada dataran pijaknya, papan kayu ulin/kayu jati dipasang melintang dan disesuaikan dengan luas permukaan batu tangga. Sehingga dalam satu trap dapat terdiri dari dua atau tiga papan yang disatukan. Namun sebelum dataran pijak dipasang maka sebelumnya dilakukan pemasangan landasan kayu di atas lapisan karet. Landasan kayu berfungsi sebagai media bertumpunya dataran pijak. Setelah dataran pijak disatukan maka selanjutnya dibuat guratan-guratan pada ujung dataran pijak. Pembuatan guratan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekesatan pada permukaan dataran pijak. Sehingga alas kaki pengunjung yang melintasinya tidak mudah tergelincir. Guratan tersebut dibuat dengan membuat gari-garis berlubang dengan pola melintang pada bagian ujung dataran pijak pelapis tangga.



Gambar 2.2.5 Detil Gambar Landasan Kayu dan Dataran Pijak yang Dipasang Melintang

Dari segi penyambungan dan pemasangan antara landasan kayu dan dataran pijak digunakan pengait berupa *fischer* atau paku ulir yang dipasangkan dan menyatukan antara landasan kayu dan dataran pijak. Pemasangan paku ulir dilakukan dengan melakukan pengeboran pada titik-titik penyambungan. Setelah paku ulir terpasang kuat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan kamufase pada lubang paku ulir menggunakan kayu dan lem. Sehingga pada permukaan dataran pijak tidak dijumpai paku ulir, selain itu paku ulir juga dapat terlindung dari korosi.

c. Desain model dataran pijak berbahan kayu ulin/kayu jati (tersusun membujur)



Gambar 2.2.6. Detil Pemasangan Landasan Kayu dan Dataran Pijak Pelapis Tangga Candi



Foto 2.2.7. Proses Pemasangan Dataran Pijak pada Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga



Foto 2.2.8. Hasil Akhir Pembuatan Pra Desain Model Pelapis Tangga Berbahan Kayu dengan Susunan Melintang

Pada pra desain model ini tidak digunakan kerangka kayu. Sehingga pada model ini peranan kerangka kayu digantikan dengan landasan kayu yang dilapisi karet setebal 0,5 – 0,75 cm. Landasan kayu berlapis karet berfungsi menyangga dataran pijak di atasnya. Sedangkan bagian bawah landasan kayu yang berlapis karet berfungsi menumpu batu struktur tangga. Dengan adanya lapisan karet maka permukaan batu tangga dapat terjaga dari goresan dan tumpuan langsung dari landasan kayu. Selain itu lapisan karet juga berfungsi meratakan tumpuan pada dataran pijak sehingga dapat lebih aman dan nyaman saat dilintasi.

Pada dataran pijaknya, papan kayu ulin/kayu jati dipasang membujur dan disesuaikan dengan luas permukaan batu tangga. Sehingga dalam satu anak tangga dapat lebih kurang terdiri atas lima hingga enam papan yang disatukan. Namun sebelum dataran pijak dipasang maka sebelumnya dilakukan pemasangan landasan kayu di atas lapisan karet. Landasan kayu berfungsi sebagai media bertumpunya dataran pijak. Setelah dataran pijak disatukan maka selanjutnya dibuat guratan-guratan pada ujung dataran pijak. Pembuatan guratan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekesatan pada permukaan dataran pijak. Sehingga alas kaki pengunjung yang melintasinya tidak mudah

tergelincir. Guratan tersebut dibuat dengan membuat gari-garis berlubang dengan pola melintang pada bagian ujung dataran pijak pelapis tangga.

Darisegi penyambungan dan pemasangan antara landasan kayu dan dataran pijak digunakan pengait berupa *fischer* atau paku ulir yang dipasangkan dan menyatukan antara landasan kayu dan dataran pijak. Pemasangan paku ulir dilakukan dengan melakukan pengeboran pada titik-titik penyambungan. Setelah paku ulir terpasang kuat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan kamufase pada lubang paku ulir menggunakan kayu dan lem. Sehingga pada permukaan dataran pijak tidak dijumpai paku ulir, selain itu paku ulir juga dapat terlindung dari korosi.

d. Desain model dataran pijak berbahan kayu jati dengan kerangka besi sistem (*knock down*)

Desain model ini dibuat pada tangga sisi selatan yang menghubungkan lorong II ke lorong III. Model ini merupakan hasil pengembangan dari kekurangan pada pra desain sebelumnya yang terbuat dari bahan kayu jati ataupun ulin. Kelebihan dari model ini adalah desain kerangkanya yang kuat dan dapat dengan mudah dipindahkan. Kerangka pelapis tangga pada model ini dibuat dari besi hollow berbentuk persegi yang disatukan sesuai dengan bentuk undakan tangga dengan dilas. Adapun pada bagian dataran pijaknya masih menggunakan kayu jati yang dipasangkan pada kerangka besi dengan menggunakan baut. Selain itu, untuk menjaga keamanan pengunjung saat melalui pelapis tangga, maka dataran pijak kayu dibuat beralur dan pada ujungnya diberi lis karet untuk meningkatkan kekesatannya. Sementara itu, berkaitan dengan intervensi model pelapis tangga dengan permukaan batu pijak pada tangga candi, Hingga saat ini masih dikaji bahan dari karet yang sesuai dengan alas pelapis tangga.

3) Model Alas Kaki Pengunjung



Foto 2.2.9. Model Pelapis Tangga Candi dengan Kerangka Besi dan Dataran Pijak Kayu Jati di Tangga Utara Lorong II – Lorong



Foto 2.2.10. Desain Knock Down pada Model Pelapis Tangga Candi dengan Kerangka Besi

Model alas kaki yang dimaksud adalah alas kaki yang nantinya akan digunakan oleh setiap pengunjung yang naik ke atas struktur candi. Alas kaki tersebut merupakan sarana yang dinilai efektif untuk mengurangi keausan lantai candi karena gesekan alas kaki pengunjung yang bahannya bervariasi. Tingkat kekerasan alas kaki tersebut tentunya tidak lebih keras dari batu candi. Selain itu, alas kaki tersebut hendaknya bersifat elastis dan tidak mudah melekatkan pasir pada bagian telapakannya. Hal ini penting karena apabila alas kaki yang digunakan mudah melekatkan butiran pasir maka pasir tersebut yang akan menggerus permukaan lantai candi seiring pijakan kaki pengunjung.

Untuk membedakan dengan model alas kaki yang lain dan untuk menumbuhkan kesan tradisional, maka motif atau corak pada permukaan alas kaki dapat menggunakan motif tradisional berupa motif batik maupun motif hias tradisional lain. Motif tersebut dapat diimplementasikan pada sebagian ataupun seluruh permukaan alas kaki. Sedangkan teknik pemasangan motif batik pada permukaan alas kaki adalah dengan sistem tempel dan jahit.

BAB III

MONITORING PRA DESAIN MODEL PELAPIS TANGGA

Monitoring pra desain model pelapis tangga candi merupakan tahap akhir yang bermaksud untuk mengetahui efektifitas dan ketahanan material pelapis tangga yang telah dicobakan pada tangga lorong I – lorong II sisi Timur, Utara, dan Selatan Candi Borobudur. Dengan melakukan monitoring dalam jangka waktu yang ditentukan maka diharapkan dapat diketahui efektifitas dan daya tahan material pra desain model pelapis tangga.

Selain melakukan monitoring, juga dilakukan penyebaran kuesioner pada pengunjung yang telah melintasi pra desain model pelapis tangga candi. Kuesioner tersebut dimaksudkan untuk mengetahui persepsi dan pendapat masyarakat apabila nantinya semua struktur tangga candi dilapisi menggunakan bahan kayu.

A. Monitoring Material

Pada monitoring material dan konstruksi pelapis tangga candi, beberapa elemen yang dimonitor difokuskan pada struktur batu tangga candi dan model pelapis tangga candi. Monitoring pada struktur batu tangga dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan batu, suhu, kelembaban, dan endapan tanah atau pasir yang dijumpai. Adapun monitoring pada material pra desain model pelapis tangga candi bertujuan mengamati kondisi fisik material di antaranya pada bagian dataran pijak, landasan, guratan, paku ulir, perubahan warna, dan plat logam.

B. Persepsi Pengunjung



Foto 2.3.1. Monitoring Desain Model Pelapis Tangga Candi



Foto 2.3.2 Pelaksanaan Monitoring pada Dataran Pijak Model Pelapis Tangga Candi yang Mengalami Pergeseran

Untuk mengetahui persepsi pengunjung yang melintasi pra desain model pelapis tangga candi, maka metode yang digunakan adalah dengan membuat dan menyebarkan kuesioner pada para pengunjung yang melintasi model tersebut. Adapun point-point yang diharapkan dapat diketahui persepsinya adalah mengenai adanya kerusakan tangga candi, keamanan model, kenyamanan model, dan estetika model. Selain itu, di akhir kuesioner pengunjung diminta memberikan pendapatnya apabila semua tangga candi dilapisi bahan kayu. Hasil kuesioner akan menjadi bahan pertimbangan bagi para ahli untuk mengetahui persepsi masyarakat apabila tangga candi dilapisi dengan bahan kayu. Adapun metode penyampaian kuesioner dilakukan setelah pengunjung melintasi model pelapis tangga candi yakni pada lorong III dan area plateau (tingkat VII).

Berdasarkan kuesioner yang diisi oleh lebih kurang 100 responden dapat diinformasikan bahwa sebagian besar responden menyetujui apabila keausan tangga Candi Borobudur segera ditindaklanjuti dengan pembuatan pelapis tangga candi. Namun demikian, apabila menyangkut estetika dan teknik pemasangan pelapis tangga candi sebagian besar responden menyatakan agak setuju. Hal ini dapat diartikan bahwa pra desain model pelapis tangga candi perlu dikembangkan dengan teknik yang lebih baik dari segi kekuatan, keamanan, dan estetika.

BAB IV

KESIMPULAN

Berdasarkan kondisi pengamatan terhadap keausan batu penyusun struktur Candi Borobudur diketahui bahwa sebagian besar keausan terjadi pada bagian tangga dan lantai candi. Adapun penyebab keausannya adalah karena aktifitas kunjungan wisata pada struktur candi. Aktifitas pengunjung yang naik ke candi secara tidak disadari menimbulkan kontak berupa gesekan pada permukaan batu tangga dan lantai candi. Gesekan dari alas kaki pengunjung tersebut selanjutnya mempercepat laju keausan batu tangga dan lantai candi.

Untuk menanggulangi semakin besarnya keausan pada batu penyusun struktur tangga dan lantai baik pada Candi Borobudur, Mendut, dan Pawon, maka upaya yang dilakukan di antaranya dengan membuat pelapis tangga candi. Namun demikian, sebelum diaplikasikannya pelapis tangga candi perlu dibuat sebuah pra desain.

Model pra desain pelapis tangga candi yang akan dibuat merupakan pengembangan dan penyempurnaan dari model pelapis tangga candi yang sebelumnya telah diujikan di tahun 2010. Dalam pengujian tersebut disimpulkan bahwa pada beberapa bahan dinilai kurang sesuai. Adapun bahan yang dinilai sesuai dan dikembangkan dalam kajian ini adalah bahan pelapis dari papan kayu. Bahan pelapis dari papan kayu tersebut kemudian dikembangkan dengan berbagai penyempurnaan yang diketahui dari kelemahan pada model pelapis papan kayu yang telah dibuat sebelumnya. Dari hasil evaluasi dan penyempurnaan model yang telah dikerjakan sebelumnya, maka material utama yang dibuat sebagai pra desain adalah papan kayu ulin dan papan

kayu jati. Adapun model dan konstruksinya dapat disesuaikan berdasarkan hasil monitoring material maupun pendapat ahli dari berbagai disiplin ilmu. Berdasarkan hasil monitoring dan pendapat dari para ahli maka pra desain model yang diajukan adalah model papan kayu dengan susunan melintang, model papan kayu dengan susunan membujur, model papan kayu berpengait plat besi. Beberapa model tersebut kemudian dicoba dipasang pada tangga lorong I – lorong II sisi Timur, Utara, dan Selatan Candi Borobudur.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. 2010. *Pengamatan Keausan Batu Struktur Candi Pada Bagian Tangga, Stupa Teras, dan Lantai Stupa Teras. Borobudur*: tidak diterbitkan.
- Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. 1991. *Data Ukuran Candi Borobudur*. Magelang: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Brahmantara, dkk. 2008. *Kajian Struktur Permukaan Halaman Candi Borobudur dan Korelasinya dengan Keausan Batu Tangga. Borobudur*: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Sutantio, Julianto S. 1985. *Pengunjung dan Masalah Konservasi Candi Borobudur: Sebuah Penelitian Pendahuluan. Skripsi Jurusan Arkeologi*. Jakarta: Fakultas Sastra Universitas Indonesia.
- Setyawan, Hari. dkk. 2010. *Pengamatan Keausan Batu Struktur Candi pada Bagian Tangga, Stupa Teras, dan Lantai Stupa teras. Borobudur*: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Setyawan, Hari, dkk. 2010. *Kajian Perbaikan Tangga Candi Borobudur*. Borobudur: Balai Konservasi Borobudur.
- Stuterheim, W. F. 1950. *Chandi Borobudur Name Form and Meaning, Studies In Indonesia Archaeology*. Batavia: Kolff & Co.
- Taufik, Muhammad. 2005. *Minimalisasi Dampak Negatif Pemanfaatan Candi Borobudur sebagai Objek Wisata*. Tesis Pasca Sarjana Program Studi Arkeologi Bidang Ilmu Humaniora. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.



3. KONSERVASI LOGAM DENGAN BAHAN TRADISIONAL

Ari Swastikawati, Henny Kusumawati,
Rony Muhammad,
Heri Yulianto, Yudi Atmaja H.P

KONSERVASI LOGAM DENGAN BAHAN TRADISIONAL

Ari Swastikawati, Henny Kusumawati, Rony Muhammad, Heri Yulianto, Yudi Atmaja H.P

Abstrak

Saat ini di bidang konservasi cagar budaya terdapat kecenderungan untuk kembali menggunakan metode konservasi tradisional. Kecenderungan ini didasarkan pada fakta bahwa penggunaan metode tradisional lebih mudah dan ramah terhadap lingkungan. Salah satu metode tradisional yang perlu dikaji adalah penggunaan bahan tradisional atau bahan alam untuk perawatan dan pengawetan cagar budaya berbahan logam. Pertimbangan terpenting untuk menentukan apakah sebuah artefak logam perlu dibersihkan atau tidak adalah jenis korosinya. Penentuan karakteristik korosi aktif dan pasif dari setiap jenis artefak logam baik secara visual maupun dari sudut pandang kimia, perlu dilakukan untuk mengetahui suatu artefak mengalami korosi aktif atau pasif.

Kajian Konservasi Logam dengan Bahan Tradisional ini dilaksanakan untuk menggali metode konservasi artefak logam dengan menggunakan bahan tradisional atau bahan alam. Adapun tujuan dari kajian ini adalah mengidentifikasi karakteristik korosi aktif dan pasif pada artefak berbahan besi dan paduan tembaga serta menginventarisasi bahan-bahan alam yang dapat digunakan dalam konservasi artefak berbahan besi dan paduan tembaga.

Kerangka pikir yang digunakan dalam kajian ini adalah melakukan kegiatan survai. Survai dilaksanakan untuk menginventarisasi praktek-praktek konservasi logam menggunakan bahan tradisional yang masih berlangsung di masyarakat. Berdasarkan hasil survai tersebut kemudian dilakukan praktek di laboratorium. Selain survai untuk menginventarisasi

praktek-praktek konservasi tradisional, juga dilaksanakan survai di museum. Kegiatan survai di museum terutama untuk mengidentifikasi korosi aktif dan pasif pada koleksi logam.

Dari eksperimen di laboratorium, beberapa bahan-bahan alam yang dapat dimanfaatkan untuk pembersihan korosi pasif pada besi adalah blimbing wuluh, mengkudu, dan buah nanas. Bahan yang dapat digunakan untuk pembersihan korosi aktif pada besi adalah jeruk nipis, mengkudu, dan buah nanas. Campuran sulfur, garam dan air sebaiknya tidak digunakan dalam pembersihan korosi aktif pada bcb. Bahan yang dapat digunakan dalam pembersihan korosi pada kuningan adalah santan, jeruk nipis, campuran jeruk nipis dan abu gosok, campuran jeruk nipis dan bubukan bata, campuran jeruk nipis dan bubukan bata serta pasta campuran jeruk nipis dan soda kue.

Kata kunci : Konservasi tradisional, logam, korosi aktif, korosi pasif

Abstract

Nowadays traditional conservation method is welcomed in the field of cultural heritage conservation. The trend is based on the facts that the traditional method is much easier to be applied and much friendlier toward the environment. One of the traditional methods to be studied is use of natural substances for treatment and conservation of metal-based cultural heritage. The corrosion type is the most important consideration in determining whether any metal artefact should be cleaned or not is its corrosion type. The determination of active and passive corrosion from any metal artefact, both visually and chemically, should be done to find out whether an artefact has active or passive corrosion.

Study on Metal Conservation by Natural Substances was conducted to deepen our knowledge on the conservation method of metal artefact using traditional or natural substances. The objective is to identify the characteristics of active and passive corrosion in iron-based and copper-mixed based artefacts, as well as to identify natural substances used in conservation of iron-based and copper-mixed based artefacts.

The logical framework used in this study is started by conducting a survey. The survey is performed to inventory conservation methods for metal artefacts that are still being practices by the community. Based on finding in the survey, laboratory testing is conducted. The survey in the community is complemented by survey in museums. The museum survey is performed to identify active and passive corrosion in metal collection.

The result from laboratory experiment shows that several natural substances can be used for cleaning of passive corrosion in metal, which include carambola, noni and pineapple. Substances used to clean active corrosion are lime, noni, and pineapple. Mix of sulphur, salt and water is not recommended to be used in cleaning active corrosion in cultural heritage artefacts. Substances that can be used to clean corrosion in brass artefacts are coconut milk, lime, mix of lime and ash, mix of lime and brick powder, and mixed paste of lime and baking soda.

Keywords: traditional conservation, metal, active corrosion, passive corrosion

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki beraneka ragam budaya. Keanekaragaman budaya tersebut menghasilkan beraneka ragam tinggalan cagar budaya pula. Baik berupa benda, struktur, bangunan, situs, dan kawasan cagar budaya seperti yang disebutkan dalam Undang-Undang Nomor 11 tahun 2010. Berdasarkan aspek material penyusunnya maka dibedakan menjadi cagar budaya berbahan batu, bata, kayu, logam, dan sebagainya. Supaya cagar budaya tersebut dapat dinikmati oleh generasi mendatang dalam kondisi yang utuh dan lengkap, maka cagar budaya tersebut harus dilestarikan. Dalam upaya pelestarian cagar budaya tersebut maka diperlukan tindakan konservasi.

Berdasarkan bahan serta peralatan yang digunakan maka konservasi cagar budaya dapat dibedakan menjadi konservasi modern dan konservasi tradisional. Konservasi modern adalah tindakan konservasi dengan menggunakan bahan serta peralatan yang relatif modern. Bahan yang direkomendasikan dalam kegiatan konservasi tersebut merupakan hasil penelitian, pengkajian, dan pengembangan dalam bidang konservasi. Sedangkan yang dimaksud dengan peralatan modern adalah merupakan seperangkat peralatan modern yang dibuat atau dapat digunakan untuk kegiatan konservasi. Konservasi tradisional adalah tindakan konservasi dengan menggunakan bahan dan peralatan tradisional, yang berpatokan pada kearifan lokal (*local wisdom*) serta pengalaman yang terakumulasi dalam pengetahuan masyarakat setempat (*people knowledge*). Bahan tradisional adalah bahan yang didapat dari lingkungan

masyarakat setempat, yang dipercayai dapat digunakan dalam konservasi cagar budaya, atas dasar pengalaman dan tradisi turun temurun. Peralatan tradisional adalah peralatan sederhana, yang dibuat oleh masyarakat dengan bahan yang diperoleh dari lingkungannya (Sunarno, 2010).

Saat ini terdapat kecenderungan di dunia untuk kembali menggunakan metode konservasi tradisional dalam penanganan konservasi cagar budaya. Kecenderungan ini didasarkan pada fakta bahwa penggunaan metode tradisional lebih mudah dan ramah terhadap lingkungan. Beberapa metode tradisional dalam konservasi cagar budaya telah diteliti oleh Balai Konservasi Borobudur, seperti metode penjamasan, penggunaan cengkeh, pelepah pisang, dan tembakau untuk konservasi kayu dan lain sebagainya. Sesungguhnya Indonesia memiliki lebih banyak lagi metode tradisional sebagai bentuk kearifan lokal yang dapat digunakan untuk mengkonservasi cagar budaya. Namun metode-metode tersebut belum dikaji dengan baik.

Salah satu metode tradisional yang perlu dikaji adalah penggunaan bahan tradisional atau bahan alam untuk perawatan dan pengawetan cagar budaya berbahan logam. Seperti penggunaan jeruk nipis untuk membersihkan kuningan dan besi, penggunaan batu apung untuk polishing (memoles) gamelan, penggunaan santan untuk pembersihan perunggu, dan sebagainya. Akan tetapi pertimbangan terpenting untuk menentukan apakah sebuah artefak logam perlu dibersihkan atau tidak adalah jenis korosinya. Apakah artefak tersebut mengalami korosi aktif ataukah pasif. Sehingga perlu untuk menentukan karakteristik korosi aktif dan pasif dari setiap jenis artefak logam. Baik karakteristik secara visual maupun dari sudut pandang kimia.

Kajian dengan judul "Konservasi Logam dengan Bahan

Tradisional” merupakan tema kajian yang sangat luas. Dari aspek jenis material saja, cagar budaya berbahan logam dapat dibedakan menjadi cagar budaya berbahan besi, tembaga, paduan tembaga (perunggu dan kuningan), perak, emas, dan sebagainya. Dari aspek langkah-langkah tindakan konservasi yang dilakukan dapat dimulai dari identifikasi kerusakan dan dilanjutkan dengan penanganan konservasi yang meliputi perawatan dan pengawetan koleksi logam. Langkah-langkah tindakan konservasi tersebut pun masih dapat diuraikan berdasarkan tinjauan jenis kerusakan apakah kimia berupa korosi ataukah fisik patah, retak dan sebagainya. Korosi pun masih dapat dibedakan menjadi korosi aktif maupun korosi pasif. Begitu pula dari aspek bahan tradisional atau bahan alam. Apakah bahan tersebut berfungsi sebagai pembersih seperti bahan alam yang mengandung asam sitrat dan bahan alam yang bersifat koloid. Serta bahan alam yang bersifat menstabilkan seperti bahan alam yang mengandung asam tanin. Agar kajian ini tidak terlalu luas maka kajian ini akan dibatasi pada penggunaan bahan alam untuk membersihkan korosi pada artefak besi dan paduan tembaga yang tidak dilapisi. Serta identifikasi karakteristik korosi aktif dan pasif pada besi dan paduan tembaga secara visual. Kajian ini diharapkan akan menjadi awal kajian selanjutnya yang lebih terspesifikasi sehingga hasilnya akan lebih aplikatif.

Maksud dari kajian ini adalah menggali metode konservasi artefak logam dengan menggunakan bahan tradisional atau bahan alam. Adapun tujuan dari kajian ini adalah:

1. Identifikasi karakteristik korosi aktif dan pasif pada artefak berbahan besi dan paduan tembaga.
2. Inventarisasi bahan-bahan alam yang dapat digunakan dalam konservasi artefak berbahan besi dan paduan tembaga.

Kajian "Konservasi Logam dengan Bahan Tradisional" akan dibatasi pada jenis logam besi serta paduan tembaga (perunggu dan kuningan).

B. Metode Penelitian

1. Kerangka Pikir

Kerangka pikir yang digunakan dalam kajian ini adalah yang pertama melakukan kegiatan survei. Survei dilaksanakan untuk menginventarisasi praktek-praktek konservasi logam menggunakan bahan tradisional yang masih berlangsung di masyarakat. Berdasarkan hasil survei tersebut kemudian dilakukan praktek di laboratorium. Selain survei untuk menginventarisasi praktek-praktek konservasi tradisional, juga dilaksanakan survei di museum. Kegiatan survei di museum terutama untuk mengidentifikasi korosi aktif dan pasif pada koleksi logam. Dalam kajian tahap ini belum sampai menekankan pada tinjauan kimia dari penggunaan bahan-bahan tradisional dalam konservasi logam. Tinjauan kimia tersebut akan banyak ditekankan dalam kajian tahap berikutnya.

2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah *field* atau *portable XRF (X-ray fluorescence)*, digital mikroskop, pinset, dan skavel. Sedangkan bahan yang dibutuhkan dalam kajian ini meliputi sarung tangan, kertas milimeter, tisu, plastik klip, kertas label, jeruk nipis, malam (*beewax*), lilin mikrokristalin, toluene, terpenten, paraloid, *polivinil asetat (PVA)*, aseton, artefak besi atau besi tua, arca perunggu, dan kuningan.

3. Prosedur Penelitian

Adapun tahapan prosedur penelitian yang akan dilaksanakan dalam kajian ini meliputi studi referensi, survei

lapangan dan eksperimen di laboratorium dengan penjelasan sebagai berikut:

4. Studi Referensi

Studi referensi atau studi pustaka dimaksudkan untuk mendapatkan data atau referensi, baik dalam bentuk buku, artikel, jurnal yang memiliki relevansi dengan kajian ini. Penelusuran referensi dilakukan di perpustakaan Balai Konservasi Borobudur, perpustakaan Jurusan Arkeologi, Fakultas Ilmu Budaya, perpustakaan Fakultas MIPA UGM, dan penelusuran referensi melalui internet.

5. Survei

Secara garis besar survei pertama dilaksanakan untuk mendapatkan data mengenai praktek-praktek metode konservasi tradisional yang masih berlangsung di masyarakat. Survei dilaksanakan dengan cara observasi langsung dan wawancara. Adapun tokoh-tokoh yang diwawancarai adalah sebagai berikut:

- 1) Empu Daliman, pengajar di ISI Surakarta dan pemilik Padepokan Puspobudoyo
- 2) Basuki Teguh Yuwono, M.Sn., pengajar di ISI Surakarta dan pemilik Padepokan Brojobuwono
- 3) Kanjeng Winarno, sesepuh Keraton Surakarta
- 4) Kanjeng Gusti Pangeran Haryo Puger, kerabat dan tokoh budaya Keraton Surakarta

Foto 3.1.1. Kegiatan Wawancara dengan Gusti kanjeng Winarno

Survei kedua dilaksanakan dengan observasi jenis korosi aktif dan korosi pasif pada koleksi logam di museum dan studio BPCB. Adapun sampel koleksi yang diobservasi meliputi koleksi:

- 1) Museum Sonobudoyo
- 2) Museum Benteng Vredeburg
- 3) Studio Balai Pelestarian Cagar Budaya DIY
- 4) Studio Balai Pelestarian Cagar Budaya Jateng

Foto 3.1.2. Melihat Proses Pembuatan Keris Di Padepokan Serta Kegiatan Wawancara Dengan Empu Daliman

Survei bertujuan mengidentifikasi karakteristik dari kedua jenis korosi tersebut berdasarkan kenampakan visual. Dengan teridentifikasinya jenis korosi maka dapat ditentukan metode konservasi yang tepat.

C. Eksperimen dan Analisis Kimia di Laboratorium

Eksperimen di laboratorium dilakukan dengan mempraktekkan kembali metode-metode konservasi tradisional yang didapat dari hasil survei. Analisis laboratorium dilaksanakan untuk mengetahui karakteristik korosi aktif dan korosi pasif dari sudut pandang ilmu kimia.

Tabel 3.1.1. Prosedur pembersihan lapisan karat pasif dan aktif

No.	Logam	Konservasi	Bahan	Prosedur
1	Besi	a. Pembersihan lapisan karat pasif dan aktif	Bahan yang bersifat asam 1. Jeruk nipis 2. Buah blimbing wuluh 3. Buah mojo 4. Buah mengkudu (tua) 5. Buah nanas (muda)	<i>Prosedur a:</i> - 1, 2, dan 3 dengan cara pengosokan sampai bersih dan dibilas dengan air sampai bersih. - Terakhir dibilas dengan aquades - Keringkan menggunakan tisu atau kain katun berlapis dan keringkan dibawah sinar matahari <i>Prosedur b:</i> - 4 dan 5 dihancurkan dan diambil airnya, air digunakan untuk merendam koleksi. - Diamkan sampai karat hilang. - Bilas dengan air bersih. - Terakhir dibilas dengan aquades - Keringkan menggunakan tisu atau kain katun berlapis dan keringkan di bawah sinar matahari <i>NB:</i> 1. pH semua bahan sebelum dan sesudah perlakuan diukur. 2. Dokumentasikan koleksi sebelum dan sesudah perlakuan 3. Dokumentasikan kegiatan melalui foto dan video pada setiap tahap kegiatan 4. Buat lembar kerja (form kegiatan)
		b. Pembersihan karat sangat aktif (Padepokan Brojobuwono)	1. Bubuk belerang + garam dapur	<i>Pembuatan pasta belerang + garam</i> 1. 20 gr garam ditambah + 100 gr bubuk belerang ditambah dengan 20 ml air. <i>Prosedur aplikasi:</i>

				<ol style="list-style-type: none"> 1. Bilah keris/besi yang berkarat tebal direndam dalam campuran garam+ belerang + air 2. Angkat keris dan cuci bersih dengan lerak 3. Rendam dalam aquades 4. Keringkan sampai benar-benar bersih 5. Angin-anginkan <p><i>NB:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. pH semua bahan sebelum dan sesudah perlakuan diukur. 2. Dokumentasikan koleksi sebelum dan sesudah perlakuan 3. Dokumentasikan kegiatan melalui foto dan video pada setiap tahap kegiatan 5. Buat lembar kerja (form kegiatan)
2	Kuning-an dan perunggu	a. Pembersihan korosi	<p>Bahan yang digunakan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Air santan 2. Jeruk nipis 3. Jeruk nipis + abu gosok 4. Jeruk nipis + soda kue/sodium bikarbonat (NaHCO_3) 5. Abu dari kayu atau arang yang dibakar 6. Bubuk bata dan campuran air belimbing wuluh 7. Bata bata dan campuran air asam jawa 	<p><i>Prosedur : larutan santan, Sumber : Museum Natuna</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Satu kelapa tua diparut ditambah air 1-2 liter dan didiamkan satu malam (24 jam) 2. Endapan pada bagian atas diambil untuk membuat minyak kelapa 3. Larutan pada bagian bawah digunakan untuk membersihkan kuningan yang korosi, dengan cara koleksi direndam dalam larutan selama 24 - 48 jam sesuai dengan tingkat ketebalan korosi 4. Setelah kotoran bersih, koleksi dicuci dengan lerak kemudian dikeringkan. <p><i>NB:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. pH semua bahan sebelum dan sesudah perlakuan diukur. 2. Dokumentasikan koleksi

				<p>sebelum dan sesudah perlakuan (aplikasi)</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Dokumentasikan kegiatan melalui foto dan video pada setiap kegiatan 4. Buat lembar kerja (form kegiatan)
		<p>b. Polishing (hanya untuk kuningan (Cu + Zn). Tidak korosi tapi kusam. Polishing berfungsi untuk mengkilapkan</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abu gosok 2. Tumbukan bata 3. Batu apung (batu hijau) 	<p><i>Penyiapan bahan:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cari abu gosok dari kayu 2. Dibuat bubuk bata halus 3. Persiapkan batu apung <p><i>Prosedur kerja :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pilih satu koleksi besar, atau koin yang kusam 4 buah (satu dibersihkan dengan abu gosok, satu dengan bubuk bata, satu batu apung dan satu sebagai kontrol. 2. Perlakukan tiap bagian dengan jumlah dan penggosok yang sama. Satu bagian dibiarkan sebagai kontrol 3. Setelah mengkilap, bersihkan dengan air <p><i>NB :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dokumentasikan dengan foto sebelum dan sesudah perlakuan 2. Dokumentasikan pula dengan video proses kegiatan yang dilakukan dari mulai penyiapan bahan. 3. Buat lembar kerja (form kegiatan)

BAB II

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Korosi Pasif dan Aktif pada Besi dan Paduan Tembaga

Jenis korosi yang terjadi pada cagar budaya logam sangat penting untuk diketahui sebelum melakukan tindakan konservasi. Sehingga langkah awal sebelum pelaksanaan kegiatan konservasi adalah melakukan identifikasi jenis korosi. Menurut Judy Logam (2007), jenis korosi pada logam dibedakan menjadi korosi pasif dan korosi aktif.

1. Korosi Pasif

Korosi pasif terjadi sebagai lapisan oksida yang stabil atau perubahan warna yang terjadi secara perlahan-lahan pada permukaan artefak logam. Lapisan oksida tersebut akan melindungi permukaan logam yang mendasarinya. Sehingga lapisan oksida tersebut sering dianggap sebagai patina. Adapun ciri-ciri korosi pasif pada besi dan paduan tembaga adalah sebagai berikut:

- Bersifat stabil, kompak, dan melekat
- Memiliki variasi dalam warna antara biru-hitam dan merah-coklat.

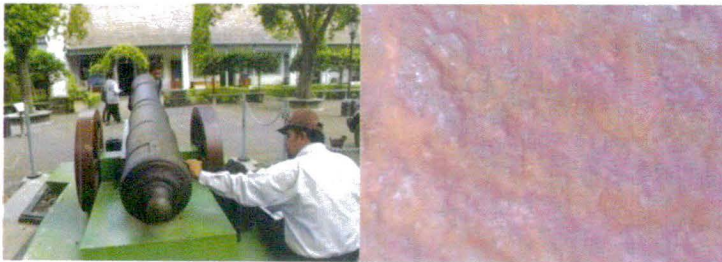


Foto 3.2.1. Meriam di Museum Benteng Vredenburg yang Mengalami Korosi Pasif

Ciri-ciri korosi pasif pada artefak paduan tembaga:

- Bersifat koheren atau jelas, melekat, dan halus.

- Memiliki variasi dalam warna dari merah, coklat, hitam, dan biru sampai nuansa warna hijau.



Foto 3.2.2. Contoh Korosi Pasif pada Panduan Tembaga

2. Korosi Aktif

Korosi aktif merupakan jenis korosi yang menyebabkan kehilangan material yang berkelanjutan pada objek. Adapun ciri-ciri umum korosi aktif adalah luas permukaan yang mengalami korosi bertambah dengan cepat dan adanya pengelupasan atau bubuk (*powdering*) pada permukaan sehingga di sekitar artefak ditemukan serpihan atau bubuk sebagai produk korosi. Sedangkan ciri-ciri korosi aktif pada besi dan paduan tembaga lebih lengkap sebagai berikut:

Ciri-ciri korosi aktif pada artefak besi sebagai berikut:

- Adanya fragmen atau serpihan (*loose powder*) di sekitar objek
- Adanya lekukan atau semacam lepuhan pada permukaan
- Adanya bintik-bintik berwarna orange pada pusat-pusat lekukan
- Adanya retakan pada permukaan artefak besi (Gambar 2.3 c)

- Adanya “sweating” or “weeping” (berkeringat dan menangis) berupa tetesan pada permukaan objek yang berwarna kuning, coklat atau orange yang terjadi pada lingkungan dengan RH sangat tinggi di atas 55% (Gambar 2.5)
- Area artefak besi yang mengalami “sweating” or “weeping” disebabkan oleh kontaminasi ion klorida.
- Jika kelembaban menurun di bawah 50% maka area yang mengalami “sweating” or “weeping” akan mengering dan melepuh yang berwarna orange atau kuning.



Foto 3.2.3. Korosi Aktif pada Tang Besi Hasil Temuan Eskavasi Situs Liangan

Foto 3.2.4. Korosi Aktif yang terjadi pada temuan hasil eskavasi situs liangan yang ditandai adanya pengelupasan dan retakan

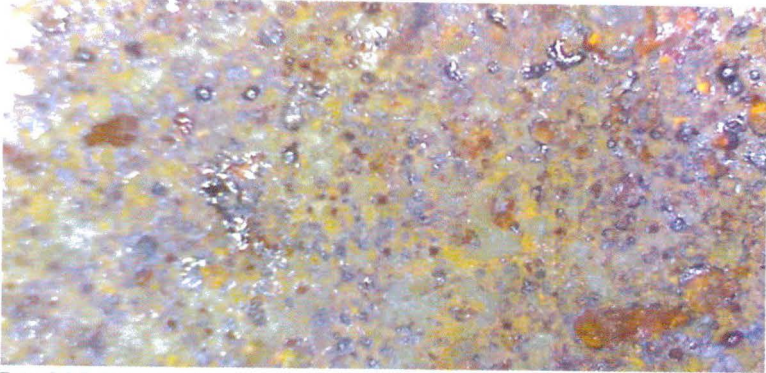


Foto 3.2.5. Korosi Aktif yang pada artefak besi yang ditandai adanya "sweating" or "weeping" (berkeringat dan menangis)

Ciri-ciri korosi aktif pada artefak paduan tembaga sebagai berikut:

- Lapisan korosi melekat secara longgar dengan logam inti
- Adanya lapisan bubuk di atas permukaan, tetapi bukan sebagai spot
- Adanya lapisan permukaan berwarna hijau yang disebabkan polutan klorida dan asam asetat
- Adanya lapisan korosi yang berwarna biru yang disebabkan oleh polutan gas amoniak



Foto 3.2.6. Korosi Aktif pada Paduan Tembaga

Tetapi pada beberapa kasus dalam satu artefak besi maupun paduan tembaga sering kali tidak hanya satu jenis korosi, tetapi terdapat korosi aktif maupun pasif. Kondisi ini tentu

mempertimbangkan dengan cermat dalam menentukan metode konservasi yang akan dilakukan.

- Jenis-Jenis Korosi pada Keris

Menurut Basuki Teguh Yuwono, jenis-jenis korosi atau karat pada keris berdasarkan penyebabnya dapat dibedakan menjadi karat kembang, karat tahun, karat minyak, karat darah, dan karat air.

1. Karat kembang

Karat kembang disebabkan oleh debu, dengan ciri-ciri warna keris natural tapi kusam. Jika karat kembang tersebut tidak dilakukan pembersihan secara rutin maka akan menjadi karat tahun. Oleh karena itu penting untuk melakukan pembersihan secara rutin terutama keris-keris yang didisplay tanpa warangkanya (pegangan keris).

2. Karat tahun

Karat tahun terjadi karena karat kembang yang tidak pernah dibersihkan. Ciri-ciri karat tahun adalah adanya lapisan korosi atau karat yang merata pada permukaan bilah keris dan berwarna merah. Karat tahun ini dapat menjadi korosi aktif ketika bilah keris berhubungan dengan garam, baik yang berasal dari setuhan tangan maupun garam yang terdapat di lingkungan keris. Karat tahun jika dibiarkan akan berpotensi menjadi karat aktif.

3. Karat minyak

Ciri-ciri karat minyak adalah permukaan keris berwarna hitam dan menutup semua permukaan.

4. Karat darah

Karat yang disebabkan oleh noda darah, menempel di bagian tertentu, tidak merata, dan timbul. Darah ini akan masuk ke pori dan meninggalkan bekas. Ciri-cirinya setelah darah yang berkarat terkelupas akan membentuk cekungan. Karat

darah termasuk karat aktif karena karat darah menyebabkan pengelupasan menghasilkan serpihan sebagai produk korosi.

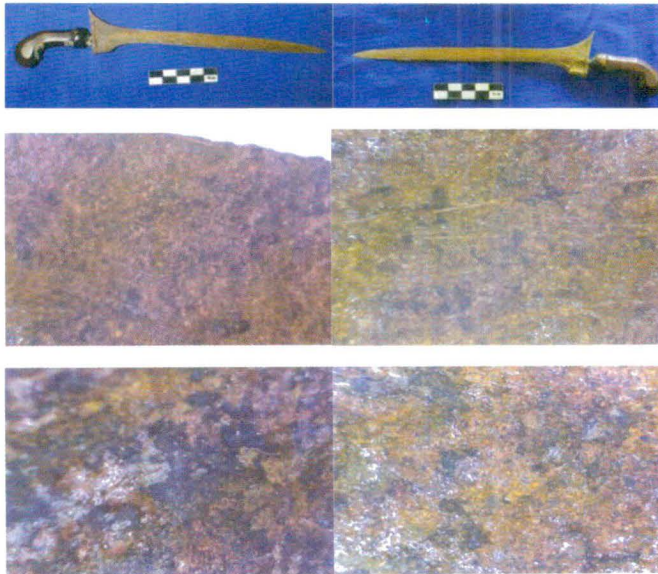


Foto 3.2.7. Permukaan Bilah yang mengalami Karat Tahun

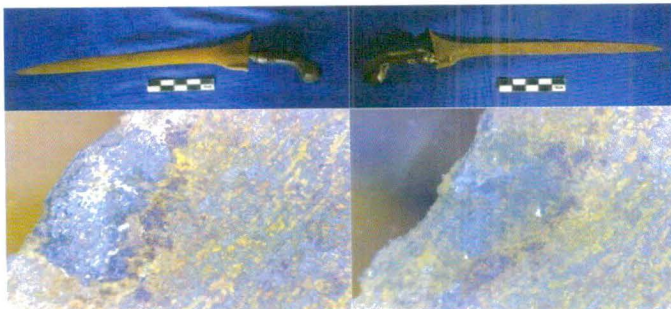


Foto 3.2.8. Karat darah yang belum dibersihkan

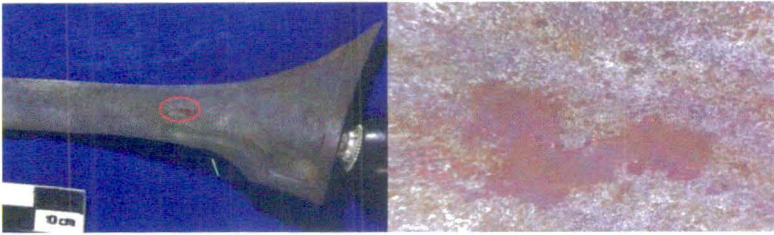


Foto 3.2.9. Karat darah yang sudah dibersihkan tapi belum sempurna sehingga masih meninggalkan bekas



Foto 3.2.10. Karat darah yang belum dibersihkan

5. Karat Air

Karat air adalah karat yang terjadi karena bilah keris kontak dengan air dalam jangka panjang, jenis karat termasuk korosi aktif. Jenis karat air ditemukan pada artefak besi yang ditemukan dari dalam sungai atau terkubur lama dalam tanah yang basah.



Foto 3.2.11. Bilah pisau yang ditemukan di sungai mengalami korosi aktif

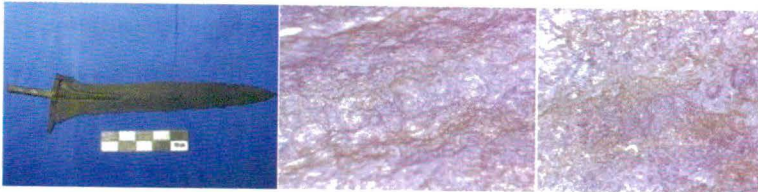


Foto 3.2.12. Bilah keris yang ditemukan di sungai mengalami korosi aktif tapi sudah dibersihkan dengan sempurna

B. Pembersihan Korosi Besi Menggunakan Bahan Alam

Obyek yang digunakan dalam percobaan ini terdiri dari 10 obyek dimana 5 obyek terdapat korosi aktif dan sisanya merupakan korosi pasif. Jenis obyek yang digunakan sangat beragam yaitu berupa pisau, keris, dan engsel pintu.

1. Pembersihan korosi pasif

a. Pembersihan korosi pasif menggunakan belimbing wuluh

- Keris besar

Keris mempunyai ukuran panjang 30 cm dan lebar bawah 6,4 cm.

Tabel 3.2.1 Komposisi Unsur Keris Besar

No.	Parameter	Kadar	Keterangan
1.	Fe	94,57	
2.	Si	3,25	
3.	Al	1,42	
4.	Cu	0,51	
5.	S	0,165	
6.	P	0,088	

Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa keris terbuat dari besi dengan unsur besi sebesar 94,57%. Untuk hasil lengkap komposisi kimia dari keris dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Hasil observasi tingkat keterawatan menunjukkan bahwa obyek masih dalam kondisi baik secara fisik. Akan tetapi pada permukaan keris tampak adanya karat tipis (korosi pasif).

Proses pembersihan :

Pembersihan karat dilakukan dengan menggunakan belimbing wuluh. Keris pertama-tama dibersihkan secara mekanis menggunakan sikat untuk menghilangkan debu ataupun kotoran yang melekat.



Foto 3.2.13. Proses pembersihan keris menggunakan blimbing wuluh

Setelah digosok dengan belimbing wuluh kemudian keris dinetralkan kembali dengan menggunakan air lerak dan dibilas dalam air mengalir. Hasil pembersihan menunjukkan bahwa belimbing wuluh dapat digunakan untuk membersihkan korosi pasif pada artefak besi.

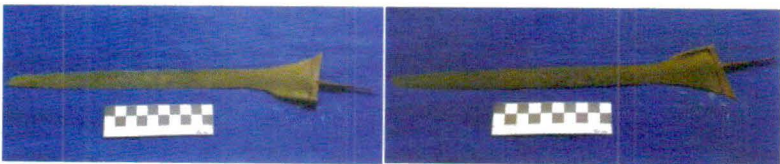


Foto 3.2.14. Kondisi keris setelah dibersihkan

b. Pembersihan korosi pasif menggunakan mengkudu

- Besi dengan baut

Obyek mempunyai ukuran panjang 17,4 cm dan lebar 5 cm. Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa unsur dominan adalah Fe sebesar 76,36%. Hasil lengkap komposisi obyek dapat dilihat dalam tabel 3.2.2

Tabel 3.2.2 Komposisi Unsur Besi dengan Baut

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	76,36	
2	Si	13,65	
3	Al	8,07	
4	Mn	0,75	
5	S	0,540	
6	P	0,296	
7	Zn	0,19	
8	Cu	0,09	
9	Cr	0,04	



Foto 3.2.15. Kondisi dan baut yang belum dibersihkan

Pengamatan terhadap tingkat keterawatan obyek, menunjukkan bahwa obyek dalam keadaan baik secara fisik namun pada bagian permukaan sebelah dalam terdapat karat.

Prosedur pembersihan :

Pembersihan dilakukan dengan merendam obyek di dalam air mengkudu. Proses pembuatan sama seperti pada pembersihan pasah tertutup.

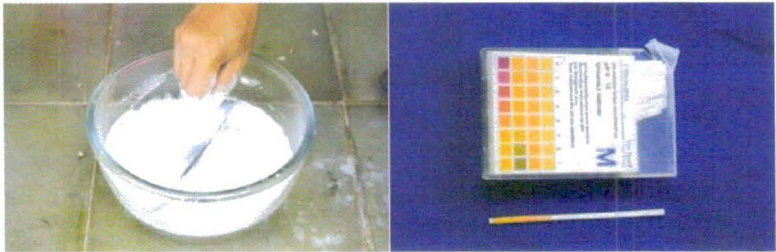


Foto 3.2.16. Proses perendaman objek dalam air mengkudu dan pengukuran pH

Pengukuran menggunakan pH indikator menunjukkan bahwa pH larutan adalah 5. Percobaan waktu perendaman adalah selama 24 jam. Setelah itu obyek kemudian dinetralkan kembali dengan menggunakan air lerak dan kemudian dibilas dalam air mengalir.



Foto 3.2.17. Proses pembersihan dengan lerak

Setelah proses penetralan kemudian obyek dilap menggunakan kertas tisu dan dikeringkan. Adapun hasil dari pembersihan cukup efektif untuk mengangkat karat tipis yang ada pada permukaan sebelah dalam.

c. Pembersihan korosi pasif menggunakan air nanas

- Keris Kecil

Keris ini mempunyai ukuran panjang 26 cm dan lebar bawah yaitu 4,5 cm. Hasil pengukuran dengan menggunakan XRF menunjukkan bahwa kandungan besi yang terukur adalah 96,43 %. Adapun hasil lengkap pengukuran dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

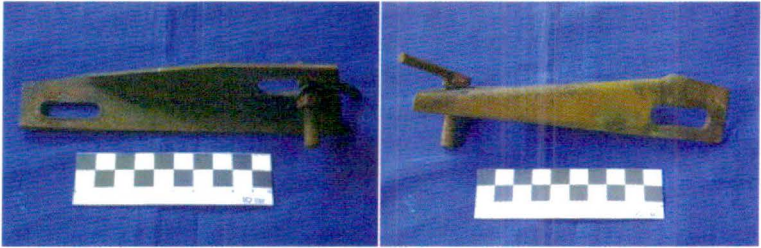


Foto 3.2.18. Kondisi dan baut yang belum dibersihkan

Tabel 3.2.3 Komposisi Unsur Keris Kecil

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	96,43	
2	Si	2,03	
3	Al	1,25	
4	S	0,146	
5	P	0,140	

Secara umum kondisi keris masih dalam keadaan baik, hanya pada permukaan terdapat karat-karat tipis pada kedua sisi permukaannya (korosi pasif).

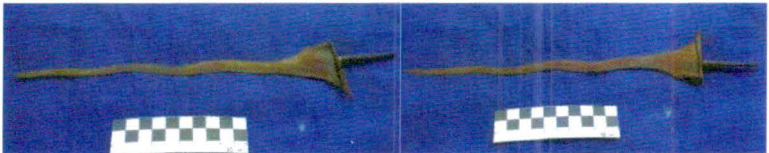


Foto 3.2.19. Kondisi keris sebelum dibersihkan

Proses pembersihan :

Pembersihan karat-karat dilakukan dengan merendam keris di dalam air nanas, prosesnya sama seperti pada pembersihan kuncian pasah. Waktu perendaman yaitu selama 24 jam.

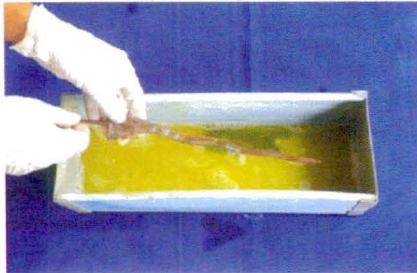


Foto 3.2.20. Proses pembersihan keris dengan direndam dalam air nanas

Setelah 24 jam keris kemudian dinetralkan kembali dengan menggunakan air lerak dan dibilas dengan air mengalir.

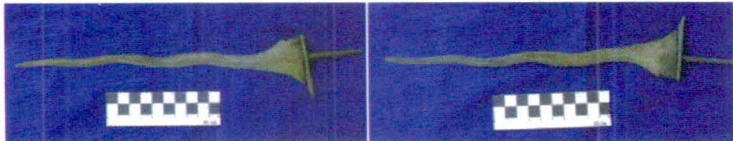


Foto 3.2.21. Kondisi keris setelah dibersihkan

Hasil pembersihan dengan perendaman dalam air nanas dapat digunakan untuk menghilangkan karat pada permukaan keris.

2. Pembersihan korosi aktif

a. Pembersihan korosi aktif menggunakan jeruk nipis

- Pisau besar

Pisau besar ini terbuat dari besi dan mempunyai ukuran panjang 20.5 cm, lebar 5.3 cm dengan ketebalan 0.8 cm. Hasil pengukuran menggunakan XRF menunjukkan bahwa kadar Fe yang terukur sebesar 88,91 %. Unsur yang lain yang terukur adalah Si, Al, Mn, Cr, S dan P. Untuk prosentase lengkap dari masing-masing unsur dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 3.2.4 Komposisi Unsur Pisau Besar

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	88,91	
2	Si	5,43	
3	Al	3,48	
4	Mn	1,18	
5	Cr	0,68	
6	S	0,240	
7	P	0,078	

Berdasarkan pengamatan tingkat keterawatan menunjukkan adanya korosi merata pada kedua sisi permukaan. Korosi berwarna kecokelatan dan merupakan korosi yang aktif dan bila diusap maka akan menempel pada tangan.

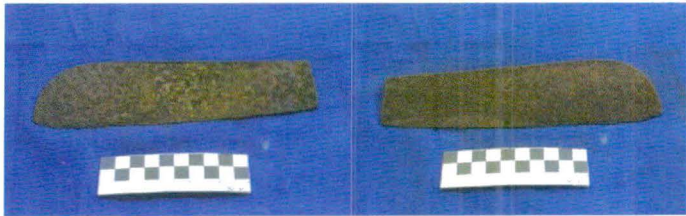


Foto 3.2.22. Kondisi pisau sebelum dibersihkan

Proses pembersihan :

Pembersihan dilakukan menggunakan jeruk nipis dengan cara digosokkan pada obyek. Waktu pembersihan adalah selama 5 menit. pH jeruk yang terukur dengan menggunakan pH indikator adalah 3.

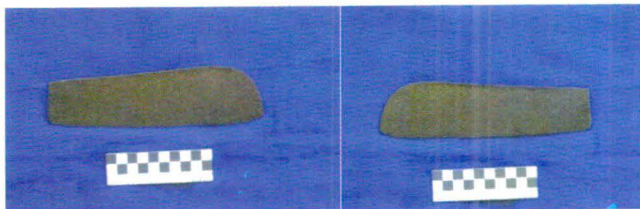


Foto 3.2.23. Kondisi pisau setelah dibersihkan

b. Pembersihan korosi aktif menggunakan belimbing wuluh

- Besi Persegi Panjang

Besi mempunyai panjang 24 cm dengan lebar 2,4 cm dan mempunyai ketebalan 0,5 cm. Hasil pengukuran dengan menggunakan XRF menunjukkan bahwa unsur dominan yang terukur adalah Fe 78,60%. Untuk hasil komposisi lengkap dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 3.2.5 Komposisi Unsur Besi Persegi Panjang

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	78,60	
2	Si	13,85	
3	Al	6,14	
4	Co	0,46	
5	S	0,311	
6	P	0,309	
7	Ti	0,15	
8	Mn	0,10	
9	Zn	0,085	

Hasil pengamatan tingkat keterawatan menunjukkan bahwa obyek telah mengalami proses korosi aktif.



Foto 3.2.24. Kondisi besi persegi dibersihkan

Proses pembersihan :

Pembersihan terhadap korosi menggunakan blimbing wuluh. Obyek pertama-tama dibersihkan secara mekanis menggunakan sikat gigi untuk menghilangkan kotoran debu atau tanah yang melekat pada permukaan. Setelah bersih kemudian obyek mulai digosok dengan menggunakan blimbing wuluh.



Foto 3.2.25. Proses pembersihan karat menggunakan belimbing wuluh

Waktu penggosokan dengan belimbing wuluh untuk masing-masing permukaan adalah 5 menit. Setelah selesai langkah selanjutnya adalah netralisasi dengan cara dicuci menggunakan air lerak dan dibilas dengan air mengalir.



Foto 3.2.26. Proses pembersihan karat menggunakan belimbing wuluh

Hasil pembersihan menunjukkan bahwa belimbing wuluh dapat digunakan mengangkat korosi tipis, akan tetapi untuk korosi tebal belum seluruhnya bersih.

c. Pembersihan korosi aktif menggunakan buah maja

- Pisau pengot

Pisau pengot ini mempunyai ukuran panjang adalah 22 cm dengan lebar 5 cm dan mempunyai ketebalan 0,3 cm. Hasil pengukuran dengan menggunakan alat XRF menunjukkan bahwa pisau terbuat dari logam besi. Adapun kadar besi terukur adalah 92.99%. Secara lengkap komposisi kimia dari obyek dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 3.2.6 Komposisi Unsur pada Pisau Pengot

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	62,48	
2	Si	23,07	
3	Al	12,06	
4	Mn	0,88	
5	P	0,43	
6	S	0,34	
7	Ti	0,33	
8	Cr	0,20	
9	Zn	0,106	
10	Cu	0,063	

Kondisi keterawatan secara umum adalah tampak pada bagian permukaan telah mengalami proses pengkaratan pada kedua sisinya.

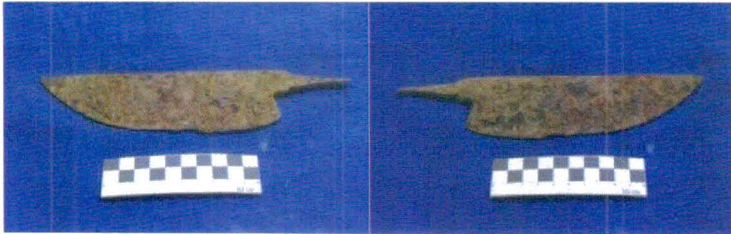


Foto 3.2.27. Kondisi Pisau Pengot sebelum dibersihkan

Proses Pembersihan :

Bahan yang digunakan untuk pembersihan menggunakan buah maja. Buah maja dibelah menjadi 2 kemudian daging buahnya digunakan untuk menggosok pada obyek. Hasil pengkukuran keasaman buah maja dengan pH indikator menunjukkan pH yang terukur adalah 5.

Hasil pembersihan menunjukkan bahwa untuk karat belum terangkat secara maksimal, terutama pada karat yang tebal.



Foto 3.2.28. Proses pembersihan pisau pengot menggunakan buah maja

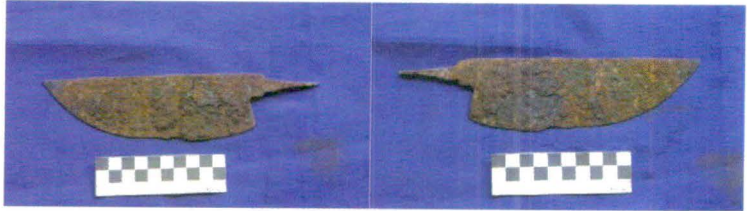


Foto 3.2.29. Kondisi Pisau setelah dibersihkan

d. Pembersihan korosi aktif menggunakan buah mengkudu

- Kunci pasah tertutup (mengkudu)

Mempunyai bentuk persegi dengan ukuran panjang 12 cm, lebar 3,7 cm dan tebal 0,3 cm. Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa kadar dominan adalah Fe sebesar 94,24%.

Tabel 3.2.7 Komposisi Unsur Pasah

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	94,24	
2	Si	2,92	
3	Al	2,02	
4	Mn	0,51	
5	S	0,164	
6	Ni	0,09	
7	P	0,058	

Kondisi keterawatan secara umum adalah terdapat korosi pada kedua sisinya. Korosi yang ada merupakan korosi aktif.



Foto 3.2.30. Kondisi kunci sebelum dibersihkan

Proses Pembersihan :

Pembersihan dilakukan dengan merendam obyek pada air mengkudu. Langkah awal yaitu mempersiapkan buah mengkudu kemudian dihaluskan menggunakan mesin blender dan kemudian disaring untuk memisahkan air dengan ampas mengkudu.



Foto 3.2.31. Proses penyiapan larutan dari buah mengkudu

Setelah air mengkudu siap kemudian obyek dibersihkan secara mekanis dengan menggunakan sikat untuk menghilangkan kotoran pada permukaan.



Foto 3.2.32. Proses pembersihan korosi menggunakan buah mengkudu

Setelah itu obyek dimasukkan kedalam air mengkudu. Adapun derajat keasaman yang terukur adalah 5. Waktu perendaman adalah selama 24 jam. Setelah proses perendaman selesai kemudian obyek dinetralkan pada air

mengalir dan kemudian dilap dengan menggunakan kertas tisu.

Hasil pembersihan menunjukkan bahwa air mengkudu mampu mengangkat karat. Karat yang awal sebelum pembersihan rata menutup kedua sisi permukaan tampak menipis.

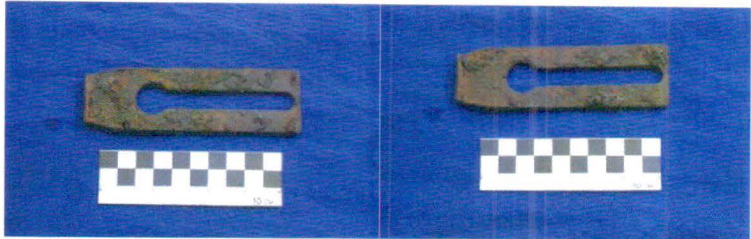


Foto 3.2.33. Kondisi kunci direndam dalam air mengkudu

Untuk melihat waktu efektif air mengkudu terhadap pembersihan obyek, maka pembersihan dilanjutkan kembali selama 24 jam. Derajat keasaman air mengkudu kembali diukur dengan menggunakan pH indikator dan masih menunjukkan pH 5.



Foto 3.2.34. Kondisi larutan Mengkudu dan Pengukuran pH Larutan

Setelah kontak selama 48 jam, air mengkudu tampak semakin berwarna coklat pekat. Hal ini menunjukkan adanya reaksi pelarutan karat oleh air mengkudu terhadap obyek. Setelah selesai proses perendaman dilanjutkan kembali

dengan penetralan obyek dengan menggunakan air lerak dan dibilas air mengalir.



Foto 3.2.35. Proses pencucian perendaman

Hasil dari pembersihan kedua menunjukkan bahwa obyek masih terdapat karat tipis pada ke dua sisi permukaan.

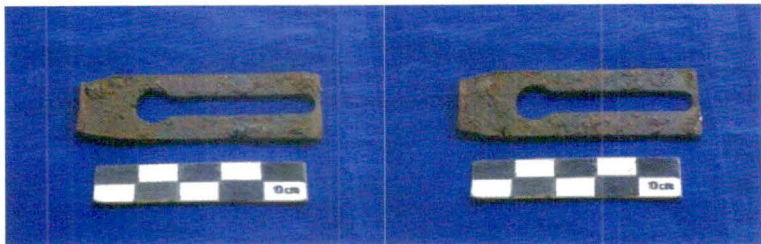


Foto 3.2.36. Kondisi setelah proses pencucian dengan Lerak

e. Pembersihan korosi aktif menggunakan buah nanas

- Kunci pasah (nanas)

Berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 12 cm, lebar 3,5 cm dan mempunyai ketebalan 0,3 cm. Pada satu sisi ada bagian yang tidak utuh. Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa obyek tersebut terbuat dari logam besi dengan kadar Fe terukur 92,13 %. Selain unsure Fe, ada beberapa unsur yang terdeteksi diantaranya Si, Al, Mn, S, P dan Zn. Untuk hasil prosentase dari masing-masing unsur dapat dilihat dalam Tabel 3.2.8.

Tabel 3.2.8 Komposisi Unsur Pasah (Nanas)

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	92,13	
2	Si	4,29	
3	Al	2,61	
4	Mn	0,50	
5	S	0,234	
6	P	0,137	
7	Zn	0,10	

Untuk kondisi keterawatan memperlihatkan bahwa obyek telah mengalami korosi di kedua sisinya. Korosi berwarna kecokelatan dan merupakan korosi aktif.

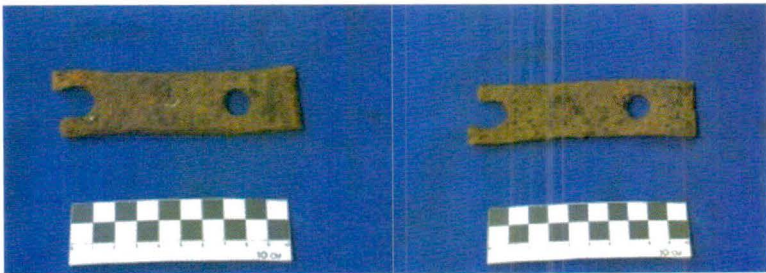


Foto 3.2.37. Kondisi kunci pasah sebelum dibersihkan

Proses pembersihan :

Pembersihan dilakukan dengan perendaman di dalam air nanas. Sebelum direndam buah nanas diblender terlebih dahulu, kemudian disaring untuk memisahkan air dengan ampas nanas. Obyek dibersihkan dahulu secara mekanis dengan sikat untuk menghilangkan kotoran-kotoran debu atau tanah yang melekat.

Kemudian obyek direndam dalam air nanas yang telah ditempatkan pada bak rendaman selama 24 jam. Adapun pH air nanas yang terukur dengan pH indikator adalah 5.

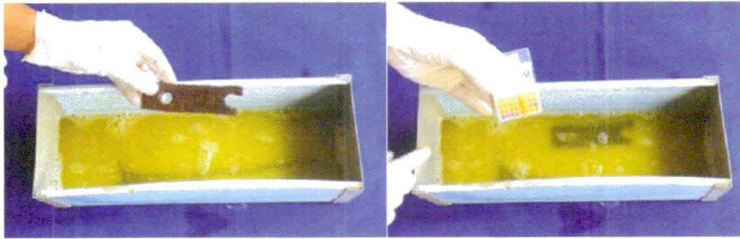


Foto 3.2.38. Perendaman kunci pasah dalam air nanas

Setelah proses perendaman selama 24 jam kemudian obyek diangkat dan kemudian dibilas untuk menetralkan keasaman dan kemudian dikeringkan menggunakan kertas tisu.

Hasil pembersihan dengan metode ini dapat digunakan untuk membersihkan karat yang ada. Tampak karat yang awalnya menutupi pada kedua sisi obyek hilang walaupun masih belum semuanya.

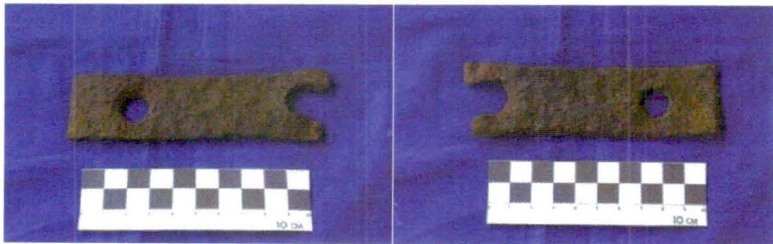


Foto 3.2.39. Kondisi kunci pasah setelah perendaman

Proses pembersihan belum berhenti sampai disini, dimana obyek kembali direndam dalam air nanas selama 24 jam. Derajat keasaman diukur kembali dengan menggunakan pH indikator dan pH yang terukur masih tetap sama yaitu 5.

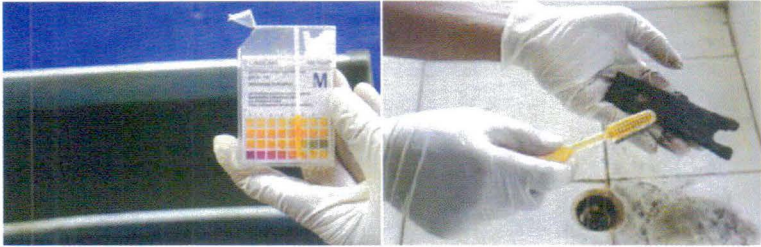


Foto 3.2.40. Pengukuran pH air Nanas setelah digunakan untuk perendaman dan proses pembersihan secara mekanis

Dalam gambar tampak air nanas yang awalnya berwarna kuning berubah menjadi kecoklatan. Hal ini dimungkinkan karena adanya proses pelarutan dari karat maupun obyek itu sendiri. Setelah proses perendaman, obyek kembali dinetralkan didalam air mengalir.



Foto 3.2.41. Kondisi kuncian pasah setelah dibersihkan dengan air nanas

Saat pembilasan tampak kotoran-kotoran berwarna hitam terlarut. Hal ini menandakan bahwa perendaman di dalam air nanas yang terlalu lama akan mengakibatkan pengikisan permukaan obyek itu sendiri.

- f. Pembersihan korosi aktif menggunakan campuran sulfur, garam, dan air

Keris ini mempunyai ukuran panjang ± 30 cm dan lebar ± 4 cm. Hasil uji kandungan unsur dengan XRF menunjukkan bahwa keris ini mempunyai unsur dominan yaitu Fe sebesar 92,99 %.

Tabel 3.2.9 Komposisi Unsur pada Keris

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Fe	92.99	
2	Si	3.47	
3	Al	2.45	
4	P	0.448	
5	Sn	0.29	
6	S	0.223	
7	Pb	0.13	

Kondisi keterawatan dari obyek terlihat adanya korosi merata pada kedua sisi keris. Korosi tersebut berwarna merah kecoklatan dan apabila diusap maka korosi menempel pada tangan. Timbulnya korosi tersebut akibat adanya proses oksidasi dimana udara sekitar memiliki kelembaban yang tinggi.

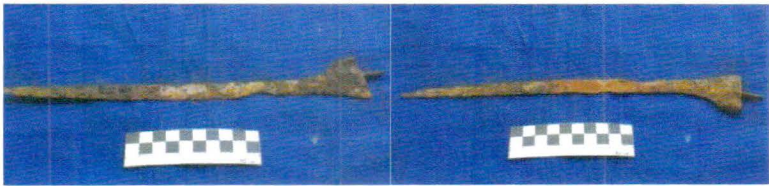


Foto 3.2.42. Kondisi keris sebelum dibersihkan

Proses Pembersihan :

Proses pembersihan yang digunakan mengacu pada metode yang digunakan di Padepokan Keris Brojobuwono yaitu dengan menggunakan campuran bubuk belerang dengan garam dapur.



Foto 3.2.43. Garam dan sulfur yang digunakan dalam proses pembersihan karat

Bubuk belerang seberat 100 gram ditambah 20 gram garam dicampur kemudian tambahkan sekitar 20 ml air kemudian diaduk hingga menjadi homogen. Hasil pengukuran derajat keasaman dengan menggunakan pH indikator memperlihatkan bahwa campuran mempunyai keasaman tinggi yaitu 1-2.



Foto 3.2.44. Campuran sulfur, garam, dan air serta pengukuran pH

Setelah semua bahan tercampur, kemudian dibalutkan pada permukaan keris yang mengandung karat aktif dan dibiarkan selama 12 jam.



Foto 3.2.45. Proses Pembalutan awal

Selama proses perendaman selama 12 jam kemudian keris diangkat dan kemudian dibersihkan dengan menggunakan air lerak sampai pH menjadi netral kembali dan kemudian dikeringkan.

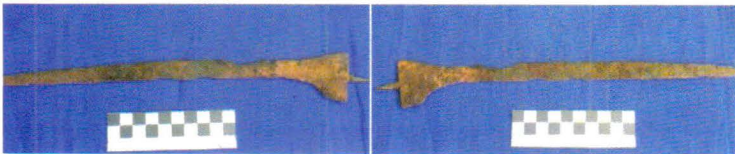


Foto 3.2.46. Kondisi Keris sebelum dibersihkan

Hasil selama perendaman selama 12 jam memperlihatkan tidak semua karat dapat terangkat secara langsung. Untuk melihat waktu efektif dari bahan terhadap obyek maka keris kembali di rendam selama 12 jam sehingga total waktu menjadi 24 jam.



Foto 3.2.47. Pembalutan ulang keris

Bahan yang digunakan kembali ditambah air sebagai pengencer. Hasil pengukuran derajat keasaman menunjukkan bahwa pH tidak mengalami penurunan, akan tetapi masih tetap menunjukkan pH 1-2.

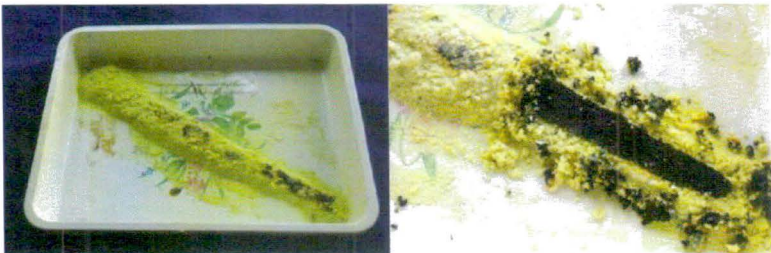


Foto 3.2.48. Kondisi keris setelah pembalutan 24 jam

Setelah kontak 24 jam tampak bahan yang tadinya kuning rata mulai muncul adanya kerak-kerak hitam. Lapisan belerang kemudian dibuka, tampak permukaan keris berwarna kehitaman dan pada adonan belerang banyak membawa karat dan sekaligus kulit luar keris.

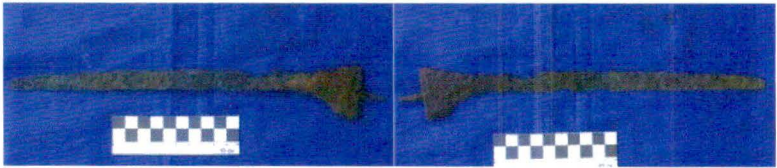


Foto 3.2.49. Kondisi keris setelah dibersihkan dengan pembalutan 24 jam

Penjelasan tentang Penggunaan Belerang (S), Air (H₂O), dan garam dapur (NaCl)



Dalam proses pembersihan karat besi menggunakan campuran belerang, garam, dan air, reaksi kimia yang paling berperan adalah proses reaksi kimia antara belerang dengan air membentuk asam sulfat (H₂SO₄). Asam sulfat ini yang berperan dalam membersihkan karat. Sementara garam dalam hal ini ion Na⁺ berfungsi dalam membantu pelarutan belerang dalam air.

Pembersihan Korosi Paduan Tembaga Menggunakan Bahan Alam

a. Pembersihan kuningan menggunakan santan

- Warangka

Mempunyai panjang 34,5 cm, lebar bawah 4 cm, lebar atas 2 cm. Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa unsur dominan adalah Cu sebesar 60,01% dan Zn sebesar 33,26%. Hasil lengkap pengukuran dapat dilihat pada tabel 2.10

Hasil observasi tingkat keterawatan menunjukkan bahwa obyek secara fisik masih utuh akan tetapi pada permukaan terdapat bagian yang penyok. Warna sudah mulai kusam

dan ditemui juga karat hijau tipis.

Tabel 3.2.10 Komposisi Unsur pada Warangka

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Cu	60,01	
2	Zn	33,26	
3	Ni	3,58	
4	Sn	1,15	
5	Pb	0,74	
6	Si	0,48	
7	Fe	0,42	
8	S	0,293	
9	Co	0,055	

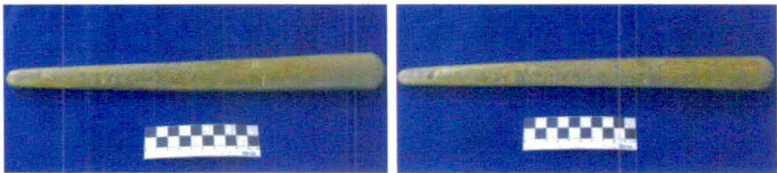


Foto 3.2.50. Kondisi Warangka Sebelum Dibersihkan

Prosedur pembersihan :

Pembersihan dilakukan dengan merendam obyek di dalam air santan. Kelapa yang telah diparut kemudian diperas dan air santan dibiarkan semalam. Setelah 24 jam maka akan terlihat endapan pada permukaan air santan. Endapan tersebut kemudian dihilangkan dengan cara disaring kembali. Air hasil saringan tersebut kemudian digunakan untuk merendam obyek. Hasil pengukuran derajat keasaman air dengan pH indikator adalah 4-5.

Setelah proses perendaman selama 24 jam, obyek kemudian dinetralkan kembali dengan menggunakan air lerak dan kemudian dibilas dengan air mengalir. Hasil dari pembersihan menunjukkan bahwa warna yang awalnya kusam kembali menjadi mengkilap.



Foto 3.2.51. Proses Penyiapan Santan



Foto 3.2.52. Kondisi Keris Setelah Dibersihkan

b. Pembersihan kuningan menggunakan jeruk nipis

- Koin 1 (jeruk nipis)

Koin mempunyai diameter 3 cm dengan tebal 1 mm. Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa unsur dominan adalah Cu 90,17 %. (Tabel 2.11)

Tabel 3.2.11 Komposisi Unsur pada Koin 1

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Cu	90,17	
2	Zn	5,56	
3	Si	3,04	
4	Al	0,75	
5	Fe	0,26	
6	S	0,209	



Foto 3.2.53. Kondisi Koin Sebelum Dibersihkan

Berdasarkan hasil observasi tingkat keterawatan memperlihatkan adanya karat yang berwarna hijau pada kedua sisi koin dan warna juga terlihat kusam.

Prosedur pembersihan :

Pembersihan dilakukan hanya dengan menggunakan jeruk nipis. Jeruk nipis dibelah menjadi dua kemudian digosok pada permukaan koin. Jeruk mempunyai pH yang sangat asam yaitu 3. Adapun lamanya pembersihan sekitar 2 menit.

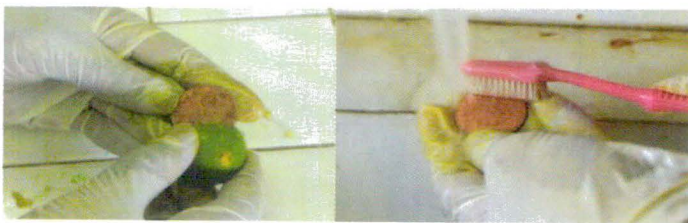


Foto 3.2.54. Kondisi pembersihan dengan jeruk nipis

Proses selanjutnya adalah melakukan netralisasi dengan membilas pada air mengalir.

Hasil pembersihan secara umum sangat efektif, dimana

warna kusam maupun korosi hijau pada permukaan koin menjadi bersih. Akan tetapi sifat asam yang ada pada jeruk nipis cenderung membuat warna koin menjadi kemerahan dimana lapisan kuning yang sebelumnya ada menjadi hilang.



Foto 3.2.55. Kondisi koin setelah dibersihkan

- c. Pembersihan kuningan menggunakan jeruk nipis dan abu gosok
- Koin 2 (jeruk nipis dan abu gosok)

Koin mempunyai diameter 3 cm dengan tebal 1 mm. Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa unsure dominan adalah Cu 90,17 %. Untuk hasil lengkap dapat dilihat dalam Tabel 3.2.12

Tabel 3.2.12 Komposisi Unsur pada Koin 2

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Cu	90,64	
2	Zn	5,60	
3	Si	1,23	
4	Al	0,99	
5	Fe	0,20	
6	S	0,250	
7	Ni	0,043	
8	Pb	0,041	



Foto 3.2.56. Kondisi koin 2 sebelum dibersihkan

Hasil pengamatan kondisi keterawatan menunjukkan bahwa koin masih dalam keadaan utuh. Permukaan tampak kusam berwarna coklat kehitaman serta pada kedua sisi muncul adanya karat berwarna hijau.

Proses pembersihan :

Bahan pembersih menggunakan jeruk nipis dan abu gosok. Prosesnya jeruk nipis dipotong kemudian dioleskan pada koin dan digosok menggunakan abu. Proses penggosokan yaitu sekitar 2 menit dan dibilas dalam air mengalir hingga pH netral.



Foto 3.2.57. Proses pembersihan koin 2 menggunakan jeruk nipis dan abu gosok

Hasil pembersihan menunjukkan bahwa cukup efektif untuk mengangkat noda kusam dan karat hijau pada koin. Namun hanya noda kusam yang tipis saja yang tampak terangkat, sedangkan noda kusam yang tebal perlu dilakukan pembersihan lagi.

Berbeda dengan pembersihan yang menggunakan jeruk nipis saja, untuk metode ini tidak begitu dalam menggerus

permukaan koin dimana lapisan kuning pada permukaan masih tampak baik.



Foto 3.2.58. Kondisi koin 2 setelah dibersihkan dengan jeruk nipis dan abu gosok

d. Pembersihan kuningan menggunakan jeruk nipis dan abu gosok

- Cawan 1 (jeruk nipis dan abu gosok)

Obyek terdiri dari dua bagian yaitu berupa cawan dan tutup dengan ukuran tinggi 5,5 cm dan mempunyai diameter 4,7 cm. Cawan tersebut merupakan obyek berbahan kuningan. Hasil pengukuran dengan XRF memperlihatkan kadar dominan dari obyek adalah Cu 67.53% dan Zn 26.55%.

Tabel 3.2.13 Komposisi Unsur pada Cawan 1

No	Parameter	Hasil		Keterangan
		Tutup	Mangkok	
1	Cu	61.01	63.53	
2	Zn	20.45	26.55	
3	Pb	7.23	5.01	
4	Si	5.84	1.58	
5	Sn	1.67	1.51	
6	Al	2.82	1.13	
7	Ni	0.253	0.284	
8	Fe	0.32	0.24	
9	P	0.266	0.168	

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa obyek masih masih dalam keadaan utuh dan tidak terdapat korosi. Hanya tampilan warna berwarna kuning kusam dimana pada

permukaannya tampak adanya endapan hitam tipis yang melekat terutama pada lekuk-lekuk motifnya.



Foto 3.2.59. Kondisi cawan sebelum dibersihkan

Proses Pembersihan :

Bahan yang digunakan dalam pembersihan ini adalah dengan menggunakan abu gosok. Abu gosok ini diperoleh dari hasil sisa pembakaran kayu. Bahan yang lain yang disiapkan adalah jeruk nipis. Setelah kedua bahan tersebut siap, langkah awal adalah pembersihan mekanis dengan menggunakan kuas untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang melekat pada obyek tersebut. Setelah bersih langkah selanjutnya adalah memotong jeruk nipis kemudian dioleskan pada permukaan yang kusam kemudian dibantu gosok dengan menggunakan abu sekitar 2 gram. Penggosokan dilakukan menggunakan tangan secara perlahan lahan. Setelah beberapa menit tampak endapan-endapan terangkat. Langkah selanjutnya adalah melakukan pencucian guna menetralkan pH yang asam didalam air mengalir dan kemudian dibilas menggunakan aquades. Setelah pembersihan menunjukkan hasil yang positif dimana tampak obyek yang tadinya kusam kembali mengkilap.



Foto 3.2.60. Kondisi cawan Setelah dibersihkan

d. Pembersihan Kuningan Menggunakan Jeruk Nipis dan Bubuk Bata

- Cawan 2

Cawan ini mempunyai bentuk dan ukuran sama seperti cawan nomor 1 diatas. Bahan utama penyusun cawan adalah logam kuningan dimana kadar dominan yang terukur menggunakan XRF adalah Cu 58.77% dan Zn 24, 63 %.

Tabel 3.2.14 Komposisi Unsur pada Cawan 2

No	Parameter	Hasil		Keterangan
		Tutup	Cawan	
1	Cu	58,77	60,82	
2	Zn	24,63	31,49	
3	Pb	4,55	3,85	
4	Si	6,87	1,59	
5	Al	2,97	1,20	
6	Sn	1,38	0,53	
7	Fe	0,38	0,17	
8	Ni	0,27	0,153	
9	Sb	-	0,13	
10	P	0,194	-	

Hasil observasi tingkat keterawatan memperlihatkan bahwa pada permukaan tampak kusam terutama pada bagian tutup serta samping cawan.



Foto 3.2.61. Kondisi cawan 2 Setelah dibersihkan

Proses pembersihan:

Bahan yang digunakan dalam pembersihan ini adalah dengan menggunakan bubuk bata. Setelah kedua bahan tersebut siap langkah awal adalah pembersihan mekanis dengan menggunakan kuas untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang melekat pada obyek tersebut. Setelah bersih langkah selanjutnya adalah memotong jeruk nipis kemudian dioleskan pada permukaan yang kusam kemudian dibantu gosok dengan menggunakan bubuk bata. Penggosokan dilakukan menggunakan tangan secara perlahan-lahan. Setelah beberapa menit tampak endapan-endapan terangkat. Langkah selanjutnya adalah melakukan pencucian guna menetralkan pH yang asam didalam air mengalir dan kemudian dibilas menggunakan aquades.



Foto 3.2.62. Kondisi cawan 2 Setelah dibersihkan

Hasil pembersihan menunjukkan bahwa pembersihan dengan bubuk bata cukup efektif untuk mengkilatkan kembali obyek. Akan tetapi karakter butiran bubuk bata yang kasar sangat rentan menggores permukaan kuningan yang halus.

f. Pembersihan kuningan menggunakan jeruk nipis dan batu apung

- Nampam (batu apung dan jeruk nipis)

Nampam ini merupakan satu bagian dengan kedua bagian dibatas. Nampam ini dipergunakan sebagai tempat diletakkannya cawan. Mempunyai bentuk oval dan terdapat 4 buah kaki yang menopang pada bagian bawahnya. Berdasarkan hasil pengukuran, nampam mempunyai panjang 18 cm, lebar 14, 5 dan tinggi adalah 2 cm. Adapun tinggi masing-masing kaki adalah 1,5 cm.

Nampam terbuat dari logam kuningan dan berdasarkan hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa logam dominan adalah Cu sebesar 63.87% dan Zn 25.79% pada bagian dalam. Untuk bagian penampang bawah hasil pengukuran menunjukkan kadar Cu yang terukur sebesar 68,47 % dan Zn sebesar 19,56 %. Mengenai lengkap hasil pengukuran dengan menggunakan XRF dapat dilihat dalam tabel 3.2.15

Tabel 3.2.15 Komposisi Unsur pada Nampam

No	Parameter	Lokasi		Keterangan
		Dalam	Bawah	
1	Cu	63,87	68,47	
2	Zn	25,79	19,56	
3	Si	3,10	2,84	
4	Pb	2,69	2,86	
5	Al	1,70	1,75	
6	Fe	1,53	0,90	
7	Ni	0,68	0,31	
8	Sb	0,31	0,30	
9	P	0,29	0,085	
10	Cr	-	0,34	

Hasil pengamatan tingkat keterawatan menunjukkan tidak terdapat korosi, akan tetapi pada seluruh permukaan telah tampak kusam.



Foto 3.2.63. Kondisi nampan sebelum dicuci

Prosedur pembersihan :

Pembersihan dilakukan dengan penggosokan dengan menggunakan batu apung. Tetapi sebelum penggosokan permukaan obyek dioles dengan menggunakan jeruk nipis. Waktu penggosokan adalah 5 menit. Untuk menetralkan pengaruh keasaman karena jeruk maka kemudian dibilas dalam air mengalir.



Foto 3.2.64. Kondisi nampan setelah dicuci

g. Pembersihan Kuningan menggunakan jeruk nipis dan soda kue (sodium bikarbonat)

- Koin 3 (jeruk nipis soda kue)

Koin mempunyai diameter 3 cm dengan tebal 1 mm. Hasil pengukuran dengan XRF menunjukkan bahwa unsur dominan adalah Cu 90,17 %. Untuk hasil lengkap dapat dilihat dalam tabel 2.16

Tabel 3.2.16 Komposisi Unsur pada Koin 3

No	Parameter	Kadar	Keterangan
1	Cu	93,10	
2	Zn	5,54	
3	Si	1,08	
4	S	0,168	
5	Fe	0,084	
6	Ni	0,023	



Foto 3.2.65. Kondisi nampan sebelum dicuci

Hasil observasi tingkat keterawatan menunjukkan bahwa koin masih dalam keadaan utuh. Permukaan tampak kusam dan terdapat korosi hijau di kedua sisinya.

Proses pembersihan :

Pembersihan dilakukan dengan menggunakan pasta campuran antara jeruk nipis dengan soda kue. Jeruk nipis diperas kemudian tambahkan soda kue sampai menjadi berbentuk pasta.

Setelah campuran menjadi berbentuk pasta kemudian dioleskan pada permukaan koin dan dibiarkan selama 2 menit pada masing-masing sisi koin.

Hasil dari pembersihan memperlihatkan warna kusam pada permukaan hilang. Lapisan kuning masih terlihat dibandingkan hasil pembersihan dengan hanya menggunakan jeruk nipis saja. Karat hijau juga dapat terangkat akan tetapi masih tersisa sedikit.



Foto 3.2.66. Proses pencampuran jeruk nipis dan soda kue



Foto 3.2.67. Proses pembersihan korosi pada koin 3 dengan pasta jeruk nipis dan soda kue



Foto 3.2.68. Kondisi Koin 3 setelah dibersihkan

BAB III PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Karakteristik korosi pasif pada besi adalah bersifat stabil, kompak, dan melekat serta memiliki variasi dalam warna antara biru-hitam dan merah-coklat. Karakteristik korosi aktif pada besi adalah adanya fragmen atau serpihan (*loose powder*) di sekitar objek, lekukan atau lepuhan pada permukaan, bintik-bintik berwarna orange pada pusat lekukan, retakan pada permukaan artefak besi, dan adanya “*sweating*” or “*weeping*”.
2. Karakteristik korosi pasif pada paduan tembaga adalah koheren, melekat, dan halus serta memiliki variasi dalam warna dari merah, coklat, hitam, dan biru sampai nuansa warna hijau. Karakteristik korosi aktif pada paduan tembaga adalah lapisan korosi melekat secara longgar dengan logam inti, adanya lapisan bubuk di atas permukaan, tetapi bukan sebagai spot.
3. Bahan yang dapat digunakan untuk pembersihan korosi pasif pada besi adalah belimbing wuluh, mengkudu, dan nanas. Bahan yang dapat digunakan untuk pembersihan korosi aktif pada besi adalah jeruk nipis, mengkudu, dan nanas
4. Campuran sulfur, garam, dan air sebaiknya tidak digunakan dalam pembersihan korosi aktif pada benda cagar budaya. Bahan yang dapat digunakan dalam pembersihan korosi pada kuningan adalah santan, jeruk nipis, campuran jeruk nipis dan abu gosok, campuran jeruk nipis dan bubuk bata, serta pasta campuran jeruk nipis dan soda kue.

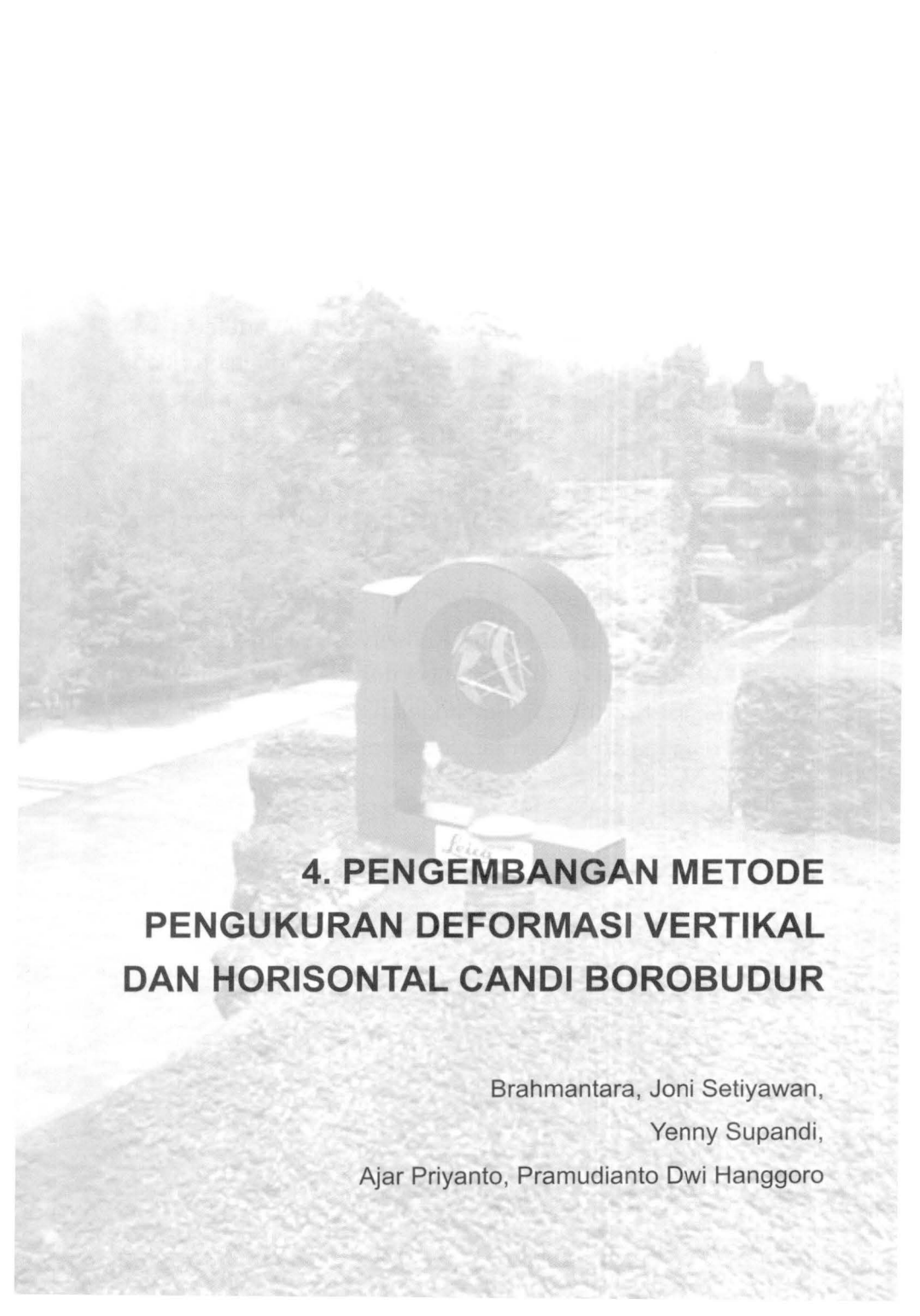
B. Saran

Hasil penelitian tentang bahan-bahan alam yang dapat dimanfaatkan untuk pembersihan produk korosi dari artefak besi dan paduan tembaga khususnya perunggu dan kuningan masih pada tahap inventarisasi. Oleh karena itu perlu kiranya dilaksanakan tahap penelitian selanjutnya terutama untuk pembuktian efektifitas pembersihan bahan alam dengan menyertakan berbagai analisis laboratorium. Selain itu perlu dilaksanakan kajian inventarisasi bahan-bahan alam yang dapat digunakan dalam proses stabilisasi artefak besi dan paduan tembaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Razak, Muhammad. 1983. Konservasi Perunggu. Museum Nasional, Direktorat Jenderal Kebudayaan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Sadirin, Hr.1984. Konservasi dan Preservasi Benda-Benda Perunggu. Balai Konservasi Borobudur.
- Hernawati dan Kussunartini.2000. Arca Perunggu Koleksi Museum Negeri Propinsi Jawa Tengah Ronggowarsito. Direktorat Jenderal Kebudayaan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Publikasi Hasil Penelitian, Skripsi, Tesis, dan Artikel
- Krimm, Liang and Sutherland, 1956. *Infrared Spectra Of High Polymers. II Polyethylene*. Harrison M. Randall Laboratory of Physics, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Logan, Judy. 2007. *Recognizing Active Corrosion*. CCI Note 9/1. Canadian Conservation Institute. Minister of Public Works and Government. ISSN: 0714-6221
- Logan, Judy. 2007. *Care and Cleaning of Iron*. CCI Note 9/6. Canadian Conservation Institute. Minister of Public Works and Government. ISSN: 0714-6221
- Maaß, Peter and Peibker, Peter. 2011. *Corrosion and Corrosion Protection*. Wiley-vch Verlag GmbH and Co. KGaA. Weinheim. ISBN: 978-3-527-32324-1
- Munandar, A. 2007. Teknik Konservasi Benda-Benda Logam. Makalah disampaikan dalam Pelatihan Tenaga Teknis Konservasi, Balai Konservasi Borobudur pada tanggal 17 Juli 2012.

- Prevey, P.S., Jayaraman, N and Cammett, John, T. 2003. Mitigation of Active Corrosion Fatigue and Corrosion Pit Initiated Fatigue in AA 7075-T6 with Low Plasticity Burnishing. ASIP Conferenc, in December 2-4, 2003, Lambda Technologies.
- Mircea, O., Sandu, I., Sarghie and Sandu, AV. 2010. The Identified Effects of Degradation in Archeological Artefacts with Overlapped Metals Used in Authentication. International Journal of Conservation Science. Volume 1, Issue 1, Januari- March 2010: 27-40. ISSN: 2067-533X.
- Munandar, Aris. 2014. Konservasi Benda Cagar Budaya Berbahan Besi, Perunggu dan Kuningan. Makalah disampaikan dalam Diskusi Prakajian Metode Konservasi Tradisional, tanggal 8 April 2014 di Hotel Grand Artos Magelang.
- Sunarno. 2010. Penanganan Konservasi: Perawatan dan Restorasi Kayu. Makalah disampaikan dalam Bimbingan Teknis Konservasi Peninggalan Bawah Air, Direktorat Peninggalan Bawah Air. Direktorat Jenderal Sejarah dan Purbakala.



4. PENGEMBANGAN METODE PENGUKURAN DEFORMASI VERTIKAL DAN HORIZONTAL CANDI BOROBUDUR

Brahmantara, Joni Setiyawan,
Yenny Supandi,
Ajar Priyanto, Pramudianto Dwi Hanggoro

PENGEMBANGAN METODE PENGUKURAN DEFORMASI VERTIKAL DAN HORIZONTAL CANDI BOROBUDUR

Brahmantara, Joni Setiyawan, Yenny Supandi,
Ajar Priyanto, Pramudianto Dwi Hanggoro

Abstrak

Candi Borobudur sebagai sebuah peninggalan bersejarah bagi bangsa Indonesia sudah ditetapkan sebagai warisan budaya dunia. Penjagaan dan pelestarian Candi Borobudur dari unsur manusia maupun alam perlu dilakukan secara intensif dan periodik. Salah satu bentuk antisipasi pencegahan kerusakan yang terjadi adalah dengan melakukan pemantauan stabilitas struktur Candi Borobudur terhadap kemungkinan terjadinya deformasi. Dalam hal ini Balai Konservasi Borobudur telah melakukan pemantauan stabilitas Candi Borobudur melalui pengukuran yang secara periodik dan berkelanjutan setiap tahun sejak 1983 sampai dengan sekarang. Permasalahannya adalah pengukuran yang selama ini dilakukan belum memperoleh ketelitian yang diharapkan, sehingga perlu dilakukan evaluasi terhadap peralatan maupun metode pengukuran yang sudah digunakan.

Studi dilakukan pada data hasil pengukuran jarak, sudut, dan beda tinggi pada jaring kontrol deformasi poligon III yang berada di halaman atas Candi Borobudur. Pengukuran jarak dilakukan dengan alat EDM TS Leica TCR 805 U, pengukuran sudut dilakukan dengan alat Theodolit Wild T2 dan TS Leica TCR 805 U, pengukuran sipat datar dilakukan dengan alat Topcon AT G2 dan Leica Sprinter 200M. Untuk menghitung koordinat titik poligon III menggunakan metode Bowditch dan hitung perataan kuadrat terkecil metode parameter. Uji kualitas data dilakukan dengan uji statistik berupa uji global.

Hasil analisa ketelitian alat menunjukkan bahwa Theodolit Wild T2 mempunyai tingkat ketelitian yang lebih tinggi dari TS Leica TCR 805 U, dan Topcon AT G2 dengan rambu ukur invar mempunyai tingkat ketelitian yang lebih tinggi dari Leica Sprinter 200M dengan rambu ukur barcode. Hasil analisa ketelitian metode hitung perataan menunjukkan bahwa dari metode Bowditch hanya dapat diperoleh ketelitian linier dan koreksi perataan hanya memperhitungkan jarak sisi poligon, sedangkan dari hitung perataan kuadrat terkecil metode parameter dapat diperoleh ketelitian dari tiap koordinat titik poligon III dan koreksi perataan juga memperhitungkan bobot yang dapat berupa ketelitian alat maupun ketelitian pengukuran, sehingga koordinat yang diperoleh dari hitung perataan metode parameter lebih tepat dan lebih teliti dari hitung perataan metode Bowditch. Hasil uji global data pengamatan yang digunakan tidak mengandung kesalahan tak acak.

Kata Kunci : poligon, theodolit, jaring kontrol deformasi, pengukuran

Abstract

Borobudur Temple is a historical heritage for Indonesia and has been enlisted as world cultural heritage. The protection and preservation of Borobudur Temple from threats of man-made and natural-made should be conducted intensively and periodically. One of the prevention measures is by monitoring of structural stability in Borobudur in case of deformation. Borobudur Conservation Office has conducted this monitoring periodically and continuously since 1983 until now. The problem with the method used is the accuracy, so the evaluation is need for the tools and measurement method.

The study is performed to data on distance, angle, and elevated difference in the polygon III deformation control net, which is located in the yard of Borobudur Temple. The distance measurement uses EDM TS Leica TCR 805 U, the angle measurement uses Theodolit Wild T2 and TS Leica TCR 805 U, measurement of carpenter's level uses Topcon AT G2 and Leica Sprinter 200M. To calculate the point coordinates of polygon III, Bowditch method and smallest quadratic mean calculation of parameter method is used. The quality of data is used by statistical testing with global testing.

The result shows that accuracy of Theodolit Wild T2 is higher that TS Leica TCR 805 U, and Topcon AT G2 with invar measuring sign has higher accuracy that Leica Sprinter 200M with bar code measuring sign. The analysis of accuracy method for mean calculation methods shows that Bowditch method could only produce accuracy for linear accuracy and mean correction only calculates the distance of polygon, while smallest quadratic mean calculation of parameter method could produce accuracy from each point coordinate of polygon III and mean correction also calculates quality of tool accuracy and measurement accuracy, so that the coordinate using smallest quadratic mean calculation of parameter method is more precise and accurate that Bowditch method. The result of global testing for measurement data used did not show any random mistake.

Keywords: polygon, theodolit, deformation control net, measurement

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Candi Borobudur sebagai sebuah bangunan peninggalan bersejarah bagi bangsa Indonesia telah diakui sebagai salah satu warisan kebudayaan dunia (*World Cultural Heritage*). Dilihat dari sejarahnya Candi Borobudur telah mengalami dua kali pemugaran. Pemugaran yang pertama dilakukan oleh Van Erp pada tahun 1907 - 1911, sedangkan pemugaran yang kedua dilakukan oleh Prof. Dr. R. Soekmono pada tahun 1975 -1983 bekerjasama dengan UNESCO.

Sejak tahun 1983 dengan selesainya pemugaran Candi Borobudur, dilakukan pengamatan stabilitas baik pada struktur candi maupun pada bukit pendukungnya. Hal ini sesuai dengan rekomendasi dari hasil pertemuan para ahli dari beberapa negara yang terlibat pada pemugaran Candi Borobudur. Pengamatan bagian atas (*upper structure*) untuk mengetahui adanya kemungkinan perubahan kedudukan candi baik penurunan, kemiringan maupun pergerakan ke arah horisontal.

Pada bulan Juni 2012 UNESCO mengirimkan tim ahli dari Jepang yaitu Dr. Shimoda dkk untuk mengevaluasi sistem monitoring dan evaluasi Candi Borobudur termasuk di dalamnya monitoring dan evaluasi stabilitas struktur Candi Borobudur dan bukit. Dalam laporan tentang evaluasi pengukuran titik kontrol deformasi Dr. Shimoda menyatakan bahwa titik kontrol yang ada terlalu banyak dan jaraknya terlalu rapat, juga blok batu lantai tempat titik kontrol tersebut berada tidak stabil sehingga sebaiknya titik kontrol dipindah ke tempat yang lebih stabil. Kemudian metode pengukurannya juga masih menggunakan alat pengukuran manual sehingga akan membutuhkan waktu

pengukuran yang terlalu lama dan juga besar kemungkinan akan mengakibatkan *human error* dalam proses pengumpulan data. Dengan kondisi tersebut perlu dikaji tentang metode pengukuran menggunakan alat pengukuran apa dan juga jaring kontrol deformasi bagaimana yang paling tepat untuk pemantauan stabilitas struktur Candi Borobudur dan bukit.

B. Rumusan masalah

Titik kontrol yang ada pada poligon lorong I dan poligon lorong IV terletak pada blok batu yang terdapat nat antara masing-masing blok batu sehingga menjadikan titik kontrol tersebut tidak stabil. Pengukuran titik kontrol yang ada pada lorong tersebut juga terganggu oleh banyaknya pengunjung Candi Borobudur yang melewati lorong pada saat dilakukan pengukuran. Pasca erupsi Merapi titik kontrol yang ada pada batu lantai candi telah dibongkar dan dipasang kembali yang kemungkinan besar tidak kembali pada posisi awal. Jaring titik kontrol deformasi pada poligon lorong I dan poligon lorong IV yang terlalu rapat dengan jarak antar titik kontrol yang terlalu dekat selain butuh waktu yang lama untuk pengumpulan data kemungkinan juga kurang ideal dalam hal kualitas geometri jaring pengukuran titik kontrol.

C. Tujuan

Kajian ini dilaksanakan untuk melakukan evaluasi terhadap kondisi jaring kontrol deformasi Candi Borobudur yang ada pada tubuh candi yaitu poligon lorong I dan poligon lorong IV, baik dari aspek bentuk geometri jaringan, sebaran dan letak titik kontrol, maupun desain titiknya, dan juga untuk mengembangkan alternatif metode pengukuran untuk pemantauan deformasi yang baru dengan mengikuti perkembangan teknologi peralatan dan metode pengukuran sehingga akan mengurangi waktu

pengumpulan data tetapi data yang diperoleh lebih akurat sehingga analisa data bisa lebih mendalam.

D. Manfaat

Hasil Kajian ini akan bermanfaat untuk pengembangan metode pengukuran untuk monitoring dan evaluasi stabilitas struktur Candi Borobudur dan bukit khususnya, maupun bangunan cagar budaya lainnya yang rentan terhadap deformasi baik horisontal maupun vertikal, dan dapat dilakukan oleh tenaga teknis sesuai dengan peralatan yang tersedia.

E. Ruang lingkup Kajian

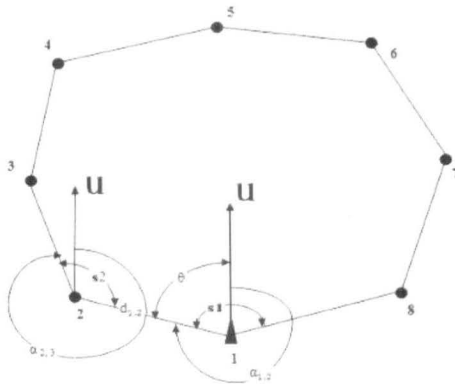
Evaluasi untuk pengukuran jaring kontrol deformasi pada kajian ini hanya dilakukan untuk titik kontrol yang ada pada poligon lorong I dan poligon lorong IV Candi Borobudur.

F. Landasan Teori

1. Poligon tertutup

Ada beberapa metode dalam penentuan kerangka kontrol horisontal tetapi metode poligon atau traverse adalah metode yang paling sering untuk digunakan. Ada berbagai macam bentuk poligon dan salah satu kriteria dari penentuan kerangka dasar pengukuran dengan metode poligon adalah berdasarkan bentuk dari poligon yaitu poligon terbuka, tertutup dan poligon cabang. Poligon tertutup adalah rangkaian titik-titik secara berurutan sebagai kerangka dasar pengukuran dengan titik awal dan akhir pengukuran adalah pada titik yang sama. Meskipun berbeda secara bentuk geometri namun fungsi dari poligon tetaplah sama yaitu untuk menentukan nilai dari titik-titik koordinat yang ada pada poligon dengan cara melakukan

pengukuran azimuth, sudut antar titik dan juga jarak antar titik poligon.



Gambar 4.1.1. Poligon tertutup

Keterangan Gambar 4.1.1

- U : arah utara poligon tertutup
- 1,2,3...: titik-titik pada poligon tertutup
- ▲ : tanda titik referensi
- : tanda titik poligon
- θ : sudut bantu perhitungan
- s_1, s_2 : sudut ukuran ke-1 dan ke-2
- $d_{1,2}$: jarak sisi dari titik 1 ke titik 2
- $\alpha_{1,2}, \alpha_{2,3}$: azimuth sisi dari titik 1 ke-2 dan azimuth sisi dari titik 2 ke-3

Komponen dari sebuah poligon adalah sudut, azimuth dan juga pengukuran jarak. Jika data ukuran dalam poligon adalah sudut dan jarak maka pasti koreksi harus dilakukan terhadap kesalahan yang ada pada pengukuran keduanya. Karena telah dikoreksi pengukuran sudut maka perlu juga dilakukan koreksi terhadap pengukuran jarak caranya adalah dengan mengurangi atau menambahkan selisih jumlah hitungan absis ($d \sin \alpha$) dan ordinat ($d \cos \alpha$) yang seharusnya bernilai 0, persamaannya adalah sebagai berikut.

$$\Sigma d \sin \alpha = 0 \quad \dots\dots\dots (II.6)$$

$$\sum d \cos \alpha = 0 \quad \dots\dots\dots (II.7)$$

Tabel 4.1.2. Kelas ketelitian poligon

Kelas ketelitian poligon	I	II	III	IV
Kesalahan penutup sudut	2''√N	10''√N	30''√N	60''√N
Kesalahan maksimum persudut	1''	2''	3''	6''
Kesalahan penutup jarak	1:35000	1:10000	1:5000	1:2000

Keterangan Tabel 4.1.2

N : banyaknya titik dalam poligon.

2. Hitung perataan kuadrat terkecil metode parameter

Metode perataan standar II atau hitung kuadrat terkecil metode parameter adalah metode hitungan estimasi parameter yang menyatakan hubungan fungsional antara besaran pengukuran dan besaran parameter. Menurut Wolf (1997) prinsip hitungan perataan dengan kuadrat terkecil adalah jumlah kuadrat dari koreksi yang diberikan pada hasil ukuran adalah minimum dengan besaran pengamatan pada persamaan tersebut merupakan fungsi dari persamaan parameter. Model matematis yang menunjukkan pengamatan adalah fungsi dari parameter ditunjukkan sebagai berikut (Wolf, 1997):

$$L_a = f(X_a) \quad \dots\dots\dots (II.8)$$

$$F(X_a) = f(X_o + X) \quad \dots\dots\dots (II.9)$$

$$L_a = L_b + V \quad \dots\dots\dots (II.10)$$

$$L_b + V = f(X_o + X) \quad \dots\dots\dots (II.11)$$

3. Mencari nilai parameter dan nilai ukuran terkoreksi apabila diketahui bobot ukuran.

Penentuan bobot ukuran dapat dinyatakan dengan persamaan (Mikhail, 1981).

$$P = \sigma_0^2 / \sigma_1^2 \dots\dots\dots (II.17)$$

Dalam hal ini,

$$\sigma_0^2 = \text{varian apriori}$$

$$\sigma_1^2 = \text{varian pengukuran}$$

Apabila antar data ukuran tidak berkorelasi maka matriks P adalah matriks diagonal dengan element entri pada diagonal utamanya adalah:

$$P = \sigma_0^2 \cdot \Sigma_{Lb}^{-1} \dots\dots\dots (II.18)$$

Apabila varian apriori σ_0^2 telah ditentukan nilainya yaitu 1, matriks P dapat ditulis:

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_{11}^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_{12}^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{13}^2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (II.19)$$

4. Kontrol hitungan

Pada proses hitung perataan yang melibatkan hitungan dengan persamaan tidak linier, kontrol hitungan menjadi suatu prosedur yang sangat penting untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan pada proses hitungan dengan persamaan tidak linier dibutuhkan proses iterasi yang berulang-ulang agar diperoleh nilai estimasi parameter yang sesuai. Terkadang pada saat melakukan proses perhitungan, dari iterasi didapatkan hasil nilai koreksi parameter (X) dan juga harga residu (V) yang semakin membesar. Melihat hasil ini terkadang diasumsikan bahwa data pengukuran yang diperoleh adalah data yang kurang bagus

karena semakin besarnya nilai koreksi (V) yang secara otomatis harga dari varian aposteori σ_0^2 juga akan semakin menjadi besar, yang berakibat uji data pengukuran akan ditolak. Untuk itulah kontrol perhitungan menjadi proses yang penting untuk dilakukan apakah perhitungan yang dilakukan telah benar dan sesuai dengan hasil yang diinginkan. Menurut Hadiman (2001), kontrol hitungan pada metode parameter dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V^T P V = F^T P V \dots\dots\dots (II.26)$$

5. Linierisasi persamaan pengamatan

Persamaan yang membentuk hubungan antara pengukuran sudut maupun jarak dengan koordinat titik-titik estimasi merupakan persamaan non-linier. Untuk itu perlu dilakukan linierisasi menggunakan deret Taylor (Soeta'at, 1996). Secara umum proses linierisasi dengan menggunakan deret Taylor adalah melakukan diferensial persamaan terhadap parameter yang ingin diketahui nilainya sampai suku pertama dan menganggap suku kedua hingga seterusnya (atau suku ke-n) mendekati nol.

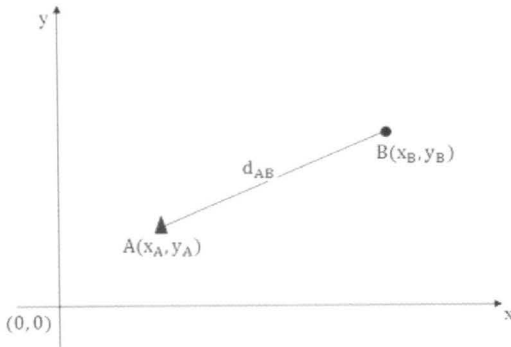
1) Linierisasi persamaan pengamatan jarak

Fungsi data ukuran jarak terhadap parameter posisi 2D (x,y) merupakan persamaan yang tidak linier sehingga perlu dilakukan proses linierisasi menggunakan deret Taylor yang secara umum seperti dalam persamaan berikut.

$$F(x) = Lb + V = F(x_0) + \frac{\partial F(x)}{\partial(x)x=x_0} \frac{\partial F(x)}{\partial(x)x=x_0} x + \dots\dots\dots (II.27)$$

Model matematik pengamatan jarak di hitung dengan persamaan :

$$F(x) = d_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \dots\dots\dots (II.28)$$



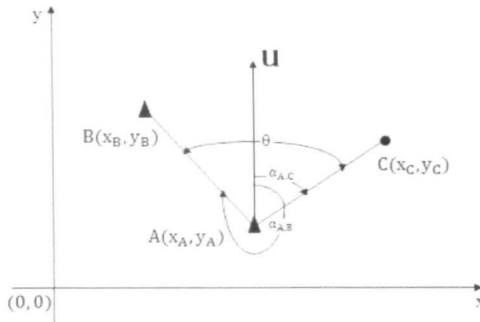
Gambar 4.1.2 Jarak antara koordinat A dan B

2) Linierisasi persamaan pengamatan sudut.

Besar sudut horisontal suatu geometri jaring adalah selisih bacaan arah horisontal yang satu dengan arah horisontal lainnya pada azimuth tertentu yang dapat diperoleh model matematik pengamatan sudut yaitu

$$F x = \theta = 360^\circ + \alpha_{AC} - \alpha_{AB} \dots\dots\dots (II.33)$$

dengan, $\alpha_{AC} = \arctan \frac{(x_C - x_A)}{(y_C - y_A)}$
 $\alpha_{AB} = \arctan \frac{(x_B - x_A)}{(y_B - y_A)}$



Gambar 4.1.3. Pengamatan sudut A

6. Uji statistik hasil hitungan perataan

Tahapan Uji Statistik hasil hitungan perataan dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

- Menyusun hipotesis : Hipotesa nol (H_0 , merupakan perumusan sementara yang akan diuji kebenarannya) yang berarti pengamatan ke li tidak dipengaruhi kesalahan kasar. Hipotesa tandingan (H_a , sebagai lawan dari hipotesa nol) yang berarti pengamatan ke li dipengaruhi kesalahan kasar.
- Menetapkan taraf uji (α).
- Menentukan nilai $t_{\alpha/2}$ dari tabel fungsi distribusi t-student dengan argument α dan r (derajat kebebasan).
- Menentukan nilai batas $t_{\alpha/2}$ yang dapat dihitung dari hubungan dengan distribusi t-student dengan rumus (Kuang, 1996) :

$$t_{\alpha/2}(r) = \frac{\sqrt{r} t_{\alpha/2}(r-1)}{\sqrt{(r-1) + t_{\alpha/2}^2(r-1)}} \dots\dots\dots (II.37)$$

- Menghitung nilai T_i untuk setiap data pengamatan
 $T_i = V_i / \sigma_{vi} \dots\dots\dots$
 . (II.38)

dalam hal ini :

V_i : koreksi pengamatan ke-i

σ_{vi} : simpangan baku koreksi pengamatan ke-i (akar dari elemen diagonal matriks $\sum vv$)

7. Elips kesalahan

Hasil perhitungan dari data pengukuran sudut, azimuth dan jarak menghasilkan nilai koordinat dari suatu titik. Dengan menggunakan metode hitung kuadrat terkecil dapat ditentukan

koordinat titik stasiun dan juga varian kovarian parameter, sehingga setiap titik hasil estimasi pasti berpasangan dengan ketelitiannya atau standar deviasinya. Namun, dengan hanya mengetahui simpangan bakunya belum dapat ditentukan kualitas dari posisi yang dihasilkan, sebab posisi x dan y bukanlah posisi yang dihitung secara terpisah tetapi penentuan kesalahan melibatkan distribusi kesalahan gabungan dari x dan y . Dari permasalahan ini untuk menunjukkan hubungan kesalahan dua variabel dan sekaligus untuk menunjukkan kualitas titik stasiun hasil perhitungan diperlukan suatu tampilan secara visual maupun nilai numeris dengan cara membentuk elips kesalahan pada setiap titik koordinat hasil estimasi.

BAB II

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Persiapan

Tahapan persiapan ini meliputi kegiatan pengumpulan bahan/ data dan peralatan yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

1. Pengumpulan bahan

Bahan yang digunakan dalam kajian ini adalah data dari dua desain jaring titik kontrol yang diperoleh dari masing-masing pengukuran. Penjelasan dari masing-masing data adalah sebagai berikut:

- 1) Data pengukuran poligon lorong I dengan 40 titik yang meliputi data ukuran sudut horisontal dan jarak horisontal.**
- 2) Data pengukuran poligon lorong I dengan 8 titik yang meliputi data ukuran sudut horisontal dan jarak horisontal.**

2. Peralatan

Beberapa peralatan yang digunakan untuk kajian ini adalah:

- 1) Perangkat keras yang digunakan antara lain**
 - a. Notebook
 - b. Flashdisk
 - c. Kalkulator
 - d. Printer
- 2) Perangkat lunak yang digunakan antara lain**
 - a. Sistem operasi Windows 7

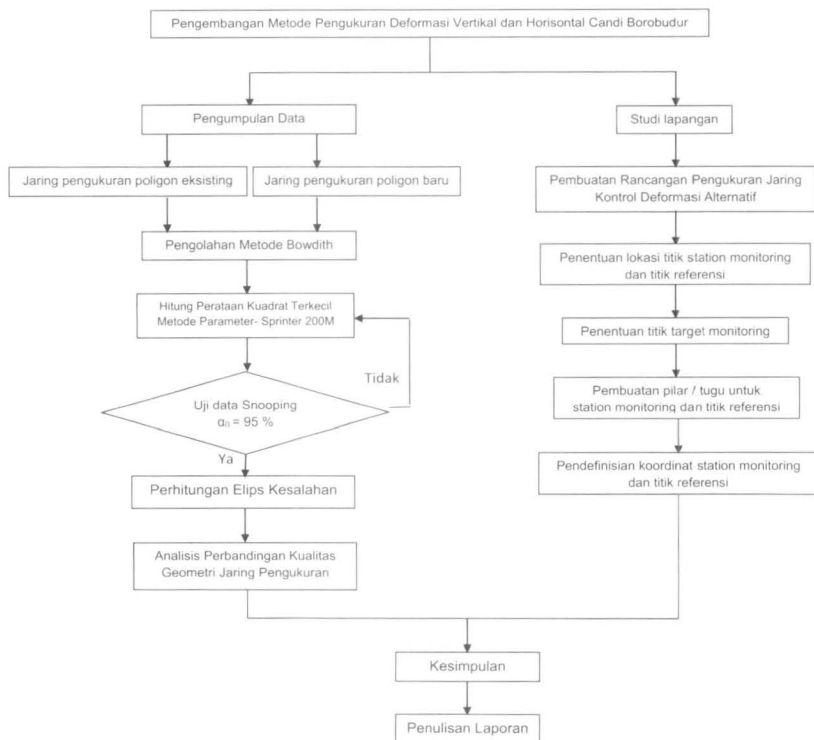
- b. Autodesk Survey 2004
- c. Microsoft Office Excell 2007
- d. Microsoft Office Word 2007

3) Peralatan ukur yaitu

- a. Total Station Leica TCR805 Ultra
- b. Statif
- c. Prisma

B. Pelaksanaan

Adapun tahapan Pelaksanaan Kajian dilakukan dengan langkah sebagai berikut :



Gambar 4.2.1. Tahapan pelaksanaan kajian

C. Studi Lapangan

Kegiatan studi lapangan dalam kajian ini adalah dengan mengunjungi waduk sermo untuk mengetahui metode monitoring deformasi di waduk sermo khususnya pengukuran yang menggunakan robotic total station. Maksud dari kegiatan studi lapangan ini adalah untuk mengetahui desain statif permanen robotic total station, tata letak prisma target, dan pengolahan data monitoring deformasi di waduk sermo. Kemudian dari pengetahuan yang diperoleh diharapkan bisa diterapkan untuk monitoring deformasi Candi Borobudur sesuai dengan kondisi yang ada di Candi Borobudur.

D. Pembuatan rancangan jaring kontrol deformasi alternatif

Untuk merancang pengukuran jaring kontrol deformasi menggunakan robotic total station maka tim kajian melakukan konsultasi dengan narasumber kajian yaitu akademisi dari Teknik Geodesi UGM dan purnakarya dari Balai Konservasi Borobudur yang terlibat langsung dalam pemugaran kedua dan pengukuran jaring kontrol deformasi Candi Borobudur. Konsultasi tersebut untuk dapat menentukan beberapa hal sebagai berikut :

Pemilihan lokasi-lokasi titik kontrol monitoring

- a. Titik stasion monitoring
- b. Titik referensi

Pemilihan lokasi-lokasi target monitoring

Selain itu tim kajian juga melakukan konsultasi dengan pihak vendor atau pihak penyedia alat ukur dan software untuk merancang sistem yang ideal menyesuaikan dengan kondisi yang ada di lokasi yaitu antara lain :

- **Pengadaan** Hardware dan software
- **Penyiapan fasilitas pendukung:** rumah alat, *power supply*,

keamanan, prisma, pilar dll.

- **Instalasi alat ukur, alat komunikasi dan software**
- **Pengaturan sistem, testing, setting untuk mendapatkan hasil ketelitian yang maksimal**
- **Analisa: analisa data, penentuan limit, peringatan dini (oleh ahli yang kompeten)**
- **Perawatan untuk semua sistem: software maintenance, kalibrasi hardware, service dll.**

BAB III

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil hitungan perataan poligon dengan metode bowdith

Perataan Bowdith dilakukan untuk menentukan nilai koordinat dari titik-titik kontrol, dan juga untuk menentukan tingkat kelas dari jaring poligon. Dari perhitungan dengan rumus persamaan maka didapat nilai dari kesalahan sudut pada pengukuran poligon pada pengamatan poligon lorong I dengan 40 titik dan dengan poligon lorong I yang disederhanakan dengan 8 titik, yaitu sebesar $43''$ dan $-14,39''$. jumlah titik kontrol pada jaring poligon lorong I adalah 40 buah, dan yang sudah disederhanakan adalah 8 buah, maka koreksi setiap sudut ukuran pada masing-masing jaring poligon adalah $1,08$ dan $-1,79$. Dari perhitungan didapat hasil nilai koordinat dan juga tingkat ketelitian dari poligon sesuai dengan tabel 4.3.1 dan tabel 4.3.2 yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.3.1. Hasil perhitungan bowdith lorong I dengan 8 titik

Titik	Koordinat	
	X	Y
T1	245,995	273,620
5	240,210	233,367
S1	200,000	227,229
14	159,908	233,842
B1	153,500	273,585
23	159,725	313,772
U1	199,964	319,896
32	240,285	313,724
$f\alpha$	14,3917''	
koreksi	1,79''	
ΣD	324,8989 m	
fl	0,02100	
Ketelitian	1:15444	

Tabel 4.3.2. Hasil perhitungan bowdith lorong I dengan 40 titik

Titik	Koordinat		Titik	Koordinat	
	X	Y		X	Y
T1	245,959	273,571	B1	153,526	273,542
1	246,005	266,286	19	153,776	280,475
2	242,298	258,588	20	157,488	288,273
3	243,436	249,517	21	156,454	297,267
4	239,579	241,553	22	160,409	305,334
5	240,183	233,352	23	159,757	313,694
6	231,521	233,190	24	169,177	313,969
7	223,095	229,931	25	176,855	317,149
8	214,620	231,152	26	184,907	315,979
9	206,875	227,254	27	193,055	319,562
S1	200,000	227,229	U1	199,965	319,808
10	193,502	227,324	28	207,181	319,377
11	185,464	231,285	29	214,462	315,946
12	176,137	230,008	30	223,345	317,139
13	168,275	233,813	31	231,824	313,888
14	159,935	233,830	32	240,254	313,642
15	159,466	242,035	33	239,812	305,495
16	156,597	250,657	34	243,299	297,565
17	157,444	258,814	35	242,232	288,433
18	154,139	266,596	36	246,056	281,166
fa			43"		
koreksi			1,08"		
ΣD			333,9919 m		
fl			0,10514		
Ketelitian			1:3177		

Dengan mengacu parameter kelas ketelitian poligon maka dari tabel 4.3.1 dan tabel 4.3.2 dapat dilihat bahwa jaring poligon lorong I dengan 8 titik termasuk tingkat kelas ketelitian ke-2, sedangkan jaring poligon lorong I dengan 40 titik termasuk tingkat kelas ketelitian ke-4.

B. Hasil hitungan perataan dengan hitung kuadrat terkecil metode parameter

Dengan menggunakan nilai koordinat pada hitungan metode bowditch sebagai nilai pendekatan, maka dengan menggunakan hitungan kuadrat terkecil metode parameter dihitung nilai koordinat titik-titik kontrol dan juga simpangan bakunya.

C. Hasil hitungan poligon lorong I dengan 40 titik

Dalam hitungan ini digunakan jaring pengukuran poligon I dengan 40 buah titik koordinat, yaitu titik 1-36, S1, B1, U1, dan T1. Dari 40 titik ini ditentukan dua titik referensi untuk keperluan analisis kualitas jaring yaitu titik S1 dan titik 10.

Hasil dari pengujian disajikan dalam berikut ini:

Tabel 4.3.3. Hasil pengujian data ukuran poligon lorong I dengan 40 titik

UJI DATA UKURAN POLIGON LORONG I DENGAN 40 TITIK					
ID	V/ σ V	UJI	ID	V/ σ V	UJI
L1	0,05000	DITERIMA	L41	0,05000	DITERIMA
L2	0,30545	DITERIMA	L42	0,17180	DITERIMA
L3	0,05625	DITERIMA	L43	0,01250	DITERIMA
L4	0,21910	DITERIMA	L44	0,07215	DITERIMA
L5	0,04375	DITERIMA	L45	0,00625	DITERIMA
L6	0,27579	DITERIMA	L46	0,04419	DITERIMA
L7	0,05000	DITERIMA	L47	0,01250	DITERIMA
L8	0,19665	DITERIMA	L48	0,02883	DITERIMA
L9	0,00625	DITERIMA	L49	0,01875	DITERIMA
L10	0,14695	DITERIMA	L50	0,00688	DITERIMA
L11	0,01250	DITERIMA	L51	0,03125	DITERIMA
L12	0,06989	DITERIMA	L52	0,15182	DITERIMA
L13	0,01875	DITERIMA	L53	0,03125	DITERIMA
L14	0,10534	DITERIMA	L54	0,19487	DITERIMA
L15	0,01250	DITERIMA	L55	0,00625	DITERIMA
L16	0,16288	DITERIMA	L56	0,16408	DITERIMA
L17	0,04375	DITERIMA	L57	0,05000	DITERIMA
L18	0,21053	DITERIMA	L58	0,24451	DITERIMA
L19	0,00625	DITERIMA	L59	0,01250	DITERIMA
L20	0,05719	DITERIMA	L60	0,23757	DITERIMA
L21	0,03125	DITERIMA	L61	0,05000	DITERIMA
L22	0,03356	DITERIMA	L62	0,26290	DITERIMA
L23	0,01250	DITERIMA	L63	0,05000	DITERIMA
L24	0,13839	DITERIMA	L64	0,29212	DITERIMA
L25	0,05625	DITERIMA	L65	0,05000	DITERIMA
L26	0,16929	DITERIMA	L66	0,25431	DITERIMA
L27	0,05000	DITERIMA	L67	0,01250	DITERIMA

L28	0,15707	DITERIMA	L68	0,07718	DITERIMA
L29	0,03125	DITERIMA	L69	0,05000	DITERIMA
L30	0,09931	DITERIMA	L70	0,18756	DITERIMA
L31	0,05000	DITERIMA	L71	0,01250	DITERIMA
L32	0,16379	DITERIMA	L72	0,03526	DITERIMA
L33	0,05000	DITERIMA	L73	0,06875	DITERIMA
L34	0,20164	DITERIMA	L74	0,05000	DITERIMA
L35	0,05625	DITERIMA	L75	0,27317	DITERIMA
L36	0,12222	DITERIMA	L76	0,01875	DITERIMA
L37	0,04375	DITERIMA	L77	0,12529	DITERIMA
L38	0,11479	DITERIMA	L78	0,05000	DITERIMA
L39	0,04375	DITERIMA	L79	0,09318	DITERIMA
L40	0,17006	DITERIMA			

Dari uji yang dilakukan didapat hasil bahwa data ukuran pada jaring poligon tersebut bebas dari kesalahan tak acak, sehingga nilai koordinat hasil estimasi metode parameter beserta dengan ketelitiannya dapat digunakan untuk melakukan analisis kualitas jaring. Hasil penghitungan koordinat dan ketelitiannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3.4. Hasil estimasi koordinat poligon lorong I dengan 40 titik kontrol

Titik	Koordinat		Simpangan Baku (m)		Titik	Koordinat		Simpangan Baku (m)	
	X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
T1	245,959	273,571	0,1567	0,1868	19	153,776	280,475	0,1454	0,0829
1	246,005	266,286	0,1362	0,1865	20	157,488	288,273	0,1689	0,0765
2	242,298	258,588	0,1134	0,1756	21	156,454	297,267	0,1963	0,0796
3	243,436	249,517	0,0850	0,1783	22	160,409	305,334	0,2213	0,0741
4	239,579	241,553	0,0604	0,1655	23	159,757	313,694	0,2463	0,0762
5	240,183	233,352	0,0378	0,1670	24	169,177	313,969	0,2475	0,0677
6	231,521	233,190	0,0351	0,1347	25	176,855	317,149	0,2569	0,0695
7	223,095	229,931	0,0256	0,1015	26	184,907	315,979	0,2542	0,0783
8	214,620	231,152	0,0250	0,0664	27	193,055	319,562	0,2640	0,0911
9	206,875	227,254	0,0140	0,0320	U1	199,965	319,808	0,2649	0,1033
11	185,464	231,285	0,0137	0,0131	28	207,181	319,377	0,2646	0,1158
12	176,137	230,008	0,0192	0,0277	29	214,462	315,946	0,2569	0,1286

13	168,275	233,813	0,0250	0,0430	30	223,345	317,139	0,2600	0,1445
14	159,935	233,830	0,0287	0,0607	31	231,824	313,888	0,2530	0,1606
15	159,466	242,035	0,0408	0,0634	32	240,254	313,642	0,2530	0,1774
16	156,597	250,657	0,0607	0,0713	33	239,812	305,495	0,2344	0,1759
17	157,444	258,814	0,0823	0,0707	34	243,299	297,565	0,2158	0,1826
18	154,139	266,596	0,1045	0,0792	35	242,232	288,433	0,1942	0,1798
B1	153,526	273,542	0,1250	0,0820	36	246,056	281,166	0,1762	0,1878

D. Hasil hitungan poligon lorong I dengan 8 titik

Langkah pengujian dilakukan dengan menggunakan uji *Pope's Tau* sebagai pengujian data ukuran. Uji ini dilakukan pada data ukuran dengan tingkat kepercayaan terhadap data adalah 95%. Hasil dari pengujian disajikan dalam berikut ini.

Tabel 4.3.5. Hasil pengujian data ukuran poligon lorong I dengan 8 titik

UJI DATA UKURAN POLIGON LORONG I DENGAN 8 TITIK		
ID	$V/\sigma V$	UJI
L1	0,00625	DITERIMA
L2	0,35537	DITERIMA
L3	0,31250	DITERIMA
L4	0,00625	DITERIMA
L5	0,22712	DITERIMA
L6	0,50000	DITERIMA
L7	0,51616	DITERIMA
L8	0,51875	DITERIMA
L9	0,46780	DITERIMA
L10	0,51875	DITERIMA
L11	0,34078	DITERIMA
L12	0,16250	DITERIMA
L13	0,14315	DITERIMA
L14	0,49375	DITERIMA
L15	0,37677	DITERIMA

Dari uji yang dilakukan didapat hasil bahwa data ukuran pada jaring poligon tersebut bebas dari kesalahan tak acak, sehingga nilai koordinat hasil estimasi metode parameter beserta dengan ketelitiannya dapat digunakan untuk melakukan analisis

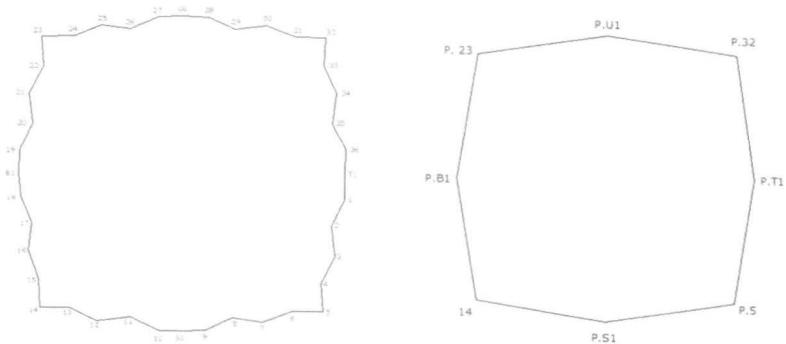
kualitas jaring. Hasil penghitungan koordinat dan ketelitiannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3.6. Hasil estimasi koordinat poligon lorong I dengan 8 titik kontrol

Titik	Koordinat		Simpangan Baku (m)	
	X	Y	X	Y
T1	245,992	273,624	0,0232	0,0323
5	240,210	233,371	0,0162	0,0244
B1	153,498	273,585	0,0122	0,0168
23	159,722	313,772	0,0265	0,0213
U1	199,959	319,898	0,0344	0,0226
32	240,280	313,729	0,0360	0,0329

Hasil analisis kualitas jaring

Perbedaan bentuk geometri diantara kedua jaring titik kontrol tersebut akan berpengaruh pada besar kecilnya ukuran dari elips kesalahan suatu titik kontrol dalam desain jaring pengukuran. Analisis ini menggunakan dua desain jaring yang berbeda seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.3.1 Desain jaring pengukuran poligon lorong I

Untuk melihat pengaruh dari perubahan bentuk geometri yang terjadi pada kedua desain jaring maka dapat dilihat pada

bentuk ukuran dari masing-masing elips kesalahan seperti pada tabel dan gambar dibawah ini:

Tabel 4.3.7. Elemen elips kesalahan jaring titik kontrol lama

Elemen elips kesalahan jaring titik kontrol lama							
Titik	Sumbu Panjang	Sumbu Pendek	Sudut orientasi	Titik	Sumbu Panjang	Sumbu Pendek	Sudut orientasi
	(m)	(m)			(m)	(m)	
11	0,001401989	0,001278179	116°27'10'	28	0,013466975	0,007906756	108°33'05"
12	0,002782214	0,001912986	3°49'09'	29	0,013446823	0,007814798	112°37'41"
13	0,001844566	0,00135077	13°03'50"	30	0,013379468	0,007657368	116°13'23"
14	0,001400436	0,001220706	9°17'04"	31	0,013039241	0,007437242	120°28'08"
15	0,001628512	0,001091607	26°56'58"	32	0,013045416	0,007194713	123°45'01"
16	0,001446206	0,000933323	38°53'37"	33	0,013447411	0,006991685	125°48'59"
17	0,001653848	0,000932256	50°46'58"	34	0,013490644	0,006561064	129°40'05"
18	0,002449708	0,000863934	54°48'59"	35	0,013424328	0,006182929	132°32'31"
B1	0,004251595	0,001098025	59°27'55"	36	0,013129785	0,005662209	136°59'50"
19	0,006022818	0,004819894	63°50'41"	T1	0,013288807	0,005233629	140°33'04"
20	0,007775966	0,005288463	71°01'49"	1	0,012607869	0,004753935	144°41'33"
21	0,006451044	0,005538795	73°07'20"	2	0,012045418	0,00427357	148°22'07"
22	0,008557486	0,005929549	78°16'11"	3	0,011435785	0,003614989	156°12'09"
23	0,011043618	0,006094628	79°09'08"	4	0,010315627	0,003178912	162°29'27"
24	0,010813372	0,006525402	85°51'02"	5	0,009839621	0,003048183	172°18'00"
25	0,011698938	0,006932524	91°09'40"	6	0,006662262	0,002716012	170°26'38"
26	0,011570769	0,007330714	96°22'10"	7	0,001194158	0,001060615	174°05'21"
27	0,012845077	0,007676632	101°00'58"	8	0,001189246	0,000939595	166°10'34"
U1	0,013333519	0,007873533	104°49'42"	9	0,00121311	0,001000739	01°02'54"

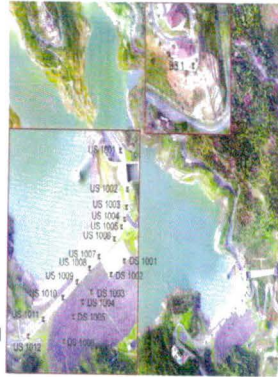
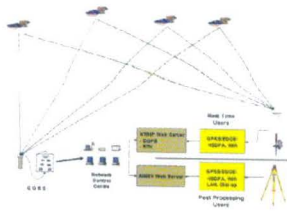
Tabel 4.3.8. Elemen elips kesalahan jaring titik kontrol baru

Elemen elips kesalahan jaring titik kontrol baru			
Titik	Sumbu Panjang (m)	Sumbu Pendek (m)	Sudut orientasi
B1	0,001689567	0,001206459	179°23'47"
23	0,001738293	0,001018477	67°53'08"
U1	0,002591184	0,002005249	109°54'21"
31	0,002486595	0,001916217	109°54'21"
T1	0,002354242	0,001777228	151°30'37"
5	0,002088936	0,001563898	13°39'20"

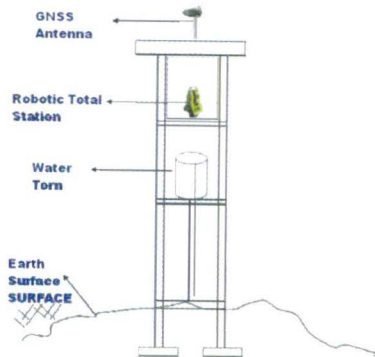
F. Hasil studi lapangan di waduk sermo

Waduk sermo yang terletak di Kelurahan Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo dikelola oleh Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak yang berada di bawah Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum. Pada akhir tahun 2010 Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak bekerjasama dengan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada serta dukungan instrumen monitoring geodetik dari PT. Almega Geosystems mengembangkan pilot project sistem pemantauan deformasi bendungan dengan Metode Geodetik berbasis GPS/GNSS yang diimplementasikan pertama pada bendungan waduk Sermo. GNSS-CORS, merupakan kependekan dari *Global Navigation Satellite System* yaitu sistem jaringan satelit navigasi global dan *Continuously Operating Reference Stations* yaitu stasiun pengelola titik kontrol dasar moderen sebagai referensi penentuan posisi untuk pengukuran dan pemetaan yang bersifat aktif, terus menerus dan dapat diakses secara *real time* dan dapat diakses oleh siapapun yang membawa receiver GNSS dengan spesifikasi tertentu. GNSS-CORS melayani pengguna yang melakukan pengukuran berbasis GNSS (GPS, GLONASS) dengan metode deferensial *post procesing* dan RTK.

Sistem CORS



Gambar 4.3.2. Letak sensor robotic total station dan target monitoring



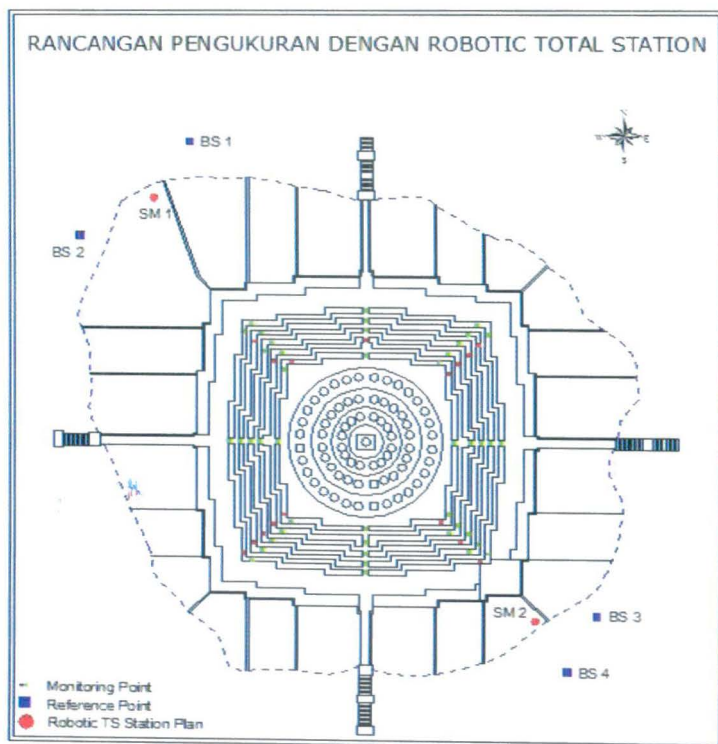
Gambar 4.3.3. Desain pilar permanen untuk station monitoring



Foto 4.3.1 Prisma target monitoring

G. Pembuatan rancangan jaringan pengukuran Candi Borobudur dengan robotic total station

Untuk merancang desain pengukuran deformasi menggunakan robotic total station maka langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menentukan lokasi titik-titik yang akan dijadikan sebagai titik station pengukuran dan juga titik referensi atau acuan. Untuk menentukan lokasi titik-titik tersebut tim kajian bersama dengan narasumber sebagai tim ahli melakukan survey lapangan sehingga dengan pertimbangan mencari lokasi yang stabil namun juga tidak mengganggu pengunjung Candi Borobudur maka dipilih titik-titik tersebut seperti yang terlihat pada gambar IV.8. berikut ini:



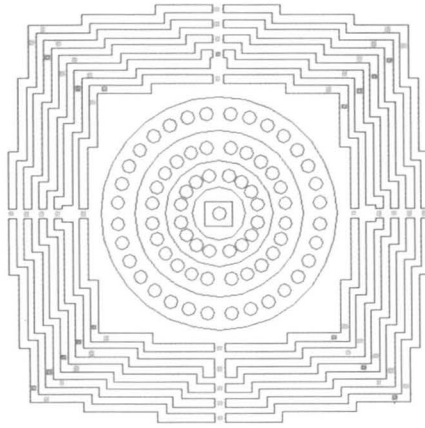
Gambar 4.3.4. Sketsa jaringan pengukuran dengan robotic total station

Langkah selanjutnya adalah menentukan lokasi titik-titik yang akan menjadi target monitoring. Titik tersebut berjumlah total sebanyak 60 buah yang terletak diatas pagar langkan. Di setiap tingkat pagar langkan masing-masing terdapat 3 buah titik yaitu 2 titik di sudut dan 1 titik di tengah. Letak dari titik-titik target monitoring ini dan prisma target yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar foto 4.3.2.



Foto 4.3.2 Posisi target monitoring dan prisma target monitoring

Dari 60 buah titik target monitoring yang ada kemudian dilakukan verifikasi untuk mengetahui apakah semua titik tersebut masih ada dan juga dapat terlihat dari lokasi titik station monitoring. Dari hasil verifikasi diketahui titik yang bisa terlihat dari titik station monitoring sebanyak 44 buah. Titik-titik hasil verifikasi juga dapat terlihat pada gambar 4.3.5

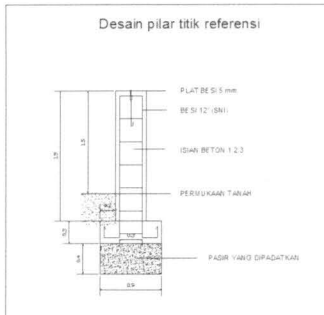


■ titik target monitoring yang telah diverifikasi

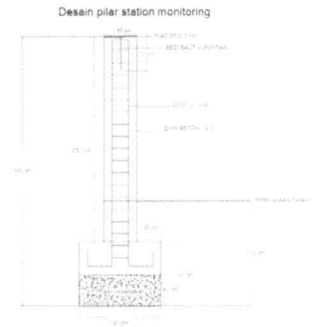
Gambar 4.3.5 Titik target monitoring

H. Pembuatan pilar / tugu

Tujuan pembuatan pilar atau tugu adalah untuk menggantikan fungsi dari statif sehingga diharapkan kesalahan sentering pada saat pemasangan alat ukur dan prisma dapat dihilangkan. Pembuatan pilar ada dua buah desain yaitu satu desain untuk pilar titik monitoring station dan satu desain untuk pilar titik acuan. Pembuatan desain pilar ini dengan mempertimbangkan SNI untuk pembuatan tugu pengukuran dan juga dengan menyesuaikan kondisi yang ada di Candi Borobudur. Gambar untuk desain pilar titik referensi dapat dilihat pada gambar 3.6. dan desain pilar titik station monitoring dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 4.3.6. Desain pilar titik referensi



Gambar 4.3.7. Desain pilar station monitoring

Jaring pengukuran untuk monitoring deformasi Candi Borobudur menggunakan robotic total station ini direncanakan untuk dilakukan pengukuran secara periodik yaitu satu tahun dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali atau dilakukan setiap 4 bulan sekali dengan waktu pengukuran selama satu hari untuk masing-masing titik station monitoring. Selain itu juga untuk pengukuran yang bersifat insidental misalnya jika terjadi gempa bumi dengan lokasi pusat gempa yang tidak jauh dari Candi Borobudur.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis tingkat ketelitian poligon dan analisis visual serta analisis perbandingan tingkat kualitas jaring titik kontrol yang dilakukan dengan menggunakan elips kesalahan pada titik-titik kontrol poligon lorong I Candi Borobudur menunjukkan bahwa desain jaring pengukuran titik kontrol baru yang telah disederhanakan membutuhkan waktu pengukuran yang lebih sedikit namun menghasilkan nilai koordinat yang lebih presisi jika dibandingkan dengan jaring pengukuran titik kontrol yang lama. Untuk poligon lorong IV dapat disederhanakan dengan menggunakan desain jaring pengukuran titik kontrol yang sama dengan desain jaring pengukuran poligon lorong I yang baru namun harus membuat 1 titik kontrol baru agar pengukuran dapat dilakukan.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang paling optimal maka pengukuran deformasi menggunakan Robotic Total Station yang paling ideal adalah pengukuran dilakukan secara terus menerus sehingga alat ukur dan target ukur harus diletakkan secara permanen di lokasi objek monitoring.

Menyesuaikan dengan kondisi yang ada di Candi Borobudur maka pada kajian ini rancangan pengukuran deformasi menggunakan Robotic Total Station di Candi Borobudur direncanakan untuk pengukuran yang rutin dilakukan adalah secara periodik setahun 3 kali dan juga untuk pengukuran yang sifatnya insidental misalnya bila terjadi gempa bumi, sehingga alat ukur dan target monitoring hanya dipasang di lokasi hanya pada saat dilakukan pengukuran.

Pembuatan desain jaring kontrol deformasi alternatif di Candi Borobudur dengan metode pengukuran menggunakan Robotic Total Station pada kajian ini baru sampai pada tahap:

- a. Penentuan lokasi monitoring station, lokasi titik referensi, dan lokasi titik target monitoring.
- b. Pembuatan desain pilar/tugu untuk monitoring station dan desain pilar/tugu untuk titik referensi.

B. Saran

Pembuatan satu titik kontrol baru pada poligon lorong IV agar dapat dibuat desain jaring pengukuran titik kontrol poligon lorong IV yang baru.

Tindak lanjut yang dapat dilakukan pada rancangan pengukuran deformasi Candi Borobudur menggunakan Robotic Total Station adalah :

- a. Pengadaan software monitoring
 - b. Pengadaan prisma target monitoring
 - c. Pembuatan adapter untuk prisma target monitoring
 - d. Kerjasama dengan pihak Teknik Geodesi UGM dalam pendefinisian koordinat station monitoring dan koordinat titik referensi dengan menggunakan survey GPS Statik.
-

DAFTAR PUSTAKA

- Barda, W. 1967, *A testing Procedure for Use in Geodetical Networks*, Computing Center of The Delf Geodetic Institute, Delf Netherlands.
- Basuki, S. 2006, *Ilmu Ukur Tanah*, cetakan ke-1, Gadjah Mada University Pers, Yogyakarta.
- Bolodimos, GG., Georgopoulos, and G., Telioni, V., 1994, *Kinematic Adjustment of Levelling Control Network*, Survey Review 32/253.
- Hadiman, 2001, *Hitung Perataan*, Diktat, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hendrawan, 2001, Analisis Pergeseran Horisontal Bendungan Waduk Sermo, *Skripsi*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kuang, S., 1996, *Geodetic Network Analysis And Optimal Design Concepts And Applications*, Ann Arbor Press Inc, Michigan.
- Lestari, D., dan Widjajanti, N., 2012, "Evaluasi Kekuatan Geometri Jaring Pemantauan Deformasi Horisontal Candi Borobudur", *Laporan Penelitian*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lestari, D., 2006, GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site, *Thesis*, School of Surveying and GIS, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Mikhail, E. M. and Gracie, G., 1981, *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*, Van Nostrand Reinhold company, New York.
- Simona, S. S., 2009, *Determination of Point Displacements in the Geodetic Network*, American Society of Civil Engineers,

- Naskah Publikasi, University of Ljubljana, Slovenia.
- Soeta'at, 1996, Ilmu *Hitung Kuadrat Terkecil Lanjut (HKTL)*, Diklat, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sumarno, G., 2012, Analisis Pergeseran Horizontal Candi Borobudur berdasarkan Data Pengamatan Tahun 2004, 2006, dan 2008, *Skripsi*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

5. VISITOR MANAGEMENT CANDI BOROBUDUR

Panggah Ardiyansyah, Sugiyono,
Fitri Andana Sari,
Dian Eka Puspitasari, Sri Sularsih

VISITOR MANAGEMENT CANDI BOROBUDUR

Panggah Ardiyansyah, Sugiyono, Fitri Andana Sari, Dian Eka
Puspitasari, Sri Sularsih

Abstrak

Candi Borobudur telah lama dimanfaatkan sebagai obyek wisata. Untuk mendukung bentuk pemanfaatan ini, taman wisata Candi Borobudur telah didirikan setelah selesainya pemugaran II Candi Borobudur. Pendirian ini juga dibarengi dengan pembangunan berbagai fasilitas wisata di dalam kompleks taman wisata. Di sisi lain, pertumbuhan jumlah pengunjung terus terjadi sampai dengan sekarang, dengan angka terakhir pada tahun 2013 mencapai angka lebih dari 3 juta pengunjung dalam setahun. Pertumbuhan jumlah pengunjung ini ternyata tidak dibarengi dengan pengelolaan pengunjung yang baik. Akibatnya adalah pengunjung memberikan dampak negatif yang dapat mengancam kelestarian Candi Borobudur. Untuk mengatasi hal ini, Balai Konservasi Borobudur melakukan Kajian *Visitor Management* Candi Borobudur pada tahun 2012. Kajian ini bertujuan untuk melakukan *review* terhadap kondisi eksisting dari pengelolaan pengunjung di Candi Borobudur. Saran dari kajian ini adalah perlunya menyusun kembali konsep *visitor management* yang lebih baik bagi Candi Borobudur. Dari latar belakang tersebut, Kajian *Visitor Management* Candi Borobudur Tahap II penting untuk dilakukan.

Masalah dari Kajian *Visitor Management* Candi Borobudur Tahap II dirumuskan metode *visitor management* untuk meminimalkan dampak negatif pengunjung dan meningkatkan apresiasi dan kenyamanan pengunjung. Dari masalah tersebut, maka kajian ini bertujuan untuk menyusun metode *visitor management* yang dapat meminimalkan dampak negatif pengunjung dan meningkatkan apresiasi dan kenyamanan pengunjung. Kajian ini dilakukan dalam 5 tahap, yaitu tinjauan

pustaka, studi banding, pengambilan data, penyusunan dan uji coba metode *visitor management*, dan penyempurnaan metode visitor management. Pada saat uji coba, observasi partisipatori dan wawancara semi terstruktur dilakukan untuk mendapatkan data masukan bagi konsep final yang akan disusun dalam tahap selanjutnya. Sasaran dari observasi dan wawancara adalah pengunjung yang mengikuti uji coba. Selain wawancara dengan pengunjung, wawancara juga akan dilakukan dengan *stakeholders* yang terlibat dalam pengelolaan pengunjung di Candi Borobudur.

Permasalahan yang muncul dalam *visitor management* di Candi Borobudur adalah beban candi yang terlalu berat, vandalisme, kurangnya tingkat apresiasi, dan kenyamanan yang masih bisa ditingkatkan. Pembatasan pengunjung dan memperpanjang rute kunjungan merupakan pilihan dalam mengurangi beban candi. Penanganan vandalisme dapat dilakukan dengan perbaikan informasi dan jumlah petugas keamanan. Peningkatan apresiasi pengunjung dilakukan dengan perbaikan interpretasi di Candi Borobudur. Kenyamanan pengunjung dapat ditingkatkan dengan perbaikan fasilitas dan pelayanan.

Kata kunci: Candi Borobudur, pengunjung, *visitor management*, interpretasi

Abstract

Borobudur Temple has been long used as tourism object. To support this, Borobudur Tourism Park was founded after the second restoration of Borobudur Temple. The establishment included various visitor facilities inside the park. On the other hand, the number of visitor in Borobudur Temple is increasing each year, in which the visitors are approximately 3 millions in 2013. Unfortunately, the growing rate of visitors is not followed by better visitor management. The consequence is that visitors are more prone to give negative impact in the state of conservation of Borobudur Temple. To solve this problem, Borobudur Conservation Office conducted Study on Visitor Management of Borobudur Temple in 2012. It was aimed to review the current visitor management, and the result has suggested on the need to formulize better visitor management in Borobudur Temple. Thus, it is strongly suggested to conduct Study on Visitor Management of Borobudur Temple Phase II.

The objective of this study is to get the most suitable visitor management to minimize the negative impact of visitor as well as increasing the appreciation and comfort of visitors. The study is conducted in 5 stages, which are reference study, comparasion study, field research and observation, preparation and testing of visitor management approach, and finalizing visitor management approach. In the field research and observation, participatory observation and semi-structured interview is performed to gather recommendations for the next stage. The target is visitors who are willing to join the testing of new visitor management approach. Besides, interviews are conducted with various stakeholders in the management of visitors at Borobudur Temple.

The problems in visitor management of Borobudur Temple are over capacity, vandalism, lack of visitors' appreciation, and lack of visitors comfort. Visitor limitation and prolong of visitor route are options to minimize the over capacity. Vandalism could be handled by better interpretation and bigger number of security. Visitors comfort could be increased by better visitor facilities and services.

Keywords: *Borobudur Temple, visitor, visitor management, interpretation*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Candi Borobudur dibangun pada abad ke-8 Masehi oleh Dinasti Syailendra dari Kerajaan Mataram Kuno. Pembangunan candi ini diperkirakan memakan waktu sekitar 100 tahun. Tidak berapa lama setelah candi selesai dibangun, sekitar abad ke-10, masyarakat penggunaannya berpindah ke Jawa bagian timur tanpa alasan yang jelas. Kejadian ini membuat Candi Borobudur terbengkalai dan terlantar. Pada tahun 1814, ketika Inggris menguasai Jawa, Raffles sebagai Gubernur Jenderal Inggris mendapatkan laporan akan adanya struktur batu berpahat yang tertimbun tanah di daerah Borobudur. Penyelidikan pun dilakukan dan keberadaan Candi Borobudur kemudian diketahui oleh masyarakat internasional.

Pada saat ditemukan, Candi Borobudur berada dalam keadaan runtuh dan tertutup tanah serta pepohonan. Pembersihan dilakukan oleh Cornelius, asisten dari Raffles, yang kemudian diteruskan oleh Hartmann, Residen Kedu, hingga selesai pada tahun 1834. Dikarenakan kondisinya yang semakin mengkhawatirkan, Pemerintah Hindia Belanda memutuskan untuk memugar Candi Borobudur pada tahun 1907 – 1911. Hasil pemugaran ini kemudian disempurnakan lagi oleh pemerintah Indonesia, yang bekerja sama dengan UNESCO, yang melakukan pemugaran kedua pada tahun 1973 – 1983.

Pascapemugaran kedua, kawasan Candi Borobudur didesain menjadi sebuah taman wisata. Taman wisata ini bertujuan untuk memfasilitasi masyarakat, baik lokal maupun mancanegara, yang ingin berkunjung ke Candi Borobudur. Semakin hari, Candi Borobudur semakin ramai dikunjungi oleh

wisatawan, yang ingin secara langsung melihat keindahan Candi Borobudur yang telah menjadi menjadi ikon pariwisata Indonesia. Rata-rata setiap tahunnya jumlah wisatawan yang berkunjung menembus angka di atas 2.000.000, bahkan pada tahun 2013 telah menembus angka 3.000.000, dengan rata-rata setiap harinya sekitar 5.000 wisatawan. Saat *peak season* (liburan sekolah, hari raya) pengunjung dapat mencapai 45.000 orang dalam sehari.

Sebagai sebuah situs warisan dunia, yang telah ditetapkan pada tahun 1991, Candi Borobudur menghadapi ancaman dari kunjungan wisata yang tidak terkontrol. Hal ini kemudian mengundang perhatian terutama dari UNESCO, dengan terus dipertanyakannya masalah *visitor management* serta hal terkait lainnya dalam sidang tahunan Komite Warisan Dunia. Perhatian ini dimulai pada tahun 2003 ketika Komite Warisan Dunia dalam salah satu keputusannya memberikan beberapa rekomendasi yang intinya adalah untuk mengontrol akses kendaraan ke zona 1 dan mengelola pedagang yang berjualan di zona 2 (27COM7B.47). Pada tahun berikutnya, yaitu pada tahun 2004, rekomendasi ini lebih diperkuat lagi dengan saran untuk menyusun *visitor management* dalam rangka memitigasi efek tekanan pengunjung yang tinggi bagi keberlangsungan situs dalam jangka panjang (28COM15B.59). Rekomendasi tentang ini kembali diulangi oleh Komite pada tahun 2005. Hal ini menunjukkan pentingnya *visitor management* dalam meminimalisasi dampak negatif pengunjung terhadap warisan budaya.

Berangkat dari pemahaman tersebut, pada tahun 2012, Balai Konservasi Borobudur melaksanakan kajian *visitor management* Candi Borobudur. Kajian ini bertujuan untuk melakukan *review* terhadap kondisi manajemen pengunjung di kawasan Candi Borobudur. Hasil dari kajian tersebut menyarankan

perlunya disusun konsep *visitor management* yang lebih baik sehingga dapat meminimalisasi dampak negatif kunjungan wisata. Dalam saran tersebut juga ditambahkan bahwa konsep yang disusun harus diuji coba terlebih dahulu sebelum diterapkan di Candi Borobudur.

Berdasarkan dari rekomendasi tersebut, Balai Konservasi Borobudur berencana untuk melaksanakan kajian *visitor management* Candi Borobudur tahap II pada tahun 2014. Kajian ini bertujuan untuk menyusun konsep *visitor management* yang lebih baik dan dapat diujicobakan di Taman Wisata Candi Borobudur. Hasil dari kajian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi konsep *visitor management* yang ideal, tetapi disisi lain juga mudah diaplikasikan di lapangan.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah kajian ini adalah:

1. Apa dampak negatif dari pengunjung ke Candi Borobudur?
2. Bagaimana tingkat apresiasi dan kenyamanan pengunjung Candi Borobudur?
3. Bagaimana metode *visitor management* untuk mengatasi dampak negatif dan meningkatkan tingkat apresiasi dan kenyamanan Candi Borobudur?

C. Maksud dan Tujuan

Kajian ini bermaksud untuk membuat metode *visitor management* yang dapat mengurangi dampak negatif pengunjung dan meningkatkan apresiasi dan kenyamanan pengunjung. Untuk mencapai maksud tersebut, maka tujuan yang hendak dicapai adalah:

1. Mengetahui dampak negatif dari pengunjung Candi Borobudur;

2. Mengetahui tingkat apresiasi dan kenyamanan pengunjung Candi Borobudur;
3. Mengetahui kondisi eksisting interpretasi yang ada di Candi Borobudur;
4. Melakukan survei fasilitas pengunjung di Candi Borobudur;
5. Merumuskan metode *visitor management* Candi Borobudur;
6. Mengetahui tanggapan pengunjung dalam uji coba metode baru *visitor management*.

D. Manfaat

Melalui metode *visitor management* yang tersusun melalui kajian ini, manfaat yang dapat diperoleh adanya meningkatnya kenyamanan pengunjung Candi Borobudur, serta pada saat yang sama meminimalkan dampak negatif yang mungkin ditimbulkan oleh pengunjung terhadap kelestarian Candi Borobudur.

E. Ruang Lingkup

Kajian ini mempunyai ruang lingkup untuk menyusun metode *visitor management* di kompleks Taman Wisata Candi Borobudur yang di dalamnya terdiri dari zona 1 dan zona 2 Candi Borobudur. Kajian ini dibatasi pada zona 1 dan zona 2, sehingga zona 3 tidak tercakup di dalamnya. Dengan batasan ini diharapkan kajian ini dapat fokus pada pembenahan *visitor management* di kompleks Taman Wisata Candi Borobudur, sehingga dapat meminimalkan dampak negatif yang ditimbulkan oleh pengunjung, serta sekaligus untuk meningkatkan apresiasi dan kenyamanan pengunjung.

BAB II HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tinjauan Pustaka

Pearson dan Sullivan (1995) mengatakan bahwa *visitor management* merupakan serangkaian teknik, kemampuan, dan alat, baik dari metode yang paling sederhana, seperti batas psikologis, kehadiran penanda dan personel untuk melindungi situs, sampai kepada penyusunan program interpretasi (pendekatan terencana untuk bahan dan aktivitas interpretasi dan presentasi), pemandu dan pengembangan fasilitas pengunjung untuk meningkatkan pemahaman situs. Ini berarti bahwa pengelola situs sebaiknya mendayagunakan fasilitas yang ada untuk mengontrol pengunjung. Fasilitas yang dimaksud bukan hanya dalam bentuk pembatas dan penanda larangan, tetapi juga penanda interpretasi. Oleh karena itu, pengelolaan pengunjung sangat erat hubungannya dengan interpretasi.

Interpretasi adalah semua langkah untuk mempresentasikan nilai penting dari sebuah situs yang merupakan kombinasi dari perlakuan fisik (misalnya, perawatan, restorasi, rekonstruksi) dan penggunaan material berisi penjelasan situs tersebut (ICOMOS 1999). Interpretasi dapat berupa kunjungan menggunakan pemandu, *leaflet*, ruang buatan, penanda, *display* hasil kerajinan, "reka ulang" sejarah, audiovisual, *display* di pusat informasi, kunjungan "*self-guided*", informasi dari personel di lapangan, program komputer interaktif dan kaset video atau *audio personal* (Pearson dan Sullivan, 1995).

Nilai penting interpretasi juga diakui oleh ICOMOS. Feilden (1993) menyarankan bahwa penanda larangan dan regulasi harus seminimal mungkin. Pengelolaan pengunjung dapat dicapai melalui rancangan fisik dan persuasi. Lebih lanjut lagi, informasi

yang cukup dibutuhkan bagi pengunjung dalam menjelajah situs, sembari menghindari penanda yang mengganggu (Shackley, 1999).

Tujuan utama dari *visitor management* adalah untuk memberikan pengalaman paling baik bagi pengunjung. Dengan memberikan pengalaman lebih tersebut, pengunjung akan menikmati ketika berkunjung ke situs. Dari hal tersebut, pengunjung akan mempunyai impresi lebih ketika mereka mengapresiasi situs dan dapat belajar darinya. Tidak dapat dipungkiri bahwa pemanfaatan sebuah situs sebagai obyek wisata akan menghadirkan dampak negatif. *Visitor management* yang baik dapat menjadi solusi dalam meminimalisasi dampak tersebut. Apabila disusun dengan baik, *visitor management* akan memberikan kenyamanan kepada pengunjung, sekaligus juga dapat berperan dalam memproteksi situs dari pengunjung yang tidak bertanggung jawab. Yang harus diperhatikan adalah bahwa tingkat pemanfaatan oleh pengunjung dan strategi pengelola harus sesuai dengan nilai penting dari situs tersebut, yang secara ideal menggabungkan *visitor management* dan perencanaan interpretasi (Pearson dan Sullivan, 1995).

B. Metode Kajian

Kajian ini akan dibagi kedalam 5 tahap yaitu:

1. Tinjauan pustaka

Data awal didapatkan melalui tinjauan pustaka yang mendukung kajian ini. Beberapa kajian terkait dengan pengelolaan pengunjung telah dilaksanakan oleh Balai Konservasi Borobudur, seperti kajian evaluasi fasilitas pendukung wisata di jalur pengunjung Kompleks Candi Borobudur, kajian perilaku pengunjung di Candi Borobudur, kajian alur pengunjung Candi Borobudur, dan sebagainya.

2. Studi banding

Untuk memperkuat landasan data dari tinjauan pustaka, studi banding akan dilaksanakan dengan mengunjungi situs warisan budaya dunia yang berada di Indonesia. Situs yang dipilih adalah Lansekap Budaya Bali: Sistem Subak sebagai Manifestasi Filosofi *Tri Hita Kirana* dan Kompleks Candi Prambanan. Selain itu, tim kajian juga melakukan studi banding ke Gembira Loka Zoo, terutama dalam hal penggunaan kereta kelinci dalam mendistribusikan pengunjung.

3. Pengambilan data eksisting terkait *visitor management* di Candi Borobudur

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan observasi langsung di lapangan. Beberapa data diambil dengan *tally counter*, terutama dalam pengambilan data distribusi dan tingkat apresiasi pengunjung.

4. Penyusunan dan metode *visitor management*

Dari sintesa yang didapatkan dari tinjauan pustaka, data di lapangan, serta diperkuat dengan studi banding *visitor management* di situs lain, konsep *visitor management* disusun dengan mempertimbangkan sumber daya yang ada. Konsep yang disusun diujicoba di lapangan. Observasi dan wawancara akan dilaksanakan terhadap perilaku pengunjung yang mengikuti uji coba.

5. Penyempurnaan konsep *visitor management*

Dari observasi dan wawancara yang dilaksanakan pada saat uji coba, data yang dihasilkan akan dijadikan landasan dalam menyempurnakan metode yang telah disusun sebelumnya, untuk mendapatkan metode final yang dapat diaplikasikan di Candi Borobudur.

C. Analisis Data

1. Identifikasi Permasalahan

Dari tinjauan pustaka dan observasi yang dilakukan, ada 2 dampak negatif pengunjung yang berada di Candi Borobudur, yaitu:

1) Beban candi yang melebihi daya dukung fisik

Berdasarkan Kajian *Physical Carrying Capacity* Candi Borobudur yang dilaksanakan Balai Konservasi Borobudur pada tahun 2009, jumlah pengunjung yang diijinkan berada di atas candi pada waktu bersamaan adalah 1.391 orang. Dari data yang diperoleh dari kajian tersebut juga, jumlah pengunjung pada hari biasa dan akhir pekan masih di bawah jumlah tersebut. Akan tetapi, jumlah pengunjung per-jam pada saat *peak season* ternyata jauh melebihi jumlah tersebut. Hal ini menimbulkan kekhawatiran akan daya dukung fisik candi itu sendiri.

2) Vandalisme

Vandalisme dapat didefinisikan sebagai tindakan yang dapat berakibat rusaknya lingkungan. Pengunjung di Candi Borobudur masih terlihat sering melakukan tindakan merusak, seperti memanjat stupa dan dinding, merokok, buang sampah sembarangan, dan corat coret. Pengelola memang telah memasang papan peraturan tentang hal yang tidak boleh dilakukan selama berkunjung, tetapi banyak pengunjung yang tidak menghiraukan papan peringatan tersebut. Hasil pengamatan menggunakan *tally counter* memperlihatkan bahwa hanya 3,1% pengunjung yang melihat papan peraturan yang dipasang pada tangga naik menuju halaman candi.

Selain itu, dari pengamatan ditemukan bahwa tingkat

apresiasi dan kenyamanan pengunjung masih kurang.

3) Tingkat apresiasi kurang

Kurangnya tingkat apresiasi ini dapat terlihat dari banyaknya vandalisme yang dilakukan oleh pengunjung Candi Borobudur. Hal ini tentu berbanding lurus dengan interpretasi yang ada di candi. Apabila tingkat apresiasinya kurang, dapat diartikan bahwa interpretasi masih belum maksimal. Data pengamatan *tally counter* memperlihatkan bahwa hanya 3,7% pengunjung yang mau meluangkan waktu untuk membaca papan informasi yang diletakkan di sebelah utara dekat tangga turun. Selain itu, dari pengamatan langsung dapat dikatakan bahwa kualitas penyajian warisan budaya masih kurang lebih sama dengan hasil kajian penyajian kualitas penyajian warisan budaya oleh UGM pada tahun 1994. Hal ini menunjukkan tidak adanya peningkatan kualitas interpretasi selama 20 tahun.

4) Kenyamanan pengunjung masih dapat ditingkatkan

Dari data yang didapatkan dari Kajian Persepsi Pengunjung terhadap Kenyamanan Berkunjung di Candi Borobudur yang dilaksanakan pada tahun 2013, terdapat beberapa fasilitas dan pelayanan yang perlu ditingkatkan. Persepsi pengunjung memperlihatkan bahwa harga tiket masuk masih dirasa terlalu mahal. Temuan ini juga selaras dengan dengan Kajian *Visitor Management* di Taman Wisata Candi Borobudur dan Prambanan yang dilaksanakan oleh PT Taman Wisata Candi Borobudur, Prambanan, dan Ratu Boko pada tahun 2011.

D. Metode Visitor Management

Dari identifikasi permasalahan di atas, terdapat beberapa metode *visitor management* yang diharapkan dapat menjadi solusi dari permasalahan tersebut. Metode yang diusulkan adalah:

1. Pembatasan pengunjung

Pembatasan pengunjung dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengurangi beban candi yang berlebihan. Dalam tesis yang ditulis oleh Enny Ratnadewi yang berjudul *Pengelolaan Tinggalan Budaya melalui Pendekatan Visitor Management Studi Kasus Candi Borobudur*, data menunjukkan bahwa dalam konteks pelestarian candi, opini pengunjung menyatakan mendukung apabila dilakukan pembatasan pengunjung yang naik ke candi. Untuk metode pembatasan, perlu dilakukan kajian lebih lanjut yang melibatkan banyak pihak.

2. Memperpanjang rute pengunjung menuju candi

Opsi lain dalam mengurangi beban candi adalah dengan mengurangi jumlah pengunjung yang berada di candi pada saat yang sama. Pengurangan ini dapat dicapai dengan memperpanjang rute pengunjung menuju candi. Data pengamatan yang diperoleh di lapangan menunjukkan bahwa mayoritas pengunjung berada sekitar 30 – 60 menit di atas candi. Temuan ini selaras dengan Kajian Alur Pengunjung Candi Borobudur yang dilaksanakan Balai Konservasi Borobudur pada tahun 2010. Memperpanjang rute dilakukan dengan mengubah rute yang ada, yaitu dengan memaksa pengunjung untuk berputar mengikuti jalan aspal keliling candi searah jarum jam.

Rute kemudian dapat ditempuh dengan berjalan kaki, kereta, andong, atau sepeda. Dari data pengamatan *tally counter*, sebanyak 20% pengunjung menggunakan kereta

per jam nya. Prosentase ini paling tinggi dibandingkan dengan prosentase pengunjung yang menggunakan andong dan sepeda. Berdasarkan pengamatan tersebut, jalur kereta di Candi Borobudur dapat dimaksimalkan untuk mendistribusikan pengunjung dengan menggunakan metode *multistep*. Halte-halte pemberhentian dapat diletakkan di beberapa lokasi yang menarik untuk dikunjungi seperti museum, kandang gajah, dan sebagainya.

Selain itu, penggunaan peta yang dibagikan kepada pengunjung dapat membuat pengunjung untuk mengunjungi berbagai lokasi menarik yang ada. Dari uji coba yang dilakukan, semua responden setuju bahwa peta membuat mereka ingin mengunjungi berbagai lokasi menarik di Candi Borobudur. Uji coba menggunakan peta dan kereta menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk naik ke candi menjadi sekitar 30 - 45 menit. Dengan demikian, penggunaan rute pengunjung yang lebih panjang dapat meminimalisasi penumpukan pengunjung di atas candi.

3. Perbaiki media informasi untuk mengurangi vandalisme Papan peraturan yang ada terbukti tidak berfungsi secara optimal sehingga diperlukan adanya perubahan. Penggunaan media larangan berupa animasi terbukti lebih efektif dalam memberikan informasi kepada pengunjung. Selain itu, film yang diputar di ruang audio visual perlu untuk diganti karena masih menggunakan film lama yang menunjukkan gambar pengunjung yang memanjat stupa dan menyentuh patung Buddha di dalamnya. Selain itu, penggunaan *leaflet* dapat dioptimalkan, terutama dengan kewajiban memberikannya kepada pengunjung bersama dengan karcis masuk. *Leaflet* dapat didesain berisi

peraturan selama berkunjung di Candi Borobudur.

4. Penambahan jumlah satuan pengamanan

Penambahan jumlah satuan pengamanan dilakukan untuk 2 hal, yaitu untuk mengurangi vandalisme, sekaligus meningkatkan kenyamanan pengunjung.

5. Perbaikan media interpretasi

Penyajian papan informasi ditingkatkan untuk menarik pengunjung sehingga berkeinginan membaca informasi yang disediakan. Penyajian di museum juga harus diperbaiki untuk memberikan informasi lebih kepada para pengunjung. Selain itu, pelatihan pemandu juga diperlukan untuk menjaga kualitas pemandu terutama dalam memberikan informasi yang benar kepada pengunjung.

6. Peningkatan kenyamanan pengunjung.

Data yang diperoleh dari *Kajian Persepsi Pengunjung terhadap Kenyamanan Berkunjung di Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Pawon* dan *Kajian Visitor Management di Taman Wisata Candi Borobudur dan Prambanan* menunjukkan bahwa perlu adanya penambahan toilet dan tempat duduk untuk berteduh.\

BAB III PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan, permasalahan dalam *visitor management* di Candi Borobudur dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Beban candi yang melebihi daya dukung fisik
- b. Vandalisme
- c. Tingkat apresiasi kurang
- d. Kenyamanan pengunjung masih dapat ditingkatkan

B. Saran

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka metode *visitor management* yang direkomendasikan adalah:

1. Pembatasan pengunjung
Pembatasan pengunjung dapat menggunakan perhitungan Kajian *Physical Carrying Capacity* Candi Borobudur yang telah dilaksanakan pada tahun 2015 oleh Isni Wahyuningsih, dkk. Dari kajian tersebut, direkomendasikan bahwa angka pengunjung yang menaiki candi tidak boleh melebihi kurang lebih 15.300 orang per hari. Adapun pengunjung pada halaman candi dapat dibatasi sampai dengan 62.000 orang per hari.
2. Memperpanjang rute pengunjung menuju candi
Rute pengunjung yang ada saat ini sangat pendek sehingga memungkinkan terjadinya penumpukan pengunjung di Candi Borobudur. Pengunjung memerlukan waktu paling tidak 30 menit untuk berada di atas Candi Borobudur, sedangkan rute pengunjung dari loket menuju candi hanya memerlukan waktu sekitar 10 menit. Mengubah alur

kunjungan, dengan cara membalik kunjungan ke museum terlebih dahulu, dapat memperpanjang waktu yang dibutuhkan pengunjung untuk mencapai candi. Selain itu, penggunaan *Selfie Map*, sesuai dengan hasil kajian ini, dapat memperpanjang waktu mencapai candi minimal 35 – 45 menit. Perubahan alur kunjungan dan penggunaan *Selfie Map* harus diikuti dengan penggunaan media transportasi kereta kelinci dikarenakan budaya masyarakat Indonesia yang tidak suka berjalan jauh. Dengan melihat pengalaman di Gembira Loka Zoo Yogyakarta, kereta kelinci dapat secara efektif menyebarkan pengunjung melalui konsep halte-halte pemberhentian dan kereta kelinci yang dijalankan setiap 20 menit sekali.

3. Perbaikan media informasi untuk mengurangi vandalisme
Dari hasil kajian ini, diketahui bahwa prosentase pengunjung yang membaca media informasi yang disediakan tidak lebih dari 5%. Untuk itu, perlu adanya perbaikan media informasi yang lebih interaktif sehingga dapat menarik minat pengunjung untuk membacanya. Melalui media informasi yang menarik untuk dibaca pengunjung, pengunjung dapat mengetahui peraturan ketika berkunjung di candi sehingga dapat mengurangi tindakan yang merusak, seperti melakukan vandalisme. Sebuah tim dan kajian khusus diperlukan untuk menyusun sebuah media informasi yang mampu menarik minat pengunjung untuk membacanya.
4. Penambahan jumlah satuan pengamanan
Penambahan jumlah satuan pengamanan dilakukan dengan mempertimbangkan luas halaman dan candi serta durasi pengamanan. Kajian ini belum melakukan analisis khusus mengenai jumlah satuan pengamanan

yang diperlukan sehingga belum dapat memberikan rekomendasi jumlah minimal satuan pengamanan. Dalam pelaksanaan kajian, melalui wawancara informal dengan pengunjung, diketahui bahwa beberapa satuan pengamanan mempunyai tingkat disiplin yang rendah karena pengunjung merasa kesulitan untuk menemukan satuan pengamanan di atas candi pada waktu-waktu tertentu. Adapun perbaikan ke depan, perlu dilakukan adanya pembinaan terus menerus terhadap satuan pengamanan untuk mempertahankan kedisiplinan dalam menjaga dan mengamankan candi.

5. Perbaikan media interpretasi

Media interpretasi diperlukan untuk meningkatkan kesadaran pengunjung akan arti penting Candi Borobudur bagi masyarakat. Dengan mengetahui arti penting, secara sadar mereka akan ikut berpartisipasi dalam pelestarian Candi Borobudur. Kedepan perlu dilaksanakan kajian mendalam mengenai interpretasi dan media informasi di Candi Borobudur sehingga dapat memberikan pengetahuan yang lengkap kepada pengunjung.

6. Peningkatan kenyamanan pengunjung

Dari Kajian Persepsi Pengunjung terhadap Kenyamanan Berkunjung di Kompleks Candi Borobudur yang dilaksanakan oleh Panggah Ardiyansyah, dkk, pada tahun 2013, diketahui aspek-aspek peningkatan kenyamanan sebagai berikut:

- 1) Informasi jam buka tutup serta harga tiket harus terus disosialisasikan kepada masyarakat umum sehingga bagi mereka yang akan berkunjung ke Kompleks Candi Borobudur sudah mengetahui hal tersebut sebelumnya dan tidak merasa kecewa

jika pada akhirnya tidak dapat berkunjung. Jika diperlukan jam tutup loket tiket Taman Wisata dipercepat demi kenyamanan kunjungan mereka di Zona I Candi Borobudur.

- 2). Peningkatan sarana mitigasi bencana di Kompleks Candi Borobudur, terutama berupa jalur evakuasi yang dilengkapi dengan *signage* (papan tanda) jalur evakuasi dan titik kumpul, sarana *hidrant* yang berada di halaman.
- 3). Fasilitas toilet untuk ditambah dan diperbaiki kualitasnya, dapat berupa kebersihan toilet, pengharum ruangan, dan penambahan tanaman hijau.
- 4). Fasilitas tempat duduk untuk ditambah, dan bisa juga dilengkapi dengan fasilitas *wifi* gratis (terbatas) baik di Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Pawon agar para pengunjung dapat merasa nyaman dan bertambah informasi mengenai candi dan pelestariannya.
- 5). Penambahan tempat sampah serta peningkatan kebersihan lingkungan.
- 6). Pembenahan dan penambahan papan informasi (terutama di Candi Mendut dan Candi Pawon).
- 7). Peta Kompleks Candi Borobudur.
- 8). Denah lokasi keberadaan pengunjung sehingga mereka mengetahui dengan pasti dimana lokasi mereka berada.
- 9). Papan petunjuk arah (utara, timur, selatan, barat), papan petunjuk toilet, dan papan petunjuk keluar.
- 10). Pembenahan papan informasi yang ada sekarang dan pemasangan papan informasi candi yang baru,

disertai dengan penyesuaian konten atau isi papan informasi.

- 11). Papan larangan dan papan himbauan kepada pengunjung agar dapat turut serta dalam pelestarian candi.
- 12). Pembenahan area parkir, terutama di Candi Mendut dan Candi Pawon.
- 13). Pembenahan pasar souvenir dan pengasong.
- 14). Pembenahan pertamanan di Kompleks Candi Borobudur
- 15). Penambahan fasilitas *audio-guide*.
- 16). Penambahan media interaktif dalam museum atau dengan ruangan tersendiri
- 17). Penambahan area *Kids Corner*.

DAFTAR PUSTAKA

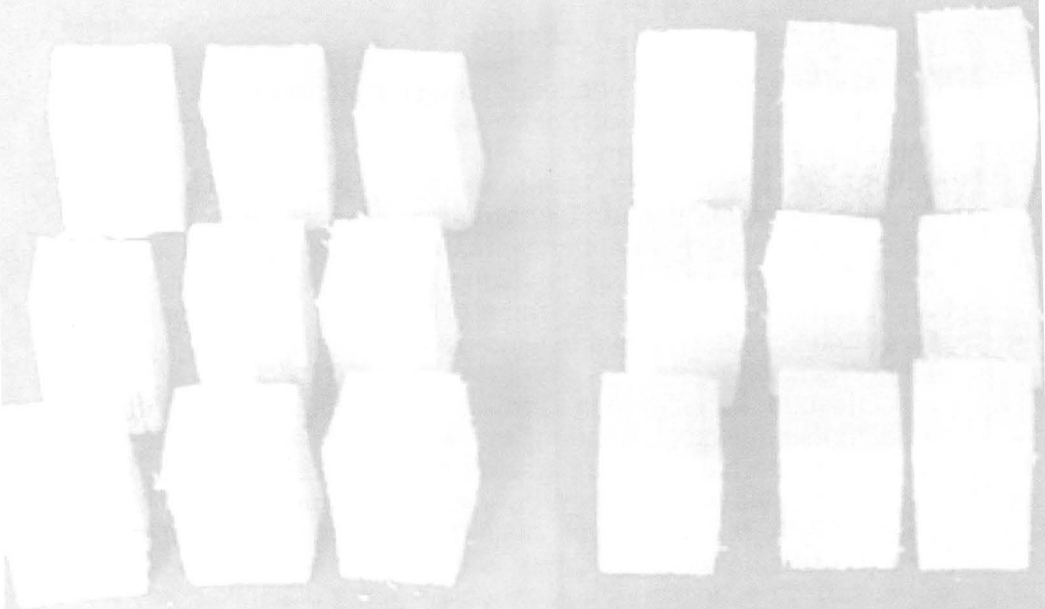
- Andi Muhammad Taufik. *Minimalisasi Dampak Negatif Pemanfaatan Candi Borobudur sebagai Objek Wisata*. Tesis S2, Prodi Arkeologi, Fakultas Ilmu Budaya UGM, 2004.
- Arthur Pedersen. *Managing Tourism at World Heritage Sites: A Practical Manual for World Heritage Site Managers*. Paris: UNESCO World Heritage Centre, 2002.
- B.M. Fielden dan J. Jokilehto. *Management Guidelines for World Heritage Sites*, (eds.). Roma: ICCROM, 1993.
- Daud Aris Tanudirjo, dkk. *Laporan Penelitian: Kualitas Penyajian Warisan Budaya Kepada Masyarakat*. Yogyakarta, 1994.
- Enny Ratnadewi. *Pengelolaan Tinggalan Budaya melalui Pendekatan Visitor Management Studi Kasus Candi Borobudur*. Tesis S2, Prodi Pariwisata, Fakultas Teknik, 2005.
- Gamini Wijesuriya, Jane Thompson, dan Chistopher Young. *Managing World Cultural Heritage*. Paris: UNESCO, 2013.
- ICOMOS. "International Cultural Tourism Charter". Meksiko, 1999.
- ICOMOS. *International Scientific Symposium Cultural Tourism*. ICOMOS, 1993.
- ICOMOS. "The Burra Charter." Australia, 1999.
- ICOMOS. "The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites". Quebec, 2008.

- Isni Wahyuningsih, dkk. *Kajian Evaluasi Fasilitas Pendukung Wisata di Jalur Pengunjung Kompleks Candi Borobudur*. Laporan Kajian, Balai Konservasi Borobudur. Magelang, 2007.
- Isni Wahyuningsih, dkk. *Kajian Physical Carrying Capacity Candi Borobudur*. Laporan Kajian, Balai Konservasi Borobudur. Magelang, 2009.
- Isni Wahyuningsih, dkk. *Kajian Alur Pengunjung Candi Borobudur*. Laporan Kajian, Balai Konservasi Borobudur. Magelang, 2010.
- Isni Wahyuningsih, dkk. *Kajian Visitor Management Candi Borobudur*. Laporan Kajian, Balai Konservasi Borobudur. Magelang, 2012.
- Michael Pearson and Sharon Sullivan. *Looking After Heritage Places, The Basics of Heritage Planning for Managers, Landowners and Administrators*. Malaysia: Melbourne University Press, 1995.
- Panggah Ardiyansyah, dkk. *Kajian Perilaku Pengunjung Candi Borobudur*. Laporan Kajian, Balai Konservasi Borobudur. Magelang, 2010.
- Panggah Ardiyansyah, dkk. *Kajian Persepsi Pengunjung terhadap Kenyamanan Berkunjung di Kompleks Candi Borobudur*. Laporan Kajian, Balai Konservasi Borobudur. Magelang, 2013.
- PT Taman Wisata Candi Borobudur, Prambanan, dan Ratu Boko. *Kajian Visitor Management di Taman Wisata Candi Borobudur dan Prambanan*. 2011.
- Wahyu Astuti. *Manajemen Pengunjung dalam Pelestarian Situs*

Tamansari. Tesis S2, Prodi Arkeologi, Fakultas Ilmu Budaya UGM, 2011.

Wiendu Nuryanti (ed). *Heritage, Tourism and Local Communities*.

Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1999.



6. KONSERVASI KAYU DENGAN BAHAN TRADISIONAL

Leliek Agung Haldoko, Winda Diah Puspita Rini,
Dwi Wahyanto, Arif Gunawan

KONSERVASI KAYU DENGAN BAHAN TRADISIONAL

Leliek Agung Haldoko, Winda Diah Puspita Rini, Dwi Wahyanto,
Arif Gunawan

Abstrak

Cagar budaya di Indonesia tersusun atas berbagai jenis material, antara lain kayu. Faktor yang berpengaruh terhadap kerusakan kayu diantaranya adalah serangan rayap dan jamur. Penggunaan bahan kimia dalam upaya pengawetan kayu telah banyak dilakukan, namun dikhawatirkan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap benda maupun lingkungannya baik secara langsung atau tidak langsung. Karena itu penggunaan bahan-bahan tradisional yang ramah lingkungan dapat menjadi solusi untuk mencegah kerusakan kayu dari serangan rayap maupun jamur.

Diantara bahan-bahan tradisional tersebut adalah lada hitam dan sereh wangi. Kandungan bahan aktif pada lada hitam dan sereh wangi dapat berfungsi sebagai insektisida dan fungisida alami. Lada hitam dan sereh wangi yang dipakai untuk pengujian adalah dalam bentuk minyak atsiri. Pengujian ini merupakan pengujian eksperimental. Untuk pengujian rayap digunakan kertas saring sedangkan untuk pengujian jamur digunakan kayu lunak yang diolesi minyak atsiri dengan konsentrasi 1 %, 2 %, dan 3 % dengan pelarut alkohol.

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan hasil yaitu minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam efektif untuk menangkal serangan rayap. Sedangkan untuk pengujian jamur didapatkan hasil bahwa minyak atsiri sereh wangi efektif untuk menghambat serangan jamur sedangkan minyak atsiri lada hitam tidak efektif. Semakin tinggi konsentrasi minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam maka semakin efektif untuk menghambat serangan rayap maupun jamur.

Kata kunci : Kayu, Rayap, Jamur, Sereh Wangi, Lada Hitam, Minyak Atsiri

Abstrak

Cultural heritages in Indonesia are made of various materials such as timber. Factors affecting the damages in timber are termite and mold. The use of chemical in preserving timber are commonly used, but recent trend shows that the use of chemical is feared to have negative impact in the artifacts and its environment, both directly and indirectly. The use of traditional substances, which are environmental friendly, could be a solution in preventing damage from termite and mold.

Among the traditional substances are black pepper and lemongrass. The active ingredients in black pepper and lemongrass can function as natural insecticide and fungicide. Black pepper and lemongrass used in the form of essential oil. The testing is experimental. For termite testing, filter paper is used, while mold testing use softwood applied by essential oil with concentration of 1 %, 2 %, with 3 % using alcohol solvent.

From the testing, it is known that essential oils of lemongrass and black pepper are effective in preventing termite attack. Essential oil of lemongrass is effective in controlling mold attack while essential oil of black pepper is not effective. The higher the concentration of essential oils of lemongrass and black pepper, the more effective the prevention from the termite and mold attack.

Keywords: Timber, Termite, Mold, Lemongrass, Black Pepper, Essential Oil

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Cagar budaya di Indonesia tersusun atas berbagai jenis material, antara lain kayu. Kayu merupakan benda organik sehingga mudah mengalami kerusakan dan pelapukan yang disebabkan oleh faktor biologi, fisik, serta mekanik. Peninggalan tersebut merupakan salah satu kekayaan budaya bangsa yang penting artinya bagi pemahaman dan pengembangan sejarah, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan, sehingga penting untuk dijaga kelestariannya.

Penggunaan bahan kimia dalam upaya pengawetan kayu telah banyak dilakukan. Penggunaan bahan kimia tersebut cukup efektif, namun dikhawatirkan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap benda maupun lingkungannya baik secara langsung atau tidak langsung. Karena itulah diperlukan penggunaan bahan-bahan lain untuk meminimalkan potensi dampak negatif yang bisa terjadi. Penggunaan bahan-bahan tradisional terutama dari tumbuhan telah mulai dikembangkan untuk menjawab permasalahan tersebut. Zat aktif insektisida berbahan baku alami yang diperoleh dari tumbuh-tumbuhan menjadi salah satu alternatif yang semakin dipertimbangkan (Sudjari dkk, 2013). Begitu juga biofungisida yang dapat diperoleh dari tumbuhan yang mengandung zat aktif sebagai desinfektan (Kardinan, 2000, dalam Utami, 2004).

Penggunaan bahan tradisional tembakau, cengkeh, dan pelepah pisang telah diketahui efektif sebagai bahan konservasi cagar budaya kayu (Cahyandaru dkk, 2010). Penggunaan bahan-bahan tradisional tersebut membuktikan secara nyata bahwa bahan tersebut efektif untuk mencegah kerusakan kayu yang

disebabkan oleh serangga-serangga perusak kayu khususnya rayap maupun pertumbuhan jamur, karena kajian konservasi kayu dengan bahan tradisional ini ditujukan untuk mengembangkan bahan-bahan tradisional lain yang dapat digunakan untuk mencegah kerusakan kayu yang disebabkan oleh serangan rayap maupun jamur. Bahan-bahan tradisional yang akan diuji dalam kajian ini adalah lada hitam dan sereh wangi dalam bentuk minyak atsiri. Dipilihnya kedua bahan ini karena kandungan bahan aktif pada lada hitam dan sereh wangi dapat berfungsi sebagai insektisida dan fungisida alami. Ruang lingkup kajian ini dibatasi pada pengujian laboratorium untuk mengetahui efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam dalam menghambat serangan rayap dan jamur pada kayu.

B. Metode Penelitian

1. Uji anti rayap

1) Persiapan umpan

Kertas dipotong sesuai dengan diameter gelas plastik, kertas saring dibuat jadi 2 bagian, atas dan bawah. Masing-masing bagian dibuat rangkap 2. Kertas yang digunakan adalah kertas saring laboratorium, yaitu kertas yang terutama mengandung selulosa dan tidak mengandung bahan kimia yang dapat membunuh rayap.



Gambar 6.1.1 kertas saring dipotong lingkaran

2) Pengolesan Bahan

Minyak atsiri sereh wangi maupun lada hitam dilarutkan dengan alkohol dalam beberapa variasi konsentrasi yaitu 1%, 2 %, dan 3 %. Sebagai pembanding digunakan kontrol yaitu kertas saring tidak diolesi minyak atsiri maupun pelarut dan kertas saring yang hanya diolesi dengan pelarut alkohol. Larutan dioleskan secara merata pada kertas saring menggunakan kuas. Kertas saring dibiarkan di udara terbuka sampai menjadi kering angin.



Gambar 6.1.2. Pengolesan bahan pada kertas saring

3. Pengumpanan rayap

Kertas saring diletakkan di dasar gelas plastik dan diusahakan bagian dasar tertutup rata oleh kertas saring. Masing-masing gelas diisi dengan 10 ekor rayap kayu kering, kemudian ditutup secara hati-hati dengan kertas saring yang kedua sehingga posisi rayap berada diantara kertas saring. Gelas yang sudah berisi rayap diletakkan di tempat gelap dan kering.



Gambar 6.1.3. Kondisi rayap kayu kering di dalam gelas

4) Pengamatan

Pengamatan pengumpanan dilakukan selama 20 hari. Rayap kayu kering yang mati selama penelitian dikeluarkan setiap hari dan dicatat. Setelah 20 hari kertas saring dan rayap dikeluarkan dari gelas.



Gambar 6.1.4. Kondisi tempat penyimpanan rayap

1. Uji anti jamur

1) Persiapan

a. Kayu dipotong dengan ukuran yang sama



Gambar 6.1.5. Sampel kayu yang dipakai untuk percobaan

b. Penumbuhan jamur pada media PDA



Gambar 6.1.6. Penanaman spora pada media PDA

2) Pengolesan bahan

Minyak atsiri sereh wangi maupun lada hitam dilarutkan dengan alkohol dalam beberapa variasi konsentrasi yaitu 1%, 2 %, dan 3 %. Sebagai pembanding digunakan kontrol yaitu kayu tidak diolesi minyak atsiri maupun pelarut dan kayu yang hanya diolesi dengan pelarut alkohol. Larutan dioleskan secara merata pada kayu menggunakan kuas. Kayu dibiarkan di udara terbuka sampai menjadi kering angin.



Gambar 6.1.7. Pengolesan minyak atsiri pada permukaan kayu

3. Pengumpulan jamur

Uji anti jamur dilakukan dengan meletakkan sampel kayu dalam media PDA yang telah ditumbuhi jamur. Setiap media PDA dimasukkan 3 balok kayu yang telah diolesi bahan yang sama dengan konsentrasi yang sama.



Gambar 6.1.8. Kayu ditempatkan pada media PDA

4) Pengamatan

Sampel kayu yang diletakkan dalam media PDA yang telah ditumbuhi jamur di amati setiap minggu selama 6 minggu dengan melihat persentase luas pertumbuhan jamur pada permukaan kayu dalam jangka waktu tertentu. Pengamatan dilakukan dengan melihat pertumbuhan jamur pada kayu yang telah diolesi minyak atsiri berbagai konsentrasi maupun kontrolnya.

BAB II

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Efektivitas Sereh Wangi dan Lada Hitam untuk Menangkal Serangan Rayap

Pengujian efektivitas sereh wangi dan lada hitam untuk menangkai serangan rayap dilakukan dalam bentuk minyak atsiri yang dilarutkan dalam alkohol dengan berbagai macam konsentrasi. Pengujian dilakukan pada media kertas saring karena kaya akan selulosa yang disukai rayap.

Tabel 6.2.1. Hasil pengujian efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam untuk mematikan rayap

Tanggal	Hari	Jumlah Rayap							
		Kontrol	Blanko	SW 1 %	SW 2 %	SW 3 %	LH 1 %	LH 2 %	LH 3 %
10-Sep-14	Hari 1	10	10	10	10	10	10	10	10
11-Sep-14	Hari 2	9	8	9	4	6	9	8	6
12-Sep-14	Hari 3	9	8	7	4	3	7	6	4
13-Sep-14	Hari 4	9	8	5	3	0	5	3	3
14-Sep-14	Hari 5	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt
15-Sep-14	Hari 6	9	8	3	1	0	4	2	1
16-Sep-14	Hari 7	9	8	2	0	0	3	1	0
17-Sep-14	Hari 8	9	8	1	0	0	2	1	0
18-Sep-14	Hari 9	9	8	0	0	0	2	1	0
19-Sep-14	Hari 10	9	8	0	0	0	0	0	0
20-Sep-14	Hari 11	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt
21-Sep-14	Hari 12	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt
22-Sep-14	Hari 13	9	8	0	0	0	0	0	0
23-Sep-14	Hari 14	9	8	0	0	0	0	0	0
24-Sep-14	Hari 15	9	8	0	0	0	0	0	0
25-Sep-14	Hari 16	9	8	0	0	0	0	0	0
26-Sep-14	Hari 17	9	8	0	0	0	0	0	0
27-Sep-14	Hari 18	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt
28-Sep-14	Hari 19	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt	tt
29-Sep-14	Hari 20	9	8	0	0	0	0	0	0

Keterangan

- Kontrol : sampel tidak diberi perlakuan apapun
- Blanko : sampel diolesi pelarut alkohol
- SW 1 % : sampel diolesi minyak atsiri sereh wangi 1 %
- SW 2 % : sampel diolesi minyak atsiri sereh wangi 2 %

SW 3 %	:	sampel diolesi minyak atsiri sereh wangi 3 %
LH 1 %	:	sampel diolesi minyak atsiri lada hitam 1 %
LH 2 %	:	sampel diolesi minyak atsiri lada hitam 2 %
LH 3 %	:	sampel diolesi minyak atsiri lada hitam 3 %
tt	:	tidak teramati

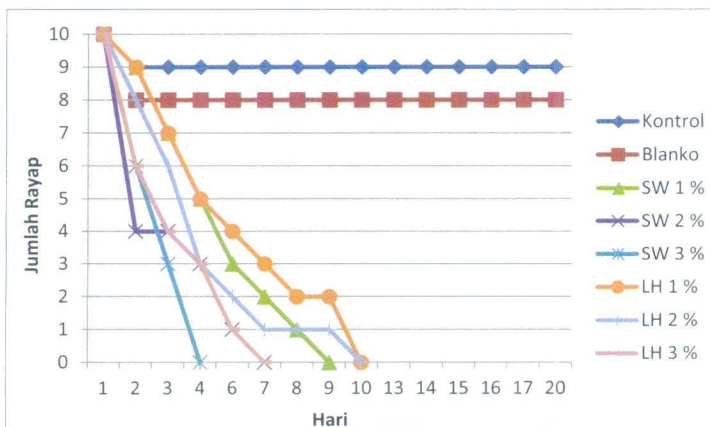
Rayap yang dipakai untuk pengujian ini adalah rayap kayu kering, karena rayap jenis inilah yang paling berpotensi menyerang bangunan kayu maupun benda-benda yang terbuat dari kayu. Tanda serangannya adalah terdapatnya butir-butir ekskremen kecil berwarna kecoklatan yang sering berjatuhan di lantai atau di sekitar kayu yang diserang. Rayap ini juga tidak berhubungan dengan tanah, karena habitatnya kering.

Cara pengujian ini adalah dengan menempatkan kertas saring yang telah diberi berbagai macam perlakuan ke dalam gelas plastik. Selanjutnya rayap kayu kering dimasukkan kedalam gelas plastik masing-masing 10 ekor. Dari pengamatan yang dilakukan selama 20 hari didapatkan hasil pada Tabel 2.1.

Data yang dihasilkan selanjutnya dibuat dalam bentuk grafik regresi untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara penggunaan minyak sereh wangi dan lada hitam dengan waktu kematian rayap (Grafik1).

Grafik 2.1. menunjukkan bahwa sereh wangi 3% paling cepat dalam mematikan seluruh rayap yaitu 4 hari. Berturut-turut kemudian adalah lada hitam 3% dan sereh wangi 2% (7 hari), sereh wangi 1% (9 hari), lada hitam 1 % dan 2% (10 hari). Sedangkan rayap yang berada pada sampel yang tidak diolesi minyak atsiri maupun yang hanya diolesi pelarut alkohol hanya mengalami kematian sebanyak 3 ekor dari total 20 rayap, selama pengamatan 20 hari. Ini menunjukkan bahwa penggunaan minyak sereh wangi maupun lada hitam mampu mematikan rayap. Hal ini kemungkinan disebabkan karena sereh wangi bekerja sebagai racun kontak dengan kandungan bahan aktif berupa sitronelal

dan geraniol yang menyebabkan kematian rayap. Menurut Kardinan (1992, dalam Hardi dkk, 2007) serah wangi tidak membunuh rayap secara cepat, tetapi berpengaruh mengurangi nafsu makan, pertumbuhan, daya reproduksi, proses ganti kulit, hambatan menjadi serangga dewasa, sebagai pemandul, serta mudah diabsorpsi. Begitu juga bahan aktif piperin dalam lada hitam yang dapat menjadi *repellent* bagi serangga.



Grafik 6.2.1. Efektivitas minyak atsiri serah wangi dan lada hitam untuk menangkal serangan rayap

Selain itu pada Grafik 2.1 juga terlihat bahwa dalam konsentrasi yang sama, minyak serah wangi lebih cepat dalam mematikan rayap dibandingkan dengan minyak lada hitam. Hal ini kemungkinan disebabkan karena bahan aktif dalam serah wangi mempunyai sifat yang lebih beracun bagi rayap jika dibandingkan dengan lada hitam. Sifat *repellent* dan pengurang nafsu makan rayap dibuktikan dengan kondisi kertas saring setelah pengamatan. Pada sampel kontrol dan blanko terlihat kondisi kertas saring terdapat bekas dimakan oleh rayap (Gambar 2.1).



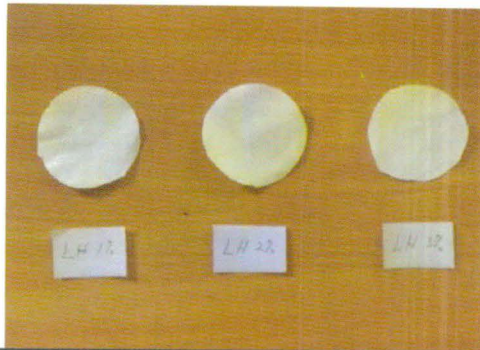
Gambar 6.2.1. Kondisi kertas saring terdapat bekas dimakan oleh rayap

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa rayap menyerang kertas saring yang tidak diolesi bahan maupun yang hanya diolesi pelarut alkohol. Sedangkan kertas saring yang diolesi minyak serih wangi relatif terbebas dari serangan rayap. Ini ditunjukkan pada Gambar 2.2 yang memperlihatkan kondisi kertas saring yang masih relatif utuh.



Gambar 6.2.2. Kondisi kertas saring yang diolesi minyak serih wangi relatif terbebas dari serangan rayap

Begitu juga dengan kondisi kertas saring yang diolesi minyak lada hitam yang masih relatif utuh (Gambar 2.3).



Gambar 6.2.3. Kondisi kertas saring yang diolesi minyak lada hitam relatif terbebas dari serangan rayap

Dari kondisi tersebut maka dapat diambil suatu hipotesis bahwa ketika minyak sereh wangi maupun lada hitam diaplikasikan pada bangunan kayu, maka rayap tidak akan memakan kayu.

B. Pengujian Efektivitas Sereh Wangi dan Lada Hitam untuk Menghambat Serangan Jamur

Pengujian efektivitas sereh wangi dan lada hitam untuk menghambat serangan jamur pada kayu dilakukan dalam bentuk minyak atsiri yang dilarutkan dalam alcohol dengan berbagai macam konsentrasi. Konsentrasi yang dipakai sama seperti yang digunakan dalam pengujian rayap yaitu masing-masing 1%, 2%, dan 3%. Kayu yang dipakai dalam pengujian ini adalah jenis kayu sengon karena jenis kayu ini merupakan jenis kayu yang lunak, mempunyai berat jenis yang rendah dan pori-pori yang besar serta bertekstur kasar sehingga akan lebih mudah untuk ditumbuhi jamur. Dengan karakteristik kayu sengon yang seperti itu diharapkan pengamatan akan lebih mudah dan lebih cepat dilakukan karena dalam waktu yang relative lebih singkat sudah akan ditumbuhi jamur.

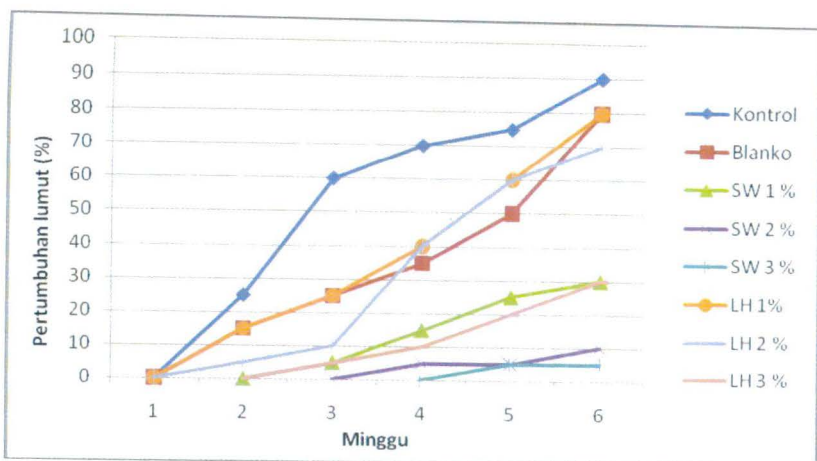
Cara pengujian ini adalah dengan menempatkan masing-masing 3 sampel kayu yang telah diberi berbagai macam perlakuan kedalam media PDA yang telah ditumbuhi jamur. Pengamatan dilakukan dengan melihat persentase luas pertumbuhan jamur pada permukaan kayu. Dari pengamatan yang dilakukan selama 6 minggu didapatkan hasil sebagai berikut (Tabel 6.2.2) :

Tabel 6.2.2 Hasil pengujian efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam untuk menghambat pertumbuhan jamur

Tanggal	Minggu	Pertumbuhan Jamur (%)							
		Kontrol	Blanko	SW 1 %	SW 2 %	SW 3 %	LH 1 %	LH 2 %	LH 3 %
6-Aug-14	Minggu 1	0	0	0	0	0	0	0	0
11-Aug-14	Minggu 2	25	15	0	0	0	15	5	0
20-Aug-14	Minggu 3	60	25	5	0	0	25	10	5
27-Aug-14	Minggu 4	70	35	15	5	0	40	40	10
2-Sep-14	Minggu 5	75	50	25	5	5	60	60	20
9-Sep-14	Minggu 6	90	80	30	10	5	80	70	30

Keterangan

- Kontrol : sampel kayu tidak diberi perlakuan apapun
- Blanko : sampel kayu diolesi pelarut alkohol
- SW 1 % : sampel kayu diolesi minyak atsiri sereh wangi 1 %
- SW 2 % : sampel kayu diolesi minyak atsiri sereh wangi 2 %
- SW 3 % : sampel kayu diolesi minyak atsiri sereh wangi 3 %
- LH 1 % : sampel kayu diolesi minyak atsiri lada hitam 1 %
- LH 2 % : sampel kayu diolesi minyak atsiri lada hitam 2 %
- LH 3 % : sampel kayu diolesi minyak atsiri lada hitam 3 %



Grafik 2.2. Efektivitas minyak atsiri sereh wangi dan lada hitam untuk menghambat serangan jamur

Data yang dihasilkan selanjutnya dibuat dalam bentuk grafik regresi untuk menentukan hubungan sebab akibat antara penggunaan minyak sereh wangi dan lada hitam dengan waktu pertumbuhan jamur pada permukaan kayu (Grafik 2.2).

Grafik 2.2 menunjukkan bahwa pada sampel kontrol dan sampel blanko pertumbuhan jamur dimulai pada minggu ke-2 dan terus meningkat pada minggu berikutnya. Pada pengamatan minggu ke-6 pertumbuhan jamur telah mencapai 90% dan 80%.

Untuk kayu yang diolesi minyak sereh wangi, pada sampel SW 1% pertumbuhan jamur dimulai pada minggu ke-3 dan pada pengamatan minggu ke-6 pertumbuhan jamur telah mencapai 30%. Sampel SW 2% pertumbuhan jamur dimulai pada minggu ke-4 dan pada pengamatan minggu ke-6 pertumbuhan jamur telah mencapai 10%. Sampel SW 3% pertumbuhan jamur dimulai pada minggu ke-5 dan pada pengamatan minggu ke-6 pertumbuhan jamur telah mencapai 5%. Untuk kayu yang diolesi minyak lada hitam pada sampel LH 1% pertumbuhan

jamur dimulai pada minggu ke-2 dan pada pengamatan minggu ke-6 pertumbuhan jamur telah mencapai 80%. Sampel LH 2% pertumbuhan jamur dimulai pada minggu ke-2 dan pada pengamatan minggu ke-6 pertumbuhan jamur telah mencapai 70%. Sampel LH 3% pertumbuhan jamur dimulai pada minggu ke-3 dan pada pengamatan minggu ke-6 pertumbuhan jamur telah mencapai 30%.

Dari data tabel dan grafik yang ada terlihat bahwa kayu yang diolesi minyak sereh wangi relatif lebih sedikit ditumbuhi jamur dibandingkan dengan kayu yang diolesi minyak lada hitam, kayu yang diolesi alkohol maupun kayu yang tidak diberi perlakuan apapun. Minyak sereh wangi mampu menghambat serangan jamur pada permukaan kayu dengan cukup efektif. Rata-rata pertumbuhan jamur pada permukaan kayu sampai dengan minggu ke-6 hanya 15%. Hal yang samatidakterjadipada penggunaan minyak lada hitam karena dari data yang ada, rata-rata pertumbuhan jamur pada permukaan kayu sampai dengan minggu ke-6 telah mencapai 60%. Data ini memperlihatkan bahwa minyak lada hitam tidak efektif untuk menghambat serangan jamur pada permukaan kayu. Angka ini memang masih lebih kecil dibandingkan dengan kayu yang tidak diberi perlakuan apapun maupun kayu yang diolesi pelarut alkohol, yang sampai dengan minggu ke-6 serangan jamur pada permukaan kayu telah mencapai 90 % dan 80%. Tetapi karena selisihnya yang tidak terlalu besar sehingga minyak lada hitam tidak efektif untuk menghambat serangan jamur.

BAB III

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian minyak atsiri serih wangi dan lada hitam untuk menghambat serangan rayap dan jamur didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Minyak atsiri serih wangi dan lada hitam dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3% efektif untuk menangkal serangan rayap
2. Minyak atsiri serih wangi efektif untuk menghambat pertumbuhan jamur pada kayu
3. Minyak atsiri lada hitam tidak efektif untuk menghambat pertumbuhan jamur pada kayu
4. Minyak atsiri serih wangi dengan konsentrasi 3% memberikan hasil yang paling efektif dalam menangkal serangan rayap dan jamur pada kayu

B. Saran

1. Melakukan pengamatan secara kontinyu mengenai berapa lama minyak atsiri serih wangi dan lada hitam dapat bertahan pada objek yang diolesi
2. Melakukan pengujian bahan-bahan alam lain untuk konservasi kayu

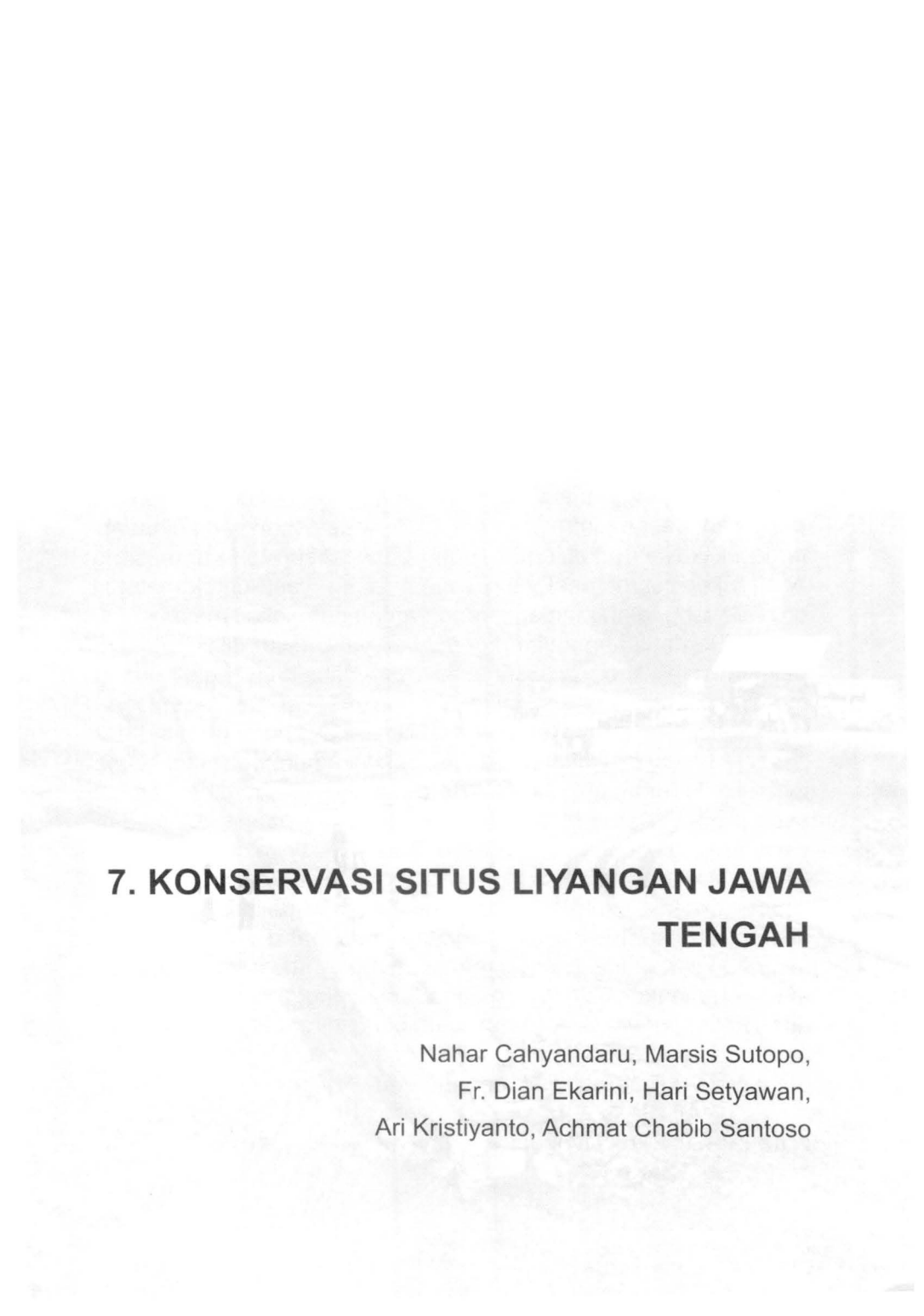
DAFTAR PUSTAKA

- Baskoro, A.D., Subandi dan Naanthe Kumar. 2011. *Uji Efektivitas Ekstrak Lada Hitam (Piper nigrum) sebagai Penolak (Repellent) Semut Api Solenopsis sp.* Universitas Brawijaya. Malang.
- Cahyandaru, N., Parwoto dan Arif G. 2010. *Konservasi Cagar Budaya Berbahan Kayu dengan Bahan Tradisional.* Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Magelang.
- Cahyandaru, N., Sijanto, Her S. Arif G. 2005. *Efektifitas Ekstrak Tembakau dan Cengkeh Sebagai Bahan Pengawet Untuk Konservasi Kayu.* Balai Konservasi Borobudur. Magelang.
- Ginting, Santosa. 2004. *Pengaruh Lama Penyulingan Terhadap Rendemen dan Mutu Minyak Atsiri Daun Sereh Wangi.* e-USU Repository 2004. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Hardi, T., dan R. Kurniawan, 2007, *Pengendalian Rayap Tanah pada Tanaman Kayu Putih dengan Ekstrak Sereh Wangi.* Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan.
- Mardani, R., Jasmi, Armin, L.Z. *Pengaruh Ekstrak Serai (Andropogon Nardus L.) terhadap Kunjungan Lalat Buah.* Jurnal STKIP PGRI. STKIP PGRI Sumatera Barat.
- Sudjari, N. Lestari dan S. Ramakrishnan. 2013. *Uji Potensi Ekstrak Ethanol Lada Hitam (Piper nigrum) sebagai Insektisida terhadap Kecoa (Periplaneta sp.) dengan Metode*

Semprot. Jurnal Penelitian. Universitas Brawijaya. Malang.

Sukanto, M. Djazuli dan D. Suheryadi. 2011. *Serai Wangi (Cymbopogon nardus L) sebagai Penghasil Minyak Atsiri, Tanaman Konservasi dan Pakan Ternak*. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Perkebunan. Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik. Bogor.

Utami, L.B. 2004. *Efektivitas Serai Wangi (Cymbopogon nardus Linn) sebagai Bio Fungisida pada Pengendalian Sclerotium rolfsii Sacc Penyebab Busuk Pangkal Batang pada Tanaman Cabai Merah (Capsicum annum L)*. Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Tahun 2004. Universitas Muhammadiyah Semarang.



7. KONSERVASI SITUS LIYANGAN JAWA TENGAH

Nahar Cahyandaru, Marsis Sutopo,
Fr. Dian Ekarini, Hari Setyawan,
Ari Kristiyanto, Achmat Chabib Santoso

KONSERVASI SITUS LIYANGAN JAWA TENGAH

Nahar Cahyandaru, Marsis Sutopo, Fr. Dian Ekarini, Hari Setyawan, Ari Kristiyanto, Achmat Chabib Santoso

Abstrak

Situs Liyangan merupakan situs dengan kompleksitas dan keragaman data arkeologis yang sangat tinggi. Ragam data dan karakter ini tergolong istimewa, mengingat inilah satu-satunya situs dari masa Mataram Kuno yang tidak hanya berupa bangunan keagamaan, namun juga adanya unsur hunian, pertanian, beserta infrastrukturnya. Permasalahan yang dihadapi pada ekskavasi arkeologi maupun penggalian oleh penambang adalah kondisi material yang sangat rapuh, yaitu untuk material organik yang telah menjadi arang dan mudah sekali rusak.

Berdasarkan kajian konservasi yang telah dilaksanakan, pelestarian yang dilaksanakan di Situs Liyangan perlu memperhatikan analisis risiko dengan mencermati kerentanan dari masing-masing komponen situs. Dokumentasi sangat penting untuk dilakukan, terutama pada komponen situs yang memiliki kerentanan tinggi. Artefak arang dapat dikonservasi secara *ex situ* atau *in situ* dengan beberapa bahan konsolidan yang telah dicoba, yaitu Paraloid B-72, Epoxy resin, dan PEG. Pemilihan konsolidan yang dipergunakan berdasarkan pada kondisi artefak, ukuran, rencana display, dan pelindungan yang akan dilakukan. Konservasi lingkungan sangat diperlukan untuk melindungi kondisi lingkungan situs agar stabil dan mampu mempertahankan kelestarian unsur-unsur tinggalan budaya yang ada. Pelindungan artefak dan fitur perlu direncanakan dengan baik agar dapat melindungi objek yang dilestarikan sekaligus untuk dapat diinformasikan kepada masyarakat.

Kata kunci : Situs Liyangan, Konservasi situs, Material ter-arang

Abstract

Liyangan site has a very high complexity and diversity of archaeological data. The variety of archaeological data shows as a special character site, since it is the only site of the Ancient Mataram period which is not only a religious building, but also the elements of residential, agriculture, and infrastructure. Problems faced in archaeological excavation and traditional miners was the very fragile material conditions, which is the organic material that has become charred and easily damaged.

Based on conservation study that have done, preservation activity at Liyangan site need to pay attention to risk assesment by examining the vulnerability of the individual components of the site. Documentation is very important to do, especially on site components that have high vulnerability. Charred artifacts can be conserved in both ex situ or in situ with some consolidant materials that have been tested, such as Paraloid B-72, Epoxy resin, and PEG. Consolidant material selection is based on the condition of artifacts, size, display and protection plans that will be done. Environmental conservation is necessary to protect the site environmental conditions to be stable and be able to protect and preserve all of the cultural elements. Preservation of artifacts and features should be well planned in order to protect objects and at the same time can be promote as information to the public.

Keyword : *Liyangan site, Site conservation, Charred material*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Situs Liyangan terletak di Dusun Liyangan, Desa Purbosari, Kecamatan Ngadirejo, Kabupaten Temanggung berjarak \pm 20 km arah Timur laut Kota Temanggung, dan \pm 3 km dari kota Kecamatan Ngadirejo. Secara Astronomi Situs Liyangan terletak pada koordinat $7^{\circ} 15' 07,0''$ LS – $110^{\circ} 01' 37, 4''$ BT, berada di lereng Timur laut Gunung Sindoro pada ketinggian 1.174 m dpl.

Keberadaan tinggalan purbakala di Situs Liyangan sebenarnya sudah diketahui cukup lama, karena adanya indikasi temuan artefak seperti yoni di persawahan. Namun keberadaan tinggalan yang lebih kompleks dari Situs Liyangan baru ditemukan pada tahun 2008 ketika dilakukan aktivitas penambangan pasir di daerah tersebut. Sejak saat itu dilakukan penggalian arkeologi bersama dengan penambangan pasir yang cukup intensif. Temuan-temuan selanjutnya semakin membuka pengetahuan tentang kekayaan tinggalan budaya masa Mataram Kuno yang tersimpan. Temuan yang paling membangkitkan keyakinan akan pentingnya situs Liyangan adalah adanya jalan kuno yang tersusun atas tatanan batu. Jalan ini menunjukkan adanya kompleks besar dengan bagian-bagiannya yang satu sama lain terhubung dengan jalan utama ini serta teras-teras yang ada.

Berdasar temuan yang ada saat ini Situs Liyangan merupakan situs dengan karakter kompleks yaitu sebagai situs permukiman, situs ritual, dan situs "pertanian". Kompleksitas karakter tersebut menunjukkan bahwa situs Liyangan adalah lokasi bekas pedusunan yang pernah berkembang pada masa Mataram Kuno. Area yang ada cukup luas, tidak kurang dari 6 Ha dengan berbagai data arkeologi yang menunjukkan banyaknya

unsur dari sebuah “pedusunan” dari masa lampau pada sekitar era Mataram Kuno. Berbagai temuan struktur maupun temuan lepas tersebar dan besar kemungkinan masih banyak yang terpendam di dalam tanah. Penemuan pertama berupa talud, yoni, arca, dan batu-batu candi, penemuan selanjutnya adalah sebuah bangunan candi yang tinggal bagian kakinya dan di atasnya terdapat sebuah yoni yang sangat unik. Tidak seperti biasanya yang hanya mempunyai satu lubang, yoni tersebut mempunyai tiga lubang. Temuan selanjutnya adalah temuan rumah panggung dari kayu yang hangus terbakar, berdiri di atas talud dari batu putih setinggi 2,5 m. Penemuan-penemuan struktur lain juga terus terjadi seiring dengan pembukaan lahan yang sekaligus mengambil pasir yang menutupi. Selain penemuan struktur bangunan dan fitur, temuan artefak lepas juga sangat kaya, terdiri atas keramik-keramik, gerabah, logam, dan lain-lain.

Secara umum, potensi data arkeologis Situs Liyangan sangat tinggi, berdasarkan data yang telah ada antara lain: luas situs, keragaman temuan berupa bangunan talud, candi, bekas rumah yang terbuat dari kayu dan bambu, struktur-struktur bangunan batu, komponen bangunan candi, lampu dari bahan tanah liat, serta wadah tembikar berbagai bentuk. Ragam data dan karakter ini tergolong istimewa, mengingat inilah satu-satunya situs yang mengandung data arkeologi berupa sisa rumah dari masa Mataram Kuno.

Permasalahan yang dihadapi pada pengambilan data ekskavasi arkeologi maupun penggalian oleh penambang adalah kondisi material yang sangat rapuh, yaitu untuk material organik. Bencana yang terjadi telah menghancurkan struktur rumah serta merubah material organik menjadi arang. Hampir semua material organik berupa kayu, bambu, tulang, dan lain-lain telah menjadi arang dan mudah sekali rusak.

Beberapa tahapan penelitian telah dilakukan untuk semakin memahami nilai penting Situs Liyangan oleh beberapa pihak. Penelitian-penelitian tersebut diharapkan dapat mengungkap lebih jauh Situs Liyangan dengan nilai-nilai penting yang terkandung, serta melakukan upaya semaksimal mungkin untuk menjaga kelestariannya. Dalam hal kajian pelestarian Balai Konservasi Borobudur melakukan kajian konservasi situs/kawasan untuk menjaga kelestariannya untuk jangka panjang, mengingat beberapa jenis material seperti temuan arang, talud boulder, dan beberapa fitur sangat rawan mengalami kerusakan. Beberapa penelitian/kajian yang dilakukan penting untuk disosialisasikan untuk memberikan informasi kepada masyarakat sekaligus meningkatkan kesadaran untuk melestarikan.

B. Maksud dan Tujuan Penelitian

Kajian ini mempunyai maksud untuk membuat suatu rancangan dan tahapan pelestarian kawasan yang merupakan penyangga utama dari Situs Liyangan. Adapun kawasan yang dimaksud dalam hal ini merupakan daerah di dalam dan di sekitar Situs Liyangan termasuk di dalamnya adalah permukiman penduduk, lahan tegalan, kebun, anak sungai, dan lahan galian pasir/batu.

Untuk mencapai maksud dari pelestarian Kawasan Situs Liyangan, maka tujuan yang hendak dicapai dalam kajian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui kondisi lingkungan situs dengan perekaman data lingkungan;
- 2) Mengetahui metode konsolidasi temuan material arang dengan bahan PEG, Epoxy, dan Paraloid serta penerapannya di laboratorium dan lapangan;
- 3) Mengetahui metode konservasi terhadap material temuan

- lain (keramik, gerabah, batu, logam, dan lain-lain);
- 4) Mengetahui metode konservasi lingkungan pendukung situs (tebing, talud, drainase, vegetasi, dan unsur lingkungan lainnya);
 - 5) Mengkaji konservasi unsur-unsur lain yang memiliki nilai penting di situs dan lingkungan sekitarnya.

C. Batasan Kegiatan

Batasan kegiatan Konservasi Situs Liyangan ditentukan dalam rangka mempertajam implementasi maksud dan tujuan. Selain itu, batasan kegiatan juga diharapkan membatasi lingkup kajian sehingga kajian ini tidak melebar pada hal-hal yang tidak sesuai dengan maksud dan tujuan. Untuk itu maka batasan ruang kajian Konservasi Situs Liyangan adalah sebagai berikut :

- 1) Uji konsolidasi material arang di laboratorium;
- 2) Pengamatan untuk tindakan konservasi terhadap fragmen artefak berbahan tembikar dan keramik di lapangan maupun di laboratorium;
- 3) Pengambilan dan analisa data lingkungan Situs Liyangan;
- 4) Usulan garis besar rencana pelestarian Situs Liyangan.

D. Tinjauan Pustaka

1. Situs Liyangan

1) Kondisi Situs

Secara administratif Situs Liyangan berada di Desa Purbosari, Kecamatan Ngadirejo, Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Di Indonesia, Situs Liyangan sangat terkenal pada tahun 2010 ketika tim penelitian Balai Arkeologi Yogyakarta menemukan komponen-komponen kayu, bambu, dan ijuk yang diduga sisa sebuah bangunan.

Saat ditemukan, komponen-komponen tersebut berwujud arang dan berada di dalam lapisan materi vulkanik. Dugaan sementara, kondisi ini disebabkan oleh materi letusan Gunung Sindoro, sebuah gunung api yang letaknya paling dekat dengan Situs Liyangan. Situs Liyangan memang berada di lereng timur laut Gunung Sindoro pada ketinggian 1100 - 1200 meter dpl. Secara geomorfologis Situs Liyangan terletak pada perbukitan bergelombang sedang pada tekuk lereng ke-2 pada elevasi 1127 m - 1165 m dpl. Morfologi ini tersusun oleh endapan batuan piroklastika dan endapan aliran piroklastika "awan panas" dengan ketebalan bervariasi antara (4 - 7) meter. Pola pengaliran di daerah ini adalah berpola pengaliran radial, yaitu pola pengaliran sungai yang berasal dari satu titik (Nurnusanto dalam Sugeng Riyanto, 2013).

2) Potensi Data Arkeologi

Secara umum, potensi data arkeologis Situs Liyangan tergolong tinggi, berdasarkan indikasi antara lain: luas situs, keragaman data berupa bangunan talud, candi, bekas rumah yang terbuat dari kayu dan bambu, struktur-struktur bangunan batu, komponen bangunan candi, lampu dari bahan tanah liat, serta wadah tembikar berbagai bentuk. Selain itu juga diperoleh informasi berupa: 1). struktur bangunan batu, 2). temuan tulang dan gigi hewan, 3) sisa padi. Berdasarkan gambaran potensi hasil survei penjajagan, maka dapat disimpulkan bahwa Situs Liyangan merupakan situs dengan karakter kompleks. Indikasi sebagai situs permukiman, situs ritual, dan situs "pertanian" didapatkan di Situs Liyangan. Kompleksitas karakter tersebut membawa ke pemikiran bahwa Situs Liyangan adalah bekas pedusunan yang pernah berkembang pada masa Mataram Kuna. Ragam data dan karakter ini

tergolong istimewa, mengingat inilah satu-satunya situs yang mengandung data arkeologi berupa sisa rumah dari masa Mataram Kuna. Batasan imajiner Situs Liyangan hasil survei meliputi batas tambang pasir sekarang hingga lokasi temuan yoni. Secara keseluruhan, luas Situs Liyangan tidak kurang dari 6 Ha. Di dalam area tersebut data arkeologi tersebar yang menunjukkan sebuah situs “pedusunan masa Mataram Kuna”. Mengingat sebagian besar area situs tertimbun lahar yang sekarang ditambang, sangat mungkin luasan situs jauh lebih luas dari hasil survei.

2. Kajian Terdahulu Mengenai Konservasi Artefak Arang

1) Pengujian Ekspos Material

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi sampel yang terekspos setelah penggalian. Bagaimana kerusakan material yang terjadi dan seberapa cepat proses kerusakan berlangsung. Berdasarkan data yang diperoleh dapat diketahui gambaran interaksi material dengan lingkungan selama diekspos. Material yang terekspos akan mengalami beberapa gejala kerusakan, antara lain retak, bagian yang lepas, dan semakin rapuh. Data pengukuran kandungan air menunjukkan bahwa selama ekspos, kandungan air akan menurun secara bertahap. Penurunan ini terjadi karena kandungan air dalam material sangat tinggi, dan kelembaban udara pada saat ekskavasi relatif rendah. Air akan keluar dari dalam material ke udara. Pada proses keluarnya air ini akan menyebabkan perubahan sifat material kayu, karena adanya rongga yang ditinggalkan. Proses keluarnya air ini juga akan menyebabkan pengerutan material karena sifat air yang menarik permukaan pori-pori pada saat keluar dari dalam

material. Pengujian ekspos ini dapat menjelaskan kerusakan yang terjadi dari material setelah diangkat dari tanah.

Meskipun demikian dampak pengerutan yang terjadi tidak terlalu besar, karena sel-sel kayu telah berubah secara total pada saat berubah menjadi arang. Hal ini sangat berbeda dengan kayu bawah air yang belum menjadi arang, dimana pengerutan yang terjadi bisa sangat ekstrim. Kayu yang belum menjadi arang masih memiliki dinding sel alami yang akan mengalami perubahan drastis jika air di dalamnya keluar. Kayu yang telah menjadi arang sebagaimana sampel yang diuji pada penelitian ini dinding selnya sudah rusak dan sifat-sifat alami sel sudah hilang. Dampak yang terjadi pada peristiwa pengeringan lebih pada kerapuhan material, karena pada dasarnya arang merupakan material yang rapuh.

Sifat ini menarik untuk dikaji lebih dalam, karena di satu sisi material mudah mengalami kerapuhan tapi di sisi lain pengerutannya tidak terlalu besar. Tentu saja hal ini akan berdampak pada metode konservasi yang dapat digunakan. Dengan rusaknya sel-sel kayu yang menjadi arang, maka proses keluarnya air relatif menjadi lebih cepat. Hal ini dapat dilihat dari grafik kandungan air selama proses ekspos. Pada sampel kayu, grafik telah menunjukkan nilai yang konstan pada hari ke-3. Nilai yang konstan berarti kayu telah mengalami kesetimbangan dengan kelembaban udara. Data ini juga penting untuk penerapan di lapangan, yaitu untuk menjaga agar material tidak terekspos sepenuhnya selama kegiatan ekskavasi. Jika material dibiarkan terekspos lebih dari dua hari, maka kemungkinan akan mengalami kerusakan.

Sedangkan untuk perumusan metode konservasi, hal ini juga penting untuk menjadi dasar pemikiran. Sifat sel kayu yang telah rusak juga memungkinkan metode konservasi

dengan konsolidasi. Cara yang dapat dipilih adalah konsolidasi dengan bahan konsolidan menggunakan pelarut yang sesuai. Bahan konsolidan yang umum digunakan adalah Paraloid B-72 yang relatif mudah didapat dan memiliki sifat konsolidasi yang cukup baik. Pelarut akan menentukan penetrasi bahan ke dalam material, sehingga pemilihan pelarut akan menjadi kajian yang penting untuk dilakukan.

2) Penanganan Material

Penanganan dan transportasi material sangat penting untuk diteliti secara lebih mendalam, karena material sangat mudah rusak setelah diekskavasi. Dalam pengalaman ekskavasi terdahulu, material yang diangkat dari kotak galian cepat sekali rusak. Jika konservasi tidak bisa dilakukan di situs, maka penting untuk mengetahui cara yang aman agar benda dapat sampai ke laboratorium dalam kondisi masih baik. Dalam penelitian ini terdapat beberapa sampel temuan yang akan dikonservasi di laboratorium. Sebagian sampel digunakan untuk uji coba, dan sebagian lainnya hendak dikonservasi.

Metode yang dikembangkan untuk transportasi adalah sebagai berikut :

- a) Sampel yang akan dibawa dibersihkan secara manual dengan kuas halus untuk menghilangkan tanah dan pengotor lainnya.
- b) Sampel segera dibungkus dengan plastik wrap dengan kencang sehingga tidak ada bagian yang terbuka.
- c) Sampel yang telah dibungkus dengan plastik wrap dimasukkan dalam kotak plastik sesuai ukuran sampel. Pada bagian bawah ditempatkan koran bekas dan lembaran busa. Koran bekas dan busa dibasahi dengan

air dan dijaga agar selalu basah. Sampel ditempatkan di atas busa dan selanjutnya ditutup lagi dengan busa. Apabila masih ada tempat, dapat dimasukkan beberapa sampel dengan diberi bantalan busa agar satu sama lain tidak saling membentur.

- d) Air dapat ditambahkan untuk memastikan kondisi kotak selalu basah. Isi kotak diusahakan penuh dengan sampel dan busa atau koran bekas sehingga isi di dalam kotak dapat stabil/ tidak terguncang.
- e) Setelah sampai di lokasi dapat dibuka untuk mengecek, namun kondisi ini dapat dipertahankan sampai dilakukan konservasi.

Berdasarkan perlakuan yang dilakukan, kondisi material selama transportasi masih baik. Tidak terjadi kerusakan atau peningkatan kerapuhan material. Namun harus dicatat untuk selalu memastikan kondisi dalam ruang kotak plastik selalu basah. Hasil ini sejalan dengan pengujian ekspos di atas, dimana material mengalami kerusakan yang sangat pesat seiring dengan perubahan (penurunan) kadar air dalam material. Jika kondisi kelembaban ruang dapat dibuat tinggi, maka kadar air dalam material tidak turun. Plastik wrap pembungkus sampel juga membantu mempertahankan kadar air dalam material. Jika kadar air dalam material dapat dipertahankan, maka material tidak mengalami perubahan atau kerapuhan.

3) Pengujian Konsolidasi di Laboratorium

Untuk memecahkan masalah kerusakan material yang cepat pada saat terekspos, telah dilakukan percobaan dengan beberapa bahan. Percobaan ini bertujuan untuk mencari bahan dan metode aplikasi yang sesuai untuk material yang

diekskavasi agar tidak rusak. Metode pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a) Sampel diberi perlakuan dengan beberapa variasi. Variasi yang dilakukan adalah, konsolidan Paraloid B72 dengan pelarut Aseton (2,5%) dan Etil Asetat (2,5%, dan 5%) dan konsolidan PEG 400. Untuk konsolidan Paraloid B72 masing-masing diuji dengan variasi cara aplikasi, yaitu dioles 1x, 2x, dan 3x, serta direndam. Sedangkan untuk PEG 400 dilakukan dengan cara rendam.
- b) Setelah diberi perlakuan konsolidasi, sampel dibiarkan pada udara terbuka. Selanjutnya secara periodik (6, 12, 24, 48, 72, dan 96 jam) dilakukan pengamatan, yang meliputi penimbangan berat dan plot gambar di atas kertas. Selain itu juga dilakukan pengamatan fisik untuk mengamati apakah terjadi peningkatan kekerasan dan stabilitas fisik.
- c) Data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui efektivitas konsolidasi. Data penimbangan berat dianalisis untuk mengetahui kadar air sampel dan perubahannya selama proses pengeringan. Data plot gambar untuk mengetahui terjadinya perubahan bentuk terutama pengkerutan selama proses pengeringan.
- d) Selain sampel yang diberi perlakuan, dilakukan juga pengamatan dengan cara yang sama terhadap sampel tanpa perlakuan sebagai kontrol atau pembanding.

Secara umum metode ini cukup efektif untuk mengkonsolidasi material, namun masih perlu dikembangkan lagi untuk menjadi metode yang siap digunakan. Hasil percobaan pada penelitian ini menunjukkan bahwa metode ini berpotensi untuk dikembangkan karena hasil pengerasannya cukup baik. Hal yang perlu dikembangkan adalah parameter pengamatannya yang pada penelitian ini masih bersifat

kualitatif. Diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan pengamatan data yang kuantitatif sehingga dapat diketahui efektivitas konsolidasinya secara lebih pasti.

Jenis pelarut yang digunakan akan mempengaruhi kinerja konsolidasi yang dihasilkan. Pelarut akan menentukan bagaimana bahan konsolidan dapat masuk ke dalam material hingga ke bagian dalam. Dalam penelitian ini pelarut yang diuji adalah Aseton dan Etil Asetat. Aseton dipilih karena merupakan pelarut organik yang bersifat polar sehingga diharapkan dapat masuk menggantikan air yang ada dalam pori-pori material. Sedangkan Etil Asetat bersifat lebih non polar. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kedua pelarut dapat masuk ke dalam material. Namun hasil akhir yang kurang memuaskan terjadi pada pelarut Aseton, dimana permukaan benda menjadi mengkilap. Hal ini menunjukkan bahwa bahan konsolidan yang tertinggal di permukaan cukup banyak dan tidak semuanya dapat meresap ke bagian dalam. Kondisi ini dapat terjadi karena arang memiliki sifat yang cenderung nonpolar sehingga pelarut Aseton yang polar lebih “tertolak” dibanding Etil Asetat yang nonpolar. Pada penelitian yang akan datang perlu diuji beberapa pelarut lain dengan cara mengamati laju penetrasinya dan efektivitas konsolidasinya, untuk mencari pelarut yang paling sesuai.

Pengujian konsolidasi yang mengadopsi metode konservasi kayu bawah air pada penelitian ini adalah dengan cara perendaman dalam larutan PEG 400. Sampel kayu direndam dalam larutan PEG 400 20% dalam air selama satu bulan. Kadar PEG 400 ditingkatkan secara bertahap hingga kadar 40%. Foto proses perendaman dan hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut. Pengujian konsolidasi yang mengadopsi metode konservasi kayu bawah air pada

penelitian ini adalah dengan cara perendaman dalam larutan PEG 400. Sampel kayu direndam dalam larutan PEG 400 20% dalam air selama satu bulan. Kadar PEG 400 ditingkatkan secara bertahap hingga kadar 40%.

Metode ini cukup efektif untuk kayu bawah air. Sampel kayu ter-arang yang merupakan hasil ekskavasi Situs Tambora diperkirakan dapat dikonservasi dengan cara ini karena kandungan airnya yang juga tinggi (256%). Namun sifat kayu ter-arang yang sel-selnya telah rusak akan menghasilkan mekanisme konsolidasi yang berbeda. Hal ini masih perlu dikaji secara lebih mendalam.

Hasil percobaan menunjukkan sampel menjadi cukup keras dan stabil. Bahan impregnan PEG dapat masuk ke dalam material dengan baik dan mengisi pori-pori sehingga sampel menjadi lebih padat dan keras. Metode ini masih perlu dikembangkan lagi dengan variasi kadar PEG dan waktu perendaman. Impregnasi dengan PEG 400 ini juga masih bisa dikembangkan dengan PEG 4000 yang lebih besar ukuran molekulnya dan lebih kuat dalam memberikan sifat konsolidan.

Pengembangan juga perlu dilakukan untuk metode aplikasinya. Selama ini bahan PEG hanya cocok dengan cara perendaman, namun cara ini kurang aplikatif di lapangan dan memerlukan waktu lama serta tempat khusus. Metode lain seperti cara oles, spray, atau tetes perlu dicoba, mengingat kondisi sampel yang telah rusak sel-selnya sehingga memungkinkan PEG dapat masuk dengan lebih cepat.

Metode konsolidasi lain yang telah diuji adalah dengan bahan Epoxy Resin. Bahan Epoxy Resin pada umumnya dipergunakan pada konservasi cagar budaya sebagai perekat. Sifat bahan ini adalah kuat dan keras, tersusun atas polimer yang bersifat thermosetting. Sifat thermosetting dari Epoxy ini

merupakan sifat keunggulan namun sekaligus kelemahannya dalam konservasi. Keunggulan karena apabila digunakan sebagai perekat akan sangat kuat dan tahan lama. Dianggap sebagai kelemahan karena sifatnya yang non-reversible, apabila sudah mengeras tidak dapat dikembalikan. Sifat ini sebenarnya kurang cocok untuk konservasi benda cagar budaya karena metode konservasi yang ideal semestinya bisa kembali ke keadaan semula (reversible). Namun seringkali kondisi di lapangan tidak bisa menghindari hal ini, karena kebutuhan kekuatan dan tantangan yang dihadapi.

Konsolidasi dengan Epoxy Resin dilaksanakan dengan melarutkan campuran Epoxy dalam Aseton. Jenis Epoxy yang digunakan adalah jenis Epoxy yang cukup viskous/encer agar mudah masuk ke dalam pori-pori arang. Aseton akan membantu Epoxy dapat masuk lebih dalam karena arang mengandung air, sehingga Aseton yang larut air dapat membawa Epoxy ke dalam material arang. Hasil percobaan menunjukkan hasil yang sangat baik. Arang menjadi cukup kuat, dengan kenampakan yang relatif tidak berubah (tidak menjadi mengkilap atau berubah warna). Metode ini cukup sesuai untuk diaplikasikan di lapangan mengingat pengaruh lingkungan di lapangan sangat besar dan tidak dapat bertahan jika menggunakan bahan yang reversible.

E. Metode Kajian

Untuk mencapai tujuan yang telah dirumuskan, maka dilaksanakan proses kajian yang dimulai dengan percobaan di laboratorium dan dilanjutkan dengan pelaksanaan di lapangan. Pelaksanaan kajian di lapangan meliputi survei dan pengumpulan data lapangan, dilanjutkan dengan pengolahan data. Metode yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam rangka mendukung Konservasi Situs Liyangan terdiri dari :

- a) Bahan dan peralatan laboratorium
- b) Bahan kimia konsolidan
- c) Bahan dan peralatan survei dan perekaman data lingkungan
- d) Bahan dan peralatan pemetaan situs dan kawasan
- e) Ekofak arang

2. Metode Kerja

Secara umum metode kerja yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Pengamatan data lingkungan dan analisis kerentanan.
- 2) Melakukan survei dan pengambilan data pengukuran situs, dilanjutkan dengan pengolahan data dan penyajian dalam bentuk gambar.
- 3) Melakukan pengujian terhadap metode konsolidasi dengan bahan Paraloid B-72, Epoxy Resin, dan PEG dengan beberapa variasi teknik aplikasi. Metode yang paling cocok dan memberikan hasil paling baik selanjutnya diuji di lapangan.
- 4) Mengembangkan metode konservasi terhadap berbagai temuan di situs yang tersusun dari berbagai jenis bahan.

Setiap jenis bahan dikonservasi dengan metode tertentu yang sesuai. Jenis material temuan yang teridentifikasi sering ditemukan adalah keramik, gerabah, batu, logam, dan tulang.

- 5) Melakukan pengumpulan data kondisi lingkungan yang meliputi kondisi tebing, kegiatan penambangan, vegetasi, drainase, dan unsur pendukung lingkungan lainnya. Selanjutnya mengembangkan metode konservasi untuk masing-masing unsur lingkungan tersebut.

BAB II

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Lingkungan dan Analisis Kerentanan

Kajian yang dilaksanakan di Liyangan mengalami perkembangan yang selalu dinamis. Hal ini karena penggalian masih terus dilakukan, baik penggalian dalam rangka penelitian arkeologi maupun penggalian untuk penambangan pasir. Setiap tahun selalu ditemukan struktur dan temuan baru sehingga permasalahan yang dihadapi semakin berkembang. Beberapa temuan belum ada pada saat kajian ini direncanakan, namun saat ini muncul dan memerlukan pemikiran untuk pemecahan masalahnya. Karena permasalahan yang ada terus berkembang, maka perlu dilakukan penilaian/assesment untuk melihat risiko yang dihadapi oleh masing-masing temuan. Dengan adanya penilaian risiko, maka akan dapat diputuskan objek mana yang lebih prioritas untuk ditangani. Menurut tinjauan kebencanaan, risiko merupakan fungsi dari kerentanan, ancaman, dan kapasitas. Ancaman yang ada untuk setiap unsur dalam situs tersebut relatif sama, yang berbeda adalah kerentanannya sesuai dengan jenis material penyusunnya.

Berdasarkan penilaian yang dilakukan, maka kerentanan dari masing-masing temuan penting yang ada di Situs Liyangan adalah :

1. Kerentanan Tinggi

1). Artefak arang dan temuan organik lainnya

Artefak arang memiliki kerentanan yang tinggi karena sangat mudah rusak setelah terekspos. Material arang bahkan dapat rusak dengan sendirinya jika dibiarkan dalam kondisi terbuka. Mengingat temuan arang memiliki nilai penting yang tinggi,

maka upaya pelestarian artefak ini sangat penting.

2). Talud boulder

Talud boulder dibuat dari tatanan batu bulat dengan spesi tanah. Kondisi talud saat ini masih cukup baik tetapi telah terlihat adanya gejala kerusakan. Tanah sebagai spesi dapat tergerus oleh air atau menjadi rapuh saat kering.

3). Fitur

Fitur yang ada di Situs Liyangan sebenarnya cukup banyak, namun sebegini besar fitur sudah tidak diketahui karena rusak. Salah satu fitur yang saat ini masih ada yaitu adanya lubang-lubang/cekungan yang diduga sebagai fitur tempat berdirinya tiang-tiang penyangga.

4). Data kebencanaan, termasuk lapisan tanah dan bekas-bekas dampak bencana

Situs Liyangan dapat dikatakan sebagai situs bencana, karena pernah terkena bencana besar hingga terkubur. Kondisi situs yang porak-poranda akibat bencana merupakan nilai penting yang harus diperhatikan. Berbagai fitur yang menunjukkan bahwa lokasi tersebut pernah dilanda bencana besar juga penting untuk dilestarikan.

5). Sistem teras

Situs Liyangan pada awalnya adalah situs dengan temuan candi dan beberapa struktur pendukung. Persebaran komponen situs tersebut sangat luas menyesuaikan dengan kontur asli tanah di wilayah Liyangan dan sekitarnya. Karena kontur asli yang tidak rata maka menyebabkan adanya teras-teras dan setiap teras memiliki fungsi/peran tertentu. Teras-teras tersebut juga mudah mengalami kerusakan karena tanah yang ada dapat tergerus atau mengalami perubahan bentuk serta fungsi ruangnya.

2. Kerentanan Sedang

1). Struktur pagar batu

Pagar-pagar yang ada di Situs Liyangan bervariasi baik bahan maupun bentuknya. Kondisi struktur pagar yang terbuat dari batu juga mengalami kerentanan, karena posisi dan bentuknya yang dapat berubah. Meskipun perubahan yang terjadi tidak terlalu mudah, sehingga dimasukkan dalam kerentanan sedang.

2). Temuan keramik

Temuan keramik di Situs Liyangan sangat banyak sejak penemuan situs hingga saat ini. Material keramik sebenarnya merupakan material yang awet dan tidak mudah rusak. Kondisi temuan keramik di situs Liyangan umumnya dalam kondisi tidak utuh namun masih bisa direkonstruksi.

3). Temuan logam

Temuan artefak logam juga cukup banyak dan dari jenis logam yang berbeda-beda. Jenis artefak logam yang pernah ditemukan terbuat dari bahan perunggu dan besi. Logam tersebut sudah terkorosi cukup parah meskipun masih jelas bentuknya. Temuan logam perunggu bahkan masih sangat baik dan hanya sedikit mengalami korosi.

4). Mata air

Mata air sesungguhnya merupakan unsur penting di Situs Liyangan. Mata air merupakan komponen lingkungan alam yang memiliki nilai penting dan sangat terkait dengan unsur lingkungan lainnya. Mata air dapat terus mengalirkan air apabila daerah tangkapan dan kantong penyimpanan air masih terjaga. Oleh karena itu perlu upaya konservasi untuk mempertahankan kondisi daerah tangkapan air.

3. Kerentanan Rendah

1). Struktur candi dan batur tatanan batu

Struktur candi terbuat dari susunan batu yang ditata dengan rapi sehingga relatif tidak mudah mengalami kerusakan. Pada saat penemuan kondisi batur candi masih dalam posisi sesuai dengan denah asli dan hanya sedikit mengalami perubahan bentuk atau kelongsoran struktur. Setelah dibuka seperti saat ini, kondisi candi dan batur tatanan batu lainnya akan cukup baik dan tidak rentan kerusakan.

2). Tatanan batu pada jalan

Tatanan batu pada jalan juga relatif stabil karena berada pada permukaan tanah yang telah distabilkan. Batu-batu yang dipakai juga cukup besar sehingga relatif tidak mudah bergeser atau berubah posisi kecuali oleh campur tangan manusia secara sengaja.

3). Tangga dan talud batu blok

Pada beberapa bagian, pemisah antar teras dibuat dari talud yang tersusun atas batu blok. Susunan seperti ini relatif stabil dan tidak mudah rusak. Tangga penghubung antar teras juga merupakan struktur yang relatif aman dan stabil. Bagian-bagian tersebut dapat bertahan lama tanpa perlu suatu perlakuan khusus.

Berdasarkan analisis kerentanan di atas maka dapat dilakukan langkah-langkah kajian selanjutnya yang difokuskan pada unsur-unsur yang memiliki kerentanan tinggi. Upaya pelestarian perlu memperhatikan analisis kerentanan ini agar tidak terjebak pada generalisasi sebagaimana pelestarian candi-candi batu lainnya. Meskipun Situs Liyangan memiliki candi yang dalam struktur masyarakat Hindu merupakan bagian terpenting, namun candi sendiri pada dasarnya memiliki kerentanan yang

rendah. Usaha konservasi yang dilakukan jangan sampai hanya fokus pada candi dan temuan batur-batur saja, padahal masih banyak unsur lain yang justru lebih rentan apabila tidak dilestarikan.

B. Dokumentasi

Pada kajian tahap awal ini dilakukan dokumentasi terhadap struktur yang paling rentan, yaitu talud boulder. Talud boulder di Situs Liyangan cukup banyak dan tersebar sebagai tanggul penguat tebing, tanggul penguat dinding teras, maupun sebagai pagar. Talud tersebut dibuat dengan susunan batu kali dan spesi tanah. Kondisi tersebut membuat talud kurang stabil karena terbuka sehingga dapat tergerus oleh air hujan dan aliran air permukaan. Kondisi saat ini juga menunjukkan bahwa sudah ada beberapa bagian talud yang longsor dan dikhawatirkan akan berkembang di masa yang akan datang.

Dokumentasi sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi saat ini, dan sebagai dasar untuk mengembalikan kepada kondisi semula pada saat dilakukan perbaikan. Data komposisi tanah juga penting untuk mengetahui apakah tanah yang digunakan sebagai spesi merupakan tanah biasa atau campuran. Tahapan dokumentasi yang dilakukan meliputi pekerjaan-pekerjaan sebagai berikut :

- 1) Pengambilan foto talud secara frontal dengan skala.
- 2) Penggabungan foto dan penetapan skala di dalam software
- 3) Digitasi untuk menghasilkan data gambar yang berskala
- 4) Analisis komposisi tanah spesi di lapangan dengan alat XRF
- 5) Analisis komposisi tanah biasa sebagai pembanding.

Data-data di atas akan disampaikan dalam laporan akhir kajian ini.

C. Uji Konsolidasi Arang

Uji konsolidasi arang menggunakan bahan yang sama dengan kajian sebelumnya, yaitu Paraloid B-72, Epoxy Resin, dan PEG. Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh beberapa catatan sebagai berikut :

- 1) Paraloid B-72 kurang cocok untuk dipergunakan sebagai konsolidan artefak arang, karena kurang memberikan efek perkerasan yang dikehendaki. Treatment dengan Paraloid juga tidak bisa diulang apabila kondisi artefak sudah kering. Pengulangan dapat dilakukan sebelum artefak kering, yang dilakukan beberapa kali sampai perkerasan yang diperoleh memadai.
- 2) Epoxy Resin cukup efektif dan mampu memberikan perkerasan yang sesuai. Jenis Epoxy yang digunakan adalah Sikadur tipe 51CF yang sangat encer dan tersedia di pasaran. Untuk artefak atau ekofak yang akan tetap diekspos di lapangan, metode ini cocok untuk digunakan.
- 3) Larutan PEG dapat dipergunakan untuk beberapa temuan tertentu yang berukuran kecil dan memiliki nilai penting yang tinggi. Metode yang dipergunakan adalah dengan cara pengolesan secara bertahap sedikit-demi sedikit dalam wadah yang terbuka sebagian. Metode ini menghasilkan hasil konservasi yang paling memuaskan, namun hanya cocok untuk artefak arang yang berukuran kecil.

D. Konservasi terhadap Temuan

Konservasi terhadap temuan yang ada saat ini sudah dilakukan dengan cukup baik. Sebagai contoh, temuan keramik yang sangat banyak saat ini telah dilakukan rekonstruksi dan disimpan dengan baik. Temuan keramik juga telah dicuci sebelum

rekonstruksi atau penyimpanan untuk menghilangkan garam terlarut yang berpotensi menyebabkan permasalahan jangka panjang. Satu catatan yang perlu diberikan adalah penggunaan perekat yang kurang sesuai. Perekat yang digunakan tidak bersifat reversible atau dapat kembali semula. Oleh karena itu pada sosialisasi ini akan diperkenalkan perekat yang reversible dari jenis perekat protein, yaitu yang disebut ancur.

Konservasi terhadap temuan logam juga telah dilaksanakan dengan cukup baik. Beberapa temuan logam memang dalam kondisi yang masih baik, dan relatif tidak memerlukan tindakan konservasi khusus. Untuk temuan artefak besi sebagian memang sudah mengalami korosi yang parah, meskipun ada juga yang masih terlihat bentuknya. Untuk artefak besi perlu dilihat apakah korosi yang terjadi masih aktif. Kalau merupakan korosi yang aktif maka perlu perlakuan konservasi khusus.

E. Konsep Pelindungan Artefak dan Fitur di Lapangan

Artefak arang di Situs Liyangan sangat banyak dan merupakan data penting arkeologi yang harus dilestarikan. Artefak tersebut dapat dikonservasi secara eks situ dengan cara diangkat atau in situ. Untuk artefak penting berukuran kecil dapat diangkat dan dikonservasi untuk selanjutnya menjadi koleksi yang bisa disajikan di museum. Untuk artefak berukuran besar konservasi in situ lebih memungkinkan. Model konservasi in situ yang dilakukan dapat sekaligus mengkonservasi fitur dan temuan arkeologis lainnya dalam satu kesatuan.

Konservasi in situ yang dilakukan perlu mempergunakan sarana pelindung agar dapat ternaungi dengan baik. Tanpa adanya atap pelindung (shelter) konservasi sulit dilakukan

meskipun arang sudah ditreatmen dengan bahan konsolidan.

Konsep yang diajukan memenuhi pembatasan sebagai berikut :

- 1) Menggunakan bangunan yang sifatnya tidak permanen, bentuk konstruksi rumah panggung dengan tiang-tiang kayu cocok untuk digunakan. Pemasangan tiang harus seksama agar tidak merusak data arkeologi yang ada di bawahnya.
- 2) Menggunakan disain atap yang sesuai dengan atap bangunan lama, terutama atap model arsitektur rumah era Mataram kuno.
- 3) Ukuran menyesuaikan kondisi artefak dan fitur yang akan dilestarikan.
- 4) Harus disediakan akses yang cukup bagi pengunjung untuk melihat artefak yang ada, meskipun tidak sampai menyentuh bendanya.
- 5) Harus disediakan drainase yang memadai agar air tidak menyebabkan permasalahan pada artefak.
- 6) Memungkinkan pengembangan lebih lanjut atau perubahan yang dibutuhkan selama perkembangan penelitian.

BAB III

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian ini adalah :

1. Pelestarian yang dilaksanakan di Situs Liyangan perlu memperhatikan analisis risiko dengan mencermati kerentanan dari masing-masing komponen situs. Upaya konservasi yang didahulukan adalah untuk komponen yang memiliki kerentanan tertinggi, tidak hanya sepenuhnya dari nilai penting cagar budayanya.
2. Dokumentasi sangat penting untuk dilakukan, terutama pada komponen situs yang memiliki kerentanan tinggi. Dokumentasi sangat bermanfaat untuk mengetahui kondisi awal dan menjadi dasar apabila akan dilakukan konservasi atau pemugaran lebih lanjut.
3. Artefak arang dapat dikonservasi secara eks situ atau in situ dengan beberapa bahan konsolidan yang telah dicoba, yaitu Paraloid B-72, Epoxy Resin, dan PEG. Pemilihan konsolidan yang dipergunakan didasarkan pada kondisi artefak, ukuran, rencana display, dan pelindungan yang akan dilakukan.
4. Hasil analisis terhadap tanah yang digunakan untuk spesi talud boulder menunjukkan adanya modifikasi tanah yang digunakan, untuk meningkatkan daya rekat dan kekuatan tanah. Hal ini bermanfaat untuk rekonstruksi ke depan mengingat talud tersebut rawan mengalami kerusakan/ kelongsoran.
5. Konservasi lingkungan sangat diperlukan untuk melindungi kondisi lingkungan situs agar stabil dan mampu mempertahankan kelestarian unsur-unsur tinggalan

budaya yang ada. Konservasi yang diperlukan antara lain pelestarian vegetasi, area tangkapan air, dan penataan ruang untuk mengakomodasi perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan.

6. Temuan-temuan yang ada telah dikonservasi dengan cukup baik, hanya perlu beberapa perbaikan untuk penyempurnaan kedepan. Pelindungan artefak dan fitur perlu direncanakan dengan baik agar dapat melindungi objek yang dilestarikan sekaligus untuk informasi kepada masyarakat.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan pada laporan kajian ini adalah :

1. Semua penelitian yang dilaksanakan di Situs Liyangan harus terkoordinasi dan terencana dengan baik agar dapat memberikan data penelitian yang optimal sekaligus membuka situs dengan kerusakan seminimal mungkin.
2. Perlu dilakukan koordinasi antar pemangku kepentingan secara periodik sejalan dengan perkembangan penelitian dan pembukaan lahan yang terus berlangsung.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai teknik konservasi artefak in situ dan temuan fitur secara lebih mendalam dan aplikatif, termasuk model perlindungan dan penyajiannya kepada pengunjung.
4. Perlu dilakukan penyusunan rencana pelestarian yang komprehensif dan mengakomodasi semua hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyandaru N, 2012, *Konservasi Material pada Ekskavasi Situs Tambora*, Laporan kajian Bagian dari Laporan Tim Ekskavasi oleh Sonny Wibisono, Sarjiyanto, Abdullah (Pusarnas), Kriswandhono, Mujiono (Institut RMIT), Nahar Cahyandaru (Balai Konservasi Borobudur, dan Nurdin (Pem Kab. Bima)
- Cahyandaru N, Setyawan Hari, (2013), *Kajian Studi Terapan pada Temuan Ekskavasi di Situs Bencana Vulkanik Tambora NTB dan Liyangan Jawa Tengah*, Laporan Kajian Balai Konservasi Borobudur
- De Jong Boers B, (1994), Mount Tambora in 1815; A Volcanic Eruption in Indonesia and Its Aftermath, Revised Version of A Dutch-language Article, "Tambora 1815: De Geschiedenis van een Vulkaanuitbarsting in Indonesie," Published in *Tijdschrift voor Geschiedenis* 107 (1994): 371-92
- Hamilton Donny L, (1999), *Methods of Conserving Archaeological Material from Under Water*, Department of Anthropology, Texas A&M University
- Plenderleith H.J, (1975) *The Conservation of Antiquities and Work of Art (Treatment Repair and Restortion)*.
- Riyanto Sugeng (2012), Laporan Penelitian Situs Liyangan, Balai Arkeologi Yogyakarta
- Riyanto Sugeng (2013), Laporan Penelitian Situs Liyangan, Balai Arkeologi Yogyakarta

Sutawidjaja Igan S, Sigurdsson H, Abrams L, (2006),
Characterization of Volcanic Deposits and
Geoarchaeological Studies from The 1815 Eruption of
Tambora Volcano Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 1 No. 1
Maret 2006: 49-57



8. DAMPAK NEGATIF DUPA DAN LILIN TERHADAP BATU CANDI

Yudi Suhartono, Al. Widyo Purwoko,
Basuki Rachmad, Ahmad Mudzakkir

DAMPAK NEGATIF DUPA DAN LILIN TERHADAP BATU CANDI

Yudi Suhartono, Al. Widyo Purwoko, Basuki Rachmad, Ahmad
Mudzakkir

Abstrak

Pemanfaatan bangunan candi sebagai cagar budaya untuk kepentingan agama telah dilakukan sejak lama. Dalam kegiatan keagamaan di bangunan candi sering menggunakan media berupa dupa dan lilin dalam melakukan peribadatan. Pada kajian ini difokuskan pada penggunaan dupa dan lilin di Candi Borobudur, Candi Mendut, Candi Pawon, Kompleks percandian Gedong Songo, dan Kompleks percandian Dieng.

Dalam kajian ini, metode dan tahapan penelitian yang digunakan meliputi tahapan pengumpulan data yang terdiri dari pengumpulan data pustaka dan pengumpulan data lapangan. Untuk memperkuat data, juga dilakukan simulasi dengan membuat 2 buah miniatur candi batu dan diletakan dupa dan lilin secara terpisah, yang menyala selama 33 hari. Tahap selanjutnya adalah tahap pengolahan data dan tahap penafsiran data.

Penggunaan dupa dan lilin di bangunan candi secara terus menerus ternyata menimbulkan dampak negatif terhadap batu candi. Dampak negatif yang ditimbulkan adalah dampak dari segi estetika dan dampak terhadap pelapukan batu. Dampak dari segi estetika disebabkan oleh asap dari pembakaran dupa dan lilin yang menyebabkan beberapa bagian di dalam bilik candi menjadi hitam. Selain itu bangunan candi terlihat kotor karena bekas lelehan lilin yang menempel di batu candi dan sisa pembakaran dupa yang tersebar di bangunan candi. Dampak terhadap pelapukan batu dapat dilihat dari hasil uji laboratorium terhadap sampel batu candi dan batu miniatur candi menunjukkan dari analisis terhadap unsur belerang (Sulfur/S), unsur Silika (SiO_2) dan unsur Karbon (C) yang terdapat pada sampel batu, bahwa

penggunaan dupa dan lilin yang dibakar merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan terjadinya pelapukan pada batu candi.

Upaya penanggulangan dampak terhadap penggunaan lilin dan dupa juga dibahas pada kajian ini. Penanggulangan dampak tersebut meliputi pengaturan penggunaan lilin dan dupa di bangunan candi dan uji coba pembersihan dari dampak penggunaan lilin dan dupa. Pengaturan penggunaan lilin dan dupa terdiri dari 2 alternatif yaitu pelarangan terhadap penggunaan dupa dan lilin dan pembatasan penggunaan lilin dan dupa di bangunan candi. Sedangkan uji coba pembersihan meliputi pembersihan bekas lelehan lilin yang menempel pada batu candi dan pembersihan lapisan hitam yang menempel di dinding candi dengan menggunakan 3 bahan pembersihan yaitu Alkohol, Etanol, dan Xylol.

Kata Kunci : Dupa, Lilin, Batu Candi, Dampak

Abstract

The utilization of temple structure as cultural heritage for religious purpose has been performed since a long time ago. The religious activity uses incense and candle for the worship. The study is focused on the use of incense and candle in Borobudur Temple, Mendut Temple, Pawon Temple, Gedong Songo Temple Complex, and Dieng Temple Complex.

The method used includes data collection from books and fields. To strengthen the data, simulation is used by using 2 stone-built temple miniatures, with incense and candle are put inside for 33 days. The next step is data analysis.

The use of incense and candle in temple structure could cause negative impact on the stones in long term. The impacts include aesthetic and stone deterioration. From aesthetic point of view, the smoke coming from incense and candle could blacken the chamber's stones. Molten wax is often discovered sticking into stones, while incense sticks are found scattered around the temple compound. Analysis in laboratory shows that Sulphur (S), Silica (SiO_2), and Carbon (C), which are found in the stone samples, have contributed in the deterioration of temple's stones.

Efforts to prevent negative impacts of incense and candle have also been discussed in the study. The efforts include controlled use of incense and candle in temple structure and cleaning method for the impact of incense and candle on temple's stone. Two options for controlled use of incense and candle are prohibition of incense and candle and limitation on the use of incense and candle. Meanwhile, the molten wax and black layer on stone can be cleaned with 3 cleaning agents, which are Alcohol, Ethanol, and Xylol.

Keywords: *Incense, Candle, Temple's Stone, Impact*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemanfaatan cagar budaya terutama candi-candi yang terbuat dari batu yang ada di Jawa Tengah telah dilakukan sejak lama, terutama pemanfaatan untuk kepentingan pariwisata dan agama. Pemanfaatan untuk kepentingan agama dilakukan baik dalam bentuk peribadatan bersama-sama seperti acara Waisak Nasional oleh umat Buddha di Candi Borobudur, Candi Mendut, dan Candi Pawon, maupun peribadatan oleh perorangan/kelompok. Dalam melakukan kegiatan keagamaan ini sering menggunakan media sebagai alat ritual persembahyangannya. Media yang digunakan adalah dupa dan lilin.

Dupa adalah sebuah material yang mengeluarkan bau. Dupa mengeluarkan asap ketika dibakar. Banyak upacara keagamaan menggunakan dupa. Dupa juga digunakan untuk pengobatan. Dupa ada dalam berbagai bentuk dan proses, namun dupa dapat terbagi menjadi “pembakaran langsung” dan “pembakaran tidak langsung” tergantung bagaimana dupa digunakan. Suatu bentuk tergantung dari budaya, tradisi, dan rasa seseorang (www.wikipedia.org/wiki/dupa). Menurut tradisi orang Tiongkok, dupa atau hio adalah adalah alat ritual persembahyangan. Dupa adalah bahan pembakaran yang dapat mengeluarkan asap berbau harum. Dupa dikenal pada masa nabi Khoncu (Kongzi) berwujud bubuk atau belahan kayu, misalnya Tiem Hio (cheng xiang), Bok Hio (mu xiong/gaharu), Than Hio (tan siang/cendana) dan lain-lain (www.padmakumara.wordpress.com). Dalam upacara agama Buddha, persembahan dupa wangi yang dibakar memenuhi udara di sekelilingnya melambangkan jasa kebajikan dan efek penyucian dari tingkah

laku yang tidak bermanfaat. Ini mendorong untuk melawan semua setan (godaan) dan membangkitkan hal-hal yang baik. Untuk menghormati Buddha dipersembahkan dupa (www.becsurabaya.org/artikel).

Di negara-negara Asia dimana Buddhisme dan Taoisme adalah agama utama, membakar dupa adalah praktik sehari-hari. Sebuah komposisi yang khas dalam sebatang dupa terdiri dari 21% (berat) bubuk herbal dan kayu, 35% bahan pengharum, 11% bubuk perekat, dan 33% dari tongkat bambu. Asap dupa (asap) mengandung partikulat (PM), produk gas dan banyak senyawa organik. Rata-rata membakar dupa menghasilkan partikel yang lebih besar dari 45 mg/g dibakar dibandingkan dengan 10 mg/g dibakar untuk rokok. Produk gas dari pembakaran dupa meliputi CO, CO₂, NO₂, SO₂, dan lain-lain. Membakar dupa juga menghasilkan senyawa organik yang mudah menguap, seperti Benzena, Toluena dan Xilena, serta Aldehida dan Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH). Pada kajian mengenai asap dupa oleh Lin Ta Chang pada tahun 2008 di berbagai kuil beberapa negara-negara Asia, polusi udara di dalam dan sekitar kuil dikaji untuk mengetahui efeknya bagi kesehatan manusia: Berdasarkan kajian tersebut, diketahui bahwa kandungan udara dalam kuil-kuil tersebut berbahaya bagi kesehatan (Lin Ta Chang, 2008).

Lilin adalah sumber penerangan yang terdiri dari sumbu yang diselimuti oleh bahan bakar padat. Sebelum abad ke-19, bahan bakar yang digunakan biasanya adalah lemak sapi (yang banyak mengandung Asam Stearat). Sekarang yang biasanya digunakan adalah Parafin. Parafin dikenal sebagai minyak bumi. Parafin merupakan hidrokarbon jenuh dengan rantai terbuka dan merupakan senyawa Alkana. Lilin parafin adalah campuran senyawa hidrokarbon alkana yang mengandung 21-50 atom karbon. Ketika pemisahan residu minyak bumi, jumlah atom

karbon pada lilin parafin berkisar 40-50 atom (<http://diaryarnie.blogspot.com>)

Dalam upacara agama Buddha, lilin digunakan sebagai alat dalam persembahan. Hasil lilin berupa cahaya merupakan persembahan yang mengingatkan pada pancaran sinar kebijaksanaan yang menghalau kegelapan dan ketidaktahuan di dalam usaha mencapai penerangan sempurna yang mendorong mencari cahaya kebijaksanaan. Untuk menghormati Buddha dipersembahkan lilin dan pelita (www.becsurabaya.org/artikel).

Kajian tentang dampak dupa dan lilin telah dilakukan di beberapa Negara, Sebagian besar lebih banyak meneliti dampak terhadap kesehatan manusia seperti kajian yang dilakukan oleh Lin Ta Chang pada 2008. Untuk kajian dampak negatif dupa dan lilin pada batu candi tidak banyak dilakukan terutama di Indonesia. Dalam rekomendasi pada penyusunan dokumen rencana pelestarian Candi Mendut tahun 2013, perlu dilakukan kajian dampak asap lilin dan dupa terhadap pelapukan batu candi. Berdasarkan hal tersebut, kajian ini perlu dilakukan pada batu-batu candi yang terkena dampak negatif dupa dan lilin tidak hanya pada Candi Mendut tetapi candi lain seperti Candi Borobudur, Candi Pawon, kompleks percandian Gedong Songo, dan kompleks percandian Dieng. Hal ini dikarenakan semua candi tersebut telah dimanfaatkan kepentingan agama.

Dupa dan lilin merupakan media utama dalam melakukan pemujaan, hal ini terlihat pada penggunaan dupa dan lilin pada upacara pemujaan harian dan perayaan Waisak nasional di Candi Borobudur, Candi Mendut dan Candi Pawon. Selain di ketiga candi, penggunaan dupa dan lilin sebagai media utama dalam pemujaan juga dilakukan di kompleks percandian Gedong Songo dan kompleks percandian Dieng.



Foto 8.1.1. Pembakaran lilin pada acara Waisak di Candi Borobudur



Foto 8.1.2. Penggunaan lilin dan dupa di Candi Mendut

Penggunaan dupa dan lilin dalam kegiatan pemujaan pada beberapa candi secara terus menerus menyebabkan pengaruh pada batu candi. Secara kasat mata, terlihat bahwa batu candi terutama yang ada di dalam bilik candi berubah warna menjadi kehitaman akibat pengaruh dari asap yang ditimbulkan dari dupa dan lilin. Namun demikian, apakah warna kehitaman yang terlihat pada batu candi penyusun bilik candi juga menyebabkan pelapukan pada batu candi, masih harus dibuktikan lebih lanjut. Selain itu perlu dilakukan upaya penanggulangan terhadap dampak tersebut. Berdasarkan hal tersebut, maka permasalahan di atas akan menjadi pembahasan pada kajian ini.

B. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai dampak asap dupa dan lilin pada batuan telah dilakukan oleh Zheng Hui, dkk (2013) pada situs warisan dunia Yungang Grottoes. Situs ini merupakan situs gua-gua yang berisi patung Buddha terletak sekitar 16 km selatan-barat dari kota Datong, di lembah Sungai Li Shi di dasar pegunungan Wuzhou Shan, China. Pada penelitian tersebut, bahwa dampak dari asap dupa dan lilin adalah kerak hitam pada dinding dan patung Buddha. Selama ini ada anggapan bahwa kerak hitam harus dihapus selama proses konservasi batu. Penelitian ini untuk mengetahui apakah lapisan kerak hitam tersebut berbahaya atau

melindungi batu. Hasil percobaan korosi Sulfur Dioksida (SO_2) dengan dan tanpa air, keduanya menunjukkan bahwa sampel ditutupi dengan lapisan dapat memainkan peran protektif pada batuan pasir. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan asap pada batu dapat mencegah serangan SO_2 dan air, yang merupakan penyebab utama kerusakan di daerah Yungang.

BAB II

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Dampak Secara Estetika Penggunaan Dupa dan Lilin terhadap Batu Candi

Hasil survey dan observasi terhadap bangunan candi yang masih dimanfaatkan untuk kepentingan agama dan menggunakan media dupa dan lilin dalam melaksanakan kegiatan pemujaan, menunjukkan adanya dampak negatif terhadap penggunaan kedua media upacara tersebut. Dampak negatif tersebut akan diuraikan sebagai berikut :

1. Candi Borobudur

Pada Candi Borobudur penggunaan lilin dilakukan pada waktu upacara Waisak Nasional 2014. Pada upacara tersebut, dilakukan pembakaran lilin berjumlah sekitar 1000 buah yang diletakkan di dalam gelas kecil. Lilin-lilin itu kemudian diletakkan di halaman sisi barat. Dampak yang ditimbulkan setelah kegiatan selesai adalah di beberapa tempat terdapat lelehan lilin yang menempel di batu-batu saluran drainase kuna dan batu-batu di halaman.



Foto 8.2.1. Lelehan lilin di saluran drainase



Foto 8.2.2. Lelehan lilin di batu-batu halaman

Penggunaan dupa di Candi Borobudur tidak terlalu berdampak signifikan terutama asapnya karena dupa pada waktu

acara Waisak diletakkan di halaman candi berjarak sekitar 3 m dari dinding candi. Selain itu karena Candi Borobudur terletak di alam terbuka, sehingga asap yang keluar dari dupa akan terserap di udara dan tidak terlalu membahayakan batu candi. Namun demikian yang perlu diperhatikan, jangan sampai abu dari pembakaran dupa mengenai batu candi, karena jika ini terjadi dan berlangsung dalam waktu lama bisa membahayakan batu Candi Borobudur.

2. Candi Mendut

Penggunaan dupa dan lilin sebagai media pemujaan di Candi Mendut sudah berlangsung lama dengan frekuensi yang tinggi. Penggunaan dupa dan lilin sebagai pemujaan ini digunakan saat perayaan keagamaan seperti perayaan Waisak Nasional dan peribadatan sehari-hari. Dampak negatif yang terlihat akibat penggunaan dupa dan lilin tersebut adalah bekas lelehan lilin pada altar dan relung candi. Selain itu juga terdapat lapisan hitam pada bagian dinding dan relung. Adanya lapisan hitam ini selain dari dupa dan lilin, kemungkinan juga disebabkan dari asap obor api abadi yang diletakkan di dalam bilik candi. Menurut informasi dari petugas keamanan candi, sebelum tahun 2014, obor api abadi yang digunakan dalam perayaan Waisak Nasional selalu diletakkan di dalam bilik candi. Dampak lain yang ditimbulkan, pada bagian altar karena sering kejatuhan abu dupa, menyebabkan bagian altar berubah warna menjadi agak keputihan.



Foto. 8.2.3. Penyalaan lilin dan dupa di altar Candi Mendut, terlihat warna putih dan kehitaman di batu altar



Foto. 8.2.4. Bekas lilin pada relung Candi Mendut

3. Candi Pawon

Pemanfaatan Candi Pawon untuk kepentingan agama terutama agama Buddha sejak lama dilakukan namun tidak sesering di Candi Mendut, yang sering digunakan untuk pemujaan sehari-hari. Tiap hari tidak banyak penganut Buddha yang melakukan pemujaan di sini, jika ada, pemujaan dilakukan tidak menggunakan dupa dan lilin. Penggunaan lilin dan dupa untuk pemujaan tercatat pernah dilakukan pada perayaan Waisak seperti tahun 2014. Kedua media pemujaan tersebut diletakkan di dalam relung di bilik candi. Setelah perayaan Waisak selesai dilakukan, sisa-sisa pembakaran lilin menempel pada batu relung.



Foto 8.2.5 Sisa lilin yang menempel pada batu relung di bilik candi



Foto 8.2.6 Sisa lilin yang menempel pada batu relung di bilik candi

4. Kompleks Percandian Gedong Songo

Lapisan hitam dan bekas lelehan lilin juga terlihat di percandian Gedong Songo. Menurut informasi dari juru pelihara candi, penggunaan dupa, lilin serta kemenyan sudah dilama dilakukan oleh penganut agama Hindu dan aliran kepercayaan. Lapisan hitam terdapat terdapat di dinding, relung, dan yoni. Sedang bekas lelehan lilin terlihat di relung dan yoni. Khusus yoni, terlihat sangat kotor kerana banyak lapisan hitam, bekas lelehan lilin dan bekas dupa yang belum habis terbakar.

5. Kompleks Percandian Dieng

Di kompleks percandian Dieng, terutama pada candi yang dijadikan sampel yaitu Candi Arjuna, Candi Semar dan Candi Dharawati juga mengalami hal yang sama seperti Candi Gedongsongo. Pemanfaatan Candi Dieng dilakukan umat Hindu, Buddha dan aliran kepercayaan dengan menggunakan media dupa, lilin, dan kemenyan untuk pemujaan. Hal ini menyebabkan Candi Arjuna, Candi Semar, dan Candi Dharawati terdapat lapisan hitam di beberapa bagian dinding, relung, dan yoni. Selain itu bekas lelehan lilin juga banyak ditemukan. Seperti halnya di Candi Gedong Songo, yoni di Candi Arjuna juga tampak kotor akibat banyak dikotori bekas lelehan lilin, abu dupa, dan lapisan hitam.



Foto 8.2.7 Yoni yang tampak kotor terkena bekas pembakaran lilin dan dupa pada Candi Gedong 1



Foto 8.2.8 Lapisan hitam dan bekas lelehan lilin di dalam relung pada Candi Gedong 1



Foto 8.2.9 Yoni yang tampak kotor terkena bekas pembakaran lilin dan dupa pada Candi Arjuna



Foto 8.2.10 Lapisan hitam di Candi Dwarawati

Berdasarkan penjelasan di atas, penggunaan lilin dan dupa di dalam bangunan candi menimbulkan dampak negatif dari segi estetika dan keindahan. Adanya lapisan hitam akibat pembakaran dupa dan lilin yang tersebar di beberapa bagian seperti di dinding, relung, altar, dan di yoni pada bangunan candi berlatar belakang agama Hindu, sangat tidak enak dilihat dan mengganggu estetika dan keindahan bangunan candi secara keseluruhan. Selain itu, adanya lapisan hitam dan bekas lelehan lilin juga mengurangi keaslian bangunan candi sebagai bangunan cagar budaya.

B. Dampak Penggunaan Dupa dan Lilin terhadap Pelapukan Batu

Dalam menganalisis dampak penggunaan dupa dan lilin terhadap pelapukan batu menggunakan data laboratorium. Data yang digunakan dalam analisis ini adalah data kandungan unsur yang terdapat dalam batu candi. Data kandungan unsur didapat dengan analisis menggunakan alat *Handheld* XRF dan EDS. Data ini juga didukung dengan pengukuran gas yang ada di udara ketika dupa dan lilin dibakar dengan menggunakan gas detector.

Berdasarkan analisis dengan menggunakan alat *Handheld* XRF terhadap sampel beberapa batu baik yang ada lapisan hitam maupun batu yang tidak ada lapisan hitam tetapi terkena kontaminasi dari asap dupa dan lilin serta batu candi bagian luar yang tidak terkena asap dupa. Sampel batu yang diambil merupakan bagian dari Candi Mendut, Candi Arjuna di kompleks percandian Dieng dan Candi Gedong 1 di kompleks percandian Gedong Songo. Selain itu juga dilakukan pengukuran batu miniatur candi simulasi 1 dan candi simulasi 2. Hasil analisis menunjukkan ada penurunan unsur Silika (SiO_2) dan penambahan unsur Sulfur (S) pada batu yang terkena pengaruh pembakaran dupa dan lilin.

1. Kandungan unsur Belerang / Sulfur pada batu

Belerang merupakan unsur yang tidak secara alami terdapat dalam mineral batu andesit. Sulfur ada dalam batu andesit akibat faktor eksternal, yaitu udara yang tercemar dan aktivitas mikroorganisme. Udara yang tercemar dapat bersumber dari alam seperti erupsi gunung api dan sumber non alam terutama pembakaran bahan bakar minyak yang mengandung sulfur (Cahyandaru, 2014). Hasil pengukuran dengan alat

Handheld XRF menunjukkan bahwa unsur Sulfur (S) pada sampel batu yang terkontaminasi abu dan lapisan hitam di dalam bilik candi lebih besar dibandingkan pada batu bagian luar candi dan batu baru. Sampel batu ini berasal dari beberapa candi yang mempunyai lapisan hitam dan yang terkontaminasi oleh asap lilin, asap dupa dan abu dupa.

Tabel 8.2.1. Kandungan Unsur Batu Candi Gedong 1 Kompleks Gedongsongo

No.	Jenis Sampel	SiO ₂	Al	Fe	Ca	K	P	S	Ti	Mn	Unsur lain	Total
		% Relatif										
1	Batu luar	75.703	10.709	7.235	3.387	1.886	0.052	0.000	0.585	0.191	0.254	100
2	Batu luar	68.124	16.167	8.848	3.422	2.107	0.000	0.000	0.690	0.204	0.438	100
3	Batu luar	68.016	16.684	7.365	4.802	1.864	0.100	0.188	0.564	0.227	0.190	100
4	batu dalam	74.810	9.263	7.220	4.268	1.579	0.594	1.229	0.638	0.155	0.244	100
5	Batu dalam	70.542	9.170	11.092	3.974	3.276	0.459	0.163	0.751	0.249	0.326	100
6	Batu dalam	64.471	14.386	11.342	4.894	2.402	0.545	0.603	0.876	0.288	0.191	100
7	Dlm. warna hitam	31.820	3.500	5.776	30.910	0.395	0.130	26.605	0.446	0.130	0.287	100
8	Dlm. warna hitam	40.559	9.019	5.587	22.778	1.236	0.191	19.607	0.559	0.177	0.288	100
9	Dlm. warna hitam	27.491	4.649	6.994	34.345	5.031	11.417	0.631	0.553	0.296	8.594	100
10	Yoni	69.285	8.364	12.789	4.389	3.025	0.423	0.214	0.966	0.298	0.248	100
11	Yoni	58.898	16.673	13.614	4.550	2.602	0.713	0.874	1.222	0.296	0.559	100
12	Yoni	59.154	16.301	13.522	5.022	2.546	0.766	0.707	1.127	0.351	0.504	100

Tabel 8.2.2. Kandungan Unsur Batu Candi Arjuna Kompleks Dieng

No.	Jenis Sampel	SiO ₂	Al	Fe	Ca	K	P	S	Ti	Mn	Unsur lain	Total
		% Relatif										
1	Bid. luar	65.999	11.126	9.900	7.650	2.046	0.302	1.734	0.763	0.215	0.265	100
2	Bid. luar	69.938	6.870	7.724	4.919	1.640	0.302	0.119	8.125	0.139	0.224	100
3	Bid. luar	72.369	9.022	8.441	5.737	2.089	0.232	0.958	0.716	0.170	0.265	100
4	Bid. dalam	62.662	6.928	11.670	8.581	2.267	0.542	5.936	0.868	0.234	0.313	100
5	Bid. dalam	62.493	11.459	11.463	8.043	2.365	0.408	2.444	0.814	0.212	0.299	100
6	Bid. dalam	64.989	7.803	9.852	10.220	3.862	0.816	1.163	0.781	0.224	0.290	100
7	Bid. dim. hitam	79.818	9.408	5.688	2.410	1.089	0.164	0.703	0.485	0.086	0.149	100
8	Bid. dim. hitam	75.324	3.153	7.638	1.872	1.349	0.000	0.416	0.553	0.115	9.579	100
9	Bid. dim. hitam	76.534	9.831	4.751	1.738	0.508	3.871	2.076	0.352	0.081	0.256	100
10	Yoni.1	55.129	9.932	11.049	8.890	2.732	2.882	8.073	0.817	0.034	0.462	100
11	Yoni.2	47.932	8.451	9.161	14.616	3.056	2.052	12.870	0.685	0.162	1.014	100
12	Yoni.3	55.217	8.746	11.461	16.900	2.918	2.610	0.116	0.835	0.179	1.018	100

Tabel 8.2.3. Kandungan Unsur Batu Candi Mendut

No.	Jenis Sampel	SiO ₂	Al	Fe	Ca	K	P	S	Ti	Mn	Unsur lain	Total
		% Relatif										
1	Relung batu dim 1	75.548	8.353	2.275	4.104	0.434	3.101	5.741	0.177	0.102	0.166	100
2	Relung batu dim 2	85.706	6.376	2.025	2.001	0.000	2.932	0.673	0.100	0.063	0.127	100
3	Relung batu dim 3	88.867	3.569	3.712	1.676	0.306	0.683	0.664	0.266	0.084	0.172	100
4	Rel. Hitam dlm 1	81.586	7.168	4.729	1.591	0.498	2.605	1.183	0.254	0.153	0.232	100
5	Rel. Hitam dlm 2	85.188	5.251	2.908	3.008	1.853	0.750	0.395	0.357	0.067	0.223	100
6	Rel. Hitam dlm 3	86.621	3.369	4.621	1.907	0.875	1.312	0.440	0.358	0.103	0.393	100
7	Altar 1	56.590	8.911	6.055	18.065	2.452	3.928	2.598	0.581	0.323	0.498	100
8	Altar 2	36.267	6.342	4.774	33.468	1.437	9.808	6.189	0.566	0.572	0.578	100
9	Altar 3	65.234	9.751	5.520	9.097	2.730	4.028	2.131	0.532	0.203	0.774	100
10	Luar lama 1	86.286	3.225	3.275	2.267	1.236	2.458	0.564	0.240	0.124	0.326	100
11	Luar lama 2	75.671	9.680	5.682	3.293	1.071	2.872	0.426	0.374	0.148	0.783	100
12	Luar lama 3	76.829	9.122	4.060	3.742	1.592	2.668	0.852	0.346	0.286	0.503	100
14	Luar baru 3	73.509	8.763	8.498	6.125	1.344	0.194	0.306	0.822	0.188	0.252	100

Dari tabel-tabel di atas terlihat bahwa batu yang memiliki lapisan hitam (jelaga), batu yang terkena kontaminasi asap dupa dan lilin serta batu yoni dan altar yang terkena langsung abu dupa dan lelehan lilin memiliki kandungan unsur Sulfur (S) lebih tinggi dibandingkan batu bagian luar candi dan batu baru. Untuk membuktikan lebih lanjut adanya unsur Sulfur, dilakukan uji simulasi dengan membuat 2 buah miniatur candi baru, yang kemudian diujikan dengan menggunakan dupa dan lilin yang dibakar secara terpisah selama 33 hari. Miniatur candi berukuran panjang 96,25 cm, lebar 95 cm, dan tinggi 83 cm. Hasil pengukuran dengan alat XRF pada kondisi sebelum dan sesudah menunjukkan adanya unsur Sulfur setelah percobaan, dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 8.2.4. Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 1 Setelah Dipasang Lilin

No.	Jenis Sampel	SiO ₂	Al	Fe	Ca	K	P	S	Ti	Mn	Unsur lain	Total
		% Relatif										
1	CD 1 timur luar	64.040	10.353	6.523	6.374	1.696	0.138	0.000	0.521	0.177	10.178	100
2	CD 1 selatan luar	64.473	10.266	5.743	5.588	1.916	0.098	0.000	0.478	0.155	11.283	100
3	CD 1 barat luar	65.655	10.787	5.410	6.518	1.864	0.095	0.000	0.471	0.150	9.050	100
4	CD 1 utara luar	62.013	10.408	5.561	5.672	1.830	0.088	0.000	0.492	0.154	13.782	100
5	CD 1 timur dlm	63.532	9.490	6.819	5.991	1.947	0.145	0.000	0.571	0.192	11.313	100
6	CD 1 selatan dlm	63.232	10.147	4.990	5.203	2.101	0.088	0.000	0.431	0.150	13.658	100
7	CD 1 barat dlm	64.566	11.000	5.802	6.164	1.689	0.126	0.000	0.583	0.152	9.918	100
8	CD 1 utara dlm	63.170	10.409	6.059	6.616	1.619	0.119	0.026	0.612	0.158	11.212	100

Tabel 8.2.5. Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 1 Setelah Dipasang Lilin

No.	Jenis Sampel	SiO ₂	Al	Fe	Ca	K	P	S	Ti	Mn	Unsur lain	Total
		% Relatif										
1	CD 1 timur luar	62.840	10.450	5.686	6.435	1.974	0.148	0.000	0.470	0.168	11.829	100
2	CD 1 selatan luar	63.535	10.517	5.788	6.791	1.660	0.106	0.000	0.532	0.162	10.909	100
3	CD 1 barat luar	64.046	10.666	5.767	6.025	2.001	0.130	0.000	0.501	0.161	10.703	100
4	CD 1 utara luar	61.667	10.634	5.662	6.141	1.734	0.114	0.000	0.500	0.149	13.399	100
5	CD 1 timur dlm	57.938	8.810	5.926	6.175	1.819	0.103	1.748	0.544	0.156	16.781	100
6	CD 1 selatan dlm	45.708	7.283	5.429	6.673	1.325	0.109	4.188	0.490	0.142	28.653	100
7	CD 1 barat dlm	59.105	10.222	6.101	6.325	1.812	0.138	0.630	0.484	0.143	15.040	100
8	CD 1 utara dlm	39.119	6.463	5.812	9.037	1.082	0.086	7.549	0.516	0.146	30.190	100

Tabel 8.2.6. Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 2 Sebelum Dipasang Dupa

No.	Jenis Sampel	SiO ₂	Al	Fe	Ca	K	P	S	Ti	Mn	Unsur lain	Total
		% Relatif										
1	CD 2 timur luar	67.715	11.203	5.697	7.096	1.661	0.152	0.000	0.550	0.148	5.778	100
2	CD 2 selatan luar	65.602	9.473	4.757	5.718	1.806	0.109	0.116	0.435	0.164	11.820	100
3	CD 2 barat luar	62.370	10.247	6.682	6.819	1.565	0.153	0.000	0.598	0.176	11.390	100
4	CD 2 utara luar	66.163	10.699	5.257	5.333	2.162	0.099	0.000	0.450	0.157	9.680	100
5	CD 2 timur dlm	63.532	9.490	6.819	5.991	1.947	0.145	0.000	0.571	0.192	11.313	100
6	CD 2 selatan dlm	63.232	10.147	4.990	5.203	2.101	0.088	0.000	0.431	0.150	13.658	100
7	CD 2 barat dlm	64.566	11.000	5.802	6.164	1.689	0.126	0.000	0.583	0.152	9.918	100
8	CD 2 utara dlm	63.170	10.409	6.059	6.616	1.619	0.119	0.259	0.612	0.158	10.979	100

Tabel 8.2.7. Kandungan Unsur Batu Candi Simulasi 2 Setelah Dipasang Dupa

No.	Jenis Sampel	SiO ₂	Al	Fe	Ca	K	P	S	Ti	Mn	Unsur lain	Total
		% Relatif										
1	CD 2 timur luar	64.055	10.503	6.103	6.467	1.846	0.143	0.071	0.561	0.177	10.074	100
2	CD 2 selatan luar	61.233	10.249	5.759	6.370	1.794	0.124	0.296	0.544	0.168	13.463	100
3	CD 2 barat luar	65.926	11.006	6.311	6.850	1.867	0.143	0.082	0.570	0.159	7.086	100
4	CD 2 utara luar	63.921	9.885	5.800	6.616	1.947	0.122	0.557	0.510	0.162	10.480	100
5	CD 2 timur dlm	59.694	10.520	5.945	6.604	1.475	0.162	0.417	0.577	0.164	14.442	100
6	CD 2 selatan dlm	49.921	8.989	4.775	7.140	1.303	0.064	3.225	0.401	0.140	24.042	100
7	CD 2 barat dlm	61.871	10.568	5.981	6.603	1.867	0.113	0.000	0.555	0.150	12.292	100
8	CD 2 utara dlm	56.373	10.603	5.840	7.264	1.255	0.128	2.375	0.529	0.172	15.461	100

Berdasarkan data dari candi simulasi baik pada pembakaran lilin maupun dupa pada kondisi sebelum dan sesudah ujicoba, menunjukkan adanya penambahan unsur Sulfur pada batu candi miniatur. Melihat kondisi demikian, unsur Sulfur hasil pembakaran lilin dan dupa akan bereaksi dengan dengan udara dan air. Sulfur yang terbakar akan menghasilkan gas Sulfur Oksida (SO_x) yang merupakan campuran dari SO₂ dan SO₃. Pada awalnya terbentuk SO₂ yang dapat bereaksi dengan oksigen di udara menghasilkan SO₃. SO₃ dapat bereaksi dengan air/uap air menghasilkan asam yang sangat korosif yaitu H₂SO₄.

Reaksi itu adalah sebagai berikut:



H₂SO₄ ini lebih lanjut dapat menyebabkan pelapukan batu.

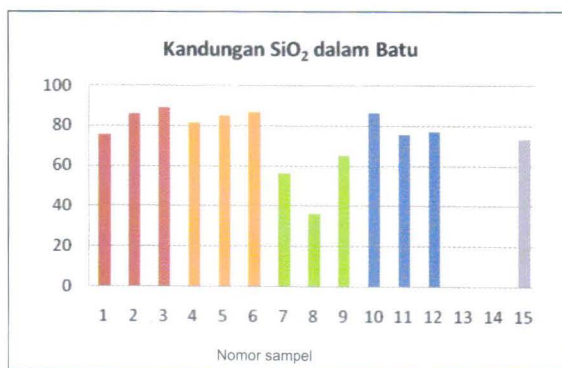
Kondisi demikian memungkinkan terjadi pelapukan pada batu-batu yang terkena dampak penggunaan lilin dan dupa baik berupa asap karena pembakaran maupun karena abu dupa atau lelehan lilin yang mengenai langsung batu candi. Proses ini dipercepat oleh kondisi batu-batu candi dalam keadaan basah/lembab terlebih ketika musim penghujan.

2. Kandungan Unsur Silika (SiO_2) pada Batu

Batu andesit merupakan batuan baku dari produk vulkanik yang secara petrografi merupakan batuan berbasis mineral yang memiliki kandungan dominan Silika. Oleh karena itu kandungan Silika akan mencerminkan karakter batu. Batu yang sehat (tidak mengalami pelapukan) berada pada kisaran 70 - 76,5 % untuk batu porous dan 65,78 - 73,91 %. (Cahyandaru, 2014).

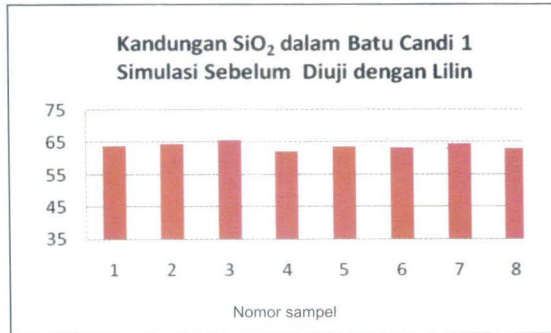
Untuk melihat unsur Silika pada batu, dilakukan analisis dengan didasarkan pada data pengukuran dengan menggunakan alat *Handheld* XRF dengan mengambil sampel batu candi Mendut. Data yang diperoleh (lihat tabel 3) dianalisis terlihat pada grafik 2.1. Terlihat dibawah sampel nomor 7, 8, 9 yang merupakan batu altar di depan arca Buddha yang sering digunakan untuk meletakkan lilin dan dupa yang dibakar, memiliki kadar silika (SiO_2) yang lebih rendah berkisar antara 36,26 – 65, 23 % dibanding sampel batu lainnya, yang kadar Silika berkisar antara 73,88 – 88,62 %.

Grafik 8.2.1. Kandungan SiO_2 pada Batu Candi Mendut

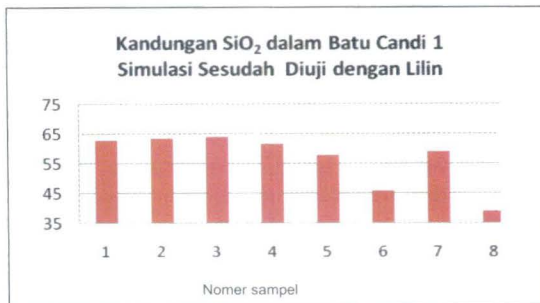


Selain Candi Mendut, adanya penurunan kandungan unsur Silika juga terlihat pada batu hasil candi simulasi (lihat tabel 8.2.4 - 8.2.7) akibat penggunaan lilin dan dupa, terlihat pada grafik dibawah ini.

Grafik 8.2.2. Keberadaan Unsur SiO₂ Sebelum Diuji dengan Lilin



Grafik 8.2.3. Keberadaan unsur SiO₂ setelah diuji dengan Lilin



Berdasarkan perbandingan grafik 8.2.2 dan 8.2.3 di atas, menunjukkan adanya penurunan unsur Silika pada batu setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan lilin yang dibakar terutama pada bagian dalam miniatur candi yang terkena asap pembakaran lilin. Pada sampel batu miniatur candi sebelum percobaan dan merupakan batu baru, kadar silikanya berkisar antara 62,01 – 65,65 %. Sedangkan sampel batu dalam miniatur candi yang setelah percobaan lilin yang dibakar terutama sampel batu dalam (sampel nomor 6 – 8) yang terkena langsung dampak pembakaran lilin kadar Silikanya berkisar antara 39,11 – 57,93 %. Pada sampel batu luar (sampel nomor 1 – 4) yang tidak terkena dampak pembakaran lilin kadar Silikanya berkisar antara 61,07 – 64,04 %. Kadar Silika batu ini tidak jauh berbeda dengan

kadar sampel batu miniatur candi sebelum dilakukan percobaan dengan pembakaran lilin.

Grafik 8.2.4. Keberadaan unsur SiO_2 Sebelum Diuji dengan Lilin pada miniatur Candi 2



Grafik 8.2.5. Keberadaan Unsur SiO_2 Setelah Diuji dengan Lilin pada miniatur Candi 2



Seperti halnya percobaan dengan menggunakan lilin pada batu miniatur candi, percobaan dengan menggunakan dupa, kadar Silika pada batu setelah dilakukan percobaan dengan pembakaran dupa menunjukkan adanya penurunan dibandingkan dengan kondisi batu sebelum dilakukan percobaan tetapi penurunan unsur Silika ini tidak terlalu banyak dibandingkan dengan percobaan dengan lilin. Pada batu dalam (sampel nomor 5 – 8) setelah percobaan dengan pembakaran dupa kadar Silikanya berkisar antara 56,37 – 59,69 %. Sedangkan batu

miniatur candi sebelum dilakukan percobaan dengan dupa kadar Silikanya berkisar antara 62,37 – 67,71 %.

Berdasarkan analisis unsur Silika pada batu yang dilakukan di halaman sebelumnya, menunjukkan adanya penurunan unsur Silika pada batu yang terkena dampak pembakaran lilin dan dupa. Namun demikian penurunan kadar Silika pada batu Candi Mendut bukan hanya disebabkan oleh satu faktor saja (pembakaran lilin dan dupa) tetapi banyak faktor lain yang ikut mempengaruhinya. Menurut Cahyandaru (2014) dari hasil penelitian di Candi Mendut menunjukkan bahwa penurunan unsur Silika pada batu candi, tidak di hanya disebabkan satu faktor saja tetapi juga oleh banyak faktor. Kandungan Silika yang rendah ini juga disebabkan lapisan garam pada permukaan batu yang cukup tebal. Endapan tersebut merupakan produk proses pelapukan sehingga memiliki komposisi yang berbeda dengan batu. Adanya senyawa organik yang tinggi pada permukaan juga akan menyebabkan kandungan silika menjadi rendah. Senyawa organik tersebut bersumber dari proses pelapukan dan endapan asap dari pembakaran dupa dan lilin yang berlangsung terus-menerus.

Namun demikian, didasarkan analisis yang telah dilakukan, salah satunya adalah percobaan dengan menggunakan miniatur candi menunjukkan bahwa pembakaran lilin dan dupa secara terus menerus merupakan salah satu faktor yang secara relatif dapat menurunkan kadar Silika pada batu. Jika ini terjadi maka dapat mengakibatkan terjadinya proses pelapukan pada batu.

1.1 Kandungan Unsur Karbon (C) pada batu

Unsur karbon ini terdapat pada batu candi yang terkena dampak pembakaran dupa dan lilin. Berdasarkan data dari analisis EDS (*Electro Dispersive Spectro Fotometer*) menunjukkan bahwa sampel batu relung, jelaga mendut, dan

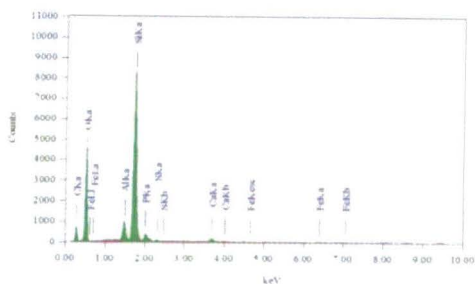
batu bawah altar di Candi Mendut menunjukkan bahwa adanya unsur Karbon yang cukup dominan dalam sampel tersebut.

EDS-1

0001_1.tif



Title : 0001_1.tif
 Instrument : JEOL(JXA)
 Volt : 20.00 kV
 Mag : 5.000x
 Date : 2014-09-19
 Pixel : 512 x 514



Acquisition Parameter
 Instrument : JEOL(JXA)
 A.D. Voltage : 20.00 kV
 Probe Current : 10.00 nA
 PHA mode : LV
 Real Time : 01.44 sec.
 Live Time : 0.44 sec.
 Dead Time : 1.11 sec.
 Counting Rate : 1421 cps
 Energy Range : 0.00 - 10.00 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(oxide)

Fitting Coefficient : 0.9744

Total Oxide : 44.01

Element	(keV)	Rasss	Sigma	Mols	Compound	Mass%	Oxide%	Ratio%
C	0.277	19.52	0.17	73.44	C	79.32	0.00	19.96
O		11.82						
Al	1.486	21.69	0.08	1.09	Al ₂ O ₃	4.70	0.22	6.25
Si	1.739	21.94	0.16	20.04	SiO ₂	51.01	10.31	47.17
F	0.701	1.11	0.06	0.42	CaF ₂	2.74	0.41	3.01
Fe	0.707	0.85	0.03	0.79	Fe ₂ O ₃	0.86	0.23	0.78
Ca	3.690	0.77	0.03	0.46	CaO	1.09	0.24	1.42
Fe	6.398	0.39	0.03	0.26	FeO	0.49	0.03	1.09
Total		100.00		100.00		100.00	100.00	

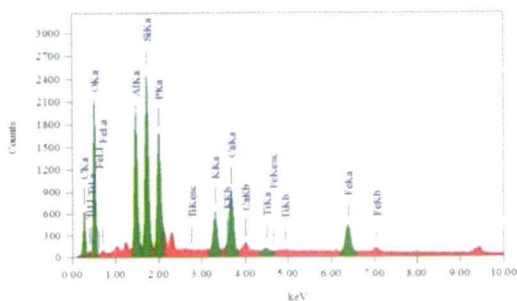
JED-2300 FastScanSystem

JEOL

Gambar 8.2.1. Hasil EDS Sampel Jelaga di Mendut



Title : IMG1
 Instrument : 6510(LA)
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 500
 Date : 2014/09/19
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510(LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current : 1.30000 nA
 PHA Mode : T3
 Real Time : 52.22 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 4 %
 Counting Rate: 3552 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)
 Fitting Coefficient : 0.1038

Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass	Sigma	Moj*	Compound	Mass*	Cation	F	F	
O	0.277	33.66	25175121968.00			77.09	O	33.66	0.00	15.2
		29.37								
Al	1.486	6.49	23398324224.00	3.31	Al2O3	12.28	Al	3.10	12.3	
Si	1.739	6.94	10745154884.00	6.78	SiO2	19.15	Si	4.12	18.6	
P	2.014	1.14	297976892.00	3.37	P2O5	46.35	P	2.97	17.8	
K	3.312	2.01	7753367520.00	6.74	K2O	2.42	K	0.66	4.99	
Ca	3.690	5.24	17655618484.00	3.61	CaO	7.36	Ca	1.69	14.8	
Ti	4.508	0.35	6479813632.00	0.20	TiO2	0.58	Ti	0.09	0.82	
Fe	6.398	6.35	27929160960.00	3.13	FeO	5.17	Fe	1.47	15.1	
Total		100.00		100.00		100.00		14.11		

Gambar 8.2.2. Hasil EDS Sampel Bawah Altar Candi Mendut

Hasil analisis EDS di atas menunjukkan bahwa 2 buah sampel Candi Mendut yang diuji yaitu sampel jelaga yang menempel pada batu dan sampel batu di bawah altar yang sering digunakan untuk meletakkan dupa dan lilin menunjukkan

kandungan Karbon yang cukup tinggi yang berkisar antara 16,28 – 39,52 %. Adanya Karbon dalam sampel batu dari Candi Mendut diduga berasal dari hasil pembakaran lilin dan dupa. Kandungan unsur Karbon dalam dupa, juga pernah diteliti oleh Lin Ta Chang (2008) yang menunjukkan bahwa dupa mengandung unsur berupa gas emisi yang salah satunya adalah Karbon Monoksida (CO).

Untuk membuktikan hal tersebut dilakukan pengukuran kondisi lingkungan bilik candi ketika dupa dan lilin dibakar dengan menggunakan alat gas dectrektor.

Tabel 8.2.6. Kandungan Unsur Gas di Dalam Bilik Candi Mendut

No	Tgl 9-5-14		Tgl 12-5-14		Tgl 13-5-14				
	H2S	CO	H2S	CO	H2S	LEL	CO	VOC	O2
1	0.4	4	3.7	182	2.8	-0.1	240	9.3	20.5
2	0.4	10	6.1	274	7.4	-0.1	335	16.8	20.5
3	0.2	13	4.7	166	1.8	-0.1	200	11.7	20.6
4	1.4	44	7.7	124	6.9	-0.1	272	35.7	26.2
5	1.2	25	3.3	135	2.6	-0.1	265	40.6	20.9
6	0.6	15	5.1	324	4.7	-0.1	454	45.7	20.8
7	0.2	15	5.9	321	8.7	-0.1	180	7.5	27.2
8	0.4	14	5.7	258	2.2	-0.1	33	8.4	20.9
9	0.4	11	5.9	212	4.6	-0.1	65	19.5	20.5
10	0.5	5	6.2	237	7.6	-0.1	238	19.7	20.8
11	0.3	7	6.3	279	6.1	-0.1	378	16.9	20.8
12	0.3	14	6.7	225	9.7	-0.1	821	19.9	20.7
13	0.1	7	2.7	190	6.7	-0.1	439	37.7	20.4
14	0.1	13	5.8	263	3.8	-0.1	271	14.4	20.8
15	0.2	3	5.3	205	10.8	-0.4	986	33.6	20.5
16	2	72	4.3	293	8.6	-0.1	834	50.3	20.2
17	1.1	5	2.7	144	6	-0.1	379	13.5	20.8
18	5.3	155	40	102	9.8	-0.1	165	12.6	20
19	5.1	188	2.4	120	6	-0.1	249	18.2	20.5
20	7.5	176	5	310	4.4	-0.1	323	16.4	20.3
21	6.7	213	3.6	392	4.9	-0.1	272	12.4	20.6
22	2.6	69	4.6	186	6	-0.1	342	24.7	20.3
23	6.6	208	4.6	131	5.3	-0.1	257	8.5	20
24	6.6	247	4.4	182	5	-0.1	203	15.8	20.6
25	3.2	151	4.5	191	3.1	-0.1	250	14.8	20.5
26	5.7	177	3	146	3.1	-0.1	102	9.4	20.7
27	11.9	418	3.3	274	4.1	-0.1	217	9.7	20.7

Berdasarkan data di atas, terlihat bahwa asap dupa dan lilin juga mengandung unsur Karbon yang memungkinkan terjadi proses pelapukan batu. Salah satu proses pelapukan larutan yang paling dikenal adalah karbonasi, proses dimana Karbon Dioksida di atmosfer (dihasilkan dari pembakaran lilin/dupa) bereaksi dengan unsur penyusun batuan. Karbonasi terjadi pada batuan yang mengandung mineral Kalsium dengan bantuan media air. Hal ini terjadi apabila Karbon Dioksida atau asam organik membentuk asam Karbonat lemah yang bereaksi dengan Kalsium dan membentuk Kalsium Karbonat.

Reaksi itu adalah sebagai berikut:



Karbon Dioksida + air \rightarrow asam Karbonat



Melihat pada kondisi batu candi yang selalu dalam keadaan lembab, terlebih pada musim hujan, memungkinkan terjadi proses pelapukan karena terbentuknya asam.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan di atas, maka penggunaan lilin dan dupa pada bangunan candi terutama yang dilakukan di dalam bilik candi, merupakan salah satu faktor yang bisa menyebabkan terjadinya pelapukan batu.

C. Penanggulangan Dampak Lilin dan Dupa

1. Pengaturan Penggunaan Lilin dan Dupa di bangunan Candi

Dalam Undang-Undang Cagar Budaya Nomor 11 tahun 2010 pasal 85 bahwa pemanfaatan cagar budaya salah satunya untuk kepentingan agama. Berdasarkan hal tersebut, pemanfaatan untuk kepentingan agama di

bangunan candi makin intensif berlangsung. Pemanfaatan ini sebenarnya sudah berlangsung lama sebelum adanya Undang-undang tentang cagar budaya. Dalam melakukan pemanfaatan, pemeluk agama seperti umat Buddha, Hindu, dan aliran kepercayaan menggunakan berbagai media dalam peribadatan seperti lilin, dupa, dan kemenyan.

Berdasarkan analisis dampak yang dilakukan pada sub bab sebelumnya, dapat diketahui penggunaan lilin dan dupa menimbulkan dampak negatif bagi batu candi. Untuk menjaga kelestarian bangunan candi, perlu dilakukan pengaturan penggunaan lilin dan dupa di bangunan candi. Pada kajian ini mengusulkan 2 alternatif yaitu :

- 1) Melakukan pelarangan terhadap penggunaan dupa dan lilin di bangunan candi.

Pelarangan ini dilakukan untuk tujuan pelestarian cagar budaya khususnya bangunan candi. Dalam melakukan kebijakan ini perlu dilakukan pendekatan dan sosialisasi pada pemeluk agama yang memanfaatkan candi sebagai tempat pemujaan. Pendekatan dan sosialisasi ini perlu dilakukan untuk menghindari kesalahpahaman dengan umat agama tertentu. Pada prinsipnya pemanfaatan untuk kepentingan diperbolehkan tetapi penggunaan media dupa dan lilin dilarang terutama di dalam bilik candi.

- 2) Pembatasan penggunaan lilin dan dupa di bangunan candi

Untuk menghargai kepentingan umat beragama tertentu dan mengurangi kesalahpahaman yang akan terjadi, perlu dilakukan pembatasan penggunaan lilin dan dupa di bangunan candi khususnya di bagian dalam/ bilik candi. Pembatasan ini dilakukan misalnya masih

memperbolehkan penggunaan lilin dan dupa di dalam bilik candi, tetapi dupa dan lilin tersebut tidak diletakkan di dalam bilik candi, tetapi diletakkan diluar candi pada tempat yang tersedia misalnya di dekat tangga naik ke candi.

2. Pembersihan Dari Dampak Negatif Lilin dan Dupa

Penggunaan lilin dan dupa menimbulkan dampak negatif batu candi khususnya secara kasatmata, yang menyebabkan batu candi menjadi kotor akibat terkena lelehan lilin yang dibakar. Selain itu asap dari pembakaran dupa dan lilin menyebabkan batu candi menjadi hitam. Untuk menjaga kelestarian batu candi dan juga dari segi estetika, maka perlu dilakukan uji pembersihan terhadap dampak yang ditimbulkan dari penggunaan dupa dan lilin.

- 1). Pembersihan bekas lelehan lilin yang menempel di batu
Pada kajian ini, akan dilakukan pembersihan pada batu yang terkena lelehan lilin. Pembersihan pada batu ini bertujuan untuk mencegah dampak lebih lanjut terhadap batu candi, mempertahankan nilai estetika, dan menjaga kelestarian batu candi, yang akhirnya kelestarian bangunan candi secara keseluruhan dapat terjaga. Pada pembersihan ini mengambil lokasi pada Candi Borobudur yang terkena dampak setelah kegiatan perayaan Waisak tahun 2014 berlangsung.

Prosedur Pembersihan :

- Melakukan observasi terhadap batu-batu candi yang terkena lelehan lilin pasca kegiatan keagamaan.
- Dokumentasi kondisi batu yang terkena lelehan lilin sebelum pelaksanaan dan sesudah dibersihkan.

- Pada bekas tetesan lilin yang menempel pada batu dilakukan pemanasan dengan menggunakan kompor gas tangan.
- Lakukan sampai bekas lilin tersebut mendidih dan warna lilin mulai memudar.
- Ketika lilin sudah mencair dan mendidih, segera tambahkan pasir kemudian gosokkan pasir tersebut dengan sikat ijuk pada tetesan lilin sampai tetesan tersebut terserap pasir sehingga tidak meninggalkan bekas.
- Lakukan hal yang sama dengan menambahkan pasir dan digosokkan jika masih dirasa kurang bersih, pastikan sampai benar-benar bersih.



Foto 8.2.11 Bekas lelehan lilin di batu halaman



Foto 8.2.12 Pemanasan bekas lilin



Foto 8.2.13 Pemberian pasir

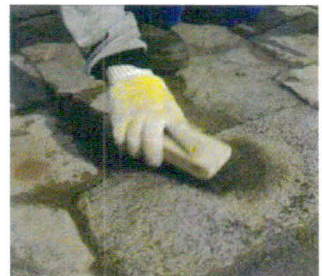


Foto 8.2.14 Gosok dengan sikat ijuk

Pembersihan bekas tetesan lilin ini sebagai upaya mengembalikan kebersihan bangunan seperti sebelum ada kegiatan agama. Metode pembersihan ini dapat digunakan pada bangunan candi lainnya yang batunya terkena tetesan lilin.

2).. Uji pembersihan lapisan hitam akibat asap dari pembakaran lilin dan dupa

Penggunaan dupa dan lilin yang dibakar dalam kegiatan upacara keagamaan dan aliran kepercayaan menimbulkan dampak negatif berupa lapisan hitam (jelaga) pada batu candi. Hal ini terlihat pada bangunan candi yang telah dilakukan survei seperti di Candi Mendut, percandian Gedong Songo, dan kompleks percandian Dieng.

Pada uji ini akan mengambil sampel lapisan hitam yang diduga dari dampak asap lilin dan dupa yang menempel pada batu dinding Candi Gedong IV, kompleks percandian Gedong Songo dimana di candi tersebut banyak ditemukan sisa-sisa pembakaran lilin, dupa, dan kemenyan.

Bahan pembersih yang digunakan adalah :

- a. Alkohol 70 %
- b. Aseton
- c. Xylol

Prosedur uji pembersihan :

- Dokumentasi kondisi lapisan hitam sebelum uji pembersihan.
- Bagi sampel lapisan hitam menjadi 3 bagian, yang digunakan untuk uji dengan menggunakan bahan Alkohol 70 %, Aseton dan Xylol.

- Siapkan bahan pembersihan yang digunakan.
- Ambilkan bahan dengan kapas kemudian ditempelkan lapisan hitam di batu yoni.
- Pada uji ini bahan pembersih yang ditempelkan di lapisan hitam dibiarkan menempel di batu selama 1 menit, kemudian diambil dan diolesi dengan bahan pembersih dan ditempelkan kembali selama 2 menit, hal yang sama dilakukan kemudian ditempelkan selama 3 menit, 4 menit, 5 menit, dan 10 menit
- Bahan pertama yang diujikan adalah Alkohol, ditempelkan ke lapisan hitam di batu yoni dan dibiarkan selama 1 menit.
- Lakukan hal yang sama dan dibiarkan selama 2 menit, 3 menit, 4 menit, 5 menit, dan 10 menit.
- Untuk bahan Etanol dan Xylol, ikuti prosedur pada pembersihan dengan menggunakan Alkohol.
- Setelah pengolesan selama 10 menit, kemudian dilakukan pembersihan dengan menggunakan sikat gigi pada sampel yang menggunakan bahan Alkohol. Setelah selesai pembersihan kemudian dikeringkan menggunakan spon.
- Setelah proses pembersihan dan pengeringan dapat diketahui bahwa dari ketiga sampel tersebut, terlihat bahwa penggunaan bahan Etanol lebih efektif dibandingkan dua bahan lainnya. Penggunaan Etanol, lapisan hitam sebagian besar dapat dihilangkan, walaupun belum bisa 100 %.



Foto 8.2.15 Pembagian sampel untuk bahan uji



Foto 8.2.16 Bahan Alkohol



Foto 8.2.17 Bahan Aseton



Foto 8.2.18 Bahan Xylol



Foto 8.2.19 Pembersihan



Foto 8.2.20 Setelah dibersihkan

Selain di Candi Gedong 1, uji pembersihan lapisan hitam ini juga dilakukan Candi Arjuna kompleks percandian Dieng, dengan hasil yang hampir sama pada pengujian di Candi Gedong 1. Pembersihan lapisan hitam dengan menggunakan bahan uji di atas dapat dilakukan jika lapisan hitam belum mengeras dan menyatu dengan dengan batu candi. Untuk lapisan hitam yang telah mengeras perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penanganan konservasinya.

BAB III

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemanfaatan bangunan cagar budaya khususnya bangunan candi untuk kepentingan agama telah dilakukan sejak lama. Dalam melakukan kegiatan keagamaan, para pemeluk menggunakan media dupa dan lilin untuk melakukan pemujaan. Penggunaan dupa dan lilin ini ternyata menimbulkan dampak negatif terhadap batu candi
2. Dampak Negatif yang ditimbulkan akibat penggunaan dupa dan lilin yang dibakar pada batu candi adalah berupa lapisan hitam yang menempel pada beberapa bagian di bilik candi. Selain itu dampak lainnya yang ditimbulkan adalah bekas lelehan lilin dan abu dupa yang menempel pada batu candi. Pada beberapa bagian seperti yoni di candi Gedong 1 kompleks percandian Gedong Songo dan yoni di candi Arjuna di Kompleks percandian Dieng terlihat sangat kotor akibat dampak tersebut. Hal ini menyebabkan terganggu estetika dan keindahan dari bangunan candi secara keseluruhan.
3. Penggunaan lilin dan dupa di bangunan candi juga berdampak pada pelapukan batu. Hasil analisis yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa pembakaran dupa dan lilin di dalam bangunan candi menjadi salah satu faktor pendukung pelapukan pada batu candi.
4. Dalam upaya menanggulangi dampak negatif akibat penggunaan dupa dan lilin pada bangunan candi perlu dilakukan pengaturan penggunaan dupa dan lilin pada bangunan candi.

5. Dalam upaya untuk membersihkan lapisan hitam di bangunan candi akibat pembakaran lilin dan dupa telah dilakukan percobaan pembersihan dengan menggunakan beberapa bahan seperti alkohol, etanol dan xyol. Hasil percobaan menunjukkan penggunaan etanol lebih efektif dibandingkan dengan 2 bahan lain, tetapi penggunaan bahan etanol juga belum maksimal untuk mengembalikan seperti sedia kala sebelum terkena dampak.
6. Dalam upaya membersihkan lelehan lilin yang menempel pada batu candi, telah dilakukan percobaan pembersihan dengan hasil yang efektif dan dapat mengembalikan batu candi bersih seperti sedia kala sebelum terkena dampak.

B. Saran

1. Untuk menjaga kelestarian bangunan candi sebagai cagar budaya dari dampak dupa dan lilin, perlu dilakukan pengaturan penggunaan dupa dan lilin pada bangunan candi.
2. Perlu dilakukan penangan konservasi untuk mengurangi dampak negatif pada batu candi terutama pada bangunan candi yang terkena dampak.
3. Khusus untuk kompleks candi Gedong Songo dan kompleks percandian Dieng, perlu segera dilakukan upaya penanganan konservasinya. Jika tidak segera dilakukan dikhawatirkan akan menambah kerusakan dan pelapukan pada batu candi dan yoni serta akan mengurangi nilai estetika yang terkandung pada bangunan candi tersebut.
4. Untuk mengetahui signifikansi pengaruh dari pada pembakaran lilin dan dupa pada batu candi secara kuantitatif perlu dilakukan kajian serupa dengan menggunakan uji stastitika.

DAFTAR PUSTAKA

- Bureau KHCEP. 2003. *Reduction of Pollutants in Temples. In Total Inventory Control of Air Pollutants and The Guidance Program for Reduction*. Kao-Hsiong, Taiwan. (6-9).
- Cahyandaru, Nahar. 2014. Penerapan NDT (*Non-Destructive Testing*) untuk Analisis Pelapukan Cagar Budaya Menggunakan Alat XRF; Studi Kasus Candi Mendut. *Artikel dalam Jurnal Borobudur Vol. 8 No.2*. Balai Konservasi Borobudur
- EncyclopediaB: Incense. <http://www.britannica.com/eb/article-9042241/incense>.
- Fang GC, Chang CN, Wu YS, Yang CJ, Chang SC, Yang IL. 2002. *Suspended Particulate Variations and Mass Size Distributions of Incense Burning at Tzu Yun Yen Temple in Taiwan, Taichung*. *Sci Total Environ*. (79-87).
- Fang GC, Chu CC, Wu YS, Fu PP. 2002. *Emission Characters of Particulate Concentrations and Dry Deposition Studies for Incense Burning at A Taiwanese Temple*. *Toxicol Ind Health*. (183-190).
- Fang GC, Chang CN, Chu CC, Wu YS, Pi-Cheng FP, Chang SC, Yang IL 2003. *Fine (PM_{2.5}), Coarse (PM_{2.5-10}), and Metallic Elements of Suspended Particulates for Incense Burning at Tzu Yun Yen Temple in Central Taiwan*. *Chemosphere*. (983-991).
- Kaplan, Melissa (2014) Chronic Neuroimmune Diseases: Toxins in Burning Candles, Candle Wicks, and Incense : <http://www.anapsid.org/cnd/mcs/candles.html> diakses 26 Maret 2014.

- Lin TC, Chang FH, Hsieh JH, Chao HR, Chao MR/ 2002 *Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Total Suspended Particulate in Indoor and Outdoor Atmosphere of A Taiwanese temple. J Hazard Mater.* (1-12).
- Lin TC, Chang FH, Hsieh JH, Chao HR, Chao MR. 2001. *Environmental Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Total Suspended Particulates in A Taiwanese Temple. Bull Environ Contam Toxicol.* (67:332-338).
- Lin Ta Chang, Guha Krishnaswamy & David S. Chi, 2008, "Incense Smoke, Clinical, Structural, and Molecular Effect on Airway. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2377255/> diakses 26 Maret 2014
- *Current statistics on temples and churches in Taiwan, Weekly Report; 2006*
- www.wikipedia.org/wiki/dupa. 5 Maret 2014
- www.padmakumara.wordpress.com. 5 Maret 2014
- www.becsurabaya.org/artikel 6 Maret 2014
- <http://diaryarnie.blogspot.com/2013/02/bahan-baku-terbuatnya-lilin.html>. 2 April 2014.
- <http://dianafrcercon27.wordpress.com/2013/04/01/lilin-perubahan-fisika-atau-kimia/>
- <http://candi.pnri.go.id/temples>

Perp
Jer

Balai Konservasi Borobudur

Jl. Badrawati, Borobudur, Magelang, Jawa Tengah, Indonesia 56553

Telp. (0293) 788175, 788225 Fax. (0293) 788367

website: www.konservasiborobudur.org