

BUKU HASIL KAJIAN BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Tahun Kajian 2015



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
DIREKTORAT JENDERAL KEBUDAYAAN
BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

2016

BUKU HASIL KAJIAN BALAI KONSERVASI BOROBUDUR

Tahun Kajian 2015



Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
DIREKTORAT JENDERAL KEBUDAYAAN
BALAI KONSERVASI BOROBUDUR
2016

REDAKSI

Pengarah :

Drs. Marsis Sutopo, M.Si

Penanggung Jawab :

Iskandar Mulia Siregar, S.Si

Editor Ahli :

Drs. Marsis Sutopo, M.Si

Redaktur :

Wiwit Kasiyati, S.S., M.A

Isni Wahyuningsih, S.S

Henny Kusumawati, S.S

Jati Kurniawan, S.S

Desain Grafis :

Dian Eka Puspitasari, S.T

Fotografer :

Ihwan Nurais

Diterbitkan Oleh :

**BALAI KONSERVASI BOROBUDUR
DIREKTORAT JENDERAL KEBUDAYAAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

Jl. Badrawati Borobudur Magelang Jawa Tengah Indonesia 56553

Telp. : (0293) 788175, 788225

Fax. : (0293) 788367

Email : balai@konservasiborobudur.org

konservasiborobudur@yahoo.com

Website : www.konservasiborobudur.org/bkborobudur

Cetakan I : 2016

ISBN : 978-602-74034-2-0

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat, karunia, serta taufik dan hidayahNya penerbitan Buku Hasil Kajian 2015 ini dapat terselesaikan. Penerbitan buku ini 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 ini merupakan kompilasi hasil kajian yang telah dilakukan Balai Konservasi Borobudur pada tahun 2015. Buku ini berisi 8 laporan hasil kajian yaitu : Kajian Konservasi Situs Liangan Jawa Tengah, Metode Konservasi Bangunan Kayu Masyarakat Simalungun Sumatra Utara, Kajian Pencocokan Kepala Arca Candi Borobudur, Anastilosis Temuan Struktur Candi Mendut, Kajian Mortar Etil Silikat untuk Konservasi Cagar Budaya Berbahan Andesit, Minyak Atsiri untuk Konservasi Cagar Budaya Berbahan Batu, Pengembangan Perekat Alam untuk Penyambungan Artefak Kayu, Tanin sebagai Inhibitor Korosi Logam (Tanin dari Ekstrak Teh sebagai Inhibitor Korosi Artefak Besi).

Terima kasih kami ucapkan kepada Kepala Balai Konservasi Borobudur yang telah memberikan kepercayaan kepada Tim Redaksi untuk menyusun buku ini. Terima kasih juga kami ucapkan kepada para penulis dan semua pihak yang 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 2016

Tim Redaksi



Daftar Isi

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	V
DAFTAR FOTO	IX
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR GRAFIK	XII
DAFTAR TABEL	xiii
1 KAJIAN KONSERVASI SITUS LIANGAN JAWA TENGAH	1
I. LATAR BELAKANG	1
II. METODE KAJIAN	3
III. HASIL DAN PEMBAHASAN	4
A. UP DATE DATA LAPANGAN	4
B. PERCOBAAN PENERAPAN KONSERVASI ARANG	8
C. PERCOBAAN KONSERVASI TALUD	8
D. PERENCANAAN PEMBUATAN BANGUNAN PELINDUNG	11
E. PENGUMPULAN DATA DAN INFORMASI UNTUK KONSERVASI TEBING	12
IV. PENUTUP	13
DAFTAR PUSTAKA	14
2 KAJIAN METODE KONSERVASI BANGUNAN KAYU MASYARAKAT SIMALUNGUN SUMATRA UTARA	15
I. PENDAHULUAN	15
A. LATAR BELAKANG	15
B. MAKSUD DAN TUJUAN KAJIAN	16
C. MANFAAT KAJIAN	16
D. RUANG LINGKUP KAJIAN	17
II. TINJAUAN PUSTAKA	17
A. RUMAH TRADISIONAL SIMALUNGUN	17
III. METODE PENELITIAN	19
A. METODE PENELITIAN	19
B. SURVEI DAN PEREKAMAN DATA DILAPANGAN	19
IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN	19
A. STRUKTUR DAN KONSTRUKSI RUMAH TRADISIONAL SIMALUNGUN	19
B. KERUSAKAN STRUKTURAL, MATERIAL DAN ARSITEKTURAL RUMAH BOLON	29
C. KOMPONEN MATERIAL PENYUSUN RUMAH TRADISIONAL BOLON	31
D. KLIMATOLOGI LINGKUNGAN	34
E. FAKTOR PENYEBAB KERUSAKAN DAN MENURUNNYA KONDISI KETERAWATAN RUMAH BOLON	35
F. KEARIFAN LOKAL (LOCAL GENIUS) KONSEP PEMBANGUNAN RUMAH BOLON SIMALUNGUN.	36
G. METODE KONSERVASI DAN PENANGANAN KERUSAKAN RUMAH BOLON SIMALUNGUN.	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	39
A. KESIMPULAN	39
B. SARAN DAN REKOMENDASI	39
DAFTAR PUSTAKA	40

3	KAJIAN PENCOCOKAN KEPALA ARCA CANDI BOROBUDUR	41
I.	PENDAHULUAN	41
A.	LATAR BELAKANG	41
B.	RUMUSAN MASALAH	43
C.	TUJUAN	43
D.	MANFAAT	43
E.	RUANG LINGKUP	43
F.	METODE DAN ALUR KAJIAN	43
II.	TINJAUAN PUSTAKA	45
A.	ARCA BUDDHA	45
B.	IKONOMETRI ARCA BUDDHA	45
C.	ARCA DHYANI BUDDHA CANDI BOROBUDUR	46
D.	MATERIAL BATU PADA STRUKTUR CANDI BOROBUDUR	49
III.	METODE KAJIAN	49
IV.	PELAKSANAAN KAJIAN	50
A.	PENDOKUMENTASIAN	50
B.	PENGUKURAN IKONOMETRI KEPALA ARCA DAN TUBUH ARCA	51
C.	PENGUKURAN KANDUNGAN UNSUR MATERIAL BATU	56
D.	PENGUKURAN KANDUNGAN MAGNETIK MATERIAL BATU	58
E.	PENGUKURAN LAJU RAMBAT GELOMBANG ULTRASONIK	60
V.	ANALISA DATA	61
A.	PENGUKURAN IKONOMETRI KEPALA ARCA DAN TUBUH ARCA	61
B.	PENGUKURAN KANDUNGAN UNSUR MATERIAL BATU	62
C.	PENGUKURAN KANDUNGAN MAGNETIK MATERIAL BATU	63
D.	PENGUKURAN CEPAT RAMBAT GELOMBANG ULTRASONIK (ULTRASOUND VELOCITY)	64
VI.	KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	65
4	ANASTILOSIS TEMUAN STRUKTUR CANDI MENDUT	69
I.	PENDAHULUAN	69
A.	LATAR BELAKANG	69
B.	PERMASALAHAN	71
C.	TUJUAN	71
D.	MANFAAT	71
E.	RUANG LINGKUP	72
II.	TINJAUAN PUSTAKA	72
A.	PENGERTIAN ANASTILOSIS	72
B.	METODE ANASTILOSIS	72
C.	TAHAPAN ANASTILOSIS	73
III.	METODOLOGI	74
A.	ALAT DAN BAHAN	74
B.	TAHAPAN PENELITIAN	74
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	75
A.	INVENTARISASI BATU LEPAS	75
B.	TEST PIT STRUKTUR ANDESIT	76
C.	VALIDASI FOTO LAMA	76
D.	SIMULASI SUSUN COBA	77
V.	PENUTUP	80
A.	KESIMPULAN	80
B.	REKOMENDASI	80
	DAFTAR PUSTAKA	81

5	KAJIAN MORTAR ETIL SILIKAT UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA BERBAHAN ANDESIT	83
I.	PENDAHULUAN	83
A.	LATAR BELAKANG	83
B.	RUMUSAN MASALAH	84
C.	TUJUAN	84
D.	METODE KAJIAN	84
II.	HASIL DAN PEMBAHASAN	88
A.	HASIL PENGUJIAN	88
B.	PEMBAHASAN	92
III.	KESIMPULAN DAN SARAN	93
A.	KESIMPULAN	93
B.	SARAN	93
	DAFTAR PUSTAKA	94
6	MINYAK ATSIRI UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA BERBAHAN BATU	95
I.	PENDAHULUAN	96
A.	LATAR BELAKANG	96
B.	TUJUAN	96
C.	RUANG LINGKUP	97
II.	METODOLOGI PENELITIAN	97
A.	ALAT DAN BAHAN	97
B.	CARA KERJA PENELITIAN	97
III.	HASIL DAN PEMBAHASAN	99
A.	IDENTIFIKASI JENIS LUMUT KERAK	99
B.	PENGUJIAN EFEKTIFITAS MINYAK ATSIRI SEBAGAI ANTI JAMUR SKALA LABORATORIUM DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFUSI AGAR	101
C.	PENGUJIAN EFEKTIFITAS MINYAK ATSIRI UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN LUMUT KERAK SKALA LAPANGAN	103
IV.	KESIMPULAN DAN SARAN	106
A.	KESIMPULAN	106
B.	SARAN	106
	DAFTAR PUSTAKA	107
7	PENGEMBANGAN PEREKAT ALAM UNTUK PENYAMBUNGAN ARTEFAK KAYU	109
I.	PENDAHULUAN	109
A.	LATAR BELAKANG	109
B.	MAKSUD DAN TUJUAN	111
C.	MANFAAT	111
D.	RUANG LINGKUP	111
II.	METODOLOGI PENELITIAN	111
A.	BAHAN DAN ALAT	111
B.	CARA KERJA	111
III.	HASIL DAN PEMBAHASAN	113
A.	UJI KENAMPAKAN/ VISUAL	113
B.	UJI KEASAMAN (PH)	114
C.	UJI BERAT JENIS (BJ)	115
D.	UJI KADAR PADATAN	116
E.	UJI WAKTU PEREKAT MULAI MENGERING	116
F.	UJI DAYA REKAT PADA KAYU	117
G.	UJI KONDISI PEREKATAN TERHADAP PEMANASAN	119
	DAFTAR PUSTAKA	120

8	TANIN SEBAGAI INHIBITOR KOROSI LOGAM	121
I.	PENDAHULUAN	121
A.	LATAR BELAKANG	121
B.	MAKSUD DAN TUJUAN	123
C.	RUANG LINGKUP	123
II.	LANDASAN TEORI	123
A.	ARTEFAK LOGAM DALAM ARKEOLOGI	123
B.	ARTEFAK LOGAM BERBAHAN BESI	123
C.	KOROSI PADA BESI	124
D.	PENGERTIAN KONSERVASI	125
E.	METODE KONSERVASI LOGAM	126
F.	INHIBITOR KOROSI LOGAM DARI EKSTRAK TANAMAN	126
G.	TANIN SEBAGAI INHIBITOR KOROSI ARTEFAK BESI	127
III.	METODE PENELITIAN	128
A.	METODE PENELITIAN	128
B.	RANCANGAN PERCOBAAN	128
C.	ALAT DAN BAHAN	129
D.	PROSEDUR EKSPERIMEN	129
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	133
A.	KADAR TANIN DALAM EKSTRAK TEH	133
B.	KOMPOSISI DAN SALINITAS AIR LAUT PANTAI GLAGAH SERTA KOMPOSISI PLAT BESI	134
C.	LAJU KOROSI PLAT BESI DALAM LARUTAN TANIN SINTETIK DAN EKSTRAK TEH	135
D.	EFEKTIFITAS PENGHAMBATAN EKSTRAK TEH DAN TANIN SINTETIK	141
E.	SAMPEL KOLEKSI BESI MUSEUM NASIONAL YANG DIAPLIKASI DENGAN TANIN SINTETIK	141
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	143
A.	KESIMPULAN	143
B.	SARAN	143
	DAFTAR PUSTAKA	143

DAFTAR FOTO

Foto 1.1 Perluasan penggalian struktur pertirtaan	5
Foto 1.2 Temuan balok arang baru	5
Foto 1.3 Pembersihan dari pasir	6
Foto 1.4 Penyiapan Sikadur 52 id dan Aceton	6
Foto 1.5 Pengolesan Sikadur 52 id	6
Foto 1.6 Dengan cara disemprot	6
Foto 1.7 Pembersihan dari pasir	6
Foto 1.8 Pencampuran Sikadur 52 id	6
Foto 1.9 Pengolesan Sikadur 52 id	7
Foto 1.10 Pelapisan dengan plastik	7
Foto 1.11 Pencampuran bahan pelapis	7
Foto 1.12 Penuangan bahan pelapis	7
Foto 1.13 Temuan arang gabah	7
Foto 1.14 Penyimpanan guci dan keramik di rumah Bapak Samudi	8
Foto 1.15 Salah satu artefak yang disimpan di rumah Bapak Samudi	8
Foto 1.16 Kondisi awal sebelum dilakukan uji coba pemasangan talud	10
Foto 1.17 Komposisi campuran mortar percobaan	10
Foto 1.18 Percobaan Pemasangan talud	11
Foto 1.19 Kondisi setelah 4 bulan percobaan	11
Foto 1.20 Uji coba mortar	11
Foto 1.21 Uji coba mortar	11
Foto 1.22 Contoh miniatur shelter pelindung temuan	12
Foto 1.23 Contoh miniatur shelter pelindung temuan	12
Foto 1.24 Contoh miniatur shelter pelindung temuan	12
Foto 1.25 Contoh miniatur shelter pelindung temuan	12
Foto 1.26 Tebing galian tampak horizontal	13
Foto 1.27 Tebing galian tampak vertikal	13
Foto 2.1 Bentuk dari Rumah "Bolon" Simalungun	17
Foto 2.2 Situasi Kompleks Istana Pematang Purba	18
Foto 2.3 Bangunan Kompleks Istana Pematang Purba	19
Foto 2.4 Tiang Partogu	24
Foto 2.5 Pelapukan yang parah pada bagian tiang kolom dan balok Rumah Bolon	29
Foto 2.6 Pelapukan pada bagian umpak Rumah Jabu Lopou	30
Foto 2.7 Kerusakan Dislokasi/Deformasi pada join tiang kolom dan balok Galang	30
Foto 2.8 Ilustrasi Pembebanan yang menyebabkan kemelesakan dan patahan	31
Foto 2.9 Penggantian Tiang yang tidak sesuai dengan dimensi aslinya	36
Foto 3.1 Hasil pemotretan kepala arca Dhyani Buddha (Dok: Tim Kajian, 2015).	51
Foto 3.2. Hasil pemotretan tubuh arca Dhyani Buddha pada struktur Candi Borobudur (Dok: Tim Kajian, 2015).	51
Foto 3.3 Pengukuran ikonometri pada kepala arca (Dok: Tim kajian, 2015).	52
Foto 3.4 Pengukuran pada leher dan bekas patahan pada leher (Dok: Tim kajian, 2015).	52
Foto 3.5 Pengukuran ikonometri pada tubuh arca (Dok: Tim kajian, 2015).	54
Foto 3.6 Pengukuran ikonometri pada bekas patahan leher di tubuh arca (Dok: Tim kajian, 2015).	55
Foto 3.7 Pengukuran kandungan unsur menggunakan XRF (Dok: Tim kajian, 2015)	56
Foto 3.8 Pengukuran menggunakan magnetic susceptibility meter pada tubuh arca di dalam stupa teras (Dok: Tim kajian, 2015).	59
Foto 3.9 Pengukuran menggunakan ultrasonic pulse velocity tester (Dok: CICS, 2015).	61
Foto 3.10 Peralatan ultrasonic pulse velocity tester (Dok: humboldtmfg.com)	64
Foto 4.1 Temuan struktur andesit tahun 2014	70
Foto 4.2 Temuan struktur andesit tahun 1898 (Sumber: kitlv, Universitas Leiden)	70
Foto 4.3. Batu-batu lepas di halaman Candi Mendut	71
Foto 4.4 Perkerasan tanah pada TP1 (kiri) dan TP2 (kanan)	76
Foto 4.5 Keletakan struktur andesit pada foto lama (kiri) dan foto tahun 2015 (kanan).	76
Foto 4.6 Ciri pada batu sebagai acuan keletakan	77

Foto 4.7 Susun coba batu lepas bagian I (kiri) dan bagian II (kanan)	77
Foto 4.8 Susun coba batu lepas bagian III (kiri) dan bagian IV (kanan)	78
Foto 4.9 Susun coba batu lepas bagian V (kiri) dan bagian VI (kanan)	78
Foto 4.10 Susun coba batu lepas bagian VII (kiri) dan bagian VIII (kanan)	79
Foto 4.11 Batu lepas bagian III, IV, VI dan VII tampak depan	79
Foto 4.12 Batu lepas bagian VI dan VII tampak samping	80
Foto 5.1 Mesin penghancur batu	85
Foto 5.2 Mesin penyaring serbuk batu	85
Foto 5.3 Proses pemecahan batu	87
Foto 5.4 Bubukan batu hasil penyaringan	87
Foto 5.5 Komposisi bubukan batu	87
Foto 5.6 Proses pencampuran etil silikat	87
Foto 5.7 Benda uji mortar	87
Foto 5.8 Uji kapilarisasi	88
Foto 5.9 Uji porositas	88
Foto 5.10 Foto Sampel Mortar 6.X	91
Foto 5.11 Foto Sampel Mortar 7.X	91
Foto 5.12 Sampel Mortar 6.X dengan skala	91
Foto 5.13 Sampel Mortar 7.X dengan skala	91
Foto 5.14 Kapilarisasi pada Mortar	92
Foto 5.15 Ketinggian Kapilarisasi pada Mortar	92
Foto 6.1 Koloni Jamur	98
Foto 6.2 Isolasi Jamur	98
Foto 6.3 Metode difusi kertas saring	99
Foto 6.4 Lumut Kerak	100
Foto 6.5 Jamur	100
Foto 6.6 Jamur Perbesaran 1000x	100
Foto 6.7 Alga pada lichen	101
Foto 6.8 Ganggang perbesaran 1000x	101
Foto 6.9 Perubahan Sebelum dan Setelah Pengaplikasian Minyak Atsiri	104
Foto 6.10 Perubahan Sebelum dan Setelah Pengaplikasian Minyak Atsiri	105
Foto 6.11 Perubahan Sebelum dan Setelah Pengaplikasian Minyak Atsiri	105
Foto 7.1. Anchor	113
Foto 7.2. Gelatin	113
Foto 7.3. Dextrin	114
Foto 7.4. Tanin	114
Foto 7.5. Gondorukem	114
Foto 7.6. Sisa perekat anchor dalam gelas yang ditumbuhi jamur	117
Foto 7.7. Sisa perekat gelatin dalam gelas yang ditumbuhi jamur	117
Foto 7.8. Contoh balok kayu yang akan dipakai untuk uji daya rekat	117
Foto 7.9. Contoh balok kayu yang akan dipakai untuk uji daya rekat	117
Foto 7.10. Pengukuran balok kayu dengan jangka sorong	117
Foto 7.11. Pengolesan permukaan kayu dengan bahan perekat	118
Foto 7.12. Pengolesan permukaan kayu dengan bahan perekat	118
Foto 7.13. Contoh balok kayu yang telah disambung	118
Foto 7.14. Contoh balok kayu yang telah disambung	118
Foto 7.15. Pengukuran daya rekat dengan UTM	118
Foto 7.16. Pengukuran daya rekat dengan UTM	118
Foto 7.17. Pengujian pemanasan kayu yang direkatkan	119
Foto 8.1 Pembuatan Larutan Induk Tanin Sintetik	130
Foto 8.2 Pencampuran larutan induk ekstrak teh dan air laut	133
Foto 8.3 Cundrik dan Penampang Permukaannya	141
Foto 8.4 Badik yang Permukaannya Masih Bagus	142
Foto 8.5 Lapisan Permukaan Badik yang Mengelupas, Terlihat Warna Lapisan Tanin Hitam Kebiruan	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta perkembangan data arkeologi Situs Liangan tahun 2008 - 2014	3
Gambar 1.2 Desain maket shelter pelindung temuan Situs Liangan	11
Gambar 2.1 Situasi Kompleks Istana Pematang Purba	18
Gambar 2.2 Denah Rumah Bolon	20
Gambar 2.3 Denah Fungsi Rumah Bolon	20
Gambar 2.4 Pembagian Struktur pada Rumah Bolon	21
Gambar 2.5 Penamaan Bagian Rumah Bolon	21
Gambar 2.6 Detail sistem pondasi dengan batu alam pada bagian teras	22
Gambar 2.7 Detail sistem pondasi dengan umpak beton	23
Gambar 2.8 (a) Detail sistem pondasi dengan umpak beton	23
Gambar 2.8 (b) Denah posisi tiang	23
Gambar 2.9 Ilustrasi potongan kayu dan posisi lapisan ijuk	24
Gambar 2.10 Detail sambungan takikan, purus dan lubang pada koneksi antar balok galang, dan balok atas penyangga papan lantai	24
Gambar 2.11 Detail sambungan takikan, purus dan lubang pada koneksi antar balok galang pada bagian teras. (a) kondisi rawan terhadap geser	25
Gambar 2.12. Detail Struktur Lantai Ruang Rumah Jabu Lopou	25
Gambar 2.13. Detail Struktur Lantai Teras Ruang Rumah Jabu Lopou	26
Gambar 2.14. Detail Struktur Lantai Rumah Bolon	26
Gambar 2.15 Detail Struktur Dinding Rumah Jabu Lopou	27
Gambar 2.16 Detail Struktur Dinding Rumah Bolon	27
Gambar 2.17 Detail Sistem Sambungan Purus dan Lubang sebagai pengikat balok galang kecil	27
Gambar 2.18 Detail Sistem Sambungan Purus dan Lubang dengan pengikat tali pada bagian kolom dan balok	28
Gambar 2.19 Detail Sistem Sambungan menggunakan pasak pada bagian struktur dinding	28
Gambar 2.20 Detail komponen struktur atap dan rangka atap yang digunakan	28
Gambar 2.21 Detail ikatan atap ijuk pada rangka atap	29
Gambar 2.22 Titik pengambilan sampel pengukuran kadar pH tanah sekitar Rumah Bolon	34
Gambar 3.1 Diagram alur Kajian Pencocokan Arca Buddha Candi Borobudur.	44
Gambar 3.2 Denah lokasi arca Dhyani Buddha pada struktur Candi Borobudur (Dok: Tim Kajian,2014).	48
Gambar 4.1 Diagram alir tahap kajian	75
Gambar 4.2 Profil melintang susunan batu	75
Gambar 8.1 Alat dan sampel dalam percobaan	129

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1 Kurva distribusi percobaan pembuatan mortar	9
Grafik 1.2 Distribusi ukuran partikel	10
Grafik 2.1 Hubungan antara Temperatur dan Kelembaban di bagian luar Rumah Bolon	35
Grafik 2.2 Hubungan antara Temperatur dan Kelembaban di bagian dalam Rumah Bolon	35
Grafik 3.1 Elemen ikonometri pada kepala arca Buddha Candi Borobudur.	54
Grafik 3.2 Perbandingan kandungan SiO_2 dan Al pada material kepala arca.	58
Grafik 3.3 Hasil pengukuran kandungan magnetik pada kepala arca.	58
Grafik 3.4 Nilai rata-rata pengukuran kandungan magnetik pada pagar langkan I sisi Timur.	60
Grafik 3.5 Hasil pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik menggunakan ultrasonic pulse velocity tester pada kepala arca.	60
Grafik 3.6 Kandungan SiO_2 dengan Al pada kepala arca no.1 – no.10.	62
Grafik 3.7 Kandungan SiO_2 dengan Fe pada kepala arca no.1 – no.10.	63
Grafik 3.8 Pengukuran kandungan magnetik pada kepala arca.	63
Grafik 3.9 Pengukuran kandungan magnetik tubuh arca pada pagar langkan II sisi Utara.	64
Grafik 3.10 Pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik pada kepala arca.	65
Grafik 5.1 Perbandingan Porositas Mortar	90
Grafik 5.2 Kecepatan Rambat Air Sampai Ketinggian 1 cm	90
Grafik 5.3 Ketinggian Rambat Air Setelah 10 menit	91
Grafik 6.1 Grafik Perlakuan Minyak Atsiri Nilam terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Jamur dari Lumut Kerak	101
Grafik 6.2 Grafik Perlakuan Minyak Atsiri Temulawak terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Jamur dari Lumut Kerak	102
Grafik 6.3 Grafik Perlakuan Minyak Terpentin terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Jamur dari Lumut Kerak	103
Grafik 8.1 Persamaan Linier Konsentrasi dan BJ Tanin Sintetik	134
Grafik 8.2 Laju Korosi 5 Hari Perendaman	137
Grafik 8.3 Laju Korosi 10 Hari Perendaman	139
Grafik 8.4 Laju Korosi 15 Hari Perendaman	141

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Hasil percobaan penerapan konservasi arang	8
Tabel 1.2 Hasil analisis campuran mortar	9
Tabel 1.3 Hasil analisis sampel tanah, pasir, dan campurannya	10
Tabel 2.1 Jenis Kayu pada bangunan di Kompleks Istana Pematang Purba	32
Tabel 2.2 Hasil Analisis Petrogafi Sampel Batu Umpak	32
Tabel 2.3 Hasil Analisis Kimia Sampel Batu Umpak	32
Tabel 2.4 Hasil Analisis Kimia Sampel "Jelaga"	33
Tabel 2.5 Hasil Analisis Kimia Sampel Cat Kayu Rumah Bolon	33
Tabel 2.6 Hasil Pengukuran pH tanah Rumah Bolon	34
Tabel 2.7 Rencana Penanganan dan Metode Konservasi Rumah Bolon Simalungun	38
Tabel 3.1. Rekap Jumlah Arca Dhyani Buddha Tahun 2014.	47
Tabel 3.2 Pengukuran Kepala Arca Buddha Candi Borobudur.	53
Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Kandungan Unsur Material Kepala Arca Menggunakan XRF.	57
Tabel 3.4 Pengukuran Kandungan Magnetik Material Tubuh Arca.	59
Tabel 5.1 Komposisi mortar No. 0	88
Tabel 5.2 Komposisi mortar No. 1	88
Tabel 5.3 Komposisi mortar No. 2	89
Tabel 5.4 Komposisi mortar No. 3	89
Tabel 5.5 Komposisi mortar dengan bahan pengikat	89
Tabel 7.1. Uji Kenampakan Bahan Perekat Alam	114
Tabel 7.2. Uji Keasaman (pH)	115
Tabel 7.3. Pengukuran Berat Menggunakan Piknometer	115
Tabel 7.4. Berat Jenis Perekat	115
Tabel 7.5. Uji Kadar Padatan	116
Tabel 7.6. Uji Waktu Perekat Mulai Mengering	116
Tabel 7.7. Hasil Pengujian Daya Rekat Pada Kayu Jati dan Kayu Akasia	119
Tabel 7.8. Hasil Pengujian Kondisi Perekatan terhadap Pemanasan	120
Tabel 8.1 Rancangan Percobaan	128
Tabel 8.2 Klasifikasi Salinitas Air	134
Tabel 8.3 Komposisi Plat Besi	134
Tabel 8.4 Test of Homogeneity of Variances	135
Tabel 8.5 Anova	135
Tabel 8.6 Homogeneous Subsets	136
Tabel 8.7 Test of Homogeneity of Variances	137
Tabel 8.8 Anova	138
Tabel 8.9 Homogeneous Subsets	138
Tabel 8.10 Test of Homogeneity of Variances	139
Tabel 8.11 Anova	140
Tabel 8.12 Homogeneous Subsets	140



1 KAJIAN KONSERVASI SITUS LIANGAN JAWA TENGAH

Oleh :

Nahar Cahyandaru, Marsis Sutopo, Sri Sularsih, Ahmad Chabib Santoso,
Ari Kristiyanto

ABSTRAK

Situs Liangan merupakan situs dengan kompleksitas dan keragaman data arkeologis yang sangat tinggi. Permasalahan yang dihadapi pada ekskavasi arkeologi maupun penggalian oleh penambang di lokasi ini adalah kondisi material temuan yang sangat rapuh dan mudah rusak, terutama material organik yang telah menjadi arang. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui metode konservasi yang dapat diterapkan untuk melestarikan komponen-komponen yang ada di Situs Liangan. Kajian didasarkan pada hasil-hasil terdahulu, observasi lapangan, dan percobaan di laboratorium.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa artefak arang dapat dikonservasi secara eks situ maupun in situ dengan bahan konsolidan yang sesuai, yaitu Paraloid B-72, Epoxy resin, dan PEG. Pemilihan konsolidan didasarkan pada kondisi artefak, ukuran, rencana display, dan pelindungan yang akan dilakukan. Pada konservasi in situ, perlu dibuat sarana pelindungan untuk artefak dan fitur. Konstruksi pelindung ini perlu dirancang dengan baik agar dapat melindungi objek yang dilestarikan sekaligus dapat memberikan akses kepada pengunjung. Salah satu kekhasan Situs Liangan adalah banyaknya temuan talud yang terbuat dari tatanan batu bulat (boulder), sebagai penguat teras-teras halaman. Konservasi terhadap tatanan batu talud ini penting untuk dilakukan karena kondisinya rawan kerusakan setelah terekspos. Hasil percobaan menunjukkan bahwa talud dapat di konservasi dengan menata kembali susunan batu bulat dengan campuran spesi sebagai penguat. Spesi dibuat dengan bahan setempat yaitu tanah asli, pasir, dan kapur padam dengan perbandingan 2:1:1.

Data kebencanaan berupa tebing dengan lapisan-lapisan pengendapan yang menggambarkan tahapan kebencanaan perlu dikonservasi. Konservasi dilakukan dengan menyisakan sebagian tebing dalam posisi vertikal, sementara bagian lainnya miring atau berteras agar tidak longsor. Konservasi lingkungan juga perlu diperhatikan agar kondisi lingkungan situs stabil dan mampu mempertahankan kelestarian unsur-unsur tinggalan budaya yang ada. Konservasi lingkungan tersebut antara lain pelestarian vegetasi, area tangkapan air, dan penataan ruang.

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

I. LATAR BELAKANG

Situs Liangan terletak di Dusun Liangan, Desa Purbosari, Kecamatan Ngadirejo, Kabupaten Temanggung berjarak ± 20 km arah Timur laut Kota Temanggung, dan ± 3 km dari kota Kecamatan Ngadirejo. Secara Astronomi Situs Liangan 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.

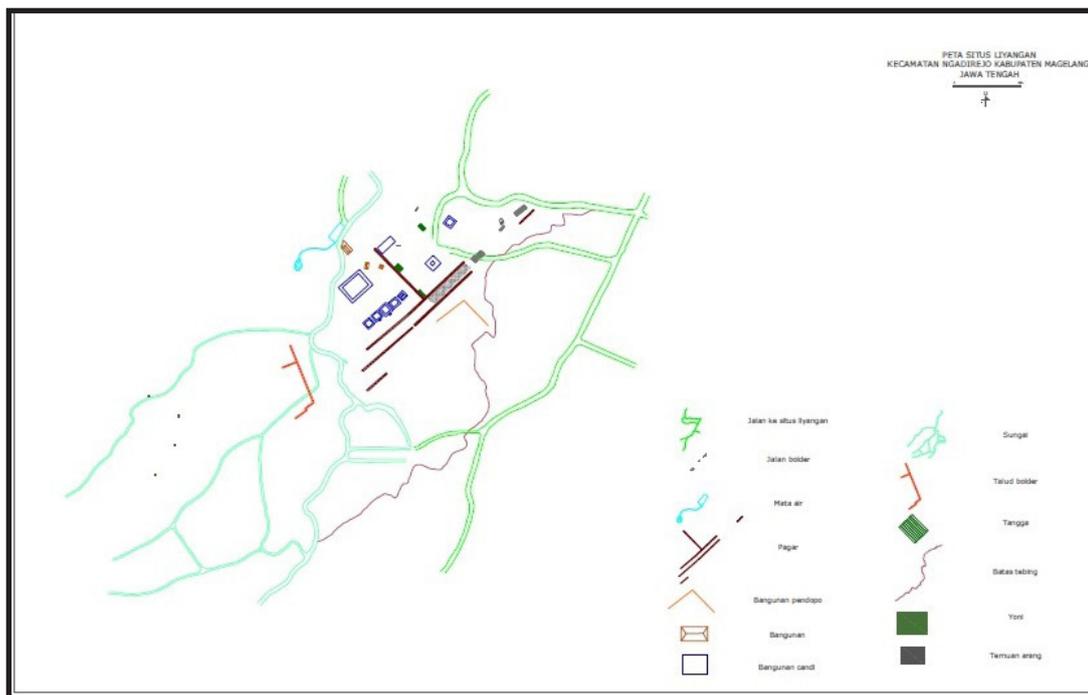
Keberadaan tinggalan purbakala di Situs Liangan sebenarnya sudah diketahui cukup lama karena adanya indikasi temuan artefak seperti Yoni di persawahan namun keberadaan tinggalan yang lebih kompleks dari Situs Liangan baru ditemukan pada tahun 2008 ketika dilakukan aktivitas penambangan pasir di daerah 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 Liangan 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 Liangan merupakan situs dengan karakter kompleks yaitu sebagai situs permukiman, situs ritual, dan situs "pertanian". Kompleksitas karakter tersebut menunjukkan bahwa Situs Liangan 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 sekaligus mengambil pasir yang menutupi situs tersebut. Selain temuan struktur bangunan dan fitur, temuan artefak lepas juga sangat kaya, terdiri atas keramik-keramik, gerabah, logam, alat-alat pertanian/pertukangan, dan lain-lain.

Permasalahan yang dihadapi pada pengambilan data ekskavasi arkeologi maupun penggalian oleh para penambang tradisional adalah kondisi material yang sangat rapuh, karena merupakan material organik. Bencana masa lampau 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 sangat mudah rusak.

Beberapa tahapan penelitian telah dilakukan dalam rangka memahami nilai penting Situs Liangan oleh beberapa pihak. Penelitian-penelitian tersebut diharapkan dapat mengungkap lebih jauh Situs Liangan dengan nilai-nilai penting yang terkandung, serta melakukan upaya semaksimal mungkin untuk menjaga kelestariannya.

Pada peta di bawah ini disampaikan mengenai perkembangan data arkeologi hingga tahun 2014. Beberapa temuan baru seperti adanya selasar maupun petirtaan merupakan hasil penelitian yang dilakukan secara berkelanjutan oleh Balai Arkeologi Yogyakarta dan Balai Pelestarian Cagar Budaya Jawa Tengah. Dengan ditemukannya berbagai komponen baru di Situs Liangan, data yang dijumpai pun semakin bertambah dan bervariasi sehingga akumulasi dan ragam temuan juga semakin banyak dan kompleks.



Gambar 1.1 Peta perkembangan data arkeologi Situs Liangan tahun 2008 - 2014

Dalam hal kajian pelestarian, Balai Konservasi Borobudur melakukan kajian konservasi situs/kawasan untuk menjaga kelestariannya dalam jangka panjang, mengingat beberapa jenis material seperti temuan arang, talud *boulder*, dan beberapa fitur sangat rawan mengalami kerusakan. Pada kajian terdahulu telah dilakukan analisis kerentanan untuk memberikan arah prioritas penanganan konservasi, analisis laboratorium, pengujian konservasi artefak arang, dan konsep konservasi situs/kawasannya. Hasil kajian tersebut masih perlu dilanjutkan terutama pada aspek penerapan konservasi artefak di lapangan dan konsep konservasi situs/kawasan. Konsep konservasi situs yang dikembangkan adalah untuk mempertahankan kondisi situs sebagai situs bencana. Artefak, fitur, ekofak, lapisan tanah, bukti-bukti kebencanaan, termasuk kontur alam perlu dikonservasi secara komprehensif untuk mempertahankan nilai penting situs sebagai kawasan yang pernah terkena bencana. Kajian tahap II ini diharapkan dapat menyempurnakan hasil terdahulu dan memberikan konsep yang lebih detail untuk diterapkan dalam perencanaan ke depan.

II. 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:

METODE KERJA

Bahan dan alat yang digunakan dalam rangka mendukung konservasi Situs Liangan terdiri dari :

1. Bahan dan peralatan survei dan perekaman data lingkungan;
2. Bahan dan peralatan pemetaan situs dan kawasan;

3. Bahan dan peralatan laboratorium;
4. Bahan kimia konsolidan.

Secara umum metode kerja yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengamatan data lingkungan dan analisis kondisi fisik di lapangan.
2. Melakukan survei dan pengambilan data pengukuran situs, dilanjutkan dengan pengolahan data dan penyajian dalam bentuk gambar. Gambar yang telah ada menjadi data dasar dan dilakukan *up date* sesuai perkembangan ekskavasi yang dilakukan.
3. Melakukan pengujian terhadap metode konsolidasi dengan bahan *Paralod B-72*, *epoxy resin*, dan *PEG* dengan beberapa variasi teknik aplikasi. Metode yang paling cocok dan memberikan hasil paling baik di laboratorium selanjutnya diuji di lapangan. Metode yang telah dikembangkan selanjutnya diterapkan pada temuan balok arang kayu. Temuan tersebut dikonservasi di lokasi kemudian diangkat dan dilanjutkan konservasinya di laboratorium.
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. Sebagian temuan arang akan dikonservasi *in situ*, sehingga perlu dibuat sarana pelindung yang sesuai. Sarana pelindung dikonsepsi dari perkiraan rekonstruksi bangunan kayu oleh Balai Arkeologi, selanjutnya dibuat gambar dan maketnya. Untuk aplikasi di lapangan juga telah dilakukan perhitungan perkiraan anggaran biayanya.
6. Melakukan percobaan untuk mengembangkan metode konservasi talud. Percobaan dilakukan terutama untuk menemukan formula campuran spesi yang tepat. Spesi diharapkan mampu mengikat batu-batu bulat dengan baik dan mampu bertahan lama. Agar metode yang dikembangkan ini aplikatif maka komposisi pembuat campuran spesi bersumber dari bahan setempat (tanah dasar dan pasir).
7. Melakukan pengumpulan data kondisi lingkungan yang meliputi kondisi tebing, kegiatan penambangan, vegetasi, drainase, dan unsur pendukung lingkungan lainnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. UP DATE DATA LAPANGAN

Terdapat beberapa temuan baru yang tercatat selama penggalian tahun 2015, serta temuan sebelumnya yang belum masuk dalam kajian terdahulu. Temuan-temuan baru tersebut memiliki beberapa permasalahan yang harus dikembangkan penyelesaiannya. Permasalahan temuan baru yang dihadapi adalah :

1. Perluasan penggalian struktur petirtaan
Pada penelitian yang dilakukan dengan penggalian struktur di sekitar petirtaan, banyak dijumpai fitur-fitur penting yang perlu dilestarikan. Fitur tersebut adalah; struktur talud batu boulder yang rawan longsor, teras tanah, bekas lubang yang diduga tiang, lapisan pengendapan tanah.



Foto 1.1 Perluasan penggalian struktur pertirtaan

2. Temuan balok arang baru

Temuan balok arang baru direncanakan untuk dikonservasi dan diangkat karena posisinya kurang memungkinkan untuk dikonservasi ditempat. Proses pengangkatan saat ini dalam tahap persiapan bahan.



Foto 1.2 Temuan balok arang baru

3. Pengangkatan di lapangan

Temuan balok arang ini diperoleh pada saat penggalian dengan menggunakan ekskavator. Balok arang tersebut berada di jalan bolder dengan kedalaman 50 cm dari permukaan tanah dengan ukuran 180 x 12 x 12cm dalam kondisi lembab. Pengangkatan balok arang pada Situs Liangan terlebih dahulu dioles dengan bahan Sikadur 52 dan Aceton sebagai penguat agar bentuk tidak berubah saat proses pengangkatan. Tahapan pelaksanaan pengangkatan dijelaskan pada gambar-gambar berikut :

Langkah 1



Foto 1.3 Pembersihan dari pasir

Langkah 2



Foto 1.4 Penyiapan Sikadur 52 id dan Aceton

Langkah 3



Foto 1.5 Pengolesan Sikadur 52 id

Langkah 4



Foto 1.6 Dengan cara disemprot

Konservasi arang di kantor Balai Konservasi Borobudur

Langkah 1



Foto 1.7 Pembersihan dari pasir

Langkah 2



Foto 1.8 Pencampuran Sikadur 52 id

Langkah 3



Foto 1.9 Pengolesan Sikadur 52 id

Langkah 4



Foto 1.10 Pelapisan dengan plastik

Langkah 5



Foto 1.11 Pencampuran bahan pelapis

Langkah 6



Foto 1.12 Penuangan bahan pelapis

4. Temuan arang gabah

Temuan arang gabah ini pernah diperoleh pada penelitian terdahulu, morfologi gabah tersebut juga telah dikaji tersendiri oleh Balai Arkeologi Yogyakarta. Namun temuan saat ini lebih banyak dan menumpuk dalam satu lokasi. Sebagian telah diangkat dan sebagian lainnya masih di lokasi.



Foto 1.13 Temuan arang gabah

5. Storage keramik/gerabah

Keramik yang ditemukan sejak penelitian awal hingga saat ini ditiptkan di rumah salah satu juru pelihara (Bapak Samudi). Ke depan perlu direncanakan storage yang lebih baik serta perlakuan terhadap objek yang mengalami permasalahan konservasi.



Foto 1.14 Penyimpanan guci dan keramik di rumah Bapak Samudi



Foto 1.15 Salah satu artefak yang disimpan di rumah Bapak Samudi

B. PERCOBAAN PENERAPAN KONSERVASI ARANG

Secara prinsip metode konservasi arang yang dapat dilakukan telah diketahui dari penelitian terdahulu. Metode tersebut secara umum telah mampu mengkonservasi arang dengan cukup baik. Pengembangan yang masih perlu dilakukan adalah perhitungan kuantitatif kebutuhan bahan. Pada kajian ini telah dilakukan perhitungan tersebut. Metode perhitungan yang dilakukan menggunakan tahapan sebagai berikut :

- Perlakuan penjenuhan air terhadap sampel arang
- Penimbangan sampel arang yang telah jenuh air
- Pengeringan sampel air
- Perhitungan kadar air jenuh
- Pengukuran volume sampel
- Perhitungan volume pori arang berdasar kadar air jenuh sampel
- Perhitungan kebutuhan bahan konservan untuk mengisi kekosongan pori.

Tabel 1.1 Hasil percobaan penerapan konservasi arang

Sampel	Berat natural (g)	Barat jenuh air (g)	Berat kering (g)	Berat air/vol pori (ml)	Persen pori (%)
Sampel 1	11.64	14.1	10.69	3.41	29.30
Sampel 2	12.60	14.89	11.76	3.13	24.84
Sampel 3	12.05	16.99	12.77	4.22	35.02
Rata-rata					29.72

Berdasarkan data di atas, dapat diketahui bahwa pori yang ada dalam arang cukup tinggi mencapai 29,72 %. Untuk dapat mengkonsolidasi dengan baik maka bahan konsolidan yang digunakan harus mampu mengisi pori-pori yang ada. Oleh karena itu diupayakan agar jumlah bahan konsolidan yang dimasukkan mendekati kebutuhan tersebut. Secara awam, untuk memudahkan pengerjaan di lapangan (karena artefak temuan tidak bisa ditimbang) maka diperkirakan kebutuhan bahan kurang lebih seperempat dari volume benda yang dikonservasi. Penerapan metode ini di lapangan saat ini masih dilakukan karena benda yang dikonservasi cukup besar. Temuan tersebut telah dikonsolidasi di lapangan, namun kemudian dilanjutkan dengan pengangkatan karena posisi temuan yang berada di atas jalan.

C. PERCOBAAN KONSERVASI TALUD

Pada tahap ini telah dilakukan identifikasi permasalahan kelongsoran talud, serta beberapa konsep penanganannya. Beberapa hal yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut :

- Perbaiki talud yang longsor dapat mengacu pada data gambar yang telah diambil pada kajian terdahulu.
- Perbaiki talud boulder harus menggunakan batu boulder (batu bulat utuh) dengan ukuran yang sesuai. Hal ini untuk mempertahankan keaslian serta menghindari kesamaan dengan talud baru yang dibuat oleh petani. Saat ini para petani masih membuat talud di persawahan mereka, namun kebanyakan menggunakan batu pecah/belah tanpa spesi.
- Perbaiki talud menggunakan spesi untuk penstabil dan pengisi celah antar batu bulat.
- Spesi yang digunakan adalah tanah setempat yang diperkeras serta dibuat adonan dengan air saat pemasangannya. Bahan pengeras yang digunakan adalah kapur dengan perbandingan yang sesuai.
- Untuk membuat campuran spesi (mortar) yang tepat maka dilakukan analisis distribusi ukuran partikel. Analisis dilakukan terhadap sampel tanah, pasir, serta campurannya. Selanjutnya juga dianalisis terhadap campuran tanah, pasir, dan kapur untuk memperoleh campuran yang tepat. Distribusi ukuran partikel yang tepat mengikuti Hukum Fuller yang dirumuskan sebagai berikut :

$$D_i = (d_i/D)^n \times 100\%$$

D_i = fraksi yang lolos dalam persen (%)

d_i = diameter ukuran butiran yang akan dihitung

D = diameter agregat maksimum = 4 mm

n = eksponen

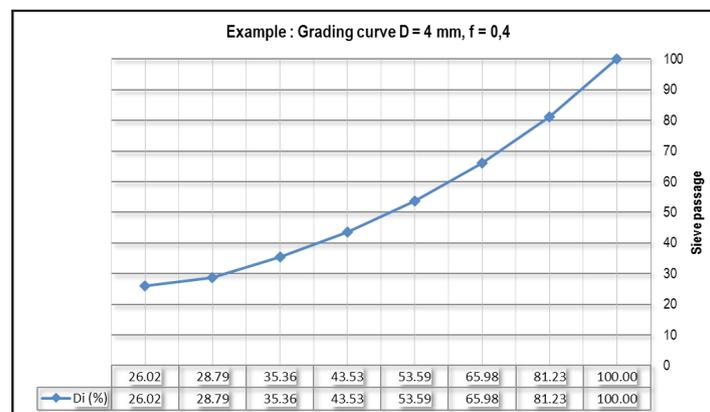
Exponent

Round corn	=	0.5
Rounded corn like river sand	=	0.4
Crushed stone	=	0.3

Hasil analisis dengan rumus tersebut diperoleh data dan kurva distribusi sebagai berikut.

Tabel 1.2 Hasil analisis campuran mortar

Grain size	< 0,045	0,045 - 0,063	0,063 - 0,125	0,125 - 0,250	0,25 - 0,500	0,500 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00
d_i	0.045	0.063	0.125	0.250	0.500	1.00	2.00	4.00
D_i (%)	26.02	28.79	35.36	43.53	53.59	65.98	81.23	100.00
Amount (%)	3.50	4.30	16.90	27.10	32.10	34.80	32.10	31.00

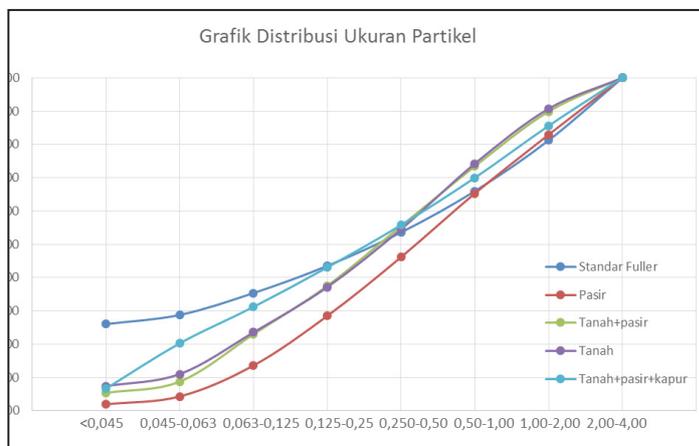


Grafik 1.1 Kurva distribusi percobaan pembuatan mortar

Tabel 1.3 Hasil analisis sampel tanah, pasir, dan campurannya

Grain size	< 0,045	0,045 - 0,063	0,063 - 0,125	0,125 - 0,250	0,25 - 0,500	0,500 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00
Standar Fuller	26.02	28.79	35.36	43.53	53.59	65.98	81.23	100.00
pasir	1.925	2.365	9.296	14.906	17.657	19.142	17.657	17.052
tanah	1.93	4.29	13.59	28.49	46.15	65.29	82.95	100.00
tanah+pasir	7.376	3.635	12.540	13.593	17.387	19.705	16.491	9.273
tanah+pasir+kapur	7.38	11.01	23.55	37.14	54.53	74.24	90.73	100.00
	5.355	3.392	14.245	14.531	17.958	17.958	16.458	10.104
	5.36	8.75	22.99	37.52	55.48	73.44	89.90	100.00
	6.663	13.597	10.943	11.863	12.730	14.193	15.601	14.410
	6.66	20.26	31.20	43.07	55.80	69.99	85.59	100.00

Berdasar tabel data tersebut maka diperoleh kurva serta perbandingannya dengan kurva distribusi berdasar Hukum Fuller, sebagai berikut :



Grafik 1.2 Distribusi ukuran partikel

Berdasar data di atas kurva untuk tanah dan pasir menyimpang dari kurva standar Fuller terutama dalam komposisi partikel yang kecil. Untuk memperoleh komposisi yang mendekati, maka penambahan kapur yang berukuran halus dapat membuat komposisi yang mendekati. Dari kurva di atas sudah dapat terlihat komposisi yang di buat sudah relatif mendekati kurva standar Fuller. Hal penentuan komposisi data selanjutnya dibuat dan diuji coba di lapangan. Campuran yang digunakan adalah tanah : kapur : pasir (2 : 1 : 1). Hasil pengujian di lapangan memberikan hasil yang cukup memuaskan, sehingga dapat diterapkan di situs. Campuran cukup kuat menahan susunan batu dan dapat bertahan cukup lama.

Gambar percobaan di lapangan sebelum dan setelah 4 bulan adalah sebagai berikut :



Foto 1.16 Kondisi awal sebelum dilakukan uji coba pemasangan talud



Foto 1.17 Komposisi campuran mortar percobaan



Foto 1.18 Percobaan Pemasangan talud



Foto 1.19 Kondisi setelah 4 bulan percobaan



Foto 1.20 Uji coba mortar



Foto 1.21 Uji coba mortar

D. PERENCANAAN PEMBUATAN BANGUNAN PELINDUNG

Untuk melindungi temuan yang berada di Situs Liangan, direncanakan dibangun suatu shelter pelindung yang berbentuk bangunan rumah panggung yang ditopang oleh tiang-tiang kayu berbentuk balok panjang dan lantai dari susunan papan-papan kayu yang berada beberapa puluh centi meter di atas tanah. Dinding rumah dari balok dan papan kayu, serta atap berbentuk sederhana yang disusun dari kayu, bambu, dan ditutup tumpukan lembaran-lembaran ijuk. Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk membuat satu buah shelter pelindung adalah Rp. 23.000.000,-. Konsep tersebut digambarkan dalam maket sebagai berikut :



Gambar 1.2 Desain maket shelter pelindung temuan Situs Liangan



Foto 1.22 Contoh miniatur shelter pelindung temuan



Foto 1.23 Contoh miniatur shelter pelindung temuan



Foto 1.24 Contoh miniatur shelter pelindung temuan



Foto 1.25 Contoh miniatur shelter pelindung temuan

E. PENGUMPULAN DATA DAN INFORMASI UNTUK KONSERVASI TEBING

Konservasi tebing merupakan salah satu aspek pelestarian kawasan Liangan yang memiliki kesulitan tinggi. Oleh karena itu dilakukan beberapa tahap pengumpulan data untuk membuat konsep penanganan yang paling tepat. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Diskusi dengan narasumber

Diskusi telah dilaksanakan pada :

Hari, Tanggal : Rabu, 28 Oktober 2015

Narasumber : Ir. Joko Luknanto, M.Sc., Ph.D.

Peserta :

- a. Nahar Cahyandaru, S.Si
- b. Sri Sularsih, S.H
- c. Dhanny Indra Permana, S.Si
- d. Ari Setyawan, A.Md
- e. Achmad Chabib Santoso

Adapun masukan yang disampaikan oleh narasumber adalah :

- Perlu berkonsultasi dengan ahli mekanika tanah
- Perlu mempertumbangkan aliran air yang dapat menggerus dalam jangka panjang jika tidak direncanakan arah alirannya
- Bagian yang disisakan vertikal hanya sebagian (beberapa meter), sedangkan sisanya

tetap dipertahankan namun tidak sepenuhnya vertikal.

- Bagian yang tidak sepenuhnya vertikal dapat menggunakan derajat kemiringan tertentu atau sistem teras, tergantung dari uji mekanika tanah.

2. Peninjauan ke lapangan dengan narasumber

Beberapa gambar tebing dari hasil peninjauan ke lapangan adalah sebagai berikut :



Foto 1.26 Tebing galian tampak horizontal



Foto 1.27 Tebing galian tampak vertikal

IV. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian ini adalah :

1. Artefak arang dapat dikonservasi secara *eks situ* atau *in situ* dengan beberapa bahan konsolidan yang sesuai, yaitu Paraloid B-72, Epoxy resin, dan PEG. Pemilihan konsolidan yang dipergunakan didasarkan pada kondisi artefak, ukuran, rencana display, dan perlindungan yang akan dilakukan.
2. Temuan-temuan yang ada telah dikonservasi dengan cukup baik, hanya perlu beberapa perbaikan untuk penyempurnaan ke depan. Pada konservasi *in situ*, perlu dibuat sarana perlindungan untuk artefak dan fitur. Konstruksi pelindung ini perlu dirancang dengan baik agar dapat melindungi objek yang dilestarikan sekaligus dapat memberikan akses kepada pengunjung. Pelindung berbentuk bangunan rumah panggung yang ditopang oleh tiang-tiang kayu berbentuk balok panjang dan lantai dari susunan papan-papan kayu yang berada beberapa puluh centi di atas tanah. Dinding rumah dari balok dan papan kayu, serta atap berbentuk sederhana yang disusun dari kayu, bambu, dan ditutup tumpukan lembaran-lembaran ijuk.
3. Salah satu kekhasan Situs Liangan adalah banyaknya temuan talud yang terbuat dari tatanan batu bulat (boulder), sebagai penguat teras-teras halaman. Konservasi terhadap tatanan batu talud ini penting untuk dilakukan karena kondisinya rawan kerusakan setelah terekspos. Hasil percobaan menunjukkan bahwa talud dapat di konservasi dengan menata kembali susunan batu bulat dengan campuran spesi sebagai penguat. Spesi dibuat dengan bahan setempat yaitu tanah asli, pasir, dan kapur padam dengan perbandingan 2:1:1.
4. Data kebencanaan berupa tebing dengan lapisan-lapisan pengendapan yang menggambarkan tahapan kebencanaan perlu di konservasi. Konservasi dilakukan dengan

menyisakan sebagian tebing dalam posisi vertikal, sementara bagian lainnya miring atau berteras agar tidak longsor. Konservasi lingkungan juga perlu diperhatikan agar kondisi lingkungan situs stabil dan mampu mempertahankan kelestarian unsur-unsur tinggalan budaya yang ada. Konservasi lingkungan tersebut antara lain pelestarian vegetasi, area tangkapan air, dan penataan ruang.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Arkeologi Yogyakarta. 2011. Laporan Penelitian Arkeologi Situs Liyangan, Temanggung Tahap II. Yogyakarta: Balai Arkeologi Yogyakarta.
- . 2012. Laporan Penelitian Arkeologi Situs Liyangan, Temanggung Tahap III. Yogyakarta: Balai Arkeologi Yogyakarta.
- . 2013. Laporan Penelitian Arkeologi Situs Liyangan, Temanggung. Yogyakarta: Balai Arkeologi Yogyakarta.
- . 2014. Laporan Penelitian Arkeologi Permukiman Masa Mataram Kuna Situs Liyangan. Yogyakarta: Balai Arkeologi Yogyakarta.
- 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, Setiawan 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 Antthropology, Texas A&M University.
- Plenderleith H.J, (1975) *The Conservation of Antiquities and Work of Art (Treatment Repair And Restoration)*.
- Rangkuti, Nurhadi dan Baskoro DT. (2000). Laporan Peninjauan Situs Liyangan, Temanggung, Jawa Tengah.
- 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
- Tjahjono, Baskoro DT. dkk. Laporan Penelitian Penjajagan Situs Liyangan, Temanggung, Jawa Tengah. 2010.

2 KAJIAN METODE KONSERVASI BANGUNAN KAYU MASYARAKAT SIMALUNGUN SUMATRA UTARA

Disusun oleh :

Brahmantara, Iskandar Mulia Siregar, Dian Eka Puspitasari, Al. Widyo Purwoko

ABSTRAK

Rumah Bolon merupakan rumah tradisional suku Batak Simalungun yang berada di Sumatera Utara. Pada masa sekarang rumah tradisional tersebut sudah tidak digunakan sebagai tempat tinggal, perubahan klimatologi lingkungan dan degradasi material kayu sebagai penyusun utama rumah tradisional tersebut menyebabkan kerusakan yang cukup berat pada beberapa bagian pondasi, lantai dan dinding. Untuk mengetahui faktor penyebab secara pasti dan langkah penanganannya perlu dilakukan kajian konservasi dengan metode teknik modern maupun teknologi berbasis kearifan lokal.

Konstruksi Rumah Bolon terdiri dari tiga bagian utama yaitu : struktur bawah (sub structure) terdiri dari pondasi, umpak dan daya dukung tanah; struktur bagian tengah (middle structure) terdiri dari dinding, kolom dan lantai; strukture bagian atas (upper structure) terdiri dari atap dan rangka atap. Dari hasil survey dan perekaman data dilapangan kerusakan yang paling besar terjadi pada struktur bagian bawah (sub structure) yaitu pada bagian umpak ada beberapa umpak yang mengalami kerusakan yang berat, kerusakan yang lain terjadi pada beberapa balok galang, balok lantai, dinding dan bagian atap. Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada Rumah Bolon antara lain kesalahan metode penanganan pada bagian umpak yaitu mengganti dengan bahan/material kayu yang tidak sesuai dengan spesifikasi kayu aslinya, kesalahan penanganan yang lain yaitu pengecatan pada bagian balok galang dengan menggunakan cat yang tidak sesuai, cat yang digunakan merupakan sejenis cat tembok yang cenderung mempercepat proses pelapukan material kayu.

Rencana penanganan konservasi dibagi menjadi 3 prioritas yaitu jangka pendek (bersifat segera), jangka menengah dan jangka panjang. Penanganan konservasi jangka pendek yaitu dengan mengganti umpak yang mengalami rusak berat dengan kayu baru yang sesuai dengan spesifikasi kayu aslinya. Pembersihan lumut, serangga, jamur dan rayap juga menjadi prioritas segera, disamping pembenahan bagian atap dan beberapa balok lantai. Rencana penanganan konservasi yang berbasis kearifan local yaitu dengan memfungsikan kembali Rumah Bolon untuk aktivitas sehingga kondisi ruangan tidak cenderung lembab, berdasarkan pengamatan kondisi asli yaitu pada bagian dapur yang mengandung jelaga, yaitu material yang menempel pada kayu akibat aktivitas asap dapur menyebabkan kondisi material cenderung lebih kuat dan tidak cepat rapuh.

Kata kunci : Rumah Bolon, konservasi, konstruksi, balok, kearifan lokal

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Rumah tradisional yang ada di kepulauan nusantara sangatlah beragam. Beberapa rumah tradisional diantaranya rumah tradisional joglo yang ada di Jawa dan beberapa tipe rumah adat yang

ada di Sumatera dan Sulawesi. Rumah tradisional suku Batak, Minangkabau, dan Toraja mempunyai ciri khas bentuk atap dan konstruksi rumah panggung yang hampir sama. Salah satu rumah tradisional yang sangat menarik arsitekturalnya adalah rumah tradisional suku Batak Simalungun yang berada di Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara yang disebut sebagai Rumah "Bolon". Rumah "Bolon" merupakan rumah adat Suku Batak yang masih bisa kita lihat sampai sekarang. Konsep pembangunan rumah tradisional Rumah "Bolon" tentunya tidak bisa kita aplikasikan pada era sekarang, karena kondisi kemajemukan yang berbeda-beda dan tingkat kedekatan manusia dengan alam sekitarnya sangatlah berbeda dengan masa dulu. Pergeseran nilai dan tekanan pembangunan menjadi sebuah ancaman tersendiri bagi kelestarian rumah-rumah tradisional tersebut. Ancaman lain yang secara fisik langsung mempunyai dampak terhadap kekuatan sebuah rumah tradisional adalah terjadinya peristiwa dan bencana alam seperti gempa bumi. Kondisi perubahan iklim dan cuaca yang ekstrim juga sangat berpengaruh terhadap tingkat keterawatan material penyusun bangunan yang menggunakan kayu sebagai material utama konstruksinya. Sebagai rumah tradisional yang merupakan salah satu aset budaya yang tak ternilai keberadaannya, Rumah "Bolon" menjadi salah satu daya tarik tersendiri bagi kita untuk mengunjungi dan melihatnya, namun keberadaan para pengunjung untuk melihat keindahan arsitekturnya juga mempunyai dampak yang negatif seperti perilaku vandalisme.

Melihat kondisi yang seperti itu perlu kiranya dilakukan sebuah kajian mengenai kerusakan-kerusakan yang terjadi dan metode penanganannya, baik metode konservasi dengan teknologi ilmu pengetahuan maupun metode konservasi yang berbasis kearifan lokal.

B. MAKSUD DAN TUJUAN KAJIAN

Maksud dari pelaksanaan Kajian ini adalah melakukan kajian terhadap kerusakan yang terjadi pada Rumah Tradisional Simalungun baik kerusakan dari aspek struktural, arsitektural, dan konstruksi bangunan maupun kerusakan yang terjadi pada material penyusunan bangunan serta melakukan kajian terhadap faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan tersebut. Tujuan yang diharapkan dari kajian ini adalah memperoleh metode konservasi struktural dan material untuk penanganan kerusakan yang terjadi pada Rumah Tradisional Simalungun dan melakukan inventarisasi metode konservasi yang berbasis kearifan lokal yang ada pada masyarakat Simalungun.

C. MANFAAT KAJIAN

Manfaat yang bisa diperoleh dari pelaksanaan Kajian ini adalah :

1. Memberikan hasil kajian yang berupa metode penanganan konservasi terhadap kerusakan struktural, arsitektural, dan material bangunan Rumah Tradisional Simalungun.
2. Memberikan informasi dan memperkaya pustaka rumah tradisional di Indonesia, khususnya dalam aspek struktural, arsitektural, konstruksi dan material penyusun bangunan
3. Memberikan masukan bagi pemangku kepentingan dan pembuat kebijakan (*stake holder*) setempat dalam hal pemeliharaan dan pemugaran bangunan tradisional khususnya Rumah Tradisional Simalungun.
4. Memberikan data dan informasi awal mengenai kondisi keterawatan bangunan Rumah Tradisional Simalungun untuk pengembangan kajian yang lebih menyeluruh di masa yang akan datang.

D. RUANG LINGKUP KAJIAN

Untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan maksud dan tujuan, maka dalam pelaksanaan kajian ini dibatasi dengan beberapa ruang lingkup yaitu :

1. Observasi data dan survei kajian dilakukan pada obyek rumah tradisional masyarakat Simalungun yang disebut Rumah "Bolon" Simalungun.
2. Rumah tradisional yang dijadikan obyek kajian adalah rumah tradisional masyarakat Simalungun yang masih di tempati maupun yang sudah dijadikan sebagai museum.
3. Pengumpulan data melalui observasi langsung dan wawancara dilakukan terhadap masyarakat asli/Suku Simalungun yang masih menggunakan fungsi dari rumah tradisional yang mereka tempati.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. RUMAH TRADISIONAL SIMALUNGUN

1. Sejarah Rumah Tradisional Simalungun

Suku Simalungun merupakan salah satu etnis dari rumpun Batak, yang terkonsentrasi di Kabupaten Simalungun, dan tersebar juga di Kabupaten Deli Serdang dan Asahan. Seperti halnya masyarakat Batak di Sumatera Utara, pada umumnya memiliki peninggalan bersejarah yang sangat berharga, yaitu rumah tradisional adat, yang lebih dikenal dengan sebutan "Rumah Bolon". Ada beberapa jenis Rumah Bolon dalam masyarakat Batak yaitu Rumah Bolon Toba, Rumah Bolon Simalungun, Rumah Bolon Karo, Rumah Bolon Mandailing, Rumah Bolon Pakpak, Rumah Bolon Angkola

Istilah "bolon", sendiri berarti "besar", jadi "Rumah Bolon" diartikan sebagai "Rumah Besar". Bentuk dan tradisi Rumah Besar, umum menjadi ciri khas ras bangsa Proto Malayan, seperti "Rumah Panjang" di Kalimantan, dan "Tongkonan" di Toraja, dan masyarakat etnis Batak pada umumnya. Rumah Bolon, seperti artinya Rumah Besar, memang berukuran sangat besar apabila dibandingkan dengan rumah-rumah modern masa sekarang. Bentuk yang besar, merupakan sebuah Istana bagi sang pemimpin masyarakat Simalungun di masa lalu, sekaligus menjadi simbol status sosial masyarakat Simalungun (*wikipedia*).

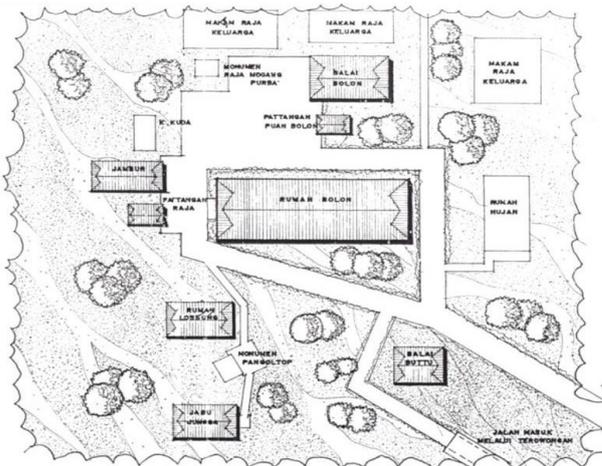


Foto 2.1 Bentuk dari Rumah "Bolon" Simalungun

2. Kompleks Istana Pematang Purba

Bangunan di kompleks ini didirikan sekitar tahun 1680, pada masa Raja Pangultop-ultop yang selanjutnya diwariskan kepada keturunannya sampai 14 generasi dan raja yang ke 14 meninggal tahun 1946. Rumah Bolon Purba dibangun pada tahun 1864 oleh Raja Purba ke XII Tuan Rahalim. Beberapa bangunan di sekitar Rumah Bolon terdiri dari :

- Rumah Bolon : merupakan bangunan induk tempat Raja dan keluarganya tinggal. Bagian depan dari Rumah Bolon disebut "LOPOU" yaitu tempat raja tidur. Rumah ini menghadap ke timur.
- Balei Bolon : Merupakan tempat Raja mengadakan sidang/Rapat, pengadilan, dan tahanan sementara
- Jambur/Godang : Bangunan tempat menyimpan beras dan tempat para tamu menginap, serta tempat untuk tidur pemuda yang belum menikah
- Pattangan Sada/Raja : Bangunan tempat Raja beristirahat.
- Pattangan Dua/ Puang Bolon : Bangunan tempat Permaisuri bertenun.
- Losung : Tempat para wanita menumbuk padi.
- Utteri Jungga/Jabu Jungga : Bangunan tempat tinggal Panglima dan keluarganya.
- Balei Butu : Bangunan tempat para penjaga istana.



Gambar 2.1 Situasi Kompleks Istana Pematang Purba



Foto 2.2 Situasi Kompleks Istana Pematang Purba



Balei Bolon

Jambur

Pattangan Raja

Pattangan Puang Bolon



Foto 2.3 Bangunan Kompleks Istana Pematang Purba

III. METODE PENELITIAN

A. METODE PENELITIAN

Untuk memperoleh data yang sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian metode yang digunakan meliputi dua tahapan pengumpulan data:

1. Studi literatur
2. Survei dan perekaman data langsung dilapangan
3. Wawancara dan observasi

B. SURVEI DAN PEREKAMAN DATA DILAPANGAN

Survei dan perekaman data dilapangan dilakukan untuk mendapatkan data teknis yang langsung berkaitan dengan kondisi Rumah Tradisional Simalungun, beberapa parameter survei yang dilakukan meliputi :

1. Kerusakan struktural dan arsitektural bangunan

Dilakukan untuk mendapatkan data mengenai kerusakan bagian struktural bangunan seperti kemelesakan, kemiringan, dislokasi, deformasi, dll. Komponen pokok kerusakan struktural bangunan meliputi :

- a. Struktur bagian bawah (pondasi, umpak, kondisi tanah)
- b. Struktur bagian tengah (dinding, kolom dinding, lantai)
- c. Struktur bagian atas (atap, rangka atap)
- d. Unsur dekoratif, ragam hias , dll

2. Kerusakan material bangunan

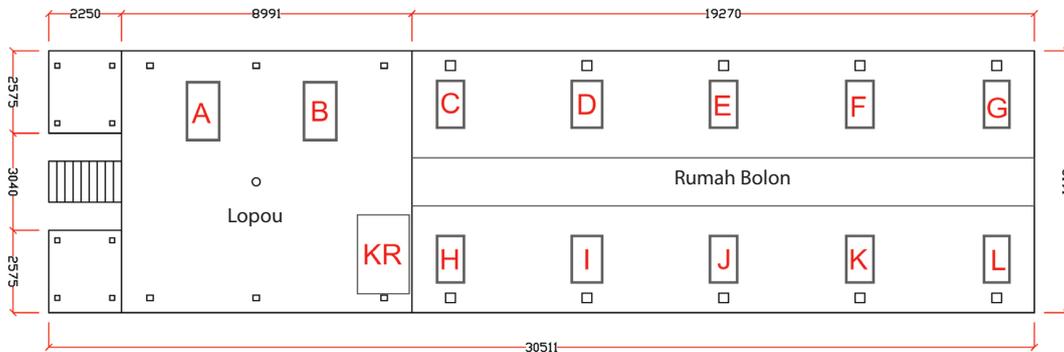
Dilakukan untuk mendapatkan kondisi keterawatan material penyusun bangunan seperti pelapukan kemis, pelapukan biologis, dll. Komponen perekaman data untuk aspek ini meliputi seluruh bangunan dari material penyusun bagian pondasi sampai dengan bagian atap. Survei perekaman data juga dilakukan untuk mendapatkan data, kelembaban material, suhu material, mikro klimatologi, tingkat penguapan, derajat keasaman tanah dan kemungkinan berkembangnya rayap di bangunan tersebut.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. STRUKTUR DAN KONSTRUKSI RUMAH TRADISIONAL SIMALUNGUN

Rumah Tradisional Simalungun yang disebut dengan **Rumah Bolon** merupakan rumah tradisional masyarakat Suku Batak Simalungun yang mempunyai desain struktur dan konstruksi

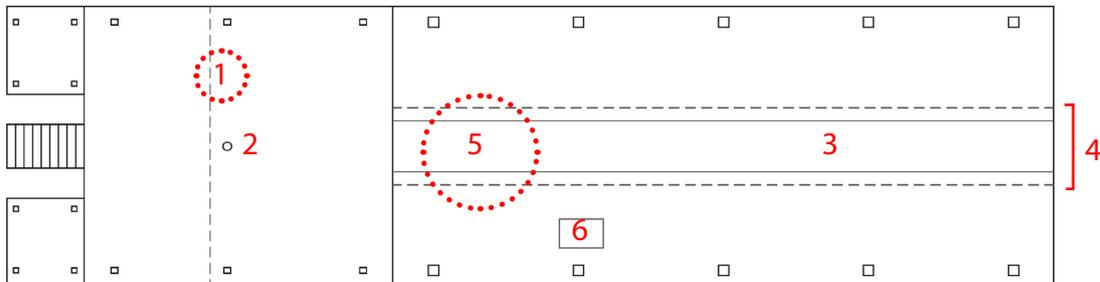
yang cukup unik. Dengan denah bangunan persegi panjang dengan luasan $\pm 8,2 \times 30,5 \text{ m}^2$ bangunan ini berdiri diatas kolom dan balok kayu gelondongan yang oleh masyarakat Simalungun disebut dengan *galang* dengan dimensi kolom utama kisaran 1,5 – 2 m, dan diameter balok utama $\pm 0,35\text{-}0,4 \text{ cm}$.



Gambar 2.2 Denah Rumah Bolon

KETERANGAN :

- KR : Kamar tidur raja
- A : Tempat tidur dan tungku Puang Pardahan (istri raja pemasak nasi tamu)
- B : Tempat tidur dan tungku Puang Pardahan/Poso (istri raja pemasak nasi raja)
- C : Tempat tidur dan tungku Puang Parorot (istri raja penjaga anak)
- D : Tempat tidur dan tungku Puang Paninggiran (istri raja pimpinan upacara kesurupan)
- E : Tempat tidur dan tungku Puang Pamokkot (istri raja pimpinan upacara memasuki rumah baru)
- F : Tempat tidur dan tungku Puang Siappar Apei (istri pengatur ruangan dan memasang tikar)
- G : Tempat tidur dan tungku Puang Siombah Bajut (istri pimpinan pembawa peralatan makan sirih)
- H : Tempat tidur dan tungku Puang Bona
- I : Tempat tidur dan tungku Puang Bolon (permaisuri)
- J : Tempat tidur dan tungku Puang Panakkut (istri pimpinan upacara spiritual)
- K : Tempat tidur dan tungku Puang Mata (istri tugas umum di Rumah Bolon)
- L : Tempat tidur dan tungku Puang Juma Bolag (istri pimpinan perladangan)

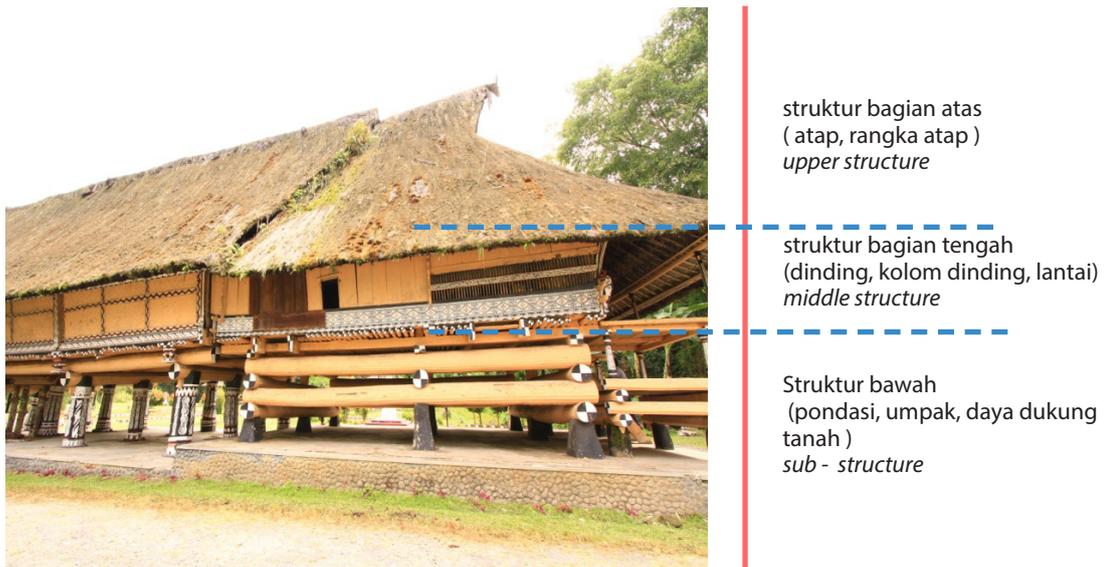


Gambar 2.3 Denah Fungsi Rumah Bolon

KETERANGAN :

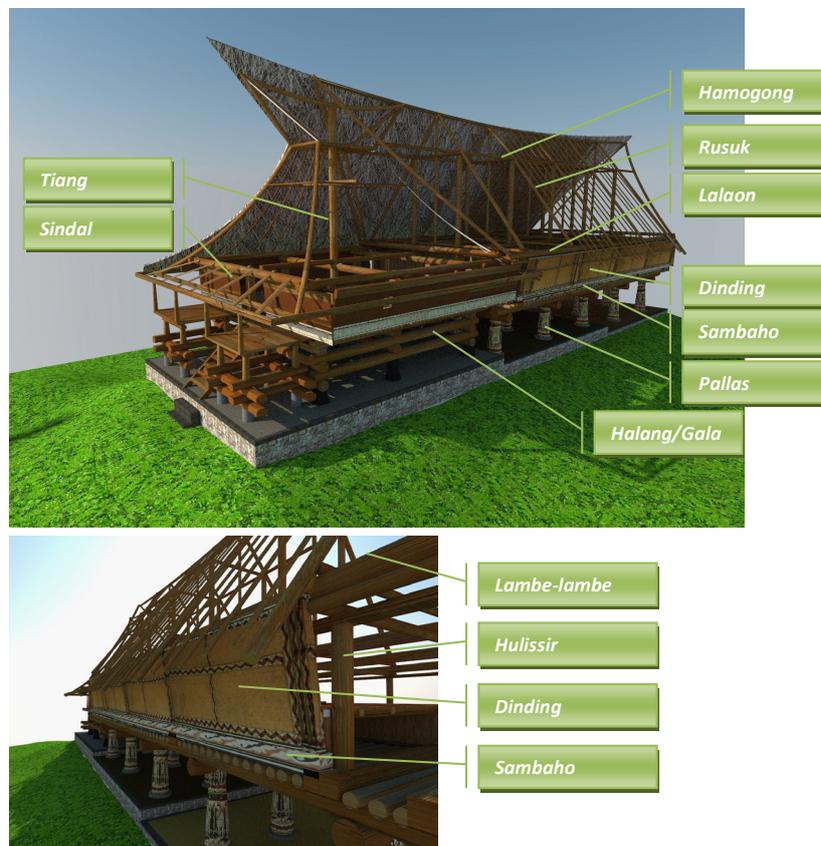
- 1 : Para-para (tempat penyimpanan senjata perang)
- 2 : Tiang Pan Rajah/tiang naggar (tempat perletakan tanduk kerbau dan penabalan raja)
- 3 : Talaga (jalan dalam rumah)
- 4 : Para-para (tempat peralatan dapur)
- 5 : Panggalangan (di atas para-para), tempat raja mengadakan persembahan kepada dewa
- 6 : Ruang untuk permaisuri

Bangunan dengan luasan yang cukup besar tersebut terdiri dari 2 teras kecil di depan, bangunan induk depan dan bangunan induk dibelakang. Seperti halnya pada bangunan tradisional lain di Sumatera, sistem sambungan konstruksi pada bagian-bagian struktur Rumah Bolon ini juga tidak menggunakan paku, namun menggunakan sistem sambungan pasak kayu dan juga sistem ikatan dengan tali rotan.



Gambar 2.4 Pembagian Struktur pada Rumah Bolon

Ketiga bagian yang merupakan bagian struktur tersebut yang meliputi : struktur bagian atas, struktur bagian tengah, dan struktur bagian bawah merupakan satu kesatuan konstruksi yang mempunyai keterikatan satu sama lain. Dalam hal pembebanan baik beban material itu sendiri, beban atap dan beban hidup serta faktor gempa akan berdampak pada ketiga komponen struktur tersebut.



Gambar 2.5 Penamaan Bagian Rumah Bolon

1. Struktur bawah (*sub-structure*) Rumah Bolon

Struktur bawah atau *sub-structure* merupakan bagian yang sangat penting dalam menjaga stabilitas sebuah bangunan. Struktur bawah merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan struktur tanah atau disebut sebagai pondasi bangunan.

a. Struktur Pondasi

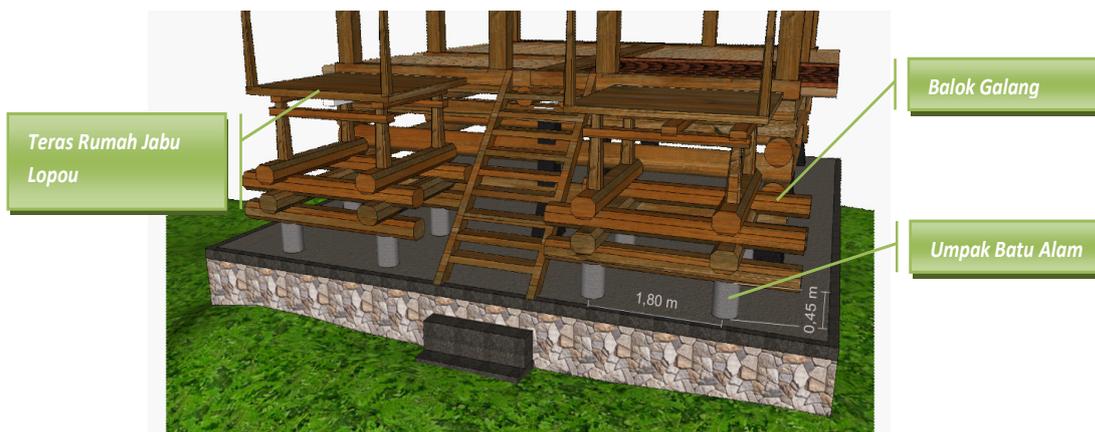
Pondasi pada bangunan rumah Bolon terdiri dari 2 (dua) jenis pondasi :

1) Pondasi pada Rumah *Jabu Lopou* (rumah dibagian depan)

Pada bagian ini pondasi menggunakan umpak yang terbuat dari batu alam dan umpak dari cor beton. Umpak ini menjadi tumpuan balok gelondongan yang disebut sebagai balok *galang*. Pondasi dengan menggunakan sistem umpak bertujuan untuk menjaga stabilitas pada bagian bawah dan menghindari keretakan pada saat terjadi gempa. Bentuk lantai dengan sistem panggung memungkinkan sirkulasi udara pada bagian bawah berjalan dengan baik, sehingga tidak terjadi kelembaban pada lantai. Berbeda dengan bagian rumah belakang atau yang disebut sebagai Rumah *Bolon* pada bagian depan ini umpak pondasi berdiri diatas tanah yang sudah dilapisi dengan rabat beton. Penambahan rabat beton ini sendiri dilakukan pada saat pemugaran tahun 1985, yang pada saat itu bertujuan untuk mencegah terjadinya genangan air. Pada Rumah *Jabu Lopou* ini jenis umpak yang digunakan pada bagian pondasi terdiri dari 2 macam jenis :

a) Pondasi menggunakan umpak dari batu alam

Jenis umpak ini digunakan pada bagian teras rumah *Jabu Lopou*. Umpak menggunakan batu yang tersedia di alam dengan diameter kisaran 35 – 38 cm, dengan ketinggian $\pm 0,45 - 0,50$ m. Bentuk dari umpak dengan batu alam ini cenderung berbentuk lingkaran.

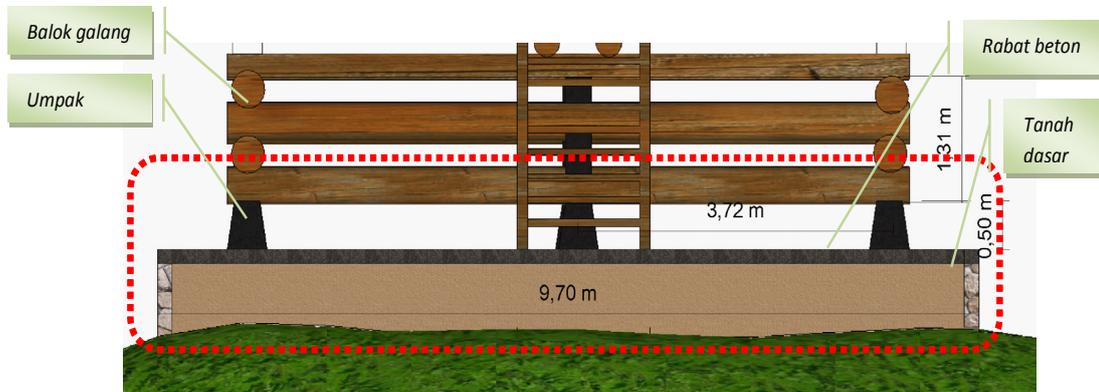


Gambar 2.6 Detail sistem pondasi dengan batu alam pada bagian teras

b) Pondasi menggunakan umpak beton

Pondasi dengan umpak beton digunakan pada bagian ruang utama dari Rumah *Jabu Lopou*. Berbeda dengan bagian teras, umpak pada ruang utama ini berbentuk persegi empat dengan ukuran panjang sisi kisaran 0,45 - 0,48 m, sedangkan tingginya terdiri dari 2 macam: 0,5 m tinggi umpak pada bagian tepi dan 0,8-0,9 m umpak pada bagian tengah.

Dari survei dan wawancara narasumber yang merupakan ahli waris umpak dengan beton ini bukan merupakan umpak asli. Struktur umpak asli yang digunakan tetap menggunakan umpak dari batu alam seperti umpak pada bagian teras.



Gambar 2.7 Detail sistem pondasi dengan umpak beton

2) Pondasi pada Rumah *Bolon* (rumah dibagian belakang)

Sistem konstruksi bagian bawah atau *sub-structure* pada Rumah Bolon ini berbeda dengan sistem pada Rumah *Jabu Lopou*. Pada Rumah Bolon menggunakan tiang kolom yang berupa kayu gelondongan dengan diameter yang cukup besar antara 1,85-1,98 m. Tiang kolom sebagai penyangga utama beban dari atas ini disebut sebagai tiang *Partogu*.



Gambar 2.8 (a) Detail sistem pondasi dengan umpak beton



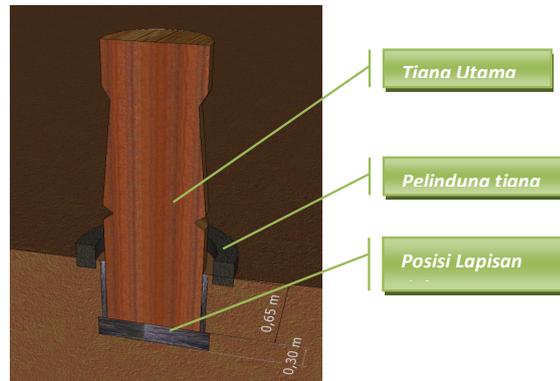
Gambar 2.8 (b) Denah posisi tiang

Keseluruhan tiang pada bagian Rumah Bolon ini berjumlah 20 buah. Tiang kolom ini merupakan elemen struktur yang menjadi media penyalur beban sampai pada lapisan tanah dasar. Lain halnya pada bagian Rumah *Jabu Lopou* tiang pada Rumah Bolon ini tidak menumpu pada umpak batu maupun beton, namun langsung menumpu pada tanah dan masuk sedalam $\pm 30\text{-}50\text{ cm}$.

Bagian dasar tiang ini diberi lapisan ijuk dengan harapan mampu merespon getaran akibat gempa dengan baik sehingga memberikan efek lentur pada bangunan. Disamping itu pemberian ijuk ditujukan untuk menjaga tingkat kelembapan pada bagian dasar tiang yang langsung menyentuh tanah, sehingga kondisi dasar tiang tidak cenderung lembab dan terhindar dari rayap.



Foto 2.4 Tiang Partogu



Gambar 2.9 Ilustrasi potongan kayu dan posisi lapisan ijuk

b. Sistem sambungan

1) Sambungan pada balok galang dan umpak di bagian rumah *Jabu Lopou*

Dari data pengamatan yang dilakukan jenis sambungan takikan ini ditambah dengan perkuatan sambungan purus dan lubang, namun data yang ada hanya pada bagian balok persegi paling atas yang langsung berhubungan dengan balok *galang* kecil. Belum diketahui secara pasti apakah purus dan lubang tersebut sampai pada bagian bawah balok galang. Jika sambungan purus dan lubang tersebut sampai pada bagian bawah tentunya kondisi rawan pada gaya geser yang terjadi akan mampu ditahan oleh adanya purus ini.



Gambar 2.10 Detail sambungan takikan, purus dan lubang pada koneksi antar balok galang, dan balok atas penyangga papan lantai

2) Sambungan pada balok dan umpak di bagian teras

Sistem sambungan dan ikatan balok *galang* menggunakan sistem sambungan takik dan dikombinasi dengan purus dan lubang, adanya sambungan purus dan lubang ini sangat membantu stabilitas balok *galang* terhadap gaya geser yang terjadi dikarenakan luas bidang geser yang sangat kecil/pendek. Hal lain yang cukup rentan terhadap guling adalah pada koneksi antara balok *galang* dengan umpak batu alam. Pada bagian umpak yang menopang batu alam tidak dibuat takikan sehingga kondisi ini sangat rawan terhadap guling dan geser



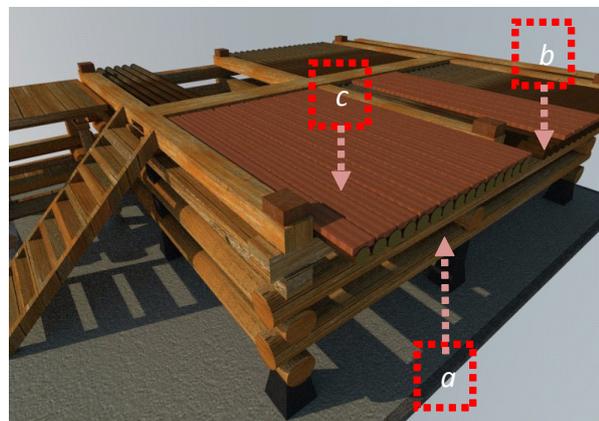
Gambar 2.11 Detail sambungan takikan, purus dan lubang pada koneksi antar balok *galang* pada bagian teras. (a) kondisi rawan terhadap geser

2. Struktur bagian tengah (*middle structure*) Rumah Bolon.

a. Struktur Lantai

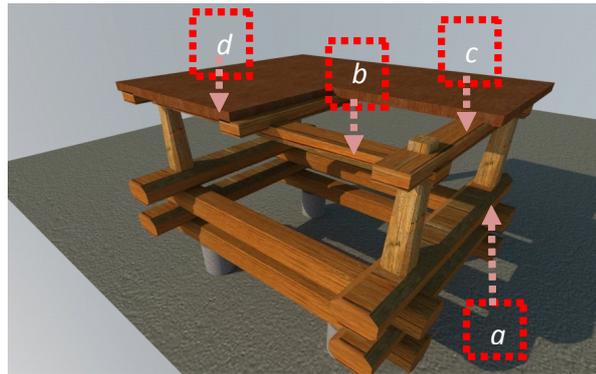
Papan lantai yang digunakan berasal dari kayu alam di daerah tersebut, yang dikenal dengan sebutan kayu *sambaho*. Papan lantai yang digunakan pada ruang Rumah *Bolon* sebagian besar berupa papan kayu luar sehingga bentuk yang ada tidak simetris, sedangkan papan lantai pada ruang Rumah *Jabu Lopou* cenderung papan yang berasal dari bagian dalam kayu sehingga bentuknya cenderung simetris dan mempunyai kekuatan yang lebih bagus.

Pada lantai bagian teras Rumah *Jabu Lopou* papan lantai dibuat simetris dan menumpu diatas perkuatan 2 balok, masing-masing balok terkoneksi dengan sistem sambungan purus dan lubang. karena luasan yang relatif kecil balok tumpuan papan lantai teras hanya membutuhkan 3 balok kedua dan 2 balok pertama.



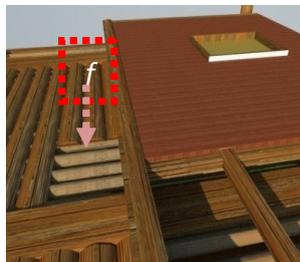
Keterangan Gambar :
 a. Balok Galang
 b. Balok Galang Kecil
 c. Papan Lantai (Sambaho)

Gambar 2.12. Detail Struktur Lantai Ruang Rumah Jabu Lopou

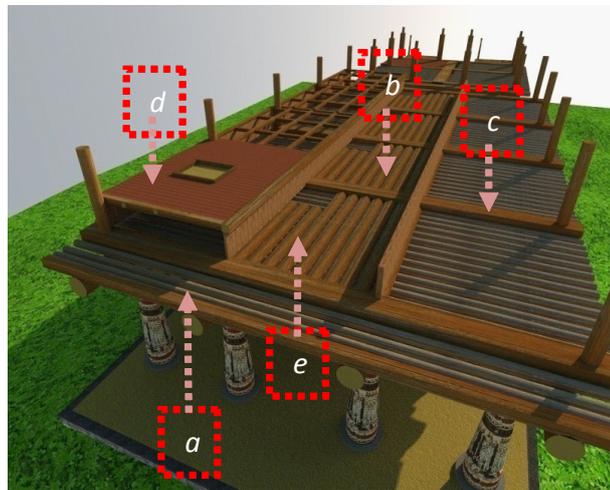


Keterangan Gambar :
 a. Balok Galang
 b. Balok Lantai Pertama
 c. Balok Lantai Kedua
 d. Papan Lantai Teras

Gambar 2.13. Detail Struktur Lantai Teras Ruang Rumah Jabu Lopou



Keterangan Gambar :
 a. Galang kecil
 b. Papan lantai 1
 c. Balok persegi
 d. Papan Lantai 2 (dapur)
 e. Dapur
 f. Detail struktur lantai Bolon



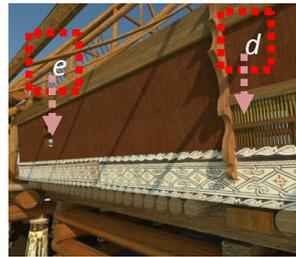
Gambar 2.14. Detail Struktur Lantai Rumah Bolon

b. Dinding dan Kolom

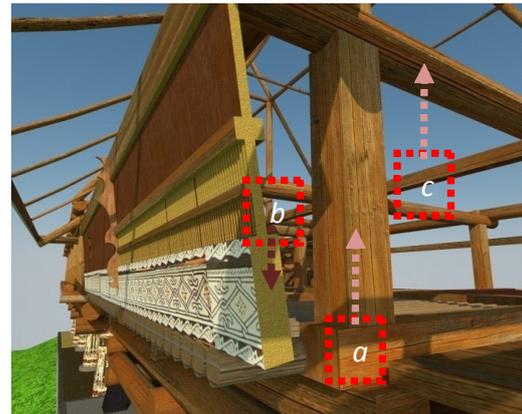
Struktur dinding Rumah Tradisional Simalungun atau Rumah Bolon ini bagian ujung dari dinding tidak terikat langsung pada kolom namun terikat pada bagian gording atap dan struktur dinding tidak berdiri tegak lurus namun miring.

Kolom dinding yang merupakan element struktur sebagai penghantar beban atap ke bawah tidak terkoneksi dengan balok *galang*, namun terkoneksi dengan balok persegi/balok paling atas setelah balok *galang* dengan sambungan purus dan lubang. Material dinding rumah Bolon tidak berupa papan kayu lembaran, namun dari anyaman bambu seperti pada bangunan tradisional jawa yang dikenal dengan sebutan "*gedeg*".

Berbeda dengan dinding pada Rumah Bolon, dinding Rumah *Jabu Lopou* berupa papan kayu dengan ukuran yang cukup tebal 5-10 cm.



Keterangan Gambar :
 a. Kolom struktur dinding
 b. Dinding dari papan kayu
 c. Balok *ringbalk*
 d. Kisi kisi sirkulasi angin
 e. Jendela



Gambar 2.15 Detail Struktur Dinding Rumah Jabu Lopou



Keterangan Gambar :
 a. Kolom pengikat lapisan dinding
 b. Dinding dari anyaman bambu
 c. Kolom struktur
 d. Sisi bagian dalam (lantai dapur)



Gambar 2.16 Detail Struktur Dinding Rumah Bolon

c. Sistem Sambungan

1) Sambungan dan perkuatan pada rangka penopang papan lantai (balok galang kecil)



Gambar 2.17 Detail Sistem Sambungan Purus dan Lubang sebagai pengikat balok galang kecil

2) Sambungan dan perkuatan pada kayu kolom dan balok yang berfungsi sebagai kolom struktur dan *ring balk*

Bagian kolom dan balok terikat dengan sistem sambungan purus dan lubang serta sistem sambungan takikan yang diperkuat dengan ikatan tali. Secara struktur sistem sambungan seperti ini cukup efektif dalam menerima beban vertikal dan gaya geser, sistem sambungan ini membuat struktur tidak bersifat *rigid*/kaku sehingga gaya geser dan tarik seperti pengaruh gempa mampu direduksi dengan baik.



Gambar 2.18 Detail Sistem Sambungan Purus dan Lubang dengan pengikat tali pada bagian kolom dan balok

3) **Sambungan pada struktur dinding**

Sistem ikatan yang digunakan menggunakan sistem pasak. Dinding tersambung dengan balok memanjang yang dikunci menggunakan sistem sambungan pasak.

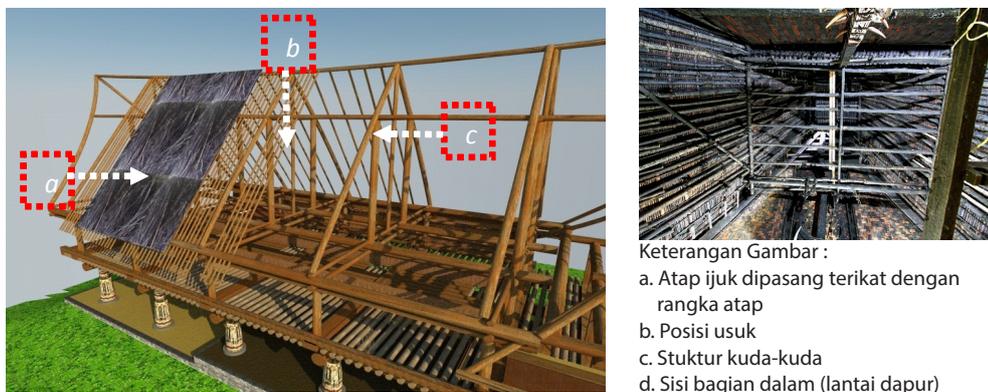


Gambar 2.19 Detail Sistem Sambungan menggunakan pasak pada bagian struktur dinding

3. **Struktur bagian atas (*upper structure*) Rumah Bolon.**

a. **Struktur atap dan rangka atap**

Bangunan Rumah Bolon yang terdiri dari rumah *Jabu Lopou* dan Rumah *Bolon* itu sendiri merupakan bangunan dengan dimensi ke belakang cukup panjang, struktur atap merupakan bagian yang menyambung antara rumah bagian depan dan belakang. Derajat kemiringan atap sudah dirancang dengan sudut kemiringan tidak tajam sehingga atap cenderung pada kondisi tegak dan tidak tambun. Hal ini sangat efektif dalam menjaga limpasan air pada kondisi hujan yang deras dan disertai angin.



Keterangan Gambar :
 a. Atap ijuk dipasang terikat dengan rangka atap
 b. Posisi usuk
 c. Stuktur kuda-kuda
 d. Sisi bagian dalam (lantai dapur)

Gambar 2.20 Detail komponen struktur atap dan rangka atap yang digunakan

b. Sistem sambungan

Keseluruhan sistem ikatan dan sambungan pada bagian struktur atap ini menggunakan sistem sambungan purus lubang, pengunci menggunakan ikatan tali, tidak ada bagian yang menggunakan paku sebagai pengunci.



Gambar 2.21 Detail ikatan atap ijuk pada rangka atap

B. KERUSAKAN STRUKTURAL, MATERIAL DAN ARSITEKTURAL RUMAH BOLON

1. Kerusakan pada bagian Struktur Bawah (*sub - structure*)

Sebagian besar kerusakan yang terjadi pada bagian ini adalah kerusakan struktural dan juga beberapa kerusakan material pendukung bangunan. Beberapa jenis kerusakan yang terjadi antara lain :

a. Pelapukan Material

Lopou maupun balok *galang* pada Rumah Bolon. Pelapukan juga terjadi pada material batu yang berfungsi sebagai umpak pada teras Rumah *Jabu Lopou*.



Foto 2.5 Pelapukan yang parah pada bagian tiang kolom dan balok Rumah Bolon

Beberapa kondisi yang terjadi akibat pelapukan ini adalah kayu menjadi keropos dan hancur, untuk beberapa lokasi di bagian balok *galang* kayu mengalami degradasi kekuatan sehingga mudah untuk retak dan pecah.

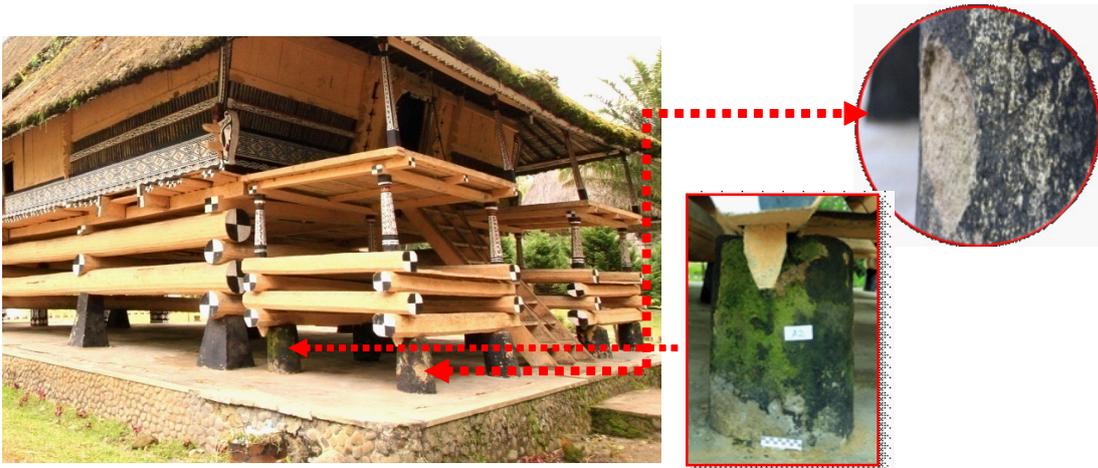


Foto 2.6 Pelapukan pada bagian umpak Rumah Jabu Lopou

b. Melesak (Deformasi vertikal)

Tiang kolom Rumah Bolon tidak berdiri diatas umpak, namun masuk ke dalam tanah dengan landasan lapisan ijuk dengan tebal ± 30 cm. Dari data survei kemelesakan tiang kolom terjadi pada bagian paling belakang. Secara struktur bagian ujung berfungsi sebagai sendi dalam menerima beban. Kelembaban dan kondisi jenuh air pada tanah dasar akan menyebabkan daya dukung menurun sehingga tidak akan bisa berfungsi sebagai perata dan penerima beban, hal ini yang menyebabkan bagian tiang kolom melesak.

c. Dislokasi / Deformasi

Kerusakan dislokasi/deformasi ini meliputi perubahan posisi komponen bagian baik pergeseran arah x,y ataupun z. Kerusakan ini hampir keseluruhan terjadi pada bagian koneksi antara tiang kolom dengan balok *galang*, sebagai joint pertemuan dalam menahan beban vertikal ataupun horisontal yang berupa geser.



Foto 2.7 Kerusakan Dislokasi/Deformasi pada join tiang kolom dan balok Galang

d. Lendutan (Melengkung)

Lendutan yang terjadi pada balok *galang* posisi arah sejajar arah bangunan merupakan akibat proses kemelesakan pada tiang kolom di bagian ujung (pelataran 2),



Foto 2.8 Ilustrasi Pembebanan yang menyebabkan kemelesakan dan patahan

2. Kerusakan pada bagian Struktur Tengah (middle - structure)

a. Pelapukan

Pelapukan terjadi pada balok galang kecil akibat serangan jamur dan serangga. Pelapukan terjadi juga pada tali pengikat struktur kolom dan balok menerus, bagian balok rak dapur, pada bambu yang berfungsi sebagai papan rak dapur, pada anyaman bambu dinding rumah Bolon tampak dalam dan luar

b. Patah

Bagian yang mengalami patah adalah pada bagian yang menahan faktor struktural baik tekan maupun tarik. Pada bagian konstruksi tengah ini, bagian yang mengalami patah adalah pada bagian balok galang kecil.

3. Kerusakan pada bagian Struktur Atas (upper - structure)

a. Pelapukan

Pelapukan pada bagian usuk, sebagian besar sudah diganti

b. Lumut dan tumbuhan tingkat tinggi

Dari survei dan observasi dilapangan diperoleh data sebagian besar lapisan ijuk pada Rumah Bolon dalam kondisi yang lembab dan ditumbuhi lumut dan tumbuhan tingkat tinggi, disamping pada bagian atas terutama juga pada bagian ujung tritisan yang menjadi tempat aliran air sebelum jatuh ke lapisan tanah.

C. KOMPONEN MATERIAL PENYUSUN RUMAH TRADISIONAL BOLON

Dari hasil survei dan observasi terhadap beberapa bangunan didapatkan data teknis material penyusun bangunan sebagai berikut :

1. Kayu

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Ari Swastikawati pada tahun 2013 terhadap beberapa sampel kayu yang meliputi: kayu blandar (balok *galang*), kayu lantai dan kayu tiang yang merupakan kayu baru sebagai pengganti kayu lama pada saat pekerjaan pemugaran pada tahun 1985. Dari hasil analisis sampel tersebut dihasilkan beberapa kesimpulan yaitu :

Tabel 2.1 Jenis Kayu pada bangunan di Kompleks Istana Pematang Purba

NO	BANGUNAN	BAGIAN STRUKTUR	JENIS KAYU	KATEGORI KAYU	KETERANGAN
1.	Rumah Bolon	Tiang lama dan Blandar	Kayu pokki (nama lokal) Kayu ulin (nama dagang)	Kelas kuat I dan Kelas awet I	Tahan terhadap serangan rayap
2.	Rumah Balai Sidang	Lantai	Kayu meranti merah	Kelas kuat II-IV; Kelas awet III-IV.	Tidak begitu tahan terhadap pengaruh cuaca, cukup mudah diawetkan dengan menggunakan campuran minyak diesel dengan kreosot.
3.	Rumah bolon	Tiang baru	Kayu salagundi (<i>Rhouldolia teysmanii Hook.f</i>)	Kelas kuat kayu I dan kelas awet kayu I.	

2. Batu Umpak

Dari hasil analisis petrografi dan kimia terhadap sampel batu umpak pada bagian teras didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2.2 Hasil Analisis Petrografi Sampel Batu Umpak

Kode	Sampel Jenis	Parameter	Hasil	Ket
A	Batu	Kadar air natural	26,3 %	
	Ranggisgis	Kadar air jenuh	28,1 %	
	(batu umpak Asli)	Berat jenis	1,1 g/cm ³	
		Densitas	0,8 g/cm ³	
		porositas	23,8 %	
B	Batu	Kekerasan	±2	Skala mohs
	Bukan	Kadar air natural	0,9 %	
	Ranggisgis	Kadar air jenuh	13,5 %	
	(batu di Sekitar lokasi)	Berat jenis	2,5 g/cm ³	
		Densitas	1,8 g/cm ³	
	porositas	25 %		
	Kekerasan	±3	Skala mohs	

Tabel 2.3 Hasil Analisis Kimia Sampel Batu Umpak

No	Parameter	Jenis Sampel		Satuan	Metode
		Batu Ranggisgis	Batu Bukan Ranggisgis		
1	Kalsium(Ca)	1,80	1,88	%	Titrimetri
2	Magnesium(Mg)	1,28	0,95	%	Titrimetri
3	Besi(Fe)	2,51	2,79	%	Titrimetri
4	Aluminium(Al)	5,67	5,05	%	Titrimetri
5	Sulfat(SO ₄)	0,58	0,30	%	Titrimetri
6	Karbonat(CO ₃)	1,47	1,51	%	Gravimetri
7	Silika(SiO ₂)	63,93	75,15	%	Gravimetri

Dari hasil analisa Petrografi diketahui kadar air jenuh, natural dan tingkat porositas batu umpak cukup tinggi, dan tingkat kekerasan yang rendah, jenis batuan ini bisa dikategorikan sebagai batu pasir (*sand stone*). Dengan tingkat kekerasan yang rendah dan porositas yang

cukup tinggi akan mempengaruhi terhadap faktor kekuatan dan kekakuan sebagai tumpuan yang menerima beban besar mulai dari beban balok galang, lantai dan atap. Tingkat kekuatan yang rendah akan membuat batu umpak ini mudah rapuh dan tidak kuat dalam menahan beban yang ada.

3. Komponen lainnya

Hal lain yang menarik adalah sisa /bekas yang ditinggalkan dari proses memasak pada bagian dapur yang disebut sebagai "jelaga". Dibandingkan beberapa bagian lain yang berada dalam ruang Rumah *Jabu Lopou* dan Rumah Bolon bagian kayu yang terkena lapisan "jelaga" ini mempunyai kondisi keterawatan lebih baik.

Dari analisis kimia terhadap sampel "Jelaga" tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2.4 Hasil Analisis Kimia Sampel "Jelaga"

No	Parameter	Sampel "Jelaga"	Satuan	Metode
1	Kalsium(Ca)	1,04	%	Titrimetri
2	Magnesium(Mg)	1,26	%	Titrimetri
3	Besi(Fe)	2,76	%	Titrimetri
4	Aluminium(Al)	4,07	%	Titrimetri
5	Sulfat(SO ₄)	0,00	%	Titrimetri
6	Karbonat(CO ₃)	1,12	%	Gravimetri
7	Silika(SiO ₂)	15,04	%	Gravimetri

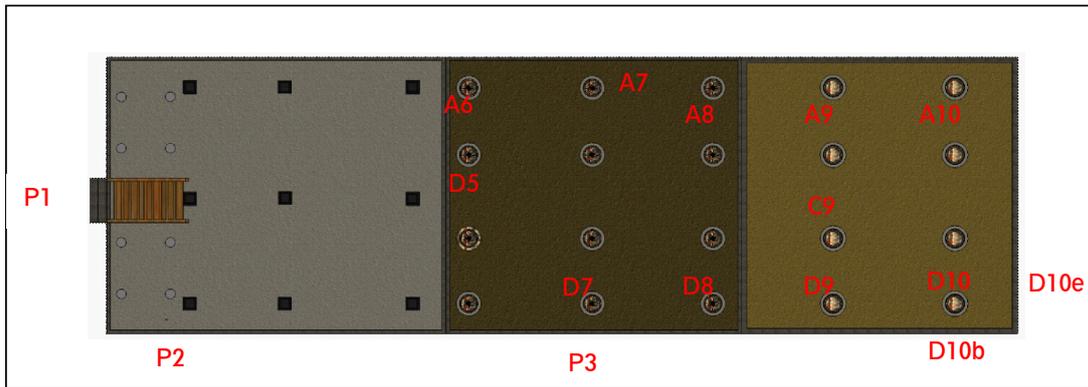
Sedangkan hasil analisis terhadap sampel cat kayu yang digunakan pada bagian balok *galang* adalah sebagai berikut :

Tabel 2.5 Hasil Analisis Kimia Sampel Cat Kayu Rumah Bolon

No	Parameter	Jenis Sampel				Satuan	Metode
		Cat pada bangunan lainnya	Cat Galang	Cat Tiang A8	Cat Kolom		
1	Kalsium(Ca)	25,422	20,501	0,312	0,565	%	Instrumen X-RF
2	Besi(Fe)	8,154	5,447	0,009	0,068	%	Instrumen X-RF
3	Aluminium(Al)	2,879	2,79	1,273	0,334	%	Instrumen X-RF
4	Silika(SiO ₂)	5,913	6,666	3,264	1,484	%	Instrumen X-RF
5	Titanium(Ti)	2,127	2,008	5,373	6,437	%	Instrumen X-RF
6	Sulfur(S)	0,199	0,253	2,014	4,508	%	Instrumen X-RF
7	Seng(Zn)	0,086	-	2,06	2,648	%	Instrumen X-RF
8	Mangan(Mn)	0,036	0,046	0,108	0,156	%	Instrumen X-RF
9	Timbal(Pb)	-	0,08	0,073	0,081	%	Instrumen X-RF

4. Tanah Dasar

Dari hasil pengukuran kadar pH tanah pada titik sekitar tiang Rumah Bolon dan tanah di depan teras Rumah *Jabu Lopou* diperoleh data sebagai berikut :



Gambar 2.22 Titik pengambilan sampel pengukuran kadar pH tanah sekitar Rumah Bolon

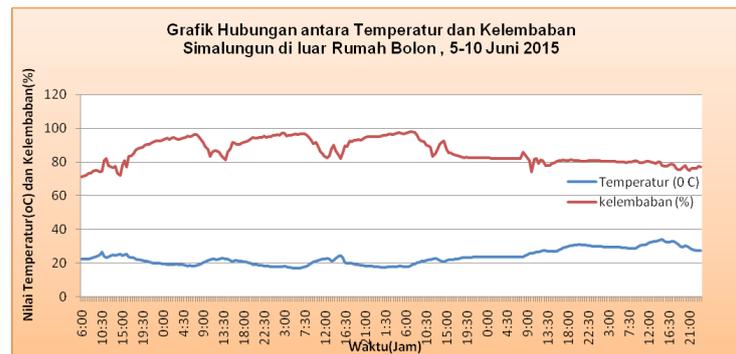
Tabel 2.6 Hasil Pengukuran pH tanah Rumah Bolon

No	Titik Pengukuran	Nilai pH	Ket
1	Titik P1	5,8	
2	Titik P2	5,6	
3	Titik P3	4,8	
4	Titik D5	6,4	
5	Titik D7	5	
6	Titik D8	5,4	
7	Titik D9	4,6	
8	Titik D10	5,0	
9	Titik D10e	4,2	
10	Titik D10b	4,6	
11	Titik C9	6	
12	Titik A10	6	
13	Titik A9	5,4	
14	Titik A8	5,4	
15	Titik A7	5,2	
16	Titik A6	5,8	

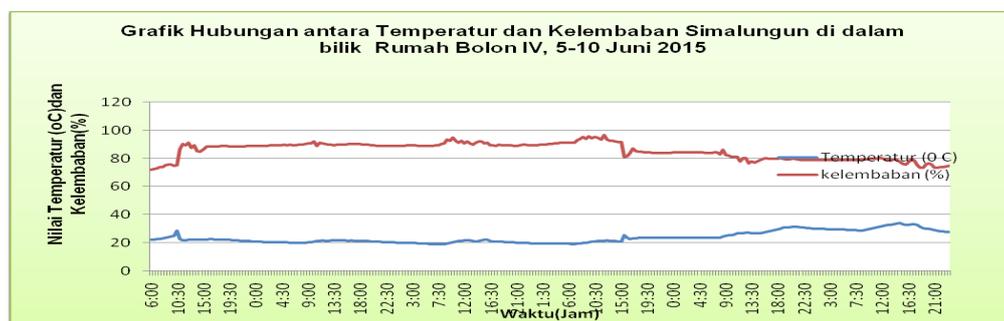
Kondisi pH tanah menentukan perkembangan mikroorganisme dalam tanah. Pada pH 5,5 – 7 jamur dan bakteri pengurai bahan organik akan tumbuh dengan baik. Demikian juga mikroorganisme yang menguntungkan bagi akar tanaman juga akan berkembang dengan baik (Jones & Eggleton, 2000) menyatakan bahwa tinggi-rendahnya pH tanah tidak begitu berpengaruh terhadap keberadaan rayap tanah. Hal ini disebabkan karena rayap tanah memiliki kisaran toleransi yang lebar terhadap pH tanah. Jadi hal yang bisa mempengaruhi perkembangbiakan rayap di dalam lapisan tanah dasar bangunan Rumah Bolon adalah tingkat kelembapan tanah.

D. KLIMATOLOGI LINGKUNGAN

Observasi dan pencatatan data klimatologi pada bagian dalam dan luar Rumah Bolon dilakukan dengan merekam data melalui data *logger* yang dipasang. Data klimatologi tersebut meliputi temperatur dan tingkat kelembapan pada bagian dalam rumah dan luar rumah yang direkam dalam siklus waktu selama 6 hari dari tanggal 5 sampai dengan tanggal 10 Juni 2015. Hasil dari pengamatan data klimatologi tersebut adalah sebagai berikut :



Grafik 2.1 Hubungan antara Temperatur dan Kelembaban di bagian luar Rumah Bolon



Grafik 2.2 Hubungan antara Temperatur dan Kelembaban di bagian dalam Rumah Bolon

Berdasarkan pengamatan data tersebut diperoleh hasil bahwa perbedaan temperatur dan kelembaban pada bagian dalam dan luar Rumah Bolon tidak begitu besar, dan tingkat kelembaban pada Rumah Bolon cukup tinggi dengan nilai rata – rata 85,5 %. Hal ini sangat dimungkinkan mengingat ruangan cukup tertutup dan ventilasi sangat minim sekali. Tingkat kelembaban yang cukup tinggi tersebut sangat mempengaruhi kondisi keterawatan material kayu sebagai penyusun Rumah Bolon tersebut. Kondisi ruangan yang lembab akan mempengaruhi tumbuhnya mikroorganisme maupun ancaman pelapukan.

E. FAKTOR PENYEBAB KERUSAKAN DAN MENURUNNYA KONDISI KETERAWATAN RUMAH BOLON

1. Klimatologi Lingkungan (temperature, cuaca dan tingkat kelembaban)

Aktivitas penggunaan dapur pada masa lalu mampu menyeimbangkan tingkat kelembaban diluar dan dibagian dalam ruangan. Kondisi lembab pada bagian rumah disebabkan oleh fungsi dari masing-masing ruang yang sudah tidak digunakan, tidak ada aktivitas di dalam ruangan yang mampu mengurangi tingkat kelembaban.

2. Penanganan dan Tindakan Konservasi yang Tidak Tepat

a. Penggantian material baru

Kondisi kayu asli sebagai penyusun bangunan cukup berpengaruh terhadap kekuatan dan ketahanan akibat proses pelapukan. Kayu asli pada komponen tiang kolom dan balok *galang* berasal dari kayu yang cukup kuat, sedangkan beberapa bagian lain merupakan penggantian yang dilakukan pada pemugaran pada tahun 1987.



Penambahan Lapisan Kulit Kayu pada bagian luar untuk membuat expose seolah-olah dimensi kayu yang digunakan sebagai tiang pengganti sesuai dengan dimensi aslinya.

Foto 2.9 Penggantian Tiang yang tidak sesuai dengan dimensi aslinya

b. Penggunaan unsur semen pada struktur tiang utama

Dari data yang ada disebutkan bahwa desain aslinya untuk lapisan tumpuan tiang ini menggunakan lapisan ijuk dengan tebal ± 30 cm, namun pada saat perbaikan dan penggantian umpak ini justru lapisan dasar tersebut diganti dengan semen. Kondisi yang demikian akan membuat tingkat kelembaban pada dasar tanah tersebut menjadi tinggi dan akan mudah memancing munculnya rayap.

c. Penggunaan lapisan cat yang kurang sesuai pada balok galang

Dari data analisis kimia kandungan cat yang digunakan pada balok *galang* diperoleh data bahwa cat yang digunakan adalah cat dengan kandungan Ca cukup tinggi (20,501 %), cat jenis ini merupakan jenis cat tembok, cat yang aplikasinya untuk material tembok bukan kayu. Kadar Ca yang cukup tinggi akan mempercepat proses degradasi dan pelapukan pada lapisan permukaan kayu tersebut. Dari analisis data juga didapatkan hasil bahwa cat yang digunakan kadar Ca-nya rendah dibawah 1 % (0,312 dan 0,56) cat jenis ini mempunyai kecenderungan jenis cat kayu/minyak. Penggunaan cat jenis ini lebih tepat untuk aplikasi sebagai lapisan pelindung dan *coating*.

F. KEARIFAN LOKAL (LOCAL GENIUS) KONSEP PEMBANGUNAN RUMAH BOLON SIMALUNGUN.

Survei dan observasi data dilapangan menunjukkan ada beberapa hal yang menjadi nilai kearifan lokal tersebut antara lain:

1. Desain dan konstruksi pondasi

Rancangan konstruksi pada bagian pondasi sudah memperhitungkan terhadap ancaman getaran yang berasal dari alam seperti gaya akibat gempa. Desain pondasi yang menggunakan sistem umpak batu dirancang sebagai *base isolator* untuk menahan getaran yang berasal dari lapisan tanah. Posisi umpak yang berfungsi sebagai sendi terbatas memungkinkan tiang kolom mampu menahan tekanan dan geser horisontal. Konstruksi pondasi dengan sistem umpak menjadikan struktur bangunan tersebut menjadi elastis dan tidak rigid.

2. Struktur tiang dan balok menerus (balok galang)

Pada struktur bagian bawah (*subbase structure*) di rancang menggunakan struktur rangka kolom dan balok menerus yang berfungsi sebagai *bracing horisontal*. Balok menerus yang disebut sebagai balok *galang* ini secara struktur mampu meredam getaran dengan cepat. Struktur pondasi umpak, sistem struktur pengaku dan sistem sambungan serta ikatan sudah didesain dengan fungsi *semi rigid*, kondisi yang demikian mampu berfungsi sebagai kontrol seismik yang berlapis.

3. Penggunaan lapisan ijuk pada dasar tiang kolom

Pada struktur paling bawah tiang kolom yaitu pada bagian yang langsung berhubungan dengan tanah diberikan lapisan ijuk dengan ketebalan ± 30 cm. Hal ini mampu menjaga bagian bawah tersebut dari tingkat kelembaban yang tinggi sehingga peluang berkembang biaknya rayap akan bisa dicegah.

4. Adanya lapisan "jelaga" pada ruang di dalam rumah.

Aktivitas penggunaan ruang sebagai dapur terutama yang masih terlihat pada Rumah *Jabu Lopou*, meninggalkan jejak asap/abu yang memadat yang menempel pada lapisan permukaan kayu pada ruangan tersebut. Lapisan yang disebut sebagai "jelaga" tersebut ternyata mampu melindungi kayu dari kelembaban yang terjadi. Kondisi yang demikian mampu memberikan sifat awet pada kayu tersebut karena tidak rentan terhadap serangan serangga, jamur ataupun rayap.

5. Metode penebangan kayu yang digunakan sebagai material Rumah Bolon.

Metode penebangan pada masa itu sudah memperhitungkan waktu dan musim dimana kondisi kayu dalam keadaan daun tua, hal ini dimaksudkan bahwa dalam kondisi tersebut kayu sudah benar benar tua. Setelah proses penebangan kayu dibiarkan selama minimal enam (6) bulan baru dikerjakan sebagai material Rumah Bolon. Perlakuan selama minimal enam (6) bulan tersebut kayu di "siangkan" dalam bahasa mereka atau dikeringkan secara alami sehingga ketika dipasang kayu tidak akan mengalami penyusutan.

G. METODE KONSERVASI DAN PENANGANAN KERUSAKAN RUMAH BOLON SIMALUNGUN.

Secara teknis beberapa metode konservasi yang harus dilakukan adalah :

1. Konservasi Material

- a. Penggantian total tiang yang sudah rusak
Harus diperhatikan bahwa kayu yang digunakan sebagai pengganti harus sesuai karakteristiknya, baik dimensi, jenis kayu serta kondisi fisisnya.
- b. Penggantian total balok galang yang sudah rusak
- c. Perkuatan (konsolidasi) parsial pada beberapa tiang dan balok galang
Metode konsolidasi bisa dilakukan dengan menambal bagian kayu yang rusak dengan tipe kayu sejenis dengan menggunakan perekat resin.
Fungsi resin sebagai bahan konsolidasi ini bisa berfungsi sebagai perekat untuk menambal atau menyambung kayu dan juga bisa digunakan sebagai pengisi.
- d. Pembersihan lapisan cat pada bagian kayu yang menggunakan tipe cat dengan kadar Ca tinggi (cat tembok)
- e. Pembersihan kering bagian struktur bawah tengah dan rangka atap
- f. Pengolesan bahan anti rayap pada material kayu
- g. Pengendalian anti rayap pada lapisan tanah dasar

Metode konservasi yang bisa dilakukan bisa menggunakan metode *Termite Full Proofing (TFP)*.

- h. Penggantian Rangka Atap yang mengalami pelapukan
- i. Penggantian Ijuk pada bagian atap (parsial/total)
- j. Mengembalikan struktur bagian bawah ke struktur semula yaitu dengan lapisan tanah asli

2. Konservasi Lingkungan

Selain tindakan konservasi langsung terhadap material Rumah Bolon tersebut perlu dilakukan upaya konservasi terhadap lingkungan sekitarnya. Beberapa tindakan yang bisa dilakukan antara lain:

- a. Memperbaiki sistem drainase halaman Rumah Bolon
- b. Melakukan penataan vegetasi lingkungan
- c. Mengembalikan fungsi ruang Rumah Bolon

Tabel 2.7 Rencana Penanganan dan Metode Konservasi Rumah Bolon Simalungun

NO	METODE KONSERVASI	STRUKTUR BAGIAN			KET
		BAWAH	TENGAH	ATAS	
KONSERVASI MATERIAL					
1	Penggantian total tiang yang sudah rusak	■			■ : Insidental / Segera ■ : Berkelanjutan ■ : Pemeliharaan Rutin
2	Penggantian total balok galang yang sudah rusak	■			
3	Perkuatan (konsolidasi) parsial pada beberapa tiang dan balok galang	■ ■			
4	Pembersihan lapisan cat pada bagian kayu yang menggunakan tipe cat dengan kadar Ca tinggi (cat tembok)	■	■		
5	Pembersihan kering bagian struktur bawah, tengah dan rangka atap	■	■	■	
6	Pengolesan bahan anti rayap pada material kayu	■	■	■	
7	Pengendalian anti rayap pada lapisan tanah dasar	■ ■			
8	Penggantian Rangka Atap yang mengalami pelapukan			■ ■	
9	Penggantian Ijuk pada bagian atap (parsial/total)			■ ■	
10	Mengembalikan struktur bagian bawah ke struktur semula yaitu dengan lapisan tanah asli	■			
KONSERVASI LINGKUNGAN					
1	Perbaikan dan pemeliharaan sistem drainase halaman Rumah Bolon	■ ■			
2	Melakukan penataan vegetasi lingkungan	■ ■			
3	Mengembalikan fungsi ruang Rumah Bolon	■	■		

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data pada permasalahan kondisi keterawatatan Rumah Tradisional Simalungun Rumah Bolon dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kerusakan yang terjadi pada Rumah Bolon sebagian besar terjadi pada struktur bagian bawah (*sub structure*) yang merupakan komponen bangunan yang mempunyai fungsi struktural menahan beban paling besar.
2. Faktor yang memberikan kontribusi cukup besar terhadap kerusakan pada struktur bawah Rumah Bolon salah satunya adalah penanganan yang tidak tepat dan tidak sesuai dengan kaidah pelestarian dan prinsip pemugaran.
3. Metode konservasi yang bersifat konsolidasi pada beberapa tiang kolom dengan penggantian tiang baru yang sesuai spesifikasinya harus segera dilakukan mengingat pada bagian tersebut merupakan bagian yang menahan beban bagian tengah dan atas. Jika hal tersebut tidak segera dilakukan dikhawatirkan akan terjadi kemelesakan yang berakhir pada keruntuhan bangunan.
4. Beberapa metode konservasi terhadap lingkungan sesuai dengan analisa data yang dihasilkan juga harus dilakukan untuk mendukung kelestarian Rumah Bolon tersebut.
5. Beberapa kearifan lokal (*local genius*) dalam desain Rumah Bolon membuktikan bahwa struktur bangunan (pondasi, balok, kolom sistem sambungan) tersebut sudah memperhitungkan fungsi kontrol seismik yang berlapis. Fungsi kontrol seismik ini mampu melindungi bangunan dari ancaman kerusakan dan keruntuhan akibat gempa.

B. SARAN DAN REKOMENDASI

Beberapa hal yang dapat dilakukan ke depan untuk mendukung pelestarian Rumah Bolon ini adalah :

1. Pekerjaan penanganan (pemugaran dan konservasi) yang akan dilakukan harus dipersiapkan dengan baik. Koordinasi dan perumusan metode penanganannya harus dilakukan dengan tepat, dan proses pelaksanaan pekerjaan harus dilakukan pengawasan yang ketat dari para ahli.
2. Perlu dilakukan kajian pengembangan tentang metode *non destruktif* untuk mengetahui tingkat kekuatan dan kerapuhan material kayu pada bagian yang menahan beban struktur cukup besar seperti : tiang kolom dan balok *galang*.
3. Kajian lanjutan perhitungan faktor *seismic* gempa secara detail pada setiap komponen structural bangunan dengan metode *non destruktif* menggunakan software *analisis struktur* SAP 2000.

DAFTAR PUSTAKA

- Domenig, G. 2003. *Consequences of Functional Change: Granaries, Granarydwellings, and Houses of the Toba Batak*. Dalam R. Schefold, G. Domenig, & P. Nas, *Indonesian Houses: Tradition and Transformation in Vernacular Architecture* (hal. 61-97). Singapore: Singapore University Press.
- Proyek Pengembangan Media Kebudayaan.1993. *Album Arsitektur Tradisional Sumatera Utara*. Jakarta : Departemen Pendidikan dan kebudayaan.
- Purba, Suruhen. 1991. *Buku Petunjuk (Guide Book) Museum Rumah Bolon Adat Pematang Purba*
- Sitohang, Maison. 1990. *Arsitektur Rumah Tradisional Simalungun*. Laporan Seminar Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Medan
- Soeroto, Myrtha. 2003, *Dari Arsitektur Tradisional Menuju Arsitektur Indonesia* .Ghalia
- Waterson, R. 1990. *The Living House: An Anthropology of Architecture in South-East Asia*. Singapore/ Oxford/New York : Oxford University Press. ANGAN JAWA TENGAH

3 KAJIAN PENCOCOKAN KEPALA ARCA CANDI BOROBUDUR

Oleh :

Hari Setyawan, Panggah Ardiyansyah, Puji Santosa, Wahyudi, Irawan Setiyawan

ABSTRAK

Setelah dipugarnya Candi Borobudur untuk yang kedua (1973-1983), salah satu permasalahan yang belum terselesaikan di antaranya berkaitan dengan arca Dhyani Buddha Candi Borobudur menyangkut kelengkapan anatomi arca. Secara eksplisit disampaikan bahwa permasalahan tersebut muncul karena masih ada kepala arca Dhyani Buddha Candi Borobudur yang belum bisa dikembalikan pada struktur candi. Hal ini karena kepala arca tersebut ditemukan terpisah dari tubuhnya tanpa adanya petunjuk, catatan, maupun referensi yang jelas menyangkut posisi asli dari kepala arca tersebut.

Dari keseluruhan jumlah arca Dhyani Buddha yang berjumlah 504 buah, saat ini masih dijumpai 228 arca Buddha berkepala dan 247 buah arca Dhyani Buddha tanpa kepala. Sementara itu, kepala arca Buddha yang disimpan di Balai Konservasi Borobudur berjumlah 56 buah. Kondisi tersebut memerlukan adanya upaya pelestarian, salah satunya dengan cara mencocokkan kepala arca dengan tubuh arca yang berada pada pagar langkan ataupun stupa teras.

Pencocokan arca tidak bisa dilakukan dengan cara langsung, namun dengan cara melakukan penelitian secara lebih mendalam pada kepala arca dan tubuh arca. Hal ini untuk menghindari kesalahan pemasangan yang akan mengurangi kandungan nilai penting dari arca tersebut. Melalui kajian ini, diaplikasikan berbagai metode yang dapat digunakan dalam melakukan pencocokan kepala arca. Metode tersebut di antaranya adalah dengan pencocokan ikonografi, ikonometri, unsur material bahan batu arca, kandungan magnetik bahan batu arca, dan cepat rambat gelombang ultrasonik pada kepala arca.

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Salah satu karya arsitektur yang monumental pada masa Kerajaan Mataram Kuna Periode Jawa Tengah di antaranya adalah Candi Borobudur. Candi Borobudur adalah candi berlatar belakang agama *Buddha Mahayana* terbesar di Indonesia, yang dibangun oleh Samaratungga dari Dinasti Sailendra pada abad VIII M. Candi tersebut berada pada posisi 7°36'29"LS, 110°12'14"BT, tepatnya di Desa Borobudur, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Candi Borobudur merupakan sebuah candi tanpa bilik dan tanpa atap dengan bahan dasar batu andesit, berarah hadap Timur dengan denah yang simetris. (Balai Konservasi Peninggalan Borobudur, 1991).

Sejak dibangun sekitar abad VIII – IX Masehi dan sampai dengan saat ini, Candi Borobudur telah mengalami dua kali pemugaran. Pemugaran pertama dilakukan oleh Theodore Van Erp dalam

tahun 1907 – 1911. Pada pemugaran pertama ini, kegiatan difokuskan pada pembenahan stupa teras dan stupa induk pada tingkat Arupadhatu, sedangkan pada tingkat dibawahnya hanya bagian-bagian tertentu saja yang dipugar atau menata dinding-dinding lorong. Dinding lorong dipugar tanpa melakukan pembongkaran sehingga tetap terjadi kemiringan. Lantai lorong diratakan tanpa membongkar dan memberi perkuatan, yaitu hanya dengan cara menguruk dan memasang batu lantai dengan tatanan batu yang nat-natnya ditutup dengan mortar. Tujuan penutupan dengan mortar adalah untuk meminimalisir penetrasi air ke dalam struktur bangunan yang dapat menyebabkan tanah dasar candi tidak stabil.

Pemugaran kedua dilakukan oleh pemerintah Indonesia bekerjasama dengan UNESCO pada tahun 1973 – 1983. Permasalahan stabilitas struktural yang terjadi setelah pemugaran pertama (kemiringan dinding), pada pemugaran kedua ini nampaknya telah terselesaikan, namun demikian masih terjadi pelapukan yang belum sepenuhnya dapat teratasi. Pelapukan dalam dikarenakan endapan garam masih terus terjadi dan membutuhkan perhatian serius. Penanganan endapan garam membutuhkan pemahaman yang mendalam dan komprehensif mengenai proses terjadinya dan faktor-faktor yang turut mempengaruhi. Salah satu faktor yang diduga turut berperan dalam terjadinya endapan garam tersebut adalah mortar yang diaplikasikan pada pemugaran I. Mortar pemugaran I tersebut saat ini masih dijumpai pada selasar dan teras-teras stupa yang memang tidak dibongkar pada pemugaran II. Sedangkan mortar yang ada pada daerah Rupadhatu sudah dihilangkan pada pemugaran II.

Setelah dipugarnya Candi Borobudur untuk yang kedua kalinya, tidak berarti semua permasalahan yang berkaitan dengan pelestariannya dapat diselesaikan dengan baik. Salah satu permasalahan yang belum terselesaikan di antaranya berkaitan dengan arca Dhyani Buddha Candi Borobudur yang menyangkut kelengkapan anatomi arca. Secara eksplisit disampaikan bahwa permasalahan tersebut muncul karena masih ada kepala arca Dhyani Buddha Candi Borobudur yang belum bisa dikembalikan pada struktur candi. Hal ini karena kepala arca tersebut ditemukan terpisah dari tubuhnya tanpa adanya petunjuk, catatan, maupun referensi yang jelas menyangkut posisi asli dari kepala arca tersebut.

Dari keseluruhan jumlah arca Dhyani Buddha yang berjumlah 504 buah, saat ini masih dijumpai 228 arca Buddha berkepala dan 247 buah arca Dhyani Buddha tanpa kepala. Sementara itu, kepala arca Buddha yang disimpan di Balai Konservasi Borobudur berjumlah 56 buah. Kondisi tersebut memerlukan adanya upaya pelestarian, salah satunya dengan cara mencocokkan kepala arca dengan tubuh arca yang berada pada pagar langkan ataupun stupa teras.

Pencocokan arca tidak bisa dilakukan dengan cara langsung, namun dengan cara melakukan penelitian secara lebih mendalam pada kepala arca dan tubuh arca. Hal ini untuk menghindari kesalahan pemasangan yang akan mengurangi nilai penting dari arca tersebut. Melalui kajian ini, diaplikasikan berbagai metode yang dapat digunakan dalam melakukan pencocokan kepala arca.

Dengan dilaksanakannya kajian ini juga diharapkan kontribusi para ahli arkeologi maupun ahli pelestarian cagar budaya berdasarkan kompetensinya dapat menyampaikan pendapat dan metode-metode yang sesuai. Metode-metode dan pendapat dari para ahli kemudian dirumuskan dalam bentuk rekomendasi yang nantinya akan ditindaklanjuti dalam bentuk kegiatan fisik. Kegiatan fisik tersebut utamanya bertujuan untuk mencocokkan dan memasang kepala arca Buddha pada tubuh arca yang berada di atas struktur candi.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian yang disampaikan pada pendahuluan, maka permasalahan yang akan dibahas dan ditindaklanjuti dalam kajian ini adalah bagaimana cara mencocokkan kepala arca Dhyani Buddha Candi Borobudur. Kepala arca yang dimaksud adalah yang tersimpan di Balai Konservasi Borobudur yang dicocokkan dengan tubuh arca yang berada pada struktur Candi Borobudur. Dengan demikian masalah yang dirumuskan dan akan diselesaikan melalui Kajian Pencocokan Arca Buddha Candi Borobudur adalah :

1. Bagaimana ikonometri arca Dhyani Buddha Candi Borobudur ?
2. Metode apakah yang sesuai untuk mencocokkan arca Dhyani Buddha Candi Borobudur ?

C. TUJUAN

Tujuan kajian ini adalah untuk mendapatkan metode pencocokan kepala arca Dhyani Buddha yang tersimpan di Balai Konservasi Borobudur berdasarkan pada prinsip-prinsip pelestarian cagar budaya. Metode pencocokan dilakukan dengan melakukan berbagai pengukuran pada kepala arca dan tubuh arca. Salah satu pengukuran juga dilakukan menggunakan alat analisis kandungan unsur material.

D. MANFAAT

Manfaat yang diharapkan dalam kajian ini adalah rekomendasi menyangkut metode yang sesuai digunakan untuk mencocokkan kepala arca dan tubuh arca Dhyani Buddha yang saat ini berada pada struktur Candi Borobudur. Sehingga nilai penting dan kelestarian Candi Borobudur dapat ditingkatkan.

E. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup kajian dibatasi kepala arca Dhyani Buddha yang disimpan di kantor Balai Konservasi Borobudur dan arca Dhyani Buddha pada struktur Candi Borobudur.

F. METODE DAN ALUR KAJIAN

Untuk mencapai tujuan dan mendapatkan manfaat dari pelaksanaan Kajian Pencocokan Kepala Arca Candi Borobudur maka metode dan alur kajian yang diformulasikan adalah sebagai berikut :

1. Penelusuran literatur dan studi pustaka.
Dilakukan dengan maksud untuk mencari, mengetahui, dan mempelajari data-data dan gambar-gambar menyangkut arca Dhyani Buddha Candi Borobudur.
2. Observasi lapangan.
Observasi lapangan dilakukan untuk melihat kondisi arca di kantor Balai Konservasi Borobudur dan pada struktur Candi Borobudur. Hal ini dilakukan untuk menentukan posisi pengukuran dan analisis arca.
3. Pelaksanaan.
Pengukuran
Pengukuran dilakukan tidak hanya pada kepala arca maupun arca yang tanpa kepala namun juga arca Dhyani Buddha yang masih utuh. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui ikonometri arca sehingga dapat menjadi perbandingan antara tubuh dan kepala arca

Dhyani Buddha.

Pendokumentasian

Pendokumentasian dilakukan secara khusus dalam berbagai posisi pada kepala arca dan tubuh arca untuk mengetahui detail objek.

Pengambilan Data Teknis Arca

Untuk melakukan pencocokan kepala arca Dhyani Buddha, maka data teknis yang diambil pada kepala maupun tubuh arca untuk dicocokkan di antaranya adalah, ciri fisik berupa keterawatan objek, warna material, kekompakan material, kandungan unsur mineral, kandungan magnetik material, dan cepat rambat gelombang ultrasonik.

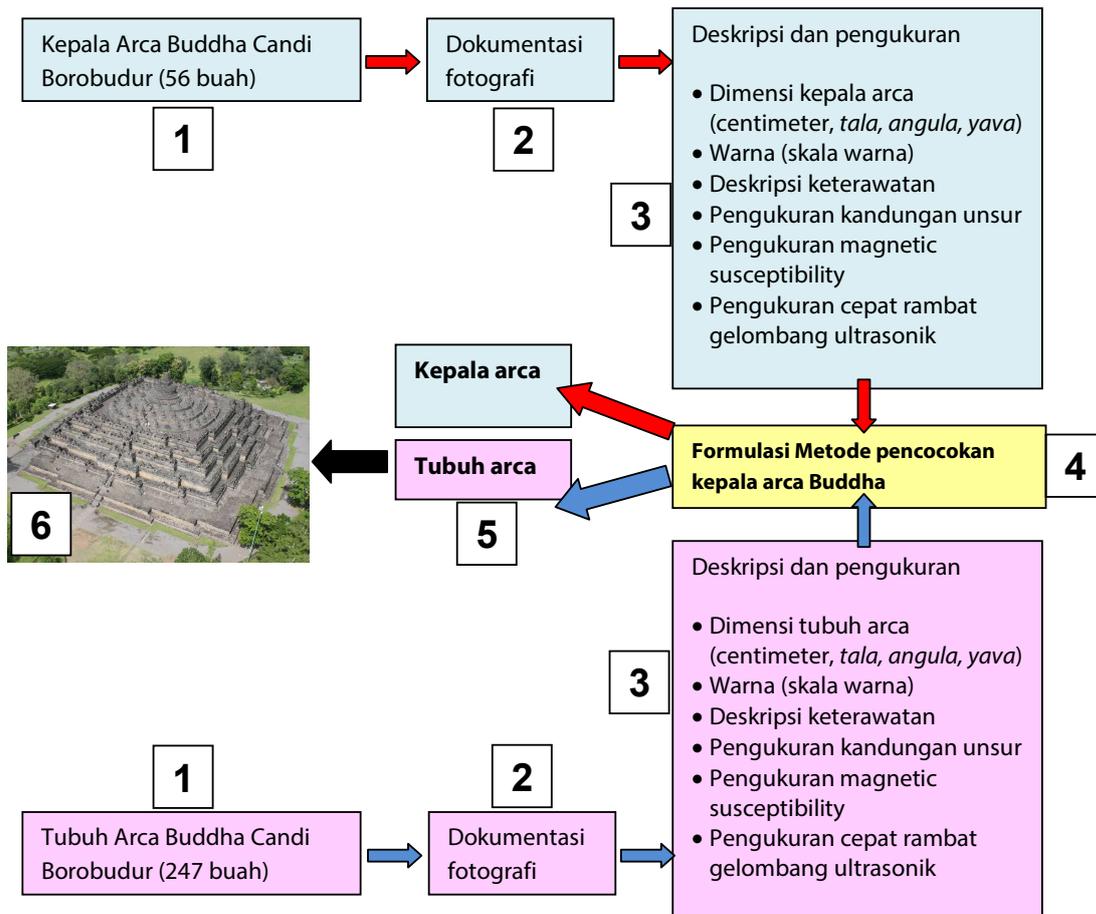
4. Analisa dan evaluasi data

Analisa dan evaluasi data dilakukan setelah pengukuran dan dokumentasi kepala arca dan tubuh arca dilakukan. Pada intinya analisa data dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya kecocokan kepala dengan tubuh arca berdasarkan sifat-sifat yang telah dikenali.

5. Rekomendasi

Rekomendasi merupakan tahap akhir dari Kajian Pencocokan Kepala Arca Buddha Candi Borobudur. Dalam tahap ini direkomendasikan metode yang sesuai untuk pencocokan kepala arca.

Adapun secara mendetail alur penelitian adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alur Kajian Pencocokan Arca Buddha Candi Borobudur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. ARCA BUDDHA

Kata arca berasal dari bahasa Inggris yaitu *icon*, yang berarti gambaran dewa atau orang suci yang dituangkan dalam lukisan, mosaik, pahatan dan sebagainya. Kata *icon* berasal dari bahasa Yunani *eikon* yang artinya sama dengan kata-kata berbahasa Sansekerta *arca*, *tanu*, *rupa*, *bera* dan *vigraha*. Sehingga kata *arca* diartikan sebagai gambaran dewa yang dipuja.

Ilmu yang mempelajari arca secara keseluruhan meliputi kegunaan, ikonografi maupun simbol-simbolnya disebut Ikonologi. Ilmu mengenai arca mempunyai cabang-cabang tersendiri, diantaranya adalah Ikonografi dan Ikonometri. Ikonografi sebagai cabang dari ikonologi mempelajari sistem tanda-tanda sebagai penentu identitas arca, sedangkan ikonometri adalah satuan ukuran bagian anatomi arca. Ikonometri merupakan hal yang amat penting bagi seniman pembuat arca karena merupakan ketentuan pokok yang dijadikan pedoman dalam pembuatan arca (Maulana, 1997).

Dalam ilmu Ikonografi, ikonometri dianggap mempunyai arti penting dalam menentukan baik buruknya kualitas sebuah arca. Hubungan ukuran dengan nilai seni dalam Ikonografi sangat erat. Aturan ukuran arca-arca ini terdapat dalam kitab agama. dan masing-masing arca mempunyai ketentuan sendiri, yang didasarkan pada kedudukan dan fungsinya (Rao, 1920)

Menurut Rao (1920) dalam pembuatan arca, seniman pembuat dituntut untuk memperhatikan enam dasar utama seperti yang digariskan dalam Silpasastra yaitu :

1. *Rupabheda* : Perbedaan macam-macam benda dilihat dari bentuknya.
2. *Pramanam* : Benda harus mempunyai ukuran yang tepat dan menunjukkan keseimbangan bentuk.
3. *Sadrcyam* : Benda harus digambarkan sesuai dengan bentuk aslinya.
4. *Varnikabhangam* : Permainan warna untuk menimbulkan hasil yang diinginkan.
5. *Bhava* : Permainan perasaan (emosi) untuk dapat menentukan kualitas seni.
6. *Lavanya* : Keindahan yang ditimbulkan dari hasil seni.

Di Indonesia banyak ditemukan arca-arca kuna baik arca Buddha maupun arca Hindu. Pembuatan arca-arca tersebut kemungkinan besar juga mengikuti aturan-aturan yang ada dalam kitab-kitab agama baik secara ikonografi maupun secara ikonometri.

B. IKONOMETRI ARCA BUDDHA

Secara lebih mendetail ikonometri adalah pedoman tentang ukuran-ukuran dasar dalam pembuatan arca. Aturan-aturan tersebut dimuat dalam beberapa naskah kitab Cilpacastra, yang antara lain : *Cilparatna*, *Amsumadbhedagama*, *Karanagama*, *Vaikhanasagama*, *Brhat Samhita* dan *Pratimanalaksanam* (Rao, 1920). Namun tidak semua naskah tersebut memuat aturan yang sama, pada umumnya selalu ada perbedaan antara naskah yang satu dengan yang lain.

Dalam naskah-naskah tersebut ada 6 (enam) cara pengukuran bagian arca, yaitu *mana* (panjang arca), *pramana* (lebar arca), *unmana* (tebal arca), *parimana* (keliling arca), *upama* (rongga arca) dan *lambamana* (ukuran vertikal). Adapun satuan ukuran yang sering digunakan dalam pembuatan arca adalah *tala* dan *angula*. Istilah *Tala* secara harfiah berarti telapak tangan, dan dengan pengertian ini dimaksudkan ukuran antara ujung jari tengah hingga akhir dari telapak tangan dekat pergelangan tangan. Ukuran ini dianggap sama dengan panjang muka mulai dari

batas rambut (dahi) sampai ke ujung dagu. Kitab Vaikhanasagama, selain menyebut *tala* juga menyebut kesatuan ukuran lain yaitu *angula*. Satuan *angula* merupakan ukuran lebar ruas atas ibu jari atau kira-kira 0,75 (tujuh puluh lima perseratus) inci atau sekitar 1,8 (satu delapan persepuluh) cm. Selain kesatuan ukuran *tala* dan *angula*, ada kesatuan lain yang lebih kecil yang disebut *yava*. Menurut Kitab Vaikhanasagama, ukuran satu *tala* sama dengan 12 *angula*, dan tiap satu *angula* sama dengan 8 *yava* (Rao, 1920).

Berbeda dengan *tala*, satuan ukuran yang lebih umum digunakan adalah *angula*. Satuan ukuran *angula* dibedakan lagi menjadi dua, yaitu *mantrangula* dan *dehalabdhangula*. Satu *angula* menurut *mantrangula* adalah panjang setengah jari tengah dari tokoh yang dipuja atau perancangannya. *Dehalabdhangula*, ialah ukuran yang diperoleh dengan cara membagi seluruh panjang menjadi 124, 120 atau 116 bagian dari arca yang dibuat (Benerjea, 1941). Hal ini sesuai dengan adanya beberapa klasifikasi arca yang meliputi : *nara* (manusia-dewa), *krura* (arca yang mengerikan), *asura* (raksasa), *bala* (anak-anak) dan *kumara* (anak muda). Dalam beberapa jenis arca ini menurut kitab-kitab agama disebutkan ada 10 proporsi arca, yang dapat dikelompokkan menjadi tiga tingkatan, yaitu *uttama*, *madhyama* dan *adhama*. Pertama adalah *uttama*-yaitu ukuran yang utama, terbaik, digunakan bagi arca dewa utama seperti Brahma, Wisnu dan Siwa. *Madhyama* yaitu ukuran "pertengahan" (cukup, sedang), digunakan untuk para sakti atau dewi. *Adhama*, ukuran yang tidak baik, yaitu ukuran lebih rendah, digunakan untuk dewa penjaga mata angin atau Lokapala (Rao, 1920)

Berdasarkan konsep agama Buddha, tingkatan-tingkatan tersebut juga dijumpai. Buddha yang digambarkan sebagai dewa tertinggi menggunakan ukuran *Uttamadasatala* seperti yang disebutkan dalam kitab *Pratimanalaksanam*. Dalam kitab tersebut arca Buddha mempunyai ukuran 120 *angula* dengan perincian sebagai berikut (Benerjea, 1941).

Sumber yang lain yaitu kitab *Kriyasamuccaya* menyebutkan bahwa ukuran arca Buddha 124 *angula*. Tetapi menurut Varahmihira tinggi keseluruhan arca Buddha sama dengan *Uttamadasatala* yaitu 125 *angula*, dan menurut *Malavya* sama dengan 108 *angula*.

Arca-arca Buddha pada umumnya digambarkan dalam sikap duduk samadi atau wajrasana. Sehubungan dengan sikap ini ada petunjuk bahwa arca dalam sikap duduk, jarak antara kedua lututnya sama dengan setengah tinggi keseluruhan dari arca yang digambarkan dalam sikap berdiri. Jadi apabila tinggi arca 124 *angula*, maka jarak antara kedua lutut dari arca yang digambarkan dalam sikap duduk adalah 62 *angula* (Rao, 1920).

Menurut naskah *Samyaksambuddhabhasita – Pratimanalaksanam*, panjang muka arca Buddha adalah 13,5 *angula* yang dibagi menjadi tiga bagian, yaitu dahi, dahi bagian bawah sampai hidung bagian bawah (panjang hidung), dan hidung bagian bawah sampai batas dagu. Ukuran dahi dan panjang hidung adalah empat *angula*, sedang dari hidung bagian bawah sampai bagian dagu mempunyai ukuran lebih panjang setengah *angula* menurut terjemahan teks Cina dan satu setengah menurut naskah Sansekerta yang asli. Akan tetapi komentar yang ditemukan dalam kitab *Kriyasamuccaya* mengenai ikonometri Buddha, ialah bahwa panjang ketiga bagian dari muka tersebut masing-masing berukuran empat setengah *angula*. Catatan yang sama menurut kitab Varahmihira mengenai ukuran panjang muka arca Buddha adalah 13 *angula* (Benerjea, 1941)

C. ARCA DHYANI BUDDHA CANDI BOROBUDUR

Candi Borobudur yang merupakan struktur percandian bercorak keagamaan Buddha mempunyai pantheon yang terdiri dari arca Dhyani Buddha yang posisinya berada pada relung

pagar langkan dan strupa teras. Arca Dhyani Buddha Candi Borobudur terdiri dari 6 jenis yaitu :

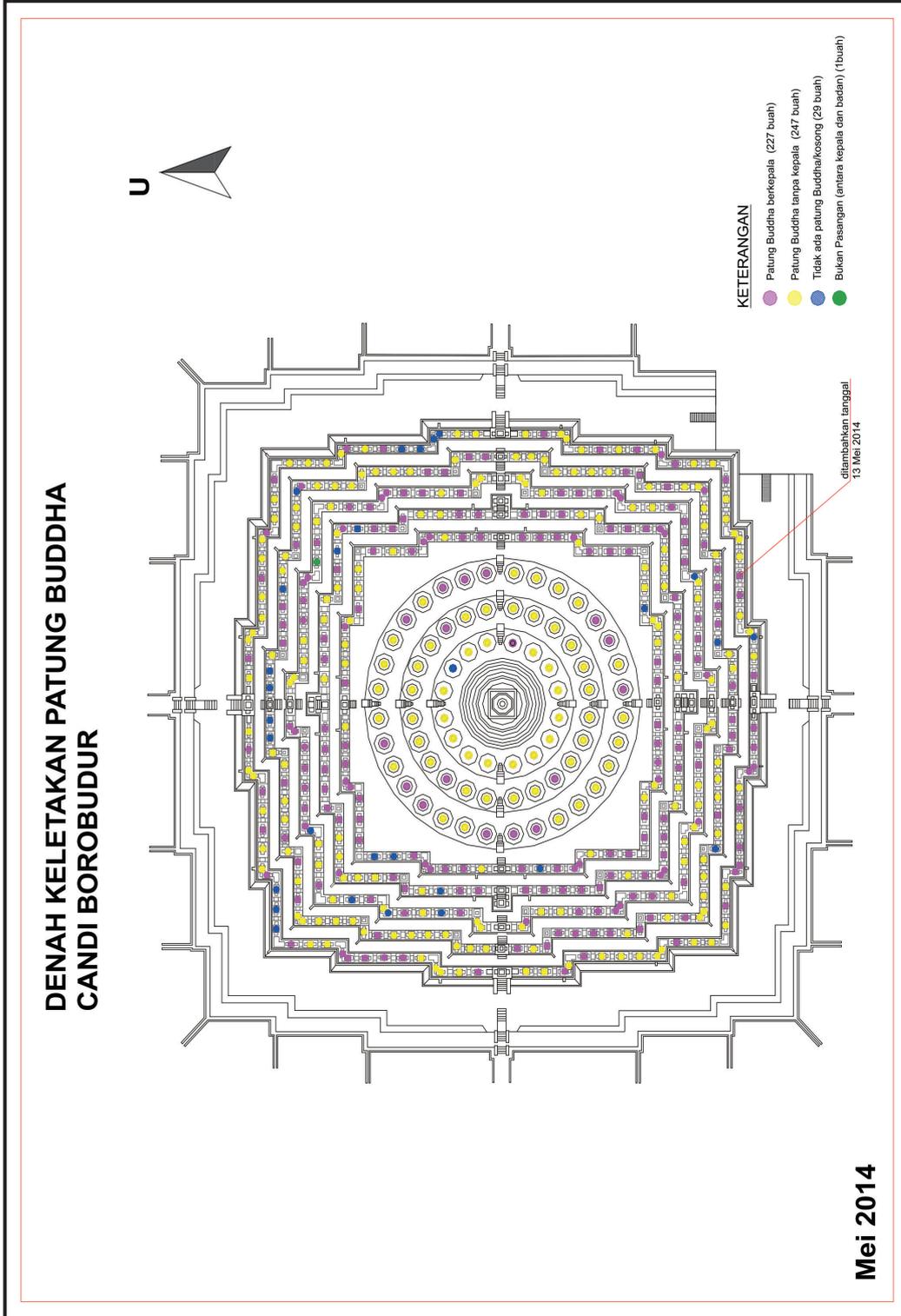
1. *Vajrasatva* menempati stupa berlubang di teras melingkar (*arupadhatu*). Arca ini mempunyai sikap tangan *dharmacakramudra* yang berarti memutar roda dharma (hukum atau ajaran kebenaran).
2. *Akshobya* (Timur) dengan sikap *Bhumi Sparsa-Mudra*, yaitu dengan tangan kanan menyentuh lutut kanan menunjuk kebawah. Sikap ini menggambarkan ketika Buddha sebelum mencapai Bodhi, menjadikan bumi sebagai saksi. Tangan kiri dalam pangkuan, se-*Dhyani Buddha* ke 6.
3. *Ratna Sambhava* (Selatan), dengan *Wara-Mudra* atau *Warada Mudra*, yaitu sikap memberi berkah atau anugerah, tangan kiri ada diatas pangkuan kaki, dengan tangan kanan diatas lutut dengan telapak menengadah.
4. *Amitabha* (Barat) dengan *Dhyana-Mudra*, yaitu sikap bersamadhi atau memusatkan pikiran. Kedua tanganya di atas pangkuan dengan telapaknya keatas, sedemikian sehingga ujung kedua ibu jari bersentuhan.
5. *Amoghasiddha* (Utara) dengan *Abhaya-mudra* yaitu sikap tidak takut bahaya. Tangan kiri diletakan diatas pangkuan, lengan bawah kanan diacungkan kedepan, kelima jari mengarah keatas.
6. *Wairocana* (pusat) di tengah-tengah dengan *Vitarka-Mudra*, sikap tangan seperti memberikan pengajaran. Yaitu jari telunjuk dan ibu jari tangan kanan disatukan dengan jari yang lain mengarah ke atas.

Berdasarkan observasi yang dilakukan pada tahun 2014, maka dapat disampaikan bahwa total jumlah arca pada struktur Candi Borobudur berjumlah 475 buah dengan rincian 228 arca berkepala dan 247 arca tanpa kepala. Berikut ini adalah rincian jumlah arca di struktur Candi Borobudur.

Tabel 3.1. Rekap Jumlah Arca Dhyani Buddha Tahun 2014.

	Arupadhatu	Pagar V	Pagar IV	Pagar III	Pagar II	Pagar I	Total
Arca Buddha berkepala	17	42	46	47	37	37	227
Arca Buddha tanpa kepala	54	18	23	35	59	59	247
Kosong tanpa ada arca	1	4	3	5	8	8	29
Arca Bukan pasangan	0	0	0	1	0	0	1
TOTAL ARCA BUDDHA							504

Secara lebih mendetail denah arca Buddha di Candi Borobudur dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini. Selain itu, hal yang menjadi fokus kajian ini adalah **56** buah kepala arca Dhyani Buddha masih tersimpan di kantor Balai Konservasi Borobudur merupakan bagian dari arca Candi Borobudur yang akan dicocokkan.



Gambar 3.2. Denah lokasi arca Dhyani Buddha pada struktur Candi Borobudur (Dok: Tim Kajian, 2014).

D. MATERIAL BATU PADA STRUKTUR CANDI BOROBUDUR

Batu andesit merupakan material utama yang digunakan untuk menyusun struktur candi dan membuat berbagai ornamen candi termasuk didalamnya adalah arca Dhyani Buddha Candi Borobudur. Walaupun secara sekilas batu penyusun struktur Candi Borobudur sangat variatif dari segi warnanya. Namun demikian batu tersebut mempunyai material penyusun yang mirip dengan komposisi yang berbeda-beda.

Batu andesit termasuk jenis batuan beku kategori menengah sebagai hasil bentukan lelehan magma diorit. Nama andesit sendiri diambil berdasarkan tempat ditemukan, yaitu di daerah Pegunungan Andes, Amerika Selatan. Peranan bahan galian ini penting sekali di sektor konstruksi, terutama dalam pembangunan infrastruktur, seperti jalan raya, gedung, jembatan, saluran air/irigasi dan lainnya. Dalam pemanfaatannya dapat berbentuk batu belah, split dan abu batu. Sebagai negara yang sedang membangun, Indonesia membutuhkan bahan galian ini yang terus setiap tahun.

Jenis magma diorit merupakan salah satu magma terpenting dalam golongan kapur alkali sebagai sumber terbentuknya andesit. Lelehan magma tersebut merupakan kumpulan mineral silikat yang kemudian menghablur akibat pendinginan magma pada temperatur antara 1500 – 2500°C membentuk andesit berkomposisi mineral feldspar plagioklas jenis kalium felspar natrium plagioklas, kuarsa, felspatoid serta mineral tambahan berupa hornblenda, biotit dan piroksen.

Mineral yang ada dalam andesit ini berupa kalium felspar dengan jumlah kurang 10% dari kandungan felspar total, natrium plagioklas, kuarsa kurang dari 10%, felspatoid kurang dari 10%, hornblenda, biotit dan piroksen. Penamaan andesit berdasarkan kepada kandungan mineral tambahannya yaitu andesit hornblenda, andesit biotit dan andesit piroksen. Komposisi kimia dalam batuan andesit terdiri dari unsur-unsur, silikat, alumunium, besi, kalsium, magnesium, natrium, kalium, titanium, mangan, fosfor dan air.

III. METODE KAJIAN

Pada pelaksanaan Kajian Pencocokan Kepala Arca Buddha Candi Borobudur, metode yang digunakan adalah dekriptif analitis yang menguraikan hasil pengukuran berbagai macam data dengan penjabaran sebagai berikut. Pada tahap penelusuran literatur dan studi pustaka dapat dilakukan dengan mencari pustaka yang sesuai khususnya menyangkut ikonografi dan ikonometri arca Buddha khususnya Candi Borobudur. Selain itu, studi pustaka juga dilakukan pada kajian-kajian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai ikonometri arca Buddha. Arca Buddha yang dimaksud dala hal ini adalah arca yang berasal dari Kerajaan Mataram Kuna Periode Jawa Tengah. Sehingga data ikonometri bisa digunakan sebagai data pembanding dalam melakukan pencocokan kepala arca Buddha di Candi Borobudur. Beberapa acuan pustaka yang digunakan dalam kajian ini dapat berupa prinsip-prinsip ikonografi arca Buddha secara umum dari berbagai kitab di India yang menyampaikan informasi mengenai ikonografi dan ikonometri arca Buddha.

Data ikonografi dan ikonometri dari berbagai sumber pustaka tersebut kemudian dikompilasi dan dijadikan acuan dalam melakukan perbandingan. Beberapa komponen ikonografi arca akan diperbandingkan dengan hasil pengukuran ikonometri arca Buddha Candi Borobudur. Sehingga setelah melakukan pengukuran di lapangan, hasil pengukuran tersebut akan diperbandingkan dengan acuan dari ikonometri arca Buddha berdasarkan kitab dari India.

Setelah acuan baku ikonometri arca Buddha didapatkan maka tahap selanjutnya adalah melakukan observasi di lapangan. Observasi dilakukan secara langsung pada kepala arca Buddha yang disimpan di kantor Balai Konservasi Borobudur, maupun tubuh arca Buddha yang masih berada pada struktur Candi Borobudur. Pada pelaksanaan observasi juga dilakukan pengukuran dan dokumentasi. Pengukuran dilakukan secara langsung pada objek untuk mengetahui ikonometri kepala arca maupun tubuh arca. Pada pengukuran yang dilakukan satuan yang digunakan adalah cm (centimeter). Satuan centimeter tersebut kemudian dikonversi menjadi satuan *tala*, *angula*, dan *yava*. *Tala* adalah satuan pengukuran yang didapatkan dari penjumlahan pada pengukuran panjang garis dahi sampai hidung dan panjang garis hidung sampai batas dagu. *Angula* adalah satuan pengukuran yang pada konsep dasarnya adalah dengan membagi satuan *tala* menjadi 12. Sedangkan untuk satuan *yava* didapatkan dengan membagi *angula* menjadi 8. Hal ini penting untuk mendapatkan perbandingan dimensi arca berdasarkan konsep dasar ikonometrinya.

Selain pengukuran ikonometri kepala arca Buddha Candi Borobudur, pengukuran kandungan unsur dan kandungan magnetik material kepala arca dilakukan dengan alat yang berbeda. Pengukuran kandungan unsur dilakukan dengan alat berupa X-Ray Fluoresence (XRF). Alat tersebut merupakan alat yang memancarkan sinar x pada material yang ditembak. Setelah sinar x tersebut terpantul pada material dan kembali kepada alat tersebut maka kandungan unsur dari material tersebut akan dapat terbaca pada monitor alat. Pengukuran menggunakan alat pengukuran cepat rambat gelombang ultra pada material dilakukan dengan alat *ultrasonic pulse velocity tester*. Alat *ultrasonic pulse velocity tester* dapat mengukur cepat rambat gelombang ultrasonik di dalam material. Alat ini sebenarnya berfungsi untuk mengetahui adanya celah ataupun retakan pada material. Namun dengan tambahan aplikasi lain, alat ini mampu membedakan kualitas material melalui cepat rambat gelombang ultrasonik. Pengukuran kandungan magnetik unsur material kepala arca dilakukan menggunakan alat berupa *magnetic susceptibility* meter. Alat tersebut bentuknya mirip dengan senter berbentuk silinder. Kandungan magnetik unsur yang ditembak menggunakan alat *magnetic susceptibility* meter berupa satuan angka.

Pada tahap analisa dan evaluasi, metode pencocokan yang digunakan yakni pengukuran ikonometri, pengukuran XRF, pengukuran cepat rambat gelombang ultra dan pengukuran menggunakan *magnetic susceptibility* meter kemudian disimpulkan hasilnya. Sehingga diketahui apakah metode tersebut dapat digunakan untuk mencocokkan kepala arca ataupun tidak.

IV. PELAKSANAAN KAJIAN

A. PENDOKUMENTASIAN

Pendokumentasi menggunakan kamera SLR bertujuan untuk mengetahui bentuk dan dimensi kepala termasuk didalamnya elemen ikonografi pada bagian wajah. Hal ini penting untuk dilakukan karena pola penggambaran wajah dari kepala arca tersebut. Selain itu pemotretan pada bagian penggalan leher juga dimaksudkan untuk mengetahui bentuk penggalan ataupun pola patahan pada bagian leher. Pemotretan kepala arca terdiri dari dua beberapa sisi yaitu sisi depan, sisi belakang, samping kanan, samping kiri, dan bagian patahan/ penggalan pada leher. Adapun untuk pemotretan tubuh arca pada struktur Candi Borobudur dilakukan pada bagian depan dan bagian patahan/ penggalan leher.

Secara umum hasil pemotretan kepala arca adalah sebagai berikut.



Foto 3.1 Hasil pemotretan kepala arca Dhyani Buddha (Dok: Tim Kajian, 2015).



Foto 3.2. Hasil pemotretan tubuh arca Dhyani Buddha pada struktur Candi Borobudur (Dok: Tim Kajian, 2015).

B. PENGUKURAN IKONOMETRI KEPALA ARCA DAN TUBUH ARCA

Pengukuran ikonometri bertujuan untuk mengetahui dimensi elemen ikonografi pada kepala arca dan tubuh arca. Dalam melakukan pengukuran ikonometri digunakan konversi ukuran yang disesuaikan dengan kaidah ikonometri arca Hindhu/ Buddha. Konversi ukuran yang digunakan dalam kajian ini adalah *tala*, *angula*, dan *yava*. *Tala* adalah ukuran panjang wajah dari tumbuhnya rambut hingga janggut. Pengukuran *tala* biasanya menggunakan acuan ujung jari tengah hingga ujung ibu jari yang direntangkan. Adapun *angula* merupakan satuan ukuran yang lebih kecil dari *tala*, 1 *tala* adalah 12 *angula*. Sedangkan *yava*, adalah satuan yang dimensinya disejajarkan dengan 1 butir gandum. Apabila dikonversi 1 *angula* terdiri dari 8 *yava*.

Secara konseptual seperti telah di bahas pada tinjauan pustaka, arca Buddha termasuk golongan *Uttam Dasha Tala*. Adapun yang termasuk dalam *Uttam Dasha Tala* di antaranya adalah Brahma, Wisnu Siwa, Ardhanariswara, Mahawira, dan Wasudewa.

Pada langkah awal, pengukuran ikonometri dilakukan dengan mengukur elemen ikonografi pada kepala arca. Satuan yang digunakan adalah centimeter (cm). Setelah kesemua dimensi diketahui, maka langkah selanjutnya adalah melakukan konversi dengan satuan *tala*, *angula*, dan *yava*.

Adapun secara mendetail elemen ikonometri yang di ukur pada kepala arca Budha Candi Borobudur di antaranya adalah rambut, mata, hidung, bibir, telinga, dagu, dan dahi. Kesemua elemen tersebut diharapkan memberikan petunjuk yang dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan pencocokan antara kepala arca dengan tubuh arca yang berada pada struktur Candi Borobudur. Ikonometri yang telah di ukur dari kepala dan tubuh arca diharapkan memberikan perbandingan yang jelas menyangkut dimensi perbandingan ukuran arca sesuai dengan kitab *pratimalaksanam* ataupun *kriyamuccaya*.

Pengukuran ikonometri kepala arca Buddha dilakukan pada 56 kepala arca yang disimpan di kantor Balai Konservasi Borobudur. Secara mendetail pengukuran ikonometri pada kepala arca adalah seperti yang disampaikan di bawah ini :

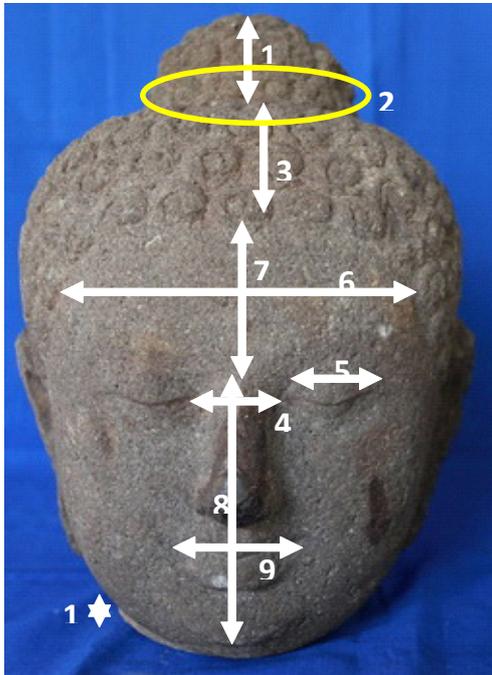


Foto 3.3 Pengukuran ikonometri pada kepala arca (Dok: Tim kajian, 2015).

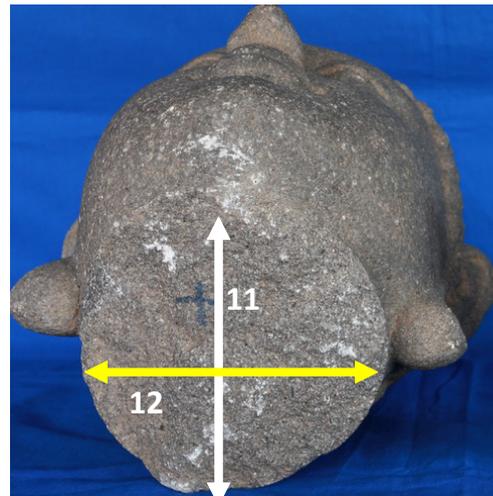


Foto 3.4 Pengukuran pada leher dan bekas patahan pada leher (Dok: Tim kajian, 2015).

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Tinggi <i>usnisa</i> | 7. Panjang garis dahi – hidung |
| 2. Keliling <i>usnisa</i> | 8. Panjang garis hidung – dagu |
| 3. Rambut (dari <i>usnisa</i> – dahi) | 9. Panjang bibir |
| 4. Jarak kelopak mata | 10. Panjang leher |
| 5. Lebar kelopak mata | 11. Diameter leher vertikal |
| 6. Panjang dahi | 12. Diameter leher horizontal |

Pada pengukuran tinggi *usnisa* diukur dihitung dari pangkal gelung hingga puncak gelung pada bagian kepala. Pengukuran tinggi *usnisa* dilakukan dengan menggunakan penggaris segitiga dengan metode pengukuran yang tegak lurus. Keliling *usnisa* yang diukur adalah pada pangkal *usnisa* yang berbatasan dengan kepala secara langsung. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan meteran jahit, sehingga diharapkan pengukuran tersebut akan lebih presisi. Rambut (*kesasthan*) adalah elemen ikonometri yang diukur dari dahi hingga pangkal *usnisa*. Seperti halnya tinggi *usnisa*, jarak kelopak mata dan lebar kelopak mata juga diukur menggunakan penggaris segitiga dengan metode pengukuran tegak lurus. Pengukuran panjang dahi dilakukan pada garis tengah dahi yang mengukur lebar dahi.

Panjang garis dahi sampai hidung dan panjang garis hidung sampai dagu merupakan elemen ikonometri yang memegang peranan terpenting. Hal ini karena dimensi tersebut akan menentukan satuan ukuran *tala*. Satuan ukuran *tala* tersebut akan menentukan perbandingan ukuran ikonometri semua elemen pada kepala arca. Satuan *tala* yang dihasilkan adalah dari

penjumlahan panjang garis dahi sampai hidung dan panjang garis hidung sampai dagu.

Panjang bibir yang di ukur adalah pada lipatan garis dari bibir atas dan bibir bawah. Sedangkan pada pengukuran panjang leher dilakukan apabila pada kepala arca masih dijumpai sisa-sisa penggalan kepala pada lehernya. Berkaitan dengan pola patahan/ penggalan pada leher, diameter horizontal dan diameter vertikal pada leher di ukur untuk mengetahui dimensi patahan kepala arca yang kemungkinan dapat disesuaikan dengan tubuh arca pada struktur candi.

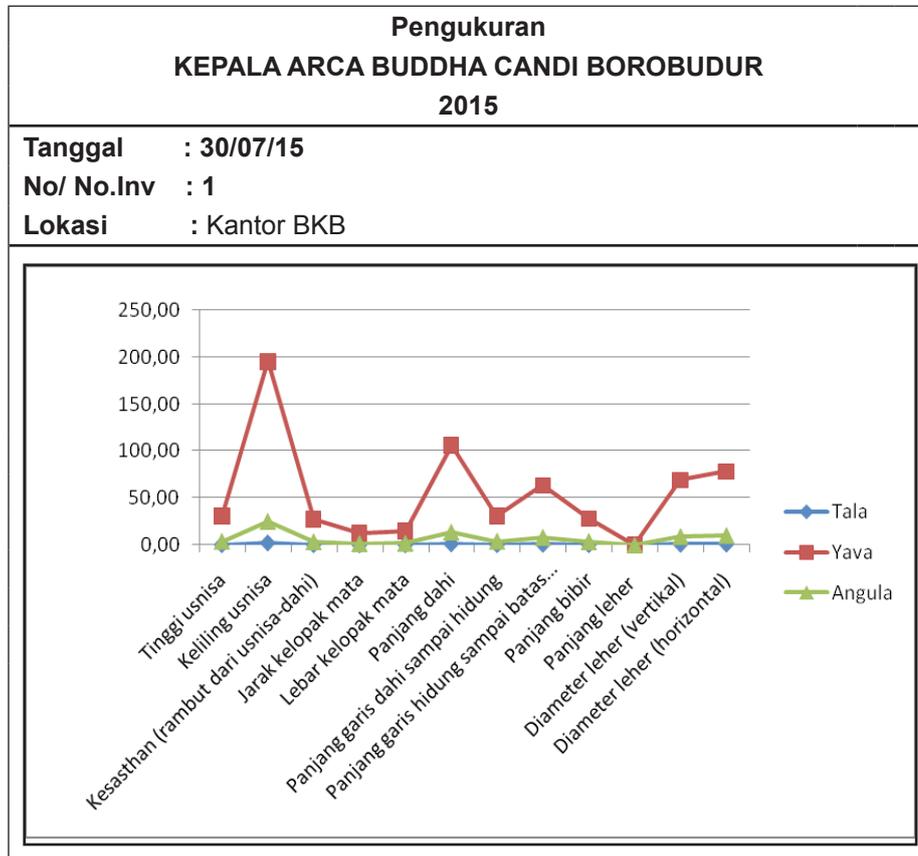
Bersamaan dengan pengukuran ikonometri kepala arca Buddha, deskripsi warna material juga diukur menggunakan skala warna tanah. Pengukuran skala warna dilakukan dengan membandingkan secara langsung skala warna tanah (skala Munsell) dengan permukaan material kepala arca.

Hasil pengukuran ikonometri kepala arca kemudian diolah dan didigitasi dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 3.2 Pengukuran Kepala Arca Buddha Candi Borobudur.

Pengukuran KEPALA ARCA BUDDHA CANDI BOROBUDUR 2015						
Tanggal : 30/07/15						
No/ No.Inv : 1						
Lokasi : Kantor BKB						
No	Elemen Kepala Arca	Ukuran	Satuan	Tala	Yava	Angula
1	Tinggi <i>usnisa</i>	5,90	cm	0,33	31,05	3,93
2	Keliling <i>usnisa</i>	37,20	cm	2,07	195,79	24,80
3	<i>Kesasthan</i> (rambut dari <i>usnisa</i> -dahi)	5,20	cm	0,29	27,37	3,47
4	Jarak kelopak mata	2,40	cm	0,13	12,63	1,60
5	Lebar kelopak mata	2,90	cm	0,16	15,26	1,93
6	Panjang dahi	20,20	cm	1,12	106,32	13,47
7	Panjang garis dahi sampai hidung	5,90	cm	0,33	31,05	3,93
8	Panjang garis hidung sampai batas dagu	12,10	cm	0,67	63,68	8,07
9	Panjang bibir	5,40	cm	0,30	28,42	3,60
10	Panjang leher		cm	0,00	0,00	0,00
11	Diameter leher (vertikal)	13,20	cm	0,73	69,47	8,80
12	Diameter leher (horizontal)	14,90	cm	0,83	78,42	9,93
Ket :						
	1 tala	18,00	cm			
	1 angula	1,50	cm			
	1 yava	0,19	cm			
<p>Deskripsi Kepala Arca</p> <ul style="list-style-type: none"> - Warna = HUE 7N (putih keabu-abuan) - Deskripsi fisik = Batu porous, mata kiri gempil, hidung sebelah kanan gempil, dahi sebelah kanan gempil - XRF = 07/30/15 #5, #6, #7 						

Selain disajikan dalam bentuk tabel, hasil pengukuran ikonometri juga disajikan dalam bentuk grafik sehingga dapat lebih mudah untuk dipahami perbandingan elemen ikonometrinya. Adapun sajian data dalam bentuk grafik menyangkut ikonometri kepala arca Buddha Candi Borobudur adalah sebagai berikut :



Grafik 3.1 Elemen ikonometri pada kepala arca Buddha Candi Borobudur.

Pengukuran ikonometri tubuh arca Buddha Candi Borobudur dilakukan langsung pada struktur candi. Selain pada struktur candi tubuh arca Buddha yang disimpan pada studio sejarah restorasi pada kantor Balai Konservasi Borobudur. Secara mendetail pengukuran ikonometri tubuh arca Candi Borobudur adalah sebagai berikut :

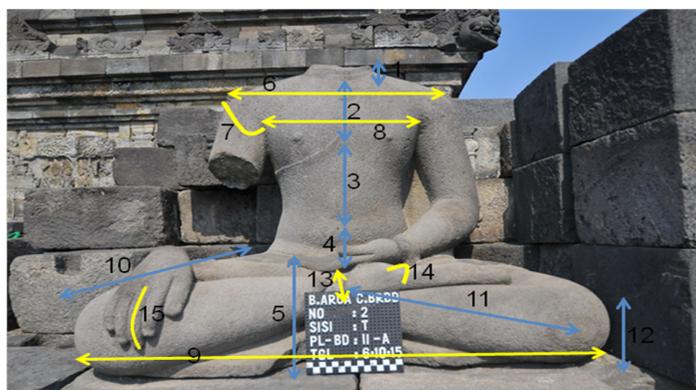


Foto 3.5 Pengukuran ikonometri pada tubuh arca (Dok: Tim kajian, 2015).

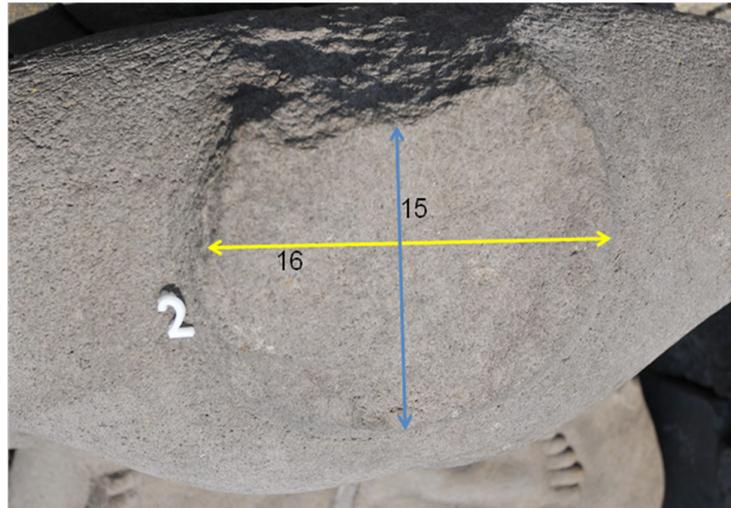


Foto 3.6 Pengukuran ikonometri pada bekas patahan leher di tubuh arca
(Dok: Tim kajian, 2015).

Keterangan :

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1. Panjang leher | 10. Panjang paha |
| 2. Panjang leher – dada | 11. Panjang tulang kering |
| 3. Panjang dada – pusar | 12. Panjang lutut |
| 4. Panjang pusar – kemaluan | 13. Pergelangan kaki |
| 5. Panjang kemaluan – asana | 14. Tumit |
| 6. Lebar garis bahu | 15. Panjang jari tengah |
| 7. Lebar garis ketiak | 16. Diameter vertikal leher |
| 8. Lebar dada | 17. Diameter horizontal leher |
| 9. Lebar antara dua lutut | |

Pengukuran panjang leher dilakukan pada bagian penggalan/ patahan leher yang masih tersisa. Sedangkan untuk pengukuran panjang leher – dada dilakukan dengan mengukur panjang dari pangkal leher yang berbatasan dengan dada terus ke bawah hingga pada bagian dada yang berada di tengah – tengah tonjolan puting. Panjang dada hingga pusar diukur dari bagian dada yang posisinya berada di tengah-tengah tonjolan puting terus ke bawah hingga mencapai pusar. Ukuran jarak antara pusar dengan kemaluan diukur dari pusar hingga bagian kemaluan yang diperkirakan posisinya pada persilangan dua tumit. Panjang kemaluan hingga asana di ukur dari posisi persilangan antara dua tumit terus kebawah hingga mencapai asana yang merupakan bagian dari relung. Ukuran lebar garis bahu di ukur dengan menggunakan alat bantu berupa meteran jahit. Meteran tersebut direntangkan pada sepanjang garis bahu disesuaikan dengan konturnya. Sepertihalnya dengan pengukuran panjang garis bahu, panjang garis ketiak juga di ukur menggunakan meteran jahit. Pengukuran panjang garis ketiak dilakukan dengan menyelipkan meteran sepanjang ketiak arca dari bagian depan hingga bagian belakang. Lebar dada di ukur dari bagian ketiak kanan hingga ketiak kiri dengan pengukuran yang disesuaikan dengan kontur dada arca. Pengukuran lebar antara dua lutut dilakukan dengan merentangkan meteran lurus pada posisi lutut kanan hingga lutut kiri. Di antara pengukuran ikonometri seperti tersebut di atas, panjang paha dan panjang tulang kering mempunyai tingkat kesulitan yang lebih rendah. Hal ini karena dua paha dan tulang kering pada

arca secara langsung dapat diidentifikasi tanpa harus memperkirakan posisinya. Panjang lutut yang dimaksud adalah lebar lutut pada posisi bersila. Adapun panjang pergelangan kaki di ukur pada garis tengah pergelangan kaki. Sepertihalnya pada pengukuran patahan leher pada kepala arca, pada tubuh arca juga diukur diameter vertikal dan diameter horizontal pada bagian patahan/penggalan.

C. PENGUKURAN KANDUNGAN UNSUR MATERIAL BATU

Pelaksanaan pengukuran kandungan unsur pada material dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa X-Ray Fluorescence (XRF). Aplikasi XRF adalah dengan cara menembakkan langsung sinar x kepada objek kepala arca. Akan tetapi, sebelum dilakukan penembakan prosedur pertama yang harus dipenuhi adalah dengan melakukan kalibrasi pada unit XRF.

Aplikasi XRF yang dilakukan pada 1 objek kepala arca Buddha adalah sebanyak 3 kali. Dari hasil pengukuran tersebut, kemudian dilakukan perbandingan dari dua unsur, untuk mendapatkan berbagai kelompok data yang dapat dikelompokkan. Hal ini karena unsur yang dapat diidentifikasi oleh XRF sangat banyak.



Foto 3.7 Pengukuran kandungan unsur menggunakan XRF (Dok: Tim kajian, 2015)

Seperti yang telah disampaikan di awal bahwa penyajian data pada pengukuran adalah dalam bentuk grafik perbandingan antara dua unsur. Dua unsur yang diperbandingkan tersebut adalah dua unsur teratas dengan nilai yang dominan atau lebih besar dari unsur lainnya. Hasil pengukuran menggunakan XRF pada kepala arca secara kasar adalah seperti disampaikan di berikut ini :

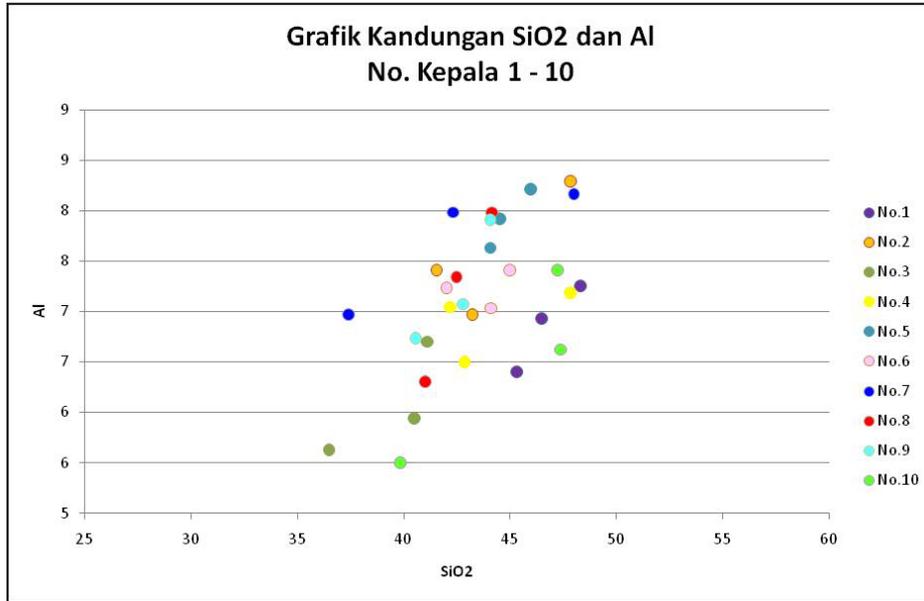
Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Kandungan Unsur Material Kepala Arca Menggunakan XRF.

No Kepala	Date	Reg	Al	Si	Si Compound	Si Compound Level	Fe	Zr	Ag	Cd	Sn	Sb	Pb	S	Cr	Co	Ni	Cu
1	30/07/2015	#5	7,25	22,59	SiO2	48,32	4,27	0,0221	0,0183	0,0224	0,0098	0,0137	0,0036	ND	ND	ND	ND	0,0067
	30/07/2015	#6	6,93	21,73	SiO2	46,49	4,7944	0,0221	0,0166	0,0241	0,01	0,0128	0,0042	0,1306	ND	ND	ND	0,0062
	30/07/2015	#7	6,4	21,18	SiO2	45,3	4,4821	0,0225	0,0172	0,0251	0,0104	0,0132	0,0065	0,0893	ND	0,0194	ND	ND
2	03/08/2015	#2	8,29	22,37	SiO2	47,85	4,9826	0,0202	0,0183	0,0261	0,0093	0,0131	0,0035	0,2556	ND	ND	ND	ND
	03/08/2015	#3	6,97	20,21	SiO2	43,23	5,26	0,021	0,02	0,0275	0,0097	0,013	0,0029	0,3152	ND	ND	ND	ND
	03/08/2015	#4	7,41	19,42	SiO2	41,55	4,98	0,0213	0,0182	0,0281	0,0113	0,0114	ND	0,5054	ND	ND	ND	ND
3	03/08/2015	#5	5,94	18,92	SiO2	40,48	5,04	0,0215	0,0182	0,0272	0,0103	0,0121	0,0047	0,0644	ND	ND	ND	ND
	03/08/2015	#6	6,7	19,21	SiO2	41,1	4,7	0,0236	0,0185	0,0284	0,0112	0,0136	0,0019	ND	ND	ND	ND	ND
	03/08/2015	#7	5,63	17,06	SiO2	36,5	5,12	0,0244	0,0197	0,0268	0,0101	0,0139	0,004	0,0801	ND	0,02	ND	ND
4	04/08/2015	#2	7,18	22,37	SiO2	47,84	4,0844	0,0209	0,0177	0,0219	0,0093	0,0131	0,0041	0,0933	ND	ND	ND	ND
	04/08/2015	#3	6,5	20,04	SiO2	42,86	4,0126	0,0197	0,0194	0,0236	0,009	0,0126	0,0023	0,4991	ND	ND	ND	ND
	04/08/2015	#4	7,04	19,72	SiO2	42,19	4,31	0,02	0,0193	0,0267	0,0099	0,0134	0,003	0,0755	ND	ND	ND	ND

Ket :

ND = Not determine (tidak teridentifikasi)

Selain itu, hasil penyajian data pengukuran menggunakan XRF juga disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara dua unsur yang dominan. Dua unsur dominan yang diperbandingkan di antaranya adalah SiO₂ dan Al seperti di ditampilkan pada grafik di bawah ini :

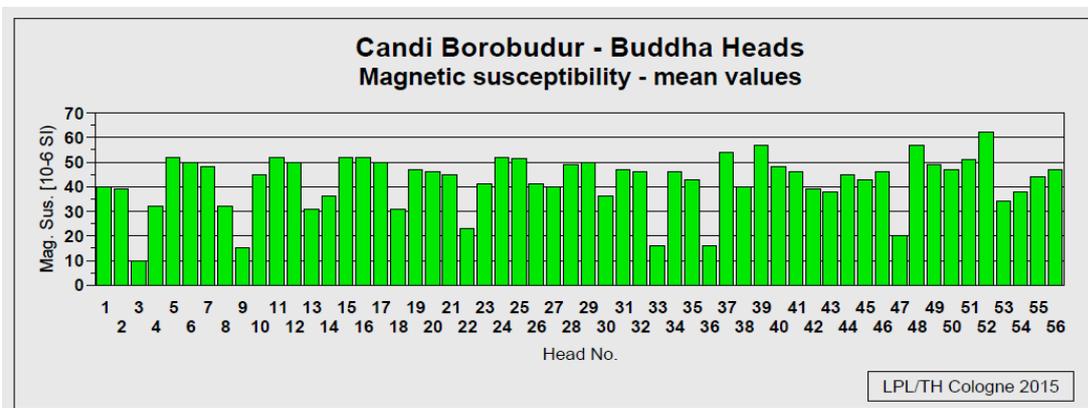


Grafik 3.2 Perbandingan kandungan SiO₂ dan Al pada material kepala arca.

D. PENGUKURAN KANDUNGAN MAGNETIK MATERIAL BATU

Pengukuran kandungan magnetik pada material kepala arca dan tubuh arca dilakukan dengan menggunakan alat *magnetic susceptibility meter*. Alat tersebut digunakan dengan cara menempelkan bagian muka dari alat *magnetic susceptibility meter* pada permukaan datar kepala arca maupun tubuh arca. Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan satuan angka bervariasi yang kisaran minimumnya 5 dan maksimumnya 70. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan magnetik pada material batu andesit sangat variatif, sehingga kemungkinan pencocokan kepala dan tubuh arca lebih besar.

Metode pengukuran kandungan magnetik pada kepala maupun tubuh arca dilakukan sebanyak 6 kali pada tiap objek. Setelah didapatkan hasil pengukuran, maka langkah selanjutnya adalah membuat rata-rata dari ke-6 hasil pengukuran tersebut.



Grafik 3.3 Hasil pengukuran kandungan magnetik pada kepala arca.



Foto 3.8 Pengukuran menggunakan magnetic susceptibility meter pada tubuh arca di dalam stupa teras
(Dok: Tim kajian, 2015).

Pengukuran kandungan magnetik pada tubuh arca dilakukan pada arca Buddha yang tidak berkepala. Sebelum melakukan pengukuran, pemetaan posisi tubuh arca pada struktur Candi Borobudur harus jelas dan mendetail. Hal ini penting untuk menentukan posisi arca secara baku, sehingga pada saat pencocokan dapat dengan mudah mengidentifikasi posisi tubuh arca pada struktur candi. Berikut ini adalah posisi tubuh arca Buddha dengan penomoran yang dimulai dengan nomor 1 pada tiap tingkatannya.

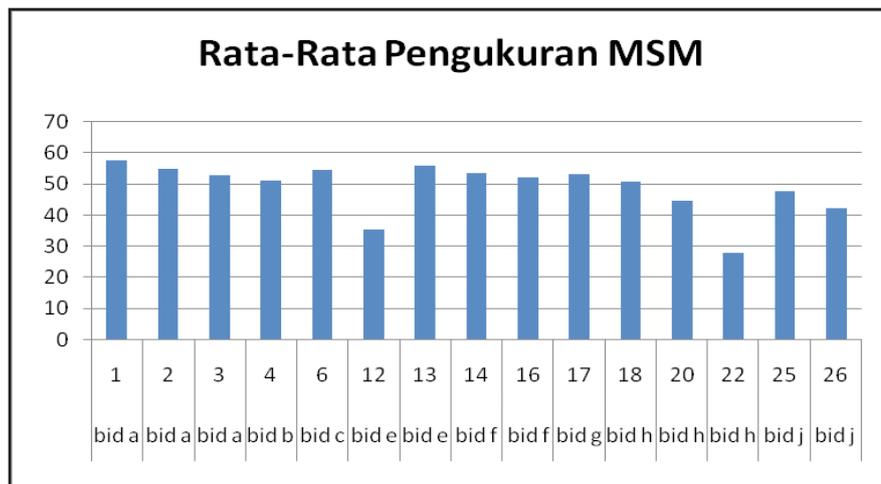
Hasil dari pengukuran kandungan magnetik material andesit pada tubuh arca terdiri dari satuan angka yang disusun pada tabel berdasarkan keletakan tubuh arca pada struktur Candi Borobudur. Berikut ini adalah salah satu contoh tabel pengukuran kandungan magnetik meterial tubuh arca.

Tabel 3.4 Pengukuran Kandungan Magnetik Material Tubuh Arca.

PENGUKURAN DENGAN MAGNETIC SUSCEPTIBILITY METER (MSM)

2 - 6 NOV 2015

A PAGAR LANGKAN I								
Sisi			: Timur					
Jml	Badan Arca	No	Pengukuran MSM					
	Bidang		a	b	c	d	e	f
1	bid a	1	58,4	57,3	58,8	55	58,3	57,9
2	bid a	2	57,7	53,4	51,6	55,8	56,5	55,3
3	bid a	3	52,2	51,3	55,5	53,3	52	52,1
4	bid b	4	50,1	53,3	51,5	50,6	49,3	51,7
5	bid c	6	55,1	56,9	59,9	51,8	51,63	52,5
6	bid e	12	34,3	35	36,7	36,5	35	34,5
7	bid e	13	55,5	56,3	56	57,7	51,8	57,9
8	bid f	14	50	51,1	54,9	55,2	57,5	53,1
9	bid f	16	52,2	51,8	50,4	52,5	52,7	52,9
10	bid g	17	54,2	53	53,1	54,3	51,4	53,2
11	bid h	18	51,8	51,1	48,9	51,7	49,6	51,8
12	bid h	20	42,8	42,6	42,9	44,4	52,4	41,8
13	bid h	22	27,8	27,9	29,6	25,4	28,9	27,9
14	bid j	25	48,4	47,7	49,1	46,1	48,1	46,7
15	bid j	26	41,4	43,8	44,9	41,9	41,1	39,2

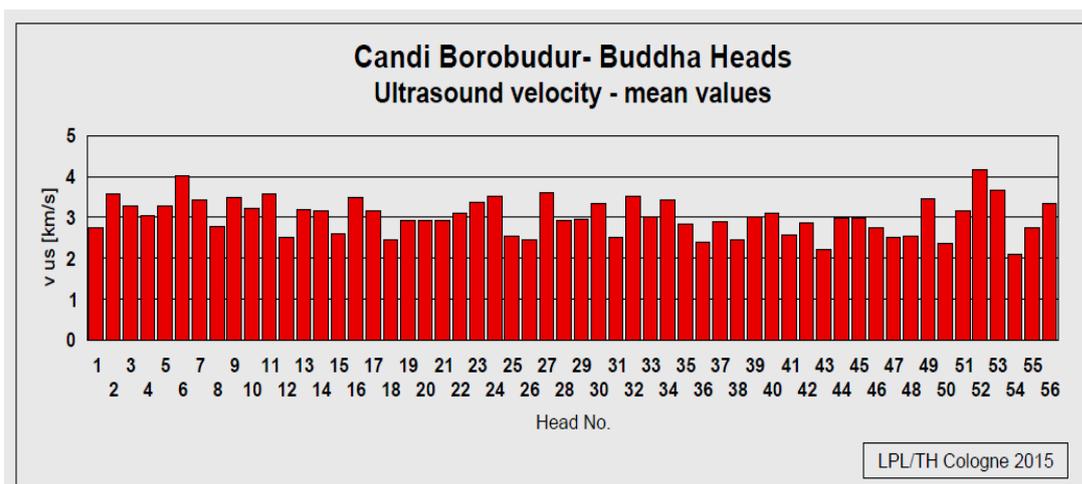


Grafik 3.4 Nilai rata-rata pengukuran kandungan magnetik pada pagar langkan I sisi Timur.

E. PENGUKURAN LAJU RAMBAT GELOMBANG ULTRASONIK.

Pengukuran laju rambat gelombang suara ultrasonik menggunakan alat berupa *ultrasonic pulse velocity tester*. Alat ini berfungsi mengukur cepat rambat gelombang ultrasonik pada material kepala arca berbahan batu andesit. Pengukuran menggunakan ultrasonik diawali dengan memasang dua kutub, yaitu pemancar dan penerima gelombang ultrasonik pada kepala arca. Gelombang yang telah dipancarkan dari pembangkitnya dan telah diterima oleh receiver kemudian dimunculkan dalam bentuk angka digital pada monitor dengan satuan km/s (kilometer per detik).

Dari hasil pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik sebanyak 6 kali per objek, secara umum dapat disampaikan bahwa rata-rata cepat rambat gelombang minimum adalah 2 km/s dan maksimum 4 km/s. Sepertihalnya pada pengukuran kandungan magnetik, pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik juga sangat variatif.



Grafik 3.5 Hasil pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik menggunakan ultrasonic pulse velocity tester pada kepala arca.



Foto 3.9 Pengukuran menggunakan ultrasonic pulse velocity tester (Dok: CICS, 2015).

V. ANALISA DATA

Salah satu alasan diterapkannya metode pengukuran ikonometri, kandungan magnetik, kandungan unsur, dan cepat rambat gelombang ultrasonik pada arca Buddha Candi Borobudur adalah karena bagian penggalan ataupun patahan lehernya sudah aus sehingga sulit untuk mencocokkan dengan menggunakan bekas patahan leher. Metode pencocokan dengan melihat pola patahan leher juga pernah dilakukan dengan alat bantu komputer setelah pemugaran kedua Candi Borobudur. Metode tersebut dinilai belum berhasil, karena hanya satu buah kepala arca saja yang bisa dicocokkan dan masih terdapat keraguan. Karena keraguan tersebut kemudian pemasangan arca dilakukan dengan teknik yang tidak permanen sehingga suatu saat ditemukan metode yang lebih baik, kepala arca tersebut dapat di lepas kembali dari tubuhnya. Posisi kepala arca hasil pencocokan paska pemugaran tersebut saat ini adalah pada sisi Utara, pagar langkan III, bidang j.

A. PENGUKURAN IKONOMETRI KEPALA ARCA DAN TUBUH ARCA

Pada prinsipnya pengukuran ikonometri arca adalah mengukur semua ikonometri yang melekat pada elemen ikonografi penggambaran arca. Hal ini dikarenakan, metode pencocokan dengan analisa ikonografi hanya sebatas deskripsi saja. Kondisi tersebut dapat dipahami karena kesemua arca Dhyani Buddha Candi Borobudur memiliki elemen ikonografi yang sama. Hal ini dapat dibuktikan dari bentuk muka, alis mata, mata, hidung, bibir, lipatan kain, *usnisa*, *urna*, dll.

Berdasarkan hasil pengukuran ikonometri pada kepala arca yang disimpan di kantor Balai Konservasi Borobudur dapat diketahui bahwa semua kepala arca memiliki perbandingan elemen ikonografi yang sangat mirip satu dan yang lain. Pada ke-56 kepala arca yang di ukur salah satu kepala arca yaitu no. 26 separuh bagiannya hilang sehingga beberapa elemen ikonometrinya tidak terukur. Demikian halnya pada kepala arca no. 46 dan no. 47 yang elemen ikonografi pada wajahnya sudah aus sehingga tidak bisa lagi diketahui satuan *tala*, *angula*, maupun *yava* pada kepala tersebut.

Seperti yang telah diperkirakan sebelumnya, dari hasil pengukuran ikonometri kepala arca didapatkan data pengukuran yang sangat mirip pada kesemua kepala arca yang di ukur. Hal ini dapat dibuktikan setelah semua kepala di ukur dan diperbandingkan ukurannya dalam bentuk grafik.

Dari informasi pada grafik di atas dapat diketahui bahwa perbandingan ikonometri pada

kepala arca no.53 dan no.35 mempunyai perbandingan yang sama. Hal ini dibuktikan dari grafik ikonometri yang berhimpit dan sangat mirip antara kepala arca yang di ukur.

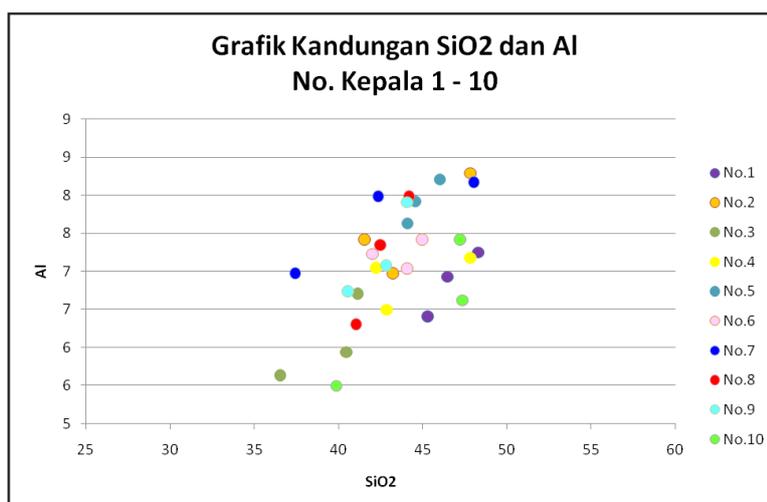
Selain itu, berdasarkan hasil pengukuran ikonometri pada indikator satuan berupa *tala*, *angula*, dan *yava* juga didapatkan hasil yang sama antara kepala arca. Dari hasil penghitungan rata-rata satu *tala* pada penghitungan dari 56 kepala arca adalah 19,26 cm. Sedangkan rata-rata satu *angula* adalah 1,61 cm. Sedangkan rata-rata satu *yava* adalah 0,20 cm. Sehingga pada ikonometri kepala arca tidak ada ukuran yang signifikan, atau semua ukuran elemen ikonografinya sama. Dari hasil pengukuran tersebut juga dapat disampaikan bahwa ukuran terbesar adalah pada kepala arca no.18 dengan ukuran *tala* 22,17 cm; *angula* 1,85 cm; dan *yava* 0,23 cm. Sedangkan ukuran yang terkecil adalah pada kepala arca no.27 dengan ukuran *tala* 17,61 cm; *angula* 1,47 cm; dan *yava* 0,18 cm. Tabel di bawah ini menyampaikan informasi dari ukuran *tala*, *angula*, dan *yava* pada 56 kepala arca di kantor Balai Konservasi Borobudur.

B. PENGUKURAN KANDUNGAN UNSUR MATERIAL BATU

Pengukuran kandungan unsur menggunakan alat XRF memiliki keunggulan, salah satunya adalah sifat pengukuran yang non destruktif atau tidak merusak benda yang di ukur kandungan unsurnya. Namun demikian, berdasarkan hasil XRF dan 56 kepala arca dan 11 tubuh arca masih belum dilakukan pencocokan. Hal ini karena hasil pengukuran mendapat banyak kandungan unsur sehingga belum dapat ditentukan metode analisisnya.

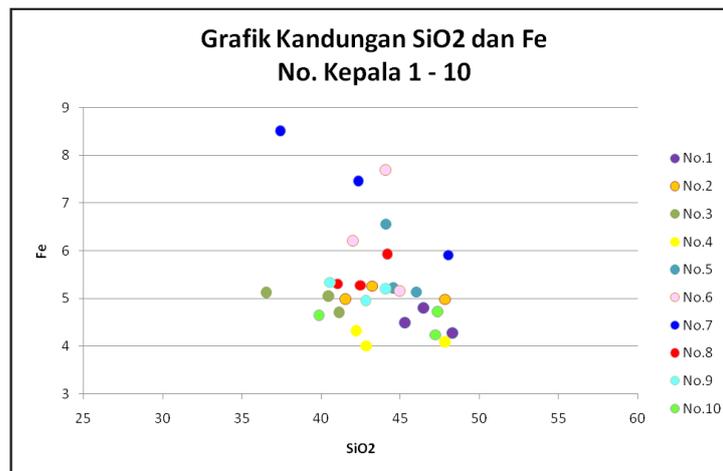
Salah satu metode analisa untuk pencocokan kepala dan tubuh arca menggunakan XRF adalah dengan membuat grafik perbandingan antara dua unsur yang signifikan. Beberapa unsur yang diperbandingkan di antaranya adalah SiO_2 dengan Al, dan SiO_2 dengan Fe. Akan tetapi pada kajian ini metode analisis menggunakan perbandingan hasil XRF saat ini belum bisa digunakan untuk mencocokkan karena sebagian besar tubuh arca pada struktur Candi Borobudur belum di XRF.

Berikut ini adalah grafik perbandingan antara SiO_2 dengan Al pada ke-56 kepala arca di kantor Balai Konservasi Borobudur.



Grafik 3.6 Kandungan SiO_2 dengan Al pada kepala arca no.1 – no.10.

Berikut ini adalah grafik perbandingan antara SiO_2 dengan Fe pada ke-56 kepala arca di kantor Balai Konservasi Borobudur.



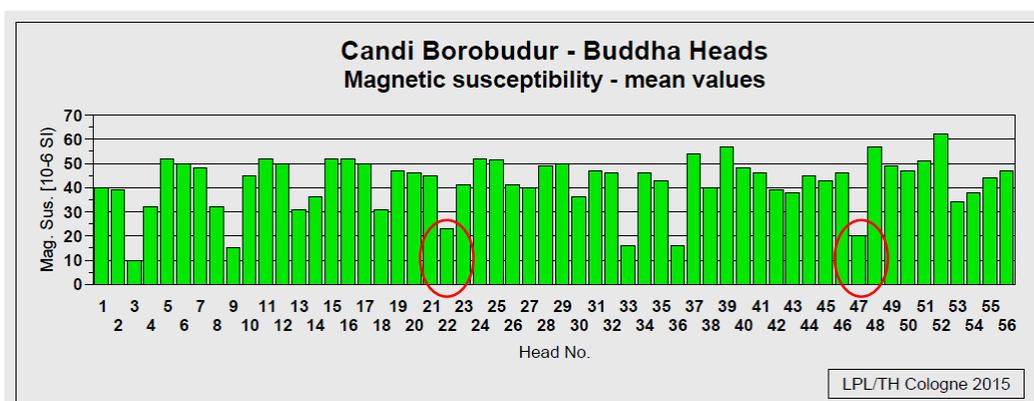
Grafik 3.7 Kandungan SiO₂ dengan Fe pada kepala arca no.1 – no.10.

C. PENGUKURAN KANDUNGAN MAGNETIK MATERIAL BATU

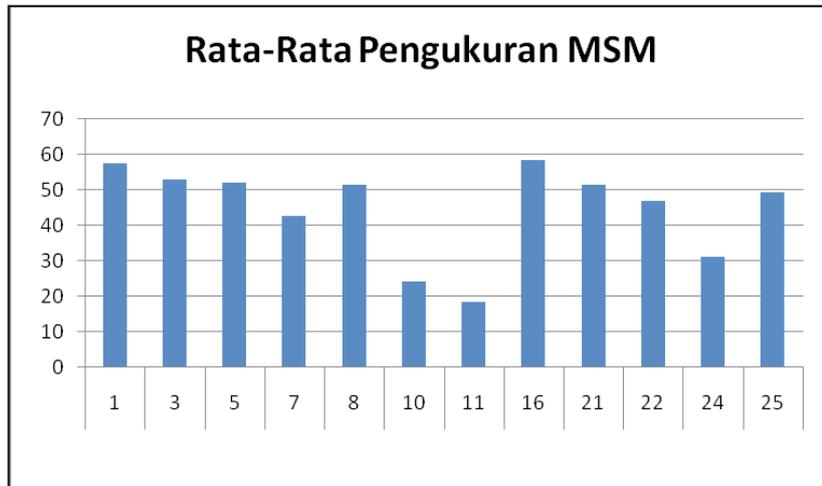
Kerangka pikir dari digunakannya metode pengukuran kandungan magnetik material menggunakan *magnetic susceptibility* meter adalah prinsip bahwa pada semua material batuan mempunyai kandungan magnet yang variatif. Alat ini juga dapat mendeteksi kandungan magnetik yang sangat lemah dari batuan di antaranya limestone, quartz, bahkan air sekalipun. Dalam pengembangan alat ini bisa digunakan sebagai petunjuk untuk mencocokkan antara kepala dan tubuh arca. Pengukuran *magnetic susceptibility* telah dilakukan pada semua kepala arca dan kesemua tubuh arca. Metode pengukuran adalah dengan menempelkan bagian receiver/ sensor penerima alat pada permukaan tubuh arca yang datar. Pengukuran dilakukan sebanyak 6 kali pada tiap objek yang kemudian hasilnya di rata-rata dalam satuan SI. Rata-rata hasil pengukuran tiap objek kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik.

Namun demikian untuk melakukan pencocokan perlu digunakan metode yang sesuai karena data yang dikumpulkan adalah sejumlah 56 kepala arca dan 247 tubuh arca. Sehingga kemungkinan pencocokan adalah dengan membandingkan pengukuran dari 1 kepala arca dengan 247 tubuh arca pada struktur Candi Borobudur, demikian selanjutnya hingga pada kesemua kepala arca yang berjumlah 56 buah. Berikut ini adalah beberapa hasil pengukuran kandungan magnetik pada tubuh arca.

Apabila dicermati sekilas beberapa pengukuran menunjukkan hasil yang mempunyai kecocokan seperti ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



Grafik 3.8 Pengukuran kandungan magnetik pada kepala arca.



Grafik 3.9 Pengukuran kandungan magnetik tubuh arca pada pagar langkan II sisi Utara.

Berdasarkan grafik di atas, kepala arca no.22 dan no.47 memiliki kemungkinan yang lebih besar apabila dipasangkan dengan tubuh arca no.10 yang posisinya berada pada pagar langkan II sisi Utara. Akan tetapi hal tersebut belum secara langsung di lihat secara detil di lapangan.

D. PENGUKURAN CEPAT RAMBAT GELOMBANG ULTRASONIK (*ULTRASOUND VELOCITY*)

Pada prinsipnya pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik menggunakan *ultrasonic pulse velocity tester* adalah untuk menentukan kualitas pada inspeksi atau pengecekan beton. Peralatan ini mengukur waktu transit dari gelombang ultrasonik melalui beton pada pemeriksaan pada struktur baru ataupun lama di antaranya pada plat, kolom, dinding, kerangka, dan bentuk perkuatan beton yang lain. Peralatan ini dapat dipadukan dengan osiloskop yang berfungsi sebagai monitor untuk mengetahui retak rambut, rongga, dan retak struktur pada beton.



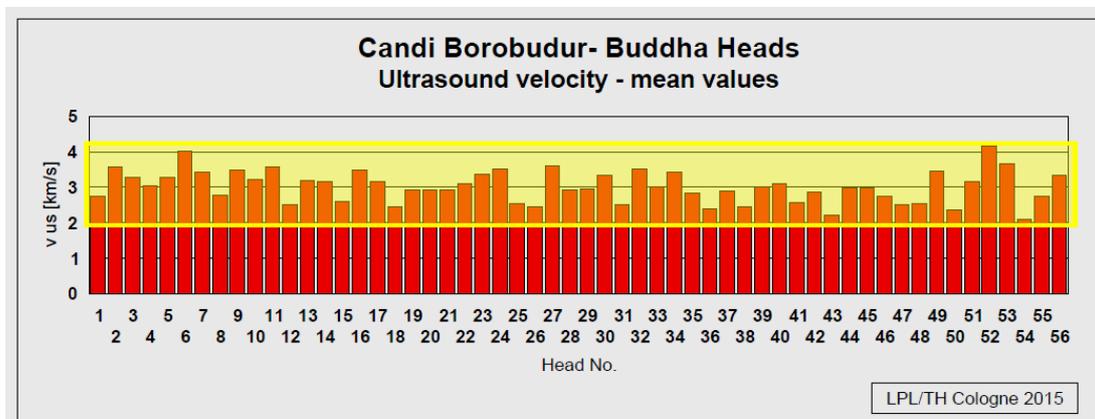
Foto 3.10 Peralatan ultrasonic pulse velocity tester (Dok: humboldtmfg.com)

Peralatan *ultrasonic pulse velocity tester* juga bisa digunakan untuk pengecekan kualitas kayu yang telah digunakan sebagai struktur bangunan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya pelapukan di dalam kayu yang tidak dapat terdeteksi secara kasat mata.

Dalam pengembangannya penggunaan alat *ultrasonic pulse velocity tester* juga bisa digunakan untuk pengecekan material cagar budaya, khususnya untuk membedakan sifat dan mutu material tersebut. Pada Kajian Pencocokan Kepala Arca Candi Borobudur alat tersebut diharapkan memberikan informasi menyangkut material arca, dalam hal ini adalah cepat rambat gelombang ultrasonik. Walaupun material utama kepala arca adalah sama, yaitu batu andesit namun material tersebut tidak sepenuhnya mirip sifat-sifatnya secara kasat mata misalnya dari segi tekstur, warna, dan kekompakan batu. Sehingga hal inilah yang kemudian digunakan sebagai logika bahwa pada material yang sama jenisnya namun memiliki komposisi yang berbeda akan menghasilkan cepat rambat gelombang ultrasonik yang berbeda pula.

Pelaksanaan pengukuran menggunakan *ultrasonic pulse velocity tester* telah dilakukan pada semua kepala arca Buddha yang disimpan di Kantor Balai Konservasi. Pengukuran pada tiap kepala arca dilakukan sebanyak 6 kali. Hasil pengukuran tersebut kemudian di rata-rata dan ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mudah untuk dianalisa. Berdasarkan hasil analisa diketahui bahwa kesemua material andesit kepala arca memiliki cepat rambat gelombang ultrasonik yang tidak jauh berbeda yaitu antara 2 – 4 km/s. Lain halnya pada pengukuran kandungan magnetik yang perbedaannya ada yang mencapai 50 SI. Sehingga apabila dibandingkan dengan pengukuran kandungan magnetik dinilai lebih berprospek daripada pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik.

Apabila metode pencocokan menggunakan *ultrasonic pulse velocity tester* akan diteruskan, maka sama halnya dengan pengukuran kandungan magnetik yaitu membandingkan 1 kepala arca dengan 247 tubuh arca yang berada pada struktur Candi Borobudur. Sehingga salah satu kendala yang muncul adalah waktu pengukuran yang cukup lama.



Grafik 3.10 Pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik pada kepala arca.

VI. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan hasil observasi pada objek kepala dan tubuh arca Buddha data yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut :

- Jumlah kepala arca Dhyani Buddha Candi Borobudur yang disimpan pada kantor Balai Konservasi Borobudur adalah 56 buah.
- Jumlah arca Dhyani Buddha Candi Borobudur yang berkepala dan berada pada struktur Candi Borobudur adalah 228 buah.
- Jumlah arca Dhyani Buddha Candi Borobudur tanpa kepala dan berada pada struktur Candi

Borobudur adalah 247 buah.

- d. Jumlah relung pagar langkan ataupun stupa teras yang kosong kesmuanya adalah 29 buah.
- e. Jumlah arca Dhyani Buddha tanpa kepala yang tersimpan di Studio Sejarah Restorasi Candi Borobudur adalah 1 buah.
- f. Jumlah arca Dhyani Buddha yang berkepala dan berada di Museum Borobudur adalah 1 buah.

Berdasarkan hasil analisa Kajian Pencocokan Kepala Arca Buddha Candi Borobudur menggunakan berbagai metode dapat disampaikan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Metode pencocokan kepala arca dengan tubuh arca yang digunakan pada Kajian Pencocokan Kepala Arca Candi Borobudur Tahun 2015 adalah sebagai berikut :
 1. Pada metode pengukuran ikonometri pada kepala dan sampel tubuh arca dijumpai ukuran elemen ikonografi yang mirip dan tidak jauh berbeda pada tiap objek kepala maupun tubuh arca. Pengukuran dengan pendekatan satuan *tala*, *angula*, dan *yava* belum bisa menunjukkan perbedaan ukuran yang bisa dijadikan acuan untuk mencocokkan. Hal ini dapat dipahami dari konsep *Uttam Dasha Tala* yang telah memberikan acuan terkait ikonometri arca Hindhu dan Buddha. Dengan demikian dapat disampaikan bahwa semua kepala arca dan tubuh arca Buddha Candi Borobudur mempunyai perbandingan proporsi elemen ikonografi yang sama dengan ukuran yang hanya terpaut 1 hingga 4 cm saja. Apabila dikembalikan pada kitab mengenai ikonometri arca Buddha yaitu *pratimalaksanam* dan *kriyamuccaya* tinggi keseluruhan arca Buddha adalah 120 *angula*. Jumlah 120 *angula* tersebut bisa dibuktikan pada setiap arca Buddha Candi Borobudur berdasarkan satuan *angula* dari masing-masing arca.
 2. Metode pengukuran kandungan unsur menggunakan alat bantu X Ray Fluoresence (XRF) telah diaplikasikan pada semua kepala arca dan 11 tubuh arca. Sehingga untuk melakukan pencocokan, masih harus melakukan pengukuran pada 236 tubuh arca yang berada pada struktur Candi Borobudur. Selain itu metode pengolahan data atau formula untuk mengolah data dan mencocokkan 1 buah kepala dengan 247 tubuh arca yang berada pada struktur Candi Borobudur belum dapat di susun. Penyajian data dalam bentuk grafik perbandingan unsur dengan volume tertinggi diharapkan dapat mengelompokkan unsur material kepala arca pada kluster-kluster tertentu yang dapat dicocokkan .
 3. Metode pengukuran kandungan magnetik material batu menggunakan alat bantu *magnetic susceptibility meter* telah diaplikasikan pada seluruh kepala arca dan tubuh arca. Sama halnya dengan metode pengukuran kandungan unsur, metode ini juga belum bisa digunakan untuk mencocokkan karena belum ada formulasi yang sesuai untuk mencocokkan. Namun demikian dari indentifikasi grafik hasil pengukuran kandungan magnetik, dijumpai adanya kecocokan, yaitu pada kepala dan tubuh arca yang memiliki kandungan magnetik terendah dan tertinggi.
 4. Metode pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik menggunakan alat bantu *ultrasonic pulse velocity tester* hanya dilakukan pada kepala arca saja. Hal ini karena kendala peralatan yang belum dimiliki oleh Balai Konservasi Borobudur. Pencocokan dengan metode ini dinilai belum menunjukkan prospek yang positif.

Kondisi tersebut dibuktikan dengan grafik pengukuran cepat rambat gelombang ultrasonik pada kepala arca yang tidak menunjukkan perbedaan signifikan dari masing-masing kepala arca.

Berdasarkan kesimpulan hasil kajian dan arahan narasumber dapat direkomendasikan beberapa hal sebagai berikut :

- a. Metode pencocokan dengan pengukuran kandungan unsur material, kandungan magnetik material, dan cepat rambat gelombang ultrasonik pada material perlu untuk diformulasikan metode pencocokannya setelah semua data pengukuran dikumpulkan.
- b. Perlu dilanjutkan dengan mencoba metode baru pencocokan kepala arca di antaranya :
 1. Mengamati kembali dan mengukur patahan leher pada kepala dan tubuh arca kemudian diukur diameter patahan tersebut minimal sebanyak empat kali pada posisi yang bersilangan.
 2. Berkoordinasi dengan Badan Tenaga Atom atau Teknik Fisika untuk menjajaki kemungkinan penggunaan metode pencocokan berbasis atom inti.
 3. Menggunakan pendekatan geologi dengan melihat tekstur permukaan kepala dan tubuh arca untuk kemudian mencocokkan pola tektur tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Casparis, J. G. de. 1950. *Prasasti Indonesia I*. Bandung: A.C. Nix & Co.
- Maulana, Ratnaesih. 1997. *Ikonomografi Hindhu*. Jakarta: Fakultas Sastra Universitas Indonesia.
- Rao, T.A Gopinatha. 1920. *Talamana Of Iconometri*. Memoirs of The Archaeological Survei of India, 3. Calcuta.
- W. F. Stuterheim. 1950. *Chandi Borobudur Name Form and Meaning, Studies In Indonesia Archaeology*. Batavia: Kolff & Co.
- Muryowiharjo, S., 2005, *Petrografi Batuan Beku*, Jurusan Teknik Geologi UGM, Yogyakarta.



4 ANASTILOSIS TEMUAN STRUKTUR CANDI MENDUT

Oleh :

Yudi Suhartono, Jati Kurniawan, Dhanny Indra Permana, Wagiyono, Susanto

ABSTRAK

Kegiatan ekskavasi yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur di halaman Candi Mendut pada tahun 2014 menemukan struktur andesit berupa pondasi. Berdasarkan foto lama kependudukan Belanda, struktur andesit terdiri atas pondasi dan bagian kaki. Diperkirakan bagian kaki dari struktur telah dipindahkan menjadi batu lepas di halaman Candi Mendut.

Kajian anastilosis terdiri dari beberapa tahap, yaitu: observasi, inventarisasi batu, validasi foto lama, uji kecocokan, dan simulasi susun coba. Informasi tambahan sebagai data pendukung diperoleh dari steller, pencari batu, dan masyarakat setempat. Anastilosis dilakukan dengan penuntun mikro yang meliputi uji kecocokan garis pahatan, bentuk geometris, ukuran garis pahatan, dan kesesuaian tanda hubung (takikan).

Sebanyak 74 batu lepas berhasil diidentifikasi dan 45 buah batu dapat dilakukan pada simulasi susun coba. Batu lepas dapat dikelompokkan menjadi batu luar dan batu dalam. Urutan batu-batu apabila disusun dari bawah adalah sebagai berikut: batu pondasi, batu dumpal, batu ojief lis, batu bulatan, dan batu arc trap. Berdasarkan hasil kajian, batu-batu penyusun struktur andesit banyak yang belum ditemukan. Untuk itu perlu dilakukan pencarian, baik dalam bentuk ekskavasi maupun survei di sekitar lingkungan situs Candi Mendut.

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Candi Mendut terletak di Kelurahan Mendut, Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Secara astronomis berada di 7° 36' 17.17" LS, 110° 13' 48.01" BT. Candi Mendut yang merupakan peninggalan kerajaan Mataram Kuno abad VIII – X Masehi berjarak kurang lebih 3 km dari Candi Borobudur. Keberadaannya tertulis dalam Prasasti Karang Tengah berangka tahun 824 Masehi tentang sebuah bangunan suci yang dibuat oleh Raja Indra. Bangunan tersebut diberi nama *çrimad venvana*, yang berarti bangunan suci di hutan bambu. Oleh Casparis, kata ini dihubungkan dengan pendirian Candi Mendut.

Candi Mendut ditemukan kembali pada tahun 1836. Kecuali bagian atapnya, hampir seluruh bangunan candi ditemukan. Survei lengkap terhadap Candi Mendut dan lingkungannya pertama kali dilaksanakan pada akhir abad ke-19 oleh B. Kersjes dan C. den Hamer untuk menentukan tindakan pelestarian yang akan dilakukan. Pemugaran Candi Mendut pada tahun 1908

oleh Theodore van Erp melakukan rekonstruksi dengan menyempurnakan bentuk atap, memasang kembali stupa-stupa, dan memperbaiki sebagian puncak atap.

Kegiatan ekskavasi yang dilakukan oleh Balai Konservasi Borobudur di halaman Candi Mendut pada tahun 2014 menemukan struktur batu andesit di sebelah utara Candi Mendut, seperti yang terlihat dalam Foto 4.1.



Foto 4.1 Temuan struktur andesit tahun 2014

Struktur andesit tersebut memiliki ukuran 7,3 meter x 7,2 meter dan mempunyai arah hadap yang sama dengan Candi Mendut, yaitu arah Barat Laut. Hal ini diketahui dengan adanya penampil pada sisi Barat Laut (Suhartono, 2014). Struktur andesit yang ditemukan bukan merupakan temuan baru, melainkan pernah dimuat dalam NGB tahun 1897. NGB, 1897 memuat dugaan van Hamer terhadap jumlah batu andesit yang ditemukan. Jumlah batu andesit terlalu banyak apabila hanya berasal dari reruntuhan Candi Mendut. Dugaan tersebut ditindaklanjuti dengan melakukan penggalian di sebelah Utara Candi Mendut berjarak kurang lebih 30 meter. Pada kotak ekskavasi ditemukan struktur batu andesit dengan kedalaman sekitar 2 meter.

Kegiatan penggalian telah didokumentasikan dan dapat dilihat pada Foto 4.2. Bersama struktur tersebut ditemukan pula sebuah arca Buddha, 2 buah kala, 6 buah pilaster, dan batu berelief. Bagian dasar struktur andesit dapat diamati dengan baik, sehingga Nuhout van der Veen menyimpulkan bahwa struktur tersebut adalah sebuah candi berukuran lebih kecil dari Candi Mendut.



Foto 4.2 Temuan struktur andesit tahun 1898
(Sumber: kitlv, Universitas Leiden)

Ditemukannya kembali struktur andesit menimbulkan dugaan bahwa batu-batu lepas yang terdapat di halaman Candi Mendut merupakan sebuah kesatuan dengan struktur tersebut. Dugaan tersebut diperkuat dengan tinjauan pustaka terhadap arsip foto lama milik KITLV, Universitas Leiden, yang menunjukkan keberadaan batu lepas berada pada lokasi yang sama dengan struktur andesit. Batu-batu lepas yang berada di halaman Candi Mendut ditunjukkan pada Foto 4.3.



Foto 4.3. Batu-batu lepas di halaman Candi Mendut

Candi merupakan tinggalan arkeologi dari masa Hindu-Buddha di Indonesia sebagai data otentik yang dapat dipergunakan bagi penyusunan sejarah kebudayaan, cara-cara hidup dan proses perubahan budaya (Binford, 1972 dalam Samidi, 2000). Untuk menyusun sejarah kebudayaan dari suatu jaman, ahli arkeologi perlu untuk memperoleh, mengenali dan kemudian meneliti beraneka ragam bentuk kebudayaan.

Tinggalan arkeologi seperti halnya candi dapat berfungsi sebagai data yang bermanfaat bagi penyusunan sejarah kebudayaan. Oleh karena itu tinggalan arkeologi tersebut perlu dilestarikan keutuhan bentuknya. Apabila keadaannya tercerai berai perlu dilakukan upaya pemulihan bentuk. Dalam konteks upaya pemulihan bentuk candi inilah kegiatan dengan judul "*Kajian Anastilosis Temuan Struktur Candi Mendut*" dilaksanakan.

B. PERMASALAHAN

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang muncul pada penelitian ini adalah :

1. Temuan struktur batu andesit berbentuk pondasi yang ditemukan dalam keadaan tidak utuh.
2. Batu-batu lepas diperkirakan memiliki potensi kecocokan dengan hasil temuan.

C. TUJUAN

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui adanya kecocokan batu temuan struktur andesit dan batu-batu lepas yang terdapat di halaman Candi Mendut.

D. MANFAAT

Manfaat kajian yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan wacana pengembangan ilmu pengetahuan khususnya tentang pemugaran

- bangunan candi khususnya berbahan batu.
2. Meningkatkan pengetahuan teknis tentang anastilosis.
 3. Dapat digunakan sebagai salah satu bahan untuk perencanaan lebih lanjut terhadap temuan struktur batu andesit di Candi Mendut.

E. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup kajian ini adalah batu-batu lepas di halaman Candi Mendut dan struktur batu andesit hasil ekskavasi. Kajian menitikberatkan pada dugaan bahwa batu-batu lepas merupakan bagian dari struktur batu andesit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PENGERTIAN ANASTILOSIS

Pemugaran bertujuan untuk mengembalikan bangunan kuno dalam keadaan dan bentuk semula sesuai prinsip keaslian. Dalam kegiatan pemugaran berkembang sebuah metode pemugaran yang dikenal dengan istilah anastilosis. Istilah ini merupakan adaptasi ke dalam Bahasa Indonesia yang berasal dari kata dalam bahasa Yunani "*anastylose*" dan dalam Bahasa Inggris disebut "*anastylosis*" (Kempers, 1976 dalam Samidi, 2000). Kata tersebut dalam Bahasa Yunani memiliki pengertian sebagai berikut, "*ana*" berarti: dari masing-masing yang menyerupai sesuatu dan "*stylos*" yang berarti: pancang, tiang, tonggak. Terjemahan anastilosis secara harafiah adalah yang menyerupai tiang dan terjemahan bebasnya adalah menegakkan kembali tiang-tiang yang telah roboh (Soekmono, 1996).

Anastilosis dapat diartikan sebagai pembangunan kembali unsur-unsur bangunan yang runtuh ke posisi yang diperhitungkan (dengan pasti) dalam struktur aslinya, seperti misalnya penyusunan kembali tiang-tiang bulat yang runtuh. Selanjutnya, kata anastilosis berkembang menjadi wacana dalam konteks pemugaran yang lebih luas. Secara umum anastilosis diartikan sebagai upaya pembangunan kembali suatu bangunan yang telah runtuh, dengan menggunakan unsur-unsur bangunan asli, ke posisinya ke dalam struktur asli yang metodenya dapat dipertanggungjawabkan (Samidi, 2000).

Di Indonesia anastilosis secara umum diartikan sebagai metode pemasangan kembali batu-batu candi setelah berhasil ditemukan tempat aslinya melalui teknik pencocokan. Penempatan batu merupakan hasil interpretasi berdasarkan kecocokan tanda-tanda pada batu (Samidi, 2000). Anastilosis memiliki dua cakupan kegiatan yang berurutan, yaitu tahapan pencocokan batu lepas dan tahapan pemasangan kembali secara permanen.

B. METODE ANASTILOSIS

Metode anastilosis secara kualitatif hanya dapat diterapkan apabila terdapat bangunan asli yang mewakili dan mencukupi berdasarkan sistem konstruksinya (Balanos, 1931 dalam Samidi, 2000). Situasi awal bangunan yang masih *insitu* dan *intak* harus diketahui dengan pasti agar terjamin keasliannya (Stutterheim, 1938 dalam Samidi, 2000). Sedangkan secara kuantitatif, jumlah batu asli dari suatu monumen harus memadai; tidak boleh terlalu sedikit (Kempers, 1970, dalam Samidi, 2000).

Beberapa hal yang dipersyaratkan tersebut tercantum juga dalam *Charter Athena* (1931), menegaskan bahwa pemugaran khususnya teknik anastilosis, harus dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah untuk menghindari kesalahan-kesalahan yang akan dapat menghilangkan karakter dan nilai sejarah dari bangunan. Selain *Charter Athena*, baik *Charter Venezia* (1964) maupun *Charter Burra* menegaskan juga bahwa anastilosis harus memiliki kepastian serta didukung oleh bukti oleh bukti otentik yang kuat secara ilmiah, serta hasilnya harus bermakna budaya (Samidi, 2000).

Metode anastilosis mencakup penjelasan secara teknik dan sistematis tentang cara-cara pencocokan batu lepas baik satu sama lain maupun terhadap batu induknya yang sudah terpasang di candi. Teknik pencocokan berdasarkan pada kesesuaian ukuran, sambungan, keharmonisan ukiran atau bentuk arsitektur secara keseluruhan.

C. TAHAPAN ANASTILOSIS

Prosedur anastilosis dapat diklasifikasikan menjadi tiga tahap, yaitu tahapan penuntun makro, tahapan penuntun mikro, dan tahap pemasti (Samidi, 2000).

1. Tahapan Penuntun Makro

Merupakan tahap pencarian awal yang dapat dibagi menjadi 3 aspek, yaitu analogi bentuk, ukuran batu, dan hubungan kontekstual. Analogi bentuk dilakukan dengan melakukan observasi pada bagian candi yang hilang, untuk mencari padanan bentuk pada himpunan batu lepas. Apabila batu dapat ditemukan, tahap selanjutnya adalah mengukur dimensi untuk pencocokkan dengan ruang kosong pada candi. Hubungan kontekstual bersifat pasangan diperlukan dalam pencarian batu relief, karena analogi simetris tidak dapat diterapkan. Blok batu dengan relief akan menunjukkan kesinambungan profil gambar pada blok batu yang satu dengan lainnya.

2. Tahapan Penuntun Mikro

Pada tahap ini dilakukan susun coba batu lepas pada bagian yang hilang. Penuntun mikro memiliki tingkat ketelitian yang lebih detil, apabila dibandingkan dengan penuntun makro. Untuk memperoleh penuntun mikro dapat dilakukan pengujian dengan cara:

- a. Kesinambungan dan kewajaran garis pahatan atau bentuk geometrinya;
- b. Ukuran mikro berupa lebar dan tebal relief atau profil garis pahatan pada batu;
- c. Kesesuaian tanda hubung berupa takikan, pasak dengan lubangnya, dan lubang ekor burung;
- d. Tanda penghubung yang dibuat oleh tukang batu (*steller*) sebelumnya;
- e. Garis bekas endapan garam yang bentuknya sesuai;
- f. Pola relief sesuai dengan batu yang berada disekitarnya.

3. Tahapan Pemasti

Apabila relief hanya terdapat pada satu sisi saja, maka dalam hal ini diperlukan pemasti. Jenis atau pola relief tertentu dapat dikelompokkan sebagai pemasti. Pemasti bahwa batu hasil anastilosis dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya adalah berdasarkan skenario relief yang berupa cerita serta keserasian pasangan batu secara keseluruhan. Pada tahap ini, *steller* batu memiliki peran besar dalam menentukan kesesuaian batu lepas yang dipasang.

III. METODOLOGI

A. ALAT DAN BAHAN

1. Alat

Alat yang digunakan dalam kegiatan kajian ini adalah:

- a. Meteran sebagai alat ukur
- b. Kamera sebagai alat dokumentasi
- c. Alat tulis sebagai media sketsa batu
- d. Sikat ijuk untuk membersihkan batu
- e. White marker untuk menandai batu

2. Bahan

Bahan yang digunakan adalah:

- a. Foto lama sebagai acuan keletakan batu
- b. Foto kegiatan ekskavasi tahun 2014 sebagai acuan keletakan batu
- c. Kertas milimeter sebagai media sketsa batu

B. TAHAPAN PENELITIAN

Sehubungan dengan tujuan kajian ini, maka kajian dilakukan melalui tahapan-tahapan yang meliputi :

1. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini, untuk memperoleh data yang sesuai dengan tujuan kajian maka pengumpulan data dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- a. Foto lama
Digunakan untuk mengetahui situasi dan kondisi awal struktur batu andesit ketika ditemukan.
- b. Foto ekskavasi tahun 2014
Digunakan untuk mengetahui situasi struktur batu andesit ketika ekskavasi dilakukan.
- c. Wawancara
Bertujuan untuk menggali informasi penting mengenai struktur batu dan riwayat ekskavasi yang telah dilakukan sebelumnya.
- d. Inventarisasi batu
Bertujuan untuk mengetahui jumlah batu lepas dan batu hasil ekskavasi yang akan digunakan dalam kegiatan kajian.
- e. Observasi
Bertujuan untuk mengidentifikasi bentuk, ukuran, sistem pengunci, dan ornamen batu baik pada batu-batu lepas maupun struktur. Data berupa bentuk, ukuran, dan ornamen tersebut digunakan sebagai petunjuk untuk melakukan susun coba.

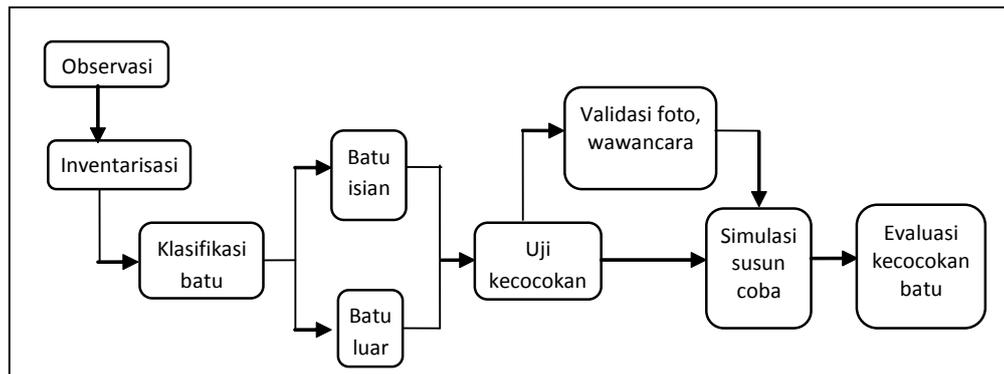
2. Analisis Data

- a. Klasifikasi batu secara umum yang dibagi menjadi 2 tipe, yaitu batu luar dan batu isian.
- b. Tahapan penuntun mikro dengan melakukan uji kecocokan batu temuan dengan batu di sekitarnya dengan cara: kesinambungan/kewajaran garis pahatan bentuk geometrisnya, ukuran profil garis pahatan dan kesesuaian tanda hubung berupa takikan (Muljono, 2004).
- c. Simulasi susun coba terhadap batu dengan menggunakan foto lama dan foto kegiatan

ekskavasi tahun 2014 sebagai acuan keletakan.

3. Evaluasi Kecocokan Batu

Tahap ini bertujuan untuk menilai metode anastilosis yang telah diterapkan dalam rangka mengembalikan batu-batu lepas ke bagian struktur andesit hasil ekskavasi. Tahapan penelitian diatas dapat dijelaskan melalui gambar diagram alir seperti yang terdapat dalam Gambar 4.1.

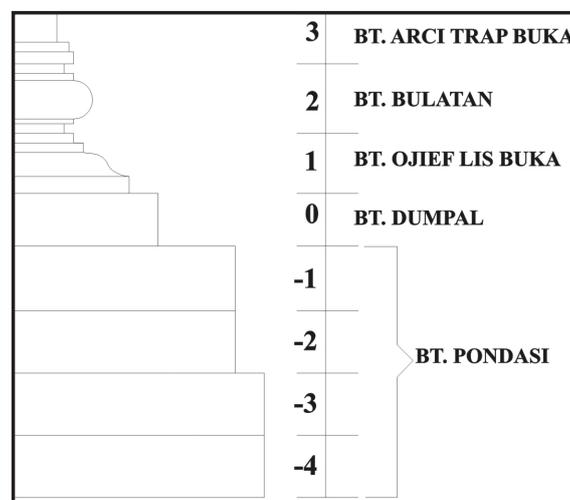


Gambar 4.1 Diagram alir tahap kajian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. INVENTARISASI BATU LEPAS

Observasi lapangan tahun 2015 berhasil mengidentifikasi secara bertahap 74 batu lepas yang diperkirakan merupakan bagian dari struktur andesit. Batu lepas dapat dikelompokkan menjadi batu luar dan batu dalam. Batu luar terdiri dari: batu dumpal, batu ojief lis, batu bulatan, dan batu arci trap. Sedangkan batu dalam terdiri dari batu pondasi. Urutan batu-batu apabila disusun dari bawah adalah sebagai berikut: batu pondasi (11 buah), batu dumpal (9 buah), batu ojief lis (36 buah), batu bulatan (11 buah), dan batu arci trap (7 buah). Profil melintang dan jumlah batu diilustrasikan pada Gambar 4.2. Tanda negatif menunjukkan bahwa posisi batu berada di bawah permukaan tanah.



Gambar 4.2 Profil melintang susunan batu

B. TEST PIT STRUKTUR ANDESIT

Test pit arkeologi dilakukan untuk mengetahui bagian bawah pondasi dan keperluan rekonstruksi struktur andesit. *Test pit* sebanyak 2 kotak dilakukan pada sisi Barat Laut (TP1) dan sisi Tenggara (TP2). Pemilihan lokasi *test pit* secara diagonal dilakukan dengan pertimbangan beda tinggi pada kedua lokasi. Hasil *test pit* menunjukkan bahwa di bawah lapisan batu pondasi terdapat perkerasan tanah dengan material batu, pasir, dan bata. Ketebalan perkerasan pada TP1 adalah 52 cm, sedangkan ketebalan perkerasan pada TP2 adalah 30 cm. Kondisi TP1 dan TP2 ditunjukkan pada Foto 4.4.



Foto 4.4 Perkerasan tanah pada TP1 (kiri) dan TP2 (kanan)

C. VALIDASI FOTO LAMA

Keberadaan struktur andesit di halaman Candi Mendut diketahui dari beberapa foto lama peninggalan Belanda. Validasi foto lama dilakukan untuk menunjukkan bahwa struktur andesit dan batu lepas yang ada sekarang ini merupakan objek yang sama dan pernah ditemukan pada masa pemerintahan Hindia Belanda. Foto 4.5 menunjukkan lokasi relatif struktur andesit (ditandai dengan lingkaran) yang berada di sebelah Utara Candi Mendut.



Foto 4.5 Keletakan struktur andesit pada foto lama (kiri) dan foto tahun 2015 (kanan).

Hasil validasi foto lama juga dapat digunakan sebagai acuan keletakan batu lepas pada struktur andesit. Beberapa batu lepas memiliki ciri atau kekhasan yang dapat digunakan sebagai penanda yang terekam pada foto lama. Ciri tersebut diantaranya adalah: retakan, motif atau ornamen, endapan garam, dan tanda lain pada batu misalnya pengelupasan. Foto 4.6 menunjukkan adanya kesamaan ciri pada batu penyusun struktur yang berupa retakan, sehingga dapat digunakan sebagai acuan keletakan pada tahap susun coba. Selain itu, adanya ciri pada batu juga dapat digunakan sebagai acuan arah hadap struktur andesit.

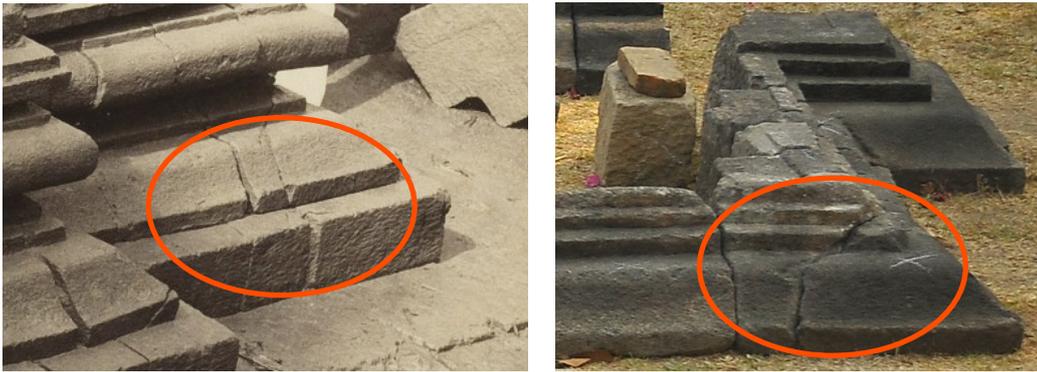


Foto 4.6 Ciri pada batu sebagai acuan keletakan

D. SIMULASI SUSUN COBA

Deskripsi masing-masing bagian batu pada simulasi susun coba adalah sebagai berikut:

1. Bagian I

Hanya terdiri dari satu batu ojief lis yang terletak pada sudut struktur andesit. Batu ojief ini memiliki 2 tingkat lis dan berbentuk siku (huruf L) seperti yang terlihat pada Foto 4.7. Diperkirakan batu ini terletak dalam bidang pendek struktur andesit. Pada ujung batu sisi dalam telah mengalami pengelupasan.



Foto 4.7 Susun coba batu lepas bagian I (kiri) dan bagian II (kanan)

2. Bagian II

Terdiri dari dua batu ojief lis 1 tingkat dengan panjang 23 cm dan 30 cm. Ukuran lebar dan tingginya hampir sama, yaitu 44 cm dan 22 cm seperti yang terlihat pada Foto 4.7. Dua buah batu ojief lis tersebut memiliki kecocokan pada ukuran lis, takikan, dan lebar batu.

3. Bagian III

Bagian ini terdiri dari 3 batu pondasi, 2 batu dumpal, 3 batu ojief lis, 2 batu bulatan, dan 1 batu arco trap. Batu ojief lis memiliki tinggi lis 2 dan 3 tingkat. Batu ojief dengan lis 2 tingkat bertumpuk dengan batu bulatan lis 2, sedangkan pada batu ojief lis 3 bertumpuk dengan batu bulatan lis 1, sehingga tingginya sama. Pada bagian ini terdapat bidang pendek yang terbagi dalam 2 buah batu. Batu arco trap berada paling atas dengan tinggi lis 2 tingkat dan mengalami pengelupasan pada bagian sudut batu yang ditunjukkan pada foto di bawah ini.



Foto 4.8 Susun coba batu lepas bagian III (kiri) dan bagian IV (kanan)

4. Bagian IV

Bagian ini terdiri dari 9 buah batu, yang terdiri dari 6 buah batu ojief lis dan 3 buah batu bulatan. Batu ojief memiliki tinggi lis 2 dan 3 tingkat. Pada bagian ini terdapat bidang pendek yang ditandai dengan adanya batu ojief lis berbentuk siku (huruf L), seperti yang ditampilkan pada Foto 4.8. Susun coba bagian ini memiliki panjang keseluruhan 265 cm.

5. Bagian V

Bagian ini terdiri dari 4 buah batu ojief lis yang berbeda-beda tingkat lisnya. Dua buah batu ojief memiliki 1 tingkat lis dengan panjang 27 cm dan 21 cm, 1 buah batu memiliki 3 tingkat lis dengan panjang 82 cm dan 1 buah batu memiliki 2 tingkat lis dengan panjang 21 cm.

6. Bagian VI

Bagian ini terdiri dari 3 buah batu ojief lis tingkat 3. Salah satu batu merupakan bagian sudut struktur yang ditandai dengan adanya siku pada lis. Kondisi batu yang menjadi bagian sudut struktur telah mengalami pengelupasan. Bagian V dan VI batu susun coba ditampilkan pada Foto 4.9.



Foto 4.9 Susun coba batu lepas bagian V (kiri) dan bagian VI (kanan)

7. Bagian VII

Bagian ini terdiri dari 2 buah batu ojief lis tingkat 2 dan 3. Salah satu batu merupakan bagian sudut struktur bidang pendek yang ditandai dengan adanya siku pada lis, seperti yang terlihat pada Foto 4.10. Batu tersebut berbentuk persegi panjang dengan ukuran 54 cm x 64 cm, sedangkan batu yang lain memiliki panjang 16 cm.



Foto 4.10 Susun coba batu lepas bagian VII (kiri) dan bagian VIII (kanan)

8. Bagian VIII

Bagian ini terdiri dari 4 buah batu ojief lis tingkat 2. Pada bagian ini terdapat bidang pendek dari struktur andesit yang ditandai dengan adanya bentuk siku (huruf L). Bidang pendek tersebut terbagi dalam 2 buah batu, seperti yang terlihat pada Foto 4.10 di atas. Ukuran panjang masing-masing batu ojief lis pada bagian ini adalah 55 cm, 40 cm, 26 cm, dan 23 cm.

Kegiatan kajian anastilosis berhasil mengidentifikasi batu lepas sebanyak 74 buah secara bertahap. Sedangkan jumlah batu lepas yang dapat dilakukan uji kecocokan dan simulasi susun coba sebanyak 45 buah. Simulasi susun coba dilakukan kembali dengan bertambahnya jumlah batu lepas yang berhasil diidentifikasi. Batu lepas pada Bagian III, IV, VI, dan VII yang pada susun coba sebelumnya merupakan bagian terpisah menjadi satu kesatuan, seperti yang terlihat pada 4.11 di bawah ini. Pencocokan batu dilakukan berdasarkan foto lama yang memperlihatkan adanya ciri-ciri pada batu, yaitu pola retakan dan pengelupasan. Batu ojief lis pada bagian ini membentuk satu buah sisi, yaitu sisi Timur Laut.



Foto 4.11 Batu lepas bagian III, IV, VI dan VII tampak depan

Bagian III dan IV dihubungkan oleh batu ojief lis tingkat 1 (ditandai dengan lingkaran) yang memiliki ciri pengelupasan, sehingga memudahkan proses pencocokan. Bagian VI dan VII dihubungkan oleh batu ojief lis sudut yang pecah menjadi dua bagian dan dapat diidentifikasi melalui garis pecahannya. Selain itu, bagian VI dan VII juga dihubungkan oleh 1 buah batu ojief lis tingkat 2 yang dapat diidentifikasi melalui potongan batu yang miring. Ciri pada batu lepas Bagian VI dan VII dapat dilihat pada Foto 4.12.



Foto 4.12 Batu lepas bagian VI dan VII tampak samping

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Struktur andesit di halaman Candi Mendut yang ditemukan pada ekskavasi tahun 2014 bukan merupakan temuan baru. Struktur andesit ini telah ditemukan pada masa Hindia Belanda, berdasarkan laporan NBG tahun 1897 dan foto lama dari *kitlv*, Universitas Leiden.
2. Hasil validasi terhadap foto lama menunjukkan bahwa batu lepas yang berada di halaman Candi Mendut merupakan bagian dari struktur andesit.
3. Kegiatan kajian anastilosis berhasil mengidentifikasi batu lepas sebanyak 74 buah. Sedangkan jumlah batu lepas yang dapat dilakukan uji kecocokan dan simulasi susun coba sebanyak 45 buah.
4. Ketebalan perkerasan pada sisi Barat Laut struktur andesit adalah 52 cm, sedangkan ketebalan perkerasan pada sisi Tenggara adalah 30 cm.
5. Kegiatan kajian anastilosis berhasil merekonstruksi 8 lapis susunan struktur andesit, yang terdiri dari batu pondasi (4 lapis), batu dumpal (1 lapis), batu ojief lis (1 lapis), batu bulatan (1 lapis), dan batu arcitrap (1 lapis).

B. REKOMENDASI

1. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, masih banyak batu-batu penyusun struktur andesit yang belum ditemukan. Untuk itu perlu dilakukan pencarian batu-batu lepas baik dalam bentuk ekskavasi di halaman Candi Mendut maupun survei di sekitar situs Candi Mendut.
2. Apabila data yang diperlukan untuk pemugaran sudah cukup lengkap, maka perlu dilakukan studi teknis dan studi kelayakan pemugaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Binford, L. R. 1972. *An Archaeological Perspective*. New York: Academic Press.
- Dumarcay, J. 1977. *Histoire Architecturale du Borobudur*. Paris: EFEO.
- Kempers, A. J. B. (1976). *Ageless Borobudur*. Wassenaar: Servire.
- Muljono, dkk. 1994. *Studi Dimensi Arsitektonis Lorong dan Teras Candi Borobudur*. Magelang: Balai Studi dan Konservasi Borobudur.
- 2002. *Anastilosis Batu Pagar Langkan Candi Borobudur*. Magelang: Bagian Proyek Pemanfaatan Peninggalan Sejarah dan Purbakala Candi Borobudur.
- Samidi. 2000. *Metode Pencocokan Batu Lepas (Anastilosis) Pagar Langkan Candi Borobudur*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Soekmono. 1974. *Candi Fungsi dan Pengertiannya*. Disertasi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Suhartono, Y. 2014. *Ekskavasi Candi Mendut*. Laporan. Magelang: Balai Konservasi Borobudur.



5 KAJIAN MORTAR ETIL SILIKAT UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA BERBAHAN ANDESIT

Oleh :

Rony Muhammad, Joni Setiyawan, Ahmad Mudzakkir, Basuki Rahmat

ABSTRAK

Batu andesit telah digunakan manusia sebagai bahan bangunan baik berupa bangunan rumah tinggal maupun bangunan tempat beribadah selama ribuan tahun khususnya oleh masyarakat di Jawa Tengah dan Yogyakarta yang dekat dengan gunung berapi karena kekuatan dan daya tahan. Seiring umur dan pengaruh internal maupun eksternal batu akan mengalami kerusakan baik kerusakan fisik mekanik, kerusakan biologis maupun khemis. Salah satu cara yang dilakukan untuk mengatasi kerusakan batu secara mekanis berupa retak, pecah/gempil, dan kamuflase penyambungan batu yang pecah adalah dengan menggunakan mortar dengan bahan batu andesit. Pembuatan mortar batu andesit ini dilakukan dengan merekonstruksi batu andesit, yaitu dengan membuat bubuk batu andesit dan merekonstruksinya kembali dengan mencampur bahan etil silikat dengan bubuk batu dengan komposisi tertentu. Diharapkan mortar ini memiliki sifat – sifat fisik berupa porositas dan kenampakan yang sama dengan batu andesit.

Kata Kunci : Batu andesit, Kerusakan mekanis, Mortar etil silkat

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai negara yang maju peradaban dan kebudayaannya sejak masa lampau memiliki kekayaan dan keanekaragaman cagar budaya. Salah satu peninggalan hasil kebudayaan itu adalah candi sebagai tempat pemujaan kepada dewa. Candi di Indonesia sangat beragam baik dari segi arsitektural maupun materialnya. Salah satu material penyusun candi yang umum khususnya candi-candi di Jawa Tengah dan Yogyakarta adalah batu andesit. Hal ini dimungkinkan karena ketersediaan batu andesit di Jawa Tengah dan Yogyakarta sangat banyak karena lokasinya dekat gunung berapi yang masih aktif sebagai sumber dari batu andesit hasil erupsi gunung berapi.

Candi-candi yang dibangun dengan material dari batu andesit yang telah berusia lebih dari 1000 tahun tentu mengalami degradasi karena pengaruh kondisi lingkungan sekitar tempat candi tersebut dibangun dan juga pengaruh eksternal internal lainnya. Oleh karena itu sangat dimungkinkan adanya kerusakan pada batu-batu andesit penyusun candi. Salah satu jenis kerusakan yang terjadi adalah kerusakan dari faktor fisik dan mekanis berupa retak, pecah, mengelupas atau bisa juga gempil dan dari faktor khemis bisa terjadi penggaraman, batu menjadi rapuh.

Candi-candi yang dibangun pada masa lampau tersebut tentu memiliki nilai historis dan nilai arkeologis yang tinggi dan menjadi kebanggaan dari pewaris akan tingginya peradaban dan kebudayaan para pendahulunya. Sehingga agar cagar budaya tersebut dapat bertahan lebih lama dan bisa dinikmati oleh generasi mendatang dalam kondisi yang seagut dan selengkap mungkin seperti waktu ditemukan, maka cagar budaya tersebut harus dilestarikan. Dalam upaya pelestarian cagar budaya tersebut salah satu cara adalah tindakan konservasi.

Pelestarian cagar budaya (bangunan cagar budaya, struktur cagar budaya, benda cagar budaya) dengan cara mengkonservasinya sampai saat ini masih dilaksanakan karena memberi hasil yang efektif untuk penanganan kerusakan cagar budaya, karena kegiatan konservasi itu sendiri bertumpu pada ilmu bahan dan teknologi. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan terutama dalam hal ilmu bahan dan teknik konservasi, permasalahan yang ada pada bangunan cagar budaya bisa diatasi walaupun belum bisa 100% tuntas. Tetapi tujuan agar cagar budaya yang dikonservasi menjadi lestari bisa tercapai.

Salah satu cara/teknik konservasi yang dipakai adalah penggunaan bahan perekat (epoxy resin) yang dipakai untuk merekatkan kembali bagian dari batu andesit candi yang patah/retak/gempil bahkan dipakai juga untuk bahan perekat mortar epoxy untuk penambalan batu yang mengelupas dan untuk kamufase batu yang celah retakannya cukup lebar. Teknik penyambungan dengan epoksi resin ini terlihat bagus diawal pengaplikasian tetapi menimbulkan dampak sesudahnya yang bisa menimbulkan masalah lain yang bersifat merusak batu andesit. Sifat epoksi resin yang kedap terhadap air menimbulkan masalah baru dalam kerusakan batu andesit.

Dari permasalahan tersebut kami melakukan kajian untuk mencari/mengembangkan teknik dalam pembuatan mortar dengan bahan konsolidan etil silikat sehingga diharapkan dengan penambahan etil silikat ini bisa didapatkan teknik baru dalam *filling, restoring*, kamufase batu andesit yang mana hasilnya bisa meminimalisir dampak negatif terhadap batu andesit yang ditangani dan bersifat *reversibel*.

B. RUMUSAN MASALAH

Untuk mencapai tujuan kajian, perumusan masalah dalam kajian ini adalah sebagai berikut :

1. Masih diperlukannya bahan mortar untuk konservasi batu andesit penyusun candi yang pecah/gempil, retak.
2. Diperlukannya bahan mortar batu andesit yang berpori (bisa dilewati air atau udara)

C. TUJUAN

Tujuan yang hendak dicapai dari kajian Mortar Etil Silikat untuk Konservasi Cagar Budaya Berbahan Andesit adalah untuk mendapatkan mortar yang dicampur bahan konsolidan etil silikat yang mempunyai sifat lentur, *reversibel* dan menjadi bahan mortar yang berpori (dapat dilewati air atau udara).

D. METODE KAJIAN

1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang dipakai dalam melaksanakan kajian adalah alat-alat laboratorium inventaris Balai Konservasi Borobudur. Alat-alat laboratorium yang dipakai sebagian besar berasal dari laboratorium fisik, antara lain :

a. *Stone crusher*

Stone crusher (mesin pemecah batu) adalah alat khusus yang digunakan untuk memecah/menghancurkan batu dengan ukuran tertentu sehingga batu-batu yang dihancurkan terurai menjadi ukuran butiran yang lebih kecil yang selanjutnya dipisahkan dengan mesin pengayak.

b. Mesin Penyaring batu/pasir

Mesin penyaring batu (*sieving machine*) adalah sebuah alat khusus yang dibuat untuk memisahkan butiran/agregat dari batu yang telah dihancurkan oleh mesin penghancur batu dalam ukuran tertentu yang telah kita tetapkan yang akan digunakan sebagai bahan pembuat mortar.



Foto 5.1 Mesin penghancur batu



Foto 5.2 Mesin penyaring serbuk batu

c. Gelas Beker

Gelas ukur laboratorium yang dipakai untuk menakar bahan konsolidan etil silikat.

d. Alat-alat lain yang diperlukan selama kajian akan memakai inventaris dari Balai Konservasi Borobudur.

Adapun bahan yang digunakan dalam kajian ini antara lain :

a. Bubuk batu andesit

Bubuk batu andesit dibuat dari penghancuran batu andesit dengan mesin penghancur untuk dijadikan agregat batu untuk campuran mortar.

b. Bahan konsolidan etil silikat

Bahan konsolidan dengan bahan utama etil silikat.

c. Kuas 2" dan 1"

Kuas terbuat dari serabut ijuk/nilon untuk membersihkan sampel dan alat-alat yang dipakai dari debu/kotoran tanah/pasir.

d. Pensil air

Pensil untuk menandai/memberi kode pada sampel.

e. Sarung tangan karet

Untuk melindungi tangan dari kontaminasi dengan bahan kimia sewaktu pengambilan sampel.

- f. Masker
Masker untuk melindungi diri dari debu kotoran agar tidak terhirup.
- g. Toples
Sebuah wadah biasa terbuat dari plastik atau kaca untuk menyimpan agregat hasil penyaringan mesin penyaring.
- h. Ember
Ember plastik atau karet yang biasa dipakai di rumah tangga. Ember digunakan untuk penyimpanan sementara batu-batu hasil pemecahan mesin penghancur batu sebelum disaring.
- i. Baki (nampan)
Baki (nampan) plastik untuk tatakan dalam pembuatan sampel mortar.
- j. Palu
Palu besi 1 kg dan 0,5 kg yang digunakan untuk memecah batu dalam ukuran lebih kecil sebelum dihancurkan kedalam mesin penghancur.
- k. Cetakan kue
Cetakan kue dari plastik yang digunakan untuk menaruh agregat dalam penimbangan agregat untuk campuran mortar.
- l. Scavel
Semacam cetok (sendok kecil) yang dipakai untuk mencampur dan membuat adonan mortar.
- m. Spuit
Alat suntik biasa tanpa jarum yang dipakai untuk mengambil etil silikat dan mencampurnya dengan agregat batu yang akan dijadikan mortar.

2. Metode Pelaksanaan Kajian

Dalam pelaksanaan kajian Mortar Etil Silikat untuk Konservasi Cagar Budaya Berbahan Andesit, tahapan pelaksanaan kajian yang dilakukan tim kajian adalah :

- a. Studi pustaka
Tahap pertama pelaksanaan kajian adalah melaksanakan studi pustaka untuk mencari data sekunder mengenai penggunaan bahan perekat yang pernah diaplikasikan pada waktu pemugaran tahun 1973-1983. Mencari literatur yang berkaitan dengan pembuatan mortar berbahan batu andesit dari perpustakaan Balai Konservasi Borobudur dan informasi dari browsing internet mengenai topik yang sama kami jadikan acuan pustaka dalam kajian ini.
- b. Pembuatan sampel di laboratorium
Tahap selanjutnya adalah pembuatan sampel di laboratorium. Pekerjaan ini diawali dengan pemecahan batu andesit dari ukuran semula dibuat ukuran lebih kecil $\pm \emptyset$ 2 - 4 cm kemudian dihancurkan di mesin penghancur batu. Hasil penghancuran berupa bubukan batu (agregat) kemudian disaring di mesin penyaring dan dipisahkan berdasar ukuran tertentu. Bubukan batu ini disimpan dalam toples-toples sesuai ukuran butiran yang telah ditentukan.



Foto 5.3 Proses pemecahan batu



Foto 5.4 Bubukan batu hasil penyaringan

Dengan menggunakan komposisi tertentu sesuai distribusi butiran menurut pendekatan Fuller kemudian agregat dicampur sampai terlihat homogen kemudian ditambahkan etil silikat sedikit demi sedikit dan diaduk-aduk sampai merata dan adukan dapat menempel saat ditekan kemudian dicetak untuk dijadikan benda uji dengan cetakan yang telah kita siapkan.



Foto 5.5 Komposisi bubukan batu



Foto 5.7 Benda uji mortar



Foto 5.6 Proses pencampuran etil silikat

c. Pengujian sampel di laboratorium

Dari sampel yang telah dibuat kemudian dilakukan pengujian sampel diantaranya uji porositas, kapilarisasi, dan foto SEM. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah mortar yang kita buat menjadi mortar yang berpori dan bisa melewatkan air udara seperti yang direncanakan. Pengambilan foto SEM dilakukan untuk melihat gambar mikroskopis sampel untuk mengetahui apakah terdapat pori dari mortar epoksi yang dicampur bahan konsolidan.



Foto 5.8 Uji kapilarisasi



Foto 5.9 Uji porositas

d. Analisa sampel

Hasil dari pengujian sampel ini kemudian dianalisa berdasar data-data yang kita peroleh dan dibuat sebuah kesimpulan.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL PENGUJIAN

1. Komposisi Mortar

Dalam kajian Mortar Etil Silikat ini tim kajian menggunakan komposisi mortar sebagai berikut:

a. Komposisi Mortar Etil Silikat No. 0

Tabel 5.1 Komposisi mortar No. 0

Grain size	< 0,045	0,045 - 0,063	0,063 - 0,125	0,125 - 0,250	0,25 - 0,500	0,500 - 1,00	1,00 - 2,00
di	0.045	0.063	0.125	0.250	0.500	1.00	2.00
Di (%)	21.92	25.08	32.99	43.53	57.43	75.79	100.00
Amount (gr)	21.92	3.16	7.91	10.54	13.91	18.35	24.21

b. Komposisi Mortar Etil Silikat No. 1

Tabel 5.2 Komposisi mortar No. 1

Grain size	< 0,063	0,063 - 0,125	0,125 - 0,250	0,25 - 0,500	0,500 - 1,00	1,00 - 2,00
di	0.063	0.125	0.250	0.500	1.00	2.00
Di (%)	35.44	43.53	53.59	65.98	81.23	100.00
Amount (100 gr)	35.44	8.09	10.06	12.39	15.25	18.77
Amount (200 gr)	70.88	16.18	20.12	24.77	30.50	37.55

c. Komposisi Mortar Etil Silikat No. 2

Tabel 5.3 Komposisi mortar No. 2

Grain size	< 0,063	0,063 - 0,125	0,125 - 0,250	0,250 - 0,500	0,500 - 1,00
di	0.063	0.125	0.25	0.500	1.000
Di (%)	43.63	53.59	65.98	81.23	100.00
Amount (100 gr)	43.63	9.96	12.39	15.25	18.77
Amount (200 gr)	87.26	19.91	24.77	30.50	37.55

d. Komposisi Mortar Etil Silikat No 3

Tabel 5.4 Komposisi mortar No. 3

Grain size	0,063 - 0,125	0,125 - 0,250	0,25 - 0,500	0,500 - 1,00	1,00 - 2,00
di	0.125	0.250	0.500	1.00	2.00
Di (%)	43.53	53.59	65.98	81.23	100.00
Amount (100 gr)	43.53	10.06	12.39	15.25	18.77
Amount (200 gr)	87.06	20.12	24.77	30.50	37.55

Pada pembuatan benda uji mortar dipakai komposisi serbuk batu dari ukuran $\leq 0,063$ μm sampai ukuran terbesar adalah ukuran butiran yang tertahan di ayakan 1 mm. Akan tetapi butiran dengan ukuran > 2 mm dan $< 0,063$ tidak dipakai dalam pembuatan mortar ini karena faktor teknis yaitu daya ikat kurang baik dan kenampakan yang tidak mirip batu yang akan dikonservasi.

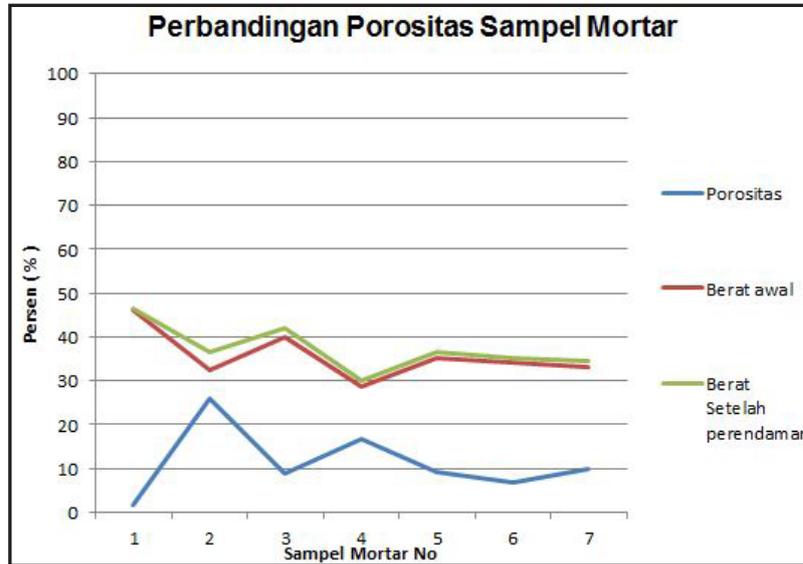
Selanjutnya dari komposisi tersebut kami membagi lagi mortar menurut campuran dengan bahan konsolidan dengan volume bahan konsolidan sebagai berikut :

Tabel 5.5 Komposisi mortar dengan bahan pengikat

No.	Komposisi	Konsolidan	Volume (ml)	Kode	Keterangan
1.	Komposisi 1	RC 90	25	1X	
2.	Komposisi 0	RC 90	30	2X	
3.	Komposisi 1	KSE 500	25	3X	
4.	Komposisi 2	KSE 500	25	4X	
5.	Komposisi 3	KSE 500	25	5X	
6.	Komposisi 2	KSE 500	25	6X	
7.	Komposisi 3	KSE 500	25	7X	

2. Hasil Pengujian

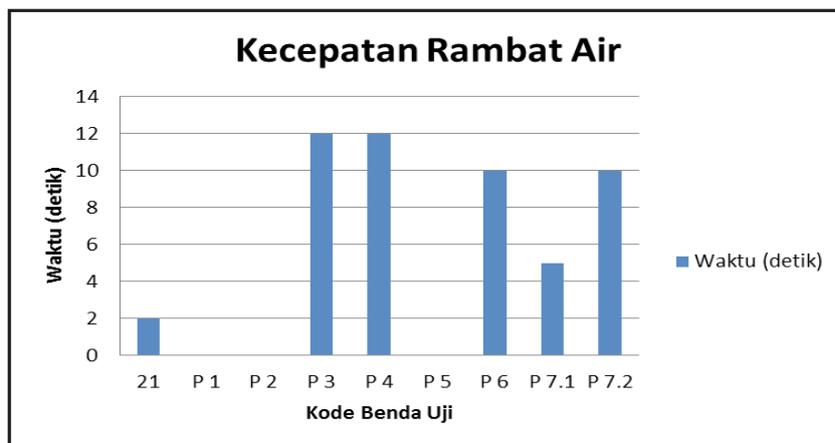
a. Hasil pengujian porositas



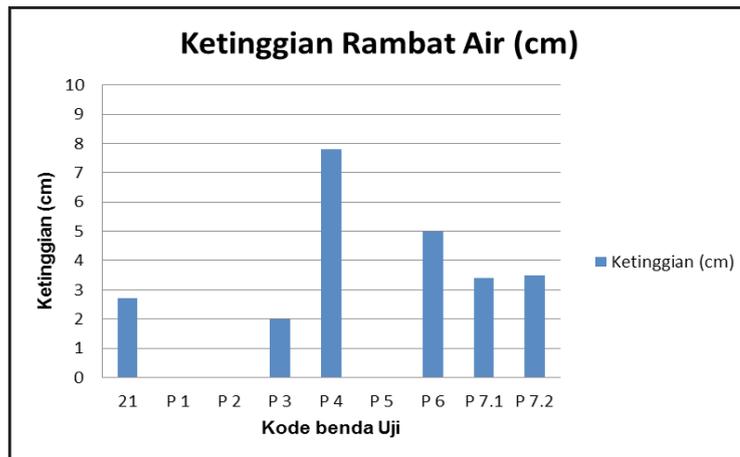
Grafik 5.1 Perbandingan Porositas Mortar

b. Hasil Pengujian Kapilarisasi

Hasil pengujian mortar selanjutnya adalah uji kapilarisasi mortar, yaitu uji kecepatan/cepat rambat air naik secara vertikal pada permukaan mortar. Pengujian ini dilakukan dengan mensimulasikan kondisi basah pada bagian bawah benda uji yaitu dengan menaruh tisu/kapas yang setebal ± 0.5 cm dan dibasahi. Kemudian benda uji ditaruh di atas tisu basah dan dihitung waktunya. Dalam pengujian ini penghitungan dilakukan dengan menghitung waktu (detik) sampai bagian basah mencapai ketinggian 1 cm dan yang kedua dilakukan dengan membatasi waktu selama 10 menit kemudian diukur seberapa tinggi rambatan air pada permukaan benda uji. Berikut grafik hasil pengujian tersebut.



Grafik 5.2 Kecepatan Rambat Air Sampai Ketinggian 1 cm



Grafik 5.3 Ketinggian Rambat Air Setelah 10 menit

c. Hasil Pengambilan Foto SEM

Pengujian terhadap mortar andesit etil silikat berikutnya adalah dengan mengambil gambar mikroskopis terhadap benda uji. Dari gambar ini dapat diketahui ukuran butiran/agregat penyusun mortar. Selain itu dapat juga diketahui adanya rongga/pori pada mortar sampel. Sehingga dari foto yang didapat dari pengambilan gambar dengan alat SEM ini bisa dipastikan bahwa mortar yang dibuat benar-benar terdapat rongga/pori yang dapat dilalui oleh air/udara. Sehingga tujuan membuat mortar berpori yang bisa bernapas tercapai dan mendekati sifat fisik dari batu aslinya.

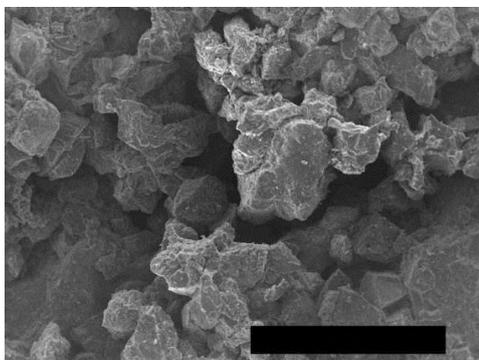


Foto 5.10 Foto Sampel Mortar 6.X

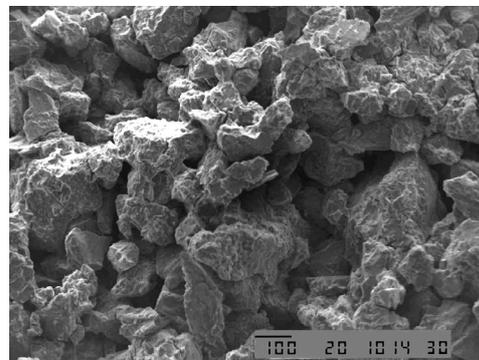


Foto 5.11 Foto Sampel Mortar 7.X

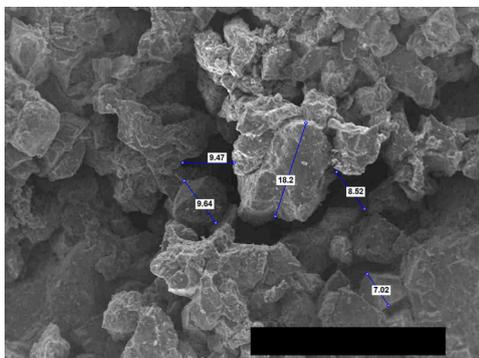


Foto 5.12 Sampel Mortar 6.X dengan skala

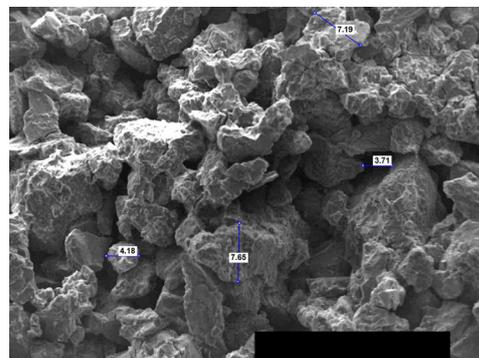


Foto 5.13 Sampel Mortar 7.X dengan skala

B. PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian porositas diketahui bahwa sampel mortar yang diujikan dapat menyerap air. Hal ini dibuktikan bahwa setelah dilakukan perendaman selama 24 jam terhadap sampel, berat sampel bertambah seperti terlihat pada gambar 2.1. Garis warna merah menunjukkan berat awal sampel dan garis warna hijau menunjukkan berat sampel setelah perendaman selama 24 jam. Selisih berat terkecil ada pada sampel no. 1 dengan selisih berat 0,4 gram dan selisih berat terbesar pada sampel no. 2 dengan selisih berat sebesar 4,3 gram. Demikian juga dapat diketahui bahwa nilai/angka porositas dari mortar etil silikat bervariasi dari nilai terkecil 1,66 % dan nilai terbesar 25,90 %. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa sampel mortar etil silikat bisa dilewati oleh air. Karena dari pembuktian uji porositas diketahui adanya penambahan berat dari benda uji setelah perendaman dengan air selama 24 jam.

Pengujian kapilarisasi terhadap mortar andesit etil silikat menunjukkan hasil bahwa air dapat merambat pada permukaan mortar uji dan dari hasil perhitungan waktu pada gambar 2.2. Ditunjukkan untuk mencapai ketinggian rambat 1 cm pada mortar uji dibutuhkan waktu rata-rata 10 detik. Waktu tercepat adalah 2 detik pada sampel mortar dengan kode 2.1 sedangkan waktu terlama pada sampel P3 dan P4 yaitu dengan waktu 12 detik. Sedangkan pada sampel kode P1, P2, dan P 5 tidak terlihat adanya rambatan air kapilarisasi.



Foto 5.14 Kapilarisasi pada Mortar

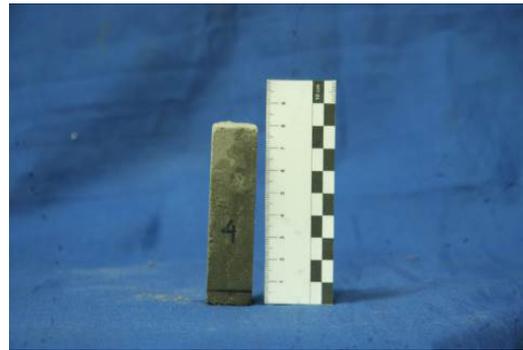


Foto 5.15 Ketinggian Kapilarisasi pada Mortar

Setelah pengujian kapilarisasi selama 10 menit didapat hasil benda uji dengan kode P4 mencapai rambat air kapilarisasi tertinggi yaitu setinggi 7,8 cm. Hal ini dimungkinkan ukuran pori di dalam sampel mortar sangat kecil sehingga air dapat merambat cukup tinggi hampir setinggi benda uji yaitu 8 cm. Sedangkan rambat air terendah pada benda uji dengan kode P3 dengan ketinggian 2 cm, dalam hal ini ukuran pori di dalam mortar sampel lebih besar sehingga air tidak bisa naik tinggi.

Pengambilan foto SEM pada sampel mortar berpori menunjukkan adanya lubang pori pada sampel dengan diameter bervariasi. Dari gambar foto SEM pada gambar 2.4 – gambar 2.7 terlihat bahwa ikatan antar butiran pada mortar cukup baik, demikian juga dengan etil silikat sebagai bahan pengikat dapat bekerja dengan baik mengikat butiran agregat mortar. Hal yang belum terlihat dari foto SEM adalah adanya jembatan penghubung (*bridge*) dari etil silikat yang mengikat antar butiran dan melewati lubang pori. Tetapi secara keseluruhan kajian ini telah berhasil membuat mortar batu andesit dengan pengikat etil silikat yang mempunyai sifat fisik mendekati batu asli yaitu adanya lubang/pori yang bisa dilewati air atau udara. Dan sifat dari mortar etil silikat ini tidak keras dan tidak lebih kuat dari batu asli sehingga bisa dilepas (*reversible*) apabila dalam pengaplikasiannya terjadi kesalahan.

Karena sifatnya yang tidak terlalu kuat mortar ini tidak bisa difungsikan sebagai penyambung batu pecah/patah. Mortar etil silikat bisa difungsikan sebagai pengisi celah retakan, pengisi celah nat batu, sebagai bahan kamufase, sebagai bahan pengisi lubang alveol dan untuk merestorasi bagian batu candi yang gempil.

III. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Penggunaan etil silikat sebagai bahan untuk konsolidasi berhasil merekonstruksi bubukan batu menjadi mortar andesit etil silikat.
2. Mortar andesit etil silikat yang dibuat mempunyai sifat fisik yang sama dengan batu yang ditangani (salah satunya adalah berpori dapat tembus udara atau air). Hal ini dibuktikan nilai porositas mortar andesit etil silikat rata-rata 6 – 16 %.
3. Nilai porositas tersebut mendekati dengan nilai porositas batu andesit pembanding dengan nilai porositas 4 - 8 %.
4. Kecepatan kapilarisasi pada mortar andesit etil silikat rata-rata adalah 0,5 cm/det.
5. Hasil foto SEM menunjukkan adanya ikatan etil silikat pada agregat dan adanya lubang (pori) yang dapat dilalui udara/ air.
6. Percobaan kuat geser tidak dilakukan karena penggunaan etil silikat pada campuran mortar mempunyai daya ikat yang lebih rendah dari bahan perekat.
7. Dengan daya ikat yang tidak terlalu kuat seperti bahan perekat memungkinkan mortar andesit etil silikat ini dilepas kembali.
8. Penggunaan mortar andesit etil silikat sebagai bahan pengisi (*filler*) retakan, pengisi lubang alveol, untuk kamufase penyambungan, penutupan nat antar batu, dan sebagai bahan *restore* batu yang pecah/ gempil sangat dimungkinkan.

B. SARAN

1. Mortar etil silikat sudah bisa dibuat menyerupai sifat fisik batu andesit yaitu adanya lubang/pori yang dapat dilalui air atau udara. Diharapkan dilakukan uji coba (*trial*) pada batu andesit biasa sebelum diaplikasikan pada batu candi asli.
2. Disarankan melakukan kajian penggunaan bahan pengikat lain selain etil silikat yang mempunyai sifat seperti etil silikat, karena bahan jadi seperti KSE 500 dan Rhodosil RC 90 sangat sulit didapatkan di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Groci, G .1998. *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*.UK and Boston USA. Computational Mechanics Publications.
- Leliek Agung H. dkk. 2013. *Studi Kajian Karakteristik Jenis-jenis Batu Penyusun Candi Borobudur*. Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Magelang.
- Aris Munandar. 2013. *Laporan Khusus Penelitian Bahan Injeksi Retakan Candi Siwa Prambanan*. Tidak dipublikasikan. Yogyakarta.
- Torraca. G. 1982. *Porous Building Materials Science for Architectural Conservation*. ICCROM. Rome.
- Selwitz, Charles. *Epoxy Resin in stone Conservation*. The Getty Conservation Institute. USA.
- http://idn.sika.com/en/solutions_products/02/02a024/02a024sa01/02a024sa01100/02a024sa01105.html, Browsing dan download tanggal 8 Mei 2015; 10.15.
- <http://klikisma.com/2015/05/ccontoh-pelapukan-fisik.html>, Februari 9 2016, 11:50.

6 MINYAK ATSIRI UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA BERBAHAN BATU

Oleh :

Sri Wahyuni, Sugiyono, Winda Diah Puspita Rini, Arif Gunawan

ABSTRAK

Lumut kerak merupakan simbiosis antara jamur (fungi) dan ganggang (alga). Lumut kerak merupakan organisme yang sangat kuat untuk bertahan hidup karena dapat hidup pada cuaca panas yang sangat terik dan tahan terhadap kekurangan air dalam jangka yang panjang. Lumut kerak memiliki sifat endolitik, mampu hidup pada bagian pinggir-pinggir batuan. Lumut kerak yang hidup pada batuan menyebabkan batuan mengalami pelapukan.

Salah satu upaya penanganan lumut kerak menggunakan bahan kimia AC 322, oleh sebab itu dilakukan upaya pengembangan bahan konservan alternatif. Balai Konservasi Borobudur memulai mengembangkan metode serta teknik konservasi berbasis penggunaan bahan tradisional, salah satunya minyak atsiri. Minyak atsiri dapat digunakan sebagai pestisida nabati. Penggunaan pestisida nabati selain dapat mengurangi pencemaran lingkungan, harga relatif lebih murah apabila dibandingkan dengan pestisida kimia sintetik.

*Minyak atsiri yang digunakan dalam kajian ini minyak atsiri nilam, temulawak dan terpentin. Pengujian dilakukan skala laboratorium dan lapangan. Pengujian skala laboratorium lumut kerak dipisahkan antara jamur dan ganggang. Jamur hasil identifikasi jamur *Penicillium sp* dan ganggang *chroococcus*.*

*Kajian pada tahap I ini percobaan laboratorium hanya sebatas pengujian efektifitas minyak atsiri terhadap jamur *Penicillium* dengan menggunakan metode difusi agar. Variasi konsentrasi minyak atsiri yang digunakan yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Minyak Atsiri nilam, temulawak dan terpentin berdasarkan percobaan laboratorium dapat menghambat pertumbuhan jamur *Penicillium sp* dari lumut kerak. Pengujian efektifitas minyak nilam, diameter zona hambat terbesar 20,5 mm pada konsentrasi 50%. Pengujian efektifitas minyak temulawak, konsentrasi uji terbesar 50% mampu menghambat pertumbuhan jamur dengan diameter zona hambat sebesar 16 mm. Pengujian efektifitas minyak terpentin, konsentrasi optimum yang dicapai sebesar 30% dengan diameter zona hambat sebesar 23,5 mm. Berturut-turut tingkat keefektifan berdasarkan diameter zona hambatnya adalah minyak atsiri terpentin, nilam, dan temulawak.*

Pengujian minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin terhadap lumut kerak skala lapangan dilakukan dengan cara penyemprotan. Hasil percobaan lapangan menunjukkan efektif dengan parameter pengamatan secara visual maupun foto terjadi perubahan warna dari hijau menjadi kecoklatan. Lumut kerak (lichen) berbentuk segar menjadi layu/kering. Secara berurutan tingkat keefektifan minyak atsiri terhadap tingkat layu lumut kerak adalah minyak nilam, temulawak, dan terpentin.

Kata kunci : Lumut Kerak, Pelapukan Batuan, Minyak Atsiri

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Cagar budaya berbahan batu banyak ditemui di dunia. Di bumi pertiwi Indonesia sering kita jumpai dalam berbagai macam jenis, bentuk, dan ukuran. Cagar budaya berbahan batu banyak kita jumpai berupa bangunan/candi dan juga artefak baik dalam bentuk menhir, arca, dakon, dll. Cagar budaya berbahan batu terletak di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Cagar budaya yang terletak di luar ruangan sangat rentan terhadap kerusakan dan pelapukan. Kerusakan dan pelapukan benda cagar budaya dapat disebabkan oleh faktor internal dari material penyusun benda itu sendiri maupun faktor eksternal dari lingkungan benda itu berada.

Jenis kerusakan dan pelapukan terdiri dari fisik, kimia, dan biologi. Pelapukan yang terjadi pada cagar budaya berbahan batu akibat faktor biologi disebabkan oleh pertumbuhan ganggang (*algae*), lumut (*moss*), dan lumut kerak (*lichen*).

Lumut kerak (*lichen*) merupakan mikroorganisme yang sangat kuat menempel pada batuan dibandingkan dengan lumut atau ganggang. Lumut kerak dapat hidup di permukaan batuan sehingga menyebabkan batuan menjadi lapuk.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk menangani lumut kerak selama ini menggunakan bahan kimia AC 322. Komponen AC 322 sendiri terdiri dari amonium bikarbonat, sodium bikarbonat, disodium salt EDTA, CMC, Arkopal, dan air.

Bahan AC 322 merupakan satu-satunya bahan yang digunakan dalam menangani permasalahan lumut kerak yang menempel pada permukaan batu. Oleh sebab itu upaya pengembangan bahan konservan sebagai alternatif lain untuk penanganan permasalahan lumut kerak perlu dipikirkan.

Balai Konservasi Borobudur memulai mengembangkan metode serta teknik konservasi berbasis penggunaan bahan tradisional. Salah satu usaha yang dilakukan untuk menangani permasalahan lumut kerak dengan menggunakan minyak atsiri. Minyak atsiri dapat digunakan sebagai pestisida nabati. Penggunaan pestisida nabati selain dapat mengurangi pencemaran lingkungan, harga relatif lebih murah apabila dibandingkan dengan pestisida kimia sintetik (Sudarmo, 2005).

Minyak atsiri banyak tersedia di alam. Berbagai macam minyak atsiri sudah banyak digunakan sebagai bahan anti jamur. Oleh sebab itu tahun 2015 ini dilakukan kajian untuk mengetahui efektifitas minyak atsiri jika diaplikasikan pada cagar budaya berbahan batu (andesit) dalam menghambat pertumbuhan lumut kerak pada cagar budaya berbahan batu andesit. Adapun minyak atsiri yang akan digunakan dalam kajian ini adalah minyak atsiri nilam, minyak temulawak, dan minyak terpentin untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak.

B. TUJUAN

Adapun tujuan dari kajian ini adalah :

1. Mengetahui jenis jamur dan ganggang dari lumut kerak.
2. Mengetahui komponen senyawa kimia minyak atsiri dari nilam, temulawak, dan terpentin.
3. Mengetahui efektifitas minyak atsiri dari nilam, temulawak, dan terpentin untuk menghambat pertumbuhan jamur dari lumut kerak.
4. Mengetahui konsentrasi dan lama pengaplikasian yang tepat untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak.

C. RUANG LINGKUP

Adapun ruang lingkup kajian ini adalah jamur dari lumut kerak pada cagar budaya berbahan batu andesit. Bahan yang digunakan adalah minyak atsiri nilam, minyak atsiri temulawak, dan minyak atsiri terpentin.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. ALAT DAN BAHAN

Peralatan yang dibutuhkan dalam kajian ini adalah :

- Autoklaf merk Tomy
- Cawan petri
- Jarum ose
- Preparat kaca
- Mikroskop
- Centrifuge merk Hermle
- Bunsen
- Plastik
- Inkubator tipe MFI-250
- Vertikal Laminar Flow merk Esco
- Gelas beker
- Scapel
- Oven merk Binder
- Tabung erlenmeyer
- Labu takar
- Pensil air

Bahan yang digunakan dalam kajian ini adalah :

- Minyak nilam
- Minyak temulawak
- Minyak terpentin
- Tween 80
- CDA (*Czapex Dox Agar*)
- Medium pembiakan *alga* BG 11
- Akuades

B. CARA KERJA PENELITIAN

1. Isolasi Jamur dari Lumut Kerak

a. Pengambilan sampel lumut kerak

Pengambilan sampel lumut kerak segar pada permukaan batu andesit dengan menggunakan alat scapel yang telah disterilkan. Untuk menghindari kontaminan mikroorganisme lain dilakukan dengan cara pengerikan pada permukaan saja.

Lumut kerak terdiri atas jamur dan ganggang, dapat dipisahkan dengan menggunakan sentrifuge kecepatan 350 rpm selama 30 menit. Hasil pemisahan pada bagian bawah diperkirakan merupakan ganggang sedangkan pada bagian atas jamur.

b. Pemiakan jamur

Jamur hasil pemisahan lumut kerak kemudian dimasukkan dalam cawan petri steril dan dibiakkan dalam medium CDA menggunakan metode *pour plate* dibiarkan selama 1 minggu hingga terbentuk koloni. Setelah terbentuk koloni, dipilih satu jenis jamur yang tumbuh dominan. Jamur yang tumbuh dominan dari hasil pemisahan lumut kerak berwarna putih dan sebagai jamur penyusun lumut kerak. Biakan jamur tersebut kemudian diisolasi pada media agar miring dan dilakukan pengidentifikasian jenis jamur dengan menggunakan mikroskop.



Foto 6.1 Koloni Jamur



Foto 6.2 Isolasi Jamur

c. Pembiakan ganggang

Endapan hasil pemisahan lumut kerak dengan menggunakan sentrifuge dengan kecepatan 350 rpm selama 30 menit kemudian dimasukkan dalam medium BG 11 dan diamati pertumbuhannya.

Proses pembiakan ganggang sangat lambat sehingga menunggu berbulan-bulan. Penggantian medium dilakukan setiap 1 bulan sekali.

Pembuatan medium BG 11

- | | |
|--|---|
| - Ditimbang NaNO_3 sebesar 1,5 gram | - Dilarutkan dalam 1000 ml akuades |
| - Ditimbang $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0,04 gram | - Dicek pH 7,4 |
| - Ditimbang $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0,075 gram | - Dipanaskan dalam alat pemanas/ <i>hot plate</i> aduk hingga mendidih |
| - Ditimbang $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0,036 gram | - Disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm selama 15 menit. |
| - Ditimbang Citric Acid sebesar 0,006 gram | |
| - Ditimbang Ferric ammonium citrate sebesar 0,006 gram | ❖ Trace metal solution terdiri dari H_3BO_3 , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{Mo}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |
| - Ditimbang EDTA (Na_2MgSalt) sebesar 0,001 gram | |
| - Ditimbang Na_2CO_3 sebesar 0,02 gram | |
| - Ditambahkan <i>Trace Metal Solution</i> sebesar 1,0 ml/liter | |

2. Uji Penghambatan Minyak Atsiri Nilam, Temulawak, dan Terpentin terhadap Jamur dari Lumut Kerak dengan menggunakan Metode Difusi Kertas Saring

Efektifitas minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin dalam menghambat pertumbuhan jamur dari lumut kerak dilakukan dengan menggunakan metode difusi kertas saring. Cara pengujian sebagai berikut :

- Disiapkan kertas saring berukuran 7 mm yang telah disterilkan.
- Dichelupkan kertas saring tersebut masing-masing dalam minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin pada berbagai variasi konsentrasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.

- Diamkan kertas saring selama 15 menit hingga jenuh.
- Diambil spora jamur dalam akuades yang telah disterilkan sebanyak 1 ml dan dimasukkan dalam cawan petri yang sudah steril untuk menghindari kontaminan.
- Dituangkan medium CDA ke dalam cawan petri yang berisi spora jamur dan diputar-putar untuk meratakan spora jamur pada permukaan cawan petri.
- Setelah medium menjadi padat, diletakkan secara aseptik kertas saring yang telah dijenuhkan dalam masing-masing minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin pada berbagai variasi konsentrasi di atas lapisan agar. Sebagai kontrol digunakan kertas saring yang tidak diberi perlakuan.
- Diinkubasikan pada suhu 25°C selama 3 X 24 Jam.
- Diamati dan diukur diameter zona hambatnya dengan menggunakan penggaris atau jangka sorong.

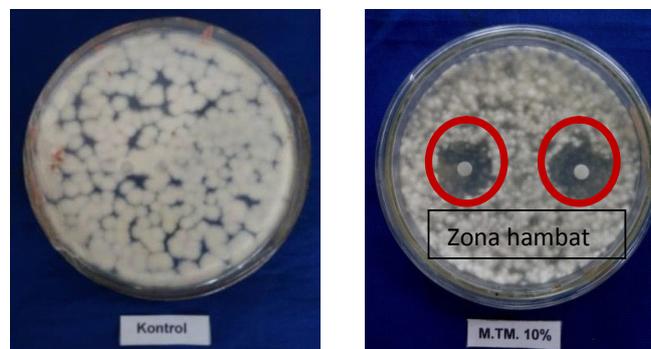


Foto 6.3 Metode difusi kertas saring

3. Pengujian Lapangan

Pengujian di lapangan dilakukan pada permukaan batu yang ditumbuhi lumut kerak. Pengujian dengan menggunakan 3 macam minyak atsiri pada berbagai variasi konsentrasi. Minyak atsiri yang digunakan untuk pengujian adalah minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin. Adapun variasi konsentrasi yang diujikan meliputi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Sebagai kontrol digunakan lumut kerak pada batu yang tidak diberi perlakuan. Pengaplikasian minyak atsiri pada permukaan batu yang ditumbuhi lumut kerak dengan cara penyemprotan hingga jenuh. Metode penyemprotan dipilih untuk memudahkan dalam pengaplikasian dan larutan yang digunakan lebih efisien dibandingkan dengan cara pengolesan. Pengamatan dilakukan sebelum pengaplikasian dan setelah pengaplikasian. Pengamatan dilakukan 24 jam setelah dilakukan penyemprotan minyak atsiri serta diamati selama 6 hari. Pengamatan dilakukan secara visual dengan mengamati perubahan warna pada lumut kerak (*lichen*) setelah pengaplikasian minyak atsiri dengan berbagai macam variasi konsentrasi dan waktu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. IDENTIFIKASI JENIS LUMUT KERAK

Lumut kerak (*lichen*) merupakan simbiosis antara jamur dan ganggang. Identifikasi lumut kerak (*lichen*) secara langsung sangat sulit dilakukan oleh sebab itu pengidentifikasian dilakukan secara terpisah antara jamur dan ganggang.



Foto 6.4 Lumut Kerak

- **Identifikasi jamur hasil isolasi**

Identifikasi jamur hasil isolasi dilakukan dengan cara pengamatan menggunakan mikroskop pada biakan jamur yang diperoleh dari seleksi koloni yang telah dibiakkan pada preparat. Pengamatan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 100x, 400x, dan 1000x. Hasil identifikasi terhadap jamur pada lumut kerak adalah *Penicillium sp.*



Foto 6.5 Jamur



Foto 6.6 Jamur perbesaran 1000x

Adapun klasifikasi jamur *Penicillium* sebagai berikut :

Domain	: <i>Eucarya</i>
Kingdom	: <i>Fungi</i>
Phyllum	: <i>Ascomycota</i>
Kelas	: <i>Ascomycetes</i>
Ordo	: <i>Eurotiales</i>
Famili	: <i>Trichocomaceae</i>
Genus	: <i>Penicillium</i>
Spesies	: <i>Penicillium sp</i>

(Sumber alexopoulus et all.introductory mycoloy, 1996).

Jenis jamur *Penicillium* memiliki ciri bersel banyak, konidia yang dihasilkan berantai, bersekat, dan berhifa. *Penicillium* dapat berkembang pada material bangunan maupun pada tanah yang mengandung nutrisi untuk pertumbuhannya. *Penicillium* dapat tumbuh pada kelembaban yang relatif rendah.

- **Identifikasi ganggang hasil isolasi**

Identifikasi ganggang dilakukan dengan pengamatan menggunakan mikroskop pada ganggang yang telah dibiakkan dalam media BG 11. Pengamatan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 400x dan 1000x.



Foto 6.7 Alga pada lichen

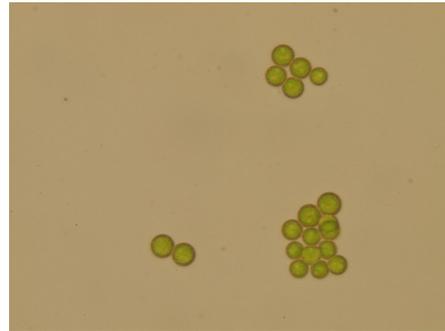


Foto 6.8 Ganggang perbesaran 1000x

Ganggang berbentuk butiran pada gambar 3.5 dan 3.6 berwarna hijau termasuk dalam ganggang *chroococcus* yang memiliki ciri bersel satu, berbentuk bulat, tidak berkoloni, dan termasuk dalam *Cyanobacteria*.

Klasifikasi ganggang pada gambar sebagai berikut :

Phyllum : *Cyanophyta*
 Class : *Cyanophyceae*
 Order : *Chroococcales*
 Family : *Chroococcaceae*
 Genus : *Chroococcus*
 Species : *Chroococcus sp*

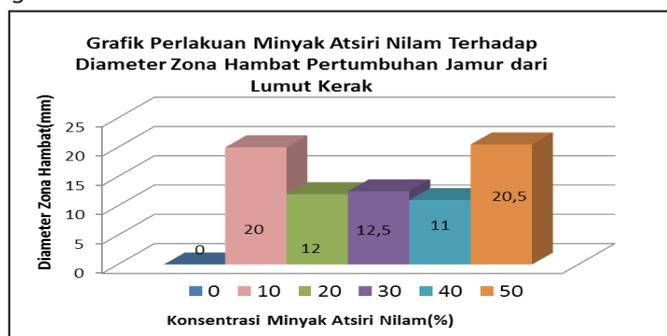
(Freshwater Algae Edward G. Bellinger and Dvid V.C. Sigege, 2010).

B. PENGUJIAN EFEKTIFITAS MINYAK ATSIRI SEBAGAI ANTI JAMUR SKALA LABORATORIUM DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFUSI AGAR

Pengujian Efektifitas anti jamur dengan menggunakan metode difusi dilakukan dengan cara merendam kertas saring ke dalam berbagai variasi konsentrasi minyak atsiri 10%, 20%, 30%, 40 %, dan 50 % selama 15 menit. Kertas saring yang telah dijenuhkan dalam minyak atsiri kemudian diletakkan pada bagian samping cawan petri yang telah berisi biakan jamur yang telah diisolasi kemudian diinkubasikan pada suhu 25°C selama 3 X 24 jam. Efektifitas anti jamur minyak atsiri dapat dilihat dari daya hambat pada daerah yang tidak ditumbuhi jamur dengan mengukur diameter zona hambat pada bagian di sekitar area kertas saring yang telah dijenuhkan dalam minyak atsiri.

1. Pengujian Efektifitas Minyak Atsiri Nilam

Hasil pengujian efektifitas anti jamur minyak atsiri nilam dengan berbagai variasi konsentrasi menggunakan metode difusi agar terhadap jamur dari lumut kerak (*lichen*) disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Grafik 6.1 Grafik Perlakuan Minyak Atsiri Nilam terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Jamur dari Lumut Kerak

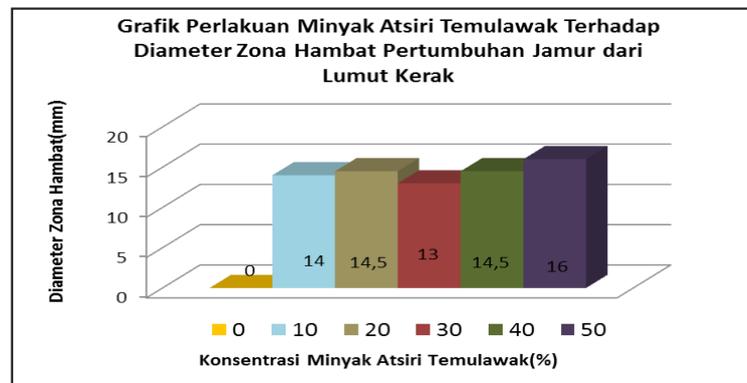
Berdasarkan hasil pengujian skala laboratorium efektifitas anti jamur minyak atsiri nilam dengan konsentrasi 10% menunjukkan diameter zona hambat yang besar 20 mm sedangkan diameter zona hambat terbesar 20,5 mm pada konsentrasi 50%. Dari grafik di atas terlihat bahwa dengan konsentrasi yang semakin besar peningkatan diameter zona hambat tidak berpengaruh. Minyak nilam hanya terlihat dapat menghambat pertumbuhan jamur dari lumut kerak.

Berdasarkan hasil analisis Kromatografi Gas-Spektro Massa (KG-SM) minyak atsiri nilam terlihat 25 puncak yang terdeteksi. Masing-masing puncak memiliki waktu retensi dan persentase (%) komponen. Komponen utama senyawa kimia minyak atsiri nilam adalah patchouli alcohol 24,62 % area, Δ -Guaiene 17,07 % area, α -Guaiene 13,62 % area, dan α -Patchoulene 8,76 % area.

Patchouli alkohol merupakan senyawa seskuiterpen alkohol tersier trisiklik yang mempunyai gugus OH dan 4 gugus metil (Bulan et al, 2000). Menurut El-Shazly dan Hussein (2004) menyatakan bahwa senyawa seskuiterpen alkohol dari minyak atsiri sangat menentukan aktivitas membran sel dari jamur. Hasil percobaan laboratorium dan analisis KG-SM memperkuat bahwa minyak nilam dapat digunakan sebagai bahan anti jamur.

2. Pengujian Efektifitas Minyak Atsiri Temulawak

Hasil pengujian efektifitas anti jamur minyak atsiri temulawak dengan berbagai variasi konsentrasi menggunakan metode difusi agar terhadap jamur pada lumut kerak (*lichen*) disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Grafik 6.2 Grafik Perlakuan Minyak Atsiri Temulawak terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Jamur dari Lumut Kerak

Berdasarkan hasil pengujian skala laboratorium efektifitas anti jamur minyak atsiri temulawak dengan konsentrasi yang semakin besar diameter zona hambat tidak mengikuti pola kenaikan. Larutan minyak atsiri temulawak konsentrasi 10% mampu menghambat pertumbuhan jamur di sekitar kertas saring uji dengan diameter zona hambat 14 mm sedangkan konsentrasi uji terbesar 50% mampu menghambat pertumbuhan jamur dengan diameter zona hambat sebesar 16 mm.

Berdasarkan hasil pengamatan diameter pertumbuhan jamur, grafik di atas menunjukkan efektifitas minyak atsiri temulawak dapat membunuh jamur *Penicillium* dari lumut kerak.

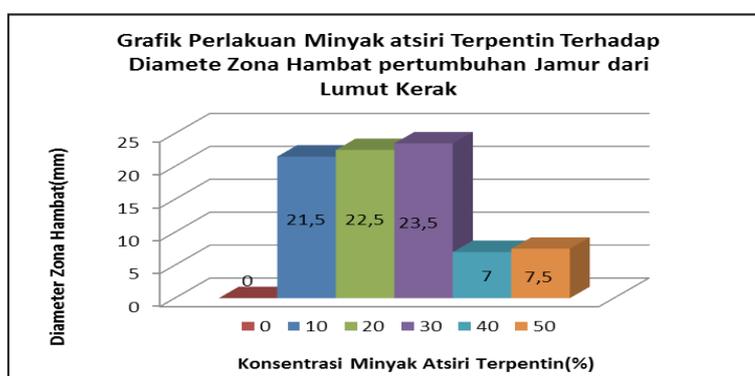
Berdasarkan hasil analisis Kromatografi Gas-Spektro Massa (KG-SM). Minyak atsiri dan temulawak terlihat 30 puncak yang terdeteksi. Masing-masing puncak memiliki waktu

retensi dan persentase (%) komponen. Komponen utama senyawa kimia minyak atsiri temulawak adalah Longipinene 27,15 % area, α -Curcumene 20,55 % area, Phenol 13,37 % area, dan Camphor 9,79 % area.

Hasil percobaan laboratorium sebanding dengan hasil analisis menggunakan KG-SM dalam minyak atsiri temulawak terdapat senyawa kurkumin sebesar 20,55 %. Senyawa kurkumin terdiri dari gugus hidroksi fenolik dan gugus β -diketon yang berfungsi sebagai anti jamur.

3. Pengujian Efektifitas Minyak Atsiri Terpentin

Hasil pengujian efektifitas anti jamur minyak atsiri terpentin dengan berbagai variasi konsentrasi menggunakan metode difusi agar terhadap jamur pada lumut kerak/*lichen* disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Grafik 6.3 Grafik Perlakuan Minyak Atsiri Terpentin terhadap Diameter Zona Hambat Pertumbuhan Jamur dari Lumut Kerak

Berdasarkan hasil pengujian skala laboratorium efektifitas anti jamur minyak atsiri terpentin dengan konsentrasi yang semakin besar diameter zona hambat tidak menunjukkan pola peningkatan. Konsentrasi minyak atsiri terpentin 10% sudah menunjukkan diameter zona hambat yang besar 21,5 mm terhadap pertumbuhan jamur. Konsentrasi optimum yang dicapai sebesar 30% dengan diameter zona hambat sebesar 23,5 mm.

Berdasarkan hasil analisis Kromatografi Gas-Spektra Massa (KG-SM) minyak atsiri temulawak terlihat 15 puncak yang terdeteksi. Masing-masing puncak memiliki waktu retensi dan % komponen. Komponen utama senyawa kimia minyak atsiri terpentin adalah α - Pinen 64,63 % area, Δ -3-Carene 19,57 % area, dan β -Pinen 4,74 % area.

Menurut M.Roman-Aquirre(2005) dalam Jurnal teknik Kimia USU sintesis α -pinen menjadi α -terpineol banyak digunakan dalam industri farmasi sebagai anti jamur, anti serangga, dan disinfektan.

Minyak Atsiri terpentin memiliki senyawa utama yaitu α -pinen yang bersifat sebagai anti jamur. Dari percobaan laboratorium terbukti efektif sebagai anti jamur dengan adanya daya bunuh terhadap jamur.

C. PENGUJIAN EFEKTIFITAS MINYAK ATSIRI UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN LUMUT KERAK SKALA LAPANGAN

Pengujian efektifitas pembersihan lumut kerak (*lichen*) menggunakan minyak atsiri pada berbagai variasi konsentrasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dilakukan dengan cara penyemprotan.

Waktu pengamatan pengujian efektifitas penghambatan pertumbuhan minyak atsiri setiap 24 jam selama 6 hari. Pengukuran efektifitas penghambatan dengan cara pengamatan setiap hari secara visual melalui gambar/foto.

1. **Pengujian Efektifitas Minyak Atsiri Nilam untuk menghambat Pertumbuhan Lumut Kerak**

Percobaan lapangan terhadap pengujian efektifitas minyak atsiri nilam pada berbagai variasi konsentrasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Percobaan pengaplikasian bahan konservan berupa minyak atsiri nilam dengan cara penyemprotan hingga jenuh pada area batu yang ditumbuhi jamur kerak (*lichen*). Pengamatan dilakukan dengan durasi waktu 24 jam selama 6 hari. Variabel pengukuran efektifitas minyak atsiri untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak dengan cara pengamatan berupa pendokumentasian berupa gambar/foto. Hasil pengamatan secara visual dan pendokumentasian berupa gambar/foto menunjukkan adanya perbedaan warna dari hari 1 sampai hari ke 6 setelah pengaplikasian bahan minyak atsiri nilam.



Foto 6.9 Perubahan Sebelum dan Setelah Pengaplikasian Minyak Atsiri

Dari gambar di atas terlihat bahwa konsentrasi 10% pada hari ke 2 setelah perlakuan sudah menunjukkan adanya perubahan warna dari hijau menjadi kecoklatan. Keefektifan bahan konservan minyak atsiri nilam ditunjukkan secara visual dengan adanya perubahan warna lumut kerak menjadi layu. Minyak atsiri nilam dengan konsentrasi 10% dengan lama waktu 2 hari setelah pengaplikasian sudah menunjukkan perubahan.

2. **Pengujian Efektifitas Minyak Atsiri Temulawak untuk Menghambat Pertumbuhan Lumut Kerak**

Percobaan lapangan terhadap pengujian efektifitas minyak atsiri temulawak pada berbagai variasi konsentrasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Percobaan pengaplikasian bahan konservan minyak atsiri temulawak dengan cara penyemprotan hingga jenuh pada area batu yang ditumbuhi jamur kerak. Pengamatan dilakukan dengan durasi waktu 24 jam selama 6 hari. Variabel pengukuran efektifitas minyak atsiri untuk menghambat pertumbuhan lumut kerak dilakukan dengan pengamatan berupa pendokumentasian berupa gambar/foto.



Foto 6.10 Perubahan Sebelum dan Setelah Pengaplikasian Minyak Atsiri

Hasil pengamatan secara visual dan pendokumentasian berupa gambar/foto menunjukkan adanya perbedaan warna dari hari 1 sampai hari ke 6 setelah pengaplikasian bahan konservan minyak atsiri temulawak. Dari gambar di atas terlihat bahwa konsentrasi 10 % pada hari ke 4 setelah perlakuan sudah menunjukkan adanya perubahan warna dari hijau menjadi kecoklatan. Keefektifan bahan konservan minyak atsiri temulawak ditunjukkan secara visual dengan adanya perubahan warna lumut kerak menjadi layu. Minyak atsiri temulawak dengan konsentrasi 10% dengan lama waktu 4 hari setelah pengaplikasian sudah menunjukkan perubahan. Waktu maksimal ditunjukkan pada hari ke 6 setelah pengaplikasian bahan minyak atsiri temulawak dengan konsentrasi 10%.

3. Pengujian Efektifitas Minyak Atsiri Terpentin untuk Menghambat Pertumbuhan Lumut Kerak

Percobaan lapangan terhadap pengujian efektifitas minyak atsiri terpentin pada berbagai variasi konsentrasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Percobaan di lapangan dengan cara penyemprotan hingga jenuh pada area batu yang ditumbuhi jamur kerak (*lichen*). Pengamatan dilakukan dengan durasi waktu 24 jam selama 6 hari. Variabel pengukuran efektifitas minyak atsiri untuk menghambat pertumbuhan jamur kerak dilakukan dengan pengamatan berupa pendokumentasian berupa gambar/foto.

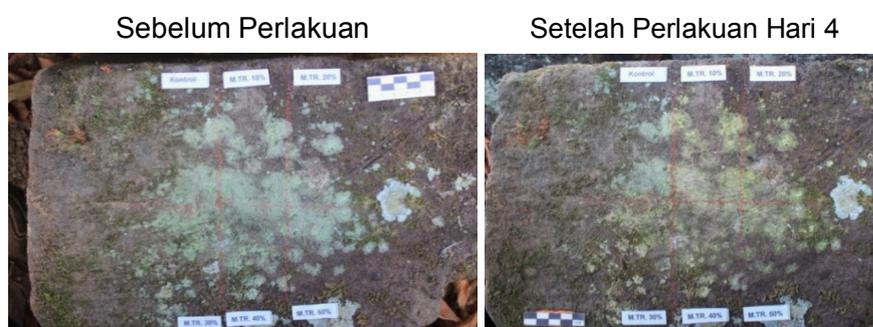


Foto 6.11 Perubahan Sebelum dan Setelah Pengaplikasian Minyak Atsiri

Hasil pengamatan secara visual dan pendokumentasian berupa gambar/foto menunjukkan adanya perbedaan warna dari hari 1 sampai hari ke 6 setelah pengaplikasian bahan konservan minyak atsiri terpentin. Dari gambar di atas terlihat bahwa konsentrasi 10 % pada hari ke 4 setelah perlakuan sudah menunjukkan adanya perubahan warna dari hijau menjadi agak kecoklatan. Keefektifan bahan konservan minyak atsiri terpentin ditunjukkan secara visual dengan adanya perubahan warna lumut kerak menjadi layu. Minyak atsiri terpentin dengan konsentrasi 10% dengan lama waktu 4 hari setelah pengaplikasian sudah menunjukkan perubahan. Waktu maksimal ditunjukkan pada hari ke 6 setelah pengaplikasian bahan minyak atsiri terpentin dengan konsentrasi 10 %.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan laboratorium dan lapangan uji efektifitas minyak atsiri terhadap pertumbuhan lumut kerak (*lichen*) pada batu diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Lumut kerak (*lichen*) merupakan simbiosis antara jamur dan ganggang. Pengidentifikasian salah satu jenis lumut kerak pada batu Candi Borobudur dengan cara identifikasi antara jamur dan ganggang. Jamur hasil identifikasi merupakan *Penicillium sp* sedangkan ganggang hasil identifikasi merupakan *chroococcus sp*.
2. Komponen utama minyak atsiri nilam adalah Patchouli Alcohol 24,62 % area, Δ -Guaiene 17,07 % area, α -Guaiene 13,62 % area, dan α -Patchoulene 8,76 % area.
3. Komponen utama minyak atsiri temulawak adalah Longipinen 27,15 % area, α -Curcumene 20,55 % area, Phenol 13,37 % area, dan Camphor 9,79 % area.
4. Komponen utama minyak atsiri terpentin adalah α - Pinen 64,63 % area, Δ .3-Carene 19,57 % area, dan β -Pinen 4,74 % area.
5. Minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin berdasarkan percobaan laboratorium dapat menghambat pertumbuhan jamur *Penicillium sp* dari lumut kerak. Secara berurutan tingkat keefektifan berdasarkan diameter zona hambatnya adalah minyak atsiri terpentin, nilam dan temulawak.
6. Pengujian minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin terhadap lumut kerak skala lapangan menunjukkan efektif dengan parameter pengamatan secara visual maupun foto terjadi perubahan warna dari hijau menjadi kecoklatan. Lumut kerak (*lichen*) segar menjadi layu/kering. Secara berurutan tingkat keefektifan minyak atsiri terhadap tingkat layu lumut kerak adalah minyak nilam, temulawak, dan terpentin.

B. SARAN

Berdasarkan kajian yang sudah dilakukan, saran yang diajukan dalam rangka penyempurnaan kajian berikutnya adalah:

1. Perlu dicari metode dan media yang tepat untuk membiakkan ganggang dari lumut kerak.
2. Perlu percobaan efektifitas minyak atsiri nilam, temulawak, dan terpentin terhadap pertumbuhan ganggang dari lumut kerak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexopoulus et all. 1996. *Introductory Mycology*.
- Ali NA, Martina W, N Arnold, U Lindequist, L Wessjohan. 2008. *Essential Oil Composition from Oleogum Resin of *Soqotraen Commiphora* kua*, Rec. Nat. Prod. 2 (3) : 70-75.
- Asthuti, M.M.M, Simiartha, K, Susila, I.W, Wirya, C.N.A.S, Sudiarta, I.P. 2012. *Efikasi Minyak Atsiri Cengkeh (*Syzygium Aromaticum* L, Meer & Perry), Pala (*Myristica Fragrans* Houutt), dan Jahe (*Zingiber Officinale* Rosc) terhadap Mortalitas Ulat Bulu Gempinis dari family Lymantriidae*. J.Agric. Sci. And Biotechnol. Vol. 1, No 1. ISSN : 23020-113.
- Burt, s. 2007. *Antibacterial Activity of Essential Oils: Potential Application in Food*. Ph.d. Thesis. Institute for Risk Assesment Sciences, Divition of Veterinary Medicine, Public Health. Utrecht University.
- Chakrapani. P, vankatesh K, Singh, B.C.S, Jyothi, B.A. Kumar, P, Amareshwari, P, Rani, A.R. 2013. *Phytochemical, Pharmacological Importance of Patchouli (*Pogostemon Cablin* (Blanco) Benth) an Aromatic Medicinal Plant*, Int. J. Pharm. Science, rev. Res, 21 (2) : 7-12.
- Croci, Giorgio. 1989. *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, Computational Mechanics Publication Southmpton, UK and Boston, USA.
- Doyle, M.P. and Muggall, W.S. 1980. *Experimenttal Organic Chemistry*. John Wiley & Sons, New York.
- Dyah Y. 2015. *Uji Efektifitas Minyak Atsiri Cengkeh untuk Menghambat Pertumbuhan Lumut Kerak (*Lichenes*) pada Cagar Budaya Batu*, FMIPA Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Edward G. Bellinger and David V C.Sigee. 2010. *Freshwater Algae*.
- Jawetz, E, Melnick, G.E, dan Adlberg, C.A. 2001. *Mikrobiologi Kedokteran Ed-1*. Diterjemahkan oleh Penerjemah Bagian Mikrobiologi Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga Salemba Medika, Surabaya.
- Ketaren, S. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Balai Pustaka, Jakarta.
- Parwata IMO, P. Fanny SD. *Isolasi dan Uji Aktivitas Antibakteri Minyak Atsiri dari Rimpang Lengkuas (*Alpinia galaga* L)*. Jurnal Kimia, 2008: 2(2): 100-4.
- Pelezar, M.J. dan r.D. Ries. 1982. *Microbiology*. Tata McGraw Hill Book Co. Ltd, New Delhi.
- Prescott, L M, Harley JP, Klern D A. 1999. *Microbiology 4th ed*. The MC Grow Hill, USA.
- Price, T.D & Borton, J.H, 2011, An. *Introduction to Archeological Chemistry*, Springer, New York.
- Rahmi, M.J, Adel Z, Yuharmea, 2014. *Perbandingan Isolasi Minyak Atsiri Daun Nilam (*Pogostemon Cablin* Benth) Metode Hidrodistilasi Konvensional dan Hidrodistilasi Oven Microwave Disertai Uji Aktivitas Antimikroba*. Jurnal FMIPA Universitas Riau, Volume 1 No 2 Oktober 2014, page 327-334.
- Rina A. 2015. *Uji Efektifitas Minyak Atsiri Biji Pala (*Myristica fragans* houutt) untuk Menghambat Pertumbuhan Lumut Kerak (*Lichenes*) pada Cagar Budaya Batu*, FMIPA Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Sastrohamidjojo, H. 2002. *Kimia Minyak Atsiri*. FMIPA Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Sembiring, BB, Ma'mun. 2006. Ginting El. *Pengaruh Kehalusan Bahan dan Lama Ekstraksi terhadap Mutu Ekstrak Temulawak (Curcuma xanthorrhiza Roxb)*. Ballitro. XVII (2) : 53-8.

Soesilo, S. 1989. *Vademekum Bahan Obat Alam*. Jakarta : Departemen Kesehatan Republik Indonesia.

Upadhyay, R. K.P, Dwivedi, and S.Ahmad. 2010. *Screening of Antibacterial Activity of Six Plant Essential Oils Against Pathogenic Bacterial Strains*. Asian J. Of Medical Sciences. 2(3) : 152-158.

7 PENGEMBANGAN PEREKAT ALAM UNTUK PENYAMBUNGAN ARTEFAK KAYU

Oleh :

Leliek Agung Haldoko, Bambang Kasatriyanto, Rifqi Kurniadi Suryanto, Heri Yulianto,
Y. Suranto Setyoharjono

ABSTRAK

Cagar budaya berbahan kayu salah satunya adalah berupa artefak. Kayu merupakan benda organik sehingga dapat mengalami kerusakan dan pelapukan yang disebabkan oleh faktor mekanik, biologi serta fisik. Faktor mekanik dapat menyebabkan kerusakan berupa retak maupun patah. Untuk menyambungkan fragmen-fragmen yang patah tentunya dibutuhkan perekat.

Perekat alam diharapkan dapat memberikan alternatif yang dapat digunakan untuk penyambungan artefak kayu. Selain mudah didapat dan harganya relatif murah, perekat alam juga lebih ramah lingkungan dan potensinya yang cukup banyak dan dapat diperbaharui. Bahan-bahan alam yang berpotensi sebagai perekat antara lain anchor, gelatin, tanin, dextrin, dan gondorukem. Parameter yang dipakai untuk penentuan kualitas perekat meliputi kenampakan (visual), derajat keasaman (pH), berat jenis, kadar padatan, waktu pengeringan, dan daya rekat.

Hasil uji kenampakan (visual) terlihat bahwa perekat alam yang diuji bebas dari pengotor yang menandakan proses pembuatan bahan telah dilakukan dengan baik sehingga tidak ada benda asing yang tercampur dalam bahan-bahan tersebut. Dari parameter pH dapat dilihat bahwa anchor lebih baik dari bahan perekat lainnya karena memiliki pH yang netral (pH 7). Penggunaan perekat yang tipis akan menghindarkan dari pertumbuhan jamur karena proses pengeringannya akan lebih cepat. Dari pengujian daya rekat terlihat bahwa anchor mempunyai daya rekat paling tinggi. Berturut-turut di bawahnya adalah gelatin, tanin, dextrin, dan gondorukem. Selain itu perekatan kayu menggunakan anchor, gelatin, dextrin, dan tanin tahan terhadap pemanasan dari suhu 50°C-100°C, sedangkan pada penggunaan gondorukem sambungan kayu terlepas mulai suhu 80°C.

Kata kunci : perekat alam, anchor, gelatin, dextrin, tanin, gondorukem

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Cagar budaya merupakan salah satu kekayaan budaya bangsa yang penting artinya bagi pemahaman dan pengembangan sejarah, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan, sehingga penting untuk dijaga kelestariannya. Cagar budaya di Indonesia tersusun atas berbagai jenis material, antara lain kayu. Cagar budaya berbahan kayu salah satunya adalah berupa artefak.

Kayu merupakan benda organik sehingga dapat mengalami kerusakan dan pelapukan yang disebabkan oleh faktor mekanik, biologi serta fisik. Faktor mekanik dapat menyebabkan

kerusakan berupa retak maupun patah. Untuk menyambungkan fragmen-fragmen yang patah tentunya dibutuhkan perekat.

Adhesive atau lem atau juga sering disebut perekat merupakan suatu bahan yang digunakan untuk menyatukan dua benda yang sejenis, maupun yang tidak sejenis bersama dengan aksi permukaan, sehingga kedua benda tersebut bisa bertahan terhadap aksi pemisahan (Suryana, 2013).

Konon lem sudah ada sejak tahun 4000 SM. Pada situs dari zaman prasejarah ditemukan jenazah bersama makanan dalam tempat keramik pecah, yang direkatkan kembali dengan resin dari getah pohon. Di kuil Babilonia pun ditemukan sejumlah patung dengan biji mata dari gading yang ditempelkan dengan tar di rongga mata (Srikandi, 2004 dalam Nugraha dan Noermala, 2013). Referensi tertulis pertama tentang cara membuat dan memakai lem baru muncul tahun ± 2000 SM. Sejumlah lukisan dinding menampilkan secara mendetail proses pemakaian lem pada kayu. Berbagai benda seni dan perabot dari makam para Firaun Mesir menampilkan peran lem binatang sebagai perekat atau pelapis (Suryana, 2013).

Perubahan fenomenal sejarah lem terjadi tahun 1700-an, saat berdiri pabrik lem komersial pertama di Belanda yang memproduksi lem binatang. Setengah abad kemudian paten pertama dikeluarkan di Inggris untuk lem dari ikan. Dengan cepat disusul terbitnya sejumlah paten untuk lem berbahan karet alam, tulang hewan, ikan, kanji, dan kasein. Sedangkan pabrik pengolahan lem berbahan itu mulai banyak berdiri di AS tahun 1900-an. Pengaruh Revolusi Industri tampak dengan ditemukannya bahan dasar baru lem, yakni plastik. Tahun 1920 - 1940-an plastik dan karet sintesis mulai diproduksi. Maka, lem pun menjadi lebih kuat, lentur, cepat menempel, tahan terhadap suhu dan bahan kimia (Suryana, 2013).

Perekat sintesis untuk kayu yang saat ini dipakai seperti urea formaldehida, fenol formaldehida, dan melamin formaldehida memiliki kelemahan, antara lain adalah ketersediaan sumber bahan baku perekat yang semakin berkurang dan timbulnya emisi formaldehida dari produk material hasil perekatan terhadap lingkungan. Emisi formaldehida dapat menyebabkan gejala pusing, sakit kepala, dan insomnia (Umemura, 2006, dalam Sucipto, 2009). Selain itu Formaldehida merupakan gas beracun yang dapat menyebabkan keracunan kronis bahkan kanker (IARC, 2006, dalam Ningsih, 2015).

Tren *back to nature* (kembali ke alam), seperti pemanfaatan bahan baku dari alam daripada bahan baku sintesis merupakan isu lingkungan yang sudah lama berkembang, termasuk pengembangan bahan baku perekat. Hal ini berkaitan dengan beberapa kelebihan bahan baku alam, seperti lebih ramah lingkungan (*environment friendly*) dan potensinya yang cukup banyak dan dapat diperbaharui (*renewable*). Saat ini tren pengembangan perekat adalah perekat yang sedikit atau tidak mengandung formaldehida, sehingga dampak negatif terhadap lingkungan akan berkurang. Penelitian dan pengembangan mengenai perekat terus dilakukan untuk mengeksplorasi perekat alami baru yang kualitasnya tinggi dan dampak negatif terhadap lingkungan yang rendah (Sucipto, 2009).

Perekat alam diharapkan dapat memberikan alternatif yang dapat digunakan untuk penyambungan artefak kayu. Selain mudah didapat dan harganya relatif murah, perekat alam juga lebih ramah lingkungan dan potensinya yang cukup banyak dan dapat diperbaharui. Sebelum diterapkan ke Cagar Budaya, tentunya perekat jenis ini harus diteliti terlebih dahulu untuk melihat sejauh mana daya rekat, efektivitas, serta kelebihan dan kekurangannya. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian pengembangan perekat alam untuk penyambungan artefak kayu.

Dalam kajian ini, bahan-bahan alam yang akan diuji sebagai alternatif perekat artefak kayu adalah anchor, gelatin, tanin, dextrin, dan gondorukem. Anchor dan gelatin berasal dari hewan, sedangkan tanin, dextrin, dan gondorukem berasal dari tumbuhan. Bahan-bahan tersebut selanjutnya dilakukan pengujian untuk menentukan kualitas perekat berdasarkan parameter-parameter yang ada. Parameter yang dipakai meliputi kenampakan (visual), derajat keasaman (pH), berat jenis, kadar padatan, waktu pengeringan, dan daya rekat.

B. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari Kajian Pengembangan Perekat Alam untuk Penyambungan Artefak Kayu ini adalah memberikan alternatif bahan perekat dari bahan-bahan alam yang dapat digunakan untuk penyambungan artefak kayu. Sedangkan tujuan dari kajian ini adalah untuk menguji secara kualitatif dan kuantitatif bahan-bahan alam yang berasal dari hewan maupun tumbuhan yang berpotensi sebagai perekat untuk penyambungan artefak kayu.

C. MANFAAT

Manfaat Kajian Pengembangan Perekat Alam untuk Penyambungan Artefak Kayu ini adalah agar penyambungan fragmen-fragmen artefak kayu yang patah dapat dilakukan dengan bahan-bahan alam yang mudah didapat dan *reversible* sebagai alternatif bahan perekat.

D. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup Kajian Pengembangan Perekat Alam untuk Penyambungan Artefak Kayu ini dibatasi pada pengujian untuk penentuan kualitas perekat yang meliputi kenampakan (visual), derajat keasaman (pH), berat jenis, kadar padatan, waktu pengeringan, dan daya rekat bahan-bahan alam yaitu gelatin, anchor, dextrin, tanin, dan gondorukem.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. BAHAN DAN ALAT

Bahan yang dipergunakan dalam kajian ini adalah gelatin, anchor, serbuk tanin, dextrin, gondorukem, terpentin, kertas ph, aquadest, kayu jati, dan akasia. Sedangkan alat yang dipergunakan antara lain, gelas beker, piknometer, cawan petri, kompor listrik, spatula, timbangan, oven, dan *universal testing machine*.

B. CARA KERJA

1. Studi Pustaka

Tahap pertama yang dilakukan adalah studi pustaka. Hal ini kami lakukan untuk mendapatkan data sekunder yang lengkap mengenai bahan-bahan alam yang dapat digunakan sebagai perekat dan cara pengujian untuk penentuan kualitas perekat.

2. Pembuatan perekat dari bahan-bahan alam

Dalam kajian ini bahan-bahan yang dipakai sebagai perekat yaitu anchor, gelatin, dextrin, tannin, dan gondorukem. Dalam pembuatannya tiap-tiap bahan tersebut dicampurkan dalam pelarut dengan berbagai perlakuan.

- a. Anchor

Perbandingan 1 : 2, dengan pelarut air

 - Anchor ditimbang sebanyak 10 gram
 - Air sebanyak 20 ml dipanaskan dalam gelas beker
 - Campurkan anchor yang telah ditimbang ke dalam air setelah mencapai suhu 60°C
 - Aduk sampai tercampur merata sambil tetap dipanaskan
 - Setelah tercampur merata, matikan pemanas dan aduk terus sampai mulai mengental
 - Perekat siap digunakan
- b. Gelatin

Perbandingan 1 : 2, dengan pelarut air

 - Gelatin ditimbang sebanyak 10 gram
 - Air sebanyak 20 ml dipanaskan dalam gelas beker
 - Campurkan gelatin yang telah ditimbang ke dalam air setelah mencapai suhu 60°C
 - Aduk sampai tercampur merata sambil tetap dipanaskan
 - Setelah tercampur merata, matikan pemanas dan aduk terus sampai mulai mengental
 - Perekat siap digunakan
- c. Dextrin

Perbandingan 1 : 4, dengan pelarut air

 - Dextrin ditimbang sebanyak 10 gram
 - Air sebanyak 40 ml dipanaskan dalam gelas beker
 - Campurkan dextrin yang telah ditimbang ke dalam air setelah mencapai suhu 60°C
 - Aduk sampai tercampur merata sambil tetap dipanaskan
 - Setelah tercampur merata, matikan pemanas dan aduk terus sampai mulai mengental
 - Perekat siap digunakan
- d. Tanin

Perbandingan 1 : 1, dengan pelarut air

 - Tanin ditimbang sebanyak 10 gram
 - Air sebanyak 10 ml dipanaskan dalam gelas beker
 - Campurkan tanin yang telah ditimbang ke dalam air setelah mencapai suhu 60°C
 - Aduk sampai tercampur merata sambil tetap dipanaskan
 - Setelah tercampur merata, matikan pemanas dan aduk terus sampai mulai mengental
 - Perekat siap digunakan

- e. Gondorukem
 - Perbandingan 1 : 1, dengan pelarut terpentin
 - Gondorukem ditimbang sebanyak 10 gram
 - Terpentin sebanyak 10 ml dipanaskan dalam gelas beker
 - Campurkan gondorukem yang telah ditimbang ke dalam terpentin setelah mencapai suhu 60°C
 - Aduk sampai tercampur merata sambil tetap dipanaskan
 - Setelah tercampur merata, matikan pemanas dan aduk terus sampai mulai mengental
 - Perekat siap digunakan
3. Penentuan kualitas perekat
 1. Uji kenampakan/ visual
 2. Uji keasaman (pH)
 3. Uji berat jenis (BJ)
 4. Uji kadar padatan
 5. Uji waktu mulai mengering
 6. Uji daya rekat pada kayu
 7. Pengujian kondisi perekatan terhadap pemanasan
4. Analisis dan interpretasi data

Data yang didapatkan selanjutnya dibuat dalam suatu tabel yang selanjutnya dianalisis dan dilakukan komparasi antar bahan sesuai dengan parameter-parameter yang diuji.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. UJI KENAMPAKAN/ VISUAL

Pengujian kenampakan/ visual dilakukan dengan cara perekat dituangkan di atas permukaan gelas datar, lalu dialirkan sampai membentuk lapisan film tipis. Dilakukan pengamatan visual tentang warna dan keberadaan benda asing berupa butiran padat, debu, dan benda lain. Hasil percobaan pengujian kenampakan/visualisasi dapat dilihat pada foto 7.1-7.5.



Foto 7.1. Anchor



Foto 7.2. Gelatin

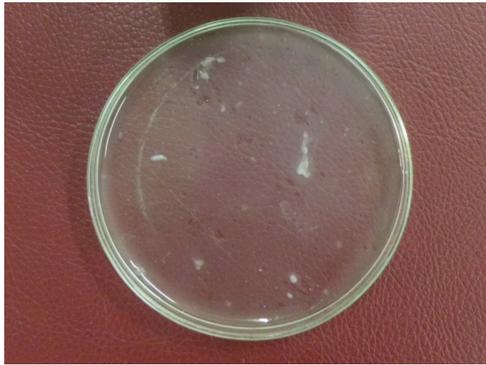


Foto 7.3. Dextrin



Foto 7.4. Tanin



Foto 7.5. Gondorukem

Hasil pengamatannya dapat dilihat pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Uji Kenampakan Bahan Perekat Alam

No	Bahan	Warna	Keberadaan pengotor
1	Anchor	Cokelat	Bebas pengotor
2	Gelatin	Putih kecokelatan	Bebas pengotor
3	Dextrin	Putih	Bebas pengotor
4	Tanin	Cokelat tua	Bebas pengotor
5	Gondorukem	Cokelat kekuningan	Bebas pengotor

Dari Tabel 7.1 terlihat bahwa semua bahan perekat bebas dari pengotor yang menandakan proses pembuatan bahan telah dilakukan dengan baik sehingga tidak ada benda asing yang tercampur dalam bahan-bahan tersebut. Selain itu bahan perekat dari anchor, gelatin, tanin, dan gondorukem mengandung unsur warna cokelat sehingga dapat lebih sesuai dengan warna kayu kebanyakan.

B. UJI KEASAMAN (PH)

Pengukuran pH adalah pengukuran banyaknya konsentrasi ion H^+ pada suatu larutan. Untuk melakukan determinasi pH, contoh perekat dalam wadah diukur keasamannya dengan kertas pH. Setelah itu dilihat perubahan warna yang terjadi pada kertas pH yang menunjukkan nilai pH tertentu. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2. Uji Keasaman (pH)

No.	Bahan	pH	Jumlah perekat	NaOH 1 N	pH akhir
1.	Anchor	7	30 g	-	-
2.	Gelatin	5	30 g	5 tetes	7
3.	Dextrin	6	50 g	3 tetes	7
4.	Tanin	4	20 g	8 tetes	7
5.	Gondorukem	5	20 g	5 tetes	7

Dari Tabel 7.2 terlihat bahwa bahan perekat tanin memiliki pH yang paling rendah (pH 4). Selanjutnya gelatin dan gondorukem memiliki pH 5, dextrin memiliki pH 6 dan anchor memiliki pH 7. Dari parameter pH dapat dilihat bahwa anchor lebih baik dari bahan perekat lainnya karena memiliki pH yang netral (pH 7).

Perekat dalam kondisi asam akan membuat kayu menjadi lebih cepat rusak (Simbolon, 2012). Karena itu perekat yang akan diaplikasikan ke kayu harus disesuaikan derajat keasamannya. Untuk menaikkan pH perekat dapat digunakan larutan NaOH 1 N. Dalam kajian ini tiap-tiap bahan perekat membutuhkan jumlah NaOH yang berbeda-beda untuk menetralkan pH nya (Tabel 7.2).

C. UJI BERAT JENIS (BJ)

Untuk melakukan pengujian berat jenis, piknometer kosong yang bersih dan kering ditimbang (W_1). Kemudian diisi air sampai penuh dan ditutup tanpa ada gelembung udara pada perekat lalu ditimbang (W_2). Air dalam piknometer dibuang sampai bersih dan dikeringkan. Selanjutnya piknometer diisi dengan contoh perekat sampai penuh dan ditutup tanpa ada gelembung udara lalu ditimbang (W_3). BJ perekat dihitung dengan rumus:

$$\text{Berat jenis} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$$

Dari pengukuran berat piknometer, berat piknometer+air serta berat piknometer+perekat didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 7.3. Pengukuran Berat Menggunakan Piknometer

No.	Bahan	Berat Piknometer W_1 (g)	Berat piknomete+air W_2 (g)	Berat Piknometer+perekat W_3 (g)
1.	Anchor	28,20	80,70	90,78
2.	Gelatin	28,20	80,70	90,94
3.	Dextrin	28,20	80,70	87,00
4.	Tanin	28,20	80,70	95,61
5.	Gondorukem	28,20	80,70	94,46

Setelah dihitung dengan rumus berat jenis didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 7.4. Berat Jenis Perekat

No.	Bahan	Berat jenis
1.	Anchor	1,192
2.	Gelatin	1,195
3.	Dextrin	1,120
4.	Tanin	1,284
5.	Gondorukem	1,262

D. UJI KADAR PADATAN

Pengujian kadar padatan dilakukan dengan cara perekat sebanyak 1,5 g dimasukkan ke cawan (W1). Selanjutnya perekat dalam cawan dikeringkan secara alami tanpa pemanasan. Pengerangan dan penimbangan dilakukan sampai diperoleh berat tetap (W2). Kadar padatan ditentukan dengan rumus :

$$\text{Kadar padatan} = \frac{W2}{W1} \times 100 \%$$

Kadar padatan dari berbagai jenis bahan perekat yang dilakukan pengujian sangat dipengaruhi oleh banyaknya pelarut yang dipakai untuk membuat bahan perekat tersebut. Pemakaian pelarut yang lebih banyak menyebabkan kadar padatan bahan perekat menjadi lebih sedikit. Selain itu yang berpengaruh adalah terjadinya penguapan bahan pelarut selama proses pemanasan. Dari pengujian kadar padatan didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 7.5. Uji Kadar Padatan

No.	Bahan	Berat awal	Berat kering	Kadar padatan
		W1 (g)	W2 (g)	
1.	Anchor	1,50	0,60	40 %
2.	Gelatin	1,50	0,57	38 %
3.	Dextrin	1,50	0,38	25 %
4.	Tanin	1,50	0,83	55 %
5.	Gondorukem	1,50	0,78	52 %

E. UJI WAKTU PEREKAT MULAI MENGERING

Pengujian ini menggunakan cara yang sama dengan uji kenampakan yaitu perekat dituangkan di atas permukaan gelas datar, lalu dialirkan sampai membentuk lapisan film tipis (foto 7.1-7.5). Pengamatannya adalah dengan mencatat waktu yang dibutuhkan oleh perekat ketika mulai mengering yang ditandai dengan tidak lagi dapat mengalir ketika permukaannya dimiringkan.

Dari pengujiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 7.6. Uji Waktu Perekat Mulai Mengering

No.	Bahan	Waktu mulai mengering
1.	Anchor	22 menit
2.	Gelatin	25 menit
3.	Dextrin	55 menit
4.	Tanin	90 menit
5.	Gondorukem	110 menit

Penggunaan bahan-bahan alami sebagai perekat dikhawatirkan akan mengundang datangnya jamur seiring proses pengeringannya. Akan tetapi selama proses pengeringan pada tiap-tiap bahan perekat tidak terlihat adanya pertumbuhan jamur (Foto 7.1-7.5). Tidak adanya pertumbuhan jamur dikarenakan perekat yang digunakan sangat tipis sehingga pengeringannya cepat dan tidak sampai ditumbuhi jamur. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan-bahan perekat yang diuji dapat terhindar dari pertumbuhan jamur ketika dipakai untuk melakukan penyambungan, karena untuk penyambungan, perekat yang dipakai juga sangat tipis agar tidak menunjukkan celah.

Dalam percobaan ini jamur hanya tumbuh pada sisa perekat yang masih ada dalam

gelas (tidak terpakai). Jamur tumbuh karena sisa perekat masih banyak dan tebal sehingga proses pengeringan di dalam gelas berlangsung lama. Pertumbuhan jamur terlihat pada gelas yang berisi perekat dari anchor, gelatin, dan dextrin.



Foto 7.6. Sisa perekat anchor dalam gelas yang ditumbuhi jamur



Foto 7.7. Sisa perekat gelatin dalam gelas yang ditumbuhi jamur

F. UJI DAYA REKAT PADA KAYU

Pengujian daya rekat dilakukan dengan pengujian kekuatan rekat menggunakan *universal testing machine* pada sampel kayu jati dan kayu akasia, dengan perulangan 3 kali untuk tiap-tiap bahan perekat.

1. Kayu dipotong berbentuk balok dengan ukuran 3cm x 1,5cm x 5,5 cm. Selanjutnya balok kayu dibelah menjadi 2 dengan ukuran 1,5 cm x 1,5cm x 5,5 cm. Permukaan balok kayu diampelas sampai halus.

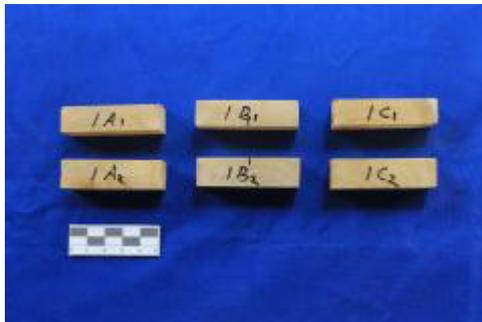


Foto 7.8. Contoh balok kayu yang akan dipakai untuk uji daya rekat



Foto 7.9. Contoh balok kayu yang akan dipakai untuk uji daya rekat

2. Balok kayu dikeringkan secara alami sampai kadar air $\pm 15\%$. Selanjutnya dilakukan pengukuran panjang dan lebar permukaan secara lebih teliti menggunakan jangka sorong.



Foto 7.10. Pengukuran balok kayu dengan jangka sorong

3. Bagian permukaan yang dibelah selanjutnya dioles dengan perekat pada kedua sisi permukaannya secara merata.



Foto 7.11. Pengolesan permukaan kayu dengan bahan perekat



Foto 7.12. Pengolesan permukaan kayu dengan bahan perekat

4. Kedua permukaan kayu direkatkan sampai tersambung sempurna. Sambungan dibiarkan mengering secara alami.



Foto 7.13. Contoh balok kayu yang telah disambung

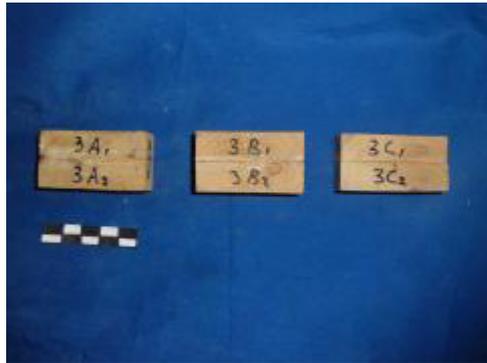


Foto 7.14. Contoh balok kayu yang telah disambung

5. Selanjutnya dilakukan pengukuran daya rekat sambungan dengan menggunakan alat *universal testing machine* (UTM).



Foto 7.15. Pengukuran daya rekat dengan UTM

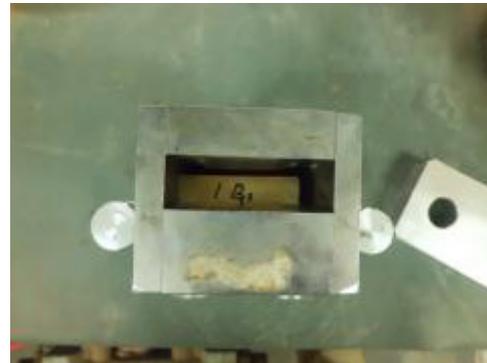


Foto 7.16. Pengukuran daya rekat dengan UTM

6. Pengujian daya rekat dihitung dengan rumus :

$$\text{Daya rekat} = \frac{\text{beban yang diterima}}{\text{Luas permukaan sambungan}}$$

Hasil pengujian daya rekat pada kayu jati dan kayu akasia dapat dilihat pada tabel 7.7.

Tabel 7.7. Hasil Pengujian Daya Rekat pada Kayu Jati dan Kayu Akasia

No.	Bahan	Kayu jati (kg/cm ²)	Kayu akasia (kg/cm ²)
1.	Anchor	40,57	43,51
2.	Gelatin	33,31	37,00
3.	Dextrin	11,21	11,77
4.	Tanin	13,07	13,68
5.	Gondorukem	6,67	7,46

Dari pengujian daya rekat pada tabel 7.7 terlihat bahwa perekat yang mempunyai daya rekat paling tinggi adalah anchor. Berturut-turut di bawahnya adalah gelatin, tanin, dextrin, dan yang mempunyai daya rekat paling rendah adalah gondorukem.

Dari pengamatan permukaan sambungan setelah dilakukan kuat tekan tidak terlihat adanya fragmen kayu yang pecah dan menempel pada perekat. Ini menandakan bahwa nilai daya rekat dari masing-masing perekat tidak lebih kuat dari kayu yang disambung sehingga aman untuk diaplikasikan. Ketika nantinya diaplikasikan pada artefak kayu dan artefak kayu tersebut jatuh, maka dimungkinkan bagian yang terlepas adalah bagian sambungan, karena merupakan bagian yang lebih lemah.

G. UJI KONDISI PEREKATAN TERHADAP PEMANASAN

Pengujian kondisi perekatan terhadap pemanasan ini dilakukan dengan memanaskan balok kayu yang telah disambung dengan berbagai macam perekat pada suhu 50°C - 100°C dengan interval 10°C, dalam jangka waktu satu jam untuk masing-masing interval.



Foto 7.17. Pengujian pemanasan kayu yang direkatkan

Hasil pengujian kondisi perekatan terhadap pemanasan dapat dilihat pada tabel 7.8.

Tabel 7.8. Hasil Pengujian Kondisi Perekatan terhadap Pemanasan

	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
Anchor	Tidak lepas					
Gelatin	Tidak lepas					
Dextrin	Tidak lepas					
Tanin	Tidak lepas					
Gondorukem	Tidak lepas	Tidak lepas	Tidak lepas	Lepas	Lepas	Lepas

Dari Tabel 7.7 terlihat bahwa perekatan kayu menggunakan anchor, gelatin, dextrin, dan tanin tahan terhadap pemanasan dari suhu 50°C-100°C. Ini dibuktikan dengan tidak adanya sambungan kayu yang terlepas. Hal sebaliknya terjadi pada perekatan kayu menggunakan gondorukem karena mulai suhu 80°C sambungan kayu terlepas.

DAFTAR PUSTAKA

- Hartomo, A.J., Rusdiharsono, A., Hardjanto, D. 1992. *Memahami Polimer dan Perekat*. Yogyakarta.
- Nugraha, Adi. & Nirma Noermala. 2013. *Pemanfaatan Lignin Hasil Proses Delignifikasi Pulp dari Kulit Buah Kakao sebagai Perekat*. Penelitian. UPN Veteran, Jawa Timur.
- Santoso, A. 2003. *Pemanfaatan Lignin dan Tanin sebagai Alternatif Substitusi Bahan Perekat Kayu Komposit*. Prosiding Simposium Nasional Polimer V. Pusat Pengembangan dan Penelitian Hasil Hutan. Bogor. (<http://digilib.batan.go.id/e-prosiding/File%20Prosiding/Kimia/Polimer-V2005/Adi-santoso155.pdf>)
- Simbolon, E.S. 2012. *Pemanfaatan Batang Pinang (Areca catechu Linn) sebagai Bahan Perekat Likuida menurut Kedalaman Batang*. Hasil Penelitian. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. (repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/33883/7/Cover.pdf).
- Suryana, D. 2013. *Cara Membuat Lem*. Dayat Suryana. Bandung.
- Sutanto, Ari Imam. 2001. *Pemanfaatan Pati Sagu sebagai Bahan Baku Pembuatan Dextrin secara Enzimatis*. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

8 TANIN SEBAGAI INHIBITOR KOROSI LOGAM

(TANIN DARI EKSTRAK TEH SEBAGAI INHIBITOR KOROSI ARTEFAK BESI)

Oleh :

Ari Swastikawati, Henny Kusumawati, Yenny Supandi, Yudhi Atmaja HP

ABSTRAK

Dalam bidang konservasi cagar budaya, akhir-akhir ini 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 survei. Survei dilaksanakan untuk menginventarisasi praktek-praktek konservasi logam menggunakan bahan tradisional yang masih berlangsung di masyarakat. Berdasarkan hasil survei tersebut kemudian dilakukan eksperimen 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.

Berdasarkan 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 artefak besi karena sangat korosif. 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.

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

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*). Peralatan tradisional adalah peralatan sederhana, yang dibuat oleh masyarakat dengan bahan yang diperoleh dari lingkungannya. Bahan tradisional adalah bahan yang didapat dari lingkungan (bahan alam) masyarakat setempat, yang dipercayai dapat digunakan dalam konservasi cagar budaya, atas dasar pengalaman dan tradisi turun temurun (Sunarno, 2010). Saat ini terdapat kecenderungan di dunia untuk kembali menggunakan bahan alam dalam penanganan konservasi cagar budaya. Kecenderungan ini didasarkan pada fakta bahwa penggunaan metode tradisional lebih mudah dan ramah terhadap lingkungan.

Indonesia memiliki potensi yang cukup besar pula untuk mengembangkan bahan alam sebagai bahan konservasi cagar budaya. Hal ini karena Indonesia memiliki kekayaan alam yang berlimpah. Beberapa bahan alam telah diteliti dan dikembangkan oleh Balai Konservasi Borobudur sebagai bahan konservasi antara lain cengkeh, pelepah pisang, gambir, dan tembakau untuk konservasi kayu, jeruk nipis untuk membersihkan kuningan, perunggu, dan besi, penggunaan batu apung untuk polishing gamelan, penggunaan santan untuk pembersihan perunggu, dan sebagainya.

Terkait dengan konservasi besi, dalam tahapan akhir kegiatan konservasi terdapat proses stabilisasi. Stabilisasi adalah proses untuk menstabilkan artefak besi yang bertujuan untuk mencegah korosi berikutnya. Proses stabilisasi dilakukan setelah proses pembersihan dan pengeringan selesai. Proses tersebut biasanya dilakukan dengan cara merendam artefak besi dalam larutan inhibitor. Inhibitor korosi yang sering digunakan dalam proses stabilisasi artefak besi adalah tanin. Tanin merupakan senyawa kimia yang banyak ditemukan pada tanaman. Seperti yang disampaikan dalam paragraf sebelumnya bahwa Indonesia memiliki kekayaan alam yang berlimpah salah satunya adalah tanaman yang menghasilkan zat tanin antara lain: teh, daun jambu biji, daun gambir, daun kopi, salak dan sebagainya. Tanaman-tanaman tersebut umumnya tersebar luas di seluruh wilayah Indonesia. Sehingga Indonesia memiliki potensi yang besar untuk mengembangkan tanaman tersebut sebagai inhibitor korosi artefak besi. Oleh karena itu dalam tahun 2015 ini Balai Konservasi Borobudur merencanakan melakukan kajian tentang "Tanin sebagai Inhibitor Korosi Artefak Besi".

B. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari kajian ini adalah menggali metode konservasi artefak besi menggunakan bahan alam. Adapun tujuan dari kajian ini adalah mengetahui efektifitas tanin dari ekstrak teh sebagai inhibitor dalam korosi artefak besi.

C. RUANG LINGKUP

Kajian tentang tanin sebagai inhibitor korosi artefak besi dibatasi pada penggunaan tanin yang berasal dari ekstrak teh dan membandingkannya dengan tanin sintetik (pabrikasi).

II. LANDASAN TEORI

A. ARTEFAK LOGAM DALAM ARKEOLOGI

Indonesia memiliki cagar budaya dalam bentuk artefak logam dalam jumlah yang sangat berlimpah, yang tersebar di seluruh wilayah nusantara. Artefak-artefak tersebut memiliki bentuk dan fungsi yang beraneka ragam serta beraneka ragam pula bahan penyusunnya. Artefak-artefak logam tersebut merupakan sumber data primer dalam arkeologi. Menurut Mircea dkk (2010), material arkeologi tersebut secara lengkap dapat menggambarkan kronologi secara lengkap evolusi manusia dari tinjauan perkembangan ekonomi dan kehidupan sosial masyarakat serta hubungannya dengan kebudayaan dengan peradaban sebelumnya. Oleh karena itu mengapa artefak-artefak logam sebagai material arkeologi tersebut harus dilestarikan. Ditambahkan pula oleh Mircea dkk (2010), jika material arkeologi tersebut dipertimbangkan dalam kaitannya dengan degradasi yang dialami pada beberapa kondisi, pada kondisi keterawatannya dan mekanisme perubahan logam di dalam tanah berturut-turut dari aspek fisik (fragmen, retakan, lubang dan sebagainya), aspek kimia pembentukan kerak korosi pada bagian terbesar tanpa atau dengan bagian tengah dari logam, dapat digunakan untuk menguraikan beberapa kesimpulan terkait dengan hal tersebut. Dari aspek arkeometalurgi, teknologi masa lalu, metode yang digunakan untuk menghasilkan objek atau asal dari logam-logam yang digunakan di dalamnya.

B. ARTEFAK LOGAM BERBAHAN BESI

Artefak logam berbahan logam besi banyak ditemukan di Indonesia mulai dari yang berukuran kecil hingga besar seperti keris, tombak, meriam, lokomotif, pesawat, kapal perang dan sebagainya. Besi merupakan jenis logam kedua yang paling melimpah di bumi dan masih menjadi tulang punggung dalam peradaban modern. Ketergantungan terhadap logam tersebut dinyatakan oleh penggunaannya dalam kehidupan manusia, mulai dari keperluan rumah, pertanian, permesinan, hingga alat transportasi (Herman, 2006). Besi memiliki sifat fisika antara lain pada suhu kamar berwujud padat, mengkilap, dan berwarna keabu-abuan dan merupakan penghantar panas yang baik. Sedangkan sifat kimia besi antara lain unsur besi bersifat elektropositif (mudah melepaskan elektron) sehingga bilangan oksidasinya bertanda positif, logam murni besi sangat reaktif secara kimiawi dan mudah terkorosi, khususnya di udara yang lembab atau ketika terdapat peningkatan suhu, mudah bereaksi dengan unsur-unsur non logam seperti halogen, sulfur, pospor, boron, karbon, dan silikon, larut dalam asam-asam mineral encer dan sebagainya. Ada tiga jenis besi yaitu:

1. Besi tempa adalah logam yang komposisinya terdiri dari besi murni dan besi silikat.

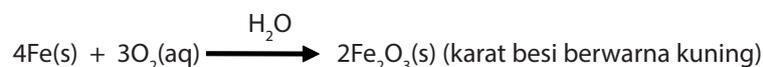
2. Besi tuang adalah besi dengan kadar karbon diatas 1.7 % meskipun biasanya besi tuang memiliki kadar karbon 3 – 4.5 %. Besi tuang banyak digunakan dalam dunia teknik dan industri karena karakteristik atau sifat *mach inability* yang mudah dikerjakan dengan mesin dan memiliki sifat tahan aus karena bersifat *self lubrication*. Besi tuang dibagi menjadi 2 bagian yaitu :
 - Besi tuang kelabu: sebagian besar dari zat arang atau karbon dalam besi tuang ini terpisah sebagai *graphite*. Bidang patahan dari besi tuang ini berwarna abu-abu tua sampai hitam.
 - Besi tuang putih: dimana sebagian besar karbon yang terikat dalam besi sebagai *zementite* (Fe_3C) yang keras. Besi tuang ini memiliki bidang patahan yang berwarna putih. Sifat yang keras sehingga sukar dikerjakan di mesin
3. Baja merupakan perpaduan antara besi (Fe) dan karbon (C). Besi adalah elemen metal dan karbon adalah elemen non metal. Baja sendiri digolongkan menjadi dua golongan yaitu baja bukan paduan (yang hanya terpadu dengan karbon saja) dan baja paduan yaitu yang terpadu dengan elemen-elemen lain sesuai dengan kebutuhan dan sifat yang dikehendaki. Elemen paduan yang ditambahkan itu sendiri terdiri dari *mangan, chrome, nickel, wolfram, silisium*, dan lainnya (Munandar, 2007).

C. KOROSI PADA BESI

Definisi korosi menurut Trethewey dan Chemberlain (1991: 4) korosi adalah penguraian dan kehilangan bahan oleh agresi kimia dan korosi merupakan gejala destruktif yang mempengaruhi hampir semua logam sedangkan karat (*rust*) merupakan sebutan yang hanya dikhususkan bagi korosi pada besi. Maaß and Peibker (2011), mengatakan bahwa korosi adalah interaksi logam dengan lingkungannya yang menghasilkan perubahan sifat logam dan mungkin menyebabkan gangguan fungsional yang signifikan pada logam.

Faktor yang berpengaruh dan mempercepat korosi yaitu air dan kelembaban udara, elektrolit berupa asam atau garam, adanya oksigen, permukaan logam yang tidak rata serta letak logam dalam potensial reduksi. Air merupakan salah satu faktor penting untuk berlangsungnya proses korosi. Udara yang banyak mengandung uap air (lembab) akan mempercepat berlangsungnya proses korosi. Elektrolit berupa asam ataupun garam merupakan media yang baik untuk melangsungkan transfer muatan. Hal itu mengakibatkan elektron lebih mudah untuk dapat diikat oleh oksigen di udara. Oleh karena itu, air hujan (asam) dan air laut (garam) merupakan penyebab utama terjadinya korosi. Pada peristiwa korosi adanya oksigen mutlak diperlukan. Permukaan logam yang tidak rata memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anode dan katode. Pada permukaan logam yang licin dan bersih korosi tidak mudah terjadi, sebab sukar terbentuk kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anode dan katode. Korosi akan sangat cepat terjadi pada logam yang potensialnya rendah, sedangkan logam yang potensialnya lebih tinggi justru lebih tahan.

Besi merupakan logam yang mudah teroksidasi, lebih-lebih bila berada di tempat dengan kondisi udara yang lembab. Reaksi kimia korosi besi adalah sebagai berikut :



Pada tingkat awal bentuk oksidasi besi adalah *ferro oxida* (FeO), lama kelamaan akan

berubah menjadi *ferris oksida* (Fe_2O_3). Pembentukan karat akan dipercepat oleh udara yang sudah tercemar sulfur dioksida dan klor (Cl). Disamping itu reaksi tersebut akan dipicu oleh adanya bakteri-bakteri tertentu. Berdasarkan hasil penelitian bakteri pereduksi sulfat dari jenis *Desulforibrio disulfucaus* mempunyai peran yang cukup berarti dalam korosi besi (Sadirin, 1991: 84).

Jenis korosi pada logam dibedakan menjadi korosi pasif dan korosi aktif. 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 artefak besi adalah sebagai berikut (Logam, 2007): (1) bersifat stabil, kompak, dan melekat, (2) memiliki variasi dalam warna antara biru-hitam dan merah-coklat.

Sedangkan korosi aktif adalah jenis korosi yang menyebabkan kehilangan material yang berkelanjutan pada objek. Adapun ciri-ciri umum korosi aktif pada logam adalah (1) luas permukaan yang mengalami korosi bertambah dengan cepat, (2) adanya pengelupasan sehingga di sekitar artefak ditemukan serpihan, fragmen atau bubuk (*loose powder*) sebagai produk korosi, (3) adanya lekukan atau semacam lepuhan pada permukaan, (4) adanya bintik-bintik berwarna orange pada pusat-pusat lekukan, (5) adanya retakan pada permukaan artefak besi, (6) adanya "*sweating*" or "*weeping*" (berkeringat dan menangis) berupa tetesan pada permukaan objek yang berwarna kuning, coklat atau oranye yang terjadi pada lingkungan dengan RH sangat tinggi di atas 55%, area artefak besi yang mengalami "*sweating*" or "*weeping*" disebabkan oleh kontaminasi ion klorida, (7) jika kelembaban menurun di bawah 50% maka area yang mengalami "*sweating*" or "*weeping*" akan mengering dan melepuh yang berwarna orange atau kuning. Oleh karena itu penting untuk mengidentifikasi jenis-jenis korosi pada artefak besi sebelum melakukan tindakan konservasi (Swastikawati, A. 2014).

D. PENGERTIAN KONSERVASI

Konservasi berasal dari kata *conservation* yang terdiri atas kata *con* (*together*) dan *servare* (*keep/save*) yang memiliki pengertian mengenai upaya memelihara apa yang kita punya (*keep/save what you have*), namun secara bijaksana (*wise use*). Ide ini dikemukakan oleh Theodore Roosevelt (1902). Roosevelt merupakan orang Amerika pertama yang mengemukakan tentang konsep konservasi. Terkadang ada yang memaknai konservasi sama dengan preservasi, tetapi adapula yang sebaliknya preservasi lebih luas dari konservasi atau sebaliknya. Di Inggris dan Australia definisi konservasi lebih cenderung kepada konservasi lingkungan, dimana konservasi merupakan pelestarian secara luas sedangkan preservasi merupakan perawatan secara kimiawi. Tetapi berbeda dengan negara-negara di Eropa seperti Prancis, Itali, dan Belgia dimana konservasi merupakan bagian dari pemeliharaan yang menangani perawatan secara kimiawi sedangkan preservasi merupakan pelestarian dalam arti umum yang mencakup perlindungan hukum, dokumentasi, pemeliharaan, dan pemugaran.

Di Indonesia definisi konservasi menurut Balai Pustaka (1980) meliputi pemeliharaan perlindungan sesuatu secara teratur untuk mencegah kerusakan dan kemusnahan dengan jalan mengawetkan. Kata konservasi dalam UU No.11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya tidak disebutkan namun dalam undang-undang tersebut disebutkan tentang pelestarian dan pemeliharaan. Dimana definisi pelestarian adalah upaya dinamis untuk mempertahankan cagar budaya dan nilainya dengan cara melindungi, mengembangkan, dan memanfaatkan sedangkan definisi pemeliharaan adalah upaya menjaga dan merawat agar kondisi fisik cagar budaya tetap lestari.

Tindakan konservasi dapat dilakukan melalui langkah preventif dengan *konservasi preventif* (pencegahan) dan langkah kuratif dengan *konservasi kuratif* (penanggulangan atau perawatan). Berdasarkan sasaran yang diperlakukan maka konservasi benda cagar budaya dapat dibedakan menjadi dua yakni *konservasi aktif* dan *konservasi pasif*. Konservasi aktif yaitu segala tindakan konservasi yang dikenakan langsung ke bendanya. Konservasi pasif adalah tindakan konservasi yang tidak secara langsung dikenakan ke bendanya tetapi tindakan konservasi dilakukan dalam bentuk pengendalian lingkungan (Swastikawati, A., 2011:1).

Sementara itu berdasarkan bahan serta peralatan yang digunakan maka konservasi cagar budaya dapat dibedakan menjadi konservasi tradisional dan konservasi modern. 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. 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 (Sunarno, 2010).

E. METODE KONSERVASI LOGAM

Tahapan dalam metode konservasi logam meliputi (1) pembersihan kerak secara mekanis, (2) evaluasi kondisi logam, dan pelaksanaan konservasi. Adapun pelaksanaan kegiatan konservasinya meliputi (1) pembersihan, (2) perbaikan, (3) konsolidasi, (4) pelapisan atau stabilisasi, dan (5) penyimpanan. Sedangkan pembersihan yang dimaksud meliputi pembersihan secara kimiawi, pembersihan secara elektrokimia, dan pembersihan secara elektro reduksi (Munandar, 2014). Berdasarkan ulasan tersebut di atas maka kegiatan konservasi logam yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan bahan alam atau bahan tradisional adalah pada tahap pembersihan karat secara kimia melalui proses perendaman, pengosokan maupun pengolesan, dan tahap pelapisan atau stabilisasi artefak logam. Stabilisasi artefak logam dapat dilakukan dengan aplikasi inhibitor korosi logam.

F. INHIBITOR KOROSI LOGAM DARI EKSTRAK TANAMAN

Pencegahan korosi besi dapat dilakukan dengan cara pelapisan pada permukaan logam, perlindungan katodik, penambahan inhibitor korosi, dan lain-lain. Penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Hermawan, B. 2007). Suatu inhibitor adalah zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Inhibitor korosi didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi terhadap logam. Mekanisme kerja inhibitor dalam menghambat korosi pada logam sebagai berikut (Dalimunthe, IS. 2004):

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis (film), sehingga tidak dapat dilihat oleh mata.

2. Inhibitor mengendap, selanjutnya terabsorpsi pada permukaan logam sehingga melindungi logam dari korosi. Lapisan yang terbentuk dapat diamati oleh mata.
3. Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logamnya dan menghasilkan zat kimia, melalui proses absorpsi produk kimia tersebut membentuk lapisan pasif pada permukaan logam.
4. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungan.

Inhibitor korosi umumnya berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Namun pada kenyataannya bahan kimia sintesis merupakan bahan kimia yang berbahaya, harganya mahal, dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu solusi penggunaan inhibitor dari ekstrak tanaman sangatlah diperlukan. Hal ini karena inhibitor yang berasal dari ekstrak tanaman umumnya lebih aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan (Hermawan, B. 2007).

Ekstrak tanaman khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam. Efektivitas ekstrak tanaman sebagai inhibitor korosi tidak terlepas dari kandungan nitrogen yang terdapat dalam senyawa kimianya (Hermawan, B. 2007). Salah satu inhibitor korosi yang terdapat dalam ekstrak tanaman adalah tanin.

G. TANIN SEBAGAI INHIBITOR KOROSI ARTEFAK BESI

Tanin merupakan senyawa organik yang terdistribusi luas pada tanaman. Hampir setiap famili tanaman mengandung tanin seperti yang terdapat dalam buah-buahan dan sayur-sayuran. Apabila tanin terbentuk dalam jumlah yang cukup pada tanaman maka akan ditempatkan pada bagian daun, buah, kulit kayu, dan batang. Teh memiliki kandungan tanin yang cukup besar yakni 20-30% dari berat kering daun teh. Tanin adalah kelompok polifenol yang larut dalam air dengan berat molekul antara 500-3000 gr/mol. Berdasarkan struktur kimianya dapat digolongkan menjadi dua kelas yakni (Fajriati, I. 2006):

1. *Condensed tannin*
Merupakan tanin yang dapat terkondesasi dan tidak dapat dihidrolisis kecuali dalam suasana asam, contoh katekin dan proantocyanidin.
2. *Hidrolisable tannin*
Tanin yang terhidrolisis dalam air, contoh galotanin dan cafetanin.

Tanin lebih dikenal sebagai asam tanat yang biasanya mengandung 10% air (H₂O). Struktur kimia tanin merupakan struktur kimia yang kompleks dan tidak sama.

Senyawa polifenol dalam tanin mampu menghambat proses oksidasi. Polifenol merupakan senyawa turunan fenol yang mempunyai aktivitas sebagai antioksidan. Fungsi polifenol dapat sebagai penangkap dan pengikat radikal bebas dari rusaknya ion-ion logam. Tanin memiliki sifat antara lain dapat larut dalam air atau alkohol karena tanin banyak mengandung fenol yang memiliki gugus OH, yang dapat mengikat logam berat (Carter et al, 1978 dalam Irianty dan Komalasari, 2013). Menurut Judy, L (2013), bila tanin diaplikasikan pada besi, maka asam tanat bereaksi dengan ion besi membentuk (*ferric tannate*) tannate besi, yang berwarna biru-hitam.

III. METODE PENELITIAN

A. METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang akan dilaksanakan dalam kajian ini meliputi studi referensi, observasi, dan eksperimen di laboratorium dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Studi referensi
Studi referensi atau studi pustaka dimaksudkan untuk mendapatkan data atau referensi, baik dalam bentuk buku, artikel, jurnal dan sebagainya yang memiliki relevansi dengan kajian ini. Penelusuran referensi dilakukan di perpustakaan Balai Konservasi Borobudur, perpustakaan Jurusan Arkeologi, Fakultas Ilmu Budaya, perpustakaan Fakultas MIPA UGM serta penelusuran referensi melalui internet.
2. Observasi
Observasi dilaksanakan melalui kegiatan studi banding di Museum Nasional Jakarta. Kegiatan tersebut untuk bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan tanin sintetik pada artefak besi koleksi Museum Nasional.
3. Eksperimen dan analisis laboratorium
Eksperimen di laboratorium dilakukan untuk mengetahui efektifitas tanin dari ekstrak teh dalam menghambat korosi artefak besi.

B. RANCANGAN PERCOBAAN

Rancangan percobaan dalam kajian ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Irianty dan Komalasari tahun 2013. Namun terdapat perbedaan yakni dalam hal jenis bahan uji yang digunakan, adanya kontrol dan ulangan dalam tiap perlakuan. Dalam kegiatan eksperimen ini direncanakan akan dibuat 3 (tiga) perlakuan ditambah kontrol dengan masing-masing perlakuan dibuat 3 (tiga) kali ulangan. Adapun perlakuan dalam kajian ini sebagai berikut:

1. Waktu perendaman yang terdiri dari 5, 10, dan 15 hari.
2. Perendaman menggunakan ekstrak teh dengan konsentrasi 1000, 3000, dan 5000 ppm.
3. Perendaman menggunakan tanin sintetik (pabrikasi) dengan konsentrasi 1000, 3000, dan 5000 ppm.

Rancangan percobaan yang lebih terperinci terdapat dalam Tabel 8.1 di bawah ini.

Tabel 8.1 Rancangan Percobaan

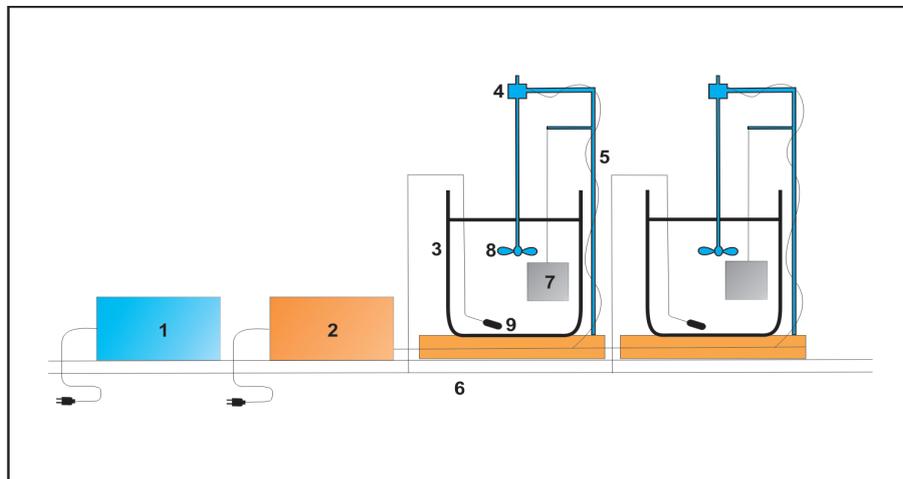
Variasi waktu (hari) Ulangan	5			10			15			Jumlah
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Kontrol (K)	K.5.1	K.5.2	K.5.3	K.10.1	K.10.2	K.10.3	K.15.1	K.15.2	K.15.3	9
ekstrak teh (T)										
1000 ppm	T.1.5.1	T.1.5.2	T.1.5.3	T.1.10.1	T.1.10.2	T.1.10.3	T.1.15.1	T.1.15.2	T.1.15.3	9
3000 ppm	T.3.5.1	T.3.5.2	T.3.5.3	T.3.10.1	T.3.10.2	T.3.10.3	T.3.15.1	T.3.15.2	T.3.15.3	9
5000 ppm	T.5.5.1	T.5.5.2	T.5.5.3	T.5.10.1	T.5.10.2	T.5.10.3	T.5.15.1	T.5.15.2	T.5.15.3	9
tanin sintetik (S)										
1000 ppm	S.1.5.1	S.1.5.2	S.1.5.3	S.1.10.1	S.1.10.2	S.1.10.3	S.1.15.1	S.1.15.2	S.1.15.3	9
3000 ppm	S.3.5.1	S.3.5.2	S.3.5.3	S.3.10.1	S.3.10.2	S.3.10.3	S.3.15.1	S.3.15.2	S.3.15.3	9
5000 ppm	S.5.5.1	S.5.5.2	S.5.5.3	S.5.10.1	S.5.10.2	S.5.10.3	S.5.15.1	S.5.15.2	S.5.15.3	9
Jumlah total										63

Keterangan:

- Kode K, T, S : menunjukkan perlakuan kontrol, ekstrak teh, dan tanin sintetik
 Angka 1, 3 dan 5 : menunjukkan konsentrasi tanin 1000 ppm, 2000 ppm, dan 5000 ppm
 Angka 5, 10 dan 15 : menunjukkan lamanya waktu perendaman
 Angka 1, 2, 3 : menunjukkan urutan ulangan

C. ALAT DAN BAHAN

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah eksikator, mikroskop digital, beker glass, oven, adaptor, aerator, labu ukur 1000 ml, piknometer, kuas, selang, dan pemecah udara. Sedangkan bahan yang dibutuhkan dalam kajian ini meliputi sarung tangan, kertas milimeter, tisu, plastik klip, kertas label, tanin, teh, air laut, amplas, akuades, dan sampel besi ukuran 5x2x0,2 cm. Adapun gambar alat dan sampel dalam percobaan merujuk pada Irianty dan Komalasari (2013) pada Gambar 8.1 sebagai berikut:



Gambar 8.1 Alat dan sampel dalam percobaan

Keterangan :

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1. Aerator | 6. Alas statif |
| 2. Adaptor | 7. Sampel logam besi |
| 3. Labu | 8. Impeller |
| 4. Motor pengaduk | 9. Pemecah udara |
| 5. Statif | |

D. PROSEDUR EKSPERIMEN

1. Preparasi sampel plat besi
 Sampel plat besi dibuat berukuran 5x2x0,2 cm. Bagian atas dari besi dilubangi dengan paku agar bisa digantung waktu proses perendaman. Kemudian besi dibersihkan menggunakan amplas, setelah itu besi dicuci dengan akuades. Besi kemudian dikeringkan menggunakan oven sampai berat besi konstan. Sebelum dilakukan penimbangan, plat besi didinginkan dalam eksikator.
2. Pembuatan larutan induk inhibitor tanin sintetik
 - a. Larutan Inhibitor tanin sintetik 1000 ppm
 Timbang 1 gram tanin sintetik, masukan ke dalam labu ukur, kemudian tambahkan

akuades hingga volume 1000 ml.

- b. Larutan Inhibitor tanin sintetik 3000 ppm
Timbang 3 gram tanin sintetik, masukan ke dalam labu ukur, kemudian tambahkan akuades hingga volume 1000 ml.
- c. Larutan Inhibitor tanin sintetik 5000 ppm
Timbang 5 gram tanin sintetik, masukan ke dalam labu ukur, kemudian tambahkan akuades hingga volume 1000 ml.

Buat larutan inhibitor larutan sintetik pada konsentrasi 2000 ppm dan 4000 ppm. Selanjutnya masing-masing larutan diukur berat jenisnya menggunakan piknometer. Kemudian dibuat grafik persamaan liniernya. Persamaan linier ini digunakan untuk mengecek konsentrasi larutan inhibitor ekstrak teh.

3. Pembuatan larutan induk inhibitor tanin dari ekstrak teh

Pembuatan larutan ekstrak teh dilakukan dengan cara mengekstrak secara langsung dari daun teh kering. Dalam landasan teori sudah dijelaskan bahwa kandungan tanin dalam teh adalah 20-30% dari berat kering daun teh. Asumsi yang digunakan adalah kandungan tanin dalam daun teh kering adalah 20%. Sehingga dalam 1 kg berat kering daun teh terdapat 200 gram tanin. Oleh karena itu untuk memperoleh 1 gram tanin diperlukan 5 gram daun teh kering, dan untuk memperoleh 3 gram tanin diperlukan 15 gram daun teh kering serta untuk memperoleh 5 gram tanin diperlukan 25 gram daun teh kering. Adapun cara pembuatan larutan induk inhibitor tanin dari ekstrak teh adalah sebagai berikut:



Foto 8.1 Pembuatan Larutan Induk Tanin Sintetik

- a. Larutan Inhibitor tanin dari ekstrak teh 1000 ppm
Timbang 5 gram daun teh kering masukan dalam beker glass tambahkan 950 ml akuades panas. Setelah dingin, disaring dan masukan ke dalam labu ukur, kemudian tambahkan akuades hingga volume 1000 ml.
- b. Larutan Inhibitor tanin dari ekstrak teh 3000 ppm
Timbang 15 gram daun teh kering masukan ke dalam beker glass tambahkan 950 ml akuades panas. Setelah dingin, disaring dan masukan ke dalam labu ukur, kemudian tambahkan akuades hingga volume 1000 ml.
- c. Larutan Inhibitor tanin dari ekstrak teh 5000 ppm
Timbang 25 gram daun teh kering masukan dalam beker glass tambahkan 950 ml

akuades panas. Setelah dingin, disaring dan dimasukkan ke dalam labu ukur, kemudian tambahkan akuades hingga volume 1000 ml.

d. Pengecekan konsentrasi larutan inhibitor ekstrak teh

Lakukan prosedur yang sama seperti pada larutan inhibitor tanin sintetik dengan mengukur berat jenis.

4. Prosedur percobaan

a. Kontrol

- Sampel plat dibersihkan dengan cara diampas dibersihkan dengan akuades dikeringkan dengan menggunakan oven dan didinginkan dengan menggunakan desikator untuk mencegah terjadinya penyerapan uap air dari udara. Plat besi kemudian diampas dan ditimbang untuk mengetahui berat awal.
- Disiapkan 6 buah beker glass ukuran 500 ml diisi dengan 400 ml air laut. Plat besi yang telah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing beker glass. Variasi waktu perendaman 5, 10, dan 15 hari dengan pengulangan 3 kali.
- Setelah proses perendaman sesuai dengan variasi waktu, plat besi kemudian diangkat, dicuci dengan menggunakan akuades, dan dikeringkan dengan menggunakan oven dan didinginkan dengan menggunakan desikator untuk mencegah terjadinya penyerapan uap air dari udara. Plat besi kemudian diampas dan ditimbang untuk mengetahui berat akhir.
- Lakukan perhitungan laju korosi menggunakan rumus sebagai berikut (Irianty dan Komalasari, 2013):

$$r = \frac{(w_0 - w_f)}{A \cdot t}$$

Keterangan :

- r : Laju korosi
 W₀ : Berat awal besi (gr)
 W_f : Berat akhir besi (gr)
 A : Luas permukaan plat besi yang terkorosi (cm²)
 t : waktu

b. Perlakukan dengan ekstrak teh dengan konsentrasi 1000, 3000, dan 5000 ppm

- Sampel plat besi dibersihkan dengan akuades dikeringkan dengan menggunakan oven dan didinginkan dengan menggunakan desikator untuk mencegah terjadinya penyerapan uap air dari udara. Plat besi kemudian diampas dan ditimbang untuk mengetahui berat awal.
- Disiapkan 6 buah beker glass ukuran 500 ml diisi dengan 300 ml air laut. Kemudian masukan larutan inhibitor dengan konsentrasi 1000 ppm sebanyak 100 ml. Plat besi yang telah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing beker glass. Variasi waktu perendaman 5, 10, dan 15 hari dengan pengulangan 3 kali.
- Setelah proses perendaman sesuai dengan variasi waktu, plat besi kemudian diangkat, dicuci dengan menggunakan akuades, dan dikeringkan dengan menggunakan oven dan didinginkan dengan menggunakan desikator untuk mencegah terjadinya penyerapan uap air dari udara. Plat besi kemudian diampas dan ditimbang untuk mengetahui berat akhir.

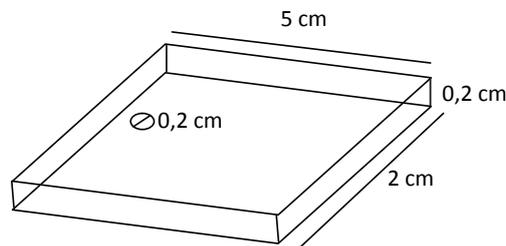
- Lakukan perhitungan laju korosi menggunakan rumus sebagai berikut (Irianty dan Komalasari, 2013):

$$r = \frac{(w_0 - w_f)}{A \cdot t}$$

Keterangan :

- r : Laju korosi
- w₀ : Berat awal besi (gr)
- w_f : Berat akhir besi (gr)
- A : Luas permukaan plat besi yang terkorosi (cm²)
- t : waktu

Luas permukaan plat besi yang terkorosi dapat dihitung dengan persamaan:



$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan} &= 2(px_l + pxt + lxt) - (2\mu r^2) + (2\mu rt) \\ &= 2(5 \times 2 + 5 \times 0,2 + 2 \times 0,2) - (2 \times 3,14 \times 0,1^2) + (2 \times 3,14 \times 0,1 \times 0,2) \text{ cm}^2 \\ &= 22,8628 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Tahapan yang sama dilakukan untuk perlakuan dengan konsentrasi 3000 dan 5000 ppm
- c. Perlakuan dengan tanin sintetik dengan konsentrasi 1000, 3000, dan 5000 ppm
- Sampel plat besi dibersihkan dengan akuades dikeringkan dengan menggunakan oven dan didinginkan dengan menggunakan desikator untuk mencegah terjadinya penyerapan uap air dari udara. Plat besi kemudian diampas dan ditimbang untuk mengetahui berat awal.
 - Disiapkan 6 buah beker glass ukuran 500 ml diisi dengan 300 ml air laut. Kemudian masukkan larutan inhibitor dengan konsentrasi 1000 ppm sebanyak 100 ml. Plat besi yang telah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing beker glass. Variasi waktu perendaman 5, 10, dan 15 hari dengan pengulangan 3 kali.
 - Setelah proses perendaman sesuai dengan variasi waktu, plat besi kemudian diangkat, dicuci dengan menggunakan akuades, dan dikeringkan dengan menggunakan oven dan didinginkan dengan menggunakan desikator untuk mencegah terjadinya penyerapan uap air dari udara. Plat besi kemudian diampas dan ditimbang untuk mengetahui berat akhir.
 - Dilakukan perhitungan laju korosi menggunakan rumus yang sama seperti pada control.
 - Tahapan yang sama dilakukan pula pada perlakuan 3000 dan 5000 ppm



Foto 8.2 Pencampuran larutan induk ekstrak teh dan air laut

5. Penentuan efektifitas ekstrak teh dan tanin sintetik sebagai inhibitor

Dalam menentukan efektifitas atau kemampuan ekstrak teh dan tanin sintetik dalam menghambat korosi besi dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Irianty dan Komalasari, 2013):

$$\%E = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \times 100\%$$

- %E : efisiensi inhibisi (%)
- r1 : laju korosi tanpa inhibitor (gr/cm².hari)
- r2 : laju korosi dengan inhibitor (gr/cm².hari)

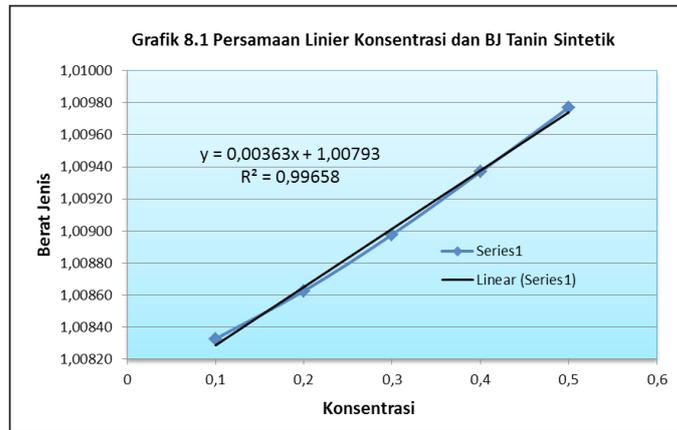
Untuk memudahkan dalam analisis data, maka data yang didapatkan dimasukkan dalam tabel rancangan percobaan dan dihitung rata-rata dari ketiga ulangan dari tiap-tiap perlakuan dan variasi waktu. Kemudian data dari tabel tersebut dibuat dalam bentuk grafik untuk mempermudah dalam pembacaan analisis.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. KADAR TANIN DALAM EKSTRAK TEH

Kegiatan preparasi ini dilakukan untuk memastikan konsentrasi atau kadar tanin dalam ekstrak teh. Preparasi dilakukan dengan cara membuat larutan tanin sintetik dengan konsentrasi 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, dan 5000 ppm. Kemudian larutan-larutan yang sudah dibuat tersebut diukur berat jenisnya. Hasil pengukuran berat jenis tersebut dimasukkan dalam tabel dan dibuat persamaan liniernya menggunakan program excel. Hasilnya ditampilkan dalam Grafik 8.1.

Berdasarkan persamaan $y = 0,00363x + 1,00793$, maka diketahui bahwa teh hitam merek B mengandung tanin dengan kadar $\pm 20\%$ dan teh hijau merek B mengandung $\pm 23\%$ tanin. Hal ini selaras dengan pernyataan Fajriati (2006) yang menyatakan bahwa teh mengandung 20-30% tanin. Oleh karena itu, untuk mempermudah dalam pembuatan larutan inhibitor induk ekstrak teh digunakan teh hitam merek B. Sehingga nantinya kandungan tanin dalam larutan ekstrak teh dan tanin sintetik pada larutan perlakuan akan sama pada konsentrasi yang sama.



Grafik 8.1 Persamaan Linier Konsentrasi dan BJ Tanin Sintetik

B. KOMPOSISI DAN SALINITAS AIR LAUT PANTAI GLAGAH SERTA KOMPOSISI PLAT BESI

1. Komposisi dan Salinitas Air Laut

Salinitas adalah banyaknya kadar garam (dalam gram) yang terdapat dalam setiap 1 kg air laut. Jika kandungan garam, kurang dari 0,05% maka dikategorikan sebagai air tawar, antara 0,05% sampai 3% dikategorikan sebagai air payau. Namun bila konsentrasinya antara 3 sampai 5% dikategorikan menjadi *saline* dan jika lebih dari 5% disebut air *brine*.

Tabel 8.2 Klasifikasi Salinitas Air

Salinitas air berdasarkan persentase garam terlarut			
Air tawar	Air payau	Air saline	Brine
< 0,05 %	0,05—3 %	3—5 %	5 %<

Sampel air laut yang digunakan dalam kajian ini diambil dari pantai Glagah Kulon Progo. Hasil analisis pengukuran kadar garam dalam sampel tersebut menggunakan analisis titrimetri adalah 3,46%. Sehingga air laut tersebut masuk kategori *saline* yang mengandung elektrolit penyebab korosi besi. Air laut tersebut cocok jika digunakan sebagai media uji dalam kajian ini.

2. Komposisi Sampel Plat Besi

Sebelum dilakukan eksperimen dilakukan analisis komposisi flat besi menggunakan alat XRF. Analisis dilakukan dalam tiga kali ulangan. Hasil analisis tertera dalam tabel di bawah ini:

Tabel 8.3 Komposisi Plat Besi

Unsur	Persentase (%)			
	1	2	3	Rata-rata
Fe (besi)	98,39	98,41	98,35	98,38
Mn (mangan)	1,48	1,50	1,54	1,51
Cr (krom)	0,12	0,09	0,11	0,11

Hasil analisis menunjukkan rata-rata flat besi mengandung 98,38% besi; 1,51% dan 0,11% krom.

C. LAJU KOROSI PLAT BESI DALAM LARUTAN TANIN SINTETIK DAN EKSTRAK TEH

Data berat plat besi sebelum dan sesudah percobaan serta selisihnya ditampilkan pada Lampiran 1, sedangkan data laju korosi ditampilkan pada Lampiran 2. Data laju korosi tersebut selanjutnya dianalisis statistik menggunakan aplikasi SPSS versi 20. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa:

1. Analisis statistik laju korosi dengan lama waktu perendaman 5 hari

a. Uji homogenitas varian

Uji ini bertujuan untuk menguji apakah varian dari ketujuh perlakuan dengan lama waktu perendaman 5 hari apakah sama.

Tabel 8.4 *Test of Homogeneity of Variances*

Laju Korosi			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,531	6	14	,071

Interpretasi

Hipotesis yang diajukan :

H_0 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 5 hari mempunyai varian yang sama

H_1 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 5 hari mempunyai varian yang tidak sama

Dasar pengambilan keputusan :

Jika probabilitasnya (Sig) > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probabilitasnya (Sig) < 0,05 maka H_0 ditolak

Keputusan :

Pada Tabel 1. *Test of Homogeneity of Variances* dapat dilihat probabilitasnya adalah sebesar 0,071 (> 0,05) sehingga H_0 diterima, artinya ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 5 hari tersebut mempunyai varian yang sama sehingga dilanjutkan uji anova.

b. Uji Anova

Analisis ini bertujuan untuk menguji apakah ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 5 hari tersebut memiliki purata (nilai rata-rata) yang sama.

Tabel 8.5 Anova

Laju Korosi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	6	,000	,690	,661
Within Groups	,000	14	,000		
Total	,000	20			

Interpretasi

Hipotesis yang diajukan :

H_0 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 5 hari memiliki laju korosi yang sama

H_1 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 5 hari memiliki laju korosi yang tidak sama

Dasar pengambilan keputusan :

Jika probabilitasnya $> 0,05$ maka H_0 diterima

Jika probabilitasnya $< 0,05$ maka H_0 ditolak

Keputusan :

Kesimpulan yang sama dapat juga diambil dengan melihat pada kolom probabilitasnya (Sig) yang nilainya sebesar $0,661 > 0,05$ sehingga H_0 diterima yang artinya ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 5 hari memiliki laju korosi yang sama (tidak terdapat perbedaan yang signifikan).

c. Uji Post Hoc

Analisis ini bertujuan untuk menguji laju korosi mana yang lebih baik digunakan. Tabel *Post Hoc Tests (Multiple Comparisons LSD "Least Significance Different" with Tukey)* dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 8.6 *Homogeneous Subsets*
Laju Korosi

Tukey HSD^a

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05
		1
ekstrak teh 5000 ppm	3	,000473840
tanin sintetik 3000 ppm	3	,000617597
ekstrak teh 3000 ppm	3	,000618180
tanin sintetik 5000 ppm	3	,000773307
kontrol	3	,000781180
ekstrak teh 1000 ppm	3	,000840667
tanin sintetik 1000 ppm	3	,001027870
Sig.		,568

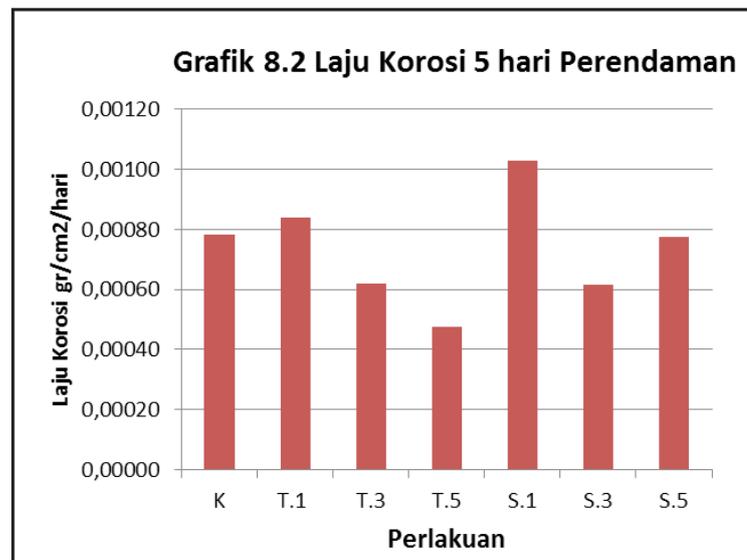
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Berdasarkan Tabel *Post Hoc Homogeneous Subset* di atas yang sama dikelompokkan dalam satu subset. Dapat dilihat bahwa ketujuh perlakuan dikelompokkan dalam 1 subsets. Hasil di atas disimpulkan bahwa *perlakuan terbaik dengan lamanya waktu perendaman selama 5 hari* adalah ekstrak the 5000 ppm dengan laju korosi paling rendah yakni $0,000473840 \text{ gr/cm}^2/\text{hari}$.

d. Grafik Laju Korosi setelah 5 hari perendaman

Berikut grafik yang menunjukkan rata-rata laju korosi besi setelah 5 hari perendaman dalam berbagai perlakuan.



Grafik 8.2 Laju Korosi 5 hari perendaman

2. Analisis statistik laju korosi dengan waktu perendaman 10 hari

a. Uji homogenitas varian

Uji ini bertujuan untuk menguji apakah varian dari ketujuh perlakuan dengan lama waktu perendaman 10 hari apakah sama.

Tabel 8.7 *Test of Homogeneity of Variances*

Laju Korosi			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,088	6	14	,120

Interpretasi

Hipotesis yang diajukan :

H_0 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 10 hari mempunyai varian yang sama

H_1 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 10 hari mempunyai varian yang tidak sama

Dasar pengambilan keputusan :

Jika probalilitasnya (Sig) > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probalilitasnya (Sig) < 0,05 maka H_0 ditolak

Keputusan :

Pada Tabel 1. *Test of Homogeneity of Variances* dapat dilihat probalitasnya adalah sebesar 0,120 (> 0,05) sehingga H_0 diterima, artinya ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 10 hari tersebut mempunyai varian yang sama sehingga dilanjutkan uji anova.

b. Uji Anova

Analisis ini bertujuan untuk menguji apakah ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 10 hari tersebut memiliki purata (nilai rata-rata) yang sama.

Tabel 8.8 Anova

Laju Korosi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	6	,000	5,612	,004
Within Groups	,000	14	,000		
Total	,000	20			

Interpretasi

Hipotesis yang diajukan :

H_0 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 10 hari memiliki laju korosi yang sama

H_1 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 10 hari memiliki laju korosi yang tidak sama

Dasar pengambilan keputusan :

Jika probabilitasnya $> 0,05$ maka H_0 diterima

Jika probabilitasnya $< 0,05$ maka H_0 ditolak

Keputusan :

Kesimpulan yang sama dapat juga diambil dengan melihat pada kolom probabilitasnya (Sig) yang nilainya sebesar $0,004 < 0,05$ sehingga H_0 ditolak yang artinya ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 10 hari memiliki laju korosi yang tidak sama (berbeda secara signifikan).

c. Uji Post Hoc

Analisis ini bertujuan untuk menguji laju korosi mana yang lebih baik digunakan. Tabel *Post Hoc Tests (Multiple Comparisons LSD "Least Significance Different" with Tukey)* dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 8.9 Homogeneous Subsets

Laju Korosi

Tukey HSD

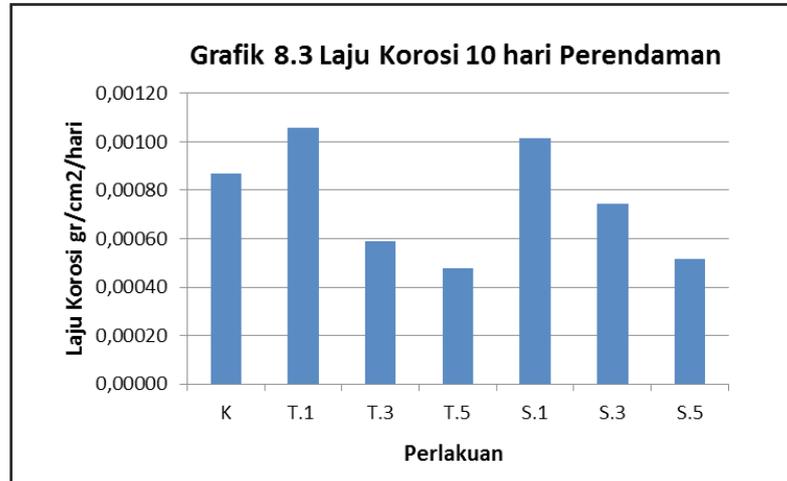
Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ekstrak teh 5000 ppm	3	,000475590	
tanin sintetik 5000 ppm	3	,000515247	
ekstrak teh 3000 ppm	3	,000588440	,000588440
tanin sintetik 3000 ppm	3	,000743857	,000743857
kontrol	3	,000869970	,000869970
tanin sintetik 1000 ppm	3		,001014457
ekstrak teh 1000 ppm	3		,001057177
Sig.		,145	,059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Hasil di atas disimpulkan bahwa *perlakuan terbaik dengan lamanya waktu perendaman selama 10 hari* adalah ekstrak the 5000 ppm dengan laju korosi paling rendah yakni $0,000475590 \text{ gr/cm}^2/\text{hari}$.

- d. Grafik Laju Korosi setelah 10 hari Perendaman
Berikut grafik yang menunjukkan rata-rata laju korosi besi setelah 10 hari perendaman dalam berbagai perlakuan.



Grafik 8.3 Laju Korosi 10 Hari Perendaman

3. Analisis statistik laju korosi dengan waktu perendaman 15 hari

- a. Uji homogenitas varian
Uji ini bertujuan untuk menguji apakah varian dari ketujuh perlakuan dengan lama waktu perendaman 15 hari apakah sama.

Tabel 8.10 *Test of Homogeneity of Variances*

Laju Korosi			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,882	6	14	,155

Interpretasi

Hipotesis yang diajukan :

H_0 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 15 hari mempunyai varian yang sama

H_1 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 15 hari mempunyai varian yang tidak sama

Dasar pengambilan keputusan :

Jika probalilitasnya (Sig) > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probalilitasnya (Sig) < 0,05 maka H_0 ditolak

Keputusan :

Pada Tabel 1. *Test of Homogeneity of Variances* dapat dilihat probalitasnya adalah sebesar 0,155 (> 0,05) sehingga H_0 diterima, artinya ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 15 hari tersebut mempunyai varian yang sama sehingga dilanjutkan uji anova.

- b. Uji Anova
Analisis ini bertujuan untuk menguji apakah ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 15 hari tersebut memiliki purata (nilai rata-rata) yang sama.

Tabel 8.11 Anova

Laju Korosi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	6	,000	3,955	,016
Within Groups	,000	14	,000		
Total	,000	20			

Interpretasi

Hipotesis yang diajukan :

H_0 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 15 hari memiliki laju korosi yang sama

H_1 : Ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 15 hari memiliki laju korosi yang tidak sama

Dasar pengambilan keputusan :

Jika probabilitasnya $> 0,05$ maka H_0 diterima

Jika probabilitasnya $< 0,05$ maka H_0 ditolak

Keputusan :

Kesimpulan yang sama dapat juga diambil dengan melihat pada kolom probabilitasnya (Sig) yang nilainya sebesar $0,016 < 0,05$ sehingga H_0 ditolak yang artinya ketujuh perlakuan dengan lamanya waktu perendaman 15 hari memiliki laju korosi yang tidak sama.

c. Uji Post Hoc

Analisis ini bertujuan untuk menguji laju korosi mana yang lebih baik digunakan. Tabel *Post Hoc Tests (Multiple Comparisons LSD "Least Significance Different" with Tukey)* dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 8.12 Homogeneous Subsets

Laju Korosi			
Tukey HSD ^a			
Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
tanin sintetik 5000 ppm	3	,000402987	
kontrol	3	,000627513	,000627513
tanin sintetik 3000 ppm	3	,000659587	,000659587
tanin sintetik 1000 ppm	3	,000699827	,000699827
ekstrak teh 5000 ppm	3	,000726267	,000726267
ekstrak teh 1000 ppm	3		,000908997
ekstrak teh 3000 ppm	3		,000989187
Sig.		,280	,183

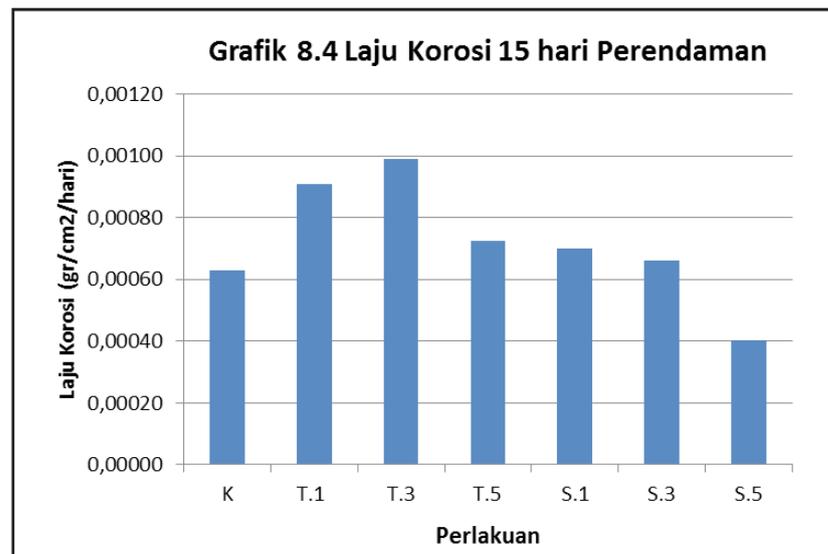
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Hasil di atas disimpulkan bahwa *perlakuan terbaik dengan lamanya waktu perendaman selama 15 hari* adalah tanin sintetik 5000 ppm dengan laju korosi paling rendah yakni $0,000402987 \text{ gr/cm}^2/\text{hari}$.

d. Grafik Laju Korosi setelah 15 hari perendaman

Berikut grafik yang menunjukkan rata-rata laju korosi besi setelah 15 hari perendaman dalam berbagai perlakuan.



Grafik 8.4 Laju Korosi 15 Hari Perendaman

D. EFEKTIFITAS PENGHAMBATAN EKSTRAK TEH DAN TANIN SINTETIK

Efektifitas penghambatan ekstrak teh dan tanin sintetik dihitung menggunakan rumus efisiensi penghambatan (%) di bawah ini:

$$\%E = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \times 100\%$$

%E : efisiensi inhibisi (%)

r₁ : laju korosi tanpa inhibitor (gr/cm².hari)

r₂ : laju korosi dengan inhibitor (gr/cm².hari)

- Efisiensi penghambatan pada waktu perendaman 10 hari dalam ekstrak teh dengan konsentrasi 5000 ppm adalah 45,33%.
- Efisiensi penghambatan pada waktu perendaman 15 hari dalam tanin sintetik dengan konsentrasi 5000 ppm adalah 35,78%.

E. SAMPEL KOLEKSI BESI MUSEUM NASIONAL YANG DIAPLIKASI DENGAN TANIN SINTETIK

Dalam kajian ini dilakukan evaluasi kondisi koleksi besi yang sudah pernah diaplikasi dengan tanin. Sampel koleksi yang diobservasi berupa cundrik dan keris milik Museum Nasional. Terdapat 2 sampel artefak besi koleksi Museum Nasional berupa cundrik dan badik.



Foto 8.3 Cundrik dan Penampang Permukaannya

Jundrik merupakan sejenis keris yang berukuran lebih kecil yang senjata senjata khusus untuk perempuan. Cundrik ini berbahan besi dan sedikit berpamor. Berdasarkan hasil wawancara dengan staf museum diketahui bahwa cundrik tersebut telah dikonservasi 3 tahun yang lalu. Tindakan konservasi yang dilakukan adalah pembersihan karat menggunakan asam sitrat. Selanjutnya distabilkan dengan larutan tanin sintetik, setelah itu langsung di-*couting* dengan paraloid B72 3%. Cundrik tersebut dipamerkan pada gedung baru dengan yang dilengkapi dengan AC paralel. Jika AC hidup suhu terendah 14°C dan kelembaban udara terendah 55%. Jika AC mati suhu rata-rata 25-32°C kelembaban rata-rata 80-100%. Cundrik disimpan dalam vitrin berbahan logam dan kaca. Kondisi permukaan cundrik saat ini sudah mengalami korosi sekitar 40%.



Foto 8.4 Badik yang Permukaanya Masih Bagus

Objek observasi kedua adalah senjata badik, yang berbahan dasar besi dan tidak berpamor. Berdasarkan hasil wawancara pula diketahui bahwa badik tersebut sudah dikonservasi 5 tahun yang lalu dengan metode yang sama dengan cundrik. Namun badik disimpan pada gedung lama yang tidak ber-AC dengan suhu rata-rata 24-26°C dan kelembaban 55%. Badik tersebut disimpan dalam vitrin berbahan kayu jati dan kaca. Kondisi badik saat ini hanya mengalami korosi sekitar 10% dan pada beberapa bagian terdapat pengelupasan lapisan pelindung.

Hasil observasi kedua koleksi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan tanin yang dilanjutkan dengan *couting* paraloid dapat mencegah korosi pada artefak besi. Karena setelah 3-5 tahun baru terdapat karat lagi pada permukaan sekitar 20-40%. Namun efektifitas aplikasi tanin juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti dijelaskan di atas, cundrik berada dalam gedung baru dimana iklim mikro lingkungan tersebut lebih fluktuatif, sedangkan badik berada dalam gedung lama yang suhu dan kelembabanya relatif lebih lebih stabil. Kondisi tersebut menyebabkan cundrik lebih cepat terkorosi dibandingkan dengan badik walaupun sama-sama distabilkan dengan tanin. Namun aplikasi tanin pada besi akan merubah warna permukaan besi menjadi hitam kebiruan seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.

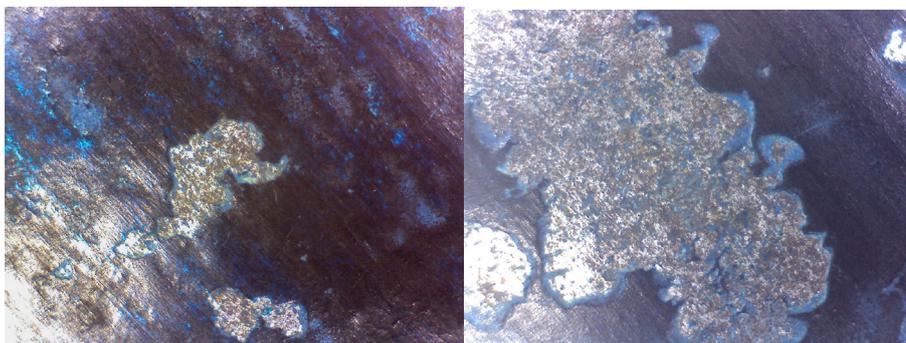


Foto 8.5 Lapisan Permukaan Badik yang Mengelupas, Terlihat Warna Lapisan Tanin Hitam Kebiruan

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Waktu perendaman 5 hari tidak menunjukkan adanya perbedaan perlakuan yang signifikan sedangkan waktu perendaman 10 dan 15 hari menunjukkan adanya perbedaan perlakuan yang signifikan.
2. waktu perendaman 10 hari menunjukkan larutan ekstrak teh 5000 ppm memiliki laju korosi plat besi paling rendah yakni 0,000475590 gr/cm²/hari dengan efisiensi sebesar 45,33%.
3. Waktu perendaman 15 hari menunjukkan larutan tanin sintetik 5000 ppm memiliki laju korosi plat besi paling rendah yakni 0,000402987gr/cm²/hari dengan efisiensi sebesar 35,78%.
4. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ekstrak teh dan tanin sintetik memiliki kemampuan dalam menghambat korosi besi.
5. Hasil observasi sampel koleksi besi pada Museum Nasional menunjukkan aplikasi tanin menyebabkan lapisan yang berwarna hitam kebiruan sebagai hasil reaksi tanin dan besi dalam bentuk *ferritannin*.

B. SARAN

Sebaiknya kajian ini dilanjutkan untuk menentukan metode atau teknik aplikasi tanin yang paling tepat pada artefak besi dan bagaimana pengaturan lingkungan pada koleksi besi yang sudah diaplikasi dengan tanin tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Literatur/Texbook

Sadirin, Hr. 1984. *Konservasi dan Preservasi Benda-Benda Perunggu*. Balai Konservasi Candi Borobudur.

Publikasi Hasil Penelitian, Skripsi, Tesis dan Artikel

Dalimunthe, IS. 2004. *Kimia dari Inhibitor*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara.

Irianty, RS dan Komalasari. 2013. *Ekstraksi Daun Gambir Menggunakan Pelarut Metanol-Air sebagai Inhibitor Korosi*. Laboratorium Konversi Elektrokimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau. Jurnal Teknobiologi, IV (1) 2013:7-15 ISSN:2087 - 5428

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

Logan, Judy. 2013. *Tannic Acid Coating for Rusted Iron Artifacts*. CCI Notes 9/5 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.
- Swastikawati, A. 2014. *Metode Konservasi Logam Secara Tradisional*. Laporan Kajian. Balai Konservasi Borobudur, 2014

Website

- Hermawan, Beni. 2007. *Ekstrak Bahan Alam sebagai Alternatif Inhibitor Korosi*. <http://www.Chem.-istry.org>. Dikutip tanggal 30 April 2015.

LAMPIRAN 1

Tabel 1. BERAT PLAT BESI SEBELUM DAN SESUDAH PERCOBAAN SERTA SELISIHNYA (GRAM)

Variasi waktu (hari)	5			10			15			Jumlah
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Ulangan										
Kontrol (K)	K.5.1	K.5.2	K.5.3	K.10.1	K.10.2	K.10.3	K.15.1	K.15.2	K.15.3	9
sebelum	21,7745	23,4721	23,6256	26,2079	24,7266	22,5603	22,9723	21,0474	21,9657	
sesudah	21,6378	23,411	23,5555	25,9577	24,5537	22,3867	22,6715	20,8589	21,8094	
selisih	0,1367	0,0611	0,0701	0,2502	0,1729	0,1736	0,3008	0,1885	0,1563	
	0,00119583	0,00053449	0,000613223	0,00109435	0,00075625	0,000759312	0,00087712	0,00054966	0,000455762	
ekstrak teh (T)										
1000 ppm	T.1.5.1	T.1.5.2	T.1.5.3	T.1.10.1	T.1.10.2	T.1.10.3	T.1.15.1	T.1.15.2	T.1.15.3	9
sebelum	22,989	24,5324	24,7986	23,0723	24,5705	24,9259	23,5113	27,5484	25,1135	
sesudah	22,8298	24,5257	24,6762	22,8072	24,3383	24,6981	23,2243	27,249	24,7647	
selisih	0,1592	0,0067	0,1224	0,2651	0,2322	0,2278	0,287	0,2994	0,3488	
	0,00139266	0,000058610	0,001070735	0,00115953	0,001015624	0,000996378	0,00083688	0,00087303	0,001017082	
3000 ppm	T.3.5.1	T.3.5.2	T.3.5.3	T.3.10.1	T.3.10.2	T.3.10.3	T.3.15.1	T.3.15.2	T.3.15.3	9
sebelum	21,5397	22,1122	22,941	27,7698	24,4078	23,94	21,0949	23,6846	23,6909	
sesudah	21,4500	22,0443	22,8866	27,6002	24,297	23,8168	20,7159	23,2783	23,4585	
selisih	0,0897	0,0679	0,0544	0,1696	0,1108	0,1232	0,379	0,4063	0,2324	
	0,00078468	0,00059398	0,000475882	0,00074182	0,00048463	0,000538867	0,00110514	0,00118475	0,000677666	
5000 ppm	T.5.5.1	T.5.5.2	T.5.5.3	T.5.10.1	T.5.10.2	T.5.10.3	T.5.15.1	T.5.15.2	T.5.15.3	9
sebelum	21,1511	23,0405	22,5433	22,101	24,8188	23,615	24,8255	24,5264	24,0766	

sesudah selisih	21,0971 0,054 0,00047238	22,9994 0,0411 0,00035954	22,4759 0,0674 0,000589604	21,9627 0,1383 0,00060491	24,7344 0,0844 0,000369159	23,5115 0,1035 0,0004527	24,6041 0,2214 0,00064559	24,2733 0,2531 0,00073803	23,8039 0,2727 0,000795178	
tanin sintetik (S)										
1000 ppm	S.1.5.1	S.1.5.2	S.1.5.3	S.1.10.1	S.1.10.2	S.1.10.3	S.1.15.1	S.1.15.2	S.1.15.3	9
sebelum	22,7694	24,5276	24,0698	23,6594	23,2783	23,0624	22,8936	21,9997	21,2240	
sesudah	22,6213	24,401	23,992	23,4274	23,058	22,8189	22,6847	21,7626	20,9500	
selisih	0,1481	0,1266	0,0778	0,232	0,2203	0,2435	0,2089	0,2371	0,274	
	0,00129555	0,00110748	0,000680582	0,00101475	0,000963574	0,001065049	0,00060914	0,00069137	0,000798969	
3000 ppm	S.3.5.1	S.3.5.2	S.3.5.3	S.3.10.1	S.3.10.2	S.3.10.3	S.3.15.1	S.3.15.2	S.3.15.3	9
sebelum	22,2856	23,7883	24,2897	22,5622	25,6228	24,4998	25,4892	20,7071	21,4798	
sesudah	22,2388	23,6919	24,2211	22,4487	25,4332	24,2927	25,3223	20,4249	21,2503	
selisih	0,0468	0,0964	0,0686	0,1135	0,1896	0,2071	0,1669	0,2822	0,2295	
	0,0004094	0,00084329	0,000600101	0,00049644	0,000829295	0,000905838	0,00048667	0,00082288	0,000669209	
5000 ppm	S.5.5.1	S.5.5.2	S.5.5.3	S.5.10.1	S.5.10.2	S.5.10.3	S.5.15.1	S.5.15.2	S.5.15.3	9
sebelum	22,9832	21,3861	23,2225	21,3247	22,4613	21,9541	19,9020	20,0937	17,6869	
sesudah	22,8468	21,2929	23,1869	21,2647	22,2732	21,8488	19,7585	20,0068	17,5027	
selisih	0,1364	0,0932	0,0356	0,06	0,1881	0,1053	0,1435	0,0869	0,1842	
	0,0011932	0,0008153	0,000311423	0,00026244	0,000822734	0,000460574	0,00041844	0,0002534	0,000537117	
Jumlah total										63

LAMPIRAN 2

TABEL 2. LAJU KOROSI BESI MENGGUNAKAN INHIBITOR TANIN EKSTRAK THE DAN TANIN SINTETIK

Perakuan	Laju Korosi														
	5 hari					10 hari					15 hari				
	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata			
Kontrol (K)	0,00119583	0,00053449	0,00061322	0,00078118	0,00109435	0,00075625	0,00075931	0,00086997	0,00087712	0,00054966	0,00045576	0,00062751			
ekstrak teh (T)															
1000 ppm	0,00139266	0,00005861	0,00107073	0,00084067	0,00115953	0,00101562	0,00099638	0,00105718	0,00083688	0,00087303	0,00101708	0,00090900			
3000 ppm	0,00078468	0,00059398	0,00047588	0,00061818	0,00074182	0,00048463	0,00053887	0,00058844	0,00110514	0,00118475	0,00067767	0,00098919			
5000 ppm	0,00047238	0,00035954	0,00058960	0,00047384	0,00060491	0,00036916	0,00045270	0,00047559	0,00064559	0,00073803	0,00079518	0,00072626			
tanin sintetik (S)															
1000 ppm	0,00129555	0,00110748	0,00068058	0,00102787	0,00101475	0,00096357	0,00106505	0,00101446	0,00060914	0,00069137	0,00079897	0,00069983			
3000 ppm	0,00040940	0,00084329	0,00060010	0,00061760	0,00049644	0,00082929	0,00090584	0,00074386	0,00048667	0,00082288	0,00066921	0,00065959			
5000 ppm	0,00119320	0,00081530	0,00031142	0,00077331	0,00026244	0,00082273	0,00046057	0,00051525	0,00041844	0,00025340	0,00053712	0,00040298			

