



KONSERVASI KOLEKSI PERUNGGU



KONSERVASI KOLEKSI PERUNGGU



KEMENTERIAN
PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI

PENGARAH

Hilmar Farid, Ph.D.
Dra. Sri Hartini, M.Si.

PENANGGUNG JAWAB

Dra. Huriyati, M.M.

REDAKTUR

Ita Yulita, S.Si., M.Hum.
Dian Novita Lestari, S.Si., M.Hum.

EDITOR

Dr. Yuni Krisnandi
Setyo Untoro, M.Hum.
Maulidha Sinta Dewi, S.Si., M.Hum.
Farah Dhita Hasanah, S.Si.

DESAIN, LAYOUT, DAN ILUSTRASI

Handrito Danar Prabowo, S.Ds.
Imam Santoso, S.Sn.
Luqman Hakim



BUKU KONSERVASI KOLEKSI PERunggu

©2021
Diterbitkan oleh

Museum Nasional
Jalan Medan Merdeka Barat
No. 12 Jakarta 10110
www.museumnasional.or.id
museum.nasional@kemdikbud.go.id

BAB 1

**Zaman Perunggu:
Awal Mula Logam Mewarnai Peradaban**
Muhamad I. Amal, Ph.D.

BAB 2

Koleksi Perunggu Museum Nasional
Desrika Retno Widyastuti, S.S.

BAB 3

Prinsip Konservasi Koleksi Museum
Ita Yulita, S.Si., M.Hum.

BAB 4

Konservasi Koleksi di Ruang Pamer Terbuka
Maulidha Sinta Dewi, S.Si., M.Hum.
Lukman Ajiz, S.Si.
Ary Setyaningrum, S.Hum.
Suroyo, S.Pd.

BAB 5

Konservasi Koleksi di Ruang Pamer Tertutup
Farah Dhita Hasanah, S.Si.
Baninka Azhim Askari, S.Si.
Rio Hardiansyah, S.Si.
Utami Chusnul Chotimah, S.Si.

BAB 6

Konservasi Koleksi di Ruang Penyimpanan
Dian Novita Lestari, S.Si., M.Hum.
Nurhanifiyah Azura, S.Si.
Mega Ayu Waningsih, S.Si.
Wahyuda

ISBN 978 979 8353 21 5



Hak cipta dilindungi Undang-Undang.

Dilarang memperbanyak, mengutip,
atau memublikasi isi buku tanpa izin
tertulis dari pemegang hak cipta.

SAMBUTAN



Hilmar Farid
Direktur Jenderal Kebudayaan

Puji Sukur kepada Allah SWT atas terselesainya Buku Konservasi Koleksi Perunggu sebagai gambaran kegiatan pelestarian koleksi di museum berbahan dasar perunggu.

Perunggu adalah salah satu reka cipta paling awal yang ditemukan peradaban umat manusia. Penemuan ini mengakhiri jutaan tahun penggunaan alat-alat tradisional batu dan kayu. Perunggu tak datang begitu saja dari langit. Untuk membuatnya nenek moyang kita harus jadi ilmuwan nan canggih. Jeli dalam mengamati sifat tembaga, berinovasi dengan mencampurkannya dengan jenis logam lain, menemukan teknik peleburan dan pepaduan logam melalui serangkaian eksperimen yang membutuhkan ketelitian, kerja keras, dan kesabaran. Mereka-reka cipta sesuai angan dan kebutuhan, membentuk dan mencetak sebelum dingin. Dengan kata lain inilah dia: Inovasi!



Tapi sebagaimana semua hal di dunia, perunggu juga tak abadi. Ribuan artefak perunggu peninggalan peradaban manusia, termasuk di Nusantara juga menghadapi ancaman kerusakan. Tentunya untuk menjadikan artefak perunggu tetap lestari merupakan suatu tantangan tersendiri. Memberikan perlindungan menyeluruh dengan memperhatikan material koleksi dan lingkungannya serta mencegah dari bersentuhan dengan agen penyebab kerusakan yang menghampiri koleksi adalah suatu keharusan. Di sinilah peranan konservasi untuk mencegah kerusakan dan menjaga kelestarian benda-benda warisan budaya.

Buku ini menyajikan pengetahuan teoritis dan praktik konservasi koleksi berbahan dasar perunggu dengan pengaruh lingkungan yang berbeda. Saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang berpartisipasi dalam penyusunan buku *Konservasi Koleksi Perunggu*. Saya harapkan buku ini dapat membawa manfaat baik bagi para mahasiswa, ilmuwan, para pelestari koleksi maupun pengambil kebijakan museum dalam rangka pelestarian koleksi.

Selamat membaca!

KATA PENGANTAR



Sri Hartini
Plt. Kepala Museum Nasional

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat dan hidayah-Nya, buku Konservasi Koleksi Perunggu ini bisa diselesaikan dengan baik.

Eksistensi Museum Nasional telah berlangsung selama 243 tahun. Bukan waktu yang singkat. Namun begitulah museum, kehadirannya tidak hanya untuk 10-20 tahun saja, tetapi museum merentang jaman. Belum lagi jika kita berbicara mengenai koleksi di dalamnya, beragam usianya, bahkan banyak yang berusia lebih tua dari Museum Nasional sendiri. Hingga saat ini Museum nasional menyimpan 190.000an koleksi yang terdiri dari 7 jenis koleksi Prasejarah, Arkeologi masa Klasik atau Hindu – Budha; Numismatik dan Heraldik; Keramik; Etnografi, Geografi dan Sejarah. Bukan hal yang mudah untuk mengelolanya. Pekerjaan yang berlangsung terus menerus bukan hanya untuk saat ini, tetapi juga untuk masa depan.

Museum Nasional memiliki berbagai macam koleksi yang terbuat dari berbagai bahan,



salah satunya adalah berbahan logam perunggu. Di balik kemegahan koleksi perunggu yang terpajang di Ruang Pamer Museum, tidak dipungkiri kerapuhan membayangi. Ratusan bahkan ribuan tahun mengarungi jaman, selama itu pula koleksi selalu berhadapan dengan agen-agen kerusakan. Kelembapan dan temperature yang tidak sesuai, keberadaan polutan dan agen kerusakan lain terus membayangi. Tidak hanya di ruang pameran, di ruang penyimpanan juga tidak terlepas dari kehadiran agen-agen kerusakan tersebut. Disinilah konservasi berperan, merawat dan melindungi koleksi museum.

Melalui buku ini, Museum Nasional menjalankan fungsinya untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman dalam melakukan konservasi koleksi perunggu. Buku ini berisi informasi mengenai tindakan konservasi koleksi perunggu baik pada praktiknya maupun secara teori. Pembahasan akan berfokus kepada perbedaan lingkungan dimana koleksi perunggu itu berada yaitu lingkungan ruang pameran terbuka, ruang pameran tertutup, dan ruang simpan. Pada lingkungan yang berbeda akan terdapat perbedaan pula dalam penanganannya. Sebelum ke pembahasan utama, dalam buku ini juga dijabarkan pengetahuan mengenai ilmu material perunggu, koleksi perunggu Museum Nasional, dan prinsip konservasi koleksi museum.

Semoga apa yang disampaikan dalam buku ini dapat menjadi panduan bagi para pelestari koleksi museum, khususnya dalam menangani koleksi berbahan perunggu. Selain itu, diharapkan buku ini dapat menjadi gambaran bagi para praktisi maupun masyarakat umum untuk memahami tindakan pelestarian koleksi di museum.

DAFTAR ISI

SAMBUTAN	i
• Dirjen Kebudayaan, Hilmar Farid	
KATA PENGANTAR	iii
• Plt. Kepala Museum Nasional, Sri Hartini	
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1	
ZAMAN PERUNGGU: AWAL MULA LOGAM MEWARNAI PERADABAN	1
1.1 PENDAHULUAN: PERADABAN MANUSIA ADALAH PERADABAN MATERIAL	3
1.2 ZAMAN PERUNGGU AWAL MULA DAN BERAKHIRNYA	4
1.3 KARAKTERISTIK Dan KEUNGGULAN PADUAN PERUNGGU	7
1.3.1 Karakteristik Paduan Perunggu	8
1.3.1.1 1. Daktilitas yang Tinggi	
1.3.1.2 2. Tahan Lama	
1.3.1.3 3. Ketahanan Aus yang Baik	
1.3.1.4 4. Tidak Menghasilkan Percikan saat Ditempa	
1.3.1.5 5. Kecenderungan untuk Memuai saat Pendinginan dari Cairan ke Padatan	
1.3.2 Keluarga Paduan Perunggu	9
1.4 SEJARAH PENGEMBANGAN PADUAN PERUNGGU	11
1.4.1 Pemanfaatan Tembaga Pribumi	11
1.4.2 Peleburan Bijih Tembaga	11
1.4.3 Pengecoran	12

BAB 1	
ZAMAN PERUNGGU: AWAL MULA LOGAM MEWARNAI PERADABAN	1
(Lanjutan)	

1.4.4 Pemaduan dengan Unsur Lain	15
1.5 RESTORASI DAN KONSERVASI OBJEK PERUNGGU	18
1.6 KESIMPULAN	19
DAFTAR PUSTAKA	20

BAB 2	
KOLEKSI PERUNGGU MUSEUM NASIONAL	23

2.1 PENDAHULUAN	25
2.2 TUJUAN	27
2.3 KOLEKSI PERUNGGU MUSEUM NASIONAL	27
2.3.1 Jenis-Jenis Koleksi Perunggu Museum Nasional	28
1. Alat Upacara dan Religi	28
• Kapak Upacara dan Kapak Perunggu	
• Bejana	
• Patung dan Arca	
• Genta/Lonceng	
• Talam	
• Cermin/ <i>Darpana</i>	
• Lampu Minyak/ <i>Celupak</i>	
2. Senjata	31
3. Perhiasan	31
4. Mata Uang Logam dan Medali	32
2.4 PENUTUP	31
DAFTAR PUSTAKA	32

BAB 3	
PRINSIP KONSERVASI KOLEKSI MUSEUM	35

3.1 TUJUAN	37
3.2 PENGERTIAN DAN DASAR HUKUM	37
3.3 SEJARAH DAN ETIKA KONSERVASI	38
3.4 KEGIATAN KONSERVASI	39
• Konservasi Preventif	
• Konservasi Interventif	
• Restorasi	
3.5 AGEN PENYEBAB KERUSAKAN DAN SISTEM PELINDUNG KOLEKSI	41
3.5.1 Agen Penyebab Kerusakan Koleksi	41

BAB 3

PRINSIP KONSERVASI KOLEKSI MUSEUM (Lanjutan)

35

1. Gaya Fisik	
2. Pencurian/Vandalisme	
3. Api	
4. Air	
5. Hama	
6. Polutan	
7. Cahaya Ultra Violet dan Infra Merah	
8. Temperatur yang Tidak Sesuai	
9. Kelembapan Relatif (RH) yang Tidak Sesuai	
10. Disosiasi/Kelalaian Pekerja	
3.5.2 Sistem Perlindungan Koleksi	43
3.5.3 Interaksi antara Agen Penyebab Kerusakan dan Lapisan Pelindung Koleksi	44
3.6 SIKLUS KONSERVASI KOLEKSI	45
• Cegah (<i>Avoid</i>)	
• Halang (<i>Block</i>)	
• Deteksi (<i>Detect</i>)	
• Respon (<i>Respond</i>)	
• Perbaikan (<i>Recovery</i>)	
3.7 MANAJEMEN KONSERVASI	46
Studi Kasus Konservasi Perunggu	46
3.8 MANAJEMEN DOKUMENTASI KONSERVASI	48
3.9 PENUTUP	48
DAFTAR PUSTAKA	49

BAB 4

KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERBUKA

51

4.1 TUJUAN	53
4.2 PEMILIHAN KOLEKSI	53
4.2.1 Analisis Kondisi Koleksi	55
A. Patung Gajah Perunggu	55
• Tahapan Analisis	
• Hasil Analisis	
1. Korosi atau patina hijau merata pada seluruh bagian koleksi	
2. Ditemukan korosi berwarna coklat pada bagian telinga belakang kiri	

3. Adanya gumpil dan korosi kehitaman pada telinga kanan bagian atas	
4. Ditemukan bekas tambalan kecil berbentuk segi empat di sepanjang bagian tubuh atas (dorsal) pada kepala dan punggung yang terdapat perbedaan warna	
5. Noda cat putih pada surai ekor	
6. Adanya lubang-lubang kecil dan korosi hitam pada bagian kaki bagian belakang	
B. Pilar	62
• Tahapan Analisis	
• Hasil Analisis	
C. Prasasti	64
• Tahapan Analisis	
• Hasil Analisis	
1. Prasasti Berbahasa Belanda	
2. Prasasti Berbahasa Thailand	
3. Prasasti Berbahasa Indonesia	
4. Prasasti Berbahasa Arab Melayu	
4.2.2 Analisis Material Koleksi	68
A. Patung Gajah Perunggu	
B. Pilar dan Prasasti	
4.3 LINGKUNGAN KOLEKSI	69
4.3.1 Agen Penyebab Kerusakan	70
A. Air	71
• Kejadian Alam	
• Kapilarisasi Air Tanah dan Kolam	
• Hujan Asam	
B. Hama	75
C. Kontaminan	75
• Polutan	
1. Sulfur Dioksida (SO ₂)	
2. Nitrogen Dioksida (NO ₂)	
3. Ozon (O ₃)	
• Debu	
D. Cahaya	81
4.3.2 Model Pembentukan Korosi pada Lingkungan Ruang Terbuka	83
4.4 PELAKSANAAN KONSERVASI	83
4.4.1 Cegah	84

BAB 4**51****KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERBUKA (Lanjutan)**

A. Pemantauan Cahaya	84
B. Pemantauan Iklim Mikro	85
4.4.2 Respon	88
A. Patung Gajah	88
• Pembersihan Tingkat Dasar	
• Pembersihan Tingkat Lanjut	
• Pelapisan Koleksi	
B. Pilar	94
4.5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	95
4.5.1 Kesimpulan	95
4.5.2 Rekomendasi	95
A. Rekomendasi Jangka Pendek	96
1. Pembersihan Tingkat Dasar	
2. Pembersihan Tingkat Lanjut	
3. Pelapisan Koleksi	
4. Perbaikan Pada Cat yang Mengelupas pada Beberapa Bagian Pilar	
B. Rekomendasi Jangka Panjang	96
1. Pemeriksaan dan Konservasi secara Rutin	
2. Pembuatan Bangunan Pelindung	
3. Pencarian Lokasi yang Lebih Aman	
DAFTAR PUSTAKA	97

BAB 5**103****KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERTUTUP**

5.1 TUJUAN	105
5.2 PEMILIHAN KOLEKSI	106
5.3 KONDISI KERUSAKAN Dan KOMPOSISI UNSUR KOLEKSI	108
5.3.1. Prasasti Sadapaingan	108
5.3.2. Arca Lokanatha	109
5.4 LINGKUNGAN KOLEKSI	115
5.4.1 Iklim Mikro di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup	115
5.4.1.1 Prasasti Sadapaingan dan Iklim Mikro di Sekitarnya	118
5.4.1.2 Arca Lokanatha dan Iklim Mikro di Sekitarnya	121
5.4.1.3 Ketidaksesuaian dan Fluktuasi Iklim Mikro di Sekitar Koleksi dalam Vitrin Lantai 2 Ruang Pamer Gedung B Museum Nasional	122

BAB 5**KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERTUTUP (Lanjutan)****103**

5.4.1.4	Vitrin Sebagai Lapisan Pelindung Koleksi dari Ketidaksesuaian Temperatur dan Kelembapan Relatif	123
5.4.2	Polutan di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup	123
5.4.2.1	Prasasti Sadapaingan dan Polutan di Sekitarnya	125
5.4.2.2	Arca Lokanatha dan Polutan di Sekitarnya	126
5.4.2.3	Interaksi Polutan dengan Koleksi Berbahan Dasar Perunggu di Ruang Pamer Tertutup	126
5.4.2.4	Indeks Kualitas Udara (<i>Air Quality Index</i>) di dalam Ruang Pamer Tertutup	127
5.4.3	Agen Kerusakan Lain di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup	128
5.4.3.1	Pencahayaannya di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup	128
5.4.3.2	Pengendalian Hama, Api, dan Pencurian serta Vandalisme di Ruang Pamer Tertutup	129
5.5	PELAKSANAAN KONSERVASI	131
5.5.1	Proses Konservasi pada Prasasti Sadapaingan	131
5.5.2	Proses Konservasi Arca Lokanatha	133
5.6	KESIMPULAN	138
	DAFTAR PUSTAKA	140

BAB 6**KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PENYIMPANAN****145**

6.1	TUJUAN	147
6.2	PEMILIHAN KOLEKSI	148
6.2.1	Analisis Material Koleksi	150
	A. Komposisi logam perunggu sebagai unsur utama Koleksi Candrasa	151
	B. Komposisi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1432	152
	C. Komposisi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1440	153
6.2.2	Analisis Kerusakan Koleksi	154
	A. Korosi dan Karakteristiknya	156
	B. Korosi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1432	158
	C. Korosi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1440	161
6.2.3	Analisis Perbandingan Koleksi Candrasa	163
6.3	LINGKUNGAN KOLEKSI	164
6.3.1	Iklim Lingkungan Mikro	165

BAB 6**KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PENYIMPANAN (Lanjutan)****145**

A. Cahaya	166
B. Polutan Udara	167
C. Kelembapan Relatif dan Temperatur	169
6.3.2 Material Penyimpanan Koleksi	172
A. Material Penyimpanan Koleksi Candrasa	172
B. Material Penyimpanan Lainnya	176
6.3.3 Metode Penyimpanan Koleksi	177
A. Penyimpanan Koleksi Candrasa	177
B. Label Koleksi	179
6.3.4 Pengendali Kelembapan	180
A. Koleksi Candrasa No. Inventaris 1440	181
B. Koleksi Candrasa No. Inventaris 1432	181
6.4 PELAKSANAAN KONSERVASI	182
6.4.1 Pembersihan Tingkat Dasar	183
6.4.2 Penghilangan Korosi	185
6.4.3 Pemberian Inhibitor Korosi	193
A. Inhibitor Benzotriazole	193
B. Inhibitor Tannin	195
6.4.4 Pelapisan Koleksi	197
6.4.5 Hasil Konservasi	199
A. Hasil Pengujian dengan Mikroskop Digital	200
B. Hasil Pengujian dengan XRF Portable	203
6.5 KESIMPULAN	204
DAFTAR PUSTAKA	206

SEKILAS MUSEUM NASIONAL**211****GLOSARIUM****215****ULASAN****Buku Konservasi Koleksi Museum Nasional****225**

- Prof. Dr. Eddy Heraldry, M.Si – Anggota Himpunan Kimia Indonesia
- Dr. rer.nat. Agustino Zulys M.Sc. – Pendiri Rumah Sains Indonesia
- Sri Patmiarsi
Retnaningtyas M.Hum – Pengurus Ikatan Ahli Arkeologi Indonesia
- Basuki Teguh Yuwono – Ketua Padepokan Keris Brojobuwono,
Karanganyar, Jawa Tengah
- Nunus Supardi – Pemerhati Budaya dan Museum

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	– Pembagian Era Peradaban Manusia Berdasarkan Teknologi Pengolahan Material yang Dikembangkannya	1
Gambar 1.2	– Tembaga dan Klasifikasi Paduan Tembaga	9
Gambar 1.3	– Ilustrasi Teknik Cetak Setangkup	13
Gambar 1.4	– Teknik Cetak Lilin Lepas	14
Gambar 2.1	– Peta Persebaran Temuan Logam Awal	26
Gambar 2.2	– Diagram Batang Klasifikasi Logam	28
Gambar 2.3	– Berbagai Koleksi Perunggu di Ruang Pamer Gedung B Lantai 2, Museum Nasional	29
Gambar 3.1	– Perkembangan Profesi Konservator	38
Gambar 3.2	– Ilustrasi Kegiatan Konservasi di Sebuah Museum	39
Gambar 3.3	– Ilustrasi Agen Penyebab Kerusakan Koleksi	43
Gambar 3.4	– Ilustrasi Lapisan Pelindung Koleksi	44
Gambar 3.5	– Interaksi antara Agen Penyebab Kerusakan dengan Lapisan Pelindung Koleksi	45
Gambar 3.6	– Siklus Konservasi Koleksi Museum	45
Gambar 3.7	– Hubungan antara Siklus Konservasi, Agen Penyebab Kerusakan, dan Lapisan Pelindung Koleksi Museum	46
Gambar 4.1	– Patung Gajah Circa 1880	54

Gambar 4.2	– Tampilan Koleksi Patung Gajah di Halaman Depan Museum Nasional	54
Ilustrasi Konservasi Koleksi Patung Gajah Museum Nasional		55
Gambar 4.3	– Persiapan Alat Penunjang Lokasi Konservasi	56
Gambar 4.4	– Kegiatan Pendokumentasian Koleksi oleh Konservator secara Makro	56
Gambar 4.5	– Kegiatan Pendokumentasian Koleksi oleh Konservator secara Mikro	56
Gambar 4.6	– Identifikasi Warna Korosi pada Permukaan Koleksi dengan Kartu <i>Pantone</i>	56
Gambar 4.7	– Koleksi Patung Gajah Tampak Samping dan Tampak Depan	57
Gambar 4.8	– Kondisi Koleksi Patung Gajah	58
Gambar 4.9	– Foto Mikro Korosi Hijau di Seluruh Permukaan Gajah Perunggu	58
Gambar 4.10	– Foto Mikro Korosi Cokelat pada Telinga Belakang Kiri dan Atas Kepala Koleksi	59
Gambar 4.11	– Skema Asal dari Korosi Berwarna Cokelat	59
Gambar 4.12	– Proses Pembentukan Korosi pada Besi	59
Gambar 4.13	– Mekanisme Fotokatalisis Semi Konduktor Cuprite	60
Gambar 4.14	– Foto Mikro pada Bagian Telinga Koleksi	60
Gambar 4.15	– Gambar Mikro Seperti Bekas Tambalan Kecil Berbentuk Segi Empat	61
Gambar 4.16	– Foto Mikro pada Bagian Ekor Koleksi	61
Gambar 4.17	– Foto Mikro pada Bagian Kaki Koleksi	62
Gambar 4.18A	– Foto Pilar Menghadap Timur	62
Gambar 4.18B	– Foto Pilar Menghadap Selatan	63
Gambar 4.18C	– Foto Pilar Menghadap Barat	63
Gambar 4.18D	– Foto Pilar Menghadap Utara	63
Gambar 4.19	– Kondisi Koleksi Pilar	63
Gambar 4.20	– Proses Analisis Kondisi Prasasti	64
Gambar 4.21	– Identifikasi Permukaan Prasasti Menggunakan Mikroskop Digital	64

Gambar 4.22	– Prasasti Berbahasa Belanda	64
Gambar 4.23	– Prasasti Berbahasa Belanda yang Mengalami Pengikisan Pada Tulisan “Batavia” A. Gambar Mikro Bagian Tidak Terkikis B. Gambar Mikro Bagian Terkikis	65
Gambar 4.24	– Gambar Mikro Kondisi Cat pada Tulisan di Prasasti Berbahasa Belanda	65
Gambar 4.25	– Prasasti Berbahasa Thailand	66
Gambar 4.26	– Gambar Mikro Kondisi Cat pada Tulisan di Prasasti Berbahasa Thailand	66
Gambar 4.27	– Sarang Serangga pada Prasasti Berbahasa Thailand	66
Gambar 4.28	– Prasasti Berbahasa Indonesia	67
Gambar 4.29	– Prasasti Berbahasa Arab Melayu	67
Gambar 4.30	– Gambar Mikro Kondisi Cat pada Tulisan di Prasasti Berbahasa Arab Melayu	68
Gambar 4.31	– Sarang Serangga pada Prasasti Berbahasa Arab Melayu	68
Gambar 4.32	– Analisis Patung Gajah Perunggu Menggunakan XRF	68
Gambar 4.33	– Lapisan Pelindung Patung Gajah Perunggu di Ruang Pamer Terbuka	70
Gambar 4.34	– Ilustrasi Agen Kerusakan pada Patung Gajah dan Pilar di Ruang Pamer Terbuka	70
Gambar 4.35	– Patung Gajah Perunggu Berada di Tengan Kolam Air Museum Nasional	71
Gambar 4.36	– Ilustrasi Terjadinya Reaksi Kapilarisasi antara Logam dan Air	71
Gambar 4.37	– Intensitas Curah Hujan di Jakarta	72
Gambar 4.38	– Pemantauan Air Hujan	73
Gambar 4.39	– <i>Brochantite</i>	73
Gambar 4.40	– <i>Antlerite</i>	74
Gambar 4.41	– Pembentukan Korosi Tembaga pada Lingkungan dengan Polutan SO ₂ dan Klorida	74
Gambar 4.42	– Grafik Kadar Gas SO ₂ di Jakarta Pusat	76

Gambar 4.43	– Interaksi SO Dengan Tembaga di Udara Lembab A. Menunjukkan Kondisi Kelembapan yang Rendah untuk Semua Konsentrasi B. Menunjukkan Kelembapan yang Tinggi dan Konsentrasi yang Tinggi C. Menunjukkan Kelembapan yang Tinggi dan Konsentrasi yang Rendah	77
Gambar 4.44	– Grafik Kadar Gas NO ₂ di Jakarta Pusat	78
Gambar 4.45	– Grafik Kadar O ₃ di Kemayoran, Jakarta Pusat.	79
Gambar 4.46	– Grafik Konsentrasi Partikulat 2.5	80
Gambar 4.47	– Grafik Konsentrasi Partikulat 10	81
Gambar 4.48	– Skema Reaksi dalam Korosi Perunggu di Lingkungan Ruang Terbuka	82
Gambar 4.49	– Pemantauan Cahaya Tampak	84
Gambar 4.50	– Kegiatan Pengukuran Nilai Kelembapan Relatif (RH) dan Temperatur Menggunakan Termohigrometer	85
Gambar 4.51	– Kegiatan Pengukuran Nilai Kelembapan Udara (RH) Menggunakan <i>Data Logger</i>	86
Gambar 4.52	– Hasil Grafik <i>Data Logger</i>	86
Gambar 4.53	– Data Kelembapan Relatif dan Temperatur Tahun 1860-2020 Di Jakarta	87
Gambar 4.54	– Kegiatan Pembersihan Tingkat Dasar	89
Gambar 4.55	– Proses Uji Coba dengan Larutan Seskuikarbonat	89
Gambar 4.56	– Perbandingan Hasil Penggunaan Seskuikarbonat 3% dan 5%	89
Gambar 4.57	– Proses Pembersihan dan Pembilasan Koleksi Patung Gajah	90
Gambar 4.58	– Proses Perawatan Koleksi Patung Gajah dengan Larutan Seskuikarbonat 5%	90
Gambar 4.59	– Bagian Patung Gajah sebelum (Kiri) dan sesudah Perawatan (Kanan)	91
Gambar 4.60	– Titik Sampling untuk Pengukuran XRF pada Bagian Tampak Korosi	92
Gambar 4.61	– Bagian Patung Gajah sebelum (Kiri) dan sesudah Pelapisan (Kanan)	93

Gambar 4.62	– Kegiatan Pelapisan Koleksi Patung Gajah Menggunakan Larutan Paraloid B72 5%	94
Gambar 4.63	– Skema Representasi Sistem Pelapisan Pelindung Terhadap Lingkungan	94
Gambar 4.64	– Kegiatan Pengambilan Sampel dan Pembersihan Tingkat Dasar Pilar dan Prasasti	95
Gambar 5.1	– Ilustrasi Agen-Agen Kerusakan yang Dapat Merusak Koleksi di Sekitar Koleksi Pelindungnya	106
Gambar 5.2	– Prasasti Sadapaingan di Ruang Pamer Lantai 2 Gedung B, Museum Nasional	107
Gambar 5.3	– Arca Lokanatha (Kanan) di Ruang Pamer Lantai 2 Gedung B, Museum Nasional	107
Gambar 5.4	– Prasasti Sadapaingan No. Inventaris 970 Prasasti Bagian Atas (Atas) dan Aksara yang Tertera pada Prasasti (Bawah)	108
Gambar 5.5	– Pengamatan Permukaan Prasasti Sadapaingan dengan Mikroskop Digital	108
Gambar 5.6	– Dimensi dan Detail Kerusakan Prasasti Sadapaingan. Bagian Hilang dan Berlubang pada Ujung Prasasti (A) dan Goresan (B)	108
Gambar 5.7	– Analisis Komposisi Unsur Prasasti Sadapaingan Menggunakan Penganalisis XRF Portabel	109
Gambar 5.8	– Tujuh Titik Sampel Analisis Komposisi Unsur Pada Prasasti Sadapaingan	109
Gambar 5.9	– Arca Lokanatha, No. Inventaris 626D	110
Gambar 5.10	– Pengamatan Permukaan Arca Lokanatha dengan Mikroskop Digital	110
Gambar 5.11	– Kerusakan Pada Arca Lokanatha. A & B - Bagian Tangan Arca Abanga yang Hilang Sebagian C - Bagian Ujung Dasar Arca yang Geripis D - Lubang pada Lapik E & F - Foto Mikro Korosi Kehijauan pada Bagian dalam Dasar Lapik (Perbesaran Foto E 52,7X Dan Perbesaran Foto F 48,1X)	111

Gambar 5.12	– Analisis Komposisi Unsur Arca Lokanatha Menggunakan Penganalisis XRF Portabel	113
Gambar 5.13	– Delapan Titik Sampel Analisis Komposisi Unsur pada Arca Lokanatha	114
Gambar 5.14	– Ilustrasi Enam Lapisan Pelindung Koleksi di Ruang Pamer Tertutup	115
Gambar 5.15	– Desikan Gel Silika Biru (Kiri) akan Berubah Warna Menjadi Merah Muda (Kanan) setelah Jenuh	116
Gambar 5.16	– Peletakan Iklim Mikro di dalam Vitrin (Atas) dan luar Vitrin (Bawah) Prasasti Sadapaingan dengan <i>Data Logger</i>	118
Gambar 5.17	– Grafik Iklim Mikro di dalam Vitrin Berisi Prasasti Sadapaingan	119
Gambar 5.18	– Grafik Iklim Mikro di luar Vitrin Berisi Prasasti Sadapaingan	119
Gambar 5.19	– Peletakan Iklim Mikro di dalam Vitrin (Atas) dan luar Vitrin (Bawah) Arca Lokanatha dengan <i>Data Logger</i>	120
Gambar 5.20	– Grafik Iklim Mikro di dalam Vitrin Berisi Arca Lokanatha	120
Gambar 5.21	– Grafik Iklim Mikro di luar Vitrin Berisi Arca Lokanatha	121
Gambar 5.22	– Pengambilan Data Temperatur dan Kelembapan Relatif dari <i>Data Logger</i>	122
Gambar 5.23	– Ilustrasi Polutan yang Menyelubungi Prasasti Sadapaingan	123
Gambar 5.24	– Detektor Kualitas Udara di dalam Vitrin Prasasti Sadapaingan	125
Gambar 5.25	– Detektor Kualitas Udara di dalam Vitrin Arca Lokanatha	126
Gambar 5.26	– Material Vitrin dan Dekorasi dapat Menghasilkan Formaldehida dan Polutan Lain yang Dapat Membahayakan Koleksi	126
Gambar 5.27	– Pemantauan Pencahayaan Di Sekitar Prasasti Sadapaingan	128
Gambar 5.28	– Melakukan Pendataan Terhadap Nilai Cahaya Menggunakan <i>UV-Meter</i> dan <i>Light-Meter</i> pada Koleksi Lokanatha	128
Gambar 5.29	– Perangkat Serangga Dan Debu	129
Gambar 5.30	– Alat Pemadam Api Ringan (Apar) harus Siap Digunakan untuk Menangani Risiko Api dan Kebakaran sebagai Agen Kerusakan	130
Gambar 5.31	– Proses Pengamanan Vitrin di Ruang Pamer Tertutup	130

Gambar 5.32	– Kegiatan Pengelolaan Koleksi Didampingi oleh Petugas Keamanan	131
Gambar 5.33	– Proses Konservasi Koleksi Prasasti Sadapaingan	131
Gambar 5.34	– Kegiatan Pembersihan Debu pada Prasasti Sadapaingan	131
Gambar 5.35	– Prasasti Sadapaingan sebelum dan sesudah Dilakukan Konservasi	132
Gambar 5.36	– Penataan Kembali Prasasti Sadapaingan ke Dalam Vitrin	132
Gambar 5.37	– Peletakan Gel Silika Biru ke dalam Vitrin Prasasti Sadapaingan	132
Gambar 5.38	– Penutupan Vitrin Berisi Prasasti Sadapaingan	133
Gambar 5.39	– Proses Konservasi Koleksi Arca Lokanatha	133
Gambar 5.40	– Pembersihan Debu pada Arca Lokanatha	
Gambar 5.41	– Pembersihan Noda pada Arca Lokanatha dengan Larutan Alkohol:Akuades (1:1)	133
Gambar 5.42	– Aplikasi Larutan Sesiukarbonat pada Titik Korosi Aktif di Arca Lokanatha	134
Gambar 5.43	– Perbedaan Warna Larutan Sisa Pembersihan Korosi pada Arca Lokanatha setelah Empat Kali Penggantian <i>Lap Chamois</i> yang Diberi Larutan Sesiukarbonat	134
Gambar 5.44	– Perbandingan Endapan Putih (Perak Klorida) pada Sisa Larutan Hasil Pembersihan Arca Lokanatha dengan Larutan Sesiukarbonat	135
Gambar 5.45	– Konfirmasi Keberadaan Ion Klorida dari Larutan Sisa Pembersihan Arca Lokanatha Menggunakan Kertas Tes Klorida	135
Gambar 5.46	– Pembilasan Arca Lokanatha	136
Gambar 5.47	– Pengeringan Arca Lokanatha dengan <i>Blower</i>	136
Gambar 5.48	– Pelapisan Arca Lokanatha dengan Larutan Benzotriazole (BTA) 3%	137
Gambar 5.49	– Pelapisan Koleksi Menggunakan Larutan Paraloid	137
Gambar 5.50	– Bagian Bawah Alas (Lapik) Arca Lokanatha sebelum dan sesudah Dilakukan Konservasi	137
Gambar 5.51	– Penataan Kembali Arca Lokanatha ke dalam Vitrin	137
Gambar 5.52	– Peletakan Gel Silika Biru ke dalam Vitrin Arca Lokanatha	137

Gambar 5.53	– Penutupan Vitrin Berisi Arca Lokanatha	138
Gambar 6.1	– Ruang Penyimpanan Koleksi Gedung <i>Storage</i> , Museum Nasional	147
Gambar 6.2	– Ilustrasi Masa Perundagian	148
Gambar 6.3	– Kapak Candrasa dengan Nomor Inventaris 1432	149
Gambar 6.4	– Kapak Candrasa dengan Nomor Inventaris 1440	149
Gambar 6.5	– Laju Kerusakan Benda Arkeologi saat Terkubur dan setelah Ekskavasi	150
Gambar 6.6	– Alat XRF yang Digunakan untuk Analisis Material Koleksi	151
Gambar 6.7	– Tembaga	151
Gambar 6.8	– Timah	152
Gambar 6.9	– Persebaran Titik Analisis XRF Kapak Candrasa 1432	152
Gambar 6.10	– Persebaran Titik Analisis XRF Kapak Candrasa 1440	153
Gambar 6.11	– Input Data Identifikasi Kondisi Koleksi	154
Gambar 6.12	– Petugas yang Bertugas dalam Kegiatan Identifikasi adalah PIC	154
Gambar 6.13	– Nama dan Nomor Inventaris Koleksi	155
Gambar 6.14	– Pengukuran Dimensi Koleksi	155
Gambar 6.15	– Menentukan Bahan Koleksi dengan Menggunakan XRF	155
Gambar 6.16	– Identifikasi Kerusakan Koleksi dengan Bantuan Alat	155
Gambar 6.17	– Identifikasi Unsur Korosi dengan Menggunakan XRF	156
Gambar 6.18	– Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi dengan Cara Makroskopis	156
Gambar 6.19	– Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi dengan Cara Mikroskopis	156
Gambar 6.20	– Layer Korosi Parsial pada Perunggu	158
Gambar 6.21	– Kondisi Koleksi Kapak Candrasa 1432	158
Gambar dalam tabel 6.10	– Detail Citra Makroskopis dan Mikroskopis Candrasa 1432 Berdasarkan Titik Lokasi Pengambilan Data	159
Gambar 6.22	– Perbandingan Warna <i>Pantone</i> dengan Kondisi Koleksi Candrasa 1432	160
Gambar 6.23	– Kondisi Koleksi Kapak Candrasa 1440	161

Gambar 6.24 – Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi Makroskopis	161
Gambar 6.25 – Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi Mikroskopis	161
Gambar dalam tabel 6.12 – Detail Citra Makroskopis dan Mikroskopis Candrasa 1440 Berdasarkan Titik Lokasi Pengambilan Data	162
Gambar 6.26 – Perbandingan Warna <i>Pantone</i> dengan Kondisi Koleksi Candrasa 1440	162
Gambar 6.27 – Ilustrasi Enam Lapisan Pelindung Koleksi Candrasa di Ruang Storage Koleksi Logam Lantai 3, Gedung Museum Nasional	165
Gambar 6.28 – Gel Silika yang telah Melewati Masa Optimum Penggunaan	166
Gambar 6.29 – Pemantauan Cahaya terhadap Kotak Penyimpanan Koleksi	167
Gambar 6.30 – Pemantauan Kualitas Udara	169
Gambar 6.31 – Pemantauan Suhu dan RH Dengan Termohigrometer	170
Gambar 6.32 – Grafik <i>Datalogger</i> yang Diletakkan Mulai 11 Juni sampai 6 Juli 2021 di dalam Ruang <i>Storage</i> Lantai 3, Gedung Museum Nasional	170
Gambar 6.33 – Grafik <i>Data Logger</i> yang diletakkan Mulai 11 Juni sampai 6 Juli 2021 di dalam Lemari Penyimpanan Ruang <i>Storage</i> Lantai 3, Gedung Museum Nasional	171
Gambar 6.34 – Kontainer Plastik Tempat Penyimpanan Koleksi Candrasa	172
Gambar 6.35 – Koleksi Candrasa di atas Kertas Bebas Asam	173
Gambar 6.36 – Busa Poliuretan	173
Gambar 6.37 – Kotak Kayu yang Digunakan untuk Menyimpan Koleksi	174
Gambar 6.38 – Lemari Simpan Koleksi	176
Gambar dalam Langkah-Langkah Penyimpanan Koleksi	177
Gambar 6.39 – Lapisan Pelindung di dalam Kotak Penyimpanan	175
Gambar 6.40 – Pemberian Label Registrasi pada Koleksi Candrasa 1432	180
Gambar 6.41 – Pemberian Label Registrasi pada Koleksi Candrasa 1440	180
Gambar 6.42 – Mekanisme Penyerapan Uap Air dengan Bentonit	181
Gambar 6.43 – Bagan Diagram Alur Pelaksanaan Konservasi	182
Gambar 6.44 – Pembersihan Debu pada Koleksi Candrasa 1432 secara Mekanis dengan Kuas	183

Gambar 6.45	– Pembersihan Debu pada Koleksi Candrasa 1440 Secara Mekanis dengan Kuas	183
Gambar 6.47	– Pengangkatan Debu pada Koleksi Candrasa 1432 dari Sisa <i>Coating</i> Lama	184
Gambar 6.48	– Pengangkatan Debu pada Koleksi Candrasa 1440 dari Sisa <i>Coating</i> Lama	184
Gambar 6.49	– Pengeringan Koleksi setelah Pembersihan	184
Gambar 6.50	– Interaksi Etanol dengan Air dan Struktur Kolesterol (Lemak)	184
Gambar 6.51	– Ilustrasi Reaksi Asam Lemak dengan Alkohol	184
Gambar 6.52	– Reaksi Radikal Alkohol dengan Metil Metakrilat	185
Gambar 6.53	– Penimbangan Bahan	187
Gambar 6.54	– Penambahan Akuabides	187
Gambar 6.55	– Pencampuran Larutan dengan <i>Magnetic Stirrer</i>	187
Gambar 6.56	– Pelepasan Label Koleksi	188
Gambar 6.57	– Larutan Natrium Seskuikarbonat Digosokan ke Permukaan Koleksi	188
Gambar 6.58	– Aplikasi Larutan Natrium Seskuikarbonat pada Koleksi	189
Gambar 6.59	– Pengompresan Candrasa	189
Gambar 6.60	– Padatan AgNO_3	190
Gambar 6.61	– Melarutkan Padatan AgNO_3	190
Gambar 6.62	– Pembuatan Larutan Menjadi AgNO_3 0,1N	190
Gambar 6.63	– Penggosokan Kapas setelah Pengompresan	190
Gambar 6.64	– Pemerasan Larutan Hasil Pengompresan	191
Gambar 6.65	– Penetasan Larutan AgNO_3 pada Sampel Uji	191
Gambar 6.66	– Terbentuk Endapan Putih AgCl	191
Gambar 6.67	– Hasil uji AgNO_3 pada Larutan Hasil Kompresan ke-2	191
Gambar 6.68	– Pencucian untuk Menghilangkan Sisa Larutan Natrium Seskuikarbonat	192
Gambar 6.69	– Penghilangan Sisa Larutan Seskuikarbonat dengan Aquades dan <i>Teepol</i>	192
Gambar 6.70	– Pengecekan pH dengan Indikator Universal	192

Gambar 6.71	– Pengeringan Koleksi dengan <i>Blower</i>	192
Gambar 6.72	– Pengeringan Koleksi dengan Kain Halus	193
Gambar 6.73	– Memastikan Permukaan Koleksi telah Bersih setelah Kering	193
Gambar 6.74	– Struktur Senyawa <i>Benzotriazole</i>	193
Gambar 6.75	– Kompleks Cu-BTAH	194
Gambar 6.76	– Membuat larutan BTA 3% dengan Mencampurkan 15 Gram BTA dengan 500ml Etanol	194
Gambar 6.77	– Pengaplikasian BTA pada Permukaan Koleksi	194
Gambar 6.78	– Struktur Iron-Tannate (A) Monokompleks dan (B) Biskompleks	195
Gambar 6.79	– Perubahan Korosi Aktif Menjadi <i>Ferric-Tannates</i>	196
Gambar 6.80	– Proses Pembuatan Tanin	196
Gambar 6.81	– Proses Pemberian Inhibitor Tanin	196
Gambar 6.82	– Senyawa Paraloid B-72	197
Gambar 6.83	– Reaksi Metilmetakrilat	198
Gambar 6.84	– Penggunaan Lemari Asam	199
Gambar 6.85	– Penimbangan Bahan Pelapis	199
Gambar 6.86	– Penambahan Pelarut	199
Gambar 6.87	– Pencampuran Bahan Menggunakan <i>Magnetic Stirrer</i>	199
Gambar 6.88	– Proses Pelapisan (<i>coating</i>) pada Koleksi dengan Larutan Paraloid B-72	199
Gambar 6.89	– Pendeteksian dengan Mikroskop Digital	200
Gambar 6.90	– Candrasa 1432 setelah Konservasi	200
Gambar dalam Tabel 6.17	– Hasil Pembacaan Mikroskop Digital Candrasa No. Inventaris 1432	200
Gambar 6.91	– Candrasa 1440 setelah Konservasi	201
Gambar dalam Tabel 6.18	– Hasil Pembacaan Mikroskop Digital Candrasa No. Inventaris 1440	201
Gambar 6.92	– Identifikasi dengan XRF Portable	203
Museum Nasional		214



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	– Detail Ukuran Bagian Patung Gajah	57
Tabel 4.2	– Detail Ukuran Pilar	63
Tabel 4.3	– Detail Komposisi Unsur Koleksi Patung Gajah	69
Tabel 4.4	– Komposisi Unsur Koleksi Patung Gajah Bagian Korosi sebelum Konservasi	69
Tabel 4.5	– Pemantauan Cahaya di Sekitar Koleksi Patung Gajah	84
Tabel 4.6	– Hasil Pemantauan Iklim Sekitar Koleksi Patung Gajah Menggunakan Alat Thermohygrometer	85
Tabel 4.7	– Perbandingan Komposisi sebelum dan sesudah Konservasi Patung Gajah	92
Tabel 5.1	– Kandungan Unsur pada Prasasti Sadapaingan	109
Tabel 5.2	– Kandungan Unsur pada Prasasti Sadapaingan	112
Tabel 5.3	– Kandungan Unsur pada Arca Lokanantha	114
Tabel 5.4	– Batas Rekomendasi Gas Polutan di dalam Ruangan Museum	124
Tabel 6.1	– Karakteristik Unsur Tembaga	151
Tabel 6.2	– Karakteristik Unsur Timah	152
Tabel 6.3	– Karakteristik Perunggu Berdasarkan Persentase Kandungan Timah	152
Tabel 6.4	– Komposisi Utama Kapak Candrasa (1432) dalam Persentase (%)	153
Tabel 6.5	– Detail Komposisi Unsur Kapak Candrasa (1432) dalam Persentase (%)	153
Tabel 6.6	– Komposisi Utama Kapak Candrasa (1440) dalam Persentase (%)	153

Tabel 6.7 – Detail Komposisi unsur Kapak Candrasa (1440) dalam Persentase (%)	154
Tabel 6.8 – Korosi yang Umum Terjadi pada Perunggu	157
Tabel 6.9 – Karakteristik Korosi Tembaga	158
Tabel 6.10 – Detail Citra Makroskopis dan Mikroskopis Candrasa (1432) Berdasarkan Titik Lokasi Pengambilan Data	159
Tabel 6.11 – Detail Komposisi Korosi Kapak Candrasa (1432) dalam <i>Parts per Million</i> (ppm) ($\times 103$)	160
Tabel 6.12 – Detail Citra Makroskopis dan Mikroskopis Candrasa (1440) Berdasarkan Titik Lokasi Pengambilan Data	162
Tabel 6.13 – Detail Komposisi Korosi Kapak Candrasa (1440) dalam <i>Parts per Million</i> (ppm) ($\times 103$) (159)	163
Tabel 6.14 – Perbedaan antara Kedua Koleksi Candrasa (159)	163
Tabel 6.15 – Batas Rekomendasi Gas Polutan/Volatile Organic Compounds (VOC) di dalam Ruangan Museum	168
Tabel 6.16 – Hasil Performa Pelapis Terhadap Perubahan Massa Tembaga dan Perak	197
Tabel 6.17 – Hasil Pembacaan Mikroskop Digital Candrasa No. Inventaris 1432	200
Tabel 6.18 – Hasil Pembacaan Mikroskop Digital Candrasa No. Inventaris 1440	201
Tabel 6.19 – Hasil Deteksi Unsur Cl pada XRF Portabel Candrasa No. Inventaris 1432 sebelum dan sesudah Tindakan Berlangsung	203



BAB 1

Zaman Perunggu:
Awal Mula Logam Mewarnai Peradaban



Pengembangan teknik pengolahan paduan perunggu terjadi secara bertahap dan diperkirakan memakan waktu setidaknya seribu tahun dari penggunaan pertama bijih tembaga pribumi hingga ditemukan teknik pengecoran menggunakan cetakan berongga. Kemampuan untuk memproduksi produk logam perunggu menggambarkan keunggulan suatu kelompok masyarakat selain untuk mengakselerasi peradaban masyarakat itu sendiri. Atas dasar ini, teknologi pengolahan perunggu menjadi penting karena menunjukkan superioritas suatu peradaban dalam setiap aspek kehidupan terutama dalam militer.

BAB 1

ZAMAN PERUNGGU: AWAL MULA LOGAM MEWARNAI PERADABAN

Muhamad I. Amal, Ph.D.

1.1. PENDAHULUAN: PERADABAN MANUSIA ADALAH PERADABAN MATERIAL

Sejarah peradaban manusia dikenal terbagi ke dalam era prasejarah, era klasik, era pertengahan, dan era modern. Selain pembagian seperti ini, peradaban manusia juga dapat didefinisikan

berdasarkan kemampuan manusia merekayasa bahan alam menjadi peralatan untuk mempermudah kegiatan sehari-hari seperti berburu. Gambar 1.1 merangkum pembagian periode sejarah yang dicirikan oleh teknologi manipulasi bahan alam yang dikembangkan oleh manusia.



Gambar 1.1 – Pembagian Era Peradaban Manusia Berdasarkan Teknologi Pengolahan Material yang Dikembangkannya.

Upaya manusia dalam mengembangkan teknologi pemanfaatan material sudah terjadi pada era prasejarah, meski periode ini berlangsung pada 3000 tahun sebelum masehi di mana saat itu manusia masih belum mengenal aksara dan berbudaya primitif. Era prasejarah ini dapat dibagi menjadi dua zaman utama yaitu zaman batu dan zaman logam. Zaman batu sendiri berlangsung dalam empat periode berdasarkan karakteristik peralatan batu yang dibuat, yaitu Palaeolitikum, Mesolithikum, Neolithikum dan Megalithikum. Zaman Palaeolitikum dicirikan dengan peralatan batu yang masih kasar dan belum dibentuk secara khusus. Sedangkan zaman neolithikum, peralatan batu yang dibuat sudah diasah dengan bentuk yang dimodifikasi. Zaman logam, di mana manusia sudah menemukan metode peleburan dan penempaan logam diprediksi berawal pada tahun 6000 sebelum masehi. Secara garis besar, era logam dapat dibagi menjadi tiga periode berdasarkan logam yang dimanfaatkan, yaitu zaman tembaga, perunggu, dan besi. Perlu diingat bahwa sub-pembagian ini tidak berarti semua wilayah di dunia mengalami periodisasi yang serupa pada saat yang sama. Ada beberapa wilayah yang mengalami kemajuan yang pesat di saat yang lain masih dalam periode yang berbeda.

Salah satu era yang menarik untuk ditelisik lebih lanjut adalah zaman perunggu. Tidak hanya zaman ini menunjukkan transisi kompleksitas pengembangan teknologi peralatan yang dikembangkan, tetapi juga mencerminkan perubahan kematangan budaya sosial manusia. Ada beberapa alasan mengapa zaman perunggu memiliki posisi penting dalam sejarah peradaban manusia:

1. Ciptarasa manusia yang ditunjukkan dalam artefak seni dari Zaman Perunggu (3000-1100 SM) menggambarkan perubahan budaya yang lebih tinggi dari era sebelumnya.
2. Zaman Perunggu memanfaatkan logam untuk produksi dan perlu diketahui bahwa logam dasar seperti tembaga, timah, timah, dll bersifat langka untuk sebagian daerah, sehingga harus diperoleh dari jauh. Jadi zaman ini juga menggambarkan adanya peningkatan interaksi sosial dan budaya.
3. Zaman perunggu merupakan periode yang menghubungkan Zaman Batu dengan Zaman Besi dan menggambarkan transisi teknologi dan budaya ke arah yang lebih kompleks.

Untuk mengawali pembahasan eksotisme objek bersejarah peninggalan zaman perunggu akan dipaparkan bagaimana bermulanya zaman perunggu dan kelak situasi yang akan menyebabkan berakhirnya zaman ini.

1.2. ZAMAN PERUNGU AWAL MULA DAN BERAKHIRNYA

Zaman perunggu secara sederhana dapat didefinisikan sebagai periode sejarah di mana perunggu menjadi bahan utama yang digunakan untuk peralatan sehari-hari termasuk perlengkapan seperti persenjataan. Zaman perunggu juga seringkali disebut dengan zaman tembaga, karena perunggu menggunakan tembaga sebagai unsur logam utama penyusunnya. Meskipun penggunaan tembaga murni untuk dijadikan peralatan tidak menghasilkan produk yang kokoh karena sifat daktilitas tembaga yang relatif lunak, tembaga murni banyak dimanfaatkan untuk ornamen dekoratif

dan mata uang. Hingga kelak ditemukan teknik pencampuran tembaga dengan unsur-unsur logam lain, yang juga disebut pemaduan, untuk menghasilkan paduan logam yang memiliki sifat mekanik dan fisik lebih baik. Sehingga beberapa pakar sejarah ada yang berpendapat bahwa zaman tembaga tidak benar-benar terjadi kecuali mungkin untuk waktu yang singkat seperti ditemukan oleh catatan arkeologi dari era awal peradaban Mesir Kuno.

Peningkatan keterampilan dalam bertani pada zaman batu baru membantu terjadinya pertumbuhan populasi, yang berturut-turut menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan produk kerajinan khusus dalam berbagai komoditas. Pada akhir zaman batu, manusia dalam usaha pencariannya menemukan bahan baku 'batu' baru untuk membuat perkakas, tertarik dengan "bongkahan" berkilauan yang tidak dapat diolah dengan cara konvensional yang mereka kenal saat itu seperti penghancuran, pemecahan, dan lain-lain. Dikarenakan cara ini hanya menyebabkan deformasi plastis tanpa bisa menghancurkan bongkahan tersebut. Dengan ini, manusia pertama kali menemukan logam seperti emas, tembaga, dan perak dan menyadari perbedaannya dengan bebatuan biasa. Para pengrajin ini kemudian menekuni pemanfaatan logam, dengan kemampuan pertama mereka dalam mengolah logam-logam yang relatif lunak, seperti emas dan tembaga, adalah dengan dipukul secara konvensional. Kemudian muncul upaya ekstraksi logam tertentu dari bijih yang umum ditemukan. Kemungkinan bahan pertama yang diolah dengan teknik ekstraksi adalah jenis tembaga karbonat yang mudah direduksi menjadi tembaga melalui pemanasan. Kelangkaan bijih logam mungkin menjadi

salah satu penyebab ditemukannya inovasi perekayasaan paduan logam, di mana tembaga dicampurkan dengan unsur logam lain untuk membuat paduan logam, salah satunya adalah paduan perunggu.

Perunggu adalah paduan logam yang mengandung 85-95% tembaga dengan unsur tambahan lain seperti timah, arsenik atau unsur lain dalam jumlah yang lebih kecil. Timah didapatkan dari penambangan terutama dalam bentuk bijihnya, kasiterit, yang kemudian dilebur secara terpisah sebelum ditambahkan ke tembaga cair untuk membuat paduan perunggu. Beberapa artefak perunggu yang ditemukan juga mengandung beberapa unsur lain seperti timbal, antimon, dan arsenik. Perunggu merupakan logam keras berwarna kekuningan yang dapat dicairkan dan dibuat sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Secara sederhana logam dan unsur paduan dipanaskan bersama-sama dalam sebuah tungku peleburan dan lelehannya ditempatkan pada cetakan tanah liat atau batu sederhana untuk didinginkan dan mengeras. Teknik cetak ini biasanya digunakan untuk membuat kepala kapak atau ujung tombak. Untuk kerajinan bejana atau pahatan berongga, digunakan teknik *cire perdue*, di mana bentuk yang akan dicetak dibentuk dalam lilin/wax yang dilapisi dengan tanah liat. Lilin kemudian dicairkan untuk meninggalkan rongga di mana nantinya lelehan logam cair dituangkan. Secara detail teknik pengolahan logam perunggu ini akan dibahas di bagian tersendiri.

Suatu peradaban masyarakat dikatakan memasuki zaman perunggu ketika memiliki kemampuan untuk memproduksi dan menggunakan peralatan berbahan perunggu. Salah satu peradaban yang tercatat pertama

kali memasuki zaman perunggu pada sekitar 3.300 SM adalah peradaban Timur Tengah Sumeria. Orang-orang kuno belajar membuat perunggu dengan mencampurkan tembaga dan sedikit timah. Banyak perubahan budaya juga terjadi selama Zaman Perunggu. Misalnya, penemuan roda, budaya aksara dan bahasa tertulis. Tercatat juga pada zaman ini adalah ketika Raja Hammurabi mengembangkan sistem hukum, bangsa Yunani Kuno meletakkan dasar bagi demokrasi modern, dan masyarakat Mesir Kuno mengalami masa kejayaan.

Peralihan dari zaman batu menuju zaman perunggu sulit untuk ditelusuri kepastiannya secara kronologis, seperti halnya dengan transisi dari zaman perunggu menuju zaman besi yang mengikutinya. Beberapa pendapat menyatakan zaman perunggu ditandai di Eropa hampir 5000 tahun yang lalu, khususnya di Inggris. Artefak perunggu paling awal ditemukan di Timur Tengah dan Cina hampir 7000 tahun yang lalu dengan artefak tambahan ditemukan di beberapa bagian Eropa, tepatnya di Serbia. Mayoritas sejarawan berpendapat bahwa pengembangan teknologi perunggu terjadi antara 3500 dan 3000 SM di berbagai wilayah seperti Timur Tengah, Eropa, dan Asia Tenggara, dan baru pada abad ke-15 di Meksiko (Suku Aztek). Pengetahuan tentang paduan baru perunggu ini menyebar perlahan, terutama karena kelangkaan logam penyusun seperti timah, sehingga zaman perunggu cenderung memiliki periode yang sangat berbeda di berbagai belahan dunia. Bahkan wilayah seperti sub-Sahara Afrika, Australasia, hampir seluruh Amerika, dan sebagian besar Asia tidak pernah mengalami zaman perunggu sama sekali (Brooks, Christopher 2019).

Diskusi terkait zaman perunggu tidak bisa terlepas dari aspek lainnya seperti sosial dan ekonomi. Diyakini perubahan struktur sosial dan skema bermasyarakat juga terjadi secara signifikan dibandingkan dengan zaman batu. Penggunaan logam perunggu mengindikasikan hal ini. Pertama, perdagangan antar wilayah semakin ramai, salah satunya perdagangan bahan baku logam, dikarenakan tidak semua wilayah memiliki sumber daya tembaga atau logam paduannya seperti timah dan seng. Kedua, adanya produk tembaga yang memiliki fungsi khusus untuk strata sosial tertentu membuktikan perubahan lanskap dalam masyarakat. Misalnya budaya Urnfield yang terkait dengan Celtic merupakan budaya zaman perunggu Eropa tengah. Asal-usul mereka pertama kali dapat diidentifikasi di Hongaria dan Rumania, berasal dari sekitar abad ke-15 SM. Mereka mengkremsi orang mati dan menempatkan abunya dalam guci perunggu. Secara umum kemampuan untuk memproduksi produk logam menjadi salah satu cara untuk menunjukkan keunggulan atas kelompok yang tidak memiliki kemampuan tersebut. Atas dasar ini, teknologi pengolahan perunggu menjadi penting karena meningkatkan kemampuan bertani termasuk juga militer. Semakin keras logam akan membuat peralatan semakin efektif dan senjata menjadi semakin mematikan. Secara pertanian pemanfaatan peralatan perunggu meningkatkan hasil panen yang lebih besar. Secara militer, senjata perunggu benar-benar mengubah keseimbangan kekuatan dalam peperangan. Pasukan yang dilengkapi dengan tombak perunggu dan mata panah serta baju zirah perunggu jauh lebih efektif daripada satu pasukan yang menggunakan peralatan kayu atau batu (Kuijpers, M. 2018).

Perunggu perlahan menjadi bahan yang penting untuk peningkatan kualitas hidup manusia namun tidak semua wilayah memiliki sumber daya mineral untuk membuat produk perunggu. Di wilayah seperti lembah sungai aluvial di mana banyak peradaban berkembang, sumber daya mineral sangat jarang sehingga harus diimpor. Kebutuhan ini menuntut hubungan perdagangan dan upaya penambangan di lokasi yang sangat jauh dari tempat bermukim. Timah menghadirkan masalah tersendiri karena saat itu pasokannya terbatas dari wilayah Timur Tengah. Peradaban zaman perunggu lambat laun berekspansi salah satunya dikarenakan tuntutan pencarian bahan baku jauh melampaui wilayah pemukiman, misalnya penyebaran ke wilayah barat di sepanjang rute perdagangan Mediterania.

Kelangkaan sumber daya mineral mendorong pencarian bijih logam lain, pengembangan metalurgi, dan secara tidak langsung perdagangan untuk memastikan ketersediaan bahan logam serta hadirnya spesialisasi keterampilan. Dengan adanya peningkatan interaksi seperti ini, masyarakat sporadis pada zaman batu mulai menata menjadi masyarakat perkotaan, akibat adanya perdagangan dan pengolahan manufaktur, dan dengan demikian munculnya peradaban pertama. Zaman batu memberi jalan kepada zaman logam awal, dan tatanan sosial masyarakat baru peradaban manusia.

Kelangkaan bahan baku perunggu pada akhirnya juga memberikan jalan dari bermulanya zaman besi. Dikarenakan besi pada awal pengembangannya dapat dimanfaatkan tanpa perlu unsur paduan lainnya kecuali dengan karbon, yang tersedia di mana-mana dan sudah ada hampir sejak awal zaman besi itu sendiri.

Tanpa tembaga dan timah yang tersedia, pandai logam melakukan inovasi untuk membuat peralatan besi yang keras dan tahan lama melalui proses penempaan yang rumit. Besi tersedia di berbagai tempat di seluruh wilayah Timur Tengah dan Mediterania, sehingga tidak memerlukan perdagangan jarak jauh seperti perunggu. Zaman besi dimulai sekitar 1100 SM, tepat saat zaman perunggu berakhir. Di Timur Tengah, zaman perunggu berkembang menjadi zaman besi dari sekitar 1200 SM, di Eropa Selatan sekitar 1000 SM, dan di Eropa Utara sekitar 500 SM (Bar, Shay 2013) (Fowler, C., et al 2015).

1.3. KARAKTERISTIK DAN KEUNGGULAN PADUAN PERUNGU

Seperti yang telah dijelaskan di bagian sebelumnya, tembaga dan paduan tembaga adalah logam yang sudah dimanfaatkan dari awal sejarah kebudayaan manusia. Hal ini dikarenakan logam tembaga adalah logam serbaguna yang memiliki sifat yang mudah disesuaikan dengan cara dibuat paduan yang memiliki sifat yang berbeda-beda bergantung pada komposisi paduannya. Rekayasa paduan dilakukan untuk mendapatkan sifat yang diinginkan seperti penampilan visual dan warna tertentu, meningkatkan kekuatan atau ketahanan korosi, meningkatkan sifat pembentukan atau pengelasan dan lain sebagainya. Keluarga paduan tembaga yang paling terkenal adalah kuningan dan perunggu. Perunggu adalah paduan yang terdiri dari tembaga dengan timah sedangkan kuningan adalah paduan tembaga dengan seng. Dalam perkembangannya seringkali batas antara kuningan dan perunggu tidak bisa dipisahkan dengan jelas. Sehingga seringkali paduan tembaga umumnya

disebut kuningan dan perunggu dianggap sebagai jenis paduan dari kuningan. Untuk menghindari kebingungan, kalangan museum dan penulisan teks sejarah biasanya menggunakan istilah inklusif “paduan tembaga” secara umum. Dalam sains dan teknik, perunggu dan kuningan didefinisikan menurut komposisi elemennya.

1.3.1. Karakteristik Paduan Perunggu

Unsur utama paduan perunggu, tembaga, memiliki keunggulan sifat seperti sifat termal dan listrik yang sangat tinggi. Tembaga merupakan logam lunak dan ulet/liat yang dapat dengan mudah disolder dan disolidifikasi dengan logam lain untuk menghasilkan paduan yang tahan lama, fleksibel dan ulet. Sehingga dapat dengan mudah ditebuk, diregangkan atau dibentuk ke dalam beragam bentuk. Paduan perunggu juga memiliki karakteristik unggul seperti tembaga dengan sifat unik lainnya tergantung pada komposisi paduannya. Secara umum paduan perunggu bersifat lebih keras daripada tembaga, dan juga tahan lama. Namun perunggu relatif lebih sulit dibentuk seperti tembaga meskipun masih bisa diproses dengan teknik yang tepat. Berikut beberapa sifat keunggulan yang dimiliki paduan perunggu:

1. Daktilitas yang tinggi

Daktilitas mengacu pada kemampuan material untuk ditempa dan dicetak menjadi berbagai bentuk dan ukuran yang berbeda tanpa mengalami keretakan. Sifat ini merupakan salah satu alasan utama mengapa pengrajin logam paduan memanfaatkan perunggu. Hal ini memungkinkan pengrajin untuk dengan mudah membentuk perunggu menjadi silinder, lembaran, objek bersudut, dan banyak lagi yang memungkinkan untuk dikreasikan menjadi produk seni.

2. Tahan Lama

Perunggu secara alami mengalami ketahanan yang baik terhadap korosi. Ketahanan korosi alami perunggu disebabkan adanya proses kimia oksidasi pembentukan lapisan karbonat tembaga. Reaksi ini sebenarnya juga termasuk reaksi korosi, namun lapisan oksidatif tembaga karbonat berfungsi sebagai lapisan kuat yang melindungi perunggu di bawahnya dari korosi lebih lanjut yang bersifat destruktif.

3. Ketahanan Aus yang Baik

Sifat perunggu yang relatif unik adalah menghasilkan jumlah friksi yang lebih rendah ketika bergesekan dengan jenis logam lain. Friksi adalah salah satu alasan utama mengapa logam menjadi lebih mudah aus seiring waktu. Namun berkat ketahanan aus perunggu yang lebih tinggi, objek yang terbuat dari perunggu menjadi tidak lebih mudah rusak atau tergores. Ini sering menjadi alasan mengapa perunggu adalah pilihan umum untuk membuat komponen yang dirancang untuk bergerak seperti roda gigi, pegas, dan komponen serupa lainnya dalam permesinan.

4. Tidak Menghasilkan Percikan saat Ditempa

Persepsi umum terhadap pandai besi atau pengrajin logam adalah kegiatan fisik menguras tenaga yang banyak digambarkan dengan aktivitas memukul logam panas menggunakan palu besar dan menghasilkan percikan api yang berloncatan kemana-kemana. Ilustrasi seperti ini sebenarnya hanya berlaku pada jenis logam tertentu seperti besi dan tidak terjadi untuk perunggu. Sifat tahan-percikan ini penting untuk membuat lingkungan kerja yang lebih aman.

5. Kecenderungan untuk Memuai saat Pendinginan dari Cairan ke Padatan

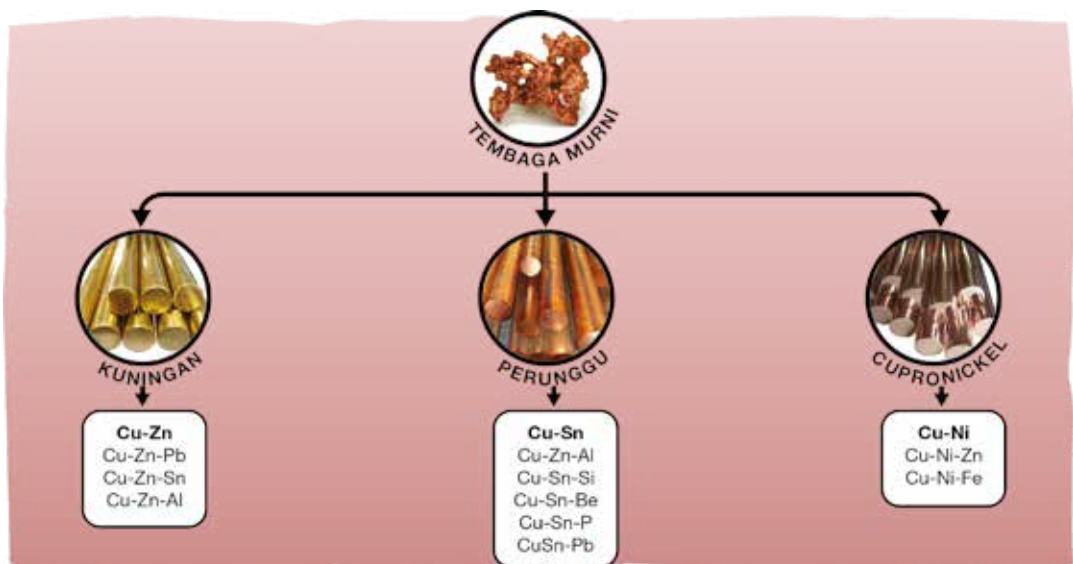
Kebanyakan paduan perunggu menunjukkan kecenderungan yang tidak biasa ditemukan pada logam, yaitu mengembang saat mendingin dari keadaan cair hingga sesaat sebelum berubah menjadi padat. Ketika mencapai keadaan padatnya, perunggu akan sedikit mengalami penyusutan. Sifat unik ini merupakan keuntungan ketika paduan perunggu diproses dengan pengecoran yang memungkinkan lelehan paduan perunggu untuk mengisi setiap celah cetakan dan mengembang saat mendingin. Dan setelah perunggu menjadi padat, ia sedikit menyusut, sehingga lebih mudah untuk memisahkan dari cetakan dalam keadaan utuh. Hal ini sangat membantu pembentukan produk akhir yang lebih detail dan rapi sehingga menyebabkan paduan perunggu disukai oleh pengrajin logam.

1.3.2. Keluarga Paduan Perunggu

Pada Zaman Perunggu, dua paduan perunggu yang umum dibuat adalah

perunggu klasik dan perunggu ringan. Perunggu klasik memiliki komposisi 10% timah yang umum digunakan dalam pengecoran, untuk membuat produk seperti senjata berbilah. Sedangkan perunggu ringan memiliki komposisi 6% timah untuk membuat lembaran yang dibuat dengan cara memalu batangan paduan. Perlengkapan seperti helm dan baju besi dibuat dari perunggu ringan.

Produk paduan perunggu yang berkembang saat ini yang dikenal dengan perunggu komersial (90% tembaga dan 10% seng) dan perunggu arsitektural (57% tembaga, 3% timbal, 40% seng) banyak digunakan sebagai bahan struktural dalam aplikasi arsitektur. Selain kedua jenis paduan perunggu ini, berkembang banyak varian produk perunggu yang umumnya dinamakan setelah penambahan unsur paduan dengan klasifikasi seperti ditunjukkan pada gambar 2. Beberapa diantara paduan perunggu akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini.



Gambar 1.2 – Tembaga dan Klasifikasi Paduan Tembaga

Penambahan bismut ke dalam paduan perunggu akan membuat suatu jenis paduan yang dikenal dengan perunggu bismut, dengan komposisi 52% tembaga, 30% nikel, 12% seng, 5% timbal, dan 1% bismut. Perunggu bismut memiliki kemilap yang baik sehingga sering digunakan sebagai reflektor cahaya dan cermin.

Perunggu plastis, suatu istilah untuk paduan perunggu yang dibuat dengan penambahan sejumlah besar timbal sehingga sifat plastisitas paduan meningkat. Konstruksi kapal Yunani kuno diyakini menggunakan paduan perunggu plastis ini.

Sedangkan paduan perunggu silikon, sebagaimana namanya memiliki campuran komposisi Si (2,80-3,80%) dan logam lainnya seperti mangan, besi, seng, dan timbal dalam jumlah yang variatif, digunakan sebagai logam dekoratif, konstruksi kelautan hingga komponen elektronik.

Perunggu fosfor mengandung antara 0,5% hingga 1% timah dan antara 0,01% dan 0,35% fosfor. Kombinasi ini memberikan paduan logam kekuatan yang luar biasa, tetapi juga butiran halus, daya tahan, ketahanan lelah yang tinggi, dan koefisien gesekan yang rendah.

Perunggu nikel, yang seringkali disebut sebagai “perak nikel” merupakan paduan perunggu yang terbuat dari tembaga, timah, dan nikel. Penambahan nikel membuat logam berwarna keperakan, sedangkan tembaga dan timah memberikan kekuatan tarik dan kualitas tahan korosi. Karena sifatnya ini, perunggu nikel sering dimanfaatkan untuk membuat alat musik, peralatan optik dan peralatan makanan dan minuman.

Perunggu aluminium merupakan paduan tembaga yang mengandung 5-12% aluminium selain nikel, silikon, mangan dan besi. Paduan ini banyak dimanfaatkan untuk produk otomotif dan peralatan berat.

Perunggu mangan adalah modifikasi dari paduan jenis logam Muntz (60% tembaga 40% kuningan seng) yang mengandung sedikit tambahan dari unsur paduan lainnya seperti mangan, besi dan aluminium. Timbal terkadang ditambahkan untuk meningkatkan sifat pelumasan dan kemampuan pelekatan. Seperti perunggu aluminium, paduan mangan memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dengan ketahanan korosi yang sangat baik.

Perunggu arsenik merupakan paduan timah alami yang terdiri dari sejumlah kecil arsenik dan kualitas yang lebih baik daripada tembaga murni. Paduan ini banyak ditemukan pada awal perkembangan zaman perunggu namun sudah sangat jarang dimanfaatkan karena sifatnya yang toksik.

Logam bel adalah paduan perunggu keras yang digunakan untuk membuat lonceng dan instrumen lainnya seperti simbal. Ini adalah bentuk perunggu dengan kandungan timah lebih tinggi, biasanya dengan perbandingan tembaga dan timah sekitar 4: 1 (78% tembaga dan 22% timah). Sedangkan logam spekulum merupakan paduan yang dibuat dari sekitar dua pertiga tembaga dan sepertiga timah, dengan permukaan mengkilap putih yang mudah dipoles sehingga bersifat reflektif.

Pada bagian selanjutnya akan dibahas secara historis bagaimana pengembangan tembaga dan paduannya beserta teknik pengolahan yang menyertai.

1.4. SEJARAH PENGEMBANGAN PADUAN PERUNGGU

Teknik pengolahan logam atau Metalurgi memiliki pengaruh besar pada masyarakat manusia, yang perkembangannya dimulai sejak zaman perunggu dan semakin meningkat pada zaman besi dan khususnya di Zaman Baja modern di mana berbagai macam produk dan struktur teknik yang mengandung logam memberi pengaruh yang signifikan pada kehidupan manusia. Sejarah pengembangan teknologi pengolahan logam masih menjadi topik diskusi yang hangat diantara para pakar. Salah satu hal yang menjadi kesepakatan adalah terkait awal mula pengembangan teknologi pengolahan logam dimulai dengan pemanfaatan logam yang relatif lunak dan pengolahannya secara sederhana seperti dipukul. Renfrew memaparkan bagaimana awal tembaga dimanfaatkan hingga dikembangkan paduan tembaga seperti perunggu dan kuningan dan teknologi pengolahannya melalui beberapa tahapan yang meliputi pengerjaan dingin, peleburan, perlakuan panas, pemaduan hingga pengecoran (Renfrew, 1999). Pengembangan teknik pengolahan tembaga yang terjadi secara bertahap ini diperkirakan memakan waktu setidaknya seribu tahun, dari penggunaan pertama bijih tembaga pribumi hingga ditemukan teknik pengecoran menggunakan cetakan berongga. Selain itu semakin kompleks pemanfaatan suatu teknologi juga menuntut spesialisasi profesi dalam masyarakat terutama ketika kebutuhan untuk produksi massal juga meningkat. Kronologi pengembangan teknologi pengolahan paduan tembaga ini dapat dibagi dalam berbagai tahapan pencapaian seperti berikut:

1.4.1. Pemanfaatan Tembaga Pribumi

Tembaga pribumi adalah bijih tembaga yang memiliki kemurnian tinggi dan banyak ditemukan di daerah di mana terdapat bijih tembaga. Artefak tembaga pada awalnya dibuat dari tembaga pribumi sekedar untuk keperluan dekoratif seperti segfel silinder dan kemudian berkembang untuk pemanfaatan lainnya. Bukti pertama penggunaan tembaga pribumi untuk membuat benda-benda kecil dan dekoratif berasal dari Timur Dekat dan Kaukasus pada sekitar 8000 SM. Pengolahannya sebatas dengan teknik pengerjaan dingin seperti dipalu yang kemudian disadari mineral baru ini tidak mudah patah dan bersifat lunak dibandingkan logam lainnya. Namun pemukulan yang berulang-ulang tanpa pemanasan membuat tembaga menjadi rapuh sehingga mudah patah. Dengan memanaskannya di api terbuka, dan memalu selagi panas, kerapuhan ini bisa dihindari. Pengerjaan dingin setelahnya seringkali dilakukan pada tahap penyelesaian objek untuk memberikan produk bersifat lebih keras.

Tembaga dalam bentuk pribumi dikenal sejak Era Neolitikum dan secara bertahap menggantikan alat-alat batu pada milenium kelima SM. Namun, meskipun perkakas tembaga dapat diolah secara mekanis dengan ditempa, digiling, dll., perkakas tersebut kemudian diganti dengan paduan tembaga yang kuat dan keras, seperti perunggu dan kuningan.

1.4.2. Peleburan Bijih Tembaga

Pengenalan peleburan pada pengolahan tembaga menjadi salah satu tahapan kemajuan penting pada arkeometalurgi. Pengolahan tembaga asli dengan peleburan dan pengecoran dimulai sekitar 6000 SM, dan reduksi

bijih tembaga (peleburan) untuk mendapatkan tembaga dimulai sekitar 4000 SM. Pada 5000 SM, teknik metalurgi mulai berkembang dengan ditemukannya peleburan bijih tembaga oksida sederhana yang berwarna cerah mencolok seperti malasit (hijau) dan azurit (biru-ungu). Bijih oksida dan karbonat lebih mudah direduksi pada suhu mulai dari 700°C tanpa perlengkapan pemanas yang rumit daripada bijih sulfida. Meskipun begitu, perlu diketahui bahwa bijih oksida seringkali ditambah dari deposit tembaga sulfida, di mana lapisan atas yang lapuk sebagian besar terdiri dari tembaga karbonat dan oksida. Ini bisa dengan mudah ditambahkan ke peleburan cawan lebur dan tungku. Namun, penambahan lebih dalam akan menemukan deposit sulfida, yang proses pemanfaatannya harus dioksidasi (dipanggang) terlebih dahulu sebelum dilebur.

Pakar arkeometalurgi menyimpulkan bahwa pengrajin logam kuno tidak menggunakan api terbuka untuk proses peleburan tembaga. Hal ini dikarenakan suhu nyala api terbuka (api unggun) biasanya sulit mencapai lebih dari 700°C, yang tidak cukup untuk mereduksi bijih tembaga di mana titik leleh tembaga adalah 1085°C. Tungku sederhana yang dibuat pertama kali adalah wadah tanah liat dengan bijih ditempatkan ke dalam lubang yang digali di tanah hingga kedalaman 75 cm dengan lapisan arang dituangkan di atas atau dengan bijih dicampur dengan arang. Pengrajin logam terkadang mencoba mengatur proses peleburan di lereng bukit atau di celah lembah sempit yang terdapat angin konstan untuk mengatur udara yang bergerak dan dengan demikian meningkatkan suhu nyala

api. Pengembangan tungku peleburan (perapian) kelak memungkinkan penambahan langsung logam timah ke dalam tembaga cair sebagai cikal-bakal teknik pengecoran.

1.4.3. Pengecoran

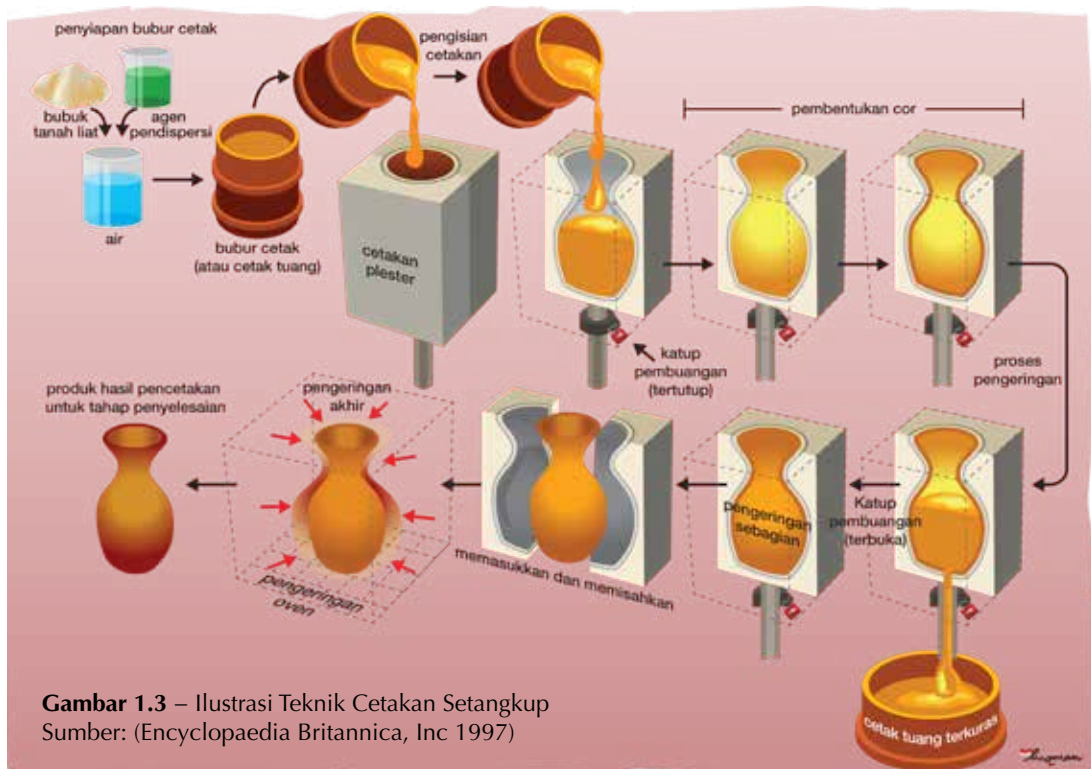
Pengecoran perunggu membutuhkan pemanasan pada suhu 1083°C agar tembaga meleleh sebelum dicetak kedalam bentuk yang diinginkan. Seringkali proses dilanjutkan dengan pengerjaan dingin untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Metode pencetakan yang berkembang berturut-turut adalah pengecoran cetak terbuka, pengecoran dengan rangka cetakan rangkap dan pengecoran dengan cetak berongga atau juga dikenal dengan metode *lost-wax* atau *cire perdue* dalam Bahasa Perancis. Metode-metode ini berturut-turut digunakan untuk membuat objek yang semakin rumit bentuknya.

Teknik pengecoran kemungkinan berkembang dari daerah India dan Mesopotamia pada milenium keempat-ketiga sebelum masehi. Logam timah atau perunggu pribumi awalnya diolah dengan cara dicor ke dalam cetakan pasir dan tanah liat terbuka yang kemudian harus dihancurkan untuk memisahkan dari cetakannya. Sedangkan untuk keperluan produksi massal seperti mata panah dan tombak, pengecoran menggunakan cetakan dari batu atau cetakan tanah liat yang dibakar (keramik) yang dapat digunakan kembali. Cetakan batu atau keramik memungkinkan untuk menghasilkan produk cor dengan konfigurasi dan dimensi yang konsisten.

Cetakan batu untuk menghasilkan artefak logam seperti kapak berevolusi dari cetakan satu bagian, seperti batu

berukir satu sisi, ke cetakan setengah atau bivalve, menggunakan dua batu berukir yang dapat menghasilkan kapak datar atau palstave. Kemudian berkembang pula cetakan multi-bagian yang lebih kompleks, seperti cetakan

setangkup yang ditambahkan bagian ketiga yang berfungsi sebagai inti untuk produksi sumbu berongga, seperti untuk menghasilkan kapak soket (Figueiredo, 2021). Teknik cetakan setangkup ini diilustrasikan pada gambar 1.3.



Pengecoran berongga menggunakan cetakan lilin dikembangkan secara terpisah di Mesir kuno dan Cina, sehingga dikenal dengan istilah lilin-lepas (*lost-wax/cire perdue*) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.4. Teknik ini terdiri prosedur pengerjaan yang harus dilewati secara berurutan. Model cetakan yang terbuat dari kayu, batu, dan bahan lainnya dipersiapkan terlebih dahulu. Kemudian model tersebut dilapisi dengan gipsium untuk dihilangkan setelah proses curing sebagai cetakan negatif dari objek yang akan dibuat. Ketika produk

menjadi padat, patung lilin sebagai salinan dari model ditempatkan ke dalam cetakan plester. Kemudian model lilin ditutup dengan lapisan tanah liat, lilin dicairkan, dan cetakan tanah liat dibakar dan diisi dengan logam cair. Untuk mencor objek berongga, sejumlah kecil lilin dituangkan ke dalam cetakan plester, yang kemudian diputar agar lapisan ketebalan yang diinginkan terdistribusi rata sesuai dengan pengecoran logam di atas permukaan bagian dalamnya. Permukaan bagian dalam model lilin ditutupi dengan tanah liat, dan

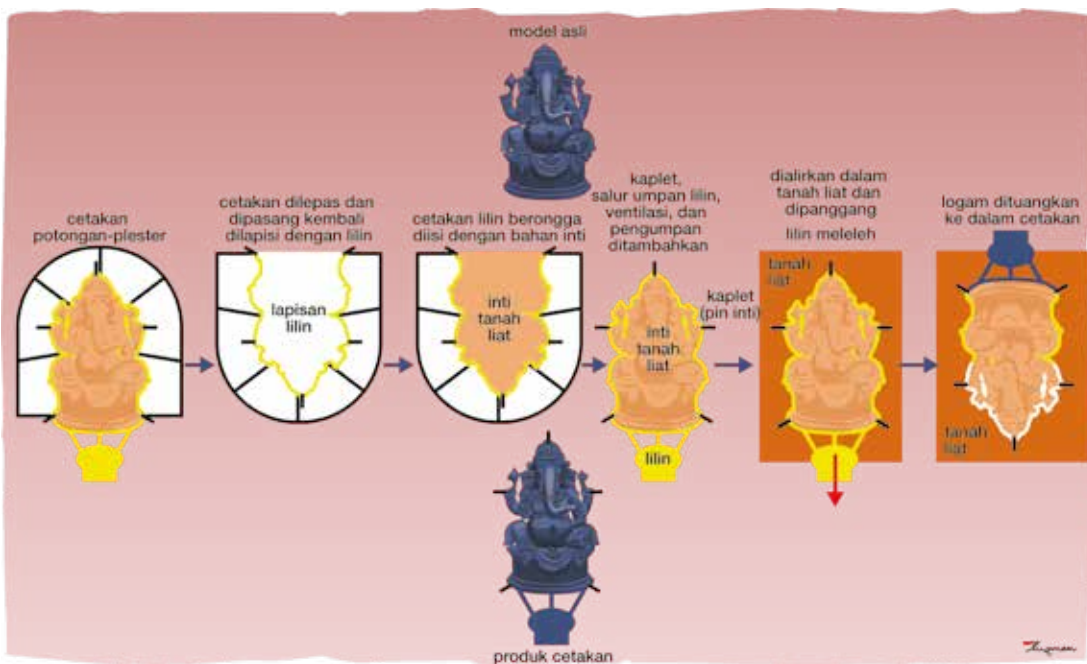
begitu juga permukaan luarnya. Setelah lilin dicairkan, cetakan tanah liat dengan celah penuangan dibakar dan diisi dengan logam (perunggu). Cetakan tanah liat yang sudah dingin akan retak sehingga produk logam dapat dipisahkan untuk kemudian diberikan perlakuan akhir. Bagian inti tanah liat tetap berada di dalam produk. Kebanyakan patung perunggu Mesir yang dibuat dengan cara ini ditemukan memiliki padatan tanah liat di

bagian intinya. Metode fabrikasi pengecoran berongga besar ini memungkinkan untuk mengurangi bahan baku logam perunggu sehingga biaya produksi menjadi lebih ekonomis tanpa mengurangi kualitas secara signifikan. Menurut perkiraan, patung yang dicor dengan logam seluruhnya dapat memiliki berat 16 hingga 17 kali lipat dari patung berongga yang bagian inti dalamnya diisi dengan tanah liat.

METODE PELEPASAN LANGSUNG



METODE PELEPASAN TIDAK LANGSUNG



Gambar 1.4 – Teknik Cetak Lilin Lepas.

Metode pengecoran berongga lilin-lepas dianggap yang paling akurat, efektif dan efisien dalam membuat produk perunggu terutama untuk desain yang kompleks sehingga penggunaannya populer di berbagai wilayah. Teknik ini kemungkinan mulai dikenal di Mesir sekitar tahun 1570 SM, dan berkembang di Cina beberapa dekade kemudian, hingga banyak diterapkan di masyarakat Yunani pada abad ke-7 SM.

Pada Zaman Perunggu, produk pengecoran diikuti dengan proses akhir berupa penempaan dan pemesinan termasuk pengukiran dan pemolesan. Urutan proses ini berdasarkan penemuan hasil eksplorasi arkeologi. Misalnya, peralatan kastor perunggu yang ditemukan dari penggalian di Prancis meliputi batu asah, pemotong untuk ukiran, landasan, dan gergaji kecil.

1.4.4. Pemaduan dengan Unsur Lain

Selain upaya pengembangan dalam teknologi pengolahan, manusia juga berinovasi dalam membuat formulasi bahan baku untuk mendapatkan sifat produk yang lebih baik. Seperti didiskusikan sebelumnya, penggunaan tembaga sebagai komponen tunggal tidak memberikan sifat fisik dan mekanik yang baik. Arsenik tercatat sebagai unsur pertama yang ditambahkan pada paduan tembaga. Sebuah kapak tembaga yang memiliki campuran arsenik ditemukan di Pegunungan Alpen bersama mumi yang berasal dari 3300 SM (Artioli, 2017). Arsenik ditambahkan ke tembaga karena sejumlah 0,5% As sudah dapat meningkatkan daya tahan paduan, menghasilkan coran yang lebih kompak dan meningkatkan fluiditas lelehan. Selain itu, kekerasan paduan ini secara substansial meningkat selama penempaan dingin karena pengerasan

kerja, dari 100 menjadi 245 HB, sedangkan kekerasan tembaga yang dikeraskan dingin adalah 110 HB versus 35-40 HB dari tembaga tuang. Paduan tembaga arsenik dikembangkan sebelum paduan tembaga timah dimungkinkan karena tembaga dan arsenik juga ditemukan dalam bijih yang sama, sementara timah adalah logam yang relatif langka. Orpimen dan realgar, mineral yang mengandung arsenik lebih mudah ditemukan oleh penambang karena terdapat di lapisan atas deposit bijih tembaga dan memiliki warna yang mencolok yaitu keemasan atau merah cerah. Namun perlahan paduan tembaga timah menjadi lebih dipilih karena tembaga arsenik bersifat racun dan memberikan dampak negatif bagi pengrajin logam. Evolusi metalurgi perunggu kuno membuktikan bahwa transisi dari paduan tembaga-arsenik ke tembaga-timah terjadi secara bertahap. Timah awalnya ditambahkan ke tembaga dengan arsenik, yang dipastikan oleh artefak perunggu kuno yang mengandung 0,97 hingga 1,3% timah. Arsenik lambat laun digantikan oleh timah, sekitar 10% ditambahkan ke tembaga untuk menghasilkan perunggu, paduan yang lebih kuat dan berguna. Penambahan timah juga membuat paduan lebih mudah dicor, mengurangi masalah yang disebabkan oleh gas dan menurunkan titik lelehnya dari 1085°C untuk tembaga murni menjadi 1050°C untuk paduan dengan komposisi timah 5%, dengan penambahan lebih lanjut membuat titik lelehnya menjadi lebih rendah (960°C untuk 15% Sn). Penurunan titik leleh ini memberikan kemudahan dalam proses pemanasan dan kebutuhan sumber daya energi yang lebih sedikit. Keuntungan lain menggunakan paduan adalah kemampuan untuk diperlakukan secara mekanik dalam

proses pembentukan lebih lanjut. Misalnya, paduan hingga 5% Sn dapat diproses dengan penempaan dan penarikan dingin karena didasarkan pada larutan padat α Cu–Sn. Namun jika komposisi Sn dinaikkan menjadi 5–15%, terbentuk paduan dua fasa yang mengandung campuran $\alpha + \beta$ (larutan padat α : Cu–Sn, β : Cu₃Sn) yang mengharuskan pemrosesan dilakukan dengan teknik pembentukan panas berupa penempaan atau penarikan.

Pada Zaman Perunggu, dua formulasi komposisi perunggu umum digunakan adalah “perunggu klasik” memiliki kandungan sekitar 10% timah yang biasanya digunakan dalam pengecoran. Selain itu adalah dan “perunggu ringan” dengan komposisi timah sekitar 6%, dipalu dari batangan paduan untuk membuat lembaran. Senjata berbilah sebagian besar dilemparkan dari perunggu klasik, sementara helm dan baju besi dipalu dari perunggu ringan.

Komposisi kimia artefak perunggu kuno yang dibuat di berbagai daerah pada periode yang berbeda memiliki karakteristik yang berbeda pula. Perunggu paling kuno, misalnya, dari Kerajaan Mesir Kuno sekitar abad 26-23 SM mengandung 2% Sn, sedangkan kapak Troy abad 14-12 SM memiliki 3,87-5,70% Sn. Kandungan timah dari artefak perunggu dari Mycenae abad ke-10–9 SM mencapai 10-13%. Bejana dan koin perunggu Yunani dari periode klasik abad keenam hingga keempat SM bahkan memiliki kandungan timah yang lebih tinggi (14-17%). Perbedaan komposisi juga dilakukan untuk mendapatkan karakteristik produk yang spesifik. Misal genta dan kaca perunggu dari periode Dinasti Zhou Barat dan Zhou Timur (Abad 12-3 SM) memiliki sifat mudah dipoles

meskipun kekuatan dan plastisitas rendah akibat dari komposisi timah tinggi yang bisa mencapai 50% menyebabkan terbentuknya senyawa intermetalik Cu₆Sn₅ dan Cu₃Sn. (Phillips, 1922; Gnesin, 2013; Mu, 2015; Oudbashi, 2021; Kienlin, 2013).

Sumber bahan baku timah umumnya adalah mineral kasiterit yang mengandung timah dalam bentuk oksida SnO₂. Timah murni memiliki titik leleh yang rendah (232°C), maka tidak sulit untuk mengekstraknya dari kasiterit melalui proses reduksi leleh. Paduan perunggu dapat dihasilkan melalui penambahan langsung kasiterit ke lelehan tembaga. Timah murni juga dipelajari potensinya sebagai logam utama dalam pembuatan objek. Namun, terlepas dari kemampuan prosesnya (plastisitas tinggi, titik leleh rendah, ketahanan korosi yang baik), timah murni jarang digunakan di zaman kuno karena langka dan mahal. Sehingga sebagian besar timah yang diekstraksi lebih digunakan sebagai aditif dalam pembuatan perunggu. Perlu diketahui bahwa daerah utama penghasil barang-barang perunggu pada zaman kuno berada di Timur Tengah, Iran, dan Mesir. Pada saat yang sama, deposit timah terkaya secara geografis berada cukup jauh dari wilayah-wilayah ini. Eksplorasi arkeologi membuktikan bahwa metalurgi perunggu kuno dipasok menggunakan timah dari endapan aluvial kasiterit yang berasal dari Kepulauan Melayu (Kepulauan Bangka-Belitung) (Ross, 2014). Bijih timah tersebut ditransportasikan melalui laut atau karavan. Kemudian, pada milenium pertama sebelum masehi, bangsa Fenisia, navigator terbaik pada masa itu, menemukan deposit kasiterit yang kaya di selatan Inggris, di Cornwall, dan

memegang monopoli dalam memasok bahan baku berharga ini ke Timur Tengah dan negara-negara lain di semenanjung Mediterania selama 800-1000 tahun.

Selain timah, beberapa unsur paduan lainnya juga digunakan untuk dicampurkan ke logam perunggu terutama yang memiliki titik leleh rendah. Salah satu unsur yang umum digunakan adalah timbal. Pada awal milenium keenam sebelum masehi, manusia menemukan cara memproduksi timbal dari bijih timah galena (PbS). Pengrajin logam kuno mengekstrak timbal menggunakan teknik pemanasan dalam tungku peleburan sederhana diawali dengan kalsinasi oksidatif bijih yang diikuti dengan dekomposisi termal PbS untuk menghasilkan logam cair. Timbal memiliki plastisitas yang memadai pada suhu kamar dan ketahanan korosi yang tinggi serta sifat pengecoran yang baik sehingga membuat penggunaan logam ini disukai. Bahkan beberapa milenium sebelum zaman sejarah di Mesopotamia dan Mesir, timbal ditemukan sebagai unsur penyusun pada patung-patung dan struktur teknik bangunan.

Beberapa unsur lainnya yang juga ditemukan sebagai unsur campuran pada artefak perunggu adalah antimoni (Sb), perak (Ag), emas (Au), besi (Fe) dan raksa (Hg). Penambahan perak ke perunggu diasumsikan untuk meningkatkan sifat plastisitasnya dan membuat kilau logam lebih mengkilap. Perunggu Korintus yang diyakini berasal dari 146 SM merupakan paduan tembaga, perak, dan emas dengan proporsi yang hampir sama. Sifat mekanik yang tinggi dari paduan ini disebabkan dari mekanisme pengerasan larutan padat. Paduan serupa yang juga tercatat ditemukan di luar Eropa seperti Vas Hông-

hee (1426) dari Cina, paduan emas dan tembaga yang dikenal sebagai tumbaga dari Mesoamerika era Pra-Columbus, dan proses metalurgi serupa untuk “pewarnaan [*chrôsis*] emas” yang dijelaskan dalam resep ke-15 di Leyden papirus X, dari Thebes di Mesir tertanggal abad ke-4 Masehi. Beberapa artefak perunggu kuno yang ditemukan teridentifikasi mengandung timbal (0,2-8,5%), besi (0,2-6,2%), antimon dan arsenik dalam jumlah renik (Phillips, 1922; Jacobson, 2000). Meskipun ada juga pendapat yang menyatakan keberadaan unsur-unsur tersebut lebih dikarenakan sebagai unsur pengotor ketimbang sebagai unsur paduan yang memang sengaja ditambahkan dalam proses pembuatannya. Hal ini bisa dipahami mengingat teknik ekstraksi yang dikembangkan masih relatif sederhana sehingga belum bisa menghasilkan tingkat kemurnian tinggi untuk menghilangkan unsur pengotor dari bahan baku bijih mineral yang digunakan.

Paduan tembaga lain juga populer di zaman kuno adalah kuningan atau *orichalcum*. Di zaman kuno, istilah kuningan dan *orichalcum* dipakai untuk semua paduan logam berwarna kuning yang menyerupai emas dalam kilaunya. Kuningan, paduan Cu-Zn, dikenal di India, Yunani, dan Timur Tengah dan digunakan untuk membuat peralatan rumah tangga, benda-benda pengecoran seni, dan ornamen. Barang-barang kuningan paling kuno ditemukan di wilayah Palestina sekitar 1500 SM. Pada masa itu, kuningan tidak dapat diproduksi dengan peleburan langsung tembaga dan seng karena seng menguap pada suhu sekitar 1000°C. Itulah sebabnya kuningan dibuat dengan cara mereduksi peleburan seng dan bijih tembaga teroksidasi.

Perlu dicatat bahwa setelah Zaman Tembaga (*Chalcolithic*) yang singkat diikuti Zaman Perunggu dan dilanjutkan dengan Zaman Besi, tidak ada benar-benar terjadi Zaman Kuningan daintaranya disebabkan sulitnya untuk membuat paduan kuningan. Sebelum abad ke-18, pemurnian logam seng (Zn) tidak mudah dilakukan karena meleleh pada suhu 420°C dan mendidih pada suhu sekitar 950°C, di bawah suhu yang dibutuhkan untuk mereduksi seng oksida dengan arang. Dengan tidak adanya seng pribumi, maka untuk membuat kuningan harus dilakukan dengan mencampur bijih smithsonite tanah (mineral seng karbonat) dengan tembaga dan memanaskan campuran. Panasnya cukup untuk mereduksi bijih menjadi logam tetapi tidak melelehkan tembaga. Uap dari seng kemudian bercampur ke tembaga untuk membentuk kuningan, yang kemudian dapat dilebur untuk menghasilkan paduan yang seragam. Sementara timah sudah tersedia untuk pembuatan perunggu, kuningan sedikit digunakan kecuali jika warna emasnya diperlukan. Orang Yunani mengenal kuningan sebagai '*oreichalcos*', tembaga putih cemerlang. Para cendekia dari Romawi menyebut kuningan dengan istilah '*Aurichalum*' Yang digunakan untuk produksi koin sesterces dan produksi helm berwarna emas. Mereka menggunakan kadar yang mengandung 11 hingga 28 persen seng untuk mendapatkan warna dekoratif untuk semua jenis perhiasan hias. Untuk sebagian besar karya hiasan, logam harus sangat ulet dan komposisi yang disukai adalah 18%, hampir sama dengan logam penyepuhan 80/20 yang masih diminati. Hanya dalam milenium terakhir setelah banyak kemajuan dalam ilmu metalurgi, paduan kuningan banyak dimanfaatkan dalam berbagai komoditas.

Selama berabad-abad penggunaan perunggu mendominasi dan digunakan untuk segala jenis perkakas mulai dari senjata, baju besi, hingga benda-benda dekoratif dan seni. Zaman Perunggu berakhir sekitar 1200 SM, dengan runtuhnya dunia kuno secara umum dan terputusnya jalur perdagangan internasional. Langkanya pasokan timah membuka jalan untuk dimulainya Zaman Besi, bukan karena besi merupakan bahan yang unggul, tetapi karena mudah tersedia secara luas. Paduan besi dengan karbon yang dikembangkan untuk membentuk baja pertama belum akan terjadi selama berabad-abad lamanya.

1.5. RESTORASI DAN KONSERVASI OBJEK PERunggu

Restorasi dan konservasi artefak bersejarah termasuk logam perunggu adalah serangkaian aktivitas untuk perbaikan, perlindungan dan pelestarian benda-benda bersejarah baik itu yang merupakan objek religius, artistik, teknis, maupun etnografis. Ruang lingkup kegiatan ini mencakup restorasi, perlindungan dan pencegahan kerusakan sehingga aspek budaya dari objek dapat terlestarikan. Pekerjaan ini membutuhkan pemahaman yang baik akan latar belakang historis-teknis suatu objek arkeologi logam. Pengetahuan tentang teknik dasar pengerjaan logam, sejarah pengembangan logam, sejarah seni, dan arkeologi sebagaimana dipaparkan di bagaian terdahulu adalah hal-hal yang perlu dipahami dengan baik oleh seorang konservator logam selain pengetahuan teknis seperti mekanisme korosi pada logam, teknik konservasi dan etika konservasi-restorasi.

Ketika suatu benda bersejarah diekskavasi dari situs penemuan, seringkali ditemukan dalam kondisi yang rentan

dan rapuh terhadap kerusakan. Upaya restorasi ini harus dilakukan hati-hati dengan memperhatikan kondisi lingkungan penemuan serta kondisi objek itu sendiri. Kelembaban, kadar oksigen, temperatur dan agen biodeteriorasi dapat mempercepat dekomposisi saat terkubur. Misalnya pada lingkungan terestrial, kondisi tanah (seperti kelembaban, pH, salinitas, dan penetrasi air tanah) memiliki pengaruh besar pada jenis bahan yang ingin direstorasi. Bahan organik biasanya mudah terdegradasi dalam waktu yang relatif singkat sedangkan bahan anorganik relatif jauh lebih lama dengan mekanisme yang lebih kompleks. Teknologi saat ini memungkinkan untuk mengobservasi jenis material yang terkandung pada suatu objek penemuan, misalnya penggunaan mikroskop portabel dan instrument analisis komposisi seperti porbel XRF (*X-Ray Fluorosens*).

Sedangkan untuk konservasi logam, ruang lingkup aktivitas yang biasanya dilakukan mencakup:

1. Identifikasi material yang terkandung baik itu bagian utama logam maupun komponen pendukungnya,
2. Identifikasi komposisi logam dan paduan,
3. Identifikasi produk korosi dan mekanisme korosi yang terjadi,
4. Identifikasi teknologi yang digunakan dalam membuat objek bersejarah tersebut.

Tahapan-tahapan ini sangat penting untuk menentukan upaya pelestarian yang mencakup konservasi dan penyimpanan. Teknik konservasi dapat terdiri dari pembersihan, konsolidasi struktur, rekonstruksi bagian yang hilang dan dekorasi permukaan, stabilisasi, dan pemberian pelapisan perlindungan. Hal-hal terkait ini akan didiskusikan secara detail di bagian tersendiri dalam buku ini.

1.6. KESIMPULAN

Suatu objek bersejarah berbasis logam seperti paduan perunggu memiliki nilai historis yang tinggi dan merepresentasikan banyak hal seperti perkembangan kebudayaan dan teknologi suatu peradaban. Dengan memahami nilai-nilai ini, kita dapat memberikan apresiasi yang tinggi terhadap suatu keberadaan benda bersejarah logam. Apresiasi yang sama juga perlu dihadirkan dalam upaya pelestarian dan konservasi artefak logam. Karena untuk bisa memberikan penanganan pelestarian yang tepat, seorang konservator harus memahami latar belakang historis suatu objek logam selain memiliki pengetahuan teknik konservasi yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amzallag, N. (2009). "From Metallurgy to Bronze Age Civilizations: The Synthetic Theory". *American Journal of Archaeology*, 113(4), 497–519. <http://www.jstor.org/stable/20627616>.
- Artioli G, Angelini I, Kaufmann G, Canovaro C, Dal Sasso G, Villa IM. (2017). "Long Distance Connections in the Copper Age: New Evidence from the Alpine Iceman's Copper Axe". *PLoS ONE* 12(7): e0179263. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179263>.
- Bar, Shay. (2013). *The Dawn of the Bronze Age: The Pattern of Settlement in the Lower Jordan Valley and the Desert Fringes of Samaria During the Chalcolithic Period and Early Bronze Age I*. Brill Academic Publishers.
- Bronze as Casting Metal. <https://bernierinc.com/bronze-casting-metal/>.
- Brooks, Christopher. (2019). *Western Civilization: A Concise History*. Volume 3. Portland Community College.
- Canal Marques, André. (2014). "Teaching Sustainability Design of Products to Engineering Students". *International Journal of Performability Engineering*. 10. 589-604.
- Figueiredo, E., Bottaini, C., Miguel, C., Lackinger, A., Mirão, J., Comendador Rey, B. "Study of a Late Bronze Age Casting Mould and Its Black Residue by 3D Imaging, pXRF, SEM-EDS, Micro-FTIR and Micro-Raman". *Heritage* 2021, 4, 2960–2972. <https://doi.org/10.3390/heritage4040165>.
- Fowler, C., Harding, J., Hofmann, D., dan Kristiansen, K. (2015). "The Decline of the Neolithic and the Rise of Bronze Age Society". *The Oxford Handbook of Neolithic Europe*. doi:10.1093/oxfordhb/978019954584.
- G.G. Gnesin. (2013). "On the Origin of Metallurgical Technologies In the Bronze Age". *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 52, No. 7-8, doi.org/1068-1302/13/0708-0477.
- Helmenstine, Anne Marie . "Composition and Properties of Bronze." *ThoughtCo*, Aug. 25, 2020. [thoughtco.com/bronze-composition-and-properties-603730](https://www.thoughtco.com/bronze-composition-and-properties-603730).
- Jacobson, David M. (2000). "Corinthian Bronze and the Gold of the Alchemists". *Gold Bulletin* 33(2).

- Kienlin, Tobias L. (2013). *Copper and Bronze: Bronze Age Metalworking in Context in The Oxford Handbook of the European Bronze Age*. (Edited by: Harry Fokkens and Anthony Harding), Oxford University Press. 10.1093/oxfordhb/9780199572861.013.0023.
- Kitchen Andrew, Ehret Christopher, Assefa Shiferaw, and Mulligan Connie J. (2009). "Bayesian Phylogenetic Analysis of Semitic Languages Identifies an Early Bronze Age origin of Semitic in the Near East". *Proc. R. Soc. B*. 2762703–2710. <http://doi.org/10.1098/rspb.2009.0408>.
- Kuijpers, M. (2018). "The Bronze Age, a World of Specialists? Metalworking from the Perspective of Skill and Material Specialization". *European Journal of Archaeology*, 21(4), 550-571. doi:10.1017/ea.2017.59.
- Laughlin, G.J., Todd, J. A. (2000). "Evidence for Early Bronze Age Tin Ore Processing". *Materials Characterization*, 45:4–5, p. 269-273. [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(00\)00111-X](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(00)00111-X).
- Masson-Berghoff, A., Pernicka E., Hook D., Meek A. (2018). "(Re)sources: Origins of metals in Late Period Egypt". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21:318-339. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.07.010>.
- Mathilde Mechling, Brice Vincent, Pierre Baptiste, David Bourgarit. 2018. "The Indonesian Bronze-Casting Tradition: Technical Investigations on Thirty-Nine Indonesian Bronze Statues (7th-11th c.) from the Musée National des Arts Asiatiques - Guimet, Paris". *Bulletin de l'Ecole française d'Extrême-Orient, EFEO*, 2018, 104 (1), pp.63 - 139. [ff10.3406/befeo.2018.6270ff](https://doi.org/10.3406/befeo.2018.6270ff). [ffhalshs-02477433](https://doi.org/10.3406/befeo.2018.6270ff).
- Mu, D. dan Nan, P. dan Wang, J. dan Song, G. dan Luo, Wugan. (2015). "Metallurgical and Chemical Characterization of Bronze Remains Found at the Houhe Site in Shanxi Province, China". *JOM*. 67. 10.1007/s11837-015-1463-z.
- Oudbashi, O., dan Wanhill, R. (2021). "Archaeometallurgy Of Copper And Silver Alloys In The Old World: The production and processing of advanced materials, namely metals and alloys, began in the Old World about 8000 years ago and developed over many millennia, providing a lasting legacy for modern civilizations". *Advanced Materials & Processes*, 179(5), 24+. <https://link.gale.com/apps/doc/A671226384/AONE?u=anon~68ef18a1&sid=googleScholar&xid=5a547d31>.
- Phillips, G. B. (1922). "The Composition of Some Ancient Bronze in the Dawn of the Art of Metallurgy". *American Anthropologist*, 24(2), 129–143. <http://www.jstor.org/stable/660717>.



Renfrew, Colin. (1999). *Before Civilization: The Radiocarbon Revolution and Prehistoric Europe*. Pimlico.

Ross, C. (2014). "The Tin Frontier: Mining, Empire, and Environment in Southeast Asia, 1870s–1930s". *Environmental History*, 19(3), 454–479. <http://www.jstor.org/stable/24690599>.



BAB 2

Koleksi Perunggu Museum Nasional





Perunggu yang merupakan campuran dari berbagai logam, yakni timah dan tembaga di mana proses pengerjaannya melalui proses yang panjang, mulai dari pengambilan bahan mentah, pemisahan logam dari bijihnya, proses melebur, mencampur, menuang, mencetak, menempa dan lain-lainnya.

(Wuryani, Rr., 1993)

BAB 2

KOLEKSI PERUNGGU MUSEUM NASIONAL

Desrika Retno Widyastuti, S.S.

2.1. PENDAHULUAN

Kapan Indonesia mengenal logam perunggu? Pertanyaan ini mungkin tebersit di benak saat melihat benda-benda yang terbuat dari perunggu yang dipamerkan di museum. Logam perunggu dikenal bangsa Indonesia jutaan tahun sebelum Masehi, masa sebelum dikenalnya tulisan. Pengetahuan dan kemampuan manusia Indonesia mengolah logam menjadi penanda bahwa manusia Indonesia pada masa itu sudah memiliki pengetahuan yang tinggi. Terlebih lagi, perunggu merupakan campuran dari berbagai logam, yakni timah dan tembaga di mana proses pengerjaannya melalui proses yang panjang, mulai dari pengambilan bahan mentah, pemisahan logam dari bijihnya, proses melebur, mencampur, menuang, mencetak, menempa, dan lain-lainnya (Wuryani, 1993). R.P. Soejono menyebutkan masa logam ini sebagai masa perundagian atau masa kemahiran

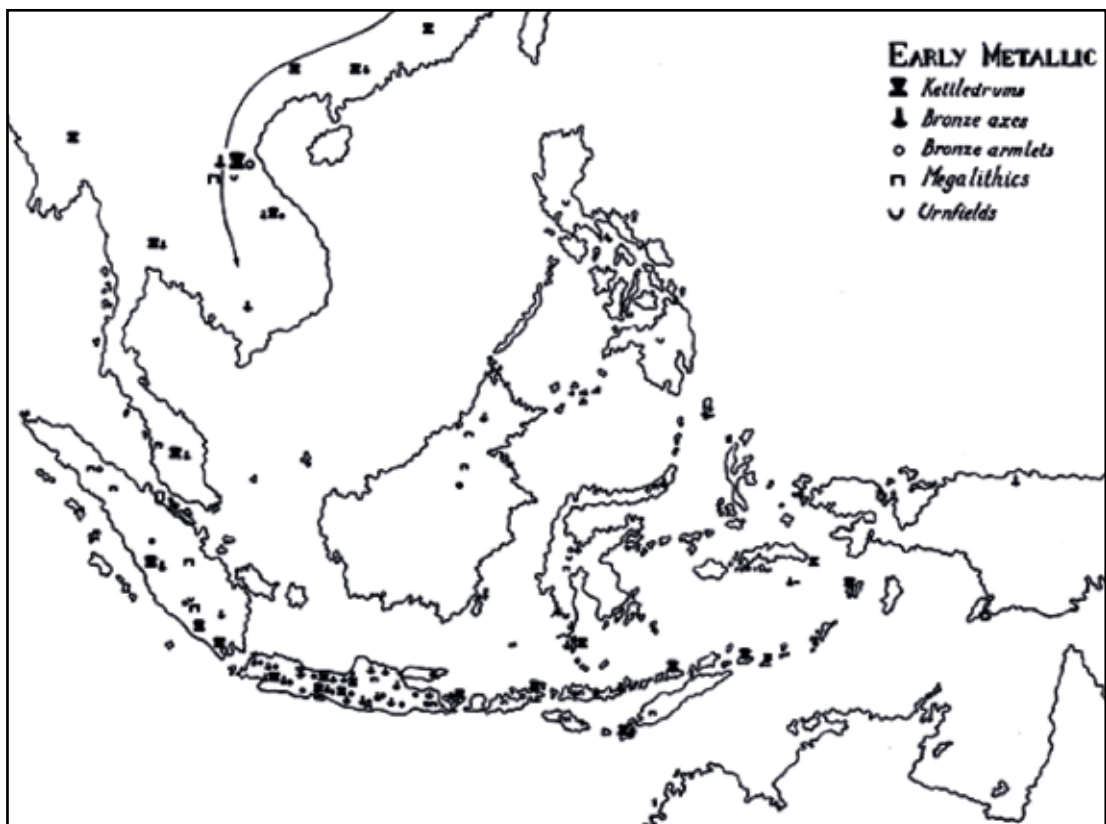
membuat alat logam (Soejono, 1976; Jatmiko, 1993).

Zaman logam di Indonesia identik dengan zaman perunggu dan besi (*bronze and iron age*) karena Indonesia sebagaimana negara-negara di Asia Tenggara lainnya tidak mengenal zaman tembaga (*copper age*). Menurut Heekeren (1958), temuan perunggu di Indonesia pada umumnya terdapat pada lapisan yang sama dengan temuan besi, karenanya disebut sebagai zaman perunggu-besi untuk menyatakan zaman logam di Indonesia. Dengan bertambahnya pengetahuan dan meningkatnya kemampuan manusia dalam teknologi pengolahan logam ke arah yang lebih maju, mulai dibuat alat-alat dari logam perunggu dan besi. Temuan benda-benda logam perunggu-besi seperti nekara, kapak, bejana, patung, perhiasan, dan senjata dari situs-situs yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia menjadi buktinya. Dari

temuan-temuan hasil ekskavasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa perunggu dan besi mempunyai peranan yang besar dalam kehidupan masyarakat masa itu. Perunggu digunakan sebagai bahan membuat alat dan perhiasan, sedangkan besi umumnya lebih digunakan sebagai alat (Poesponegoro, ed., 2008). Heekeren berpendapat bahwa kebudayaan perunggu Indonesia berasal dari Dong Son, wilayah Vietnam Utara saat ini (1958).

Ditemukannya artefak perunggu dan besi di Indonesia menarik minat banyak peneliti untuk membahasnya.

Riwayat penelitian logam yang diawali oleh penelitian G.F. Rumphius pada tahun 1705 tentang artefak perunggu dan besi menginspirasi peneliti-peneliti lainnya untuk melakukan kajian logam, khususnya nekara dan kapak, antara lain Heekeren (1958), A.B. Meyer (1984), dan F. Hirth (1890), dan tidak ketinggalan peneliti Indonesia, D.D. Bintarti (1983) dan R.P. Soejono (1969). Sementara itu, artefak besi pertama kali dikaji oleh Th.a.Th. van der Hoop (1940) (Jatmiko, 1993; Poesponegoro, 2008).



Gambar 2.1 – Peta Persebaran Temuan Logam Awal (Heekeren, 1958).

2.2. TUJUAN

Museum Nasional merupakan museum tertua di Indonesia. Merujuk pada laman Museum Nasional diketahui bahwa sejarahnya diawali dengan berdirinya lembaga bernama *Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen* pada tahun 1778 dengan semboyan "*Ten Nutte van het Algemeen*" ('untuk kepentingan masyarakat umum') karena bertujuan memajukan penelitian dalam bidang seni dan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang-bidang ilmu biologi, fisika, arkeologi, kesusastraan, etnologi, dan sejarah, serta menerbitkan hasil penelitian. J.C.M. Radermacher merupakan salah satu tokoh pendiri *Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen* yang berperan penting pada awal berdirinya museum. Rumahnya di Jalan Kalibesar, sejumlah benda budaya dan buku-bukunya disumbangkan untuk museum dan perpustakaan. Lembaga inilah yang kelak di kemudian hari, tepatnya pada 28 Mei 1979, menjadi Museum Nasional (<https://www.museumnasional.or.id/tentang-kami>).

Koleksi Museum Nasional saat ini hampir 90% merupakan warisan dari lembaga *Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen*. Selebihnya koleksi didapat dari hibah instansi lain, hasil temuan ekskavasi, benda sitaan negara, masyarakat umum, dan pengadaan dengan memberikan kompensasi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Dari pengumpulan koleksi yang telah dilakukan oleh Museum Nasional sejak berdirinya, dapat diketahui jenis dan bentuk koleksi logam perunggu yang dimiliki oleh Museum Nasional. Koleksi logam perunggu ini dapat dikelompokkan berdasarkan fungsinya.

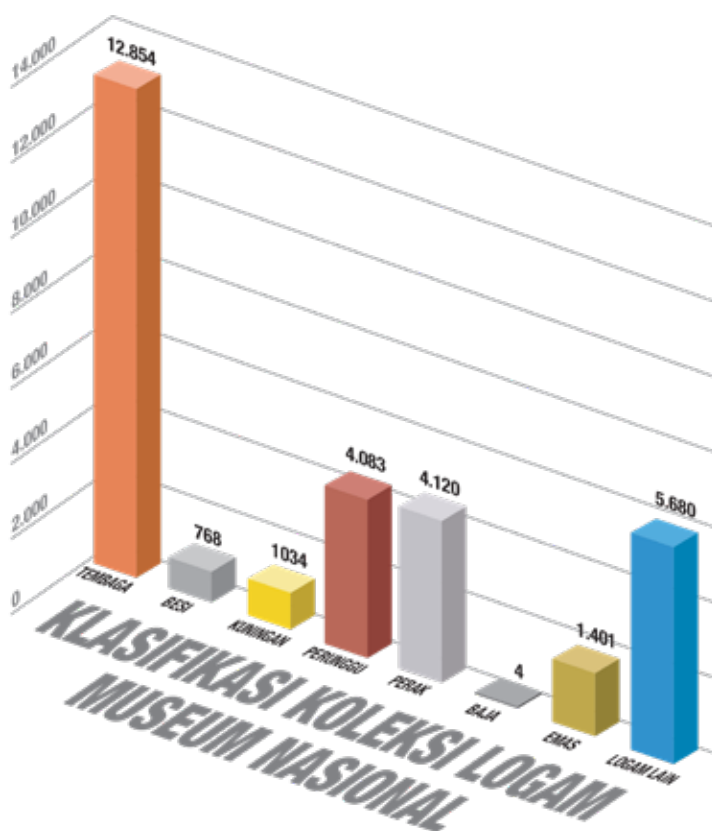
2.3. KOLEKSI PERUNGGU MUSEUM NASIONAL

Museum Nasional termasuk kategori museum umum yang menyimpan dan merawat begitu banyak ragam koleksi dari masa prasejarah hingga abad ke-20. Koleksi-koleksi tersebut dikelompokkan ke dalam tujuh kelompok besar berdasarkan ilmu pengetahuan, yakni koleksi prasejarah, koleksi arkeologi, koleksi keramik, koleksi numismatik dan heraldik, koleksi etnografi, koleksi geografi, dan koleksi sejarah.

Untuk koleksi logam, berdasarkan catatan registrasi terdapat sebanyak 29.944 (Grafik 1), tetapi belum seluruhnya diinventarisasi. Koleksi logam Museum Nasional tersebut berasal dari berbagai daerah di Indonesia dan dari berbagai periode, mulai dari masa prasejarah, masa klasik Indonesia di abad ke-5 sampai abad ke-15, hingga Indonesia sekitar abad ke-19 sampai abad ke-20.

Pengumpulan koleksi Museum Nasional pada awalnya tentu sangat berkaitan erat dengan berdirinya *Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen*. Para petinggi dan anggota dari lembaga tersebut menyumbangkan koleksi pribadinya untuk museum, seperti yang dilakukan oleh J.C.M. Radermacher. Berbagai cara dilakukan oleh pemerintah untuk memperoleh artefak menjadi koleksi museum, seperti mewajibkan para residen (bupati) menjaga dan melaporkan temuan yang ada di wilayahnya, juga memberikan dukungan finansial kepada lembaga tersebut, salah satunya untuk bidang arkeologi sudah dilakukan sejak tahun 1835 (Scheuleer, 2010).

Ketika W.R. van Hœvel menjadi direktur (1839–1848), banyak perubahan



Gambar 2.2 – Diagram Batang Klasifikasi Logam. Bidang Registrasi dan Dokumentasi Tahun 2019

kebijakan dalam pengumpulan dengan melarang pemindahan dan pengiriman artefak kuno ke luar Jawa kecuali dengan seizin pemerintah pusat. Selain itu, penelitian terhadap benda-benda kuno mulai berkembang. Van Hœvel juga pernah melakukan pembelian 254 arca perunggu dari Residen Kedu, F.G. Valck. Hingga akhir masa tugasnya tahun 1848, Museum Batavia memiliki sekitar 400 koleksi, belum termasuk mata uang (Scheuleer, 2010).

2.3.1. Jenis-Jenis Koleksi Perunggu Museum Nasional

Sejak logam perunggu ditemukan dan pengetahuan pembuatan benda-

benda logam dikenal masyarakat, secara bertahap penggunaan benda-benda dari batu mulai berkurang. Penggunaan perunggu memiliki rentang waktu yang sangat panjang. Dari berbagai penelitian tentang logam, perunggu paling banyak digunakan sebagai benda upacara keagamaan, selain logam emas dan perak walaupun tidak sebanyak perunggu. Sementara itu, besi dan logam lainnya cenderung digunakan untuk alat kehidupan sehari-hari.

Koleksi perunggu yang dimiliki oleh Museum Nasional pada umumnya berasal dari periode prasejarah (masa paleometalik), periode klasik Indonesia (abad ke-5–ke-16), dan dari periode kesultanan–pendudukan asing (abad ke-16–ke-19).

Koleksi tersebut disimpan di luar dan di dalam lemari pajang di ruang pameran dan sebagian lainnya disimpan di ruang simpan.

Secara garis besar koleksi perunggu Museum Nasional dapat dikelompokkan, antara lain, sebagai berikut.

1. Alat Upacara dan Religi

Koleksi prasejarah dari masa paleometalik yang menyerupai genderang dalam berbagai bentuk dan ukuran ini menjadi koleksi Museum Nasional baik dalam bentuk utuh maupun fragmen. Van der Hoop mencatat lokasi penemuan nekara antara lain di Sumatra, Jawa (Banten, Bogor, Cirebon, Priangan,

Pekalongan, Banyumas, Semarang, Kedu), Bali, Sumbawa, Alor, Roti, Leti, Kepulauan Kei, Selayar (Hoop, 1941). Terdapat dua tipe nekara yang ditemukan di Indonesia, yakni tipe Heger dan tipe Pejeng. Moko merupakan nekara tipe Pejeng terdapat di Pulau Alor (Poesponegoro, ed., 2008). Temuan alat cetak moko di Manuaba, Bali menjadi salah bukti bahwa moko dibuat di Indonesia (Sofion, 1993). Berbeda halnya dengan nekara yang diduga dibuat di Dong Son (Vietnam).

Kapak Upacara dan Kapak Perunggu. Seperti kapak pada umumnya, kapak upacara terdiri atas bagian tajam dan bagian yang tumpul. Bentuknya yang berbeda dan ukurannya yang besar serta memiliki hiasan tertentu mendasari dugaan kuat bahwa kapak tersebut hanya digunakan untuk upacara. Kapak upacara dari Pulau Rote berhias motif topeng atau kepala

manusia dan bentuk lingkaran seperti matahari dengan tangkai melengkung panjang. Ada juga kapak upacara yang disebut candrasa, yaitu salah satu kapak upacara yang memiliki bentuk melengkung seperti bulan sabit dan memiliki hiasan, tetapi ada pula yang polos tanpa hiasan. Selain itu, ada kapak corong dan kapak ekor burung sriti yang digunakan sebagai bekal kubur. Catatan van de Hoop menyebutkan lokasi temuan kapak perunggu koleksi Museum Nasional dari Sumatra, Jawa (Banten, Jakarta, Bogor, Cirebon, Priangan, Pekalongan, Banyumas, Semarang, Kedu, Jepara-Rembang, Yogyakarta, Surakarta, Bojonegoro, Madiun, Surabaya, Kediri, Besuki), Bali, Roti/Rote, Sulawesi, Selayar, Irian Jaya yang sekarang bernama Papua (Hoop, 1941).

Bejana. Koleksi dari masa paleometalik ini bentuknya seperti keranjang ikan yang diikatkan di pinggang. Bejana memiliki ukuran yang besar dengan pegangan di sisi kanan dan kiri. Bejana memiliki hiasan geometris seperti tumpal, meander, dan pilin “huruf J atau S”. Bejana perunggu koleksi Museum Nasional berasal dari Kerinci (Jambi) dan Asamjaran (Madura).

Patung dan Arca.

Dari masa paleometalik dan masa berkembangnya kebudayaan Hindu-Buddha (abad ke-5– ke-15) terdapat beberapa bentuk patung dan



Gambar 2.3 – Berbagai koleksi perunggu di ruang pameran Gedung B Lantai 2, Museum Nasional

¹ Priangan adalah wilayah bergunung-gunung di Jawa Barat dengan kebudayaan Sunda. Wilayahnya mencakup Kabupaten Ciamis, Pangandaran, Tasikmalaya, Garut, Kota Banjar, Sumedang, Cimahi, Bandung, Cianjur, Sukabumi dan Bogor (<https://id.wikipedia.org/wiki/Parahyangan>).

arca yang menyerupai manusia dan hewan. Dari masa paleometalik, patung umumnya berukuran kecil, seperti patung dari Cibarusah (Bogor), patung dari Bangkinang (Riau), dan kerbau dari Priangan. Sementara itu, koleksi dari masa berkembangnya kerajaan Hindu-Buddha (abad ke-5–ke-15), arca umumnya merupakan penggambaran dewa-dewi agama Hindu, seperti Siwa, Wisnu, Brahma, Ganesa, Parwati, Durga Mahisasuramardhini, dan masih banyak lagi. Terdapat juga arca Buddha dan Boddhisatwa Buddha, di antaranya arca dan prasasti Lokanatha dari Gunungtua (Sumatra Utara) serta bentuk hewan. Wilayah persebaran temuan arca koleksi Museum Nasional hampir menyeluruh di Sumatra, Jawa, Kalimantan, dan Bali yang bersentuhan dengan aktivitas keagamaan Hindu dan Buddha.

Wadah Air Suci. Berbagai bentuk wadah air suci (air kehidupan) baik dalam bentuk wadah terbuka seperti mangkuk atau bejana dan dalam bentuk wadah tertutup. Di antaranya terdapat wadah air suci dengan bentuk-bentuk yang unik seperti prasen (zodiak beker), mangkuk tinggi yang memiliki ragam hias wayang, dan simbol-simbol rasi bintang. Ada pula yang berbentuk wadah tertutup seperti kendi, salah satunya dinamakan kamandalu. Di dalam pengarcanaan Hindu, kamandalu menjadi atribut yang dipegang dewa Brahma, dewa Siwa Mahadewa, dan Agastya. Wadah air suci koleksi Museum Nasional umumnya berasal dari Jawa.

Genta/Lonceng. Terdapat beberapa jenis genta dari masa klasik Indonesia, antara lain genta pendeta dan genta candi. Genta pendeta merupakan salah satu alat upacara yang sering dibawa atau dipegang oleh pendeta Hindu (pedanda). Bentuknya menyerupai gelas

berkaki terbalik dengan anak genta di bagian dalamnya dan puncak tangkai/gagang dihias dalam berbagai bentuk, antara lain wajra, hewan, dan manusia. Untuk menghasilkan bunyi suara, genta digoyangkan ke kiri dan ke kanan sehingga anak genta beradu dengan dinding badan genta. Ada pula genta candi. Bentuknya seperti genta pendeta, tetapi ukurannya besar dan berat serta tidak memiliki gagang/tangkai, melainkan rantai. Besar kemungkinan genta ini diletakkan dengan cara digantung. Bentuk unik genta lainnya adalah bulat menyerupai buah delima, mengerucut di bagian atas. Koleksi genta/lonceng Museum Nasional dari abad ke-5–ke-15 umumnya berasal dari Jawa dan Bali.

Talam. Bentuknya bundar, berukuran besar dengan dinding rendah, sebagai wadah untuk menempatkan alat-alat upacara seperti wadah air suci, gayung, serta sesaji. Permukaannya sering kali dihiasi ukiran figur manusia, tanaman (ceplik bunga, suluran, teratai), hewan (siput/sangkha, burung, kuda), jambangan bunga, geometris, atau gabungan hewan-tanaman, gabungan tanaman-jambangan, gabungan tanaman, hewan, dan jambangan (Retnaningtyas, 1988). Koleksi talam Museum Nasional dari abad ke-5–ke-15 umumnya berasal dari Jawa.

Cermin/Darpana. Bentuknya bundar, pipih seperti cakram, satu sisi permukaannya datar—merupakan bagian untuk memantulkan objek di hadapannya. Sementara itu, pada sisi lainnya terdapat bagian yang menonjol di tengahnya. Cermin pada upacara keagamaan adalah sebagai bayang-bayang arca dewa yang akan disucikan. Bayang-bayang arca dewa yang terdapat di cermin itu disiram

dengan air suci, seperti yang dilakukan di Bengal, India (Napitupulu, ed., 2005). Darpana dilengkapi dengan tangkai yang terkadang memiliki ragam hias. Koleksi darpana Museum Nasional dari abad ke-5–ke-15 umumnya berasal dari Jawa.

Lampu Minyak/Celupak. Lampu ini merupakan alat penerangan yang memiliki satu sumbu atau lebih, dengan beragam bentuk dan ukuran dengan menggunakan minyak atau lemak binatang atau pun tumbuh-tumbuhan sebagai sumber energi. Beragam bentuk lampu minyak/celupak dari masa Hindu-Buddha dimiliki oleh Museum Nasional. Ada yang digantung dan ada yang tidak digantung. Celupak gantung dapat dilihat seperti pada pertunjukan wayang kulit.

2. Senjata

Museum Nasional memiliki koleksi perunggu sebagai senjata dan alat pertahanan yang dihasilkan dari masa Paleometalik, diantaranya mata tombak, mata panah. Penggunaan perunggu sebagai mata tombak terus berlanjut di masa klasik Indonesia selain juga ada jenis lain seperti kujang dan keris. Dari masa yang lebih kemudian terdapat meriam dengan berbagai bentuk dan ukuran.

3. Perhiasan

Perunggu sebagai perhiasan sudah ada sejak masa paleometalik. Gelang, cincin, anting-anting, kalung, bandul kalung masa prasejarah memiliki bentuk yang sederhana dan hampir tanpa hiasan. Hiasan pada perhiasan masa prasejarah umumnya berbentuk geometris seperti tumpal, garis-garis, duri ikan, spiral. Terkadang perhiasan di masa prasejarah juga menjadi bekal kubur bersama pemiliknya ketika meninggal dan dikuburkan. Gelang, cincin, anting-anting, kalung, kepala sabuk tetap

menjadi perhiasan yang diminati di masa klasik Indonesia. Di masa ini material perhiasan dominan menggunakan emas sebagai materialnya.

4. Mata uang logam dan medali

Uang *gobog* dari masa kerajaan Majapahit merupakan salah satu jenis uang logam yang dibuat dari perunggu, selain juga dari tembaga dan kuningan. Selain uang *gobog* (perunggu) Museum Nasional juga memiliki uang kepeng China, uang logam perunggu keluaran pemerintah Belanda seperti uang *cent* (*benggol*) dan masih banyak lainnya hingga uang terbitan pemerintah Indonesia. Medali merupakan benda yang sangat umum menggunakan logam perunggu, selain perak dan emas. Koleksi medali perunggu yang dimiliki Museum Nasional umumnya berasal dari abad ke-19 hingga abad ke-20.

2.4. PENUTUP

Perunggu menjadi logam penanda kemajuan pengetahuan dan peradaban manusia dalam teknologi pengolahan logam. Sejak itu banyak benda dan peralatan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia dibuat menggunakan perunggu, selain juga besi. Kemampuan teknologi dan pengetahuan tersebut terus dikembangkan di masa kebudayaan Hindu-Buddha hingga ke masa kemudian. Benda dan alat perunggu sebagai bukti peradaban Indonesia di masa lalu sebagian telah menjadi koleksi Museum Nasional. Keberadaannya membuka peluang untuk dikaji dari segala aspek, mengembangkan ilmu pengetahuan, menunjukkan identitas dan memunculkan rasa kebanggaan menjadi bangsa Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Bintarti, D.D. (1983). "Hasil Penelitian Benda-benda Perunggu dan Besi di Indonesia". *Rapat Evaluasi Hasil Penelitian Arkeologi I*. Jakarta: Puslitarkenas.
- Heekeren, H.R. Van. (1958). *The Bronze-Iron Age of Indonesia*. Land en Volkenkunde, Van Het Koninklijk Instituut Voor Taal. S-Gravenhage: Martinus Nijhoff.
- Hoop, A.N.J.Th. a Th.van der. (1941). *Catalogus der Praehistorische Verzameling*. Batavia: Koninklijk Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen.
- Jatmiko. (1993). "Awal Budaya Logam di Indonesia". *Analisis Hasil Penelitian Arkeologi IV*. hal 65–72. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Kempers, Bernet A.J. (1988). *The Kettledrums of Southeast Asia*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Lunsingh Scheuleer, Pauline. (2010). "Koleksi Emas Arkeologi: Khasanah Jawa dari Bumi Jawa". *Kemegahan Emas di Museum Nasional Indonesia*. Jakarta: Duta Tiga Perkasa.
- Museum Nasional (2021), "Tentang Kami", <https://www.museumnasional.or.id/tentang-kami>
- Napitupulu, Intan Mardiana dan Trigangga (ed.). (2005). *Peranan Logam Dalam Kehidupan Masyarakat Indonesia*. Katalog Pameran. Jakarta: Museum Nasional.
- Poesponegoro, Marwati Djoened dan Nugroho Notosusanto (ed.). (2008). *Sejarah Nasional Indonesia I*, Edisi Pemutakhiran. Jakarta: Balai Pustaka. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Retnaningtyas, Sri Patmiarsih. (1988). Ragam Hias Pada Talam Koleksi Museum Nasional Jakarta. Skripsi Sarjana Arkeologi. FSUI.
- Setiawan, I Ketut dan I.A. Megasuari. (2012). "Konservasi Nekara Perunggu Koleksi Museum Bali". *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, Vol. 6 No.1, hal 76–86.
- Soejono, R.P. (1976). "Tinjauan Tentang Perkerangkaan Prasejarah Indonesia". *Aspek-aspek Arkeologi Indonesia No. 5*. Jakarta: Puslitarkenas.



Sofion, Hendari. (1993). "Hasil Metalurgi Prasejarah di Indonesia dan Persebarannya". *Analisis Hasil Penelitian Arkeologi IV*, hal 55–63. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Triwuryani, Rr. (1993). "Hubungan Antara Bahan, Bentuk, dan Fungsi Artefak Perunggu di Indonesia". *Analisis Hasil Penelitian Arkeologi IV*, hal 101–110. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Wikipedia Indonesia (2021), "Parahyangan", <https://id.wikipedia.org/wiki/Parahyangan>.



BAB 3

Prinsip Konservasi Koleksi Museum





Konservasi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) disebut sebagai *‘Pemeliharaan dan perlindungan sesuatu secara teratur untuk mencegah kerusakan dan kemusnahan dengan jalan mengawetkan; pengawetan; pelestarian’*.

(KBBI, 2016)

BAB 3

PRINSIP KONSERVASI KOLEKSI MUSEUM

Ita Yulita, S.Si., M.Hum.

3.1 TUJUAN

Tulisan pada bab ini bertujuan untuk mengetahui definisi, dasar hukum, prinsip konservasi koleksi secara umum dan penerapannya di dalam koleksi, khususnya koleksi berbahan dasar perunggu. Diharapkan buku ini dapat menjadi acuan kegiatan konservasi koleksi di museum, khususnya koleksi berbahan dasar perunggu.

3.2 PENGERTIAN DAN DASAR HUKUM

Konservasi merupakan salah satu kegiatan teknis yang dilakukan pekerja museum terhadap koleksi yang menjadi tanggungjawab museum. Konservasi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) disebut sebagai *‘Pemeliharaan dan perlindungan sesuatu secara teratur untuk mencegah kerusakan dan kemusnahan dengan jalan mengawetkan; pengawetan; pelestarian’* (KBBI, 2016).

Kegiatan konservasi di dalam museum mengacu kepada undang-undang yang berlaku di Indonesia, yaitu UU No. 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya. Di dalam UU tersebut disebutkan pengertian pemeliharaan dan pelestarian. Pemeliharaan adalah upaya menjaga dan merawat agar kondisi fisik cagar budaya tetap lestari. Sedangkan Pelestarian adalah upaya dinamis untuk mempertahankan keberadaan cagar budaya dan nilainya dengan cara melindungi, mengembangkan, dan memanfaatkannya. Sangat jelas bahwa tujuan dilakukan pemeliharaan cagar budaya adalah dalam rangka pelestarian. Cagar budaya, yang salah satunya berupa benda yang dapat disimpan dan/atau dirawat di museum, dan merupakan tanggung jawab pengelola museum.

UU No. 11 tahun 2010 kemudian diperjelas dalam Peraturan Pemerintah

Perkembangan Profesi Konservator

- Pengumpul awal – manusia pra sejarah
- Mengembangkan ketrampilan seni dan kerajinan
- Membersihkan dan memperbaiki
- Pengembangan pemahaman ilmiah dan dasar etika untuk pelestarian dan kebutuhan untuk dokumentasi
- Disiplin konservasi modern

Gambar 3.1 – Perkembangan Profesi Konservator (Thiagarajah, 2021).

No. 66 tahun 2015 tentang Museum. Dalam PP ini disebutkan dalam pasal 29 bahwa pengelola museum wajib melakukan pemeliharaan koleksi yang dilakukan secara terintegrasi. Dan dalam pasal 30 disebutkan pemeliharaan koleksi dilakukan oleh konservator. Berdasarkan PP No. 66 tahun 2015 ini, kegiatan pemeliharaan koleksi merupakan kata lain dari konservasi.

Selain itu terdapat Undang-undang No 5 tahun 2017 tentang Pemajuan Kebudayaan yang secara tidak langsung menjadi acuan kegiatan konservasi. Karena bentuk fisik dari objek pemajuan kebudayaan yang disebutkan dalam UU Pemajuan Kebudayaan pasal 5 tersebut telah menjadi koleksi Museum Nasional yang terus dipelihara dan dilindungi di Museum Nasional.

3.3 SEJARAH DAN ETIKA KONSERVASI

Sejarah konservasi dimulai sejak adanya pembuatan objek/benda oleh manusia masa lalu yang menggunakannya sebagai benda untuk membantu dalam kehidupan, seperti wadah-wadah tanah liat. Perbaikan/restorasi dimulai saat benda yang digunakan itu bocor atau

rusak. Dapat dikatakan, awal mula konservasi pada benda/koleksi dimulai oleh pembuat benda itu sendiri untuk memperbaiki agar dapat terus digunakan. Proses perbaikan tidak menggunakan proses ilmiah, tetapi berdasarkan asumsi pembuat/perajin itu sendiri. Baru pada tahun 1888, Frederick Rathgen, seorang ahli kimia bekerja di Royal Museums of Berlin menggunakan pendekatan ilmiah untuk menyelesaikan permasalahan yang muncul pada artefak. Dan buku pertama yang terbit tahun 1898 mengenai preservasi benda antik, *The Preservation of Antiquities* menjadi tanda dimulainya konservasi sebagai suatu profesi dengan pendekatan ilmiah (Gilberg, 1987).

Perkembangan dan kemajuan teknologi yang dinamis, termasuk dalam konservasi mengharuskan para konservator dalam bekerja tetap memperhatikan etika dan prinsip konservasi, serta nilai dari koleksi. Selain itu, menyadari pula pentingnya menjaga integritas koleksi, dan cara terbaik untuk melakukannya adalah dengan penerapan sains (Clavir, 1998).

Banyak negara sudah membuat kode etik dan/atau *guidelines*/petunjuk



Gambar 3.2 – Ilustrasi Kegiatan Konservasi di Sebuah Museum.

selama melakukan kegiatan konservasi, antara lain:

- ♦ *AIC Code of Ethics and Guidelines for Practice* (2015), Amerika Serikat
- ♦ *ICON UK Code of Conduct* (2014), Inggris
- ♦ *CAC-ACCR, Code of Ethics and Guidance for Practice* (2009), Canada
- ♦ *E.C.C.O Professional Guidelines (II) Code of Ethics* (2003), Konfederasi Eropa
- ♦ *AICCM Code of Ethics and Code of Practice* (2002), Australia

Kode etik tersebut dapat menjadi acuan para konservator dalam melaksanakan tugasnya, termasuk di Indonesia. Tentunya disesuaikan dengan situasi dan kondisi masing-masing institusi. Kode etik ini digunakan tidak hanya untuk koleksi yang dipamerkan

di museum, baik ruang pameran terbuka dan ruang pameran tertutup, namun juga untuk koleksi yang berada di ruang penyimpanan, atau koleksi yang dalam status peminjaman/*loan* dan transportasi.

3.4 KEGIATAN KONSERVASI

Dalam pelaksanaan konservasi, ada 3 faktor penting yang harus diperhatikan, yaitu signifikansi (makna/nilai), keaslian dan keutuhan dari koleksi. Kegiatan konservasi tidak akan dilakukan sebelum mengetahui ketiga hal tersebut dari koleksi. Dengan kata lain, konservator sudah mengetahui alasan mengapa harus dilakukan pengangkatan korosi atau penghilangan noda dari permukaan koleksi. Hal ini sesuai dengan definisi mengenai konservasi yang dikeluarkan oleh Dewan Museum Internasional

Komite Konservasi atau *International Council of Museums, Committee for Conservation* (ICOM CC) pada tahun 2008, yaitu konservasi koleksi sebagai semua kegiatan dan tindakan yang bertujuan untuk melindungi warisan budaya (berwujud) agar dapat dinikmati oleh generasi sekarang dan generasi yang akan datang. Semua tindakan konservasi yang dilakukan harus menghormati signifikansi dan sifat fisik dari benda warisan budaya (ICOMCC, 2021).

Terdapat 3 jenis konservasi yang dikenal, yaitu konservasi preventif, konservasi interventif dan restorasi (Kroschwitz, 2012). Perbedaan dari tiga kegiatan ini adalah sebagai berikut:

Konservasi Preventif adalah segala pengukuran dan tindakan yang bertujuan untuk menghindari dan meminimalkan kerusakan atau kehilangan di masa yang akan datang. Kegiatan dilakukan dalam konteks lingkungan koleksi atau sekumpulan koleksi yang tidak membedakan usia dan kondisi koleksi. Sering dikenal juga sebagai preservasi.

Langkah-langkah dan tindakan konservasi preventif ini sebagian besar tidak langsung mengenai koleksi dan tidak mengubah struktur fisik koleksi. Contoh konservasi preventif pada saat pemeliharaan dan perawatan koleksi kain adalah pengukuran intensitas cahaya, temperatur dan kelembapan relatif ruangan dan vitrin yang disesuaikan dengan materi koleksi kain. Di samping itu tindakan perlindungan yang tepat dari serangan hama, penempatan koleksi di lemari pajang dan lemari simpan juga merupakan contoh kegiatan preventif pada koleksi kain.

Konservasi Interventif adalah semua tindakan yang langsung diterapkan pada

koleksi atau sekelompok koleksi yang bertujuan untuk menghentikan proses yang merusak koleksi, atau pun untuk memperkuat strukturnya. Tindakan ini hanya dilakukan ketika koleksi berada dalam kondisi kotor, rapuh, atau pada kerusakan yang parah, dan apabila tidak dilakukan akan makin memburuk dalam waktu singkat atau bahkan dapat menyebabkan hilangnya nilai koleksi. Tindakan konservasi interventif ini terkadang dapat mengubah penampilan koleksi. Untuk itu diperlukan ilmu, teknik dan ketrampilan khusus dalam melakukannya.

Contoh konservasi interventif dalam pemeliharaan dan perawatan koleksi kain adalah pembersihan dengan menggunakan *vacuum cleaner* dengan filter HEPA, pelurusan kain yang terlipat, dan pelembapan koleksi yang terlalu kering.

Restorasi adalah semua tindakan yang langsung diterapkan pada satu koleksi yang bertujuan untuk meningkatkan apresiasi, pemahaman, dan pemanfaatannya melalui perbaikan. Tindakan ini hanya dilakukan ketika koleksi telah kehilangan sebagian dari signifikansi atau fungsinya. Dalam pemeliharaan dan perawatan koleksi kain, contoh tindakan restorasi adalah menyatukan kembali bagian yang robek, terlepas atau longgar. Atau menggantikan bagian yang hilang dengan bahan serupa dengan memperhatikan syarat dan ketentuan yang berlaku. Tindakan restorasi ini sering mengubah penampilan koleksi. Dengan demikian, perlu teknik dan keahlian khusus dalam melakukannya.

Namun pada kenyataannya kegiatan konservasi ini sangat kompleks karena seringkali satu tindakan pemeliharaan dan perawatan koleksi dapat bersifat

preventif, interventif, dan/atau restorasi pada koleksi yang sama. Kegiatan ini dapat terlihat saat menjalankan proses konservasi, mulai dari awal hingga akhir pelaksanaan dan mendapatkan hasil sesuai dengan kebutuhan.

Dewan Museum Internasional Komite Konservasi (ICOM-CC) dalam terminologinya menyebutkan pembagian konservasi adalah konservasi preventif, konservasi remedial dan restorasi. Dengan kata lain menggunakan istilah remedial dibandingkan interventif. Dalam penulisan buku ini akan memakai konservasi interventif sebagai konservasi yang langsung mengenai koleksi.

3.5 AGEN PENYEBAB KERUSAKAN DAN SISTEM PELINDUNG KOLEKSI

Saat berada di dalam museum, tentunya yang diinginkan adalah koleksi terlindungi dari faktor-faktor yang merugikan, sehingga kualitas dan mutu koleksi tetap terjaga dan terpelihara. Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan mutu koleksi atau deteriorasi secara tidak langsung merupakan agen-agen penyebab kerusakan koleksi. Menurut *Canada Conservation Institute* dan ICCROM, terdapat 10 agen penurunan mutu/deteriorasi koleksi yaitu (1) gaya fisik, (2) pencurian/vandalisme, (3) api, (4) air, (5) hama, (6) polutan, (7) cahaya ultra violet dan infra merah, (8) temperatur yang tidak sesuai, (9) kelembapan relatif yang tidak sesuai dan (10) disosiasi/kelalaian pekerja (Penyusun, Konservasi Koleksi Tekstil, 2020).

Dalam penulisan buku ini kesepuluh agen deteriorasi ini akan disebut sebagai 10 agen penyebab kerusakan koleksi. Dalam menjalankan fungsi sebagai pelindung koleksi, gedung, ruangan, lemari pajang,

lemari simpan, bahkan tatakan koleksi pun memiliki peranan penting sebagai pelindung koleksi. Terlebih saat menghadapi agen penyebab kerusakan yang datang tanpa diundang. Interaksi antara agen penyebab kerusakan dan sistem pelindung koleksi merupakan inti dari pelindungan koleksi secara menyeluruh.

3.5.1 Agen Penyebab Kerusakan Koleksi

Agen penyebab kerusakan koleksi yang sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan koleksi antara lain:



1. Gaya Fisik: merupakan gaya yang secara fisik mengenai koleksi. Gaya fisik ini ada yang bersifat besar dari alam seperti

gempa. Namun ada juga yang bersifat perlahan dan dapat dihindari seperti kesalahan prosedur dalam memegang koleksi, koleksi jatuh atau bahkan gesekan dengan wadah atau pembungkusnya.



2. Pencurian/Vandalisme: agen perusak koleksi yang merupakan kondisi yang dapat diperbaiki dan dihindari. Seperti

pencurian, memberi coretan dengan sengaja, atau menempelkan permen karet pada koleksi.



3. Api: agen api dapat menyebabkan kebakaran, seperti dari korslet listrik, dan dalam skala kecil seringkali tidak disadari, yaitu dari puntung rokok. Agen ini dapat dihindari dengan melakukan pengelolaan sistem kebakaran



4. Air: agen air yang menyebabkan kerusakan koleksi dapat berasal dari alam, seperti banjir. Kondisi ini tidak dapat

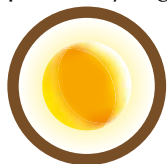
dihindari, namun dapat diminimalisasi dengan pengelolaan sistem pengairan yang baik. Selain itu air dapat berasal dari kebocoran AC, atau tetesan hujan yang tentunya dapat dihindari dengan pemeliharaan yang baik. Kondisi yang tidak disadari adalah air yang berasal dari percikan saat membersihkan ruangan, yang mungkin mengenai koleksi terutama koleksi yang ditempatkan di luar vitrin.



5. Hama: yang dimaksud agen hama sebagai perusak koleksi adalah binatang kecil seperti serangga yang bersarang di dalam koleksi. Selain itu kotoran binatang seperti burung, tikus tentunya merupakan problem tersendiri yang dapat menghambat keberlangsungan hidup koleksi. Pengelolaan hama terpadu (*integrated pest management*) di sekitar koleksi dapat menjadi solusi.



6. Polutan: agen polutan yang berpotensi merusak koleksi adalah polutan yang berasal dari udara luar akibat polusi asap kendaraan bermotor, asap pabrik dan juga polutan yang berasal dari material vitrin, seperti dari kayu, alas kain, mau pun cat yang digunakan.



7. Cahaya Ultra Violet dan Infra Merah: Cahaya dapat merusak koleksi, terutama untuk koleksi yang memiliki zat warna pada permukaannya. Warna dapat memudar, dan jika ini terjadi, maka kondisi koleksi tidak dapat dikembalikan ke keadaan semula. Di samping itu, untuk beberapa jenis materi koleksi organik, adanya cahaya dapat mengakibatkan rapuhnya koleksi karena terpapar cahaya.



8. Temperatur yang Tidak Sesuai: yang dimaksud dengan temperatur yang tidak sesuai adalah jika terjadi fluktuasi temperatur pada koleksi. Fluktuasi temperatur antara siang malam yang sangat ekstrim dapat menyebabkan berkerut dan memuainya koleksi. Jika ini terjadi, maka koleksi akan rapuh sehingga kondisi koleksi akan menurun.



9. Kelembapan Relatif (RH) yang Tidak Sesuai: kelembapan relatif dalam lingkungan koleksi terhadap kelembapan absolut dapat memicu timbulnya mikroorganisme yang menyukai kelembapan tinggi. Pada kondisi kelembapan tinggi jamur akan muncul menimbulkan noda pada kain. Untuk koleksi berbahan dasar logam, adanya kelembapan yang tidak sesuai menimbulkan kehadiran karat atau korosi. Pada buku ini, agen kelembapan relatif yang tidak sesuai ini akan dibahas lebih detil.



10. Disosiasi/Kelalaian Pekerja: adalah agen perusak yang merupakan kelalaian manusia/pekerja, terutama dalam penempatan dan pendokumentasian koleksi. Saat bekerja, melepas label dari koleksi, lalu lupa untuk meletakkan kembali, dapat menjadi pemicu kerusakan koleksi secara tidak langsung. Begitu pula jika saat ada bagian koleksi yang terlepas, dan lupa meletakkan/menggabungkan dengan bagian koleksi lainnya. Dengan demikian, informasi koleksi akan hilang sehingga merugikan koleksi itu sendiri.

Untuk lebih jelasnya, kesepuluh agen perusak koleksi dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



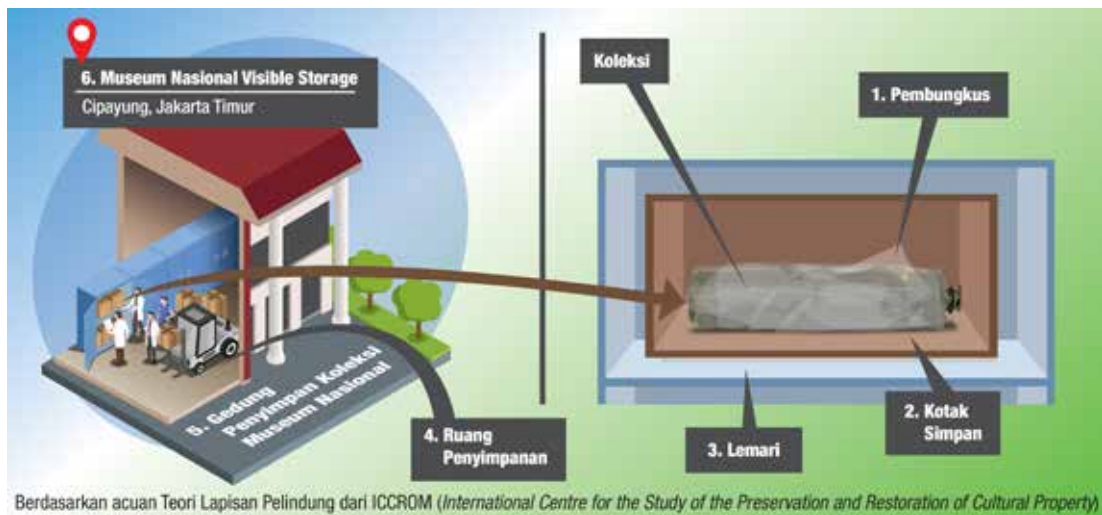
Gambar 3.3 – Ilustrasi Agen Penyebab Kerusakan Koleksi. (Museum Nasional, 2020).

3.5.2 Sistem Perlindungan Koleksi

Kehadiran agen perusak yang datang menghampiri koleksi tentunya tidak dapat dihindari, khususnya jika berasal dari alam. Untuk itu, fungsi museum sebagai tempat berlindungnya koleksi dapat dimaksimalkan. Dengan menganggap adanya lapisan-lapisan pelindung koleksi yang bekerja tanpa henti dalam melindungi koleksi. Terdapat 6 lapisan pelindung koleksi, di mana penerapannya tergantung lokasi koleksi berada. (ICCROM, 2016). Menurut ICCROM, saat koleksi berada di ruang

pamer, maka lapisan-lapisan pelindung akan bekerja, yaitu:

1. *Support*/tatakan koleksi sebagai lapisan pertama.
2. Vitrin atau lemari di mana koleksi itu berada sebagai lapisan kedua.
3. Ruang di mana vitrin itu diletakkan sebagai lapisan ketiga.
4. Gedung museum sebagai lapisan keempat.
5. Lokasi di mana museum berada sebagai lapisan kelima.
6. Wilayah di mana museum itu berada sebagai lapisan keenam.



Gambar 3.4 – Ilustrasi Lapisan Pelindung Koleksi (ICCROM, 2016).

Teori 6 lapis pelindung koleksi ini fleksibel, tergantung letak koleksi. Sebagai contoh, jika koleksi berada di luar gedung, tentunya tidak ada lapisan pelindung lain kecuali penyangga koleksi dan langsung lingkungan luar, sehingga dari 6 lapisan ideal, hanya ada 2 lapisan pelindung yang tidak dapat dikontrol karena langsung berkaitan dengan alam.

Sebagai contoh koleksi dengan ilustrasi lapisan pelindung koleksi adalah sebagai berikut:

Sejumlah koleksi arca dewa hindu berbahan perunggu berukuran kecil diletakkan di atas *support*/penyangga (lapisan pertama) dalam satu vitrin kaca (lapisan kedua). Vitrin kaca ini berada dalam ruangan perunggu (lapisan ketiga) yang berada di Gedung A Museum Nasional (lapisan keempat). Gedung A ini terletak di Jalan Merdeka Barat no. 12 Gambir (lapisan kelima) yang masuk ke dalam wilayah Jakarta Pusat, DKI Jakarta yang terletak di Pulau Jawa (lapisan keenam).

3.5.3 Interaksi antara Agen Penyebab Kerusakan dan Lapisan Pelindung Koleksi

Agen penyebab kerusakan, dihalangi atau tidak akan tetap masuk mendekati koleksi meski sudah terdapat lapisan pelindung. Efektivitas lapisan pelindung menjaga serangan agen-agen penyebab kerusakan yang datang, tentunya sangat dipengaruhi oleh materi koleksi dan jenis agen kerusakan yang datang. Sebagai contoh, koleksi yang terbuat dari bahan organik akan lebih rentan terhadap agen air dibanding koleksi yang berbahan dasar anorganik seperti logam, batu. Namun saat berbicara agen kerusakan polutan, maka efeknya akan sama antara koleksi organik dan anorganik. Interaksi antara material koleksi dengan agen kerusakan pada koleksi yang dipamerkan di dalam ruangan, luar ruangan dan dalam ruangan penyimpanan akan dibahas lebih lanjut pada bab berikutnya.

Hubungan antara agen penyebab kerusakan dengan 6 lapisan pelindung dapat digambarkan dalam gambar berikut:



Gambar 3.5 – Interaksi antara Agen Penyebab Kerusakan dengan Lapisan Pelindung Koleksi.

3.6 SIKLUS KONSERVASI KOLEKSI

Pada saat agen kerusakan mengenai koleksi dan menyebabkan kerusakan, tentunya segera dilakukan aksi untuk menghilangkan kerusakan, dan juga untuk menghindari kerusakan itu datang kembali. Aksi yang dilakukan dengan tujuan mengatasi hal ini mengikuti siklus konservasi. Siklus konservasi adalah proses konservasi koleksi yang berulang mengikuti alur. Siklus ini unik karena penerapannya tergantung dari kebutuhan dan dapat kembali ke proses sebelumnya jika hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan harapan.

Siklus konservasi terdiri atas:

Cegah (avoid): mencegah agar agen penyebab kerusakan yang berasal dari luar tidak datang. Sebagai contoh meletakkan perangkat serangga agar serangga tidak masuk

Halang (block): Apabila agen penyebab kerusakan tidak dapat dicegah maka langkah berikutnya adalah menghalangi agar tidak mendekati koleksi. Contohnya adalah memberikan

vitrase atau penghalang cahaya pada kaca jendela, sehingga sinar matahari tidak dapat masuk ke dalam ruangan.

Deteksi (detect): Jika agen penyebab kerusakan tetap tidak dapat dihalangi dan mengenai koleksi, maka langkah berikutnya adalah mendeteksi keberadaan agen tersebut. Pendeteksian dapat dilakukan dengan mata atau alat bantu. Deteksi yang benar akan menghasilkan data yang benar untuk langkah selanjutnya. Contoh terdeteksinya agen kerusakan pada koleksi adalah ditemukannya noda-noda yang tidak semestinya, atau ditemukannya bagian yang patah atau lepas dari koleksi.

Respon (respond): merupakan kegiatan tanggap cepat jika sudah ditemukan agen penyebab kerusakan muncul di koleksi. Kegiatan yang termasuk ini adalah pembersihan debu, pengangkatan



Gambar 3.6 – Siklus Konservasi Koleksi Museum (Yulita, 2020).

korosi pada logam dan pengangkatan jamur pada koleksi organik.

Perbaikan (*recovery*): Kegiatan perbaikan merupakan kegiatan yang mengembalikan koleksi ke bentuk fisik semula. Kegiatan ini dilakukan jika diperlukan. Antara lain jika ada bagian terlepas atau pecah, maka dilakukan penyatuan kembali dengan teknik yang disesuaikan dengan materi koleksi dan kondisi koleksinya.

Siklus konservasi ini dapat dimulai dari mana saja tergantung kebutuhan. Umumnya dimulai dari pencegahan hingga perbaikan, lalu kembali ke pencegahan kembali.



Gambar 3.7 – Hubungan antara Siklus Konservasi, Agen Penyebab Kerusakan dan Lapisan Pelindung Koleksi Museum (Yulita, 2020).

Apabila siklus konservasi diterapkan terhadap agen penyebab kerusakan yang datang secara rutin dan kontinyu diharapkan koleksi selama di museum akan terjaga. Hal inilah yang dikatakan sebagai manajemen/pengelolaan konservasi.

3.7 MANAJEMEN KONSERVASI

Dalam mengelola konservasi koleksi di museum, sangat penting untuk memahami 10 agen penyebab kerusakan, 6 lapis pelindung koleksi dan siklus konservasi. Diharapkan dalam mengelola konservasi koleksi, kita menjaga agar agen penyebab kerusakan yang datang menghampiri dapat di cegah dengan berjalannya kegiatan siklus konservasi dan berfungsinya lapisan pelindung koleksi. Untuk lebih memahami hubungan antara agen penyebab kerusakan, lapisan pelindung koleksi dan penerapan siklus konservasi dapat dilihat pada gambar berikut:



Studi Kasus Konservasi Perunggu

Ibu Lula adalah seorang konservator di Museum Pesisir, yang terletak di sebuah Pulau Cantik. Koleksi museum ini sebagian besar berasal dari kapal karam di masa lalu, yang terdampar di sekitar area kepulauan ini. Museum

berada di daerah tropis, dengan Gedung terbuat dari beton kokoh, dan berada sekitar 1 km dari pantai. Kecepatan angin cukup tinggi, dengan matahari bersinar sepanjang tahun.

Salah satu temuan yang sudah berada di museum adalah mata uang perunggu yang digunakan di masa lalu. Ibu Lula telah mengetahui bahwa koleksi mata uang perunggu ini berasal dari dalam laut, yang diangkat untuk penyelamatan. Dan pada saat ini dipamerkan di galeri utama museum. Berdasarkan catatan konservasi lama, telah dilakukan penghilangan kadar garam dan korosi masa lalu.

Dalam pemeliharaan masa sekarang, ibu Lula melakukan kegiatan-kegiatan, mengikuti siklus konservasi sebagai berikut:

Cegah (Avoid): mencegah agar agen penyebab kerusakan yang berasal dari luar tidak datang. Pada mata uang perunggu, agen penyebab kerusakan yang mungkin terjadi adalah jika terjadi gempa, arus pasang, dan kelembaban yang tidak sesuai. Untuk itu, ibu Lula telah memberikan rekomendasi kepada kurator dan penata pameran, mengenai bentuk vitrin dan penempatan koleksi selama dipamerkan. Sehingga jika terjadi gempa dan air pasang, kerusakan dapat diminimalisasi. Kelembapan tetap dimonitor dengan memasang *dehumidifier* dan *datalogger* di sekitar koleksi.

Halang (Block): Apabila agen penyebab kerusakan tidak dapat dicegah maka langkah berikutnya adalah menghalangi agar tidak mendekati koleksi. Untuk koleksi perunggu, yang mungkin dapat mendekati koleksi adalah kelembapan

yang tidak sesuai pada saat siang dan malam. Untuk itu, menjaga agar tidak terjadi fluktuasi kelembaban relatif yang terlalu ekstrim, maka dilakukan pepengendalian iklim mikro. Iklim mikro disekitar koleksi dapat dijaga dengan memberikan desikan yang sudah dikondisikan.

Deteksi (Detect): Jika agen penyebab kerusakan tetap tidak dapat dihalangi dan mengenai koleksi, maka langkah berikutnya adalah mendeteksi keberadaan agen tersebut. Pendeteksian dapat dilakukan dengan mata atau alat bantu. Deteksi yang benar akan menghasilkan data yang benar untuk langkah selanjutnya. Contoh terdeteksinya agen kerusakan pada koleksi mata uang perunggu adalah ditemukannya noda korosi yang tidak semestinya, yang berbeda warna dengan warna yang lain.

Respon (Respond): merupakan kegiatan tanggap cepat jika sudah ditemukan agen penyebab kerusakan muncul di koleksi. Untuk kasus mata uang ini, ibu Lula segera memindahkan koleksi mata uang dari vitrin, dengan tujuan memisahkan dengan yang tidak terkena. Lalu, langkah selanjutnya adalah menghilangkan korosi yang ada dipermukaan koleksi, tanpa merusak korosi lama (jika ada) dan juga tidak mengenai logam perunggu.

Perbaikan (Recovery): Kegiatan perbaikan merupakan kegiatan yang mengembalikan koleksi ke bentuk fisik semula. Kegiatan ini dilakukan jika diperlukan. Antara lain jika ada bagian terlepas atau pecah, maka dilakukan penyatuan kembali dengan teknik yang disesuaikan dengan materi koleksi dan kondisi koleksinya.

Untuk kasus mata uang perunggu ini, ibu Lula tidak melakukan apa-apa untuk perbaikan, karena secara fisik tidak ada koleksi yang patah atau terlepas.

Setelah semua proses selesai, maka koleksi dikembalikan kembali ke dalam vitrin. Pastikan tidak ada bahan kimia atau non kimia yang tertinggal pada koleksi sebelum dimasukkan kembali ke vitrin.

3.8 MANAJEMEN DOKUMENTASI KONSERVASI

Kegiatan konservasi yang dilakukan pada setiap siklus ini sebaiknya tercatat dan didokumentasikan dengan baik. Pencatatan yang terorganisir dapat dilakukan dan melalui suatu asesmen konservasi koleksi (Merritt, J dan Julie, A. R., 2010).

Dalam asesmen konservasi ini setidaknya memuat data mengenai:

- Informasi umum koleksi: data koleksi; seperti nomor registrasi, nomor inventaris, bahan, ukuran, berat, dan tipe/jenis/kelompok koleksi.
- Tim konservator yang terlibat.
- Lokasi dan letak koleksi.
- Pengendalian iklim dan lingkungan.
- Kebijakan konservasi: tujuan, output yang diinginkan, alat dan bahan yang digunakan, proses yang dilakukan.
- Rekomendasi penyimpanan terbaik.
- Rekomendasi tata pameran terbaik.
- Rekomendasi penanganan darurat (*emergency preparedness*) termasuk jika koleksi menjadi objek peminjaman koleksi.
- Pengamanan dan keamanan koleksi.

Semua catatan dan dokumentasi yang dibuat dalam setiap proses menjadi *database* konservasi. *Database* ini dibuat

dalam bentuk mulai dari paling sederhana hingga mutakhir. Yang terpenting dalam *database* ini agar berfungsi dengan baik dengan kriteria:

- Mudah digunakan.
- Mudah untuk dicari kembali.
- Konten *database* dan laporan terlihat jelas di layar pengguna.
- Meminimalisasi kesalahan penulisan.

Manajemen dokumentasi konservasi koleksi ini harus jelas, karena bukan data yang statis, melainkan harus terus diperbarui mengikuti perkembangan jaman. Namun, catatan penggunaan atau pemakaian alat sebelumnya menjadi sejarah dari konservasi itu sendiri.

3.9 PENUTUP

Dalam melakukan kegiatan konservasi perlu diketahui dasar hukum, prinsip konservasi koleksi dan penerapannya di dalam koleksi, sehingga kegiatan yang dilakukan merupakan kegiatan yang dapat dipertanggungjawabkan.

Dalam melakukan kegiatan konservasi, pemahaman mengenai agen penyebab kerusakan, lapisan pelindung koleksi dan siklus kegiatan konservasi sangat perlu untuk dipelajari, sehingga koleksi akan terlindungi secara optimal.

Pendokumentasian dan pencatatan kegiatan konservasi pun harus terus diperhatikan, karena ilmu konservasi akan selalu berkembang mengikuti perkembangan jaman. Dengan adanya pencatatan, kegiatan konservasi memiliki rekam jejak yang akan menjadi catatan sejarah untuk koleksi dan perkembangan konservasi itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Clavir, M. (1998). "The Social and Historic Construction of Professional Values in Conservation". *Studies in Conservation*, 1-8.
- Gilberg, M. (1987). Friederich Rathgen: The Father of Modern Archaeological Conservation. *Journal of the American Institute for Conservation* vol 26, number 2, article 4, 105-120. Diakses dari *Journal of the American Institute for Conservation*: <https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic26-02-004.html>.
- ICCROM. (2016). *A Guide to Risk Management of Cultural Heritage*, hal. 49. Italy: Canadian Conservation Institute.
- ICOMCC. (2021). Terminology for Conservation. Retrieved from ICOM CC (dikunjungi 4 Agustus 2021): <http://www.icom-cc.org/242/#.YSb4JC1h3OQ>.
- KBBI. (2016). Diakses dari Kamus Besar Bahasa Indonesia: <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/konservasi>.
- Kroschwitz, K. (2012, Oktober 26). Computer History Museum. Retrieved from <https://computerhistory.org/blog/preservation-conservation-restoration-whats-the-difference/>.
- Merritt, J dan Julie, A. R. (2010). *Preventive Conservation for Historic House Museum*. AltaMira Press: United Kingdom.
- Museum Nasional. (2020). *Konservasi Koleksi Tekstil*. Jakarta: Museum Nasional.
- National Park Service. (2012). *NPS Museum Handbook Part I Museum Collection Storage*. Diakses dari *Museum Handbook*: <https://www.nps.gov/museum/publications/mhi/chap7.pdf>.
- Thiagarajah, L. (2021). *The Principles of Conservation* (powerpoint slides). Jakarta.
- Yulita, I. (2020). *Konservasi Koleksi di Ruang Pamer*, Paparan dalam Rangka International Museum Day 2020. Jakarta.

BAB 4

Konservasi Ruang Pamer Terbuka





Salah satu paduan logam ideal yang biasa digunakan sebagai bahan pembuat koleksi untuk di luar ruangan adalah perunggu. Perunggu sangat ideal untuk penggunaan di luar ruangan karena daya tahannya terhadap korosi dan hasil akhir yang bagus dan estetik. Korosi yang menyebabkan patina alami lambat terbentuk dan biasanya stabil, namun kurangnya lapisan pelindung dapat menyebabkan korosi aktif.

(Debra Daly Hartin, 2021)

BAB 4

KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERBUKA

Maulidha Sinta Dewi, S.Si., M.Hum.
Lukman Ajiz, S.Si.
Ary Setyaningrum, S.Hum.
Suroyo, S.Pd.

4.1 TUJUAN

Bab ini bertujuan untuk menjelaskan kegiatan konservasi koleksi pada ruang terbuka, yaitu analisis kondisi dan material koleksi, agen kerusakan pada lingkungan ruang terbuka, dan tahapan konservasi yang dilakukan.

Dalam rangka mencegah penurunan mutu (deteriorasi) koleksi yang diakibatkan oleh agen penyebab kerusakan, perlu dilakukan kegiatan konservasi secara komprehensif. Kegiatan itu tidak hanya mengatasi kerusakan, tetapi juga menganalisis agen kerusakan tersebut dan membuat rekomendasi untuk mencegah kerusakan. Penyebab kerusakan koleksi pada ruang pameran terbuka bergantung pada kondisi lingkungan, komposisi material koleksi, dan kondisi koleksi sebelum ditempatkan.

Salah satu paduan logam ideal yang biasa digunakan sebagai bahan

pembuat koleksi untuk di luar ruangan adalah perunggu. Perunggu sangat ideal untuk penggunaan di luar ruangan karena daya tahannya terhadap korosi dan hasil akhir yang bagus dan estetik. Korosi yang menyebabkan patina alami lambat terbentuk dan biasanya stabil, tetapi kurangnya lapisan pelindung dapat menyebabkan korosi aktif (Debra Daly Hartin, 2021).

4.2 PEMILIHAN KOLEKSI

Koleksi yang diletakkan di luar Museum Nasional salah satunya adalah patung gajah perunggu. Patung tersebut merupakan hadiah dari Raja Thailand, Chulalongkorn (Rama V) yang datang pada tahun 1871, dan diletakkan di depan Museum Nasional sehingga masyarakat mengenalnya dengan Museum Gajah.

Bagian alas patung berupa pilar yang berhias ornamen Candi Borobudur



Gambar 4.1 – Patung Gajah Circa 1880
(dok. Univ. Leiden digilib).

Sumber: Nunus Supardi, webinar 150 tahun Gajah Perunggu di depan Museum Nasional.

yang diukir indah. Bagian pilar berhiaskan ornamen padma dengan hiasan makara dan kepala kala. Selain itu, ragam hias sulur-suluran terdapat pada bagian atas dan dasar pilar. Di keempat sisi pilar terdapat inskripsi yang diukir pada batu marmer dengan empat bahasa/aksara, yaitu Latin-Belanda, Siam, Arab-Melayu, dan pada bagian belakang terdapat inskripsi berbahasa Indonesia dengan bahan marmer baru yang kemungkinan dipasang di kemudian hari (Supardi, Nunus, 2021). Pada awalnya di gambar tersebut belum terdapat kolam di bawahnya. Namun, saat ini sudah mengalami perubahan, bagian bawah alas patung dijadikan kolam untuk menambah kesan keindahan, seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.2 – Tampilan Koleksi Patung Gajah di Halaman Depan Museum Nasional.

4.2.1 Analisis Kondisi Koleksi

Analisis kondisi koleksi merupakan kegiatan awal konservasi yang berkaitan erat dengan observasi dan sangat penting dilakukan pada suatu koleksi. Kegiatan analisis kondisi koleksi ini bertujuan untuk memperoleh data secara lengkap tentang sebuah koleksi, di antaranya:

- a. ukuran/dimensi/berat,
- b. warna,
- c. kerusakan yang terjadi secara detail,
- d. dokumentasi makro ataupun mikro, dan
- e. komposisi bahan.

Hasil analisis kondisi koleksi disimpan dalam basis data atau menggunakan fasilitas borang (Google docs).

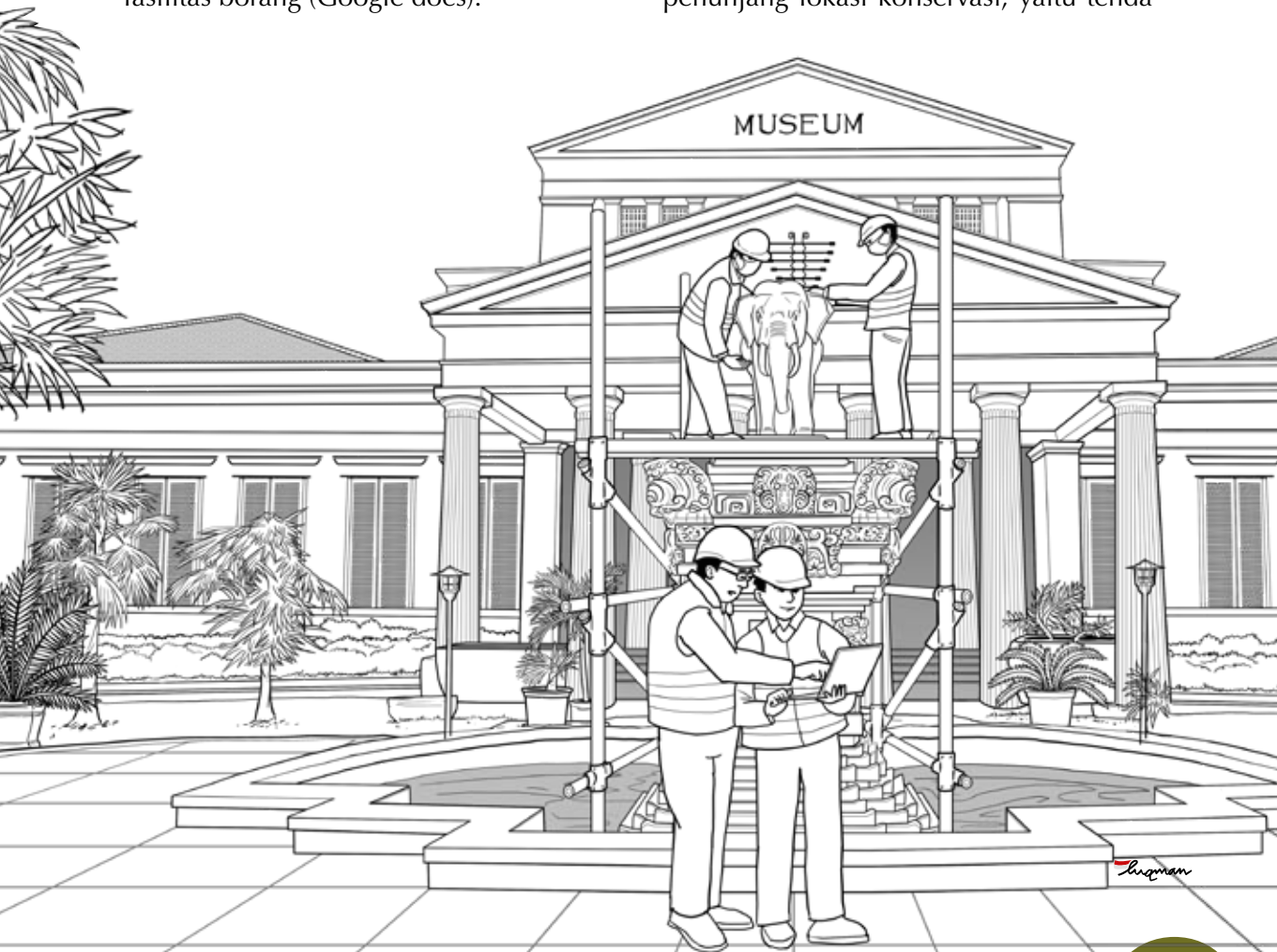
Dalam melakukan kegiatan analisis kondisi koleksi diperlukan alat bantu seperti kaca pembesar, meteran, timbangan, mikroskop digital, alat yang dapat mengetahui komposisi bahan secara tidak destruktif seperti X-ray fluorescence (XRF) yang memiliki bentuk portabel, dan kamera.

Pada tulisan ini, yang akan dianalisis kondisi koleksinya adalah patung gajah perunggu, pilar, dan empat prasasti.

A. Patung Gajah Perunggu

Tahapan Analisis

Persiapan kegiatan ini dimulai dengan pengurusan kolam yang mengelilingi koleksi. Setelah itu, disiapkan alat penunjang lokasi konservasi, yaitu tenda





Gambar 4.3 – Persiapan Alat Penunjang Lokasi Konservasi.

untuk menutupi koleksi, tenda kerja untuk petugas konservasi, serta penyiapan steger besi yang sejajar dengan koleksi patung gajah perunggu. Pembatas atau *police line* dipasang mengelilingi area kerja.



Gambar 4.4 – Kegiatan Pendokumentasian Koleksi oleh Konservator secara Makro.

Setelah itu dilakukan dokumentasi secara makro menggunakan kamera dan apabila ditemukan kondisi yang bermasalah dilanjutkan dengan pengambilan dokumentasi secara mikro menggunakan alat mikroskop digital.

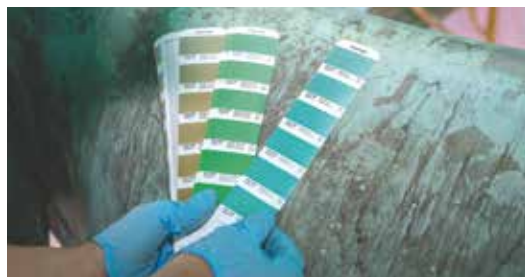


Gambar 4.5 – Kegiatan Pendokumentasian Koleksi oleh Konservator secara Mikro.



Permasalahan yang paling sering terjadi pada benda logam adalah ditemukannya endapan/noda kehijauan yang merupakan salah satu ciri korosi pada koleksi berbahan dasar tembaga. Korosi dapat dihasilkan dari kondisi lingkungan, seperti pantai laut atau udara perkotaan yang tercemar (Burke, 2002).

Selain itu, konservator Museum Nasional melakukan penyesuaian warna produk korosi yang terdapat pada patung gajah dengan kartu *pantone*. Dengan menggunakan kartu *pantone*, dapat diketahui akurasi keterangan warna pada koleksi yang diidentifikasi. Melalui proses ini, dapat diketahui warna patina yang terbentuk pada patung gajah perunggu dan dapat diprediksi jenis produk korosi yang terbentuk sehingga data tersebut akan berguna dalam tahapan konservasi yang dilakukan.



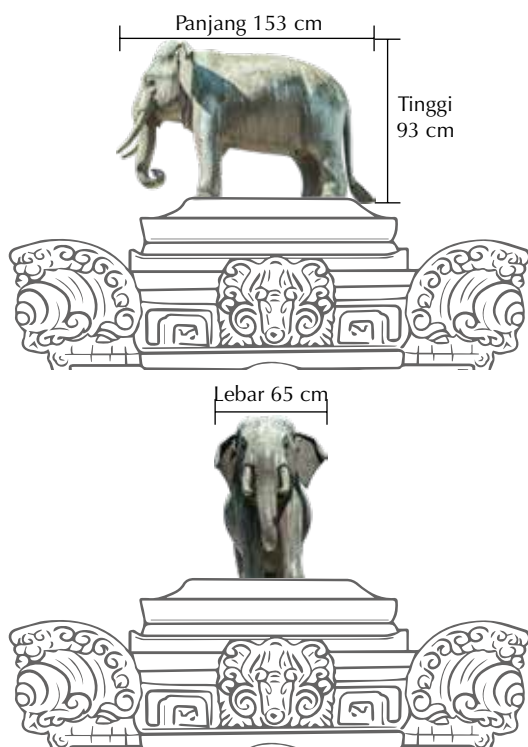
Gambar 4.6 – Identifikasi Warna Korosi pada Permukaan Koleksi dengan Kartu *Pantone*.

Hasil Analisis

Berdasarkan hasil identifikasi pada patung gajah perunggu didapatkan data-data sebagai berikut.

Nama Koleksi : Patung Gajah
 Jenis Kelamin : Jantan
 Identifikasi Individu: *Elephas Maximus*
 (Gajah Asia)
 Tahun : 1817 M
 Nomor Inventaris : 291
 Bahan Koleksi : Perunggu
 Warna : *Pantone 10292 C*
 (*Green & Silver*) dan
Pantone 10396 C
 (*Black & Silver*)
 Ukuran : Umum
 Panjang: 153 cm
 Lebar : 65 cm
 Tinggi : 93 cm

Detail Ukuran:

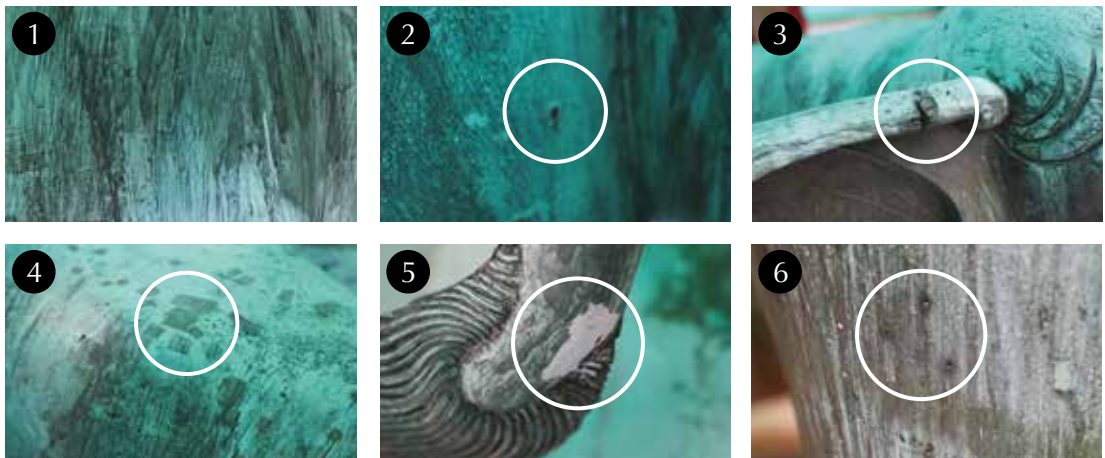
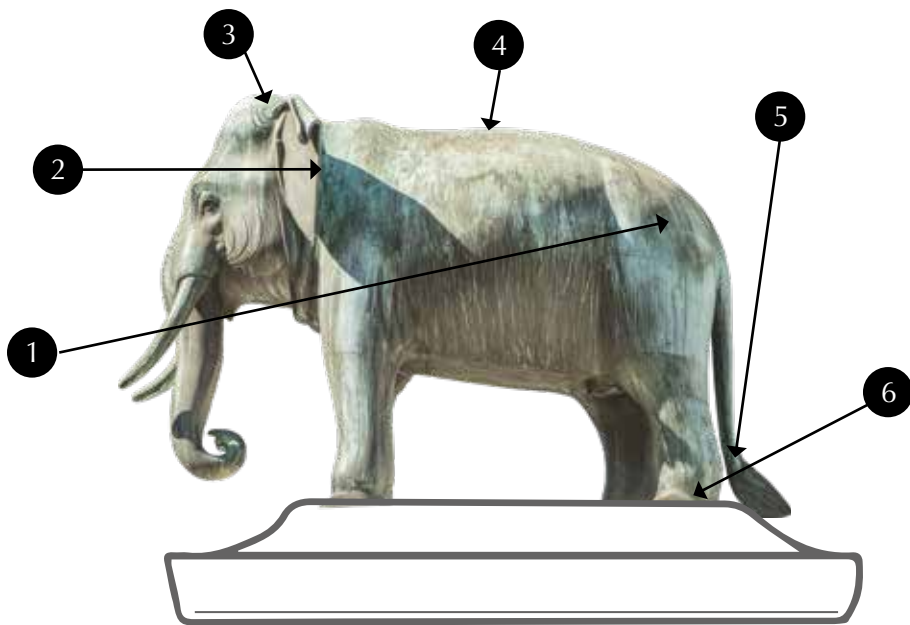


Gambar 4.7 – Koleksi Patung Gajah Tampak Samping dan Tampak Depan.

Tabel 4.1 – Detail Ukuran Bagian Patung Gajah.

Bagian	Ukuran			
	Panjang	Lebar	Tinggi	Keliling
Telinga	–	23 cm	35 cm	–
Kepala:				
• Antar-mata	–	19 cm	–	–
• Dahi	–	27 cm	–	–
• Muka	55 cm	–	35 cm	–
• Antar ujung telinga	–	65 cm	–	–
• Belalai	60 cm	–	–	–
• Pangkal belalai	–	–	–	40 cm
• Ujung belalai	–	–	–	18 cm
• Gading kanan	26 cm	–	–	–
• Gading kiri	27 cm	–	–	–
• Pangkal gading	–	–	–	15 cm
• Ujung gading	–	–	–	8 cm
Kaki dan Badan				
• Kaki	–	–	60 cm	52 cm (terlebar)
• Lingkar perut	183 cm	–	–	–
• Ekor	80 cm	–	–	15 cm
• Surai ekor	19 cm	8 cm	–	–

Hasil identifikasi kondisi koleksi patung gajah perunggu adalah korosi atau patina hijau pada patung gajah terdapat merata di seluruh bagian koleksi. Bagian telinga belakang kiri patung gajah menunjukkan adanya korosi cokelat. Terdapat gumpil pada telinga kanan bagian atas. Terdapat seperti bekas-bekas tambalan kecil berbentuk segi empat di sepanjang bagian tubuh atas (dorsal) pada kepala dan punggung yang berbeda warna, debu pada seluruh permukaan gajah, noda cat putih pada surai ekor, serta lubang-lubang kecil dan korosi hitam yang ditemukan pada kaki bagian belakang. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.

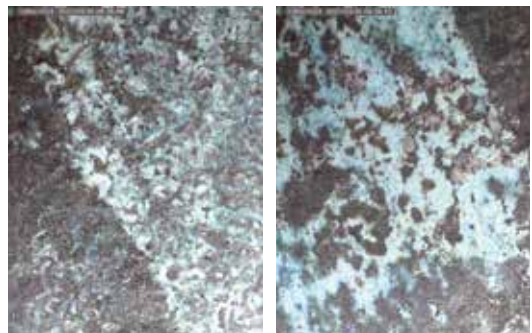


Gambar 4.8 – Kondisi Koleksi Patung Gajah.

Tindakan selanjutnya, kondisi gajah perunggu diamati lebih detail menggunakan mikroskop digital untuk menemukan kerusakan yang terjadi. Adapun yang teramati menggunakan mikroskop digital adalah sebagai berikut.

1. Korosi atau patina hijau merata pada seluruh bagian koleksi.

Pada Gambar 4.8.(1), dapat dilihat terdapat korosi atau patina hijau yang merata pada seluruh bagian koleksi.

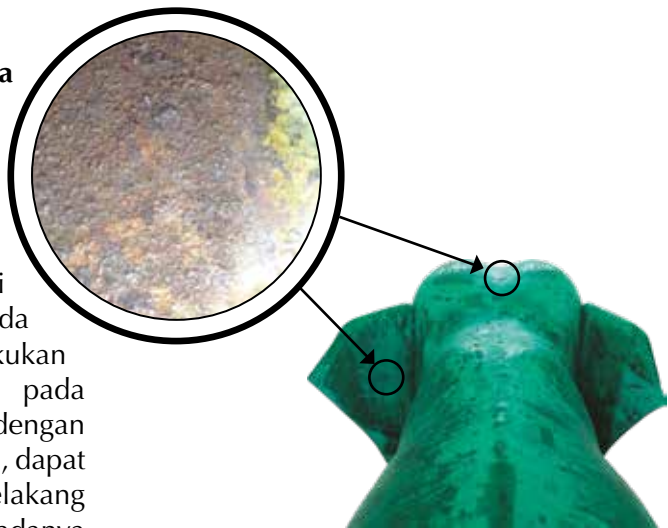


Gambar 4.9 – Foto Mikro Korosi Hijau di Seluruh Permukaan Gajah Perunggu.

2. Ditemukan korosi berwarna coklat pada bagian telinga belakang kiri.

Pada bagian belakang kedua telinga terdapat persegi kecil di bagian tengah yang berwarna coklat dan mengalami korosi sebagaimana terlihat pada Gambar 4.8.(2). Dengan melakukan identifikasi secara visual pada bagian permukaan koleksi dengan menggunakan mikroskop digital, dapat dilihat bahwa bagian telinga belakang kiri patung gajah menunjukkan adanya korosi coklat (Gambar 4.10).

Korosi coklat terdapat pada bagian logam yang ditanam di belakang telinga sebelah kiri dan kanan. Bagian tersebut kemungkinan besar berbahan besi. Besi bersifat reaktif dan tidak stabil di banyak lingkungan. Besi juga dapat mengalami korosi yang disebabkan oleh faktor intrinsik, iklim, dan lingkungan sekitar, seperti polusi belerang yang akan menghasilkan asam sulfat, lingkungan yang cukup berair yang akan menghasilkan ion klorida (Cl^-), lokasi dan curah hujan, suhu dan pola angin yang akan menentukan kelembapan untuk mendukung terjadinya korosi, serta desain bangunan dan pola pemanasan yang



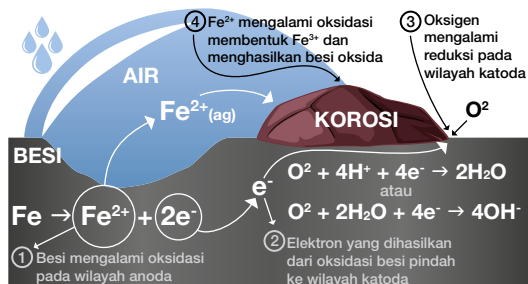
Gambar 4.10 – Foto Mikro Korosi Coklat pada Telinga Belakang Kiri dan Atas Kepala Koleksi.

mengontrol iklim mikro dalam ruangan (Watkinson dan Emmerson, 2017).

Kedua persegi berwarna coklat pada bagian tengah koleksi diperkirakan merupakan penanda yang dibuat seniman yang berfungsi sebagai ciri khas sang seniman. Korosi coklat yang dihasilkan mungkin menunjukkan bahwa persegi ini dibuat dari material yang berbeda. Berdasarkan pengamatan warna, mungkin material itu adalah besi. Selain besi, benda berbahan dasar perunggu dapat menghasilkan produk korosi berwarna coklat.



Gambar 4.11 – Skema Asal dari Korosi Berwarna Coklat.



Gambar 4.12 – Proses Pembentukan Korosi pada Besi.

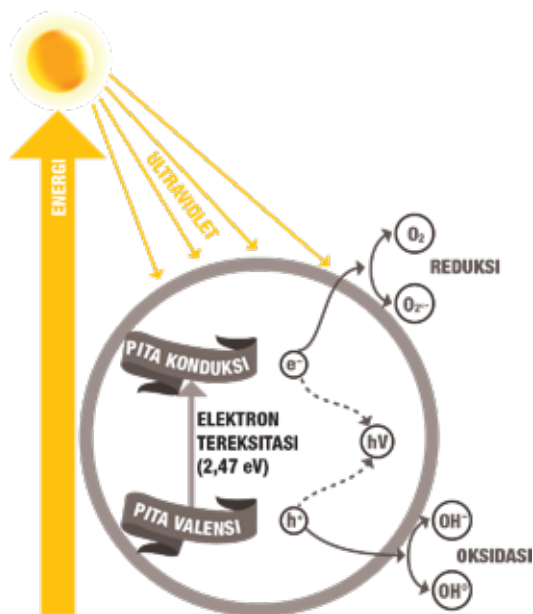
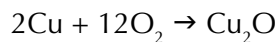
Besi cenderung sangat reaktif karena besi cenderung membentuk besi oksida secara alami ketika terpapar lingkungan atmosferik dan bereaksi dengan oksigen di udara (Roberge, 2020).

Salah satu contoh oksida besi adalah magnetit (Fe₃O₄) yang berwarna kehitaman dan bersifat magnet. Magnetit (Fe₃O₄) adalah oksida besi yang paling umum diidentifikasi pada situs arkeologi

besi dan biasanya terletak di sebelah permukaan logam meskipun mungkin juga ada di lapisan lain dari produk korosi.

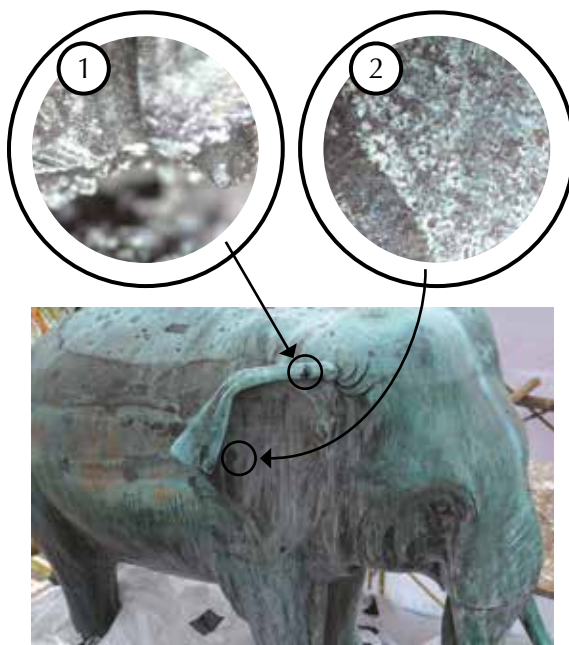
Selain benda berbahan dasar besi, benda dengan bahan dasar perunggu dapat membentuk korosi cokelat. Adanya warna cokelat-hitam pada permukaan patung salah satu kemungkinannya disebabkan oleh adanya cuprite, di mana warna cokelat-hitam dikaitkan dengan sifat semikonduktor dari *cuprite* (Cu₂O) yang ketebalannya mencapai $0.8 \pm 0.2 \mu\text{m}$ (Leygraf, Chang, Herting, dan Odnevall Wallinder, 2019).

Dapat disimpulkan, efek penggelapan (*darkening*) logam tembaga pada tahap awal dari korosi atmosferik disebabkan oleh pembentukan lapisan cuprite dengan reaksi sebagai berikut:



Gambar 4.13 – Mekanisme Fotokatalisis Semi Konduktor Cuprite.

(Sumber: Jiao, W., Shen, W., Rahman, Z.U., dan Wang, D., 2016)



Gambar 4.14 – Foto Mikro pada Bagian Telinga Koleksi.

3. Adanya gumpil dan korosi kehitaman pada telinga kanan bagian atas.

Pada Gambar 4.8.(3), dapat dilihat terdapat gumpil pada telinga kanan bagian atas. Melalui proses identifikasi secara visual, dapat dilihat adanya retak di bagian telinga kanan dan gumpil pada Gambar 4.14.(1) dan adanya korosi kehitaman pada Gambar 4.14.(2).

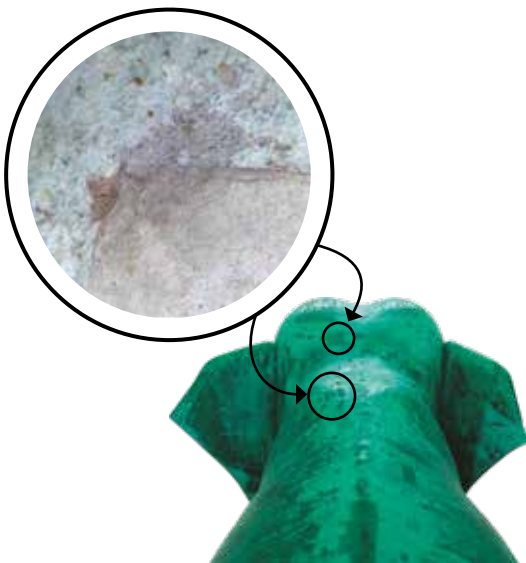
Gumpil atau retakan pada telinga kanan bagian atas dapat terjadi saat proses pencetakan ataupun sesudahnya. Gaya fisik berupa benturan saat proses transportasi dapat pula menyebabkan kerusakan ini.

4. Ditemukan bekas tambalan kecil berbentuk segi empat di sepanjang bagian tubuh atas (dorsal) pada kepala dan punggung yang terdapat perbedaan warna.

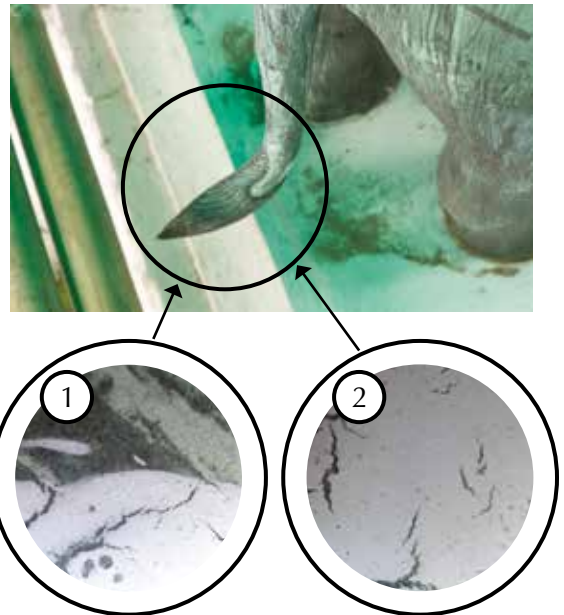
Pada Gambar 4.8.(4), dapat dilihat bekas-bekas tambalan kecil berbentuk segi empat di sepanjang bagian tubuh atas (dorsal) pada kepala dan punggung yang

terdapat perbedaan warna. Identifikasi dilakukan secara visual terhadap bagian permukaan koleksi. Tambalan-tambalan kecil berbentuk segi empat di sepanjang bagian tubuh atas (dorsal) pada kepala dan punggung diperkirakan merupakan bekas tambalan yang ditambahkan setelah patung gajah perunggu selesai dicetak. Beberapa rongga yang tercipta akibat adanya gelembung udara saat proses pencetakan ditambal menggunakan material sejenis (Dooijes, 2012).

Ditemukan pula debu pada seluruh bagian koleksi. Posisi koleksi yang berada di luar ruangan meningkatkan potensi terperangkapnya debu di permukaan koleksi. Kondisi lembap akibat hujan ataupun kolam yang ada di bawah koleksi menghasilkan kondensasi air pada celah antara partikel debu dan permukaan koleksi yang membentuk jembatan kapilaritas air. Jembatan kapilaritas air ini membuat ikatan debu dengan permukaan koleksi makin kuat (Said dan Walwil, 2014).



Gambar 4.15 – Gambar Mikro Seperti Bekas Tambalan Kecil Berbentuk Segi Empat.



Gambar 4.16 – Foto Mikro pada Bagian Ekor Koleksi.

5. Noda cat putih pada surai ekor.

Pada koleksi juga terdapat noda cat putih pada surai ekor (Gambar 4.8.(5)) yang diperkirakan merupakan efek saat proses pengecatan pilar, yaitu cipratan cat berpindah terkena gaya fisik seperti angin. Melalui identifikasi secara visual dapat dilihat bagian ekor yang menunjukkan adanya noda putih pada Gambar 4.16.(1) dan 4.16.(2).

6. Adanya lubang-lubang kecil dan korosi hitam pada bagian kaki bagian belakang.

Terdapat juga lubang-lubang kecil yang ditemukan pada kaki bagian belakang (Gambar 4.8.(6)). Untuk lebih jelasnya, dilakukan identifikasi secara visual. Gambar 4.17(1) menunjukkan adanya lubang-lubang kecil dan noda putih serta Gambar 4.17(2) menunjukkan adanya bagian korosi hitam.

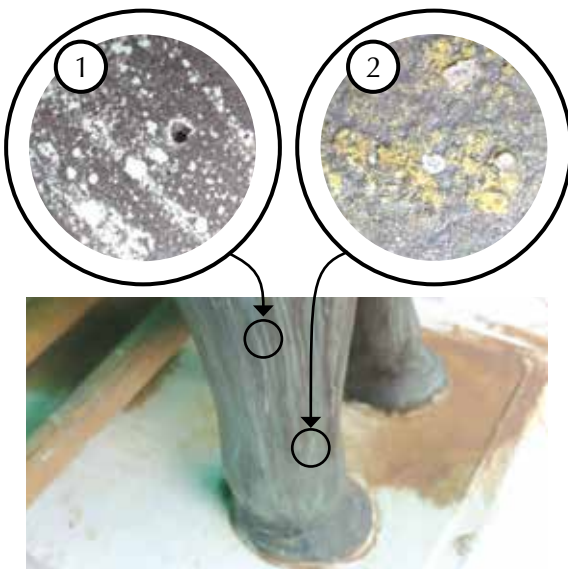
Adanya lubang-lubang kecil yang ditemukan di kaki bagian belakang

diperkirakan merupakan rongga akibat gelembung udara yang tercipta saat proses pencetakan. Selain itu, lubang-lubang ini bisa muncul dari proses pengikisan akibat korosi yang lebih pekat dibandingkan dengan bagian atas koleksi. Hal ini disebabkan oleh adanya perpindahan korosi serta kotoran yang terletak pada bagian atas yang turun ke bagian bawah dengan bantuan air hujan. Hal itu dapat dilihat dari garis-garis menurun yang terbentuk.

B. Pilar

Tahapan Analisis

Sebagai bagian alas dari patung gajah perunggu, pilar juga diamati secara visual dan menyeluruh. Pengamatan dilakukan dengan cara dokumentasi secara makro dengan kamera dan apabila ditemukan kondisi yang bermasalah dilanjutkan dengan dokumentasi secara mikro dengan menggunakan alat mikroskop digital. Pengukuran pada bagian-bagian pilar dilakukan secara detail.



Gambar 4.17 – Foto Mikro pada Bagian Kaki Koleksi.



Gambar 4.18A – Foto Pilar Menghadap Timur.



Gambar 4.18B – Foto Pilar Menghadap Selatan.



Gambar 4.18C – Foto Pilar Menghadap Barat.



Gambar 4.18D – Foto Pilar Menghadap Utara.



Gambar 4.19 – Kondisi Koleksi Pilar.

Hasil Analisis

Sebagai bagian alas dari patung gajah perunggu, bagian pilar diidentifikasi juga. Hasil identifikasi pilar adalah sebagai berikut.

Nama Koleksi : Pilar

Bahan Koleksi: Batu dan Cat

Undakan : 8 Undak Bawah dan
4 undak atas

Ukuran : Umum

Tinggi: 267 cm

Lebar x Lebar:

170 cm x 170 cm

Detail Ukuran :

Tabel 4.2 – Detail Ukuran Pilar

Bagian	Ukuran			
	Panjang	Lebar	Tinggi	Keliling
Alas	279 cm	221 cm	–	–
Alas	217 cm	170 cm	–	–
Kala:	–	30 cm	36 cm	–
• Lingkar perut	183 cm	–	–	–
• Ekor	80 cm	–	–	15 cm
• Surai ekor	19 cm	8 cm	–	–

Kondisi:

Di bagian atas pilar terdapat noda korosi coklat hasil akumulasi noda korosi patung gajah yang terbawa air hujan ke sekitar kaki patung gajah (Gambar 4.19.(1)). Selain itu, cat putih pada pilar mengalami retak dan mengelupas (Gambar 4.19.(2)).

C. Prasasti

Tahapan Analisis

Pada bagian pilar terdapat prasasti di setiap sisi (timur, utara, selatan, dan barat) yang terbuat dari bahan batu marmer yang dilapisi dengan cat. Konservator Museum Nasional telah melakukan analisis kondisi pada keempat prasasti. Pertama-tama dilakukan identifikasi keempat prasasti (ukuran, orientasi mata angin, serta tulisan pada prasasti) dan dilanjutkan dengan analisis kondisi secara visual.



Gambar 4.20 – Proses Analisis Kondisi Prasasti.



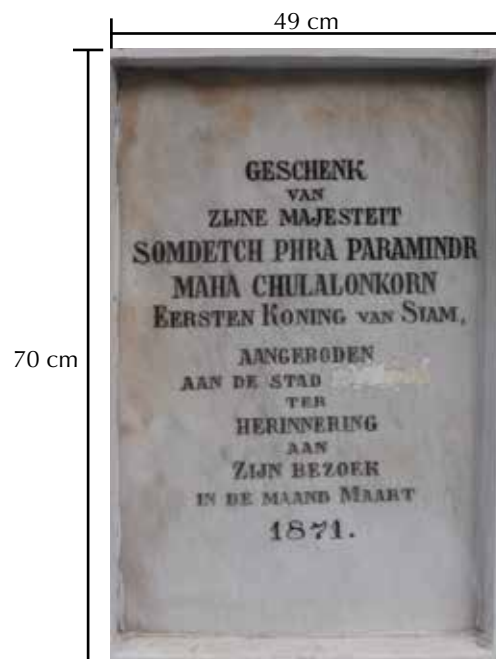
Gambar 4.21 – Identifikasi Permukaan Prasasti Menggunakan Mikroskop Digital.

Setelah itu, dilakukan analisis kondisi prasasti secara visual dengan menggunakan mikroskop digital untuk mendapatkan hasil kondisi prasasti secara lebih terperinci.

Hasil Analisis

Berdasarkan hasil identifikasi didapatkan data-data sebagai berikut.

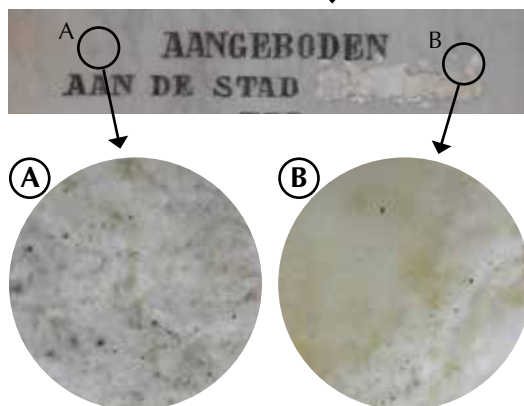
1. Prasasti Berbahasa Belanda



Gambar 4.22 – Prasasti Berbahasa Belanda.

Data:

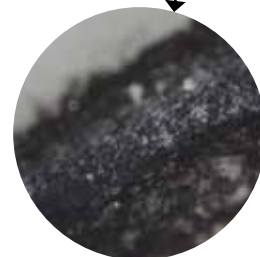
- Ukuran:
70 cm x 49 cm
- Orientasi Mata Angin:
Menghadap Timur



Gambar 4.23 – Prasasti Berbahasa Belanda yang Mengalami Pengikisan pada Tulisan “Batavia”.
A. Gambar Mikro Bagian Tidak Terkikis.
B. Gambar Mikro Bagian Terkikis.

- Tulisan:
Geschenk van Zijne Majesteit Somdetch Paramindra Maha Chulalongkorn Eersten Koning van Siam, Aangeroden Aan de Stad.... Ter Herinnering aan Zijn Bezoek in de Maand Maart 1871
- Kondisi:

Melalui proses identifikasi yang dilakukan pada permukaan prasasti dengan menggunakan mikroskop digital (Gambar 4.21), dapat dilihat bahwa tulisan “Batavia” pada prasasti tersebut menghilang seperti bekas kikisan/gaya fisik (Gambar 4.23). Hilangnya tulisan



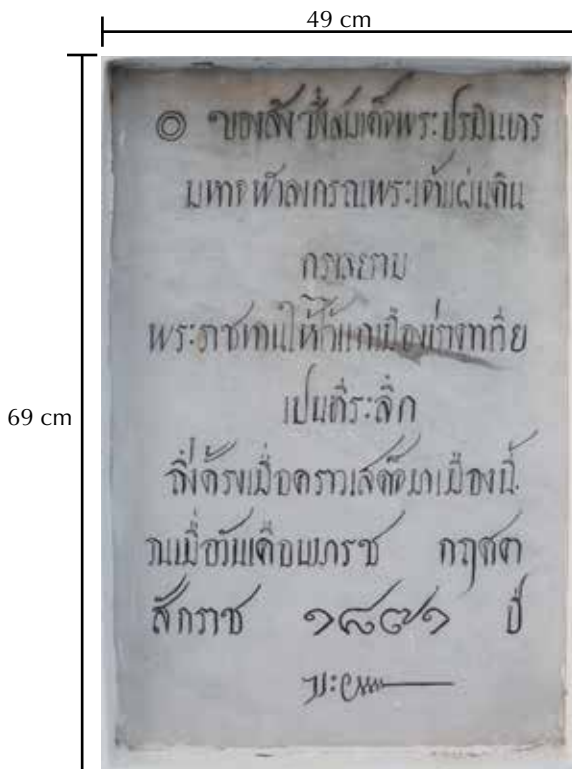
Gambar 4.24 – Gambar Mikro Kondisi Cat pada Tulisan di Prasasti Berbahasa Belanda.

“Batavia” dilatarbelakangi oleh upaya *de-nederlandisasi* (upaya penghilangan pengaruh penjajahan Belanda). Jepang mengganti nama *Batavia* menjadi *Jakarta Toko Betsu Shi* pada tahun 1942. Begitu pun kata dan tulisan Batavia di objek-objek di sekitar Jakarta berusaha dihilangkan oleh Jepang pada saat itu (Jalil et al., 2017).

Terlihat perbedaan tekstur pada bagian kikisan, yaitu Gambar 4.23(a) yang lebih rata dan seragam dibandingkan dengan Gambar 4.23(b) yang menunjukkan bagian yang tidak terkikis.

Selain itu, beberapa bagian cat pada tulisan prasasti tersebut sudah mulai menghilang (Gambar 4.24).

2. Prasasti Berbahasa Thailand



Gambar 4.25 – Prasasti Berbahasa Thailand.

Data:

- Ukuran:
69 cm x 49 cm
- Orientasi Mata Angin:
Menghadap Selatan



Gambar 4.26 – Gambar Mikro Kondisi Cat pada Tulisan di Prasasti Berbahasa Thailand.



Gambar 4.27 – Sarang Serangga pada Prasasti Berbahasa Thailand.

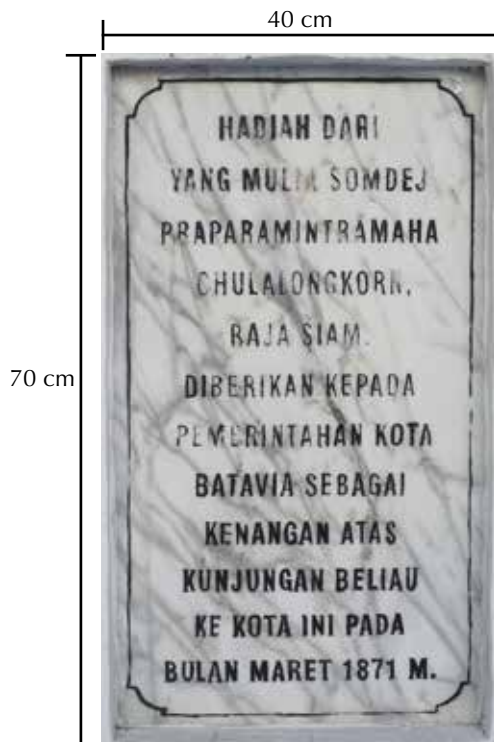
- Tulisan:

ของลมติดพระปรมินทรมหาจุฬาลงกรณ์พระเจ้าแผ่นดิน ามพระภาคให้เขาเมืองย่างไทยเป็นที่ระลึกถึง
รจเมื่อดาวเจอมารเมืองนี้การกสกราช ปี ดบนเกรา
พระราชทานจากสมเด็จพระปรมิตราชมหาจุฬาลงกรณ์
พระมหากษัตริย์แห่งสยาม พระราชทานแก่รัฐบาล
เมืองปัตตาเวีย เพื่อเป็นที่ระลึกในการเสด็จเยือนเมือง
นี้เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2414

- Kondisi:

Beberapa bagian cat pada tulisan di prasasti berbahasa Thailand mulai menghilang (Gambar 4.26). Selain itu, pada prasasti berbahasa Thailand terdapat sarang serangga (Gambar 4.27).

3. Prasasti Berbahasa Indonesia



Gambar 4.28 – Prasasti Berbahasa Indonesia.

Data:

- Ukuran:
70 cm x 40 cm
- Orientasi Mata Angin:
Menghadap Barat

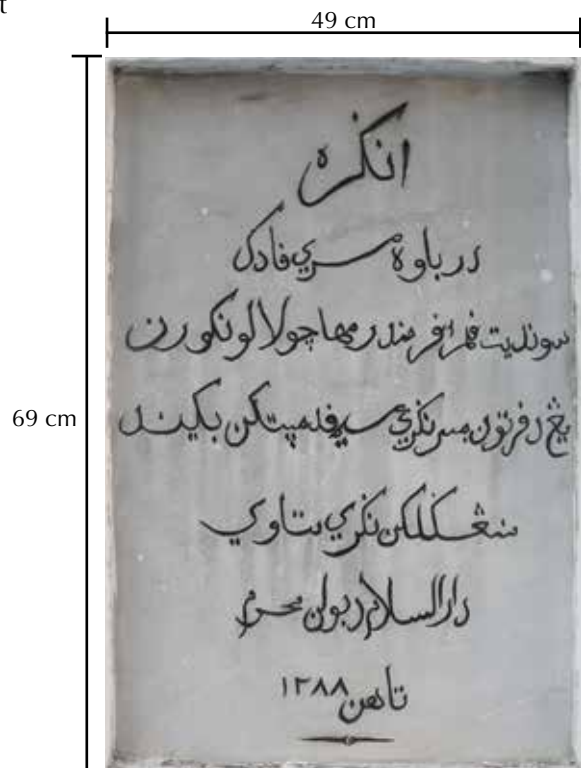
- Tulisan:

Hadiah dari Yang Mulia Somdej Praparamintra Maha Chulalongkorn, Raja Siam, diberikan kepada Pemerintahan Kota Batavia sebagai kenangan atas kunjungan beliau ke kota ini pada bulan Maret 1871 M

- Kondisi:

Beberapa bagian cat pada tulisan prasasti berbahasa Indonesia sudah mulai menghilang.

4. Prasasti Berbahasa Arab Melayu



Gambar 4.29 – Prasasti Berbahasa Arab Melayu.

Data:

- Ukuran:
69 cm x 49 cm
- Orientasi Mata Angin:
Menghadap Utara



Gambar 4.30 – Gambar Mikro Kondisi Cat pada Tulisan di Prasasti Berbahasa Arab Melayu.



Gambar 4.31 – Sarang Serangga pada Prasasti Berbahasa Arab Melayu.

• Tulisan:

انگ کر بلوريفادک وليت ابو مناره اچولالوکورن
يخ وغروريفام پنکن بکيند مشغلان رياست اوکی
دارالسر يون محم تا سن ۱۳۸۸
Somdej Praparamintra
Maha Chulalongkorn
ملك سيام ، تم ،
تقديمها إلى حكومة مدينة باتافيا في ذكرى زيارته لهذه
المدينة في مارس 1871م.

• Kondisi:

Pada prasasti berbahasa Arab-Melayu, beberapa cat pada tulisannya telah mengalami penghilangan warna (Gambar 4.30).

4.2.2 Analisis Material Koleksi

Analisis material koleksi dilakukan pada patung gajah perunggu, pilar, dan prasasti. Patung gajah perunggu dianalisis menggunakan alat *Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer*, yaitu suatu alat untuk menganalisis komposisi unsur dalam suatu sampel secara cepat. Prinsip yang digunakan adalah penentuan komposisi unsur berdasarkan interaksi sinar-X dengan materi. Sementara itu, untuk pilar dan prasasti dilakukan pengamatan secara visual dengan bantuan mikroskop digital.



Gambar 4.32 – Analisis Patung Gajah Perunggu Menggunakan XRF.

A. Patung Gajah Perunggu

Berdasarkan hasil identifikasi komposisi unsur menggunakan *Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer*, dapat disimpulkan bahwa koleksi patung gajah terbuat dari perunggu, logam yang merupakan paduan dari tembaga (Cu) dan timah (Sn) sebagai logam dominan (Britannica, 2019). Hasil identifikasi komposisi unsur sebelum konservasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 4.3 – Detail Komposisi Unsur Koleksi Patung Gajah

Unsur penyusun	Kisaran Komposisi Unsur ($X_{\min}$ - $X_{\max}$) (%)	Rata-rata(%)
Tembaga (Cu)	64,208-83,886	74,5%
Timah (Sn)	9,427-22,101	15,9%
Seng (Zn)	0,954-2,24	1,6%
Timbel (Pb)	4,096-10,868	6,6%

Berdasarkan tabel tersebut, komposisi utama patung gajah perunggu adalah tembaga 74,5%, timah 15,9%, dan komposisi tambahan timbel 6,6% dan seng 1,6%.

Tabel 4.4 – Komposisi Unsur Koleksi Patung Gajah Bagian Korosi Sebelum Konservasi

Unsur penyusun	Kisaran Komposisi Unsur ($X_{\min}$ - $X_{\max}$) (ppm)	Rata-rata(%)
Tembaga (Cu)	400681,03-787992,31	643219,5929
Timah (Sn)	44430,58-104008,06	72513,15571
Seng (Zn)	3902,34-14784,16	10366,14571
Timbel (Pb)	15178,5-63490,2	33271,27143
Klorida (Cl)	1933,51-65302,82	17787,98

Pada identifikasi awal dari hasil XRF sebelum konservasi didapati korosi aktif yang

ditandai dengan terdeteksinya keberadaan ion klorida yang berkisar 1.933,51 – 65.302,82 ppm dengan rata-rata 17.787,98 ppm.

B. Pilar dan Prasasti

Berdasarkan hasil pengamatan visual dan dibantu dengan mikroskop digital, pilar dibuat dari bahan semen, pasir, batu bata, dan cat, sedangkan inskripsi/prasasti berbahan dasar batu marmer dan cat.

4.3 LINGKUNGAN KOLEKSI

Lokasi koleksi patung gajah perunggu yang berada di luar ruangan membuat jumlah lapisan pelindung koleksi lebih sedikit jika dibandingkan dengan koleksi yang disimpan di dalam ruangan. Lapisan pertama adalah support berupa pilar dan lapisan kedua adalah lingkungan udara di area Medan Merdeka Barat No. 12 Jakarta Pusat. Pilar melindungi patung gajah agar terhindar dari banjir dan membuat posisi patung gajah lebih tinggi sehingga lebih sulit dijangkau dan lebih aman dari vandalisme.

Pada tulisan di bagian ini dibahas agen penyebab kerusakan koleksi di lingkungan koleksi memengaruhi koleksi logam perunggu yang berada di luar ruangan, dilanjutkan dengan bagaimana mengatasi dan rekomendasi yang dilakukan.

Berdasarkan hasil analisis kondisi koleksi patung gajah yang berada di halaman Museum Nasional, patung gajah beserta pilar telah mengalami kerusakan seperti korosi, noda, pengelupasan, dan penghilangan cat. Sebelumnya, seperti yang telah dijelaskan bahwa dokumentasi pada kegiatan konservasi sangat penting, kegiatan pemantauan lingkungan juga didokumentasikan dalam sebuah basis data menggunakan fasilitas borang (*Google docs*). Data-data yang penting untuk disimpan adalah kondisi iklim lingkungan, intensitas cahaya, keberadaan hama, dan kadar polutan.



Gambar 4.33 – Lapisan Pelindung Patung Gajah Perunggu di Ruang Pamer Terbuka Mengadaptasi dari *A Guide to Risk Management of Cultural Heritage*, (ICCROM, 2016)

4.3.1 Agen Penyebab Kerusakan

Berdasarkan hasil pemantauan lingkungan, kerusakan koleksi yang terjadi disebabkan oleh agen kerusakan sebagai berikut:

- A. air, yaitu hujan karena kondisi alam, kapilarisasi air tanah, dan hujan asam
- B. hama yang meninggalkan kotoran dan sarang serangga
- C. kontaminan berupa polutan dan partikulat debu
- D. radiasi cahaya matahari yang tidak sesuai
 - 1. kelembapan relatif yang tidak sesuai, dan
 - 2. temperatur yang tidak sesuai.



Gambar 4.34 – Ilustrasi Agen Kerusakan pada Patung Gajah dan Pilar di Ruang Pamer Terbuka

A. Air



Koleksi yang berada di ruang pameran terbuka rentan terhadap kerusakan akibat terkena air karena kejadian alam, kapilarisasi air tanah, dan hujan asam.

- Kejadian Alam

Kejadian alam yang dapat merusak koleksi dan tidak dapat diprediksi adalah adanya hujan badai, angin ribut, banjir bandang yang dapat menstimulasi munculnya korosi pada logam (Tremain, 2017).

- Kapilarisasi Air Tanah dan Kolam

Berdasarkan dokumentasi tahun 1880 yang terlihat pada Gambar 1, sejak dihibahkan, patung sudah diletakkan di taman area terbuka yang dibatasi oleh pagar. Mulai tahun 1990-an terdapat kolam di sekitar patung gajah tersebut sehingga area patung gajah berada di

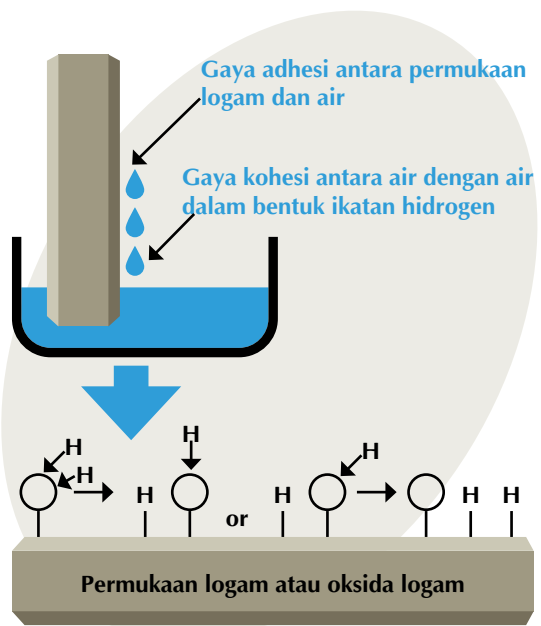
tengah kolam air seperti terlihat dalam Gambar 4.35.

Pilar yang berada di atas kolam dan di bawah Patung Gajah Museum Nasional mengandung banyak zat, seperti aluminium silikat (Al_2SiO_5) dan mineral lainnya (Zulys, 2021). Berbagai mineral dalam pilar ini memiliki rongga yang dapat dilewati oleh air. Air yang melewati pilar selanjutnya akan mengenai lapisan permukaan Patung Gajah Museum Nasional.

Logam memiliki lapisan-lapisan hidroksida yang dapat bereaksi dengan air dan menghasilkan gaya adhesi. Air dengan air juga akan menghasilkan gaya kohesi berupa ikatan hidrogen. Ketika ikatan hidrogen berinteraksi dengan permukaan logam, ikatan hidrogen akan menyebabkan terjadinya proses kapilarisasi yang dapat mengakibatkan korosi pada patung gajah perunggu.



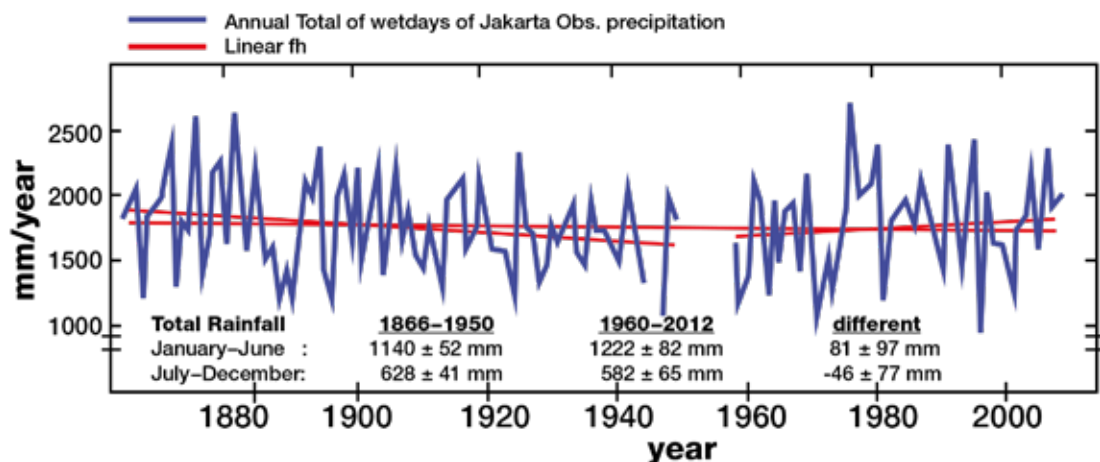
Gambar 4.35 – Patung Gajah Perunggu yang Berada di Tengan Kolam Air Museum Nasional



Gambar 4.36 – Ilustrasi Terjadinya Reaksi Kapilarisasi antara Logam dan Air ((Zulys, 2021)

Air di dalam kolam juga menyebabkan bagian bawah pilar yang terendam air mengalami perubahan warna. Ada kemungkinan hal ini disebabkan oleh jamur yang tumbuh akibat kondisi lembap di sekitar koleksi (Formisano, 2020). Selain itu, terdapat lumut di bagian bawah pilar yang terendam air. Sebagai tumbuhan sederhana (briofita), proses pengambilan air umumnya terjadi hanya dengan proses difusi sehingga dibutuhkan kadar air dalam jumlah banyak di sekitar lumut agar memudahkan proses ini terjadi (Conard, 1980).

Selain air yang berada di sekitar kolam, air hujan memiliki pengaruh terhadap kondisi koleksi. Berdasarkan hasil penelitian Siswanto (2015) terkait curah hujan di Jakarta dalam kurun waktu 130 tahun, jumlah air hujan yang turun relatif tetap tidak berubah. Akumulasi hujan cenderung meningkat pada periode Januari–Mei dan berkurang pada periode Juni–Desember. Intensitas hujan maksimum tahunan (hujan ekstrem pemicu banjir) meningkat secara signifikan. Jumlah hari hujan berkurang (makin jarang hujan), tetapi jumlah hari hujan lebat meningkat secara signifikan.



Gambar 4.37 – Intensitas Curah Hujan di Jakarta.

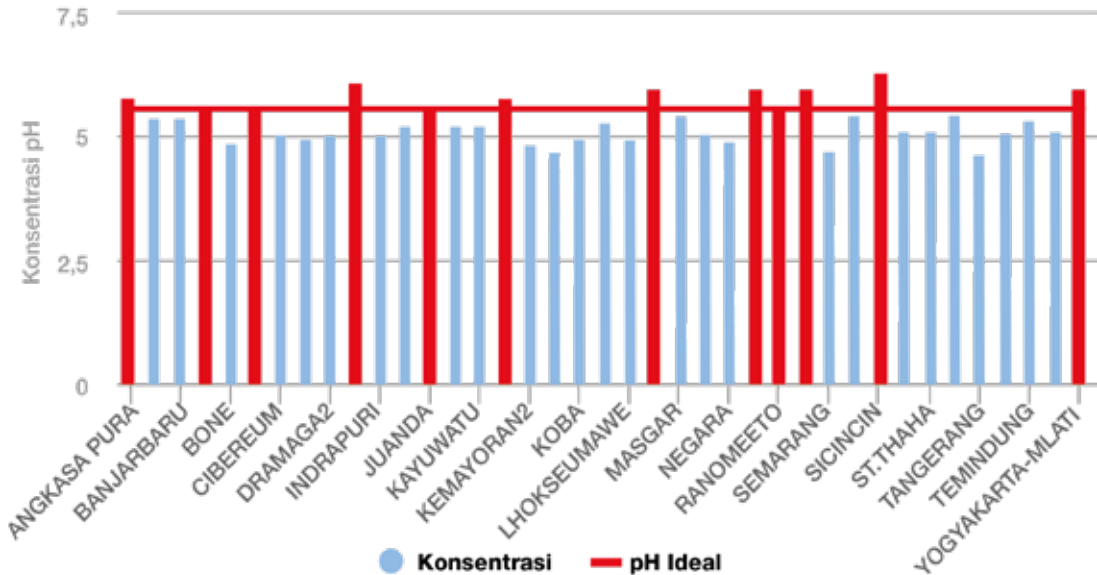
- Hujan Asam

Agen air penyebab kerusakan yang paling jelas memengaruhi kondisi koleksi adalah hujan asam. Hujan asam didefinisikan sebagai adanya keasaman dalam air hujan yang melebihi asam alami sebagai akibat dari aktivitas manusia (Steiger, 2015). Hujan asam mengacu pada deposisi basah dan kering dari atmosfer yang mengandung komponen asam dalam jumlah yang lebih tinggi daripada biasanya

(Omar, 2011). Hujan asam berbahaya bagi tanaman, hewan air, infrastruktur, dan manusia. Hujan asam berasal dari sumber alam yang meliputi emisi gunung berapi, kebakaran hutan, lautan, badai debu, dan proses mikroba, serta sumber buatan yang meliputi emisi industri dan transportasi, serta polutan buatan manusia lainnya yang dapat terbawa ratusan kilometer di atmosfer sebelum diubah menjadi asam dan diendapkan (Maznorizan et al., 2010).

Pemantauan Kimia Air Hujan April 2021

Sumber: Database Kualitas Udara



Gambar 4.38 – Pemantauan Air Hujan.
(Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2021)

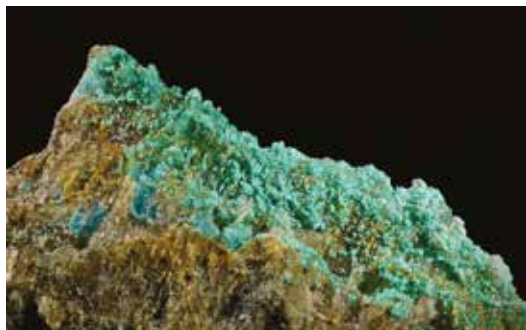
Berdasarkan data dari BMKG pada bulan April tahun 2021, derajat keasaman (pH) air hujan di sekitar Jakarta Pusat cenderung rendah atau bersifat asam, yaitu sebesar 4,93 untuk daerah Kemayoran, sementara pH ideal untuk air hujan adalah 7 atau pH netral. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa di daerah Kemayoran terjadi hujan asam karena air hujannya memiliki pH yang kurang dari 7.

Pada permukaan yang terkena hujan, terdapat korosi berupa titik-titik hitam yang dikelilingi oleh permukaan berwarna hijau pucat (Robbiola, 2014). Korosi hijau yang tersebar pada permukaan patung tersebut menunjukkan adanya kandungan brochantite (Casanova Municchia, 2016). Brochantite $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$ adalah mineral sekunder (kebanyakan anhidrat) yang melimpah di area oksidasi endapan tembaga (Zamana dan Usmanov, 2007).



Gambar 4.39 – *Brochantite*
(Sumber: Brochantite. Dipetik dari National Gem Lab; <https://nationalgemlab.in/brochantite-incl/>)

Antlerite dan *brochantite* merupakan produk korosi yang stabil (Casanova Municchia, 2016). Robbiola et al. mengamati bahwa *brochantite* sering



Gambar 4.40 – Antlerite

(Sumber: Antlerite. Dipetik dari Mindat.org; <https://www.mindat.org/min-268.html>)

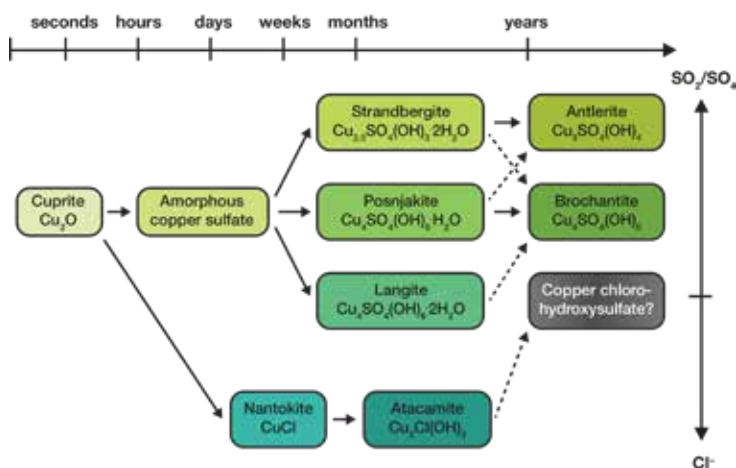
bertransformasi menjadi *antlerite* pada koleksi yang berada di luar ruangan, dengan hipotesis bahwa pH rendah dari air hujan mungkin menjadi faktor peningkatan reaksi ini.

Korosi yang terbentuk pada objek perunggu di ruang pameran terbuka akibat hujan asam biasanya terdiri atas dua lapisan, yaitu lapisan dalam, *cuprite* (Cu_2O), dan lapisan luar, *brochantite* ($\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$). Mineral hidroksi sulfat ini, yang memberi patina warna hijau kebiruan yang khas, terbentuk dengan deposisi kering bahkan di daerah perdesaan (Wu dan Davidson, 1992).

Korosi perunggu di ruangan terbuka sangat bergantung pada *washing effect* dari hujan. Lapisan tembaga yang terlindung dari hujan mungkin akan lebih stabil, tetapi air yang bersifat asam akan membantu transformasi *brochantite* menjadi *antlerite*. Peningkatan keasaman lapisan air ini menyebabkan peleburan *brochantite* dan diikuti oleh presipitasi *antlerite*.

Akan tetapi, pembentukan *antlerite* membutuhkan lapisan air pada kondisi asam yang bertahan lama. Pada kondisi asam yang tidak bertahan lama (singkat), *antlerite* tidak terbentuk sehingga *brochantite* akan terbentuk kembali di permukaan (Robbiola L., 2014). Hal tersebut menjelaskan mengapa pada permukaan yang terpapar air hujan dan terbuka (tingkat evaporasi tinggi) terdapat korosi atau patina hijau pada permukaan koleksi.

Lokasi patung gajah di ruang pameran terbuka menyebabkan rentan terbentuknya tembaga klorida (CuCl). Ion klorida yang dipicu oleh air hujan dan kondisi ion klorida di lingkungan atmosfer sangat korosif. Air yang diperkaya dengan ion-ion ini dapat menjadi aerosol yang kemudian mengendap pada perunggu dan membentuk tembaga klorida (CuCl). Korosi klorida (Cl) dapat dipicu oleh air hujan dan kondisi ion klorida di lingkungan atmosfer (Corvo, Minotas, dan Delgado, 2005). Secara garis besar, pembentukan patina tembaga pada lingkungan dengan polutan SO_2 dan klorida dapat dilihat pada skema berikut ini.



Gambar 4.41 – Pembentukan Korosi Tembaga pada Lingkungan dengan Polutan SO_2 dan Klorida

B. Hama



Hama museum merupakan agen hayati yang dapat merusak koleksi museum. Serangga, jamur, tikus, burung, dan kelelawar adalah hama museum. Kerusakan yang dilakukan hama berasal dari perilaku makan atau bersarang atau dengan menarik jenis hama lain (Saad, 2013).

Walaupun patung gajah perunggu beserta pilarnya bukan makanan hama, tetapi aktivitas bersarang yang tidak terkendali menimbulkan noda, kotoran, bangkai, dan bau yang setidaknya mengganggu koleksi tersebut. Hal ini terlihat pada bagian pilar prasasti berbahasa Thailand yang terdapat kotoran berupa sarang serangga (Gambar 4.27).

Halaman area patung gajah merupakan satu area dengan area terbuka Monumen Nasional (Monas) yang merupakan habitat dari berbagai macam burung. Terdapat pohon-pohon yang menjadi sarang burung sehingga meningkatkan risiko patung terkena kotoran burung yang berkeliaran di sekitarnya. Dalam Bernardi, Bowden, Brimblecombe, Kenneally, dan Morsellia (2009), kotoran burung merupakan salah satu penyebab kerusakan bukan hanya estetika melainkan juga kerusakan kimia pada koleksi berbahan dasar tembaga dan perunggu yang berada di ruang pameran terbuka. Kotoran burung terdiri atas senyawa nitrogen seperti *uric acid* (asam urat), urea, NH_4^+ , purin, kreatin, kreatinin, dan asam amino. Uric acid secara kimiawi mampu meninggalkan bekas noda yang jelas pada tembaga, dan urat (*uric*) tembaga ditemukan pada proses *uric acid* terutama pada suasana basah. Patina alami tampaknya

melindungi tembaga dari serangan asam urat, setidaknya dalam jangka pendek, meskipun permukaan patina masih ditandai dan produk korosinya (yaitu *atacamite*) bereaksi dengan asam urat (*uric acid*) untuk menghasilkan tembaga urat (*uric*).

C. Kontaminan



Agen polutan yang dapat menyebabkan kerusakan koleksi sehingga terjadi penurunan mutu (deteriorasi) koleksi adalah kontaminan dan debu.

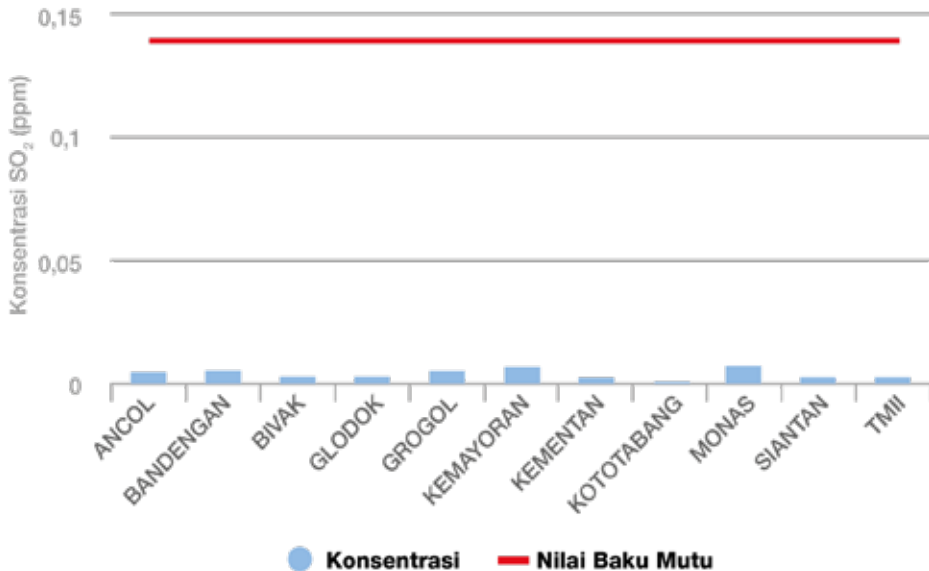
- Polutan

Polutan udara adalah gas atau partikulat yang menghancurkan, menghitamkan, atau menimbulkan korosi pada semua jenis objek yang reaktif seperti logam dan bahan berpori. Kontaminan bisa berbentuk gas, cair, dan padatan. Kontaminan yang berbentuk **gas** misalnya adalah hidrogen sulfida, nitrogen dioksida, belerang dioksida, asam format dan asam asetat, serta peroksida dan ozon. Kontaminan yang berbentuk **cairan** antara lain adalah plasticizer yang keluar dari perekat dan beberapa plastik, dan minyak dari tangan manusia. Sementara itu, kontaminan yang berbentuk **padatan** misalnya adalah debu yang dapat mengikis permukaan dan menyediakan nutrisi untuk hama, serta garam yang merusak logam (National Park Service, 2016).

Selain itu, terdapat tiga jenis utama polusi luar ruangan, yaitu (1) sulfur dioksida (SO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, belerang bantalan batu bara, dan bahan organik lainnya, (2) nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) yang dihasilkan dari segala jenis pembakaran, seperti knalpot mobil

Monitoring Sulfur Dioksida April 2021

Sumber: Database Kualitas Udara



Gambar 4.42 – Grafik Kadar Gas SO₂ di Jakarta Pusat (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2021)

serta film nitroselulosa yang memburuk, negatif, dan (3) benda dan ozon (O₃) yang dihasilkan oleh sinar matahari yang bereaksi dengan polutan di atmosfer bagian atas ketika senyawa belerang dan nitrogen bergabung dengan uap air dan kontaminan lainnya di udara, asam sulfat, atau asam nitrat yang diproduksi. Asam ini kemudian menyebabkan kerusakan secara luas pada berbagai objek. Ozon bereaksi langsung dengan benda-benda yang menyebabkan kerusakan (Saad, 2013).

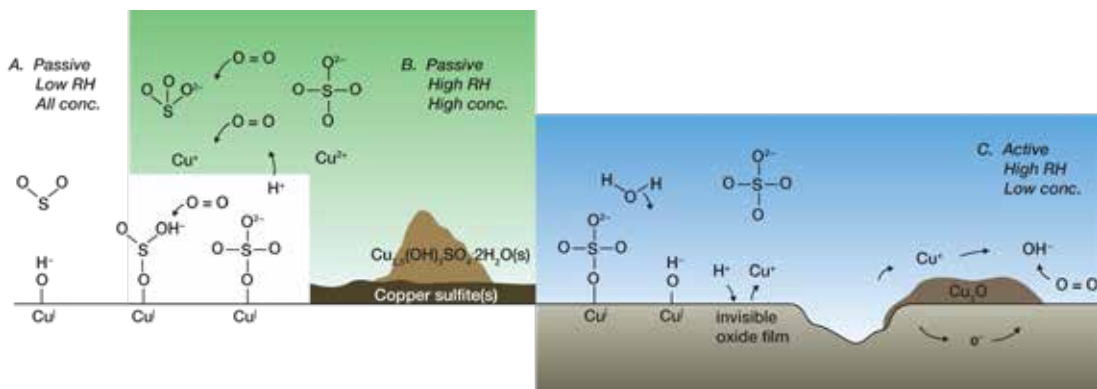
1. Sulfur Dioksida (SO₂)

Sulfur dioksida (SO₂) merupakan senyawa berbentuk gas yang tidak berwarna dan memiliki bau menyengat. Senyawa ini bersifat sangat beracun dan bersifat korosif sehingga berbahaya bagi kesehatan manusia apabila terpapar.

Berdasarkan data BMKG, kadar gas SO₂ di lingkungan wilayah Jakarta Pusat adalah 0,006 ppm. Tétréault

(2021) menjelaskan bahwa konsentrasi SO₂ maksimum yang diizinkan agar memberikan risiko minimal untuk sebagian besar material dalam periode satu tahun adalah 0,01 ppm. Selanjutnya (dalam Robert L. Barclay, 2021), dijelaskan bahwa ambang batas mulai timbulnya korosi pada logam berbahan dasar tembaga adalah 0,05 ppm. Hal tersebut menginformasikan bahwa kadar SO₂ di Jakarta Pusat masih di bawah ambang batas yang aman untuk koleksi.

Sejak keberadaan virus SARS-Cov-2 pada awal 2020, terdapat penurunan kadar gas SO₂ yang disebabkan oleh adanya kebijakan pembatasan aktivitas masyarakat dan menyebabkan turunnya jumlah kendaraan di jalanan. Walaupun saat ini masih berada di bawah ambang batas, perlu diperhitungkan efek akumulasi dan kemungkinan peningkatan kadar gas SO₂ seiring dengan peningkatan



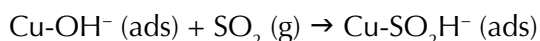
Gambar 4.43 – Interaksi SO_2 dengan Tembaga di Udara Lembap (A) Menunjukkan Kondisi Kelembapan yang Rendah untuk Semua Konsentrasi, (B) Menunjukkan Kelembapan yang Tinggi dan Konsentrasi yang Tinggi, dan (C) Menunjukkan Kelembapan yang Tinggi dan Konsentrasi yang Rendah -(Strandberg, 1997)

jumlah kendaraan. Hal ini tentu saja berpotensi memengaruhi kadar SO_2 dan mempercepat proses pembentukan korosi pada permukaan koleksi logam.

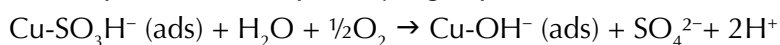
Sumber utama SO_2 di udara berasal dari hasil emisi bahan bakar fosil kendaraan bermotor yang mengandung sulfur. Keberadaan SO_2 di atmosfer dapat mempercepat korosi pada banyak logam.

Strandberg (1997) menjelaskan bahwa SO_2 hanya dapat mengakibatkan korosi pada tembaga jika konsentrasi SO_2 di atmosfer sangat tinggi dan hanya jika terdapat air atau kelembapan yang tinggi.

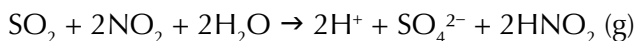
Dijelaskan bahwa pada konsentrasi yang sangat tinggi, terbentuk lapisan pelindung sulfat chemisorbed pada oksida udara tipis yang diasumsikan terhidroksilasi.



Pada konsentrasi rendah dan Kelembapan tinggi, lapisan sulfat yang teradsorpsi dihancurkan karena pembentukan spesies yang dapat larut dan oksidasi menjadi sulfat:



Terjadi oksidasi SO_2 oleh NO_2 pada permukaan logam sehingga membentuk elektrolit asam sulfat:



Elektrolit asam dapat menyerang oksida yang terbentuk di udara dan memulai proses korosi elektrokimia. Sejumlah besar sulfat terdeteksi setelah paparan empat minggu dan produk korosi biru-hijau terbentuk pada permukaan tembaga. Tembaga menjadi hitam kusam apabila terpapar pada konsentrasi rendah SO_2 .

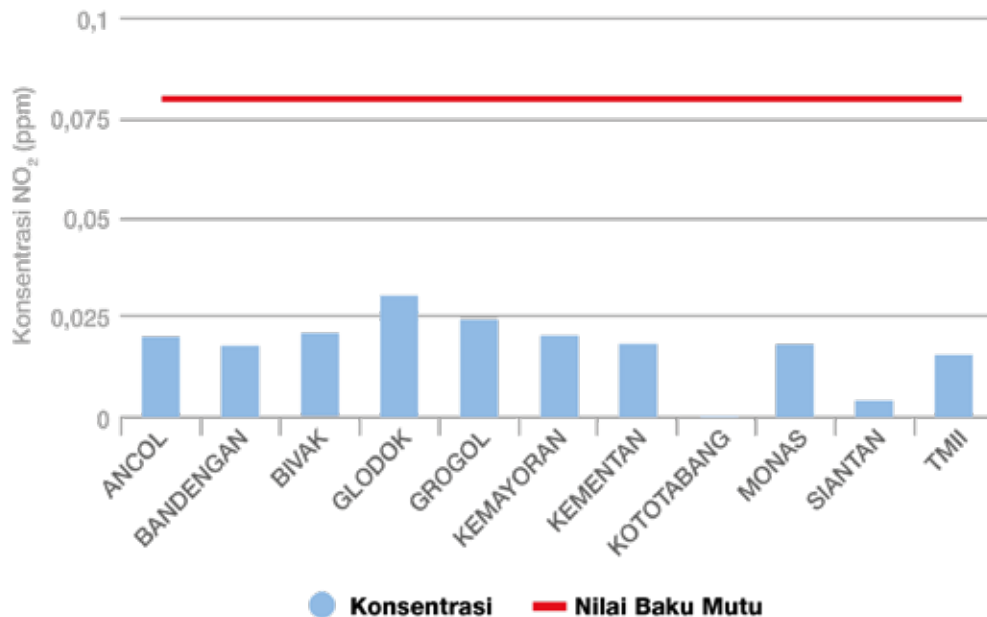
2. Nitrogen Dioksida (NO_2)

Nitrogen Dioksida (NO_2) merupakan senyawa berbentuk gas yang berwarna coklat kemerahan dan dapat berbentuk cairan kekuningan jika diberi tekanan

tinggi, juga memiliki bau yang tajam. Senyawa ini bersifat korosif, oksidator, dan sangat beracun, serta sangat berbahaya apabila terpapar manusia.

Monitoring Nitrogen Dioksida April 2021

Sumber: Database Kualitas Udara



Gambar 4.44 – Grafik Kadar Gas NO₂ di Jakarta Pusat (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2021)

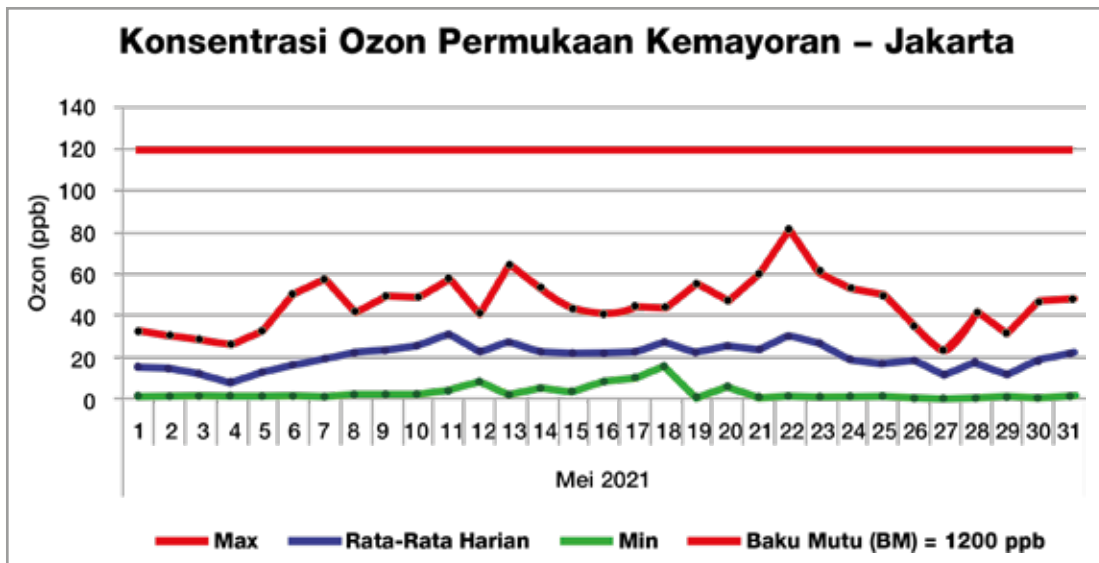
Berdasarkan data BMKG bulan April tahun 2021, jumlah NO₂ di udara sekitar Jakarta Pusat adalah sebesar 0,0184 ppm. Tétreault (2021) menjelaskan bahwa konsentrasi NO₂ maksimum yang diizinkan agar memberikan risiko minimal untuk sebagian besar material dalam periode satu tahun adalah 0,01 ppm. Selanjutnya, dalam Robert L. Barclay (2021) dijelaskan bahwa ambang batas mulai timbulnya korosi pada logam berbahan dasar tembaga adalah 0,05 ppm. Hal tersebut menjelaskan bahwa kadar NO₂ di Jakarta Pusat cukup tinggi dan dapat menimbulkan korosi pada patung gajah perunggu.

Kadar NO₂ berpotensi mengalami peningkatan. Hal tersebut terlihat pada data BMKG tahun sebelumnya (Siswanto, 2015). Pada periode 2018–2019, kadar

NO₂ di Monas, Jakarta Pusat berkisar 0,12–0,24 ppm. Kadar NO₂ tertinggi di daerah Monas adalah pada bulan Oktober 2018.

Dari sudut pandang global, emisi nitrogen oksida manusia dan alam (NO_x = NO, NO₂) adalah sama. Namun, emisi antropogenik telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap industri dan hampir seluruhnya terkait dengan pembakaran bahan bakar fosil, yang sumber utamanya adalah transportasi. NO dalam knalpot otomotif teroksidasi dengan cepat menjadi NO₂. Oksidasi lebih lanjut dari NO₂ menghasilkan asam nitrat (RNO₃), yang dengan cepat diserap oleh air cair dalam awan untuk membentuk asam nitrat berair.

NO₂ dengan sendirinya memiliki efek korosif yang sangat kecil pada korosi



Gambar 4.45 – Grafik Kadar O_3 di Kemayoran, Jakarta Pusat (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2021)

tembaga di udara lembap. Eriksson dkk. (dalam Strandberg, 1997) menyebutkan bahwa korosi dipercepat karena oksidasi SO_2 oleh NO_2 pada permukaan logam yang membentuk elektrolit asam sulfat.

Seperti dijelaskan di bagian SO_2 , sampel tembaga menjadi hitam kusam apabila terpapar pada konsentrasi rendah SO_2 . Penambahan NO_2 ke atmosfer seperti itu menghasilkan sampel yang mengilat. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi NO_2 dan SO_2 memperlambat pembentukan kuprit. NO_2 dapat direduksi oleh kuprit pada permukaan yang menghasilkan HNO_2 (g) dan nitrit (NO_2^-), dan bahwa NO_2 dapat bereaksi dalam air membentuk nitrit dan nitrat.

3. Ozon (O_3)

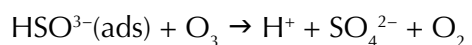
Ozon (O_3) adalah salah satu oksidan jejak yang paling penting di atmosfer dan sering terjadi pada konsentrasi yang lebih tinggi daripada SO_2 . Telah terjadi peningkatan yang signifikan dalam konsentrasi ambien O_3 sejak zaman pra-

industri dan penggandaan troposfer O_3 tercatat di belahan bumi utara.

Di atmosfer perkotaan yang jumlah hidrokarbon dan NO_2 -nya tinggi, penyinaran dengan sinar matahari menyebabkan pembentukan O_3 . Dengan demikian, kabut asap fotokimia dapat menyebabkan tingkat O_3 yang sangat tinggi di beberapa daerah perkotaan pada siang hari. Namun, O_3 juga cenderung cepat berkurang di daerah perkotaan melalui reaksi dengan NO .

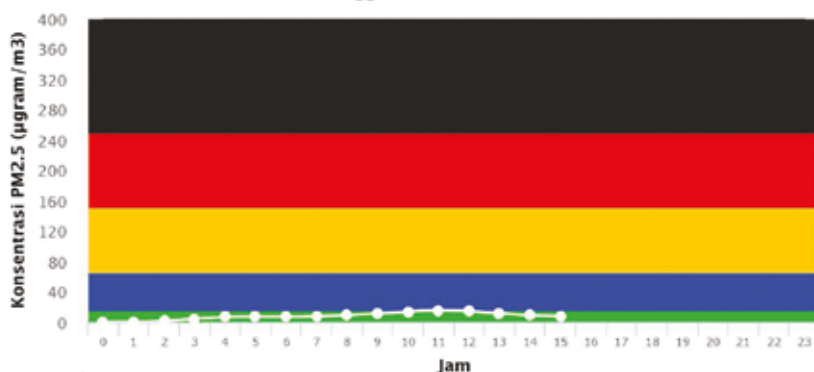
Pengaruh O_3 sudah cukup besar pada 70% RH, sedangkan NO_2 tidak mempercepat korosi pada kelembapan ini. Pada RH 90%, efek penambahan O_3 kurang terlihat pada tingkat SO_2 rendah dibandingkan pada konsentrasi SO_2 tinggi yang sebaliknya cenderung menghambat korosi tembaga.

O_3 mempercepat korosi di udara yang tercemar SO_2 dengan meningkatkan oksidasi sulfit yang teradsorpsi:



Konsentrasi Partikulat PM2.5 di JAKARTA-KEMAYORAN

Tanggal: 06 08 2021



Gambar 4.46 – Grafik Konsentrasi Partikulat 2.5
(Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2021)

Berdasarkan data BMKG periode Mei 2021 pada Gambar 4.45, dapat diketahui bahwa kadar O_3 di udara kawasan Kemayoran, Jakarta Pusat, masih cenderung rendah. Nilai ambang batas dari O_3 di udara adalah sebesar 120 ppb/0,12 ppm, dan kadar O_3 tertinggi pada bulan Mei itu sebesar 80 ppb/0,08 ppm. Tétreault (2021) menjelaskan bahwa konsentrasi ozon maksimum yang diizinkan sehingga memberikan risiko minimal untuk sebagian besar material rata-rata dalam periode satu tahun adalah 10 ppb/0,01 ppm. Hal tersebut menginformasikan bahwa kadar ozon di Jakarta Pusat melebihi kadar rata-rata maksimum yang diizinkan dalam setiap tahun.

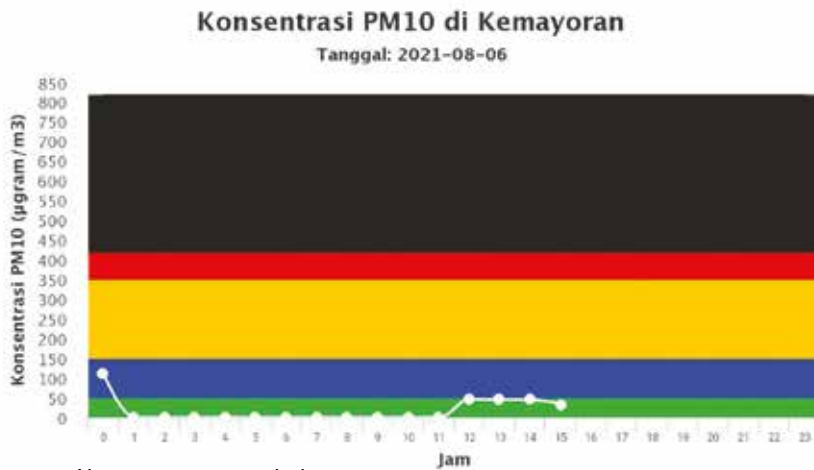
- Debu

Debu merupakan partikulat padat yang berukuran antara 1 mikron sampai dengan 100 mikron. Debu atau partikulat dapat dibedakan berdasarkan ukuran diameter aerodinamis untuk menentukan sifat dan pengendalian. Partikulat terbagi menjadi dua, yaitu partikel kasar dan partikel halus. Partikel kasar (PM10) memiliki diameter aerodinamis antara 2,5 dan 10 µg/m³. Partikel kasar mengandung

tanah dan bahan alkali dan biasanya kaya akan kalsium dan partikel kasar.

Partikel halus (PM2.5) adalah partikel tersuspensi yang memiliki diameter aerodinamis sama dengan atau kurang dari 2,5 µg/m³. Partikel halus mengandung unsur karbon, sulfat, dan senyawa amonium. Karena ukurannya yang kecil, PM2.5 adalah ukuran partikel yang paling menantang untuk dikendalikan. Senyawa sulfat dan nitrat, karbon organik, bahan kerak, dan garam adalah senyawa berbahaya di ruang pameran terbuka yang membentuk partikel halus (PM2.5).

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa konsentrasi harian PM2.5 berkisar 0–15 mikrogram/m³. Tétreault (2021) menjelaskan bahwa kadar PM2.5 maksimum yang diizinkan sehingga memberikan risiko minimal untuk sebagian besar material dalam periode satu tahun adalah 10 mikrogram/m³. Berdasarkan hal tersebut kadar PM2.5 harus diwaspadai karena kisarannya bisa sampai 15 mikrogram/m³ sehingga akan menyebabkan percepatan korosi pada permukaan yang disebabkan oleh



Gambar 4.47 – Grafik Konsentrasi Partikulat 10
(Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2021)

partikulat yang jatuh dari udara sekitar ke bagian koleksi.

Sementara itu, PM10 merupakan partikel yang masih mengandung beberapa senyawa yang berpotensi reaktif, seperti residu pembakaran, bulu manusia, dan spesimen mikrobiologis.

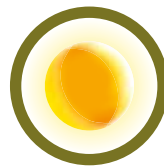
Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat konsentrasi harian PM10 sempat berada pada daerah biru atau kisaran 16–65 mikrogram/m³. Dengan fakta tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah PM2.5 di wilayah Jakarta lebih sedikit dibandingkan PM10. Partikel halus ini sangat merusak karena dapat mengubah tampilan visual dan warna objek (Tétreault, 2021).

Korosi yang ditemukan pada patung gajah perunggu adalah korosi hijau dan korosi aktif yang mengandung ion klorida di seluruh permukaan dan korosi cokelat di bagian belakang telinga dan kaki. Korosi pada perunggu di ruangan terbuka tidak stabil disebabkan oleh adanya peningkatan level polusi di atmosfer. Permukaan yang stabil pada koleksi berbahan tembaga dan paduan tembaga

dicirikan oleh adanya berbagai macam korosi pasif dan aktif. Korosi pasif stabil warnanya, bervariasi dari merah, cokelat, hitam, biru, hingga hijau (Logan, 2007).

Permukaan patung perunggu di lingkungan terbuka memburuk seiring waktu, menyebabkan pertumbuhan patina kehijauan/kehitaman yang merupakan produk korosi. Produk korosi yang biasanya ditemukan pada patung perunggu di ruang terbuka dihasilkan oleh interaksi antara paduan logam dan polutan atmosfer (Catelli, 2018).

D. Cahaya

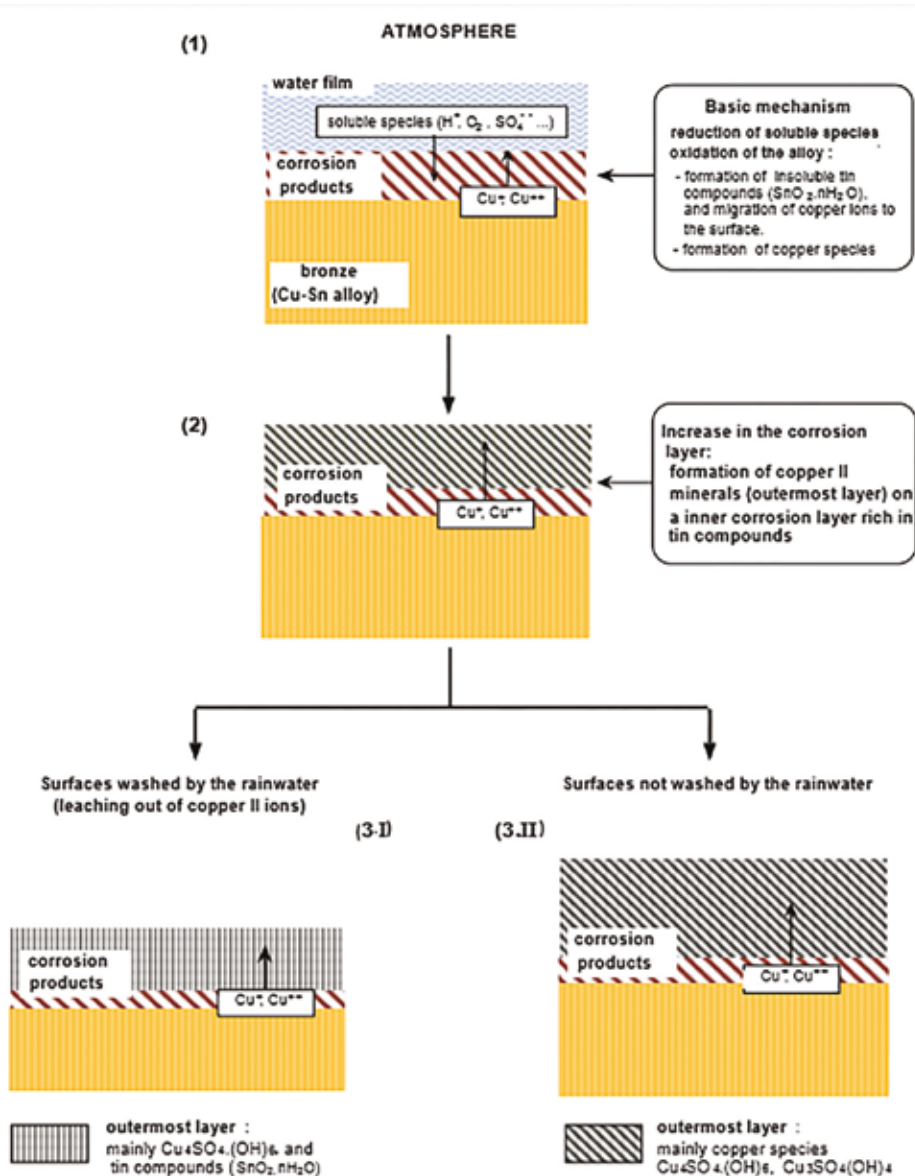


Penempatan koleksi patung gajah di luar ruangan membuat lapisan pelindung lebih sedikit. Akibatnya, koleksi rentan terhadap agen perusak, salah satunya adalah cahaya. Jumlah intensitas cahaya menyebabkan kerusakan jika koleksi terpapar dalam waktu yang sangat lama karena cahaya bersifat akumulatif. Efek cahaya yang dihasilkan dari paparan cahaya terhadap koleksi

ialah perubahan kimia dan fisik pada material koleksi, seperti memudar, gelap, menguning, getas, kaku, dan perubahan kimia dan fisik lainnya (National Park Service, 2016).

Telah diketahui secara umum bahwa pita gelombang cahaya matahari terbagi menjadi tiga bagian utama. Pertama

adalah sinar ultraviolet (UV) dengan panjang gelombang 100–400 nm. Kedua, cahaya tampak yang bisa terlihat oleh mata manusia pada 400–700 nm. Ketiga adalah sinar inframerah (IR) dengan panjang gelombang 700 nm–1 mm. Sinar inframerah juga tidak bisa ditangkap oleh mata (Badan Pusat Statistik, 2017).



Gambar 4.48 – Skema Reaksi dalam Korosi Perunggu di Lingkungan Ruang Terbuka (Robbiola L. , 1993)

4.3.2 Model Pembentukan Korosi pada Lingkungan Ruang Terbuka

Lebih lanjut, untuk mengetahui secara lebih jelas proses pembentukan korosi di ruang pameran terbuka, dijelaskan oleh Robbiola L. (2014) sebagaimana Gambar 4.48.

Proses korosi pada dasarnya disebabkan oleh adanya air pada permukaan perunggu. Air di permukaan dihasilkan dari presipitasi atau kondensasi di permukaan logam. Saat kondisi kering, air pada permukaan perunggu dapat berasimilasi menjadi elektrolit yang komposisi dan pH-nya bergantung pada senyawa atmosfer dan produk korosi yang dapat larut. Korosi atmosfer merupakan proses korosi di bawah lapisan elektrolit.

Langkah pertama adalah mekanisme dasar pembubaran selektif tembaga. Dalam kontak dengan permukaan air (elektrolit), oksidasi paduan reaksi yang terjadi adalah:

- (1) $\text{Sn} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- (2) $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^+ + \text{e}^-$ atau $\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{e}^-$

Oksida timah yang bersifat stabil dalam kondisi aerasi dan pada rentang pH yang besar bersifat katodik dibandingkan dengan tembaga. Produk yang dihasilkan dari proses ini adalah lapisan senyawa tembaga seperti tembaga oksida di bagian atas permukaan, sedangkan senyawa timah tetap berada di bagian dalam lapisan korosi.

Langkah kedua adalah proses menambah ketebalan deposit tembaga dengan pembentukan beberapa mineral tembaga(II) yang sifatnya sangat bergantung pada komposisi atmosfer lingkungan tempat koleksi perunggu berada, contohnya *brochantite* di daerah perkotaan. Pada perunggu, langkah pengendalian proses merupakan migrasi

ion tembaga dari paduan ke atmosfer melalui deposit.

Langkah ketiga adalah proses yang berkaitan dengan kondisi paparan permukaan. Keasaman hujan dan kabut asap dapat melarutkan senyawa korosi tembaga terluar dan mendorong transformasi mineral. Misalnya, *brochantite* diubah menjadi *antlerite*. Terdapat perbedaan antara permukaan yang langsung tersapu oleh air hujan dan permukaan yang tidak terkena air hujan.

Senyawa tembaga larut dan hilang dari permukaan perunggu yang terkena hujan. Deposit pada langkah kedua juga akan hilang secara bertahap. Permukaan bersifat “aktif” untuk proses korosi utama (pelarutan selektif tembaga dan oksidasi internal timah pada langkah pertama). Permukaannya dapat berupa anodik (daerah hijau pucat) atau katodik (pulau senyawa hitam).

4.4 PELAKSANAAN KONSERVASI

Pelaksanaan konservasi yang dilakukan mengikuti siklus konservasi, yaitu cegah, halang, deteksi, respons, dan perbaikan. Karena koleksi berada di ruang pameran terbuka, proses cegah melalui kegiatan pemantauan menjadi kegiatan yang harus dilakukan selain kegiatan pengangkatan korosi itu sendiri. Kegiatan halang dilakukan sementara selama kegiatan berlangsung, yaitu dengan memasang tenda untuk menghindari kontak polutan dan hujan yang terjadi. Sementara itu, kegiatan deteksi dilakukan dengan melakukan kegiatan analisis koleksi dan material koleksi yang telah dijelaskan pada Subbab 4.2.

Kegiatan cegah, yaitu pemantauan yang dilakukan, adalah pemantauan cahaya dan pemantauan iklim mikro di sekitar koleksi.



Gambar 4.49 – Pemantauan Cahaya Tampak

4.4.1 Cegah

Pencegahan yang dilakukan dengan melakukan pemantauan cahaya dan iklim mikro.

A. Pemantauan Cahaya

Cahaya yang dipantau adalah cahaya tampak dan cahaya ultraviolet. Pemantauan cahaya tampak diatur dengan menggunakan alat light meter atau yang disebut *luxmeter* dengan satuan *lux*, sedangkan cahaya ultraviolet dipantau menggunakan alat *UV meter* dengan satuan *microwatt* (UV) per lumen (cahaya), disingkat $\mu\text{W/lm}$.

Berdasarkan kegiatan pemantauan yang dilakukan selama tiga hari pada waktu pagi, siang, dan sore didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.5 – Pemantauan Cahaya di Sekitar Koleksi Patung Gajah

ALAT	PEMANTAUAN CAHAYA								
	Hari ke-1			Hari ke-2			Hari ke-3		
	Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore
UV Meter	12	19	36	12	38	24	28	27	170
LUX Meter	900	604	1288	40000	18000	15900	1422	11110	8000

Berdasarkan pemantauan, intensitas cahaya tampak ada dalam kisaran 604–40.000 *lux* dengan rata-rata 10.802 *lux*. Sementara itu, intensitas cahaya UV berkisar 12–170. Saad (2013) menjelaskan bahwa untuk koleksi berbahan dasar logam idealnya intensitas cahaya tampak maksimum adalah 300 *lux* dan nilai standar untuk sinar UV adalah 0. Berdasarkan data yang didapatkan dari perhitungan secara langsung di lapangan, diketahui bahwa

nilai *Lux* dan UV di wilayah sekitar Museum Nasional cukup tinggi dan melebihi nilai ambang batas. Hal ini dapat berdampak pada kondisi fisik patung gajah. Radiasi yang dihasilkan oleh cahaya ultraviolet dapat membahayakan koleksi meskipun dalam jumlah yang sedikit karena cahaya dapat menyebabkan kerusakan yang bersifat ireversibel dan kumulatif seperti perubahan warna atau kerusakan pada material (Michalski, 2018).

B. Pemantauan Iklim Mikro

Iklim mikro yang dipantau adalah kelembapan relatif (RH) dan temperatur (T). Untuk mengamati keadaan iklim pada lingkungan terbuka di daerah sekitar Patung Gajah Museum Nasional, dilakukan pengambilan data nilai temperatur dan kelembapan relatif dengan menggunakan termohigrometer dan data logger. Termohigrometer menampilkan data secara waktu nyata (*real time*), tetapi tidak dapat disimpan sehingga harus dicatat secara manual dalam waktu tertentu, sedangkan kelebihan *data logger* adalah dapat menyimpan data tersebut selama beberapa waktu.

Alat ini digunakan dengan metode pengambilan tiga titik berbeda (pagi, siang, dan sore) selama tiga hari (30 Maret, 1 April, dan 5 April). Berdasarkan hasil pengukuran, nilai temperatur dan kelembapan relatif dapat dilihat pada tabel berikut ini.



Gambar 4.50 – Kegiatan Pengukuran Nilai Kelembapan Relatif (RH) dan Temperatur Menggunakan Termohigrometer

Tabel 4.6 – Hasil Pemantauan Iklim Sekitar Koleksi Patung Gajah Menggunakan Alat Termohigrometer

PARAMETER	PEMANTAUAN IKLIM (RH dan T)								
	Hari ke-1			Hari ke-2			Hari ke-3		
	Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore
Temperatur	28.8	30.5	32.3	32.6	35.2	33.9	31.4	32.5	30.8
Kelembapan relatif	86	91	75	68	57	54	70	65	69

Dari data di atas, didapati temperatur berkisar 28,8–33,9 °C yang cukup stabil, sedangkan kelembapan relatif berkisar 54–91% yang sangat fluktuatif.

Untuk memperkuat data, pemantauan iklim juga menggunakan *data logger*

selama satu minggu bersamaan dengan berlangsungnya kegiatan konservasi.

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan data logger selama kegiatan konservasi, yaitu dari tanggal 30 Maret hingga 5 April 2021, didapat



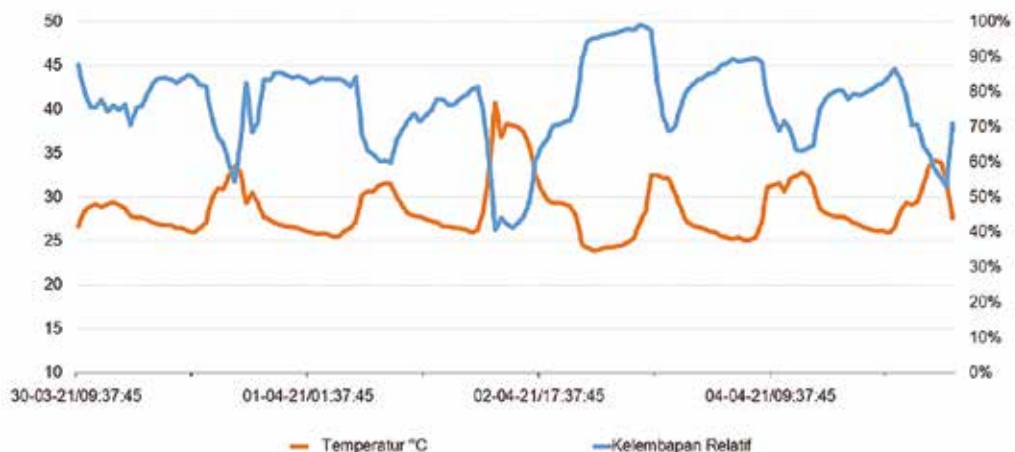
Gambar 4.51 – Kegiatan Pengukuran Nilai Kelembapan Udara (RH) Menggunakan *Data Logger*

nilai kelembapan relatif (RH) maksimum adalah 99,0% pada pagi hari, sedangkan kelembapan relatif (RH) minimum adalah 40,7% pada pagi hari dan kelembapan relatif (RH) rata-rata 76,30%. Diketahui temperatur maksimum adalah 40,8°C pada pagi hari, sedangkan temperatur minimum 23,9°C pada dini hari sekitar pukul 02.37 dan temperatur rata-rata adalah 28,62°C.

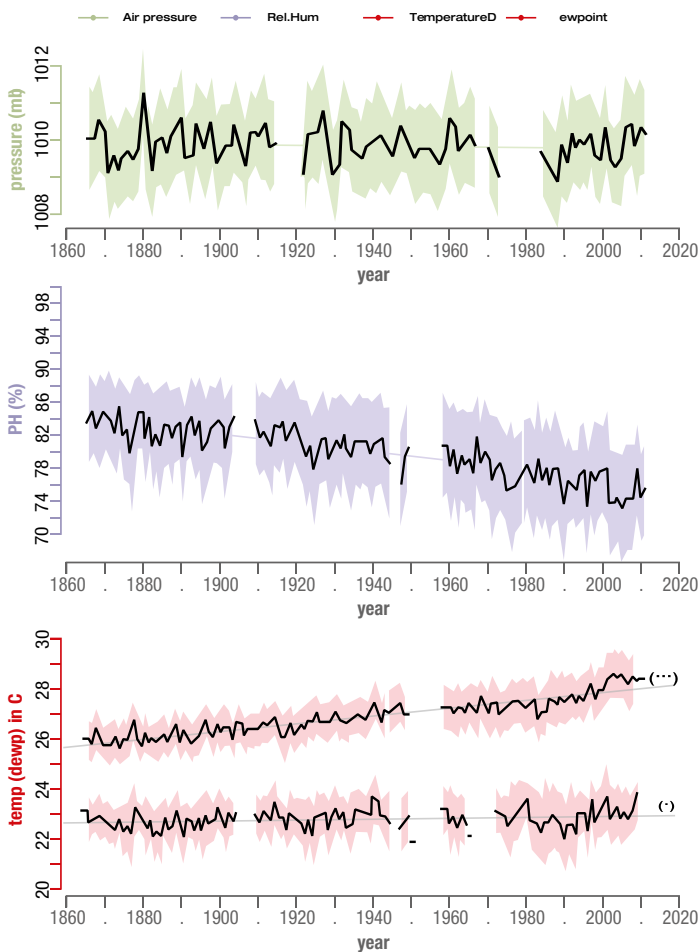
Dari grafik di atas terlihat perubahan temperatur cukup stabil, sedangkan kelembapan relatif sangat fluktuatif. Adanya pengaruh perubahan terlihat pada dini hari menjelang pagi, dipengaruhi cuaca yang intensitasnya cenderung

hujan. Kondisi pada iklim ini sangat tidak sesuai untuk koleksi berbahan dasar logam. Berdasarkan literatur (Saad, 2013), idealnya untuk koleksi berbahan logam kelembapan relatif sebaiknya kurang dari 35% dan temperatur 24°C dan tidak fluktuatif. Thomson (1997) mengidealkan RH 65% untuk semua koleksi pada iklim tropis, yang aman untuk berbagai jenis bahan koleksi termasuk logam.

Kondisi dan nilai kelembapan relatif dan temperatur/suhu yang didapat Tim Konservasi Patung Gajah ini selaras dengan data kelembapan relatif yang didapatkan dari BMKG.



Gambar 4.52 – Hasil Grafik *Data Logger*.



Gambar 4.53 – Data Kelembapan Relatif dan Temperatur Tahun 1860-2020 di Jakarta. Sumber: (Siswanto, 2015)

Berdasarkan data BMKG, kelembapan relatif yang terjadi di Jakarta selama ± 160 tahun terakhir ini (tahun 1860–2020) relatif tinggi (ditunjukkan pada grafik berwarna ungu). Nilai RH di Jakarta pada rentang waktu tersebut adalah 66–89%, dan ditambah hasil pengambilan data dari tim Museum Nasional pada tahun 2021 mencapai 99%.

Kondisi iklim yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerusakan pada koleksi (Dean, 1996). Interaksi antara objek dengan unsur kimia di udara ruangan, mulai kelembapan udara ruangan di atas 25%, dan akan meningkat reaksinya sampai pada kelembapan maksimum 100%.

Temperatur di halaman depan Museum Nasional, khususnya lingkungan di sekitar patung gajah, adalah $23,9^{\circ}\text{C}$ – $40,8^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata $28,62^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan data BMKG, dapat dilihat dari Gambar 38, data kelembapan relatif dan temperatur tahun 1860–2020 di Jakarta, temperatur di lingkungan Jakarta dalam ± 160 tahun terakhir (tahun 1860–2020) mengalami kenaikan yang signifikan, berkisar antara 20°C hingga 30°C , ditambahkan dari data tim Museum Nasional pada tahun 2021 mencapai $40,80^{\circ}\text{C}$. Kondisi tersebut tidak ideal untuk koleksi. Menurut Saad (2013), idealnya suhu berada di kisaran 18 – 20°C dan tidak lebih dari 24°C .

Temperatur udara harus stabil untuk mencegah patung gajah dari kerusakan. Peningkatan atau penurunan temperatur dapat menyebabkan reaksi berupa ekspansi dan kontraksi. Suhu yang tidak sesuai dapat mempercepat proses kimia, fisik, dan biologis yang menyebabkan kerusakan pada Patung Gajah Museum Nasional. Temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan percepatan reaksi kimia, seperti evaporasi. Akibatnya, ada kerusakan, ada pecahan pada koleksi, serta terjadi peningkatan aktivitas biologis. Temperatur yang terlalu tinggi dapat mempercepat pertumbuhan pada serangga dan jamur, serta membuat material yang keras sebagai lapisan pelindung menjadi lebih lunak sehingga debu dan polutan dapat berinteraksi lebih mudah dengan Patung Gajah Museum Nasional.

Jika temperatur terlalu rendah, material tertentu bisa menjadi lebih rapuh dan mudah retak, mengelupas, dan mengalami kerusakan lainnya. Bahan seperti pernis, lak, kayu, minyak, *alkyd*, dan cat akrilik sangat berisiko dan perlu ditangani dengan sangat hati-hati (Michalski, 2017).

Temperatur udara harus dijaga dan tidak fluktuatif karena dapat menimbulkan reaksi kontraksi material yang bersifat destruktif. Fluktuasi membuat kemampuan objek untuk menyesuaikan diri dengan perubahan kemungkinan besar menyebabkan kerusakan, seperti retak atau terkelupas.

Pengaruh kelembapan relatif yang tinggi sama seperti temperatur tinggi, yaitu akan mempercepat terjadinya reaksi korosi pada patung gajah.

Selain itu, sarang serangga ditemukan pada prasasti berbahasa Thailand dan Arab-Melayu. Serangga seperti semut dan tawon cenderung membuat sarang di tempat yang cukup lembap untuk memenuhi kebutuhan air di sarang mereka. Kondisi lembap di sekitar koleksi mendukung proses pembentukan sarang serangga ini.

Lebih lanjut, akibat dari kelembapan relatif dan temperatur yang fluktuatif, cat putih pada pilar mengalami retak dan mengelupas, seperti yang terlihat pada tulisan prasasti berbahasa Belanda, Thailand, Indonesia, dan Arab-Melayu. Beberapa cat pada tulisannya telah mengalami penghilangan warna. Hal ini dapat terjadi akibat fluktuasi temperatur udara di sekitar koleksi, dan kelembapan relatif yang cukup tinggi memicu zat adhesif pada cat menghilang sehingga daya rekat cat pada pilar tidak lagi kuat (Formisano, 2020).

4.4.2 Respon

Respon giat konservasi koleksi patung gajah yang dilakukan adalah perawatan serta pelapisan koleksi. Perawatan merupakan proses lanjutan dari kegiatan identifikasi kondisi koleksi yang menentukan bahan dan metode perawatan yang dilakukan. Perawatan dilakukan terhadap patung gajah perunggu dan empat pilar penyangga. Seperti yang dijelaskan dalam bagian 4.1 tentang pentingnya kegiatan dokumentasi pada kegiatan konservasi, kegiatan perawatan seperti metode dan bahan yang digunakan didokumentasikan dalam sebuah form data menggunakan fasilitas borang/*Google docs*.

A. Patung Gajah

Perawatan yang dilakukan terdiri atas beberapa tahapan, yaitu pembersihan tingkat dasar, tingkat lanjut, dan pelapisan.

1. Pembersihan tingkat dasar

Pembersihan dilakukan pada permukaan koleksi patung gajah yang teridentifikasi terdapat debu, kotoran, serta noda putih di beberapa bagian.

Pada tahap ini pembersihan dilakukan secara manual menggunakan beberapa alat, seperti kain majun, tusuk sate, serta *scalpel* untuk membantu menghilangkan debu dan noda yang menempel pada permukaan.

2. Pembersihan tingkat lanjut

Pembersihan ini merupakan tahapan yang dilakukan jika koleksi tergolong dalam kondisi harus segera dilakukan perawatan. Pada koleksi patung gajah ini terdapat beberapa noda cokelat di bagian bawah kaki serta korosi cokelat dan hitam hampir di seluruh bagian. Dalam tahap ini digunakan bahan campuran larutan alkohol dan akuades dengan komposisi perbandingan volume 3:1, yang digunakan untuk menghilangkan sisa bahan konservasi sebelumnya, korosi, dan noda



Gambar 4.54 – Kegiatan Pembersihan Tingkat Dasar

yang menempel di permukaan dengan bantuan alat seperti kain majun dan sikat.

Setelah melalui proses pembersihan dengan larutan alkohol dan akuades, dilakukan perawatan menggunakan larutan seskuikarbonat. Larutan seskuikarbonat ini digunakan untuk menghilangkan korosi pada permukaan. Larutan seskuikarbonat dibuat dari campuran larutan natrium karbonat (NaCO_3) dan larutan natrium bikarbonat (NaHCO_3).

Konsentrasi yang digunakan dalam melakukan pembersihan tergantung dari kondisi koleksi. Untuk itu, sebelum pengaplikasian perlu dilakukan uji coba untuk mengetahui konsentrasi yang tepat.

Pada patung gajah perunggu dilakukan uji coba dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu larutan seskuikarbonat 3% dan 5% .



Gambar 4.55 – Proses Uji Coba dengan Larutan Seskuikarbonat

Dari hasil uji coba ternyata larutan seskuikarbonat 3% tidak cukup untuk menghilangkan korosi. Hal tersebut mungkin disebabkan patung gajah ini sudah lama berada di area terbuka sehingga korosi yang dihasilkan cukup tebal. Sementara



Gambar 4.56 – Perbandingan Hasil Penggunaan Seskuikarbonat 3% dan 5%



Gambar 4.57 – Proses Perawatan Koleksi Patung Gajah dengan Larutan Seskuikarbonat 5%

itu, larutan seskuikarbonat 5% dapat menghilangkan korosi dengan lebih baik.

Selanjutnya dilakukan perawatan menggunakan larutan seskuikarbonat 5%. Proses perawatan diawali dengan mencelupkan kapas dalam larutan seskuikarbonat dan meletakkannya di seluruh permukaan koleksi patung gajah. Setelah permukaan patung gajah tertutupi kapas, ditambahkan kain kasa sebagai penyangga kapas agar tidak jatuh atau terlepas.

Proses ini didiamkan hingga keesokan hari. Selanjutnya, patung gajah disikat menggunakan sikat halus untuk membantu menghilangkan korosi aktif dan dibilas



Gambar 4.58 – Proses Pembersihan dan Pembilasan Koleksi Patung Gajah

menggunakan air mengalir dan *teepol* berulang kali hingga netral (pH=7).

Kegiatan ini membutuhkan waktu sehari. Setelah mencapai kondisi netral, patung gajah dikeringkan dengan blower. Setelah kering, sementara waktu patung gajah ditutup menggunakan kertas bebas asam agar terhindar dari pengotor sebelum dilakukan tindakan selanjutnya.

Kegiatan ini membutuhkan waktu sehari. Setelah mencapai kondisi netral, patung gajah dikeringkan dengan blower. Setelah kering, sementara waktu patung gajah ditutup menggunakan kertas bebas asam agar terhindar dari pengotor



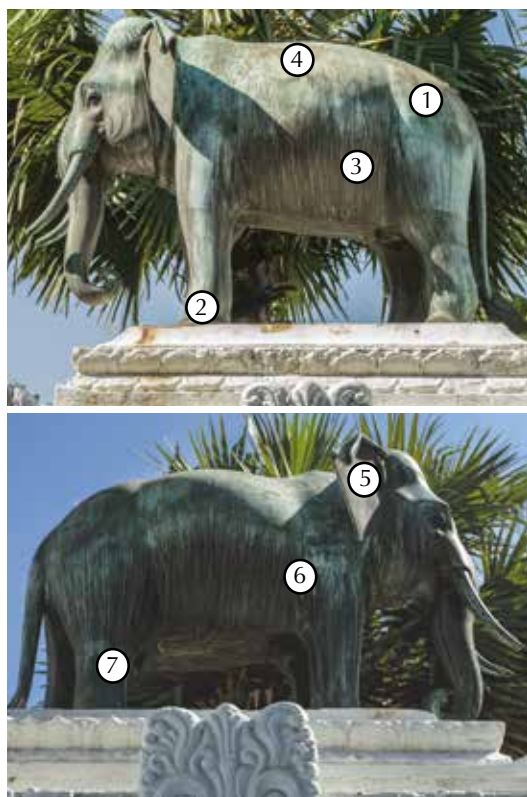
Gambar 4.59 – Bagian Patung Gajah sebelum (Kiri) dan sesudah Perawatan (Kanan)

sebelum dilakukan tindakan selanjutnya.

Pada hari berikutnya, patung gajah kembali dibersihkan, dibilas, dan dikeringkan untuk memastikan koleksi sudah bersih dari agen kerusakan. Berikut pada Gambar 4.59 di atas adalah hasil perbandingan bagian patung gajah sebelum dan sesudah perawatan.

Perawatan tingkat dasar dan tingkat lanjut bertujuan untuk menghilangkan kotoran dan korosi aktif yang

mengganggu koleksi. Penggunaan bahan kimia berupa larutan seskuikarbonat 5% efektif untuk menghilangkan korosi aktif pada patung gajah ini tanpa mengurangi konsentrasi komposisi penyusun logam utamanya. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil analisis menggunakan XRF portabel. Pada permukaan patung gajah dipilih tujuh titik sampling. Gambar 4.60 berikut adalah foto titik sampling pengukuran XRF portabel.



Gambar 4.60 – Titik Sampling untuk Pengukuran XRF pada Bagian Tampak Korosi

Resume hasil pengukuran ketujuh titik sampling tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

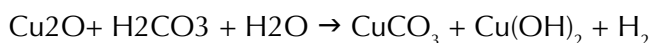
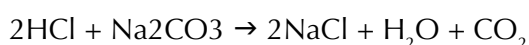
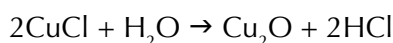
Tabel 4.7 – Perbandingan Komposisi Sebelum dan Sesudah Konservasi Patung Gajah.

No	Unsur penyusun	Kisaran komposisi unsur ($X_{min} - X_{max}$) (ppm)	Rerata (ppm)
1. Sebelum			
	Tembaga (Cu)	400681,03-787992,31	643219,5929
	Timah (Sn)	44430,58-104008,06	72513,15571
	Seng (Zn)	3902,34-14784,16	10366,14571
	Timbel (Pb)	15178,5-63490,2	33271,27143
	Klorida (Cl)	1933,51-65302,82	17787,98
2. Sesudah			
	Tembaga (Cu)	400976,25 - 755136,06	634409,349
	Timah (Sn)	56589,14 - 188549,59	96301,5986
	Seng (Zn)	9930,49 - 23886,03	14738,046
	Timbel (Pb)	20298,59 - 50005,6	28798,744
	Klorida (Cl)	1257,6 – 25098	5866,7143

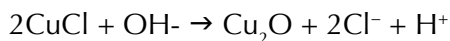
Dari data di atas dapat dilihat bahwa perbandingan unsur logam penyusun (Cu, Sn, Zn, dan Pb) tidak mengalami perubahan konsentrasi. Sementara itu, korosi aktif yang ditandai oleh keberadaan kandungan ion klorida (Cl⁻) berkurang sangat signifikan. Hasil ini membuktikan bahwa kegiatan pembersihan dengan metode dan bahan yang dilakukan efektif

untuk menghilangkan korosi aktif (*bronze disease*).

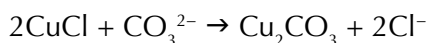
Berdasarkan referensi (Scott, 2002), seskuikarbonat mampu menghilangkan tembaga klorida dari lapisan korosi pada permukaan logam perunggu. Larutan seskuikarbonat merupakan larutan dengan rumus molekul NaHCO_3 atau Na_2CO_3 dan memiliki pH sekitar 10. Dengan tingkat kebasaan seperti ini, tembaga klorida menjadi tidak stabil dan dapat diubah menjadi tembaga. Asam klorida yang dilepaskan kemudian dinetralkan oleh karbonat dan membentuk natrium klorida.



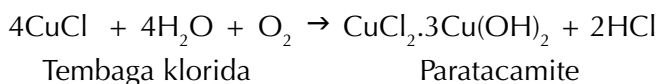
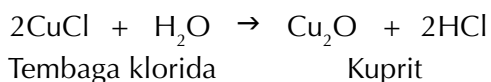
Sifat kebasaan dari seskuikarbonat juga mampu bereaksi melalui reaksi berikut.



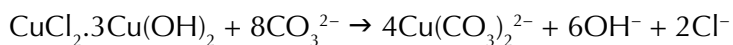
Selain itu, pada penggunaan seskuikarbonat, pelepasan ion klorida disebabkan oleh adanya kemampuan pengompleksan dari seskuikarbonat. Reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut.



Tembaga klorida pada korosi akan bereaksi dengan air, menghasilkan dua kemungkinan produk, yaitu kuprit (yaitu korosi perunggu normal) atau *paratacamite* (yaitu pembentukan *bronze disease*).



Peningkatan kelarutan mineral seperti *atacamite*, *botallackite* dan *paratacamite* (MacLeod, 1987) dalam media karbonat mudah dilihat dari munculnya warna biru yang terlihat dari larutan bilasan. Reaksi yang terjadi adalah:

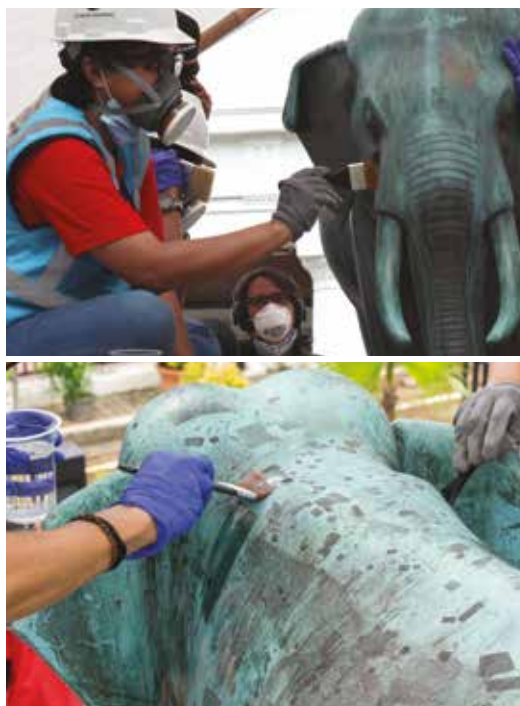


Berdasarkan percobaan yang dilakukan (Oddy dan Hughes, 1970), sejumlah tembaga klorida dengan konsentrasi yang sama direaksikan dengan larutan natrium seskuikarbonat.

- **Pelapisan koleksi**

Setelah patung gajah perunggu bersih, tahap selanjutnya dilakukan kegiatan. Pelapisan koleksi dilakukan dengan tujuan menghalangi kontak langsung permukaan logam dengan lingkungan. Dengan demikian, paparan kotoran, debu, dan noda tidak langsung menempel pada permukaan logam.

Pelapisan koleksi patung gajah menggunakan bahan kimia Paraloid B-72 dengan pelarut toluena dan konsentrasi 5%. Larutan dibuat dengan mencampurkan Paraloid B-72 sedikit demi sedikit ke dalam toluen yang diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di dalam ruang lemari asam kemudian didiamkan



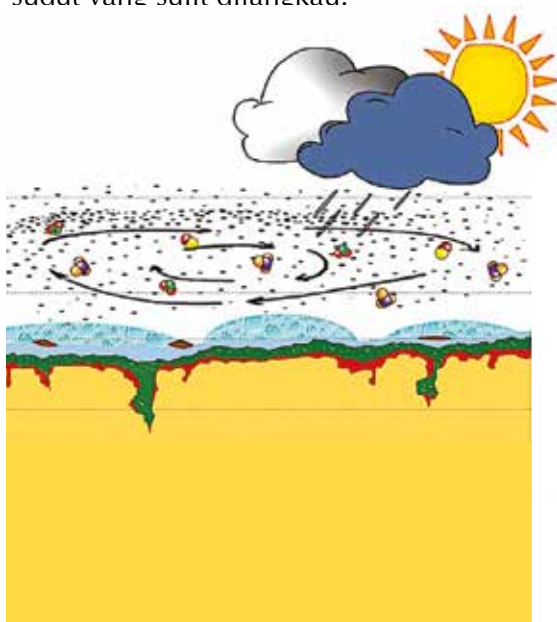
Gambar 4.61 – Kegiatan Pelapisan Koleksi Patung Gajah Menggunakan Larutan Paraloid B72 5%



Gambar 4.62 – Bagian Patung Gajah sebelum (Kiri) dan sesudah Pelapisan (Kanan)

satu malam agar larutan homogen.

Larutan kemudian diaplikasikan ke permukaan koleksi menggunakan kuas secara tipis dan merata. Konservator harus teliti dalam memastikan seluruh bagian permukaan patung gajah terlapsi, terutama bagian-bagian yang sulit dijangkau. Kuas halus dengan berbagai ukuran harus disediakan untuk berbagai kondisi permukaan, terutama di bagian sudut yang sulit dijangkau.



Gambar 4.63 – Skema Representasi Sistem Pelapisan Pelindung terhadap Lingkungan (Artesani, 2020)

Setelah pelapisan, koleksi akan tampak lebih mengilat sebagai efek dari terbentuknya lapisan polimer Paraloid B-72 seperti yang terlihat pada Gambar 4.62 di atas.

Secara umum, terjadinya korosi pada artefak perunggu disebabkan oleh adanya polutan-polutan di atmosfer berupa gas dan partikulat yang menempel pada permukaan artefak. Adanya pelapis pelindung pada permukaan patung gajah mencegah terjadinya reaksi kimia polutan dengan logam tembaga yang merupakan spesi dalam logam perunggu yang paling dominan. Pelapis pelindung seperti Paraloid B-72 digunakan karena paraloid merupakan polimer sintetik yang secara umum bersifat sangat stabil. Secara lebih jelas, skema representasi sistem pelapisan pelindung terhadap lingkungan disampaikan oleh Artesani (2020) bahwa lapisan pelindung melindungi permukaan logam dari cuaca dan polusi udara.

B. Pilar

Berdasarkan analisis, kondisi pilar masih stabil, tetapi terdapat kotoran seperti debu, noda cokelat, dan lumut yang menempel pada bagian bawah walaupun terdapat beberapa bagian cat yang mengelupas. Untuk itu, kegiatan pembersihan yang dilakukan adalah



Gambar 4.64 – Kegiatan Pengambilan Sampel dan Pembersihan Tingkat Dasar Pilar dan Prasasti

pembersihan tingkat dasar dengan menggunakan kuas dan akuades.

Selanjutnya perlu dilakukan perbaikan terhadap beberapa bagian cat pada pilar yang mengelupas.

4.5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

4.5.1 Kesimpulan

Patung gajah perunggu merupakan paduan logam dengan komposisi utama tembaga (Cu) dan timah (Sn) serta komposisi tambahan seng (Zn)

dan timbel (Pb). Patung gajah perunggu ditopang oleh penyangga berupa pilar yang dilengkapi dengan prasasti di tiap-tiap sisinya. Tulisan di prasasti tersebut menjelaskan sejarah tentang patung gajah dalam empat bahasa yang berbeda.

Patung gajah perunggu berada di ruang pameran terbuka sejak tahun 1871 sehingga terdapat noda dan banyak korosi aktif (*bronze disease*). Kegiatan pembersihan yang dilakukan menggunakan larutan seskuikarbonat terbukti efektif untuk membersihkan pengotor pada patung gajah perunggu. Selanjutnya, karena kondisi fisik patung gajah dinilai cukup stabil, hanya dilakukan pelapisan menggunakan bahan Paraloid B-72 untuk melindungi permukaan dari pengaruh lingkungan.

Kondisi pilar penyangga patung gajah cukup stabil, tetapi terdapat noda cokelat dan lumut sehingga hanya dilakukan pembersihan dasar secara fisik menggunakan sikat dan akuades.

Berdasarkan hasil pemantauan lingkungan patung gajah perunggu beserta pilar, agen kerusakan yang memengaruhi kondisi koleksi adalah air, hama, kontaminan (polusi udara, partikulat, dan hujan asam), cahaya, kelembapan relatif, dan temperatur yang tidak sesuai.

Lokasi patung gajah di area terbuka dalam jangka waktu lama harus dipertimbangkan kembali. Ancaman agen kerusakan yang ada di area terbuka bisa saja meningkat waktu demi waktu walaupun kegiatan konservasi sudah dilakukan untuk meminimalkan kerusakan yang terjadi.

4.5.2 Rekomendasi

Untuk mencegah koleksi agar tidak mengalami deteriorasi (penurunan mutu), lebih lanjut dirumuskan

rekomendasi untuk jangka panjang dan jangka pendek.

A. Rekomendasi Jangka Pendek

Untuk rekomendasi jangka pendek, perlu dilakukan kegiatan konservasi dengan tahapan sebagai berikut.

1. Pembersihan Tingkat Dasar

Pembersihan tingkat dasar dilakukan untuk membersihkan debu/kotoran yang menempel pada logam. Hal ini sangat penting dilakukan karena debu akan membentuk lapisan yang sangat higroskopis. Hal ini dapat meningkatkan kelembapan di permukaan logam.

2. Pembersihan Tingkat Lanjut

Pembersihan tingkat lanjut dilakukan untuk mengangkat korosi aktif karena korosi aktif akan memakan logam sehingga akan menyebabkan kerusakan yang berkelanjutan.

3. Pelapisan Koleksi

Pelapisan koleksi bertujuan untuk melindungi permukaan logam dari kontak langsung dengan lingkungan. Pelapisan koleksi selanjutnya diikuti dengan perbaikan cat yang mengelupas pada beberapa bagian pilar.

B. Rekomendasi Jangka Panjang

Selanjutnya, rekomendasi jangka panjang yang perlu dilaksanakan adalah sebagai berikut.

1. Pemeriksaan dan Konservasi Secara Rutin

Koleksi yang diletakkan di ruang terbuka memiliki risiko kerusakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan koleksi yang diletakkan di ruangan tertutup atau *storage*. Oleh karena itu, untuk mencegah kerusakan akibat iklim, kekuatan fisik, dan vandalisme, konservasi berkala dan teratur diperlukan, misalnya memperbarui bahan lapisan pelindung untuk mencegah degradasi. Jika koleksi

tersebut dilindungi oleh pendukung seperti pilar atau pelindung, pendukung atau pelindung itu harus turut diperhatikan pemeliharannya. Pendukung atau pelindung merupakan bagian dari koleksi sehingga pemeliharannya harus dijadwalkan secara teratur.

2. Pembuatan Bangunan Pelindung

Tujuannya adalah untuk menghalangi agen kerusakan berkontak langsung dengan patung gajah dan pilar, tetapi dengan tetap memperhatikan keindahan tampilan pameran.

3. Pencarian Lokasi yang Lebih Aman

Ada beberapa strategi untuk mencegah kerusakan dalam pemeliharaan koleksi di ruang pamer terbuka. Namun, pemeliharaan ruang pamer terbuka sangat memakan waktu dan mahal. Jika memungkinkan dapat dibandingkan biaya pemeliharaan jangka panjang di ruang pamer terbuka dengan biaya penyediaan penyimpanan dan ruang pamer tertutup yang aman, sesuai dengan tujuan koleksi. Dengan penyimpanan di ruang pamer tertutup, penyebab utama kerusakan menjadi lebih sedikit, tidak terlalu parah, dan kerusakan dapat lebih mudah dikendalikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Artesani, Alessia et al. (2020). "Recent Advances in Protective Coatings for Cultural Heritage--An Overview". *Coatings*, Vol. 10(3).
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2021). "Indeks Sinar Ultraviolet (UV)". Dipetik 19 Juli 2021. <https://www.bmkg.go.id/cuaca/indeks-uv.bmkg>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2021). "Informasi Kimia Air Hujan". Dipetik 6 Juli 6 2021. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-kimia-air-hujan.bmkg>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2021). "Informasi Konsentrasi Partikulat (PM10)". Dipetik 6 Agustus 6 2021. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-partikulat-pm10.bmkg>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2021). "Informasi Konsentrasi Partikulat (PM2.5)". Dipetik 6 Agustus 2021. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-partikulat-pm25.bmkg>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2021). "Informasi Ozon (O₃)". Dipetik 10 Juli 2021. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-ozon.bmkg>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2021, Juni). "Monitoring Nitrogen Dioksida (NO₂) (Juni 2021)". Dipetik 6 Juli 2021. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-no2.bmkg>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2021, Juni). "Monitoring Sulfur Dioksida (SO₂) (Juni 2021)". Dipetik 6 Juli 2021. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-so2.bmkg>.
- Badan Pusat Statistik. (2017, Februari). "Tekanan Udara dan Penyinaran Matahari di Stasiun Pengamatan BMKG, 2011–2015". Dipetik 19 Juli 2021. <https://www.bps.go.id/statictable/2017/02/09/1962/tekanan-udara-dan-penyinaran-matahari-di-stasiun-pengamatan-bmkg-2011-2015.html>.
- Barclay, Robert L., C. D. (2021). "Caring For Metal Objects". Diambil kembali dari Canada Conservation Institute. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/metal-objects.html#a2b>.

- Brown, T.E., LeMay, E.H., Bursten, B.E., Murphy, C., Woodward, P., dan Stoltzfus, M.E. (2015). *Chemistry: The Central Science (13th Edition)*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Burke, M. (2002). "Appendix O, Curatorial Care of Metal Objects". Dalam *NPS Museum Handbook Part I: Museum Collections* (hal. O:1–O:15). Washington D.C.: The National Park Service Museum Management Program.
- Casanova Municchia, A. (Ed.). (2016). "Characterisation of Artificial Patinas on Bronze Sculptures of the Carlo Bilotti Museum (Rome). *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 1–8.
- Chen, Z.Y., Zakipour, S., Persson, D., dan Leygraf, C. (2004). "The Effect of Sodium Chloride Particles on the Atmospheric Corrosion of Pure Copper". *Corrosion*, 60(5): 479–491.
- Dean, D. (1996). *Museum Exhibition: Theory and Practice*. London: Routledge.
- Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta. (2021, Juni 28). "Laporan Kualitas Udara Jakarta". Dipetik 6 Juli 2021. <https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/files/33939-2021-06-29-01-36-33.pdf>.
- E. Bernardi, Bowden, D., Brimblecombe, P., Kenneally, H., dan Morsellia, L. (2009). "The Effect of Uric Acid on Outdoor Copper and Bronze". Elsevier, 2383–2389.
- Herman, V. (1990). *Pedoman Konservasi Koleksi Museum*. Jakarta: Proyek Peningkatan dan Pengembangan Museum Jakarta.
- Jacob, J.M., dan Wharton, G. (2005). "Caring for Outdoor Bronze Plaques, Part I: Documentation and Inspection". *Conserve O Gram*, 10/4.
- Jegdic, B., Polic-Radovanovic, S., Ristic, S., dan Alil, A. (2012). "Corrosion of Archaeological Artefact Made of Forged Iron". Dalam *Metallurgical and Materials Engineering*, Vol. 18 (3): 233–240.
- Jiao, W., Shen, W., Rahman, Z.U., dan Wang, D. (2016). "Recent Progress in Red Semiconductor Photocatalysts for Solar Energy Conversion and Utilization". *Nanotechnology Reviews*, Vol. 5 (1): 135–145.
- Karthikeyan, C., Arunachalam, P., Ramachandran, K., Al-Mayouf, A.M., dan Karupuchamy, S. (2020). "Recent Advances in Semiconductor Metal Oxides with Enhanced Methods for Solar Photocatalytic Applications". *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 828 (154281).

- Keene, S. (2002). *Managing Conservation in Museums*. Second Edition. Jordan Hill: Linacre House.
- Leygraf, C., Chang, T., Herting, G., dan Odnevall Wallinder, I. (2019). "The Origin and Evolution of Copper Patina Colour". *Corrosion Science*, Vol. 157: 337–346.
- Logan, J. (2007). *Canadian Conservation Institute Notes: Recognizing Active Corrosion*. Canada: Minister of Public Works and Government Service Canada.
- Lord, B. (Ed.) (2002). *The Manual of Museum Exhibitions*. Lanham: Altamira Press.
- MacLeod, I.D. (1987). "Conservation of Corroded Copper Alloys: A Comparison of New and Traditional Methods for Removing Chloride Ions". *Studies in Conservation*, Vol. 32 (1): 25–40.
- Michalski, S. (2016). *The ABC Method: a Risk Management Approach to the Preservation of Cultural Heritage*. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Michalski, S. (2017, Mei 28). "Agent of Deterioration: Incorrect Temperature". Dipetik 15 Agustus 2021. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/temperature.html>.
- Michalski, S. (2018, Mei 17). "Agent of Deterioration: Light, Ultraviolet and Infrared". Dipetik 15 Agustus 2021. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/light.html>.
- National Park Service. (2016). "Chapter 4: Museum Collections Environment". Dalam *N.P. Program, The Museum Handbook Part I: Museum Collections*. Washington DC: U.S. Departement of the Interior.
- Oddy, W., dan Hughes, W.A. (1970). "The Stabilization of 'Active' Bronze and Iron Antiquities by the Use of Sodium". *Studies in Conservation*, Vol. 15 (3): 183–189.
- Omar, M.Z. (2011). "The Impact of Acid Rain on Historical Buildings in Kuala Lumpur, Malaysia". *Common Ground Research Networks*, Vol. 5 (6): 175–192.
- Robbiola, L. (1993). "New Model of Outdoor Bronze Corrosion and Its Implications for Conservation". *ICOM Committee for Conservation Tenth Triennial Meeting*, 796–802.
- Robbiola, L. (Ed.). (2014). "New Model of Outdoor Bronze Corrosion and Its Implications for Conservation to Cite This Version: New Model of Outdoor Bronze Corrosion and Its Implications for Conservation".

- Roberge, P.R. (2020). Corrosion Basics: Atmospheric Corrosion of Iron and Steel. Diambil kembali dari *Materials Performance*. <https://www.materialsperformance.com/articles/corrosion-basics/2020/05/corrosion-basics-atmospheric-corrosion-of-iron-and-steel>.
- Saad, Z.M. (2013, Maret 7). "Course Outline: Preventive Conservation". Diambil kembali dari YU Faculty Websites: <http://faculty.yu.edu.jo/zalsaad/Lists/Taught%20Courses/DispForm.aspx?ID=32>.
- Scott, D.A. (2002). *Copper and Bronze in Art: Corrosion, Colorants, Conservation*. Los Angeles: Getty Publications.
- Siswanto. (2015). "Temperature, Extreme Precipitation, and Diurnal Rainfall Changes in the Urbanized Jakarta City during the Past 130 Years". *International Journal of Climatology*, Vol. 36 (9).
- Steiger, M. (2015). *Air Pollution Damage to Stone*. Imperial Collage Press.
- Strandberg, H. (1997). *Perspectives on Bronze Sculpture Conservation: Modelling Copper and Bronze Corrosion*. Göteborg: Göteborgs Universitet.
- Tétreault, J. (2021, February 17). *Agent of Deterioration: Pollutants*. Diambil kembali dari Canada Conservation Institute: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html>.
- Tremain, D. (2017, September 26). *Agent of Deterioration: Water*. Diambil kembali dari Canadian Concervation Institute: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/water.html>.
- Wang, Z., Wang, M., Jiang, J., Lan, X., Wang, F., Geng, Z., dan Tian, Q. (2020). "Atmospheric Corrosion Analysis and Rust Evolution Research of Q235 Carbon Steel at Different Exposure Stages in Chengdu Atmospheric Environment of China". Scanning.
- Watkinson, D.E., dan Emmerson, N.J. (2017). "The Impact of Aqueous Washing on the Ability of βFeOOH to Corrode Iron". *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 24 (3): 2138–2149.
- Wu, Y.L., and Davidson, I.C. (1992). "Dry Deposition of Atmospheric Contaminants: The Relative Importance of Aerodynamic, Boundary Layer, and Surface Resistances". *Aerosol Science and Technology*, Vol. 16 (1): 65–81.



Zamana, L.V., dan Usmanov, M.T. (2007). "Thermodynamic and Hydrogeochemical Formation Conditions of Brochantite as a Crystalline Hydrate: A Case of the Udokan Copper Deposit". *Doklady Earth Sciences*, Vol. 413 (1): 269–271.

Zulys, A. (2021, Juli 27). "Korosi pada Bahan Berbasis Logam di Ruang Terbuka pada Benda-benda Koleksi".

A person wearing a black face mask and white gloves is working on a glass display case. The person is on the left side of the frame, reaching into the case with their right hand. The case is made of clear glass and sits on a white base. Inside the case, there are two ancient artifacts: a small, dark, cylindrical object and a larger, dark, rounded object. A white label is visible on the left side of the case. The background is slightly blurred, showing other display cases and a green wall.

BAB 5

Konservasi Koleksi di Ruang Pamer Tertutup



Beberapa studi menunjukkan adanya korelasi kondisi lingkungan terhadap kerusakan koleksi. Pencahayaan alami dan buatan, temperatur, kelembapan relatif, polutan, material dan struktur bangunan serta vitrin adalah faktor-faktor yang memiliki hubungan dan efek kumulatif terhadap proses deteriorasi koleksi di ruang pameran tertutup.

(Balocco & Vestrucci, 2020; Elizabeth, 2013)

BAB 5

KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERTUTUP

Farah Dhita Hasanah, S.Si.
Baninka Azhim Askari, S.Si.
Rio Hardiansyah, S.Si.
Utami Chusnul Chotimah, S.Si.

5.1 TUJUAN

Salah satu kegiatan pengelolaan teknis koleksi dilakukan melalui penyimpanan dan pemeliharaan. Koleksi dipamerkan dan disimpan baik di dalam ruang pameran maupun di ruang penyimpanan yang tertutup ataupun terbuka. Tulisan ini bertujuan untuk membahas praktik pemeliharaan khususnya konservasi koleksi yang dipamerkan di dalam lemari pameran (vitrin) pada ruang tertutup, serta interaksinya dengan agen penyebab kerusakan koleksi yang ada di sekitarnya. Vitrin sebagai wadah simpan koleksi berperan penting dalam mewujudkan visibilitas koleksi terhadap pengunjung, sekaligus berfungsi sebagai pelindung koleksi. Permukaan vitrin yang terbuat dari kaca atau bahan transparan lainnya membuat koleksi di dalamnya tetap dapat terlihat jelas dari luar, tetapi

keamanannya tetap terjaga dengan baik (Welchman, 2017).

Ruang pameran tertutup juga memiliki aspek-aspek lingkungan lain yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan teknis koleksi. Beberapa studi menunjukkan adanya korelasi kondisi lingkungan terhadap kerusakan koleksi. Pencahayaan alami dan buatan, temperatur, kelembapan relatif, polutan, material, dan struktur bangunan serta vitrin adalah faktor-faktor yang memiliki hubungan dan efek kumulatif terhadap proses deteriorasi koleksi di ruang pameran tertutup (Balocco dan Vestrucci, 2020; Elizabeth, 2013).

Melihat besarnya pengaruh kondisi lingkungan ruang pameran tertutup di sekitar koleksi, perlu diperhatikan pengaruh beberapa aspek seperti temperatur dan kelembapan relatif yang tidak sesuai, serta polutan berupa gas dan materi partikulat



Gambar 5.1 – Ilustrasi Agen-Agen Kerusakan yang Dapat Merusak Koleksi di Sekitar Koleksi Pelindungnya

di sekitar koleksi yang diletakkan di ruang pameran tertutup, khususnya koleksi berbahan perunggu yang dipamerkan di Museum Nasional (Gambar 5.1).

5.2 PEMILIHAN KOLEKSI

Museum Nasional memamerkan koleksi-koleksi berbahan perunggu di ruang pameran tertutup lantai 2 Gedung B. Dari bermacam-macam koleksi berbahan perunggu tersebut terdapat dua koleksi berbahan perunggu dengan bentuk tiga dimensi yang dapat ditelaah lebih lanjut proses konservasinya, baik secara interventif maupun preventif. Kedua koleksi yang dimaksud adalah Prasasti Sadapaingan dan Arca Lokanatha yang

dipamerkan di dalam vitrin tertutup. Keduanya memiliki inskripsi atau tulisan aksara yang tertulis di permukaannya sehingga keduanya dapat digolongkan sebagai prasasti tiga dimensi. Prasasti ini menjadi unik karena inskripsi prasasti lain kebanyakan ditorehkan pada media dua dimensi seperti pelat perunggu atau daun lontar.

Meskipun kedua koleksi berlokasi di ruang pameran lantai 2 Gedung B (Gambar 5.2 dan Gambar 5.3), keduanya diletakkan pada lorong atau zona pameran yang berbeda. Hal ini menarik untuk diketahui, apakah terdapat efek signifikan dari perbedaan lingkungan area pameran di lantai yang sama? Selain



Gambar 5.2 – Prasasti Sadapaingan di Ruang Pamer Lantai 2 Gedung B, Museum Nasional

itu, kedua koleksi ini ditempatkan pada vitrin kaca yang terpisah dengan koleksi yang terbuat dari material lain. Hal ini meminimalisasi kemungkinan intervensi dari polutan yang dihasilkan koleksi lain

dengan jenis bahan berbeda. Kondisi koleksi dan lingkungannya menjadikan kedua koleksi ini menarik untuk dikaji sebagai koleksi berbahan perunggu di dalam ruang pamer tertutup.



Gambar 5.3 – Arca Lokanatha (Kanan) di Ruang Pamer Lantai 2 Gedung B, Museum Nasional



Gambar 5.4 – Prasasti Sadapaingan Nomor Inventaris 970. Prasasti Bagian Atas (Atas) dan Aksara yang Tertera pada Prasasti (Bawah)



Gambar 5.5 – Pengamatan Permukaan Prasasti Sadapaingan dengan Mikroskop Digital



Gambar 5.6 – Dimensi dan Detail Kerusakan Prasasti Sadapaingan. Bagian Hilang dan Berlubang pada Ujung Prasasti (A) dan Goresan (B)

5.3 KONDISI KERUSAKAN DAN KOMPOSISI UNSUR KOLEKSI

5.3.1 Prasasti Sadapaingan

Prasasti Sadapaingan (Gambar 5.4) dipamerkan dalam vitrin tertutup di lantai 2 Gedung B Museum Nasional bersama dengan satu koleksi sejenis. Prasasti dengan nomor inventaris 970 ini berbentuk tabung berongga dengan panjang 40 cm dan diameter 11 cm. Pada prasasti ini terdapat aksara “kuadrat”, 1151 Saka (1229 M), yang umum ditulis pada prasasti-prasasti dari masa Kerajaan Kadiria pada abad ke-12 M (Nastiti dan Djafar, 2017).

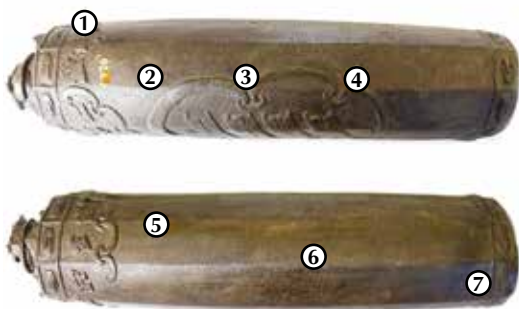
Pada proses identifikasi dilakukan pengamatan dengan mikroskop digital untuk melihat kemungkinan adanya korosi atau kerusakan berukuran mikro (Gambar 5.5). Koleksi ini memiliki permukaan halus berwarna hitam gelap mengkilap karena adanya zat pelapis Paraloid B-72. Kerusakan yang ditemukan pada koleksi ini antara lain adalah goresan, bagian hilang dan berlubang pada bagian ujung, namun tidak ditemukan korosi aktif pada permukaan koleksi (Gambar 5.6).

Analisis komposisi unsur logam menggunakan spektrofotometri fluoresens sinar-X (*X-ray Fluorescence* (XRF)) dengan



Gambar 5.7 – Analisis Komposisi Unsur Prasasti Sadapaingan Menggunakan Spektrofotometer XRF

mode *General Metals* (Gambar 5.7), dilakukan pada tujuh titik sampel di permukaan koleksi Prasasti Sadapaingan (Gambar 5.8). Berdasarkan hasil analisis tersebut diketahui bahwa koleksi ini termasuk jenis perunggu timbel karena ditemukan tembaga (Cu), timah (Sn), dan timbel/plumbum (Pb) sebagai komposisi utama perunggu, dan seng (Zn) sebagai unsur tambahan (Tabel 5.1). Berdasarkan hasil analisis XRF diketahui bahwa koleksi ini termasuk jenis perunggu timbel, karena pada koleksi ini ditemukan tembaga (Cu), timah (Sn), dan timbel (Pb) sebagai komposisi utama perunggu, dan seng (Zn) sebagai unsur tambahan (Tabel 5.1).



Gambar 5.8 – Tujuh Titik Sampel Analisis Komposisi Unsur pada Prasasti Sadapaingan

Tabel 5.1 – Kandungan Unsur pada Prasasti Sadapaingan

No.	Nama Unsur	Simbol	Rata-Rata Persentase Kandungan (%)
1.	Tembaga	Cu	37,46
2.	Timah	Sn	35,74
3.	Timbel/Plumbum	Pb	14,96
4.	Seng	Zn	0,70

Dari hasil analisis kondisi koleksi dan komposisi unsur koleksi yang dilakukan, rekomendasi tindakan konservasi yang diperlukan adalah perawatan dasar berupa pembersihan debu dengan bantuan kuas dan penyedot debu. Pada proses pengembalian koleksi ke dalam vitrin, diletakkan pula desikan (gel silika biru) sebagai agen pengendali kelembapan relatif. Faktor-faktor lingkungan seperti temperatur, kelembapan relatif, serta polutan berupa gas dan materi partikulat perlu dipantau secara periodik untuk melihat risiko kerusakan yang dapat dihasilkan pada Prasasti Sadapaingan.

5.3.2 Arca Lokanatha

Arca Lokanatha (Gambar 5.9) dipamerkan dalam vitrin kaca tertutup di ruang pameran lantai 2 Gedung B Museum Nasional. Arca ini terdiri atas arca Lokanatha Abanga yang berdiri di bagian tengah arca dan (semestinya) diapit oleh dua arca Dewi Tara yang duduk bersila di atas padmasana ganda. Namun, salah satu arca Tara ini sudah tidak ada di tempatnya. Koleksi ini memiliki tinggi 44 cm termasuk lapik (alas) dengan tinggi 10 cm, panjang 43 cm, dan lebar 17,3 cm. Pada prasasti ini terdapat aksara Paleo-Sumatra (Sumatra



Gambar 5.9 – Arca Lokanatha, Nomor Inventaris 626d

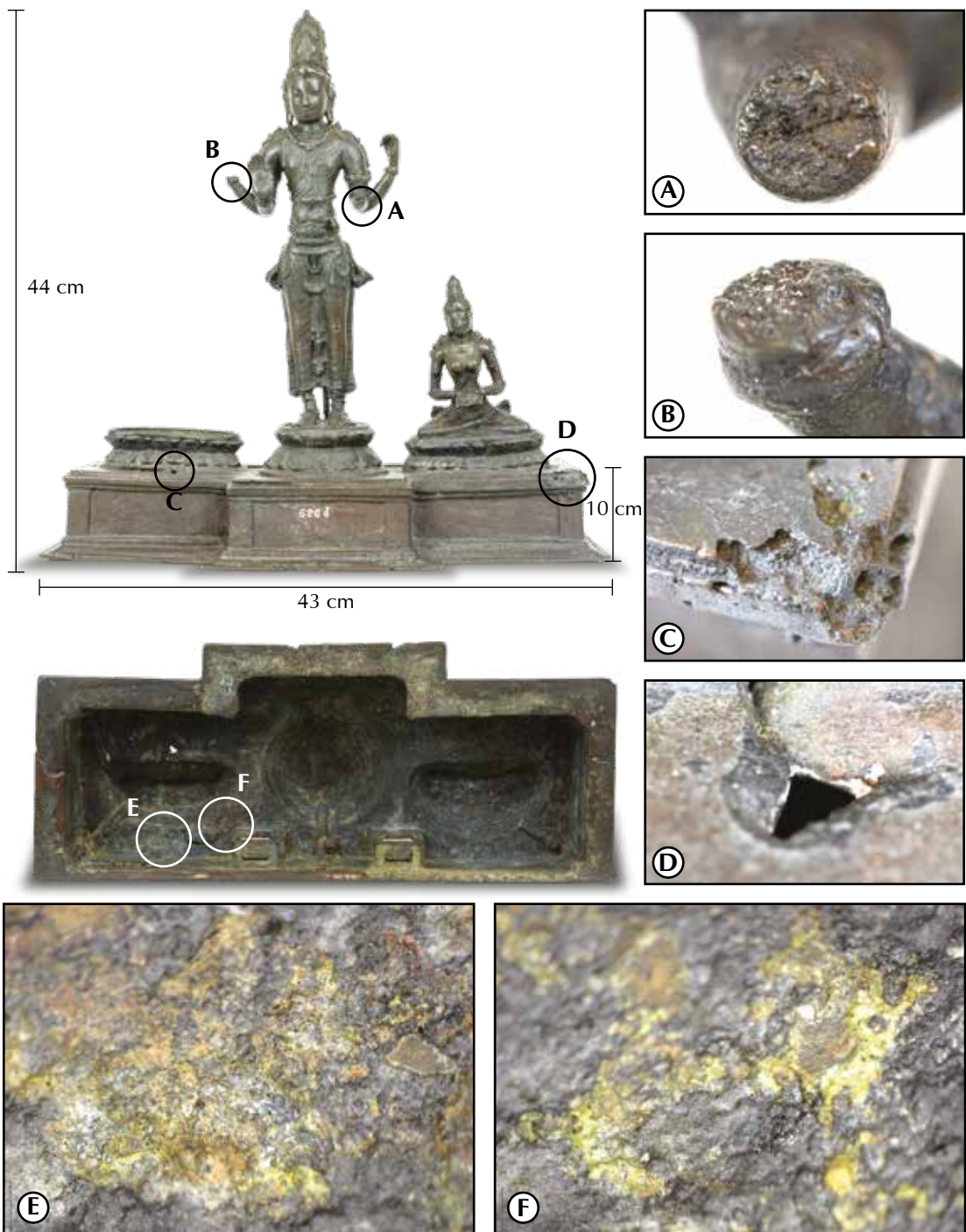
Kuno) dan digunakan dua bahasa, yaitu bahasa Sanskerta dan bahasa Melayu pada lapik bagian belakang (Nasoichah dan Anadhifani, 2020).



Gambar 5.10 – Pengamatan Permukaan Arca Lokanatha dengan Mikroskop Digital

Proses identifikasi dilakukan melalui pengamatan dengan mikroskop digital untuk melihat kemungkinan adanya korosi atau kerusakan berukuran mikro (Gambar 5.10). Koleksi ini memiliki permukaan halus berwarna hitam gelap mengkilap karena adanya zat pelapis Paraloid B-72. Beberapa kerusakan lain yang ditemukan adalah dua lengan bawah kanan dan kiri hilang, Arca Dewi Tara sebelah kanan hilang, lubang di dekat Arca Dewi Tara bagian kanan, geripis pada bagian ujung kiri lapik (alas), dan ditemukannya korosi aktif pada bagian bawah lapik (Gambar 5.11).

Korosi aktif yang ditemukan di bawah lapik Arca Lokanatha berwarna kehijauan, diperkirakan terbentuk dari reaksi tembaga dalam perunggu dengan klorida, sulfat, karbonat, dan nitrat. Umumnya, penyebab terjadinya korosi hijau pada koleksi perunggu adalah klorida dan sulfat. Klorida mungkin berasal dari lingkungan ekskavasi koleksi



Gambar 5.11 – Kerusakan pada Arca Lokanatha.

A & B. Bagian Tangan Arca Abanga yang Hilang Sebagian; **C.** Bagian Ujung Dasar Arca yang Geripis; **D.** Lubang pada Papik; **E & F.** Foto Mikro Korosi Kehijauan pada Bagian dalam Dasar Lapik.

(Perbesaran Foto E 52,7x dan Perbesaran Foto F 48,1x)

yang kemudian berinteraksi dengan uap air atau garam lainnya di sekitar koleksi, sedangkan sulfur dioksida dapat berasal dari polusi di sekitar museum yang bereaksi dengan uap air di udara membentuk asam sulfat yang kemudian

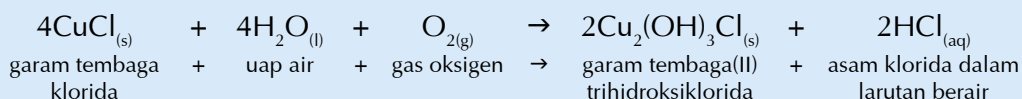
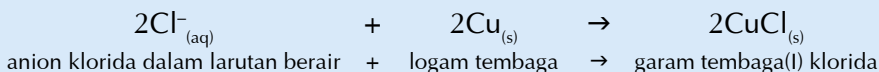
berinteraksi dengan koleksi (Hatchfield, 2002; Oudbashi, 2014). Perbedaan penyebab korosi menghasilkan jenis korosi yang berbeda pula. Berikut adalah jenis-jenis korosi yang dapat muncul pada tembaga dan paduannya (Tabel 2).

Tabel 5.2 – Jenis Karat yang Terdapat pada Tembaga

Senyawa Kimia	Nama Mineral	Rumus Kimia	Warna
Oksida	Kuprit	Cu_2O	Merah-oranye
	Tenorit	CuO	Hitam
Karbonat	Malasit	$\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$	Hijau
	Azurit	$2\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$	Biru
	Kalkonatronit	$\text{Na}_2(\text{CuCO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Hijau/biru
Klorida	Nantokite	CuCl	Hijau/putih
Klorida dasar	Atasamit	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	Hijau
	Paratasamit	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	Hijau pucat
	Botallakit	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	Hijau/biru pucat
Sulfida	Kalkosit	Cu_2S	Hitam
	Kovelit	CuS	Hitam
Sulfat	Brokantit	$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$	Hijau

Pada umumnya, korosi yang terjadi pada logam tembaga seperti perunggu disebabkan oleh adanya anion klorida dalam kondisi udara lembap (mengandung uap air). Dalam kondisi ini akan terbentuk lapisan-lapisan hasil reaksi keduanya secara perlahan. Ketika logam tembaga mengalami kontak dengan anion klorida, akan terbentuk lubang yang permukaan dindingnya dipenuhi dengan tembaga klorida. Lubang-lubang ini merusak permukaan logam, mengganggu tampilan asli objek, dan mengaburkan detail permukaan. Lubang-lubang ini juga

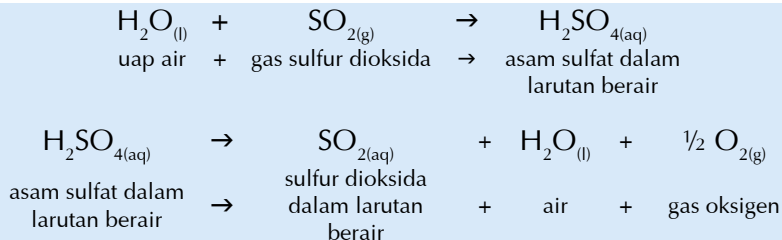
bersifat autokatalitik yang berarti bahwa begitu lubang ini muncul untuk pertama kalinya, lubang itu akan terus membesar dan membentuk lubang-lubang tambahan sampai klorida tembaga dihilangkan. Selain dalam bentuk tembaga klorida, korosi yang terjadi pada logam tembaga akibat adanya anion klorida juga membentuk tembaga(II) trihidroksiklorida. Beberapa tembaga(II) trihidroksiklorida yang terkait reaksi ini adalah *atacamite*, *paracamite*, *clinoatacamite*, dan *botallackite* (MacLeod, 1981; Scott, 1900).



Reaksi pembentukan garam tembaga (II) trihidroksiklorida

Perunggu juga dapat mengalami korosi ketika bersentuhan dengan sulfat membentuk brokantit ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$), di mana sulfur dioksida (SO_2) dapat bereaksi dengan uap air membentuk

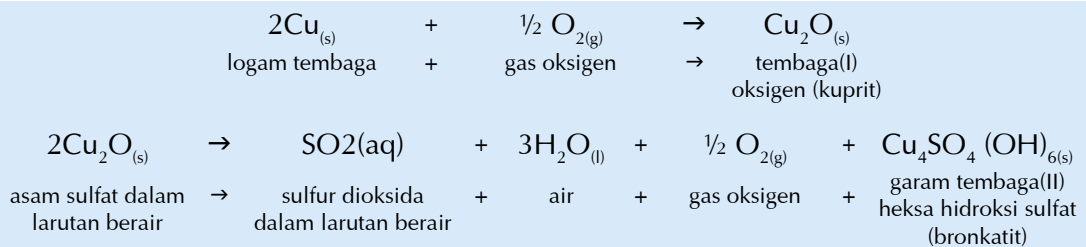
asam sulfat, sehingga perunggu yang mayoritas mengandung tembaga dapat bereaksi dengan asam sulfat membentuk kompleks tembaga-sulfat (Graedel et al., 1987).



Reaksi pembentukan asam sulfat yang menghasilkan sulfur dioksida dalam larutan berair

Tembaga yang ada di dalam perunggu mulanya akan teroksidasi menjadi kuprit, lalu kuprit akan bereaksi

dengan gas sulfur dioksida membentuk brokantit seperti reaksi berikut (Clarelli, et al., 2012).



Reaksi pembentukan brokantit

Analisis komposisi unsur logam menggunakan penganalisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) portabel dengan mode *General Metals* (Gambar 5.12), dilakukan pada delapan titik sampel di permukaan koleksi Arca Lokanatha (Gambar 5.13).

Berdasarkan hasil analisis XRF diketahui bahwa koleksi ini termasuk jenis perunggu timbel, karena pada koleksi ini ditemukan tembaga (Cu), timah (Sn), dan timbel/plumbum (Pb) sebagai komposisi utama perunggu, dan seng (Zn) sebagai unsur tambahan (Tabel 5.3).



Gambar 5.12 – Analisis Komposisi Unsur Arca Lokanatha Menggunakan Spektrofotometer XRF



Gambar 5.13 – Delapan Titik Sampel Analisis Komposisi Unsur pada Arca Lokanatha

Tabel 5.3 – Kandungan Unsur pada Arca Lokanantha

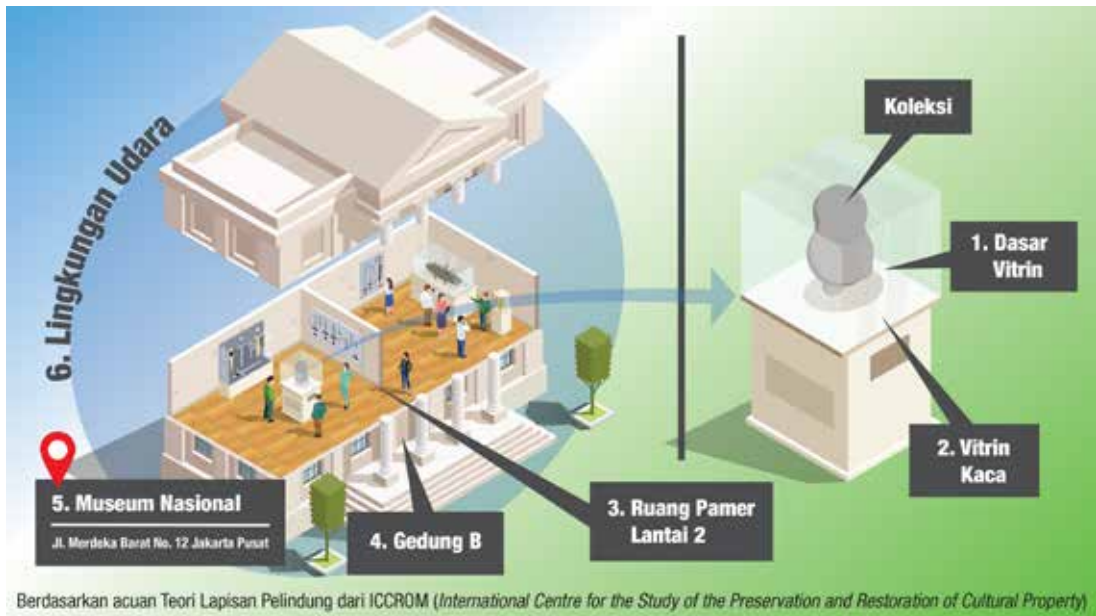
No.	Nama Unsur	Simbol	Rata-Rata Persentase Kandungan (%)
1.	Tembaga	Cu	55,50
2.	Timah	Sn	32,48
3.	Timbel/Plumbum	Pb	3,57
4.	Seng	Zn	0,49

Dari hasil analisis kondisi koleksi dan komposisi unsur koleksi, diperkirakan penyebab terbentuknya korosi berwarna kehijauan adalah klorida. Oleh karena itu, rekomendasi tindakan konservasi yang dilakukan adalah pembersihan korosi yang berada di bagian bawah lapik (alas) arca dengan proses kimiawi. Setelah nanti kegiatan konservasi interventif selesai dilakukan, koleksi akan dikembalikan ke dalam vitrin dengan menyertakan desikan (gel silika biru) dalam vitrin untuk mengendalikan kelembapan relatif di sekitar koleksi. Proses konservasi ini harus ditindaklanjuti dengan upaya preventif di ruang pameran dengan melakukan pemantauan aspek-aspek lingkungan seperti temperatur, kelembapan relatif, serta polutan (gas dan materi partikulat) secara berkala.

5.4 LINGKUNGAN KOLEKSI

Melihat kondisi lingkungan di sekitar kedua koleksi tersebut, beberapa aspek dominan yang mungkin memengaruhi kondisi dari koleksi ini adalah iklim mikro dan polutan. Iklim mikro meliputi temperatur dan kelembapan relatif di sekitar koleksi, sedangkan polutan yang ada di sekitar koleksi dapat berupa gas atau materi partikulat.

Lapisan pelindung pada koleksi memiliki peran penting dalam melindungi koleksi di ruang pameran tertutup (Gambar 5.14). Umumnya, koleksi yang dipamerkan di dalam vitrin memiliki lapisan pelindung yang cukup lengkap (Pedersoli Jr. et al., 2016). Lapisan *pertama* adalah dasar (*base*) vitrin sebagai alas koleksi koleksi. Dasar vitrin yang mencegah kontak langsung antara koleksi dan lantai memberi perlindungan yang cukup dari agen penyebab kerusakan koleksi, seperti



Gambar 5.14 – Ilustrasi Enam Lapisan Pelindung Koleksi di Ruang Pamer Tertutup

air yang mungkin muncul dari banjir atau pergerakan hama yang ada di lantai. Lapisan *kedua* adalah kaca vitrin sebagai pelindung utama koleksi dari lingkungan iklim mikro ataupun vandalisme yang disebabkan oleh pengunjung. Kaca vitrin juga mencegah polutan atau hama dari luar untuk mengalami kontak dengan koleksi.

Ruang pameran Lantai 2 Gedung B kemudian menjadi lapisan pelindung *ketiga*. Pemisahan ruang pameran dari ruangan lain seperti toilet mengurangi risiko kelembapan relatif di sekitar koleksi akibat keadaan toilet yang lembap. Ruang pameran lantai 2 juga diberi jarak dari akses keluar masuk, yaitu lift dan eskalator sehingga mengurangi risiko kontak berlebih antara koleksi dan jalur mobilisasi pengunjung ataupun petugas. Lapisan *keempat* adalah Gedung B Museum Nasional. Gedung ini memisahkan ruang pameran dengan pengelompokan yang berbeda dengan ruang pameran di Gedung A. Lapisan dinding dan tembok Gedung

B juga menjadi pelindung koleksi dari kondisi lingkungan udara terbuka. Pada lapisan *kelima*, Museum Nasional menjadi kumpulan gedung yang membentuk lapisan pelindung yang dapat dikelola oleh petugas museum secara menyeluruh. Museum Nasional menjadi pelindung terakhir yang melindungi koleksi dari lingkungan eksternal (lapisan *keenam*), seperti keadaan atmosfer ataupun produk dari aktivitas manusia di luar museum seperti polutan, vandalisme, dan kriminalitas.

5.4.1 Iklim Mikro di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup

Salah satu faktor yang memengaruhi kondisi koleksi di dalam ruang pameran adalah iklim mikro. Keberadaan dinding bangunan dan vitrin pameran menjadi lapisan pelindung yang membuat iklim di sekitar koleksi memiliki perbedaan dengan iklim di luar ruangan. Kondisi iklim dalam lingkup yang lebih sempit ini tentunya memiliki dampak

besar terhadap kelestarian koleksi meskipun berlangsung dalam durasi yang singkat.

Pada praktik pengelolaan koleksi, perbedaan material pembuat koleksi menunjukkan kebutuhan rentang temperatur dan kelembapan relatif yang berbeda-beda. Penyesuaian temperatur yang ada pada ruang pameran tidak hanya bergantung pada koleksi, tetapi juga harus memperhatikan kenyamanan manusia yang beraktivitas di sekitarnya, terutama pengunjung. Indonesia sebagai negara tropis menetapkan standar kenyamanan termal sekitar 25,5°C untuk ruang tertutup. Kelestarian koleksi dengan berbagai macam material dan kenyamanan manusia untuk beraktivitas membuat ruang pameran tertutup sebagai tempat penyimpanan koleksi sebaiknya memiliki temperatur pada kisaran 15–25°C (Badan Standardisasi Nasional, 2011; National Park Service, 2016).

Di sisi lain, penyesuaian kelembapan relatif seharusnya dilakukan sesuai dengan material penyusun koleksi. Perunggu sebagai salah satu jenis logam disarankan untuk disimpan pada kelembapan relatif berkisar 35–50% (Logan, 2007). Nyatanya, untuk mencapai kelembapan relatif serendah itu diperlukan sistem pengelolaan

yang sangat terkontrol. Penempatan berbagai macam koleksi dengan material berbeda dalam satu vitrin atau ruangan juga menjadi tantangan dalam menentukan kelembapan relatif yang sesuai. Oleh karena itu, pada vitrin atau ruangan yang berisikan banyak koleksi dengan berbagai macam bahan penyusun, kelembapan relatif yang disarankan berkisar 55%–70% meskipun pada praktiknya kriteria itu akan sangat sulit tercapai di negara tropis seperti Indonesia (Heritage Collection Council, 2002).

Kedua komponen iklim mikro tersebut sangat dipengaruhi kondisi iklim secara umum di sekitar daerah tersebut dan juga sistem tata udara atau *heating, ventilation, and air conditioning* (HVAC). Pada lingkungan tropis seperti Indonesia, temperatur yang relatif tinggi berkorelasi dengan kelembapan relatif yang relatif tinggi juga sehingga sistem HVAC khususnya pendingin ruangan diperlukan pada ruang pameran tertutup (Neuhaus, 2012; Sobel, 2012). Umumnya, temperatur dan kelembapan relatif dikendalikan dengan pendingin ruangan. Namun, sistem pendingin ruangan yang digunakan di ruang pameran Gedung B Museum Nasional hanya dioperasikan pada jam



Gambar 5.15 – Desikan Gel Silika Biru (Kiri) akan Berubah Warna Menjadi Merah Muda (Kanan) setelah Jenuh

operasional museum, tidak diaktifkan pada malam hari (di luar jam operasional). Hal ini menyebabkan terjadinya fluktuasi pada kedua parameter tersebut, membuat kondisi yang tidak sesuai untuk koleksi.

Untuk mengantisipasi fluktuasi kelembapan relatif di sekitar koleksi, penggunaan desikan juga dilakukan untuk menjaga kelembapan relatif ideal. Desikan sebagai agen penyangga memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan uap air untuk menjaga kelembapan relatif di sekitar koleksi (Weintraub, 2002). Umumnya, desikan yang digunakan di ruang pameran Museum Nasional adalah gel silika biru yang dikemas dalam kantong belacu (Gambar 5.15).

Penggunaan gel silika biru pada vitrin perlu dipantau secara rutin. Gel silika biru yang telah jenuh dalam durasi waktu tertentu perlu diganti dengan gel silika biru siap pakai. Gel silika biru yang telah jenuh akan berubah warna menjadi merah muda dan dapat digunakan kembali setelah melalui proses rekondisi atau pemanasan untuk menghilangkan kandungan uap air. Saat pemakaian, jumlah gel silika biru yang dibutuhkan bergantung pada berbagai aspek, seperti volume vitrin dan durasi penggunaan. Perhitungan jumlah gel silika biru yang dibutuhkan pada vitrin adalah sebagai berikut (Weintraub, 2002).

$$Q = \frac{(C_{eq} D)V(Nt)}{M_h F}$$

Keterangan:

Q = Massa gel silika biru digunakan (kg)

C_{eq} = Konsentrasi uap air saat jenuh. Pada 25°C, setiap 1 m³ udara menampung 23,5 gr uap air pada saat jenuh (Engineering ToolBox, 2004).

D = Perbedaan antara kelembapan relatif di luardandi dalam vitrin. Kelembapan relatif di luar vitrin didasarkan pada titik maksimum atau minimum dari kelembapan relatif yang terdeteksi di luar vitrin, sedangkan untuk kelembapan relatif di dalam vitrin yang sifatnya permanen didasarkan pada titik tengah kelembapan relatif yang terdeteksi di dalam vitrin.

Berdasarkan pemantauan dengan data logger di ruang pameran Gedung B Museum Nasional yang telah dilakukan sebelumnya, rentang kelembapan relatif di luar vitrin adalah 57,7%–90,1% dan di dalam vitrin adalah 66,72%–71%. Dari nilai tersebut diperoleh nilai maksimum dari kelembapan relatif eksternal adalah 90,1% dan nilai tengah kelembapan relatif internal adalah 68,86% sehingga nilai dari selisih keduanya adalah 21,24% atau 0,21 dalam desimal.

V = Volume vitrin atau wadah digunakan. Perhitungan distandardisasi untuk vitrin berukuran 1 m³.

N = Jumlah pertukaran udara per hari (nilai N adalah 1 satu pertukaran udara per hari untuk vitrin tertutup) (Thomson, 1977).

t = Durasi maksimal bagi gel silika biru untuk mempertahankan rentang kelembapan relatif yang dapat ditoleransi, menggambarkan durasi yang diperlukan bagi desikan untuk jenuh 100% terhadap uap air. Rencana penggunaan distandardisasi untuk durasi 30 hari.

M_h = Kapasitas penyangga kelembapan dari desikan dalam rentang kelembapan relatif spesifik. Untuk gel silika biru lokal baru nilainya 11,96; nilai ini

didasari dari penelitian yang dilakukan di Museum Nasional sebelumnya.

F = Rentang maksimum fluktuasi kelembapan relatif yang dapat ditoleransi di dalam vitrin. Rentang yang dijadikan patokan didasarkan pada bahan yang lebih sensitif, yaitu bahan organik. Pada bahan organik, rentang yang diterima adalah 45%–60% sehingga nilai F adalah 15 (Al-Saad, 2013).

Sehingga didapatkan jumlah gel silika biru yang digunakan untuk setiap 1 m³ volume vitrin dengan rencana durasi penggunaan 30 hari (1 bulan) adalah:

$$Q = \frac{(23,5 \times 0,21) \times 1 \times (1 \times 90)}{11,96 \times 15}$$

$$Q = 2,475 \text{ kg}$$



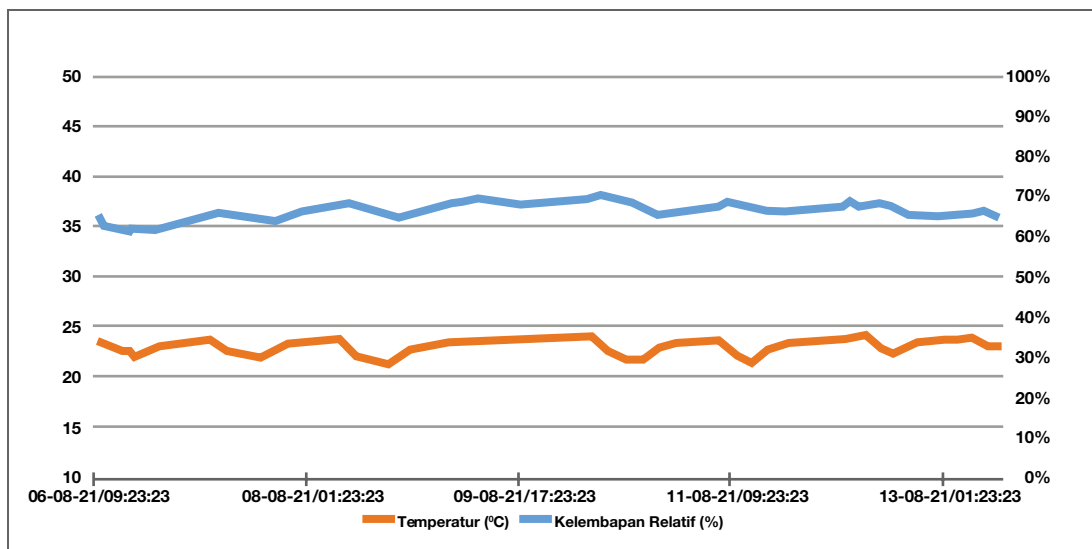
Gambar 5.16 – Peletakan Iklim Mikro di dalam Vitrin (Atas) dan luar Vitrin (Bawah) Prasasti Sadapaingan dengan *Data Logger*

5.4.1.1 Prasasti Sadapaingan dan Iklim Mikro di Sekitarnya

Data iklim mikro diperoleh dengan data logger yang diletakkan di dalam dan di luar vitrin (Gambar 5.16). Pengambilan data dilakukan selama tujuh hari, dimulai saat Prasasti Sadapaingan diambil dari dalam vitrin untuk diberikan tindakan konservasi, hingga proses konservasi selesai dan koleksi dikembalikan ke dalam vitrin. Untuk memastikan keamanan pengambilan data, posisi peletakan data logger adalah di atas vitrin lain di dekat vitrin yang berisi Prasasti Sadapaingan.

Grafik iklim mikro di dalam vitrin (Gambar 20) menunjukkan bahwa rentang temperatur yang terpantau berkisar antara 21,2°C hingga 24,6°C dengan rata-rata 23,34°C, masih sesuai dengan standar kenyamanan termal dan kisaran temperatur yang baik untuk koleksi, yaitu 15–25°C. Kelembapan relatif berkisar antara 60,9% hingga 71,0% dengan rata-rata 66,72%. Kelembapan relatif yang mencapai nilai 71,0% ini sedikit melampaui standar kelembapan relatif di dalam ruangan dengan berbagai macam bahan penyusun koleksi (maksimal 70%).

Selisih rentang temperatur dan rentang kelembapan relatif yang tercatat adalah 3,4°C dan 10,1%. Fluktuasi tersebut dapat menyebabkan kerusakan kecil-riangan pada berbagai macam jenis koleksi secara umum. Namun demikian, logam seperti perunggu biasanya baru akan mendapat dampak signifikan dari fluktuasi temperatur dan kelembapan relatif saat menjadi bagian dari suatu koleksi bersama

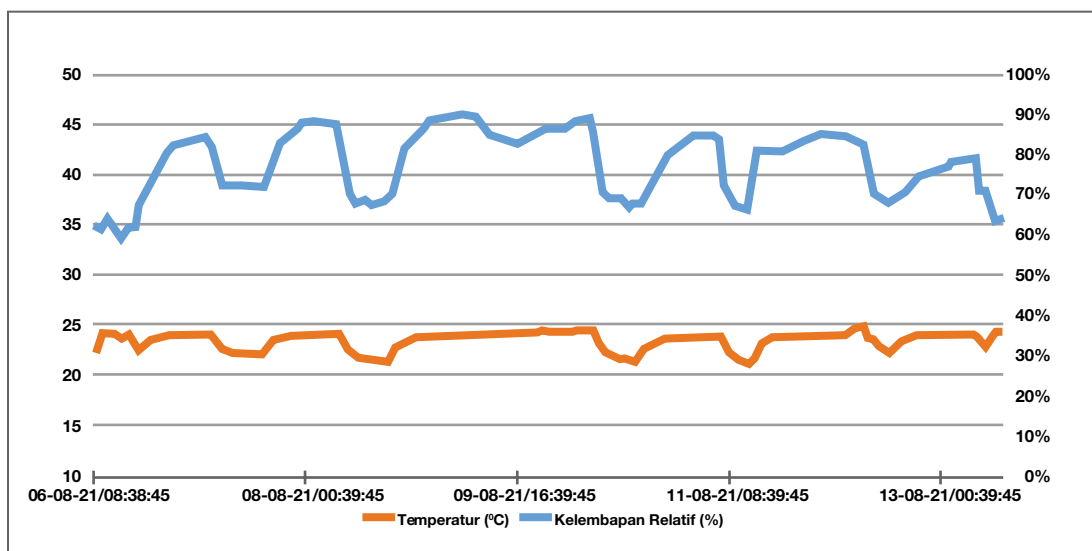


Gambar 5.17 – Grafik iklim mikro di dalam vitrin berisi Prasasti Sadapaingan.

dengan bahan organik seperti kayu atau kulit (Michalski, 2021; National Park Service, 2016).

Pada pemantauan iklim mikro di luar vitrin (Gambar 5.18), rentang temperatur yang terpantau berkisar antara 21,0°C hingga 25,0°C dengan rata-rata 23,61°C, masih dalam rentang standar kenyamanan

termal dan kisaran temperatur yang baik untuk koleksi, yakni 15–25°C. Kelembapan relatif yang terpantau berkisar antara 57,7% hingga 90,1% dengan rata-rata 77,56%. Nilai ini melampaui batas maksimum standar kelembapan relatif di dalam ruangan dengan berbagai macam bahan penyusun koleksi (70%).



Gambar 5.18 – Grafik Iklim Mikro di luar Vitrin Berisi Prasasti Sadapaingan

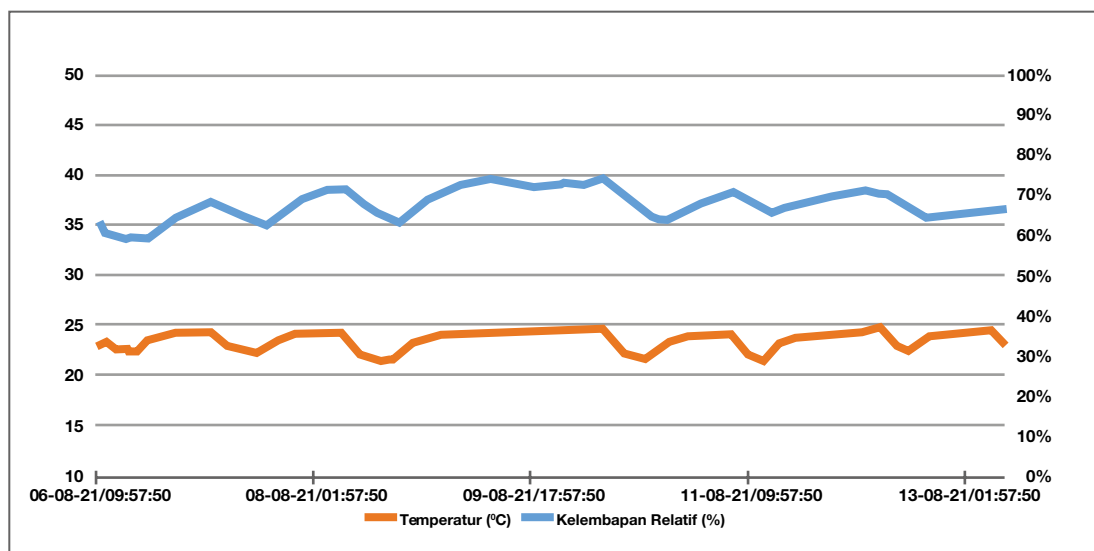


Gambar 5.19 – Peletakan Iklim Mikro di dalam Vitrin (Kiri) dan luar Vitrin (Kanan) Arca Lokanantha dengan *Data Logger*

Selisih antara temperatur minimum dan maksimum di luar vitrin sebesar $4,0^{\circ}\text{C}$, sedangkan perbedaan antara kelembapan relatif minimum dan maksimum di luar vitrin sebesar $32,4\%$. Kondisi ini menunjukkan bahwa penataan koleksi berbahan perunggu seperti Prasasti Sadapaingan di Lantai 2 Gedung B Museum Nasional sebaiknya tidak disajikan tanpa menggunakan vitrin karena kondisi iklim mikro yang sangat tidak stabil.

Dari kedua grafik tersebut, terlihat bahwa perbedaan rata-rata temperatur tidak terlalu besar, yaitu $0,27^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata temperatur di dalam vitrin adalah

$23,34^{\circ}\text{C}$ dan di luar vitrin adalah $23,61^{\circ}\text{C}$. Namun demikian, perbedaan terlihat jelas pada kelembapan relatif yang mencapai $10,84\%$ dengan rata-rata di dalam vitrin adalah $66,72\%$ dan di luar vitrin $77,56\%$. Kelembapan relatif di luar vitrin bahkan mencapai $90,1\%$, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kelembapan relatif di dalam vitrin, yaitu $70,1\%$. Adanya selisih nilai kelembapan relatif antara di dalam vitrin dan di luar vitrin menunjukkan bahwa vitrin yang berisi Prasasti Sadapaingan ini telah menjalankan fungsinya sebagai pelindung koleksi, didukung oleh penggunaan gel silika biru sebagai desikan.



Gambar 5.20 – Grafik Iklim Mikro di dalam Vitrin Berisi Arca Lokanantha

5.4.1.2 Arca Lokanatha dan Iklim Mikro di Sekitarnya

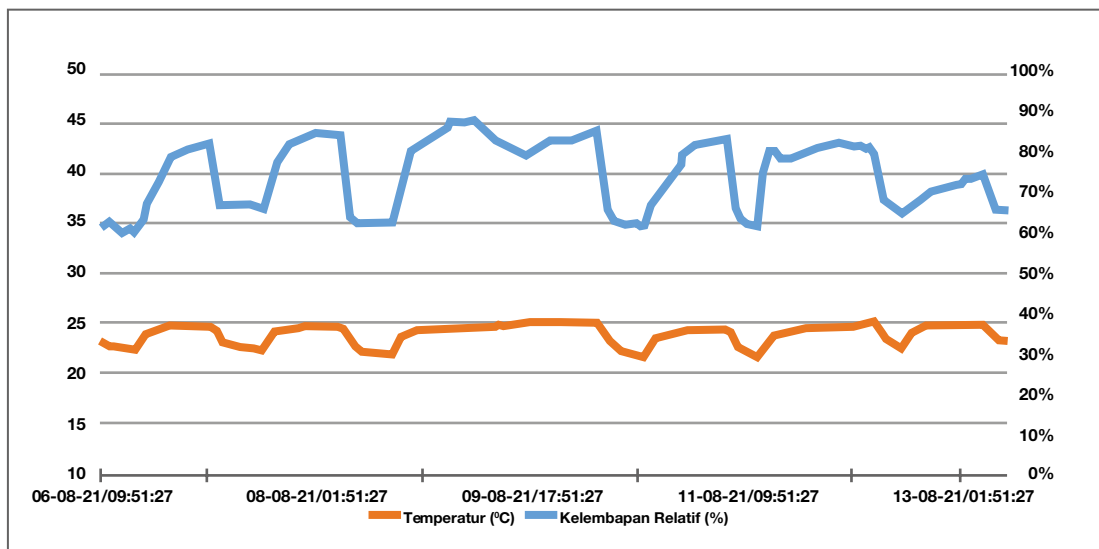
Seperti halnya Prasasti Sadapaingan, data lingkungan iklim mikro untuk Arca Lokanatha diperoleh dari *data logger* yang diletakkan di dalam dan di luar vitrin (Gambar 5.19). Pemantauan dilakukan selama tujuh hari sejak Arca Lokanatha dikeluarkan dari vitrin untuk diberi tindakan konservasi, sampai Arca Lokanatha siap dikembalikan ke dalam vitrin. Agar pengambilan data berlangsung aman, posisi peletakan *data logger* adalah di atas vitrin lain di dekat vitrin yang berisi Arca Lokanatha.

Grafik iklim mikro di dalam vitrin (Gambar 5.20) menunjukkan bahwa rentang temperatur yang terpantau berkisar antara 21,1°C hingga 25,1°C dengan rata-rata 23,66°C, masih berada pada standar kenyamanan termal dan rentang temperatur yang baik untuk koleksi, yaitu 15–25°C. Kelembapan relatif berkisar antara 58,4% hingga 74,2% dengan rata-rata 67,59%. Nilai kelembapan relatif dianggap baik karena tidak melampaui standar kelembapan relatif di dalam

ruangan dengan berbagai macam bahan penyusun koleksi (maksimal 70%).

Selisih rentang temperatur dan rentang kelembapan relatif yang tercatat adalah 4°C dan 15,8%. Jika dibandingkan dengan vitrin berisi Prasasti Sadapaingan, fluktuasi iklim mikro yang terjadi di vitrin berisi Arca Lokanatha sedikit lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa risiko kerusakan yang akan terjadi akibat perubahan iklim mikro di dalam vitrin ini sedikit lebih besar dibandingkan dengan vitrin yang berisi Prasasti Sadapaingan.

Pada pemantauan iklim mikro di luar vitrin (Gambar 5.21) rentang temperatur yang terpantau berkisar antara 21,4°C hingga 25,5°C dengan rata-rata 24,13°C, masih dalam rentang standar kenyamanan termal dan kisaran temperatur yang baik untuk koleksi, yaitu 15–25°C. Kelembapan relatif yang terpantau berkisar antara 58,7% hingga 88,3% dengan rata-rata 74,60%. Nilai ini melampaui batas maksimum standar kelembapan relatif di dalam ruangan dengan berbagai macam bahan penyusun koleksi (70%).



Gambar 5.21 – Grafik Iklim Mikro di luar Vitrin Berisi Arca Lokanatha



Gambar 5.22 – Pengambilan Data Temperatur dan Kelembapan Relatif dari *Data Logger*

Selisih antara temperatur minimum dan maksimum di luar vitrin sebesar $4,1^{\circ}\text{C}$, sedangkan perbedaan antara kelembapan relatif minimum dan maksimum di luar vitrin sebesar $29,6\%$. Jika dibandingkan dengan kondisi lingkungan di bagian luar sekitar vitrin Prasasti Sadapaingan, lingkungan di bagian luar sekitar vitrin Arca Lokanatha memiliki fluktuasi kelembapan relatif lebih rendah, tetapi fluktuasi temperaturnya tidak berbeda jauh. Hal ini menunjukkan bahwa risiko kerusakan koleksi di luar vitrin lebih kecil jika diletakkan di sekitar kawasan vitrin Arca Lokanatha.

Dari kedua grafik tersebut terlihat bahwa perbedaan rata-rata temperatur tidak terlalu besar, yaitu $0,47^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata temperatur di dalam vitrin adalah $23,66^{\circ}\text{C}$ dan di luar vitrin adalah $24,31^{\circ}\text{C}$. Namun demikian, perbedaan terlihat jelas pada rata-rata kelembapan relatif yang mencapai $7,01\%$ dengan rata-rata di dalam vitrin adalah $67,59\%$ dan di luar vitrin $74,60\%$. Kelembapan relatif di luar vitrin bahkan mencapai $88,3\%$, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kelembapan relatif di dalam vitrin, yaitu $74,2\%$. Sama halnya dengan vitrin yang berisi Prasasti Sadapaingan, vitrin yang berisi Arca

Lokanatha ini telah berfungsi dengan baik sebagai pelindung koleksi dari salah satu agen penyebab kerusakan koleksi, yaitu kelembapan relatif yang tidak sesuai. Kemampuan vitrin menjaga kelembapan relatif juga didukung penggunaan gel silika biru sebagai desikan.

5.4.1.3 Ketidaksesuaian dan Fluktuasi Iklim Mikro di Sekitar Koleksi dalam Vitrin Lantai 2 Ruang Pamer Gedung B Museum Nasional

Ketidaksesuaian dan fluktuasi temperatur dan kelembapan udara yang terjadi dipengaruhi oleh penggunaan pendingin ruangan yang diaktifkan pada pagi hari dan dinonaktifkan pada malam hari. Hal ini umumnya memicu kerusakan ringan pada koleksi dengan jenis material apa pun. Lebih jauh, kelembapan relatif yang melampaui 75% dapat menyebabkan terjadinya korosi pada paduan tembaga seperti perunggu. Pada kasus lain, kelembapan relatif di bawah 75% yang menjadi kelembapan relatif kritis dapat mengakibatkan disintegrasi patina yang sudah stabil pada koleksi perunggu hasil temuan maritim ataupun arkeologi (Michalski, 2021).

Saat pendingin ruangan dimatikan dan temperatur naik (tinggi), udara dalam ruang pamer dapat menyimpan lebih banyak uap air. Udara menyerap uap air dari berbagai objek untuk mencapai kesetimbangan, termasuk dari objek-objek di luar ruangan yang memiliki akses jalur masuk udara. Ketika pendingin udara dinyalakan dan temperatur turun (rendah), udara yang tidak bisa menyimpan uap air dalam jumlah banyak akan melepaskan uap air ke objek-objek di sekitarnya (kondensasi). Proses ini memungkinkan terjadinya kontak antara uap air dan permukaan koleksi sehingga

memicu kerusakan koleksi lebih lanjut. Risiko kerusakan dan hasil pemantauan iklim mikro dari kedua vitrin menunjukkan sedikit perbedaan, sebagai akibat perbedaan tata letak objek dan struktur bangunan yang mengakibatkan kemungkinan pergerakan udara dan kondensasi yang berbeda (Merritt dan Reilly, 2010).

5.4.1.4 Vitrin Sebagai Lapisan Pelindung Koleksi dari Ketidaksesuaian Temperatur dan Kelembapan Relatif

Terjadinya perbedaan nilai antara kelembapan udara di luar vitrin dengan di dalam vitrin disebabkan oleh keberadaan kaca dan dasar vitrin yang bekerja sebagai lapisan pelindung sehingga fluktuasi temperatur yang terjadi di luar vitrin tidak serta-merta memengaruhi kondisi di dalam vitrin. Selisih nilai kelembapan relatif antara di dalam vitrin dan di luar vitrin yang tidak cukup besar disebabkan vitrin tidak didesain untuk kedap udara. Fungsi vitrin sebagai pelindung juga didukung dengan penggunaan desikan seperti gel silika biru atau bentonit kemasan yang berfungsi sebagai agen pengendali kelembapan relatif di dalam vitrin. Proses penggantian desikan secara rutin tentunya menjadi faktor utama dalam mengendalikan kelembapan relatif, selain dengan tetap memantau kondisi iklim mikro (Gambar 25) secara keseluruhan di sekitar koleksi

(Knell, 1994; Weintraub, 2002).

5.4.2 Polutan di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup

Polutan tidak hanya memberi efek kerusakan pada koleksi yang berada di ruang pameran terbuka, tetapi dapat pula memengaruhi koleksi yang berada di ruang pameran tertutup. Gas dan materi partikulat yang berasal dari kendaraan atau udara di luar ruangan dapat masuk ke dalam ruangan terbawa oleh jalur pergerakan udara ataupun aktivitas manusia. Polutan juga bisa muncul dari objek-objek di dalam ruangan seperti material pembuat vitrin atau bahan-bahan pembersih ruangan. Efek dari polutan yang berasal dari dalam ruangan ini jauh lebih berisiko karena berada lebih dekat dengan koleksi dan umumnya polutan ini akan sulit bergerak ke luar ruangan (Grzywacz, 2006).

Umumnya, pada praktik pengelolaan museum, gas polutan disebut sebagai senyawa organik volatil (*volatile organic compound* (VOC)). VOC merupakan senyawa hidrokarbon yang dapat dihasilkan dari berbagai macam objek. Sumber VOC di museum sangatlah beragam, mulai dari bahan bangunan dan furnitur, cat atau pewarna pada koleksi, pernis, pembersih dan pewangi ruangan, hingga parfum yang digunakan petugas atau pengunjung.



Gambar 5.23 – Ilustrasi Polutan yang Menyelubungi Prasasti Sadapaingan

Biasanya VOC dideteksi dengan alat monitor secara umum, menghasilkan nilai senyawa organik volatil total (*total volatile organic compound* (TVOC)). Tidak semua VOC bersifat membahayakan koleksi. Namun demikian, VOC dengan gugus karbonil organik berupa asam organik seperti asam

asetat dan asam format, serta aldehida seperti formaldehida dan asetaldehida dianggap cukup berisiko menyebabkan kerusakan koleksi (Grzywacz, 2006). Oleh karena itu, penting untuk mengetahui batas rekomendasi gas polutan atau VOC yang boleh ada di sekitar koleksi (Tabel 5.4).

Tabel 5.4 – Batas Rekomendasi Gas Polutan/*Volatile Organic Compounds* (VOC) di dalam Ruang Museum (Grzywacz, 2006)

Jenis Gas Polutan	Batas Polutan yang Ditoleransi (ppb)		Batas Tindakan (ppb)		Konsentrasi Referensi (ppb)			
	Material Sensitif	Bahan Umum	Tinggi	Sangat Tinggi	Alam Bebas	Area Perkotaan	Tingkat Toksisitas Akut dalam 1 Jam Paparan	Batas TWA World Health Organization
Hydrogen Sulfida (H ₂ S)	< 0,010	< 0,100	0,4-1,4	2,0-20	0,005-10	0,1-5 0,080-0,150	OEHHA: 30 OSHA: 10 ppm	107 ppb
Polutan Karbonil Organik								
Asam Organik	Asam Asetat (CH ₃ COOH)	< 5 224 40-280	200-480	600-1000	0,1-4	0,1-16	OSHA: 10 ppm	
	Asam Format (HCOOH)	< 5 5-20	20-120	150-450	0,05-4 0,05-0,2	0,05-17 0,6-104	OSHA: 5 ppm	
Aldehida	Formaldehida	< 0,1-5 10-20	16-120	160-480	0,4-1,6	1,6-24 rumah baru: 50-60	OEHHA: 75 OSHA: 750	80 (30 min)
	Asetaldehida	< 1-20				3-17	OEHHA: 5 OSHA: 200 ppm	
TVOC (dalam heksana)		< 100 ppb	700 ppb	1700 ppb		bangunan baru atau yang sudah direnovasi: 4500-9000		

Selain berbentuk gas, polutan dapat berbentuk padatan yang biasa disebut materi partikulat atau particulate matters (PM). Debu, jelaga, asap, dan padatan kecil lainnya adalah beberapa contoh materi partikulat. Zat ini digolongkan menjadi partikel halus dan partikel kasar berdasarkan ukurannya. Partikel halus (PM_{2.5}) memiliki diameter aerodinamis ≤ 2,5 µm, sedangkan partikel kasar (PM₁₀) berdiameter aerodinamis ≥ 10

µm. Di Indonesia, nilai PM_{2.5} yang disarankan adalah di bawah 65 µg/m³ untuk pengukuran 24 jam dan 15 µg/m³ untuk rata-rata pengukuran tahunan. Pada pengukuran PM₁₀, nilai yang disarankan tidak melebihi 150 µg/m³ untuk pengukuran 24 jam (CDC, 2019; Clean Air Asia, 2016; EPA, 2021).

Materi partikulat umumnya mengandung senyawa sulfat dan nitrat, karbon organik, dan garam. Materi

partikulat khususnya PM_{2.5} dapat menyebabkan kerusakan baik secara fisik maupun mengubah warna pada koleksi. Permukaan koleksi yang rapuh, berongga, dan tidak rata makin mempersulit proses pembersihan partikulat yang menempel. Akumulasi materi partikulat juga dapat menjadi tempat bagi serangga untuk mencari makan atau menjadi substrat bagi jamur untuk tumbuh (Jacobsen, 2007 dan Tétreault, 2021).

Aktivitas pengunjung dan petugas di sekitar koleksi dan museum dapat mendatangkan materi partikulat dari sisa kulit mati, rambut, atau serat benang dari pakaian. Asap kendaraan yang ada di luar museum juga dapat masuk ke dalam museum. Filter pendingin ruangan yang tidak rutin dibersihkan juga berpotensi meningkatkan peredaran materi partikulat. Selain itu, material koleksi dan furnitur pendukungnya dapat menghasilkan materi partikulat akibat kerusakan yang dialaminya, menyisakan materi yang rontok di permukaan vitrin atau di udara, lalu mengotori koleksi dan vitrin (Proietti, et al., 2015).

Kondisi polutan di udara dapat dideteksi dengan berbagai cara, salah satunya menggunakan detektor kualitas udara. Alat ini dapat digunakan untuk mendeteksi polutan berupa gas (formaldehida dan TVOC) ataupun materi partikulat (PM_{2.5} dan PM₁₀) di sekitar koleksi. Hasil deteksi polutan-polutan tersebut dapat disimpulkan untuk menentukan indeks kualitas udara di lingkungan tersebut.

5.4.2.1 Prasasti Sadapaingan dan Polutan di Sekitarnya

Berdasarkan hasil pengamatan dengan menggunakan detektor kualitas udara (Gambar 5.24), di sekitar Prasasti Sadapaingan terdeteksi formaldehida

(HCHO) dan TVOC sebesar 0,004 mg/m³ dan 0,012 mg/m³. Nilai tersebut setara dengan 3,256 ppb untuk formaldehida dan 2,934 ppb untuk TVOC pada kisaran temperatur 25°C (WHO, 2010). Formaldehida yang terdeteksi di sekitar Prasasti Sadapaingan tergolong aman berdasarkan batas rekomendasi polutan (Tabel 4) meskipun perunggu digolongkan sebagai bahan sensitif dengan batas toleransi formaldehid maksimal 5 ppb. Di sisi lain, TVOC yang terdeteksi juga menunjukkan nilai di bawah batas rekomendasi paparan pada bahan umum, yakni 100 ppb sehingga dapat pula dikategorikan aman untuk koleksi secara umum.

Materi partikulat yang terdeteksi di sekitar Prasasti Sadapaingan adalah 45 µg/m³ untuk PM_{2.5} dan 50 µg/m³ untuk PM₁₀. Kedua nilai tersebut ada pada kisaran aman untuk kandungan materi partikulat di udara Indonesia, yaitu di bawah 65 µg/m³ untuk PM_{2.5} dan di bawah 150 µg/m³ untuk PM₁₀ dalam pengukuran 24 jam.



Gambar 5.24 – Detektor Kualitas Udara di dalam Vitrin Prasasti Sadapaingan



Gambar 5.25 – Detektor Kualitas Udara di dalam Vitrin Arca Lokanatha.

5.4.2.2 Arca Lokanatha dan Polutan di Sekitarnya

Hasil pemantauan dengan detektor polusi digital menunjukkan bahwa di sekitar Arca Lokanatha terdapat gas polutan formaldehida (HCOOH) dan TVOC dengan nilai $0,001 \text{ mg/m}^3$ dan $0,015 \text{ mg/m}^3$ (Gambar 27). Nilai tersebut setara dengan 0,814 ppb untuk formaldehida dan 3,667 ppb untuk TVOC. Keduanya menunjukkan

jumlah dalam kisaran yang aman bagi koleksi berbahan dasar perunggu, kurang dari 5 ppb untuk formaldehida sebagai bahan sensitif dan kurang dari 100 ppb untuk TVOC sebagai bahan umum pada kisaran temperatur 25°C (WHO, 2010).

Kemudian bisa pula dilihat bahwa materi partikulat yang terdeteksi adalah $45 \mu\text{g/m}^3$ untuk $\text{PM}_{2.5}$ dan $50 \mu\text{g/m}^3$ untuk PM_{10} . Keduanya ada pada kisaran nilai yang disarankan untuk kandungan materi partikulat di Indonesia, yaitu di bawah $65 \mu\text{g/m}^3$ untuk $\text{PM}_{2.5}$ dan di bawah $150 \mu\text{g/m}^3$ untuk PM_{10} dalam pengukuran 24 jam.

5.4.2.3 Interaksi Polutan dengan Koleksi Berbahan Dasar Perunggu di Ruang Pamer Tertutup

Prasasti Sadapaingan dan Arca Lokanatha termasuk ke dalam perunggu timbel, tetapi dengan persentase komposisi unsur yang berbeda-beda. Campuran mineral tembaga, timah, dan timbel dengan tambahan seng di dalam perunggu



Gambar 5.26 – Material Vitrin dan Dekorasi dapat Menghasilkan Formaldehida dan Polutan Lain yang Dapat Membahayakan Koleksi

menghasilkan paduan yang sesuai untuk dibentuk menjadi objek seperti kentongan ataupun arca. Kandungan mineral-mineral ini dapat bereaksi dengan polutan asam organik seperti asam format atau asam asetat sehingga merusak kondisi koleksi. Tembaga dalam perunggu mampu bereaksi dengan asam format, sedangkan timbel dapat bereaksi dengan asam format ataupun asam asetat dari lingkungan dengan cara yang kompleks. Reaksi tembaga dengan asam asetat menghasilkan timbel asetat dan membentuk lapisan korosi yang tebal. Di sisi lain, lapisan timbel format hasil reaksi timbel dan asam format mampu menghambat interaksi asam asetat dengan tembaga. Keduanya dapat mengakibatkan kerusakan fatal pada koleksi yang mengandung logam paduan tembaga seperti perunggu (Tétreault, et al., 2003).

Selain kedua jenis asam organik tersebut, formaldehida memunculkan potensi korosi meskipun dengan risiko yang lebih rendah. Gas-gas polutan ini, terutama formaldehida, merupakan senyawa yang kehadirannya di lingkungan dalam ruangan mudah ditemukan karena digunakan pada furnitur dan dekorasi (Gambar 28) sebagai bahan resin dan pelapis (Hatchfield, 1986). Kayu pada furnitur dapat menghasilkan gas-gas tersebut meskipun dalam jumlah yang cukup rendah. Namun, pada komposit kayu seperti papan partikel (*particleboard/fiberboard*) ditemukan gas polutan yang cukup melimpah, terutama formaldehida yang berasal dari perekat yang digunakan pada proses produksi (Chiantore dan Poli, 2021; Salem dan Bohm, 2013). Nilai TVOC yang terdeteksi diperkirakan berasal dari ketiga jenis VOC tersebut (asam format, asam asetat, dan formaldehida). Gas tersebut diperkirakan berasal dari material, pelapis, dan pernis

yang digunakan melapisi furnitur di sekitar kawasan ruang pameran (Grzywacz, 2006).

Untuk mengurangi kadar VOC baik asam organik maupun aldehida di dalam vitrin, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengganti vitrin lama dengan vitrin yang beremisi rendah. Adsorben yang efisien, mudah didapatkan, dan murah dapat digunakan untuk mengurangi polutan di dalam vitrin tertutup. Contoh adsorben yang dapat digunakan adalah karbon teraktivasi, alumina teraktivasi, gel silika, zeolit, dan substrat berbasis polimer. Namun demikian, pemilihan adsorben harus disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan pengelola museum (Chiantore dan Poli, 2021; Tétreault, et al., 2003).

5.4.2.4 Indeks Kualitas Udara (*Air Quality Index*) di dalam Ruang Pameran Tertutup

Pada hari pengamatan, 13 Agustus 2021, indeks kualitas udara atau *air quality index* (AQI) di daerah Jakarta menunjukkan nilai 145 (IQAir, 2021), menggambarkan kualitas udara di Jakarta secara umum “tidak sehat untuk kelompok sensitif”. Nilai ini berbeda jauh dengan nilai pengamatan di dalam ruang pameran tertutup. AQI yang terdeteksi di sekitar Prasasti Sadapaingan adalah 70 (kualitas udara “sedang”), sedangkan di sekitar Arca Lokanatha menunjukkan angka 34 (kualitas udara “baik”). Perbedaan AQI di sekitar kedua koleksi ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti jalur pergerakan udara, objek-objek di sekitar koleksi, serta aktivitas manusia di sekitarnya. Namun demikian, kedua nilai AQI di sekitar koleksi memperlihatkan bahwa keberadaan koleksi di dalam ruang pameran tertutup memberikan perlindungan terhadap polutan, khususnya yang berasal dari udara. Dengan kata lain, gedung

museum dan ruang pameran tertutup telah menjalankan fungsinya dengan baik sebagai lapisan pelindung koleksi. Perlindungan ini berlaku tidak hanya bagi koleksi, tetapi juga terhadap kesehatan manusia, seperti pengunjung atau petugas museum yang beraktivitas di sekitar koleksi.

5.4.3 Agen Kerusakan Lain di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup

5.4.3.1 Pencahayaan di Sekitar Koleksi Perunggu dalam Ruang Pamer Tertutup

Meskipun tidak memberikan dampak yang signifikan pada koleksi berbahan perunggu secara umum, beberapa agen penyebab kerusakan koleksi seperti pencahayaan juga memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan koleksi di dalam ruang pameran tertutup. Tidak seperti ruang pameran terbuka yang memanfaatkan pencahayaan alami, ruang pameran tertutup sangat bergantung pada pencahayaan buatan dalam penyajian dan penataannya. Penggunaan lampu di dalam ruangan ataupun di dalam vitrin perlu dikelola dengan tepat untuk menghasilkan visual koleksi yang baik untuk dinikmati pengunjung, tetapi tetap aman bagi koleksi. Lampu dari ruangan atau vitrin umumnya memancarkan cahaya tampak dan ultraviolet dengan gelombang radiasi yang dapat menyebabkan kerusakan koleksi. Meskipun demikian, perunggu dan logam lainnya merupakan jenis bahan yang cenderung tidak sensitif terhadap cahaya. Perunggu dan logam lainnya tergolong sebagai material yang mampu menoleransi sekitar 200–300 lx cahaya tampak. Meskipun tidak terlalu sensitif terhadap cahaya tampak, koleksi perunggu sebaiknya tidak terpapar ultraviolet. Pencahayaan buatan dalam ruangan harus menggunakan



Gambar 5.27 – Pemantauan Pencahayaan di Sekitar Prasasti Sadapaingan

sumber cahaya yang tidak menghasilkan ultraviolet (Museums Galleries Scotland, 2021; Philadelphia Museum of Art, 2021).

Pengaruh terbesar dari pencahayaan yang tidak sesuai dalam penyajian koleksi berbahan perunggu atau logam adalah kemungkinan perubahan visual yang dinikmati pengunjung. Peletakan koleksi berbahan perunggu bersamaan dengan koleksi yang sensitif terhadap cahaya (tekstil, kertas, dan bahan lainnya) membuat pencahayaan disesuaikan untuk menjaga keamanan koleksi-koleksi sensitif tersebut. Hal ini menyebabkan visual penyajian koleksi berbahan perunggu menjadi tidak maksimal bagi pengunjung (Fenton, 2004).

Data pemantauan cahaya waktu nyata diperoleh dengan light-meter dan UV-meter



Gambar 5.28 – Melakukan Pendataan Terhadap Nilai Cahaya Menggunakan *UV-Meter* dan *Light-Meter* pada Koleksi Lokanatha

untuk melihat paparan cahaya tampak dan ultraviolet paling tinggi yang mengenai Prasasti Sadapaingan (Gambar 29) dan Arca Lokanatha (Gambar 30). Nilai cahaya tampak yang terpantau di sekitar koleksi adalah 177,2 lx untuk Prasasti Sadapaingan dan 74 lx untuk Arca Lokanatha. Ultraviolet yang terpantau di sekitar kedua koleksi menunjukkan nilai 0 nm.

Nilai cahaya tampak yang terpantau di sekitar kedua koleksi sesuai dengan standar aman logam, yaitu tidak melampaui 300 lx. Cahaya yang bersifat kumulatif dapat memberi dampak pada kerusakan koleksi, seperti perubahan struktur dan warna. Ultraviolet yang terpantau menunjukkan nilai 0 nm, menunjukkan bahwa kualitas lampu yang digunakan cukup baik. Kondisi ini menunjukkan bahwa tidak diperlukan perlakuan khusus terhadap pencahayaan di sekitar vitrin, seperti mengganti jenis lampu, mengatur jalur masuk cahaya, atau memasang filter untuk mengurangi intensitas cahaya tampak dan ultraviolet pada lampu, jendela, ataupun kaca vitrin (National Park Service, 2016).

5.4.3.2 Pengendalian Hama, Api, dan Pencurian serta Vandalisme di Ruang Pamer Tertutup

Selain pencahayaan, ada pula beberapa agen penyebab kerusakan koleksi yang harus mendapat perhatian, khususnya di ruang pamer tertutup. Penataan dan penyajian koleksi yang mengikuti alur kisah memungkinkan berbagai koleksi dengan bahan pembuatan yang berbeda dipamerkan pada ruangan atau vitrin yang sama. Keberadaan koleksi-koleksi berbahan organik, seperti tekstil dan kayu, memicu aktivitas hama khususnya serangga di sekitar koleksi-koleksi tersebut. Selain untuk memenuhi kebutuhan nutrisi, beberapa jenis serangga menjadikan koleksi

atau sudut-sudut vitrin sebagai lokasi pembuatan sarang. Serangga-serangga ini dapat ditemukan di sekitar ruang pamer sebagai akibat dari adanya akses dari ruangan lain seperti toilet atau gudang. Mereka juga dapat muncul di ruang pamer karena terbawa oleh pengunjung atau petugas museum yang beraktivitas di ruang pamer. Keberadaan serangga sebagai hama tidak hanya memberi dampak langsung pada kerusakan koleksi, tetapi juga mengganggu estetika penataan koleksi di ruang pamer (National Park Service, 2016).

Pengelolaan serangga di dalam ruang pamer tertutup dapat dilakukan dengan menggunakan perangkap serangga. Selain sebagai upaya pengendalian, perangkap serangga digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan jenis serangga di sekitar koleksi dan dampak yang mungkin ditimbulkan. Salah satu jenis perangkap serangga yang umum digunakan adalah perangkap yang menggunakan perekat. Perangkap ini biasanya dilengkapi dengan atraktan berupa zat kimia yang menghasilkan feromon yang dapat menghasilkan bau yang dapat menarik serangga (NPIC, 2021). Perangkap debu juga biasanya diletakkan berdampingan sebagai upaya identifikasi debu yang ada di sekitar koleksi (Gambar 5.29).



Gambar 5.29 – Perangkap Serangga dan Debu



Gambar 5.30 – Alat Pemadam Api Ringan (APAR) harus Siap Digunakan untuk Menangani Risiko Api dan Kebakaran sebagai Agen Kerusakan

Manajemen pengelolaan koleksi di ruang pameran tertutup juga harus memperhatikan aspek manajemen risiko. Berbagai ancaman agen penyebab kerusakan koleksi tidak hanya membahayakan koleksi, tetapi juga berdampak pada keseluruhan museum,

termasuk aktivitas manusia di dalamnya. Risiko munculnya api dan kebakaran harus siap ditanggulangi, salah satunya dengan mempersiapkan alat pemadam api ringan (APAR) atau hidran di sekitar ruang pameran (Gambar 5.30). Simulasi serta kontrol alat berkala diperlukan untuk memastikan alat-alat tersebut bekerja dengan baik pada saat diperlukan (National Park Service, 2016; Pedersoli Jr. et al., 2016).

Proses pengamanan di sekitar ruang pameran juga perlu diperhatikan (National Park Service, 2016; Pedersoli Jr. et al., 2016). Pengamanan koleksi di ruang pameran difasilitasi dengan kunci dan alarm pada vitrin dan ruangan untuk meminimalkan kasus kriminal yang dapat terjadi terhadap koleksi (Gambar 5.31). Selain itu, penempatan petugas keamanan dilakukan tidak hanya sebagai pengamanan dari vandalisme atau kriminal saat pengunjung berada di ruang pameran, tetapi juga untuk memastikan bahwa keamanan koleksi terjaga saat petugas museum melakukan pengelolaan koleksi di sekitar ruang pameran tertutup (Gambar 5.32).



Gambar 5.31 – Proses Pengamanan Vitrin di Ruang Pameran Tertutup



Gambar 5.32 – Kegiatan Pengelolaan Koleksi Didampingi oleh Petugas Keamanan

5.5 PELAKSANAAN KONSERVASI

5.5.1 Proses Konservasi pada Prasasti Sadapaingan

Hasil identifikasi kondisi Prasasti Sadapaingan menunjukkan bahwa diperlukan beberapa tindakan konservasi interventif dan preventif yang dapat dilakukan (Gambar 5.33).

Berdasarkan hasil observasi dan analisis kondisi koleksi, diperlukan konservasi dasar berupa pembersihan debu dengan bantuan kuas dan penyedot debu dalam menangani Prasasti Sadapaingan (Gambar 5.34). Penyedot debu digunakan agar debu dan partikulat yang dibersihkan tidak beterbangan dan



1

PEMBERSIHAN DASAR

1. Pembersihan debu dengan kuas dan penyedot debu.
2. Pembersihan noda dengan larutan alkohol:akuades (1:1).



2

PENATAAN KEMBALI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERTUTUP

1. Peletakan Prasasti Sadapaingan di dalam vitrin.
2. Peletakan gel silika biru di dalam vitrin

Gambar 5.33 – Proses Konservasi Koleksi Prasasti Sadapaingan

kembali menempel pada koleksi. Proses ini dilakukan pada seluruh bagian koleksi, termasuk bagian lubang penghasil suara Prasasti Sadapaingan. Pembersihan dilakukan hingga tidak ada debu yang tersisa di permukaan koleksi (Gambar 5.35).



Gambar 5.34 – Kegiatan Pembersihan Debu pada Prasasti Sadapaingan



Gambar 5.35 – Prasasti Sadapaingan sebelum dan sesudah Dilakukan Konservasi

Setelah proses konservasi selesai, Prasasti Sadapaingan dikembalikan ke dalam vitrin (Gambar 5.36). Proses ini diikuti dengan peletakan gel silika biru sebagai agen pengendali kelembapan relatif (Gambar 5.37). Gel silika biru diletakkan pada kompartemen khusus dengan lubang udara yang terhubung pada ruang utama vitrin. Gel silika biru yang dibutuhkan untuk pemakaian 30 hari (1



Gambar 5.36 – Penataan Kembali Prasasti Sadapaingan ke Dalam Vitrin



Gambar 5.37 – Peletakan Gel Silika Biru ke dalam Vitrin Prasasti Sadapaingan



Gambar 5.38 – Penutupan Vitrin Berisi Prasasti Sadapaingan



bulan) adalah $0,825 \text{ kg/m}^3$. Oleh karena itu, untuk rencana durasi penggunaan gel silika biru selama 90 hari, jumlah desikan untuk vitrin yang berisi Prasasti Sadapaingan dengan ukuran 1 m^3 adalah 2,475 kg. Setelah 90 hari, gel silika biru



1

PEMBERSIHAN DASAR

1. Pembersihan debu dengan kuas dan penyedot debu.
2. Pembersihan noda dengan larutan alkohol:akuades (1:1).



2

PEMBERSIHAN KOROSI AKTIF

1. Dengan menggunakan larutan seskuikarbonat.



3

KONFIRMASI HILANGNYA KOROSI AKTIF

1. Penggunaan perak nitrat (AgNO_3).
2. Penggunaan kertas tes klorida.



4

PEMBERIAN INHIBITOR BENZOTRIAZOLA (BTA)



5

PELAPISAN KOLEKSI DENGAN PARALOID B-72



6

PENATAAN KEMBALI KOLEKSI DI RUANG PAMER TERTUTUP

1. Peletakan Arca Lokanantha di dalam vitrin.
2. Peletakan gel silika biru di dalam vitrin

Gambar 5.39 – Proses Konservasi Koleksi Arca Lokanantha



Gambar 5.40 – Pembersihan Debu pada Arca Lokanantha

dapat diganti dengan yang sudah siap pakai dan tidak jenuh. Vitrin kemudian ditutup dan dikunci untuk memastikan keamanan Prasasti Sadapaingan (Gambar 5.3).

5.5.2 Proses Konservasi Arca Lokanatha

Hasil identifikasi kondisi Prasasti Sadapaingan menunjukkan bahwa perlu dilakukan beberapa tindakan konservasi interventif dan preventif (Gambar 5.39).

Tahap awal konservasi dilakukan dengan pembersihan dasar seluruh permukaan koleksi menggunakan kuas dan penyedot debu (Gambar 40). Pembersihan diikuti dengan penggunaan



Gambar 5.41 – Pembersihan Noda pada Arca Lokanatha dengan Larutan Alkohol:akuades (1:1)



Gambar 5.42 – Aplikasi Larutan Seskuikarbonat pada Titik Korosi Aktif di Arca Lokanatha

larutan campuran alkohol dan akuades (1:1) untuk menghilangkan kotoran yang sulit dihilangkan jika hanya menggunakan kuas dan penyedot debu (Gambar 5.41).

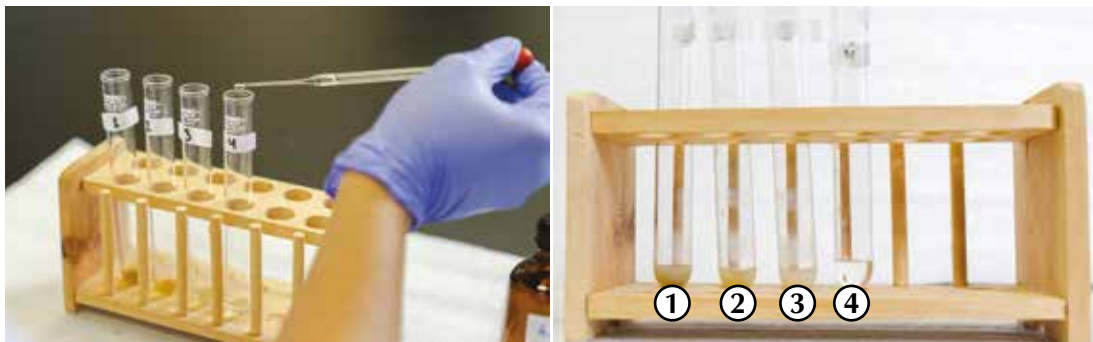
Proses pembersihan korosi dilakukan dengan menggunakan larutan seskuikarbonat 5% (w/v). Larutan seskuikarbonat diaplikasikan pada permukaan koleksi yang mengalami korosi menggunakan lap chamois yang sudah dipotong-potong sesuai dengan bentuk koleksi (Gambar 5.42). Lap chamois akan berubah warna menjadi kehijauan sebagai tanda adanya transfer pengotor atau korosi dari koleksi. Penggantian lap chamois yang telah kotor terus dilakukan hingga tidak ada lagi transfer warna hijau yang berasal dari larutnya korosi. Hasil perasan lap chamois yang sudah digunakan dapat

dijadikan sebagai indikator berkurangnya korosi yang diserap; makin jernih cairan perasan menunjukkan korosi yang tersisa makin sedikit (Gambar 5.43).

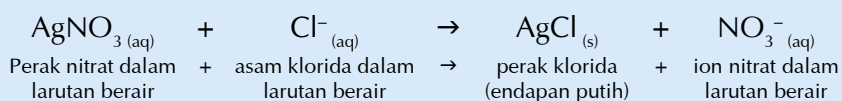
Keberadaan ion klorida sebagai penanda adanya korosi klorida dapat dideteksi menggunakan uji reagensia perak nitrat (AgNO_3) 0,1 N (Gambar 5.44). Endapan yang terbentuk pada perasan di tabung reaksi satu hingga empat terlihat secara gradual semakin sedikit, menunjukkan keberadaan ion klorida yang semakin sedikit pula (Gambar 47). Hal ini menjadi indikator bahwa proses pembersihan korosi telah berhasil dilakukan. Endapan berwarna putih tersebut terbentuk dari reaksi antara reagensia perak nitrat (AgNO_3) dan ion klorida (Cl^-), menghasilkan endapan perak klorida, AgCl .



Gambar 5.43 – Perbedaan Warna Larutan Sisa Pembersihan Korosi pada Arca Lokanatha setelah Empat Kali Penggantian Lap *Chamois* yang Diberi Larutan Seskuikarbonat



Gambar 5.44 – Perbandingan Endapan Putih (Perak Klorida) pada Sisa Larutan Hasil Pembersihan Arca Lokanatha dengan Larutan Seskuikarbonat



Reaksi pembentukan perak klorida (endapan putih)

Reaksi yang menyebabkan terbentuknya endapan tersebut merupakan reaksi ionik. Dalam hal ini ion perak bertindak sebagai kation, sedangkan ion klorida bertindak sebagai anion. Perak nitrat (AgNO_3) yang ditambahkan ke dalam larutan yang mengandung ion klorida (Cl^-) akan bereaksi membentuk produk berupa ion nitrat (NO_3^-) dan endapan putih perak klorida (AgCl) yang tidak larut. Endapan putih perak klorida menandakan bahwa

larutan seskuikarbonat yang digunakan berhasil mengangkat sisa korosi klorida pada koleksi. Selain menggunakan perak nitrat, konfirmasi keberadaan ion klorida didukung dengan penggunaan kertas tes klorida (Gambar 5.45). Pada keempat larutan sisa pembersihan diperoleh kadar ion klorida yang tersisa di bawah 10 ppm. Proses ini menunjukkan bahwa pembersihan menggunakan larutan seskuikarbonat dicukupkan pada aplikasi keempat.



Gambar 5.45 – Konfirmasi Keberadaan Ion Klorida dari Larutan Sisa Pembersihan Arca Lokanatha Menggunakan Kertas Tes Klorida



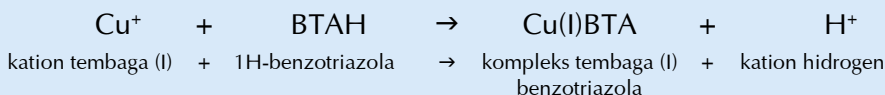
Gambar 5.46 – Pembilasan Arca Lokanatha

Setelah pembersihan korosi selesai, Arca Lokanatha dibersihkan menggunakan air mengalir dan detergen cair non-ionik sehingga tidak ada larutan yang menempel pada permukaan koleksi dan air cucian menjadi netral (pH bernilai 7) (Gambar 5.46). Setelah pH permukaan koleksi dipastikan netral, koleksi kemudian dikeringkan menggunakan blower (Gambar 5.47).



Gambar 5.47 – Pengeringan Arca Lokanatha dengan *Blower*

Setelah koleksi dipastikan kering, larutan benzotriazola (BTA/BTAH) 3% (dalam alkohol) dilapiskan pada permukaan koleksi sebagai inhibitor agar korosi tidak lagi terjadi (Gambar 5.48). Benzotriazola merupakan inhibitor khusus untuk logam tembaga dan panduannya. Penggunaan benzotriazola dimaksudkan agar korosi yang terjadi tidak berkelanjutan, terutama pada korosi aktif yang masih tersisa meski telah dibersihkan dengan natrium seskuikarbonat. Penggunaan inhibitor benzotriazola akan membentuk kompleks Cu(I)BTAH yang menyebabkan reduksi permukaan selaput atom-atom tembaga sehingga senyawa kompleks ini dapat mencegah pembentukan korosi lebih lanjut (Finsgard dan Milosev, 2010).



Skema pembentukan kompleks tembaga (i) benzotriazola

Proses konservasi diakhiri dengan melapiskan larutan paraloid B-72 3% (dalam toluena) sebagai pelapis dan pelindung koleksi dari kontak langsung dengan udara dan agen penyebab kerusakan koleksi lainnya (Gambar 5.49).

Seluruh proses konservasi menggunakan bahan kimia ini dilakukan berdasarkan rekomendasi penanganan koleksi yang dibuat setelah dilakukan analisis kondisi koleksi. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan korosi aktif pada



Gambar 5.48 – Pelapisan Arca Lokanatha dengan Larutan Benzotriazola (BTA) 3%



Gambar 5.49 – Pelapisan Koleksi Menggunakan Larutan Paraloid

bagian bawah koleksi dan mencegah agen penyebab kerusakan koleksi menimbulkan kerusakan atau korosi lebih lanjut. Proses konservasi yang dilakukan telah berhasil menghilangkan korosi aktif berwarna kehijauan pada



Sebelum



Sesudah

Gambar 5.50 – Bagian Bawah Alas (Lapik) Arca Lokanatha sebelum dan sesudah Dilakukan Konservasi

bagian bawah lapik (alas) Arca Lokanatha (Gambar 5.50).

Setelah proses konservasi selesai, Arca Lokanatha diletakkan kembali di dalam vitrin (Gambar 5.51). Sama seperti vitrin yang berisi Prasasti Sadapaingan, vitrin yang berisi Arca Lokanatha juga berukuran 1 m³. Hal tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan gel silika biru untuk kedua vitrin adalah sama, yaitu 2,475 kg untuk durasi penggunaan selama 90 hari (Gambar 5.52). Gel silika biru pada



Gambar 5.51 – Penataan Kembali Arca Lokanatha ke dalam vitrin



Gambar 5.52 – Peletakan Gel Silika Biru ke dalam Vitrin Arca Lokanatha



Gambar 5.53 – Penutupan Vitrin Berisi Arca Lokanatha

vitrin harus segera diganti setelah jenuh (90 hari), untuk memastikan kelembapan relatif di dalam vitrin tetap terjaga. Untuk memastikan keamanan koleksi, vitrin kemudian dikunci dan ditutup rapat (Gambar 5.53).

5.6 KESIMPULAN

Prasasti Sadapaingan dan Arca Lokanatha merupakan koleksi yang terbuat dari perunggu timbel berbentuk tiga dimensi dengan tambahan unsur seng (Zn). Faktor-faktor internal ataupun eksternal seperti unsur-unsur penyusun dan lingkungan tentunya memengaruhi kelestarian kondisi kedua koleksi. Keberadaan materi partikulat seperti debu yang berasal dari objek-objek di sekitar kedua koleksi memerlukan penanganan berupa pembersihan dasar pada permukaan koleksi. Korosi hijau yang ada pada koleksi Arca Lokanatha diperkirakan berasal dari lingkungan penggalian atau ekskavasi sehingga dibutuhkan kegiatan konservasi interventif secara kimiawi. Tidak hanya konservasi interventif, pemantauan dan pengendalian lingkungan dalam penataan koleksi



merupakan upaya konservasi preventif yang penting dalam pengelolaan koleksi jangka panjang. Berbagai aspek seperti iklim mikro dan polutan adalah beberapa contoh penyebab kerusakan koleksi yang harus diperhatikan kondisinya di sekitar koleksi.

Temperatur di sekitar koleksi terpantau aman, namun, pendingin ruangan yang tidak diaktifkan 24 jam menyebabkan adanya fluktuasi pada temperatur yang juga memengaruhi kelembapan relatif di sekitar koleksi. Kelembapan relatif di luar vitrin kedua koleksi lebih tinggi dan fluktuatif dibandingkan dengan kondisi di dalam vitrin. Hal ini menunjukkan keberhasilan vitrin sebagai lapisan pelindung koleksi dari kelembapan relatif yang tidak sesuai. Hal ini juga perlu didukung dengan penambahan gel silika biru sebagai agen pengendali kelembapan di dalam vitrin.

Konsentrasi polutan berupa senyawa organik volatil (volatile organic compound (VOC)) dan materi partikulat yang terdeteksi di dalam kedua vitrin berada dalam batas aman untuk kedua koleksi. Namun, sumber-sumber polusi



baik yang berasal dari dalam maupun luar museum tetap harus diperhatikan. Selain iklim mikro dan polutan, beberapa faktor seperti pencahayaan, serangga, api, dan keamanan perlu mendapatkan perhatian di ruang pameran tertutup secara umum meskipun tidak memiliki dampak khusus terhadap koleksi berbahan perunggu.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan kedua koleksi yang dipantau selama proses konservasi koleksi berlangsung masih berada dalam kondisi aman untuk koleksi dan manusia. Hal ini dapat terlihat dari terpeliharanya koleksi Prasasti Sadapaingan dan Arca Lokanatha yang tergolong baik. Meskipun begitu, diperlukan kegiatan pemantauan serta pengendalian lingkungan dan kondisi koleksi secara berkala untuk menjaga kelestarian koleksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Saad, Z. (2013). CM 651 Preventive Conservation/Advance. Dipetik 17 September 2021, dari Yarmouk University: <https://faculty.yu.edu.jo/zalsaad/Lists/Taught%20Courses/DispForm.aspx?ID=32>.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Standar Nasional Indonesia (Indonesian National Standardization) - SNI 6390:2011 Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Balocco, C., dan Vestrucci, S. (2020). "An Experimental Study of Museum Showcases in Florence Under Real Operating Conditions". *International Journal of Conservation Science*, 11(4), 979–996.
- CDC. (2019). Particle Pollution. Dipetik 17 September, 2021, dari Center of Disease Control: https://www.cdc.gov/air/particulate_matter.html.
- Chiantore, O., dan Poli, T. (2021). "Indoor Air Quality in Museum Display Cases: Volatile Emissions, Materials Contributions, Impacts". *Atmosphere*, 12(3), 364.
- Clarelli, F., De Filippo, B., dan Natalini, R. (2014). "Mathematical Model of Copper Corrosion". *Applied Mathematical Modelling*, 38(19–20), 4804–4816.
- Clean Air Asia. (2016). *Guidance Framework for Better Air Quality in Asian Cities*. Pasig City: Clean Air Asia.
- Council, H.C. (2002). *Guidelines for Environmental Control in Cultural Institutions*. Canberra: Commonwealth Department of Communications, Information Technology and the Arts.
- Daehner, J.M., Lapatin, K., dan Spinelli, A. (2017). *Artistry in Bronze: The Greeks and Their Legacy XIXth International Congress on Ancient Bronzes*. Los Angeles: Getty Publications.
- Elizabeth, B. (2013). *Museum Exhibition Planning and Design*. Lanham: AltaMira Press.
- Engineering ToolBox. (2004). Water Vapor and Saturation Pressure in Humid Air. Dipetik 18 September 2021, dari https://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html.

- EPA. (2021). Particulate Matter (PM) Basics. Dipetik 18 September 2021, dari United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>.
- Fenton, J. (2004). Light on a Dark Subject. Dipetik 18 September 2021, dari The Guardian: <https://www.theguardian.com/artanddesign/2004/mar/13/art>.
- Finsgard, M., dan Milosev, I. (2010). "Inhibition of Copper Corrosion by 1,2,3-Benzotriazole: A Review". *Corrosion Science*, 52(9), 2737–2749.
- Graedel, T.E., Nassau, K., dan Franey, J.P. (1987). "Copper Patinas Formed in the Atmosphere-I. Introduction". *Corrosion Science*, 27(7), 639–657.
- Grzywacz, C.M. (2006). *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environment*. Los Angeles: Getty Publications.
- Hatchfield, P.B. (1986). "The Problem of Formaldehyde in Museum Collections". *Museum Management and Curatorship*, 5(2), 183–188.
- Hatchfield, P.B. (2002). *Pollutants in the Museum Environment: Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage*. London: Archetype Publications.
- Heritage Collections Council. (2002). *Guidelines for Environmental Control in Cultural Institutions*. Canberra: Commonwealth Department of Communications, Information Technology and the Arts.
- IQAir. (2021). Air Quality in Jakarta. Dipetik 18 Desember 2021, dari IQAir: <https://www.iqair.com/indonesia/jakarta>.
- Jacobsen, M.L. (2007). "Dust: A Method for Sampling and Analysing Dust on Museum Objects". *Museum Microclimates*. Copenhagen: Conservation Physics.
- Knell, S. (1994). *Care of Collections*. London: Routledge.
- Logan, J. (2007). Storage of Metals–Canadian Conservation Institute (CCI) Notes 9/2. Dipetik 19 September 2021, dari Government of Canada: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/storage-metals.html>.
- Macleod, I.D. (1981). "Bronze Disease: An Electrochemical Explanation". *ICCM Bull*, 7, 16–26.

- Merritt, J., dan Reilly, J.A. (2010). *Preventive Conservation for Historic House Museums*. Lanham: AltaMira Press.
- Michalski, S. (2021). Agent of Deterioration: Incorrect Relative Humidity. Dipetik 19 September 2021, dari Government of Canada: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/humidity.html>.
- Museum Galleries Scotland. (2021). Conservation and Lighting. Dipetik 19 September 2021, dari Museum Galleries Scotland: <https://www.museumgalleriescotland.org.uk/advice/collections/conservation-and-lighting/>.
- Nasoichah, C., dan Andhifani, W.R. (2020). "Prasasti-Prasasti Beraksara Pasca-Palawa: Bukti Keberagaman di Kawasan Kepurbakalaan Padang Lawas, Sumatera Utara". *Jurnal Arkeologi*, 25(1), 1–14.
- Nastiti, T.S., dan Djafar, H. (2017). "Prasasti-Prasasti dari Masa Hindu Buddha (Abad ke-12–16 Masehi) di Kabupaten Ciamis". *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Arkeologi*, 5(2), 101–116.
- National Park Service. (2016). *Museum Handbook: Part 1 Museum Collections*. Washington, D.C.: National Park Service.
- Neuhaus, E. (2012). "A Critical Look at HVAC-systems in the Museum Environment". *Standards and Uncertainties Conferences* (pp. 117–126). Munich: Climate for Collections.
- NPIC. (2021). Pheromone Traps. Dipetik 19 September 2021, dari National Pesticide Information Center: <http://npic.orst.edu/ingred/ptype/pheromone.html>.
- Oudbashi, O. (2014). "From Excavation to Preservation: Preventive Conservation Approaches in Archaeological Bronze Collections". *The Preservation of Archaeological Metals: from First Aid to Long-Term Conservation*, (pp. 29–35). Brussels.
- Pedersoli Jr., J.L., Antomarchi, C., dan Michalski, S. (2016). *A Guide to Risk Management of Cultural Heritage*. Sharjah: ICCROM.
- Philadelphia Museum of Art. (2021). What Effect Does Exposure to Light Have on a Museum's Collections? Dipetik 19 September, 2021, dari Philadelphia Museum of Art: <https://www.philamuseum.org/conservation/10.html?page=2>.

- Proietti, A., Panella, M., Leccese, F., & Svezia, E. (2015). "Dust Detection and Analysis in Museum Environment Based on Pattern Recognition". *Measurement*, 66, 62–72.
- Salem, M., dan Bohm, M. (2013). "Understanding of Formaldehyde Emissions in Solid Wood: An Overview". *BioResources*, 8(3), 4775–4790.
- Scott, D.A. (1990). "Bronze Disease: A Review of Some Chemical Problems and the Role of Relative Humidity". *The Journal of the American Institute for Conservation*, 29(2), 193–206.
- Sobel, A.H. (2012). "Tropical Weather". *Nature Education Knowledge*, 3(12).
- Tétreault, J. (2021). Agent of Deterioration: Pollutants. Dipetik 19 September 2021, dari Government of Canada: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html>.
- Tétreault, J., Cano, E.v., Scott, D., Dennis, M., Barthés-Labrousse, M.M., dan Robbiola, L. (2003). "Corrosion of Copper and Lead by Formaldehyde, Formic, and Acetic Acid Vapours". *Studies in Conservation*, 48(4), 237–250.
- Thomson, G. (1977). "Stabilization of RH in Exhibition Cases: Hygrometric Half-Time". *Studies in Conservation*, 22(2), 85–102.
- Weintraub, S. (2002). "Demystifying Silica Gel". *Objects Specialty Group Postprints*, 9, 169–194.
- Welchman, J.C. (Ed.). (2013). *Sculpture and the Vitrine*. Farnham: Ashgate Publishing Ltd.
- WHO. (2010). *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. Geneva: World Health Organization.



BAB 6

Konservasi Koleksi di Ruang Penyimpanan



Ruang penyimpanan berfungsi sebagai pelindung koleksi terhadap faktor berbahaya di lingkungan, kecelakaan, bencana, dan pencurian, serta menjaga kelestarian mereka untuk masa depan.

BAB 6

KONSERVASI KOLEKSI DI RUANG PENYIMPANAN

Dian Novita Lestari, S.Si., M.Hum.
Nurhanifiyah Azura, S.Si.
Mega Ayu Waningsih, S.Si.
Wahyuda

6.1 TUJUAN

Dalam praktik pengelolaan koleksi di museum, tidak semua koleksi dipamerkan di ruang pameran. Koleksi yang disimpan di ruang penyimpanan tidaklah berarti koleksi tidak lebih penting nilainya daripada koleksi yang dipamerkan. Banyak faktor yang mengakibatkan tidak semua koleksi dapat ditampilkan di ruang pameran. Keterbatasan jumlah koleksi yang dapat dipamerkan, ketidaksesuaian dengan story line yang ada, terdapatnya sejumlah koleksi yang sama, perputaran koleksi, atau koleksi yang masih dalam tahap penelitian menyebabkan mayoritas koleksi tidak dipamerkan, tetapi disimpan di ruang penyimpanan.

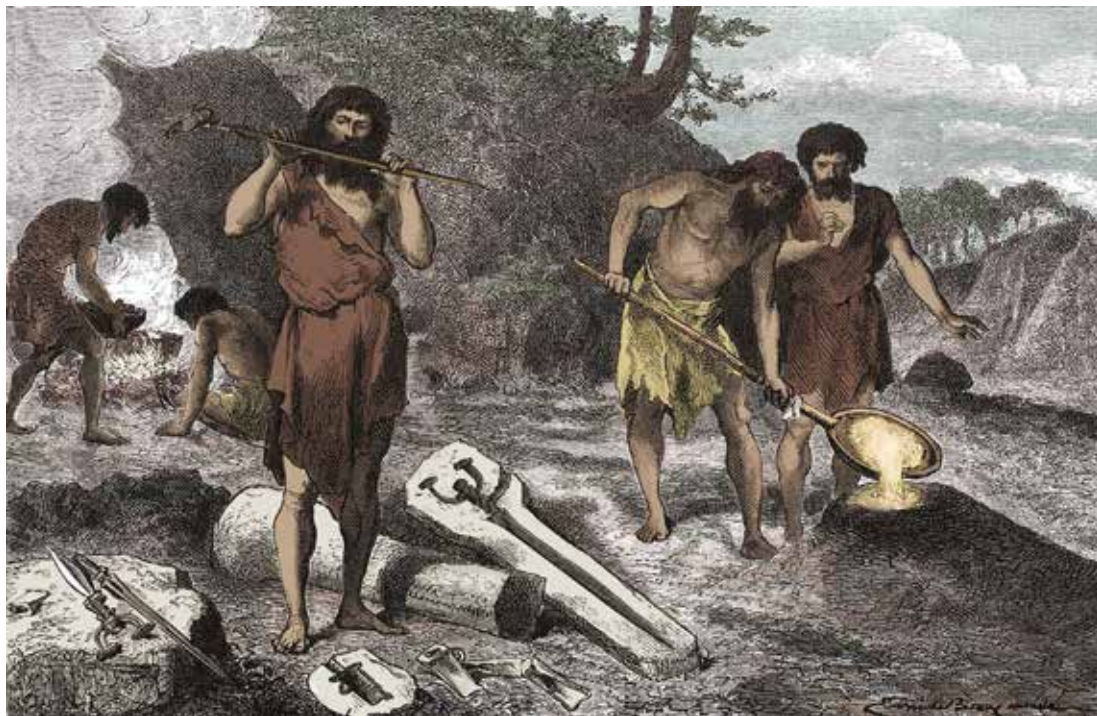
Ruang penyimpanan bukanlah sebatas ruang mati yang tidak ada aktivitasnya, melainkan ruang



Gambar 6.1 – Ruang Penyimpanan Koleksi Gedung *Storage*, Museum Nasional

tempat terjadinya penyimpanan, pelestarian, dan pengelolaan koleksi secara aktif. Makin baik pengelolaan koleksi di ruang penyimpanan, makin mudah koleksi dapat dimanfaatkan dalam kegiatan-kegiatan museum.

Ruang penyimpanan berfungsi sebagai pelindung koleksi terhadap faktor berbahaya di lingkungan, kecelakaan, bencana, dan pencurian, serta menjaga kelestarian koleksi untuk masa depan.



Gambar 6.2 – Ilustrasi Masa Perundagian, Karya Louis Figuier, 1871 (*sciencesource.com*)

Koleksi yang disimpan di ruang penyimpanan dapat dikatakan lebih aman dari pengaruh lingkungan luarnya karena memiliki beberapa lapisan pelindung. Lapisan pelindung koleksi di ruang penyimpanan dimulai dari material pembungkus pada lapisan pertama, diikuti boks penyimpanan, rak penyimpanan, ruangan penyimpanan, hingga gedung penyimpanan pada lapisan terakhir.

Selain ruang penyimpanan yang ada di kawasan Museum Nasional, Jalan Medan Merdeka Barat, Museum Nasional memiliki Gedung *Storage* Museum Nasional yang terletak di Jalan Raya Mabes Hankam. Gedung penyimpanan ini terdiri atas tiga lantai dengan beberapa ruang penyimpanan yang dibagi berdasarkan jenis material koleksi. Gedung penyimpanan ini secara khusus dibuat untuk koleksi yang

besar dan berat. Setiap bahan koleksi memiliki standar sensitivitas yang berbeda terhadap kelembapan relatif, temperatur, dan bahaya-bahaya lainnya yang berdampak pada kebutuhan yang berbeda dalam manajemen koleksi dan konservasi preventif.

Salah satu koleksi berbahan dasar perunggu yang disimpan di ruang penyimpanan Gedung *Storage* Museum Nasional adalah candrasa. Pada bab ini akan dibahas tahapan konservasi candrasa dikaitkan dengan lingkungan tempat koleksi ini berada, yaitu ruang penyimpanan.

6.2 PEMILIHAN KOLEKSI

Zaman logam atau sering disebut dengan masa perundagian merupakan suatu masa prasejarah yang masyarakatnya sudah memiliki golongan undagi yang terampil

melakukan pekerjaan tangan. Keunggulan logam sendiri adalah dapat dibuat menjadi bentuk yang rumit jika dibandingkan dengan batu, serta jika patah dapat dicairkan dan dibentuk ulang kembali.

Di dunia, zaman logam umumnya dibagi menjadi zaman tembaga, zaman perunggu, dan zaman besi. Sementara itu, di Indonesia sendiri, zaman logam dinyatakan dengan zaman perunggu-besi (berlangsung paralel) karena tidak dikenalnya zaman tembaga, serta temuan perunggu di Indonesia yang umumnya berada di lapisan yang sama dengan temuan besi (Heekeren, 1958). Pada zaman perunggu ini manusia purba biasa mencampur tembaga dengan timah sehingga menghasilkan logam yang cukup keras pada zamannya.

Candrasa merupakan benda prasejarah berbahan perunggu yang berasal dari zaman logam, berbentuk pendek, kemudian melebar ke bagian pangkalnya. Candrasa digunakan sebagai sarana melakukan upacara ritual yang berhubungan dengan aliran kepercayaan atau sistem perayaan adat sehingga candrasa digolongkan sebagai kapak upacara. Hal ini karena bentuknya indah dan unik, serta terdapat pola hias pada tangkainya.

Salah satu jenis koleksi perunggu yang ada di ruang simpan adalah kapak candrasa. Dua koleksi kapak candrasa yang akan dikonservasi memiliki nomor inventaris 1440 dan 1432. Kedua koleksi tersebut telah berada di ruang simpan dalam waktu yang lama. Koleksi ini merupakan benda arkeologis dari masa prasejarah.

Koleksi kapak candrasa 1432 memiliki visual yang dapat dilihat pada Gambar 6.3, dengan dimensi panjang 68,5 cm dan lebar 19 cm.



Gambar 6.3 – Kapak Candrasa dengan Nomor Inventaris 1432

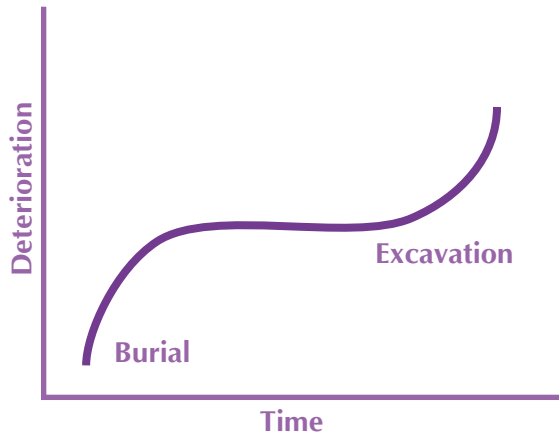
Berbeda dari kapak candrasa 1432 yang memiliki dimensi cenderung panjang, kapak candrasa 1440 (Gambar 6.4) memiliki dimensi cenderung lebar, yaitu panjang 48,5 cm dan lebar 28,5 cm.

Pada benda arkeologis, bagaimana penggunaan dan keterawatan suatu



Gambar 6.4 – Kapak Candrasa dengan Nomor Inventaris 1440

benda selama masa pemakaiannya dapat memengaruhi seberapa baik benda tersebut terpelihara ketika terkubur. Jika pada benda tersebut telah terdapat kerusakan, makin rentan adanya kerusakan tingkat lanjut ketika terkubur.



Gambar 6.5 – Laju Kerusakan Benda Arkeologi saat Terkubur dan setelah Ekskavasi (Newton dan Cook, 2018)

Selama terkubur di suatu area, benda sangat mungkin dikelilingi oleh mikroorganisme, kelembapan, serta kontaminan lain di lingkungannya yang akan memperparah kerusakan yang ada. Namun, seperti terlihat pada Gambar 6.5, lama-kelamaan benda mencapai keseimbangan dengan lingkungannya dan laju kerusakan benda akan melambat.

Ketika penggalian, benda tersebut akan terpapar oleh lingkungan yang baru sehingga laju kerusakan benda akan kembali meningkat. Ketepatan penanganan pascapenggalian sangat berperan penting terhadap kelestarian benda tersebut.

Ketika masuk ke museum, diharapkan

benda arkeologis tersebut mendapatkan penanganan yang baik dari segi kuratif ataupun preventifnya. Oleh karena itu, kondisi koleksi ketika ditemukan dan lokasi penemuan bisa memengaruhi kondisinya saat ini, selain juga unsur penyusunnya yang tidak sama persis.

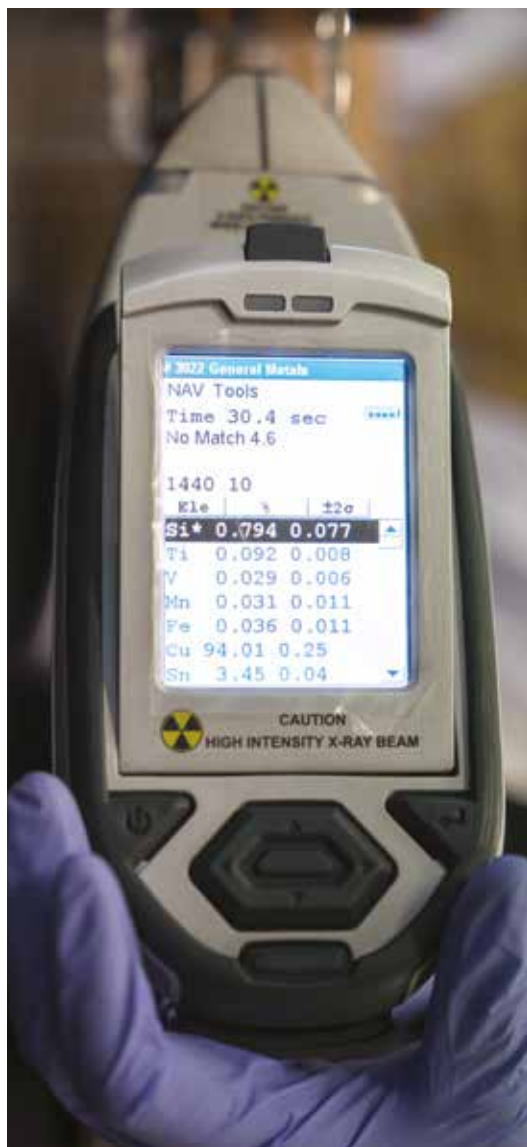
Oleh karena itu, tulisan ini memaparkan bahwa meskipun dua koleksi kapak candrasa berbahan dasar yang sama, yaitu perunggu, dan dalam lokasi penyimpanan yang sama, ternyata keduanya memiliki kondisi yang berbeda, yang mengakibatkan perlakuan konservasi yang berbeda pula.

Dengan demikian, diharapkan informasi ini dapat memberi pemahaman kepada masyarakat bahwa banyak faktor yang menentukan tindakan konservasi terhadap suatu koleksi. Tidak bisa digeneralisasi bahwa tindakan yang sama dapat diberikan untuk semua koleksi tertentu. Pemahaman mengenai komposisi penyusun koleksi dan kerusakan koleksi harus dimiliki dalam melakukan tindakan konservasi.

6.2.1 Analisis Material Koleksi

Analisis komposisi unsur penyusun kedua kapak candrasa menggunakan instrumen *X-ray fluorescence (XRF)*¹. *Portable X-ray fluorescence (pXRF)* merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk menganalisis beragam unsur secara *in situ* melalui genggaman. Sampel ditempatkan pada jangkauan alat untuk dianalisis dan hasil akan ditampilkan pada layar instrumen. Dalam analisis ini digunakan metode *general*

¹ Alat XRF yang digunakan adalah *Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+* yang memiliki bentuk portabel



Gambar 6.6 – Alat XRF yang Digunakan untuk Analisis Material Koleksi

metal. Dalam pengukuran, diambil 12 titik sampel pengambilan data yang tersebar di seluruh permukaan koleksi. Pemilihan 12 titik ini juga mengakomodasi titik warna permukaan logam yang berbeda-beda. Analisis dilakukan dalam rentang waktu 30 detik pada setiap titik.

A. Komposisi logam perunggu sebagai unsur utama Koleksi Candrasa

Perunggu merupakan paduan (*alloy*) logam dari logam tembaga dan timah. Tembaga banyak dijadikan bahan paduan yang memiliki berbagai karakteristik khas. Pembuatan paduan tembaga dilakukan untuk mendapat karakteristik berupa kekuatan, kelenturan, dan stabilitas termal yang diinginkan.

Cuprum atau tembaga merupakan unsur kimia dengan rumus atom Cu. Karakteristik unsur tembaga dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6.1 – Karakteristik Unsur Tembaga

Tembaga (Cu)	
Nomor atom	29
Berat molekul	63,55 g/mol
Kategori	Logam transisi
Warna	Kemerahan, berkilau
Sifat fisik	Lunak, mudah dibentuk
Titik lebur	1083 °C
Lainnya	Konduktivitas termal dan listrik baik (Michels, 2006) Nonmagnetik Tahan terhadap korosi Tahan dalam jangka waktu lama



Gambar 6.7 – Tembaga

Penambahan unsur timah pada tembaga menghasilkan logam yang lebih kuat daripada logam tembaga itu sendiri, memiliki titik leleh yang cukup tinggi, serta bersifat lebih resisten terhadap korosi. Hal inilah yang menyebabkan banyak artefak perunggu masih awet hingga saat ini. Perunggu timah tidak dapat ditarik oleh magnet kecuali diberi unsur besi atau nikel di dalam campurannya. Campuran ini digunakan secara luas dalam bidang seni, alat musik, konstruksi, dan senjata.

Tin atau timah memiliki simbol atom Sn. Karakteristik unsur timah dapat dilihat pada Tabel 6.2

Tabel 6.2 – Karakteristik Unsur Timah

Timah/ <i>Tin</i> (Sn)	
Nomor atom	50
Berat molekul	118,71
Kategori	Logam miskin atau logam pasca transisi
Warna	Abu-abu (α -form) Putih (β -form)
Sifat fisik	Halus, lunak, elastis, tidak larut dalam air
Titik lebur	232°C
Lainnya	Pada suhu kurang dari 18°C, timah abu-abu akan berubah menjadi timah putih



Gambar 6.8 – Timah

Timah banyak digunakan dalam pelapisan untuk pencegahan korosi, magnet superkonduktor, pembuatan kaca, dan juga bahan pembuat *alloy* (Howe dan Watts, 2005).

Perunggu timah merupakan salah satu paduan logam yang komponen utamanya terdiri atas tembaga dan timah dengan kadar timah bervariasi antara 10% dan 45%.

Kandungan awal tembaga (Cu) yang banyak akan memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap korosi. (Liang, Jiang, dan Zhang, 2021).

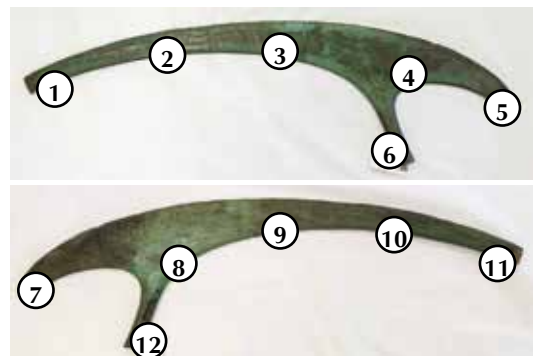
Tabel 6.3 – Karakteristik Perunggu Berdasarkan Persentase Kandungan Timah

Persentase Timah dalam Perunggu	Warna	Sifat Fisik
$\geq 10\%$	Kuning	Memiliki ketahanan yang cukup tinggi terhadap korosi
$\geq 30\%$	Abu-abu	

Selain perunggu timah, ada juga logam-logam lain yang bisa ditambahkan dalam paduan perunggu, seperti aluminium, arsen, fosfor, timbel (timbal/plumbum), mangan, dan silikon.

B. Komposisi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1432

Gambar 6.9 menunjukkan titik pengambilan data komposisi unsur dasar dan unsur korosi dari kapak candrasa 1432. Hasil dari analisis komposisi unsur



Gambar 6.9 – Persebaran Titik Analisis XRF Kapak Candrasa 1432

menunjukkan komposisi utama logam dalam kapak candrasa 1432 adalah tembaga, timah, silikon, besi, dan timbel. Sementara itu, komposisi logam minornya terdiri atas sepuluh unsur (perak, aluminium, bismut, titanium, seng, vanadium, mangan, emas, fosfor, dan selenium) yang total keseluruhannya memiliki andil pada 0,1% komposisi candrasa. Komposisi logam

dominan dan detail disajikan dalam Tabel 6.4 dan Tabel 6.5.

Tabel 6.4 – Komposisi Utama Kapak Candrasa 1432 dalam Persentase (%)

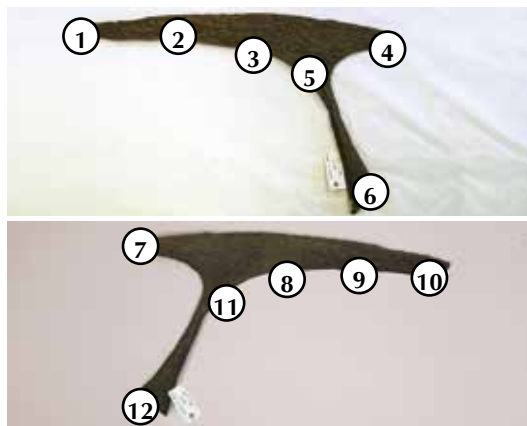
Tembaga Cu	Timah Sn	Silikon Si	Besi Fe	Timbel Pb
57,46	35,73	4,62	0,50	0,50

Tabel 6.5 Komposisi Utama Kapak Candrasa 1432 dalam Persentase (%)

Unsur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tembaga Cu	53,43	77,23	67,61	63,40	64,58	46,22	55,79	61,69	45,17	45,10	43,38	65,91
Timah Sn	38,77	16,57	26,16	29,77	28,67	47,93	36,37	33,31	47,11	47,34	50,04	26,71
Silikon Si	6,02	2,67	2,31	5,01	5,30	3,70	5,87	3,08	5,72	5,64	4,59	5,52
Besi Fe		1,19	2,53	0,53		0,40		0,83			0,08	0,48
Timbel Pb	0,60	0,04	0,16	0,43	0,53	0,61	0,74	0,44	0,73	0,69	0,67	0,41

C. Komposisi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1440

Gambar 6.10 menunjukkan titik pengambilan data komposisi unsur dasar



Gambar 6.10 – Persebaran Titik Analisis XRF Kapak Candrasa (1440)

dan unsur korosi dari kapak candrasa 1440. Hasil analisis komposisi unsur menunjukkan bahwa komposisi utama logam dalam kapak candrasa 1440 adalah tembaga, timah, silikon, antimon, dan timbel. Sementara itu, komposisi logam minornya terdiri atas sembilan unsur (aluminium, titanium, besi, sulfur, bismut, vanadium, seng, mangan, dan emas) yang total keseluruhannya memiliki andil pada 0,14% komposisi candrasa. Komposisi logam dominan dan detail disajikan dalam Tabel 6.6 dan Tabel 6.7.

Tabel 6.6 – Komposisi utama Kapak Candrasa 1440 dalam Persentase (%)

Tembaga Cu	Timah Sn	Silikon Si	Antimon Sb	Timbel Pb
92,11	3,71	1,41	0,74	0,72

Tabel 6.7 – Detail Komposisi Unsur Kapak Candrasa 1440 dalam Persentase (%)

Unsur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tembaga Cu	78,05	94,50	93,88	94,75	93,42	91,18	93,59	93,22	93,78	94,01	93,32	91,61
Timah Sn	2,43	3,39	4,09	3,37	4,21	3,95	3,78	3,91	3,73	3,45	2,94	5,25
Silikon Si	8,20	0,56	0,51	0,39	0,64	1,72	0,71	0,83	0,70	0,79	1,03	0,87
Antimon Sb	0,48	0,64	0,84	0,72	0,86	0,78	0,75	0,73	0,72	0,67	0,60	1,05
Timbel Pb	0,52	0,65	0,52	0,57	0,63	0,80	0,84	0,97	0,79	0,80	0,56	0,98

6.2.2 Analisis Kerusakan Koleksi

Analisis kerusakan merupakan salah satu hal yang perlu dilakukan untuk menentukan apa saja perlakuan yang perlu diberikan pada koleksi. Dalam melakukan analisis kerusakan, perlu dilakukan pendataan yang disebut dengan *identifikasi kondisi koleksi*.



Gambar 6.11 – Input Data Identifikasi Kondisi Koleksi

Adapun data yang perlu dicatat dalam melakukan identifikasi antara lain adalah sebagai berikut.

♦ **Tanggal dilakukannya kegiatan analisis**

Agar tanggal rekam jejak kondisi koleksi tidak tumpang tindih jika koleksi akan dianalisis pada kemudian hari.

♦ **PIC (Person in Charge)**

Merupakan konservator yang bertanggung jawab secara penuh terhadap proses analisis. Hal ini perlu didata agar jika terdapat pertanyaan dalam rekomendasinya pada kemudian hari dapat bertanya kepada konservator yang tepat.



Gambar 6.12 – Petugas yang Bertugas dalam Kegiatan Identifikasi adalah PIC

- ♦ **Nama dan nomor inventaris koleksi**
Nama dan nomor inventaris pada koleksi merupakan sidik jari tiap-tiap koleksi yang membedakan satu koleksi dengan koleksi yang lain.



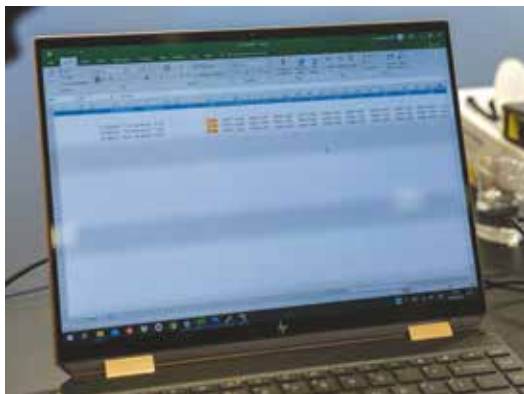
Gambar 6.13 – Nama dan Nomor Inventaris Koleksi

- ♦ **Dimensi koleksi**
Menjadi acuan jika terjadi perubahan dalam dimensi koleksi (patah, hilang, korosi aktif). Pengukuran ini juga dapat bermanfaat untuk memperkirakan kebutuhan bahan konservasi ataupun restorasi jika dibutuhkan, tentunya selain dari jenis dan tingkat kerusakannya.



Gambar 6.14 – Pengukuran Dimensi Koleksi

- ♦ **Bahan utama dan bahan pendukung**
Penentuan bahan dapat menggunakan analisis dengan atau tanpa alat. Pengetahuan komposisi bahan penyusun yang tepat dapat bermanfaat untuk menentukan tindakan yang tepat pula dalam melakukan konservasi.



Gambar 6.15 – Menentukan Bahan Koleksi dengan Menggunakan XRF

- ♦ **Kondisi kerusakan koleksi secara detail**
Perlu dicatat secara detail, untuk mengetahui perubahan kondisi yang terjadi pada koleksi seiring waktu. Dengan mengetahui kerusakan, selanjutnya akan dapat dibuat rekomendasi perawatan.



Gambar 6.16 – Identifikasi Kerusakan Koleksi dengan Bantuan Alat

- ♦ **Klasifikasi kerusakan**

Merupakan klasifikasi kerusakan koleksi yang terbagi atas rendah, sedang, dan tinggi. Jika koleksi dalam keadaan darurat dan butuh penanganan cepat, klasifikasi yang diberikan adalah tinggi. Darurat berarti, jika tidak segera ditangani, koleksi akan bertambah parah kerusakannya. Sebaliknya, jika tidak membutuhkan penanganan dengan segera dan dalam kondisi stabil, koleksi akan diberi klasifikasi rendah. Dengan mengingat banyaknya jumlah koleksi yang dikelola, klasifikasi ini penting dibuat untuk dapat memberikan tindakan paling cepat dan tepat, dimulai dari koleksi yang paling membutuhkan.

Untuk koleksi berbahan perunggu, kerusakan yang umum terjadi adalah korosi. Analisis korosi yang terbentuk diperlukan untuk memberikan penanganan yang tepat sesuai dengan jenis korosinya, apakah berupa korosi pasif ataupun korosi aktif yang perlu dihilangkan sebelum korosi merusak koleksi lebih jauh.

Identifikasi kerusakan koleksi dilakukan dengan pengamatan secara kasat mata atau dengan bantuan peralatan. Peralatan yang digunakan misalnya adalah *Pantone Metallics Solid Coated*, mikroskop digital, dan instrumen *X-ray fluorescence* (XRF).



Gambar 6.17 – Identifikasi Unsur Korosi dengan Menggunakan XRF



Gambar 6.18 – Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi dengan Cara Makroskopis



Gambar 6.19 – Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi dengan Cara Mikroskopis

Pantone Metallics Solid Coated digunakan untuk mengidentifikasi warna permukaan koleksi dengan membandingkan warnanya pada katalog warna yang ada. Mikroskop digital *Dinolite* digunakan untuk mendapatkan citra kondisi koleksi secara mikro.

Sementara itu, instrumen X-ray fluorescence (XRF) digunakan untuk mengetahui komposisi unsur koleksi guna mendeteksi kerusakannya. Namun, dalam analisis ini digunakan metode All-Geo agar unsur yang terbaca tidak hanya berupa logam, tetapi juga unsur lain bukan logam. Analisis dilakukan dalam rentang waktu 30 detik pada setiap titik. Adapun jumlah lokasi analisis adalah 12 titik.

A. Korosi dan Karakteristiknya

Korosi merupakan proses yang terjadi secara alami pada suatu materi untuk mencapai energi terendah (Davis J., 2000). Korosi dapat menyebabkan kerusakan materi dan penurunan kualitas, terutama pada logam, karena terjadi reaksi dengan lingkungannya baik secara kimia maupun

elektrokimia. Beberapa faktor lingkungan yang dapat menyebabkan korosi adalah atmosfer, kelembapan udara, gas, air laut, bahan asam, dan bahan alkali.

Berdasarkan penampakkannya, korosi dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- ▷ korosi seragam: korosi berada di seluruh permukaan; dan
- ▷ korosi terlokalisasi: korosi hanya berada di bagian tertentu.

Sesuai dengan jenis perilaku korosi saat logam bereaksi dengan lingkungannya, korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu korosi aktif dan korosi pasif.

- ▷ Korosi aktif
korosi yang terjadi secara terus-menerus atau kontinu dan terjadi pengurangan berat dari logam tersebut. Ciri-cirinya adalah permukaan yang tidak rata dan kasar, serta terlihat lapisan korosi yang melekat secara longgar dengan permukaan logam.
- ▷ Korosi pasif (patina)
korosi yang terbentuk perlahan-lahan dan telah stabil dengan lingkungannya. Korosi jenis ini akan membentuk lapisan yang akan melindungi koleksi

dan jika dipaksa untuk dihilangkan justru akan merusak logam tersebut. Ciri-cirinya adalah: korosi bersifat koheren atau jelas, melekat, dan halus.

♦ **Korosi pada Tembaga**

Tembaga yang pada awalnya berwarna *salmon pink* makin lama menjadi berwarna coklat dan akhirnya menjadi berwarna hijau (Fuente, Simancas, dan Morcillo, 2008). Lapisan korosi pasif berupa patina yang terdapat dalam tembaga dan paduannya adalah korosi dari senyawa karbonat, yaitu malakit yang berwarna hijau dan azurit yang berwarna kebiruan. Lapisan patina lainnya adalah kuprit dan *bronchantite*. Selain itu, kandungan timah dalam perunggu akan membentuk patina berupa timah oksida (Cronyn, 1995).

♦ **Korosi pada Perunggu**

Pada penggalian temuan perunggu, biasanya perunggu dilapisi oleh patina kuprit. Kemudian, kuprit terus menumpuk membentuk lapisan kedua. Lapisan kedua ini akan bereaksi dengan ion klorida yang terdapat di udara (Cronyn, 1995).

Tabel 6.8 – Korosi yang Umum Terjadi pada Perunggu

Senyawa Utama	Nama Mineral	Rumus Molekul	Sistem Kristal	Warna Mineral
Oksida	Kuprit	Cu_2O	<i>Cubic</i>	Merah
	<i>Tenorite</i>	CuO	<i>Monoclinic</i>	Hitam
Sulfat	<i>Bronchantite</i>	$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$	<i>Monoclinic</i>	Hijau bening
	<i>Antlerite</i>	$\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$	<i>Orthorhombic</i>	Hijau bening
	<i>Posnjakite</i>	$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	<i>Monoclinic</i>	Hijau bening
Karbonat	<i>Malachite</i>	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	<i>Monoclinic</i>	Hijau pucat
	<i>Azurite</i>	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	<i>Monoclinic</i>	Biru
Nitrat	<i>Gerhardtite</i>	$\text{Cu}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$	<i>Orthorhombic</i>	Hijau transparan
Klorida	<i>Nantokite</i>	CuCl	<i>Kubik</i>	Hijau pucat
	<i>Atacamite</i>	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	<i>Orthorhombic</i>	Hijau emerald bening
	<i>Paratacamite</i>	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	<i>Rhombohedral</i>	Hijau terang pucat
	<i>Clinoatacamite</i>	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	<i>Monoclinic</i>	Hijau pucat
	<i>Botallackite</i>	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	<i>Monoclinic</i>	Hijau-biru pucat

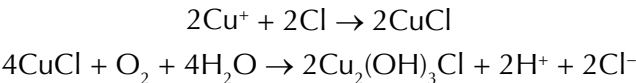
(Scott, 2002)

Klorida merupakan salah satu penyebab korosi pada perunggu. Korosi klorida terdapat dalam bentuk tembaga(I) klorida (CuCl) dan tembaga(II) trihidroksiklorida. Tembaga(II) trihidroksiklorida yang terkait adalah *atacamite*, *paracamite*, *clinoatacamite*, dan *botallackite* (Scott, 2002).

Tabel 6.9 – Karakteristik Korosi Tembaga

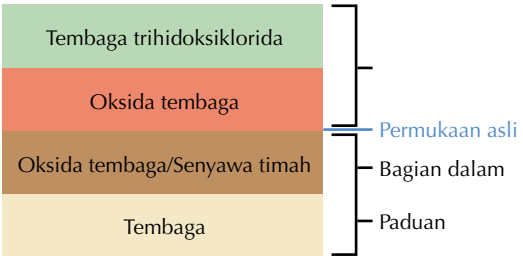
Korosi Tembaga(I) Klorida (CuCl)	
Warna	Hijau pada permukaan perunggu
Struktur kristal	Kubik
Sifat	Lunak Dapat dihilangkan dengan cara dicungkil Tidak stabil
Lainnya	Beraksi dengan oksigen dan kelembapan menjadi tembaga trihidroksiklorida Penumpukan mengakibatkan bronze disease Jika terhidrolisis membentuk kuprit (Cu2O) yang berwarna kemerahan.
Persamaan reaksi hidrolisis	$2\text{CuCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$

Tembaga trihidroksiklorida memiliki volume yang lebih luas dan menyebabkan tekanan fisik pada perunggu sehingga bisa terjadi fragmentasi pada perunggu. Persamaan yang terjadi saat tembaga(I) klorida menjadi tembaga(II) trihidroksiklorida adalah sebagai berikut:



Lapisan pertama korosi perunggu adalah tembaga oksida berupa kuprit (Cu₂O) dan tembaga(II) oksida (CuO) yang berwarna kemerahan-hitam. Lapisan inilah yang berperilaku pasif, yaitu keberadaannya melindungi perunggu dari kerusakan lebih lanjut. Kemudian lapisan kedua berada di paling luar, yaitu tembaga(II) trihidroksiklorida yang berwarna hijau.

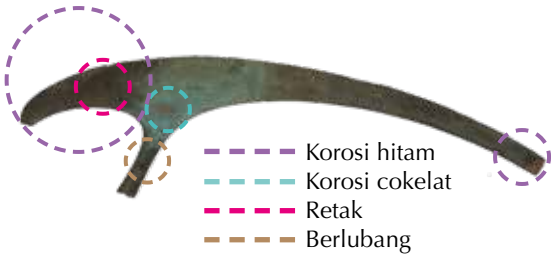
Lapisan korosi pada perunggu adalah sebagai berikut.



Gambar 6.20 – Layer Korosi Parsial pada Perunggu (Oudbashi, 2015)

B. Korosi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1432

Pada kapak candrasa 1432, terlihat patina hijau menutupi hampir seluruh permukaan koleksi dengan beberapa bagian tertutup korosi cokelat dan hitam. Juga terdapat bagian berlubang pada bagian bawah kapak serta geripis pada bagian pinggir koleksi. Detail lokasi kerusakan koleksi kapak candrasa 1432 dapat dilihat pada Gambar 6.21.

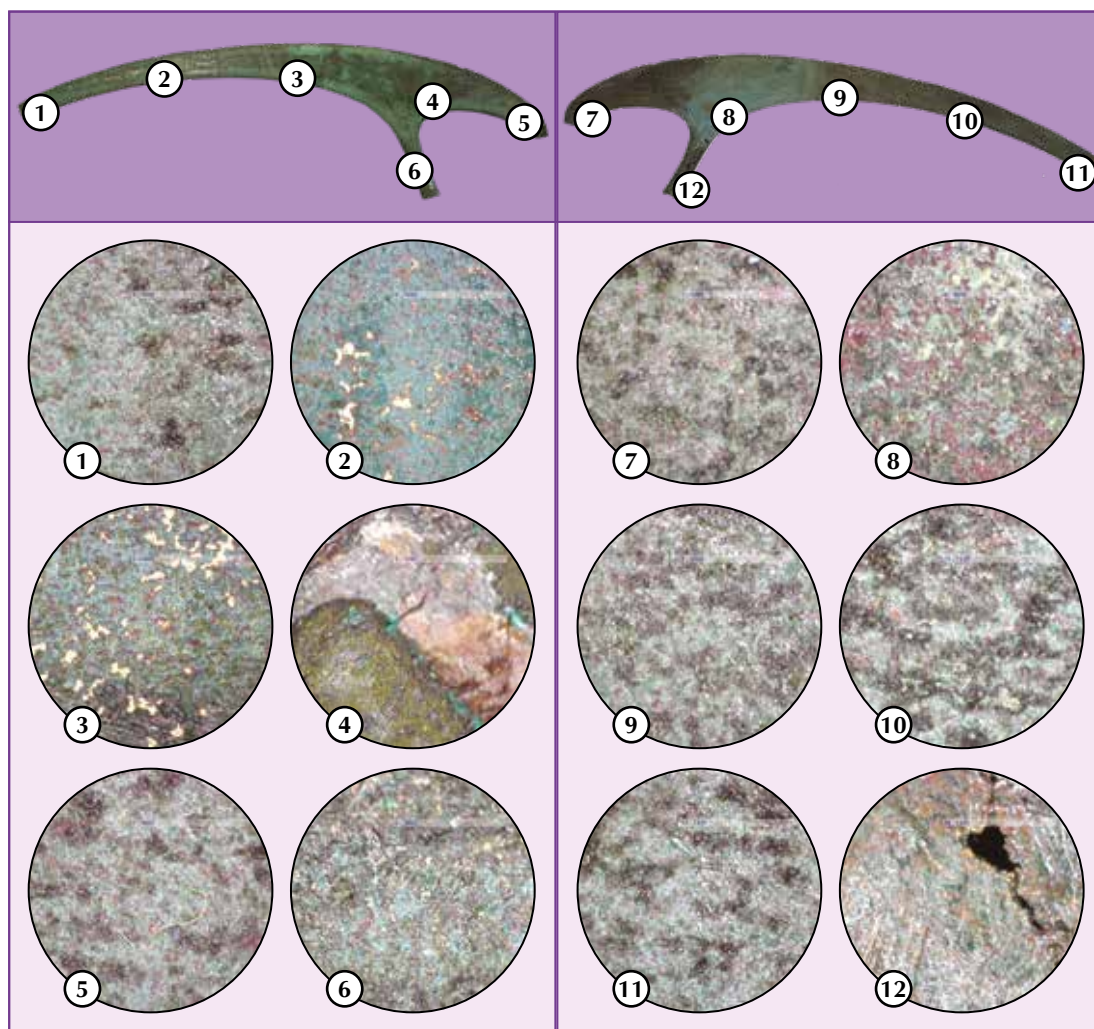


Gambar 6.21 – Kondisi Koleksi Kapak Candrasa 1432

Data citra mikroskopis diambil pada dua belas titik. Dari pengambilan data yang dilakukan, pada bagian permukaan hampir seluruh di titik, terlihat titik-titik merah dan

korosi hitam. Beberapa titik menunjukkan kondisi lainnya, seperti korosi coklat pada titik 2 dan titik 12 yang berada pada bagian berlubang di sisi bawah.

Tabel 6.10 – Detail Citra Makroskopis dan Mikroskopis* Candrasa 1432 Berdasarkan Titik Lokasi Pengambilan Data



* Diambil menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 60–70 kali.

Berdasarkan analisis warna dengan *Pantone Metallics Solid Coated*, didapatkan warna patina hijau pada koleksi mengacu pada *Pantone* nomor 10438C, korosi hijau mengacu pada

nomor 10294C, 8603C memiliki warna yang mewakili korosi hitam, dan 8560C untuk korosi coklat. Perbandingan warna *Pantone* dan warna korosi pada koleksi dapat dilihat pada Gambar 6.22.



A – Patina Hijau di Permukaan



B – Patina Hijau Kebiruan pada Permukaan



C – Korosi Cokelat/Merah



D – Korosi Hitam

Gambar 6.22 – Perbandingan Warna *Pantone* dengan Kondisi Koleksi Candrasa 1432

Hasil analisis XRF untuk mendeteksi komposisi korosi pada koleksi Candrasa 1432 dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 6.11 – Detail Komposisi Korosi Kapak Candrasa 1432 dalam *Parts per Million* (ppm) ($\times 10^3$)

Unsur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cu	315,66	490,47	452,30	357,75	414,68	235,65	355,23	339,17	216,52	205,57	200,30	345,14
Sn	203,57	175,06	173,65	209,58	181,64	249,04	194,02	226,61	246,46	268,48	219,03	192,45
Si	39,20	20,33	12,62	35,89	32,32	24,63	35,29	25,55	37,90	33,36	29,31	59,72
Fe		14,26	17,22	3,59	0,33	0,98	0,62	5,68	0,41			0,96
Pb	3,10	0,56	1,07	2,48	2,48	2,87	3,49	2,74	3,17	3,19	3,13	2,50
Cl	0,48	0,27	0,44	0,50	0,75	0,60	0,62	0,67	0,57	0,42	0,43	1,14
Bal	423,28	279,68	317,94	376,31	357,15	465,81	390,85	391,13	474,57	452,94	540,42	320,12

Berdasarkan data hasil analisis dengan menggunakan XRF, dapat disimpulkan bahwa warna hijau pada koleksi candrasa 1432 diakibatkan oleh adanya unsur klorida (Cl) dan unsur besi

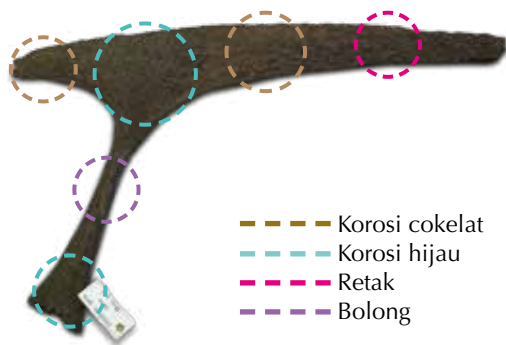
(Fe) merupakan penyebab dari korosi merah/cokelat pada koleksi.

Terdeteksinya unsur klorida pada koleksi dengan menggunakan XRF menandakan bahwa koleksi perlu

dikonservasi untuk menghilangkan unsur klorida yang merupakan penyebab *bronze disease*. Adanya korosi aktif dari unsur besi juga harus dihilangkan dengan penggunaan inhibitor khusus logam besi.

C. Korosi Koleksi Candrasa No. Inventaris 1440

Jika kondisi kapak candrasa 1432 memiliki patina hijau hampir di seluruh permukaannya, lain halnya dengan kapak candrasa 1440 yang hampir seluruh permukaannya berwarna hitam. Secara visual kapak candrasa 1440 memiliki permukaan berpori yang cukup besar, terdapat perbedaan warna pada bagian luar pori dan pada bagian dalam pori; beberapa bagian pori memiliki korosi hijau pada bagian dalamnya dan pada beberapa pori memiliki korosi cokelat. Pada candrasa 1440, meskipun permukaan berwarna hitam, permukaannya terlihat halus dan sudah stabil.



Gambar 6.23 – Kondisi Koleksi Kapak Candrasa 1440

Namun, koleksi secara visual terlihat hitam jika dianalisis secara mikro dengan menggunakan mikroskop digital *Dinolite* pada dua belas titik yang berbeda. Pengambilan citra mikroskopis menghasilkan citra yang sedikit kehijauan pada bagian di dalam



Gambar 6.24 – Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi Makroskopis



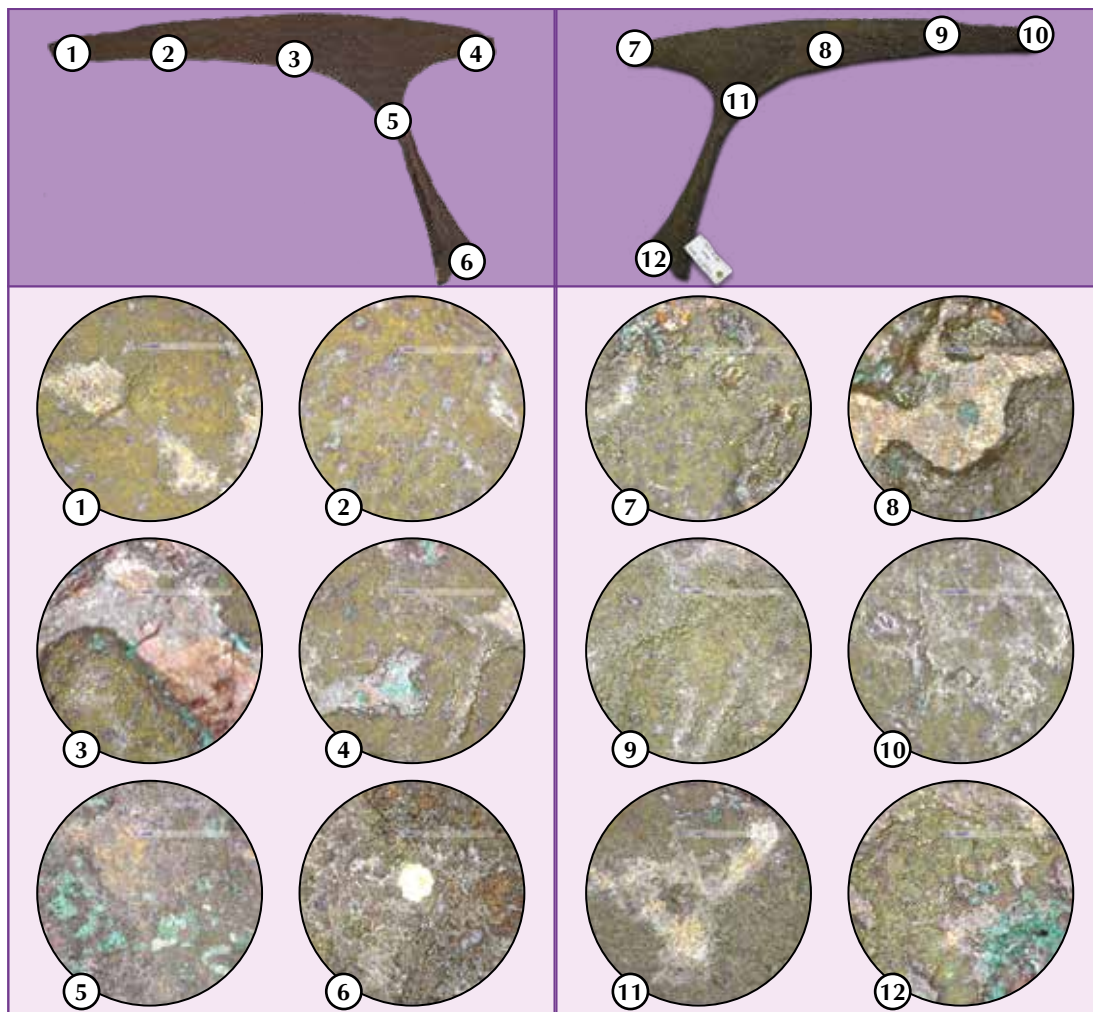
Gambar 6.25 – Pengambilan Dokumentasi Kondisi Koleksi Mikroskopis

pori koleksi. Lapisan coating lama juga terlihat pada titik 4,7, dan 8, serta korosi hijau pada titik 3, 4, 5, dan 12 dan korosi cokelat pada titik 3.

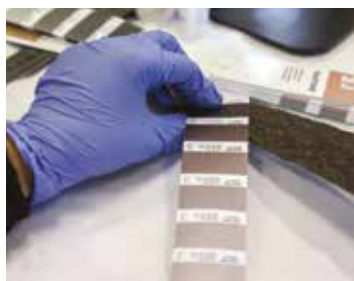
Detail kondisi koleksi secara mikro dapat dilihat pada gambar pada Tabel 6.12.

Berdasarkan analisis warna dengan *Pantone Metallics Solid Coated*, didapatkan bahwa warna pada bagian dalam pori secara kasat mata memiliki warna yang sama dengan nomor 10386C, 10387C untuk warna pada bagian permukaan, dan korosi hijau pada bagian dalam pori mengacu pada nomor 10302C.

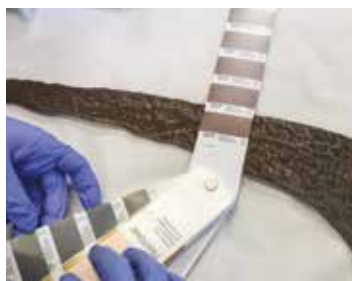
Tabel 6.12 – Detail Citra Makroskopis dan Mikroskopis* Candrasa 1440
Berdasarkan Titik Lokasi Pengambilan Data



* Diambil menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 60–70 kali.



A – Korosi Hitam pada Hampir Seluruh Permukaan



B – Korosi Cokelat



C – Korosi Hijau pada Beberapa Bagian di dalam Pori

Gambar 6.26 – Perbandingan Warna *Pantone* dengan Kondisi Koleksi Candrasa 1440

Hasil analisis XRF untuk mendeteksi komposisi korosi pada koleksi candrasa 1440 dapat dilihat pada Tabel 6.13 di bawah ini.

Tabel 6.13 – Detail Komposisi Korosi Kapak Candrasa 1440 dalam *Parts per Million* (ppm) ($\times 10^3$)

Unsur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cu	772,95	840,67	771,40	872,35	730,12	764,37	754,89	692,90	791,72	854,80	865,37	673,34
Sn	31,88	35,11	36,80	34,74	36,79	36,19	34,30	35,13	36,51	37,78	32,87	44,14
Si	6,60	4,19	2,96	3,98	4,44	10, 11	5,81	8,15	7,09	10, 64	8,96	7,95
Sb	5,99	6,64	7,07	6,44	6,86	6,64	6,40	5,78	6,98	6,66	6,68	7,91
Pb	5,45	4,08	4,01	4,76	5,62	5,16	5,68	7,26	6,24	6,81	4,75	5,77
Cl	2,73	2,18	1,88	2,65	1,54	2,61	2,26	2,60	2,52	2,41	3,42	2,12
Fe	0,42	0,49	0,26	0,48	0,61	3,63	0,51	0,29	0,40	0,40	1,99	0,83
Bal	147,62	87,21	147,72		195,35	121,24	140,75	199,64	120,14			224,56

Berdasarkan data hasil analisis menggunakan XRF dengan metode *All-Geo*, terlihat bahwa korosi berwarna hijau pada koleksi candrasa 1440 diakibatkan oleh adanya unsur klorida.

Unsur klorida yang terdeteksi mengindikasikan adanya bronze disease sehingga koleksi harus dikonservasi untuk menghilangkan unsur klorida.

6.2.3 Analisis Perbandingan Koleksi Candrasa

Setelah dilakukan analisis material komposisi penyusun dan analisis kerusakan pada tiap-tiap koleksi kapak candrasa, hasil dan perbandingan analisisnya dapat dilihat pada Tabel 6.14.

Tabel 6.14 – Perbedaan Antara Kedua Koleksi Candrasa

	Candrasa	
	1432	1440
Tampak Visual	Memiliki warna dominan hijau, di beberapa lokasi terdapat korosi hitam dan merah/cokelat	Memiliki warna dominan hitam dengan pori yang besar, terdapat korosi hijau di bagian dalam pori
Unsur Logam Dominan	Tembaga (Cu): 57,46% Timah (Sn) : 35,73% Silikon (Si) : 4,62% Besi (Fe) : 0,50% Timbel (Pb) : 0,50%	Tembaga (Cu): 92,11% Timah (Sn) : 3,71% Silikon (Si) : 1,41% Antimon (Sb) : 0,74% Timbel (Pb) : 0,72%
Unsur Besi	Terdeteksi pada 9 dari 12 titik pengambilan data, dengan nilai rata-rata 3671,1 ppm	Terdeteksi pada semua titik pengambilan data, dengan nilai rata-rata 859,33 ppm
Korosi Klorida	Terdeteksi pada semua titik pengambilan data, dengan nilai rata-rata 574,6 ppm	Terdeteksi pada semua titik pengambilan data, dengan nilai rata-rata 2408,69 ppm
Rekomendasi Pembersihan	Menghilangkan unsur klorida dengan larutan seskuikarbonat	Menghilangkan unsur klorida dengan larutan seskuikarbonat

Tabel 6.14 – Perbedaan Antara Kedua Koleksi Candrasa (Lanjutan)

	Candrasa	
	1432	1440
Rekomendasi Inhibitor	Menggunakan BTA untuk menghambat korosi aktif yang kemungkinan masih tersisa Menggunakan tanin pada titik-titik yang berwarna cokelat di permukaan	Menggunakan BTA untuk menghambat korosi aktif yang kemungkinan masih tersisa
Rekomendasi Pelapisan	Menggunakan Paraloid B-72 sebagai pembatas antara koleksi dan lingkungan	Menggunakan Paraloid B-72 sebagai pembatas antara koleksi dan lingkungan
Rekomendasi Penyimpanan	Dibungkus dan disimpan serta dilengkapi dengan pengendalian lingkungan mikro agar korosi tidak muncul kembali	Dibungkus dan disimpan serta dilengkapi dengan pengendalian lingkungan mikro agar korosi tidak muncul kembali

Terdapat perbedaan yang cukup jelas pada kondisi fisik warna secara mata telanjang di antara kedua kapak candrasa. Menurut Liang, Jiang, dan Zhang (2021), yang telah melakukan simulasi menguburkan objek perunggu ke dalam tanah, perbedaan warna dapat disebabkan oleh komposisi Cu pada perunggu. Pada candrasa nomor koleksi 1432, yang secara keseluruhan berwarna hijau dan berpori halus, tampak bahwa telah terbentuk produk patina, yang dapat menjadi penanda bahwa kandungan tembaga dalam perunggu cukup tinggi sehingga produk korosi yang dihasilkan tidak terlalu tebal. Sementara itu, kapak candrasa 1440, yang secara keseluruhan berwarna hitam dan berpori cukup besar, menunjukkan bahwa permukaan koleksi mungkin tertutupi oleh *layer* produk korosi (Cu_2O) yang cukup tebal sehingga dapat

memengaruhi hasil pengukuran unsur logam yang menggunakan XRF, yang dibuktikan dengan hasil deteksi XRF kandungan penyusun candrasa 1440 yang menunjukkan komposisi Cu sebanyak 92,11%.

Unsur besi (Fe) yang terdeteksi pada kedua kapak candrasa pun tidak terlihat sama. Dengan melihat hasil uji XRF pada kapak candrasa 1432 yang menunjukkan hasil terdeteksinya unsur besi hanya pada beberapa titik yang memiliki warna merah, dapat disimpulkan bahwa unsur besi yang terdeteksi merupakan korosi aktif yang harus dihilangkan. Korosi dikategorikan aktif karena meninggalkan noda cokelat kemerahan pada saat diusap.

Sementara itu, pada kapak candrasa 1440 unsur besi terdeteksi pada seluruh titik uji dan tidak menunjukkan adanya korosi besi yang secara visual berwarna merah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa unsur besi yang terdeteksi merupakan unsur logam komposisi koleksi.

6.3 LINGKUNGAN KOLEKSI

Koleksi candrasa nomor 1440 dan 1432 sudah ada sejak Museum Nasional masih dikenal dengan nama *Batavia Genootschap* (Ikatan Kesenian dan Ilmu Batavia). Sejak saat itu, kedua koleksi disimpan di dalam Ruang *Storage* Koleksi Logam.

Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 6.2, koleksi yang terpapar dengan lingkungan yang berbeda membuatnya rentan terhadap kerusakan yang dapat dengan cepat menyerang. Oleh

karena itu, diharapkan museum dapat membangun lingkungan yang ideal dan memperlambat laju korosi pada koleksi.

Tak hanya perubahan fisik dan kimia yang berasal dari internal koleksi, ketika sampai di lingkungan baru koleksi akan menemukan agen deteriorasi dari eksternal koleksi. Pada kasus ini, lingkungan baru koleksi adalah Ruang Storage Koleksi Logam. Beberapa ancaman dari agen deteriorasi antara lain adalah:

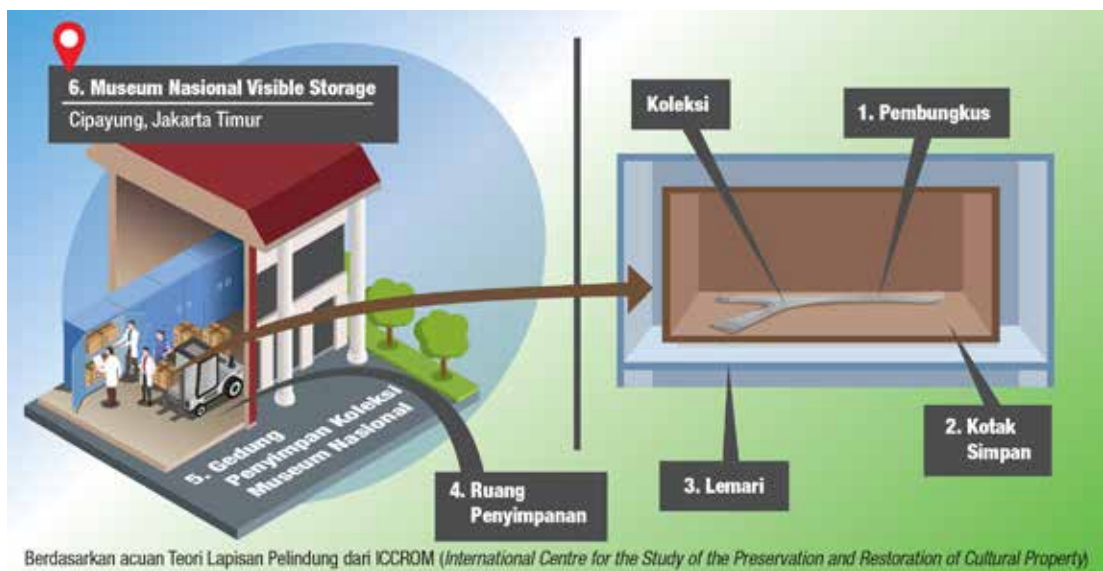
1. gaya fisik yang berasal dari guncangan di sekitar atau saat mobilisasi koleksi,
2. potensi kerusakan dari api dan air yang dapat berasal dari bencana alam atau kerusakan gedung,
3. polutan berupa gas ataupun debu dari aktivitas manusia,
4. temperatur dan kelembapan relatif di sekitar koleksi yang tidak sesuai, serta
5. disosiasi informasi pada pengelolaan data koleksi; hal ini terkait dengan registrasi pemberian label pada koleksi dan kotak penyimpanan.

Agen deteriorasi dapat memperburuk kondisi koleksi sehingga dilakukan pengendalian iklim mikro koleksi untuk menciptakan lingkungan yang seimbang dan stabil.

6.3.1 Iklim Lingkungan Mikro

Iklim di Indonesia adalah tropis dengan curah hujan tinggi. Temperatur di Indonesia berkisar antara 25°C dan 37°C dengan kelembapan relatif (RH) antara 50% dan 100%. Perubahan temperatur dan RH yang terlalu signifikan dapat membentuk lingkungan yang lembap dan menyebabkan mudah berkembangnya agen deteriorasi koleksi, yaitu korosi.

Seperti yang telah dijelaskan oleh Pedersoli Jr. dalam buku *A Guide to Risk Management of Cultural Heritage*, batas antara lingkungan mikro dan makro adalah Gedung *Storage* Koleksi Museum Nasional. Lingkungan di luar gedung Museum Nasional merupakan lingkungan makro yang tidak bisa dikendalikan, sedangkan lingkungan mikro yang dapat



Gambar 6.27 – Ilustrasi Enam Lapisan Pelindung Koleksi Candrasa di Ruang *Storage* Koleksi Logam Lantai 3, Gedung Museum Nasional



Gambar 6.28 – Gel Silika yang Telah Melewati Masa Optimum Penggunaan

dikendalikan meliputi Gedung Storage Museum hingga koleksi.

Kertas bebas asam berperan sebagai lapisan pertama perlindungan koleksi yang mengalami kontak langsung dengan koleksi. Kertas bebas asam menjadi dinding untuk mencegah kontak dengan polutan yang menembus melalui pori-pori kotak penyimpanan, yaitu debu, gas, dan asam yang dilepaskan oleh kotak kayu.

Di lapisan kedua terdapat kotak simpan koleksi yang melindungi koleksi dari guncangan. Selain itu, kotak penyimpanan yang diberi penanda berupa nomor atau kotak berbentuk khusus dapat menghindari potensi koleksi hilang atau terselip. Lapisan berikutnya adalah lemari penyimpanan berbahan besi yang dapat menghindarkan koleksi dari potensi kebakaran dan cipratan air atau banjir.

Ruangan Simpan Koleksi adalah lapisan selanjutnya yang dapat membantu mengontrol kelembapan relatif dan temperatur lingkungan terdekat koleksi. Begitu juga dengan Gedung Museum Nasional yang menjadi pembatas antara lingkungan luar dan dalam. Gedung berperan sebagai *dome* untuk menciptakan iklim mikro baru yang lebih terkontrol.

Makin kecil dan dekat lingkungan ini dengan koleksi, koleksi makin mudah untuk dikendalikan. Lingkungan mikro ini dapat dikendalikan dengan beberapa hal, seperti penggunaan *air conditioner* (AC), penggunaan desikan, dan pemilihan material yang akan digunakan untuk penyimpanan koleksi.

Pada saat observasi awal, kedua koleksi candrasa disimpan dalam keadaan terbungkus kertas bebas asam di dalam kontainer berbahan plastik di dalam rak besi tertutup. Di dalam kotak kontainer terdapat desikan berupa gel silika yang sudah melewati masa optimum penggunaan, ditunjukkan dengan warna desikan yang merah muda pucat dan bening.

Berikut ini adalah iklim mikro yang memengaruhi kelestarian koleksi logam.

A. Cahaya



Koleksi yang tersimpan di lapisan terdalam tidak dengan mudah terlepas dari kerusakan. Kotak penyimpanan dan lemari penyimpanan menjadi media pertama yang berhubungan langsung dengan cahaya di lingkungan sekitarnya. Cahaya dapat menyebabkan kerusakan yang besarnya ditentukan oleh intensitas dan jenis cahaya, waktu paparan, dan ketahanan alami komponen tempat penyimpanan.

Kerusakan pada koleksi dapat terjadi karena cahaya merambat perlahan melalui kotak penyimpanannya. Kerusakan yang disebabkan oleh paparan cahaya bersifat kumulatif dan ireversibel. Makin banyak paparan yang diterima, kerusakan akan makin menumpuk dan melebar. Cahaya UV, terutama pada rentang 320–380 nm, memiliki energi radiasi sangat tinggi yang mampu menyebabkan deteriorasi

fotokimia. Tak hanya cahaya UV, cahaya tampak juga dapat menyebabkan deteriorasi akibat cahaya biru dengan tingkat energi yang lebih tinggi dan juga panas dari cahaya merah pada tingkat energi yang lebih rendah. Sementara itu, radiasi *infrared* (IR) menyebabkan pemanasan pada koleksi dan mempercepat proses deteriorasi yang mungkin sudah disebabkan oleh cahaya UV dan cahaya tampak (Western Australia Museum's Department of Materials Conservation, 2017).



Gambar 6.29 – Pemantauan Cahaya terhadap Kotak Penyimpanan Koleksi

Pada kontainer plastik, cahaya UV dapat merusak permukaan yang kemudian menyebabkan pelapukan, retak, terkelupas hingga akhirnya patah. Cahaya tampak dapat menyebabkan perubahan warna menjadi pudar, sedangkan radiasi inframerah menyebabkan perubahan kondisi RH di sekitar koleksi.

Kerusakan media penyimpanan dapat memudahkan agen kerusakan untuk menyerang koleksi dan menyebabkan kerusakan lebih lanjut sehingga dilakukan pemantauan dengan mengukur cahaya ultraviolet UV dan cahaya tampak pada lingkungan penyimpanan koleksi menggunakan UV-meter dan LUX-meter. Paparan cahaya UV adalah sebesar 0 nm dan cahaya tampak sebesar 23 lx. Dari hasil pemantauan, kondisi ini termasuk ideal.

B. Polutan Udara



Selain cahaya, terdapat polutan yang juga berada di lingkungan sekitar tempat penyimpanan. Berdasarkan

ukuran partikelnya, polutan dibedakan menjadi padat, cair, dan gas. Partikel ini dapat menyebabkan kerusakan material penyimpanan dan menimbulkan disosiasi informasi. Kotak penyimpanan yang berubah dan mengalami kerusakan atau kotor sehingga menghapus informasi koleksi menyebabkan disosiasi informasi pada pengelolaan data koleksi. Hal ini akan mempersulit kegiatan selanjutnya, dengan kemungkinan terburuk koleksi akan hilang.

Sebagai contoh, gas amonia yang dilepaskan dari material bangunan, penguraian mikroorganisme, dan kotoran serangga merupakan gas korosif yang dapat merusak kotak penyimpanan. Kerusakan ini bahkan dapat berlanjut menyerang koleksi. Begitu juga dengan polutan yang dihasilkan di dalam ruangan di antaranya formaldehida, asetaldehida, serta asam format dan asam asetat. Senyawa volatil yang dikeluarkan dari material etalase dan wadah museum

lainnya sebagian besar bersifat organik dan secara konvensional dikelompokkan sebagai senyawa organik yang mudah menguap (VOC). Seluruh senyawa ini mungkin sudah ada dalam material di lingkungan sekitar koleksi sebagai residu dari reaksi dan proses produksi, sebagai bahan pengotor, sebagai aditif dan komponen formulasi, atau hasil dari reaksi kimia seperti oksidasi dan proses degradasi lainnya. Ketika senyawa organik yang mudah menguap dideteksi dan dikuantifikasi, senyawa ini secara keseluruhan dikelompokkan dengan istilah total VOC (TVOC) (Hatchfield, 2002; Tétreault, 2003).

Formaldehida (HCHO) adalah gas tidak berwarna, tidak berbau, dan mudah terbakar pada suhu ruang. Formaldehida

ditemukan di lingkungan karena dibentuk oleh berbagai sumber alam dan aktivitas antropogenik. Di lingkungan, gas ini dilepaskan melalui pembakaran biomassa (kebakaran hutan dan semak) atau dekomposisi. Sumber antropogenik yang dimaksudkan misalnya adalah emisi industri dan pembakaran bahan bakar dari lalu lintas yang terjadi di sekitar gedung. Namun, formaldehida juga diproduksi secara luas dan digunakan dalam pembuatan resin, sebagai desinfektan pada cairan pembersih dan fiksatif pada parfum, atau sebagai pengawet dalam produk konsumen (Kaden, Mandin, Nielsen, dan Wolkoff, 2010).

Oleh karena itu, perlu diperhatikan ambang batas gas polutan pada lingkungan penyimpanan koleksi.

Tabel 6.15 – Batas Rekomendasi Gas Polutan/*Volatile Organic Compounds* (VOC) di dalam Ruangan Museum (Grzywacz, 2006)

Jenis Gas Polutan		Batas Polutan yang Ditoleransi (ppb)		Batas Tindakan (ppb)		Konsentrasi Referensi (ppb)			
		Material Sensitif	Bahan Umum	Tinggi	Sangat Tinggi	Alam Bebas	Area Perkotaan	Tingkat Toksisitas Akut dalam 1 Jam Paparan	Batas TWA World Health Organization
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)		< 0,010	< 0,100	0,4-1,4	2,0-20	0,005-10	0,1-5 0,080-0,150	OEHHA: 30 OSHA: 10 ppm	107 ppb
Polutan Karbonil Organik									
Asam	Asam Asetat (CH ₃ COOH)	< 5	224 40-280	200-480	600-1000	0,1-4	0,1-16	OSHA: 10 ppm	
Organik	Asam Format (HCOOH)	< 5	5-20	20-120	150-450	0,05-4 0,05-0,2	0,05-17 0,6-104	OSHA: 5 ppm	
Aldehida	Formaldehida	< 0,1-5	10-20	16-120	160-480	0,4-1,6	1,6-24 rumah baru: 50-60	OEHHA: 75 OSHA: 750	80 (30 min)
	Asetaldehida	< 1-20					3-17	OEHHA: 5 OSHA: 200 ppm	
TVOC (dalam heksana)			< 100 ppb3	700 ppb	1700 ppb			bangunan baru atau yang sudah direnovasi: 4500-9000	



Gambar 6.30 – Pemantauan Kualitas Udara

Pada pemantauan polutan di udara, terdapat beberapa aspek yang diperhatikan, yaitu formaldehida, TVOC, PM_{2.5}, dan PM₁₀. PM (*particulate matter*) adalah ukuran partikel cair dan padat yang terperangkap di udara. PM_{2.5} menjelaskan bahwa ukuran partikel tersebut kurang dari 2,5 mikrometer dan PM₁₀ untuk ukuran partikel kurang dari 10 mikrometer.

Pemantauan udara di sekitar lemari penyimpanan koleksi dilakukan dengan menggunakan detektor kualitas udara. Dari hasil pemantauan polutan di udara, nilai formaldehida sebesar 0,001 mg/m³ dikonversikan menjadi 0,814 ppb. Pada tabel dapat dilihat bahwa nilai ini masih dalam batas toleransi untuk material sensitif di mana toleransi formaldehida adalah 0,1–5. Begitu juga dengan nilai TVOC sebesar 0,015 mg/m³ yang dikonversikan menjadi 3,6675 ppb. Nilai ini masih dalam batas toleransi bahan umum, yaitu di bawah 100 ppb.

Nilai PM_{2.5} sebesar 29 µg/m³ masuk dalam kategori sedang, yaitu 12,1–35,4 µg/m³ dan nilai PM₁₀ sebesar 32 µg/m³ masuk dalam kategori baik, yaitu 0–54 µg/m³.

Secara keseluruhan kualitas udara di dalam Ruang *Storage* Lantai 3 dikategorikan baik, ditunjukkan dengan nilai *air quality index* (AQI) sebesar 48, HCHO yang aman, dan PM_{2.5} yang baik.

C. Kelembapan Relatif dan Temperatur



Radiasi IR menjadi salah satu penyebab perubahan RH di lingkungan sekitar tempat penyimpanan. Faktor lain yang menyebabkan perubahan RH adalah temperatur, iklim sekitar, dan kontrol pendingin udara. RH berkaitan dengan temperatur, yaitu perubahan temperatur menyebabkan perubahan RH.

Perubahan RH dapat menyebabkan kerusakan kotak penyimpanan, perubahan bentuk, pertumbuhan jamur, lapuk, lalu patah. Seperti dampak dari cahaya, kerusakan ini mengarah ke disosiasi koleksi. Tak hanya menyerang kotak penyimpanan, koleksi candrasa dengan bahan utama perunggu dapat mengalami pertumbuhan korosi karena kondisi lingkungan yang lembap. Secara angka “lembap” dimulai pada RH 75%. Peningkatan RH perlu diperhatikan karena mengacu pada kecepatan pertumbuhan korosi. Temperatur pada saat pengambilan koleksi adalah sebesar 29,6°C dan RH sebesar 59%; kondisi ini termasuk kurang ideal. RH ideal untuk penyimpanan koleksi perunggu sebaiknya kurang dari 35%. Jika disimpan bersamaan dengan koleksi berbahan dasar selain logam, RH yang ideal berada pada rentang 35%–55%, tetapi hal ini tidak di rekomendasikan.

Sebelum dilakukan pemindahan, telah diletakkan *data logger* di luar dan di dalam lemari penyimpanan untuk mengetahui kondisi RH dan temperatur ruangan dan *storage* koleksi. Di dalam Ruang *Storage*, temperatur terendah di dalam ruangan

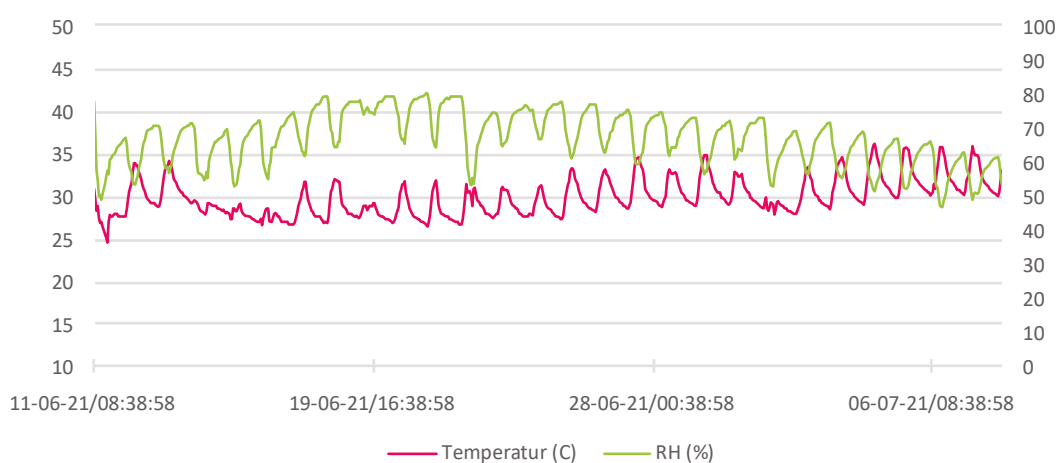


Gambar 6.31 – Pemantauan Suhu dan RH dengan Termohigrometer

24,7°C dan tertinggi 36,3°C dengan temperatur rata-rata 30,03°C. Selisih antara temperatur terendah dan tertinggi di dalam ruangan adalah 11,6°C. Sementara itu, nilai RH terendah adalah 47,4% dan

tertinggi 80,8% dengan rata-rata sebesar 67,39%.

Sementara itu, di dalam lemari penyimpanan, temperatur terendah adalah 26,6°C dan tertinggi



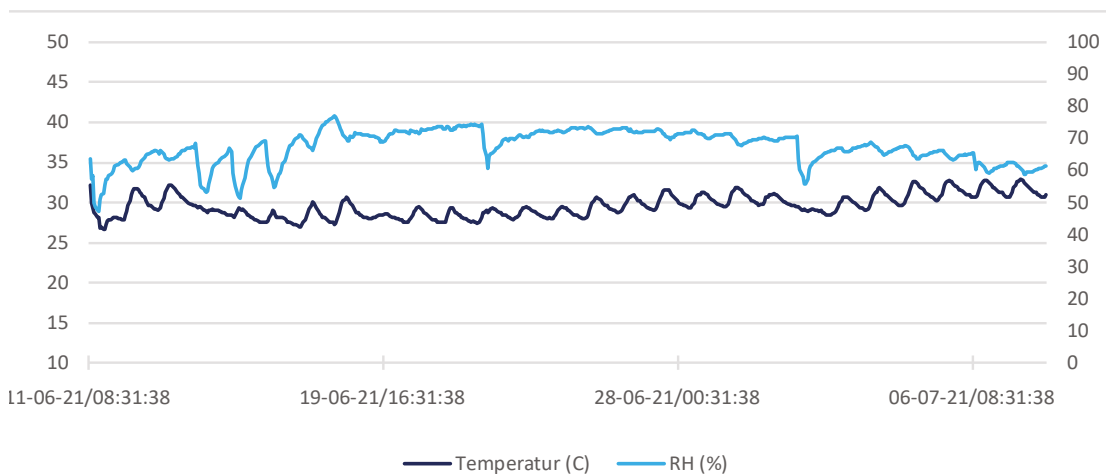
Gambar 6.32 – Grafik Datalogger yang Diletakkan Mulai 11 Juni sampai 6 Juli 2021 di dalam Ruang Storage Lantai 3, Gedung Museum Nasional

32,9°C dengan temperatur rata-rata 29,58°C. Selisih antara temperatur terendah dan tertinggi di dalam lemari penyimpanan adalah 6,3°C. Sementara itu, nilai RH terendah adalah 47,3% dan tertinggi 77,1% dengan rata-rata sebesar 67,38%.

Pada kedua grafik yang telah ditunjukkan, baik RH maupun temperatur mengalami perubahan yang fluktuatif. Kondisi ini terjadi karena pembatasan penggunaan pendingin udara yang menyala pada jam kerja pegawai dan mati pada saat jam kerja berakhir atau libur panjang. Di sini terdapat perbedaan temperatur rata-rata, yaitu temperatur di dalam lemari lebih rendah 0,45°C dibandingkan dengan temperatur ruangan. Namun, RH rata-rata hanya memiliki selisih 0,01% yang menunjukkan bahwa kelembapan di luar dan di dalam lemari penyimpanan tidak jauh berbeda. Hal ini mungkin disebabkan oleh lemari besi sebagai media penyimpanan yang memiliki sifat konduktor panas sehingga daya hantar panas dari ruangan merambat menuju *support* koleksi.

Nilai kondisi RH baik di dalam lemari penyimpanan maupun di ruang simpan tidak sesuai dengan RH ideal untuk koleksi perunggu. Nilai RH yang terlalu besar, terutama di ruangan simpan sebesar 80,8%, dapat menyebabkan pertumbuhan jamur pada koleksi. Jamur dapat tumbuh pada debu, berasal dari aktivitas manusia di sekitar koleksi, yang menempel pada lapisan *coating*. Meskipun koleksi berada dalam keadaan tertutup, tidak tertutup kemungkinan adanya debu yang masuk melalui celah kontainer. Penggunaan kontainer plastik dapat memperburuk penyimpanan karena sifat plastik yang dapat memuai. Deformasi media penyimpanan dapat mengurangi keamanan dan perlindungan koleksi di dalam dari guncangan.

Dari kondisi yang sebelumnya telah dijelaskan, dilakukan perancangan ulang untuk penyimpanan koleksi candrasa dengan memperhatikan material penyimpanan dan kontrol lingkungan mikronya.



Gambar 6.33 – Grafik *Data Logger* yang Diletakkan Mulai 11 Juni sampai 6 Juli 2021 di dalam Lemari Penyimpanan Ruang *Storage* Lantai 3, Gedung Museum Nasional

6.3.2 Materi Penyimpanan Koleksi

A. Materi Penyimpanan Koleksi Candrasa

Koleksi candrasa sebelumnya disimpan dalam kertas bebas asam di dalam kontainer berbahan plastik. Meskipun banyak plastik tampak serupa, proses dan bahan kimia yang digunakan dalam pembuatannya berbeda-beda. Tidak semua plastik cocok digunakan. Namun, bahan plastik yang stabil dapat dimanfaatkan untuk menyimpan barang koleksi dengan aman. Kontainer plastik yang digunakan merupakan plastik polipropilen (PP) yang ditunjukkan dengan logo RIC dengan nomor 5. Jenis plastik ini paling banyak ditemui dalam bentuk kemasan makanan, tutup botol, alat makan, dan sedotan. Plastik ini dikategorikan dapat didaur ulang.

PP adalah salah satu bahan yang paling banyak digunakan di dunia plastik, kedua setelah polietilen (PE). Bahan termoplastik semi-kristal ini memiliki kekhasan sifat mekanik yang berbeda. Bahan ini dicirikan dengan keuletan tinggi, kepadatan rendah, ketahanan termal, dan abrasi yang sangat baik. Selain itu, bahan ini memiliki biaya rendah jika dibandingkan dengan sifat fisiknya yang

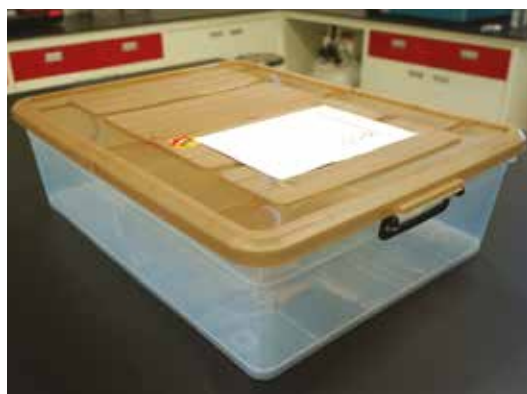
cukup baik. PP tidak mampu menahan hidrokarbon aromatik, seperti benzena, dan hidrokarbon terklorinasi, seperti karbon tetraklorida. Dibandingkan dengan PE, PP tidak tahan terhadap oksidasi pada suhu tinggi.

Terlepas dari ketahanan dan umur pakainya yang bisa sangat panjang, kontainer plastik yang diproduksi dalam skala besar tidak memiliki bentuk yang dapat disesuaikan dengan dimensi koleksi. Selain itu, plastik tidak lebih baik untuk menjaga kelembapan karena sirkulasi udara kurang baik. Oleh karena itu, dilakukan *repacking* atau pembungkusan ulang dengan memperhatikan keamanan dan kestabilan lingkungan koleksi.

Kertas Bebas Asam

Kertas bebas asam adalah kertas yang memiliki sifat pH netral, bebas lignin, dan bebas sulfur. Pemilihan kertas bebas lignin mengacu pada sifat lignin yang dapat terdegradasi menghasilkan senyawa asam yang merusak. Asam ini menyebabkan perubahan warna pada kertas dari putih menjadi kuning kecokelatan yang kemudian dapat membuat kekuatan kertas makin lapuk sehingga tidak mampu melindungi koleksi dalam jangka panjang. Sifat bebas asam menunjukkan kertas tersebut tidak mengandung asam bebas yang dapat mempercepat reaksi hidrolisis, pelapukan kayu, dan korosi pada koleksi candrasa. Kertas bebas asam membantu mengurangi kemungkinan sulfur bereaksi dengan udara dan membentuk gas sulfur dioksida yang dapat menyebabkan kerusakan koleksi. Dengan demikian, kertas ini dapat melindungi koleksi dari kontak langsung dengan kelembapan di udara, polutan, dan sebagainya.

Terdapat dua jenis bebas asam yang dapat ditemui, yaitu *buffered tissue paper*



Gambar 6.34 – Kontainer Plastik Tempat Penyimpanan Koleksi Candrasa



Gambar 6.35 – Koleksi Candrasa di atas Kertas Bebas Asam

dan *unbuffered tissue paper*. Sesuai dengan namanya, *buffered tissue paper* adalah kertas bebas asam yang ditambahkan basa penyangga dalam proses pembuatannya agar pH kertas tidak berubah. Sementara itu, *unbuffered tissue paper* adalah kertas bebas asam yang tidak ditambahkan basa penyangga sehingga kertas bersifat netral. Dengan adanya kertas bebas asam sebagai dinding pembatas, kontak antara permukaan koleksi dan asam organik yang berada di lingkungan dapat dicegah sehingga korosi tidak terjadi.

Busa Poliuretan

Jenis busa yang digunakan pada koleksi candrasa adalah busa berbahan dasar polimer poliuretan (PU). PU adalah polimer umum yang digunakan untuk membuat busa, terutama untuk furnitur. Hal ini disebabkan PU memiliki struktur sel terbuka elastis dan relatif lunak sehingga dapat memberikan *support* untuk barang-barang yang sangat sensitif terhadap pergerakan.

PU bersifat tidak mudah robek, kekuatannya lebih baik daripada bahan karet, stabil dalam suhu dingin dan panas, tahan terhadap beberapa jenis bahan kimia, serta sebagian besar bersifat

inert. Selain itu, PU merupakan polimer yang dapat didaur ulang karena sifatnya ramah lingkungan.

Busa PU dianggap sebagai salah satu material isolasi terbaik yang tersedia secara komersial karena sifat isolasi termalnya baik atau tahan panas, permeabilitas uap air yang rendah, dan ketahanan yang tinggi terhadap penyerapan air. Busa memberikan kemudahan untuk menyesuaikan bentuknya dengan bentuk koleksi candrasa. Busa poliuretan sel terbuka telah terbukti menunjukkan jumlah kapasitas pertukaran ion yang rendah dan dianggap sebagai media pertukaran ion yang sesuai untuk menghilangkan ion logam berat dalam air (Gunashekar dan Abu-Zahra, 2014).

Pada penyimpanan koleksi, busa ini adalah *shock-absorber* atau peredam guncangan yang baik dengan kepadatan serta ketebalan yang lebih tinggi sehingga dapat melindungi barang-barang yang lebih berat. Busa ini juga dapat dipotong menjadi berbagai bentuk dengan menggunakan pisau bedah atau pisau dan dapat disesuaikan dengan bentuk koleksi. Busa dapat memberikan bantalan terhadap getaran/guncangan dan memberikan “pegangan” untuk koleksi agar tidak mudah bergerak.



Gambar 6.36 – Busa Poliuretan

Di balik kelebihanannya, busa PU memiliki kekurangan, yaitu tidak stabil dalam jangka waktu yang lama karena selnya bersifat terbuka sehingga udara dapat mengalir ke seluruh busa seperti air. Perkiraan masa pemakaian busa ini cukup singkat dan cocok digunakan untuk penggunaan jangka waktu pendek seperti material penyimpanan koleksi sementara untuk dipindahkan ke lokasi lain. Seiring dengan berjalannya waktu, busa poliuretan akan terdegradasi dan menyebabkan terjadinya perubahan sifat fisik dan kimia.

Perubahan yang tampak dari hasil degradasi adalah perubahan warna, hilangnya fleksibilitas dan keruntuhan yang terjadi di bawah pengaruh kelembapan, panas, dan cahaya. Namun, pengaruh cahaya sangat kecil terhadap koleksi candrasa karena berada di ruang simpan. Pada kondisi ini, cahaya yang masuk terhalangi oleh material penyimpanan sehingga kadar kelembapan akan lebih meningkat. Namun, kelembapan dapat dijaga dengan adanya desikan. Oleh sebab itu, penggunaan busa poliuretan ini dapat lebih bertahan lama di dalam kotak kayu.

Perubahan sifat tersebut dapat menjadi acuan bahwa busa ini kurang cocok digunakan kembali dan perlu diperbarui. Sifat mekanis dari struktur busa akan makin berubah dari lentur menjadi kaku atau terjadi penurunan nilai keelastisan apabila RH meningkat. Hal ini disebabkan oleh terjadinya hidrolisis rantai poliuretan yang mengakibatkan pecahnya sel selama deformasi sehingga menyebabkan deformasi ireversibel. Karena deformasi bersifat ireversibel, sifat mekanik busa poliuretan ini dapat berubah menjadi lebih kaku atau terjadi

peningkatan nilai *modulus young* apabila suhu transisi gelas (T_g) ditingkatkan. Suhu transisi gelas (T_g) merupakan suhu ketika polimer berubah dari bahan kaku menjadi bahan yang lentur atau sebaliknya. Pada hasil penelitian oleh Pellizzi et al., ditemukan bahwa nilai T_g maksimum poliuretan sebesar -13°C dan degradasi busa poliuretan terjadi ketika suhu berada pada 90°C dan RH mencapai 50% (Pellizzi, Lattuati-Derieux, Lavédrine, dan Cheradame, 2014).

Kayu

Berangkat dari sifat plastik yang sulit mengikuti bentuk koleksi, kayu dipilih sebagai kotak penyimpanan koleksi. Kayu dipilih karena mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan dan mengikuti dimensi koleksi. Kayu merupakan jaringan struktural berpori dan berserat yang ditemukan di batang dan akar pohon dan tanaman ber kayu lainnya. Kayu memiliki tiga komposisi utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa dan hemiselulosa banyak ditemukan dalam dinding sekunder, sedangkan lignin banyak ditemukan dalam dinding primer dan lamela tengah. Zat ekstraktif berada di luar dinding



Gambar 6.37 – Kotak Kayu yang Digunakan untuk Menyimpan Koleksi

sel kayu. Pada kayu lapis lunak, ditemukan lebih banyak kandungan lignin (30%) dan sedikit hemiselulosa (25%). Sementara itu, kayu lapis keras mengandung lebih banyak hemiselulosa (30–35%) dan lignin (20%) (Pettersen, 1984).

Jenis kayu yang digunakan sebagai tempat penyimpanan koleksi candrasa adalah kayu jati belanda. Kayu jati ini bersifat lunak sehingga mudah dibentuk, cukup ringan sehingga apabila dilakukan pemindahan atau pergerakan tidak sulit, dan tidak mudah lapuk sehingga tahan lama. Kayu jati ini tahan terhadap benturan dan guncangan, serta tahan terhadap serangan hama kayu, cuaca, dan air. Jenis kayu jati ini relatif lebih murah dibandingkan dengan jenis kayu jati pada umumnya.

Namun, kotak kayu yang digunakan bisa menjadi masalah karena kayu mengeluarkan asam berbahaya berupa formaldehida dan zat lainnya yang dapat membentuk asam organik. Formaldehida bereaksi dengan senyawa lain untuk membentuk asam format yang dapat merusak artefak candrasa dan menimbulkan korosi. Asam format bersifat korosif, memiliki bau yang kuat, dan menghasilkan asap berbahaya jika berada pada konsentrasi yang tinggi.

Namun, emisi asam-asam organik pada kayu dapat diperlambat dengan pengendalian lingkungan yang baik, seperti RH yang rendah dan suhu yang tidak fluktuatif. Asam-asam ini teremisi sedikit demi sedikit melalui proses yang panjang sehingga penggunaan kayu untuk material wadah penyimpanan koleksi tetap dapat dipilih dengan berbagai kelebihan yang juga dimilikinya.

Kain Satin dan Kain Katun

Kotak kayu jati yang digunakan sebagai tempat penyimpanan artefak

candrasa dilapisi oleh material tekstil berupa kain katun dan kain satin. Kain berperan sebagai barrier polutan karena memiliki rongga yang dapat menyerap gas-gas atau senyawa-senyawa sehingga mencegah senyawa-senyawa organik dan uap air atau oksigen dari lingkungan untuk berinteraksi dengan koleksi.

Kain satin memiliki permukaan yang licin dengan warna yang mengilap dan ketahanan gosokan yang tinggi. Lapisan kain pada bagian dalam kotak berperan sebagai dinding untuk menghindari kontak langsung dan mencegah senyawa-senyawa organik yang dilepaskan oleh kayu berinteraksi dengan koleksi. Pada bagian luar, kayu dilapisi dengan kain katun. Kain katun berasal dari serat kapas alami dengan tekstur lembut dan halus. Kelebihan kain tersebut adalah kemampuan menyerap kelembapan atau air, tetapi cepat kering, serta daya tahannya yang cukup tinggi. Lapisan kain katun juga berfungsi sebagai peredam benturan pada koleksi.

Selain material yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat beberapa bahan lain yang direkomendasikan untuk penyimpanan koleksi museum, di antaranya plastik PET, busa polietilen, *styrofoam*, dan *tyvex poliolefin*. Beberapa bahan mungkin akan cukup sulit diperoleh di Indonesia sehingga ada beberapa alternatif untuk penyimpanan jangka pendek, salah satunya *bubble wrap*. *Bubble wrap* dapat digunakan sebagai bantalan koleksi, tetapi dalam penggunaannya perlu dilakukan pengecekan secara berkala untuk menghindari uap air yang terjebak di antara koleksi dan *bubble wrap*. Uap air ini dapat meninggalkan noda atau bahkan menyebabkan kerusakan lebih lanjut.

Lemari Simpan

Lemari yang digunakan juga merupakan lemari khusus untuk penyimpanan berbagai koleksi museum. Lemari tersebut terbuat dari besi karena mampu memberikan keamanan tinggi untuk koleksi (Department of The Interior Museum Property Handbook, 2007).

Lemari besi bersifat kuat, awet, tidak akan lapuk, dan mampu menahan beban koleksi yang akan disimpan di dalamnya sehingga lemari ini dapat dipakai dalam jangka waktu yang lama. Lemari besi yang digunakan berbentuk geser, yang setiap raknya dapat diregangkan ketika pemakaian dan disatukan jika tidak sedang mengakses koleksi. Tipe lemari seperti ini, selain menghemat tempat, juga lebih kokoh ketika disatukan. Beberapa lemari jika dalam keadaan disatukan dan terkunci akan lebih sulit bergeser jika terdapat gaya fisik yang besar, seperti gempa bumi.

B. Materi Penyimpanan Koleksi Lainnya

Material penyimpanan koleksi memiliki jangka waktu pemakaian yang berbeda sehingga perlu dipertimbangkan material yang cocok untuk digunakan pada koleksi. Berikut adalah rekomendasi berbagai material yang dapat digunakan dalam jangka waktu pendek ataupun jangka waktu panjang. Material dengan



Gambar 6.38 – Lemari Simpan Koleksi

pemakaian jangka waktu panjang digunakan untuk penyimpanan koleksi di Museum Nasional karena koleksi candrasa ditempatkan di ruang penyimpanan. Sementara itu, material dengan pemakaian jangka waktu pendek digunakan untuk penyimpanan koleksi saat proses pemindahan dari suatu lokasi tertentu ke lokasi lain, bukan sebagai material tetap.

- **Material Koleksi untuk Penyimpanan dalam Jangka Waktu Panjang**
Kain Calico

Kain *calico* merupakan kain yang terbuat dari serat kapas alami yang berasal dari tanaman kapas dengan cara ditenun. Kain ini memiliki tekstur yang sedikit kasar, tetapi tidak kaku seperti denim/kanvas, serta tidak menggunakan pemutih. Kain *calico* memiliki sifat yang kuat, tahan lama, dapat dicuci, dan digunakan kembali. Kain ini bersifat higroskopis, yaitu mampu menyerap kelembapan berlebih. Karena kemampuannya tersebut, kain *calico* direkomendasikan sebagai material penyimpanan koleksi candrasa yang terbaik.

Busa Polietilen

Busa polietilen merupakan busa sel tertutup. Busa ini memiliki sifat tahan air, tahan lama, non-abrasif, antimikroba, isolator termal yang baik, tahan terhadap getaran, serta mudah dibentuk. Busa polietilen juga memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap jamur atau bakteri karena air mudah dihilangkan dari permukaan busa daripada diserap di dalamnya. Busa polietilen memiliki ketahanan terhadap pelarut organik yang lebih baik dibandingkan busa poliuretan. Busa polietilen cenderung lebih keras dan lebih kuat daripada busa poliuretan

sehingga lebih cocok untuk melindungi objek yang jauh lebih berat atau tajam. Busa ini dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang dibandingkan busa poliuretan. Hal ini disebabkan kekuatannya dalam menahan getaran lebih baik dibandingkan dengan busa poliuretan sehingga lebih tahan lama. Oleh sebab itu, disarankan busa polietilen sebagai material penyimpanan koleksi candrasa dengan penggunaan waktu jangka panjang (Department of The Interior Museum Property Handbook, 2007).

- **Material Koleksi untuk Penyimpanan dalam Jangka Waktu Pendek**
Bubble Wrap

Bubble wrap merupakan material plastik dengan tekstur lentur dan berisi gelembung udara sebagai bantalan untuk menjaga benturan terhadap objek. Material ini terbuat dari film polietilen, yakni *low density polyethylene* (LDPE). Material ini juga bersifat antistatis sehingga dapat menghilangkan muatan statis (listrik). *Bubble wrap* digunakan untuk melindungi objek dari benturan, tetapi mampu menangkap uap air karena lapisan sel tertutup sehingga membuat uap air berkontak dengan logam secara lama, serta menjaga suhu tetap. Oleh karena itu, sebelum memakainya perlu divakum terlebih dahulu agar tidak terdapat uap air. Efek *dimpling* permukaan *bubble wrap* juga bisa membekas.

6.3.3 Metode Penyimpanan Koleksi

A. Penyimpanan Koleksi Candrasa

Setelah dikonservasi, koleksi disimpan dalam *storage* dengan kotak penyimpanan dan jumlah pengendali kelembapan yang sesuai.

Berikut ini adalah langkah-langkah penyimpanan koleksi.

1. Membuat pola koleksi di atas kertas plano. Pola yang telah dibuat kemudian digunting.



2. Pola pada kertas ditempelkan pada busa poliuretan. Busa dipotong mengikuti pola.



3. Selagi busa poliuretan dibentuk, koleksi dibungkus menggunakan kertas bebas asam. Pembungkusan mengikuti lekuk bentuk koleksi.



4. Peletakan gel silika sesuai dengan perhitungan desikan. Gel silika diletakkan didasar kotak.



5. Meletakkan busa poliuretan untuk bantalan koleksi dan menghindari kontak langsung dengan desikan.



6. Meletakkan busa poliuretan berpola.



7. Meletakkan koleksi.



8. Meletakkan busa poliuretan di atas koleksi.



9. Meletakkan bantalan busa poliuretan.



10. Koleksi siap disimpan di dalam lemari penyimpanan.



11. Menyimpan koleksi ke dalam lemari.



- 12 Meletakkan *datalogger* untuk memantau lingkungan koleksi selama masa penyimpanan.



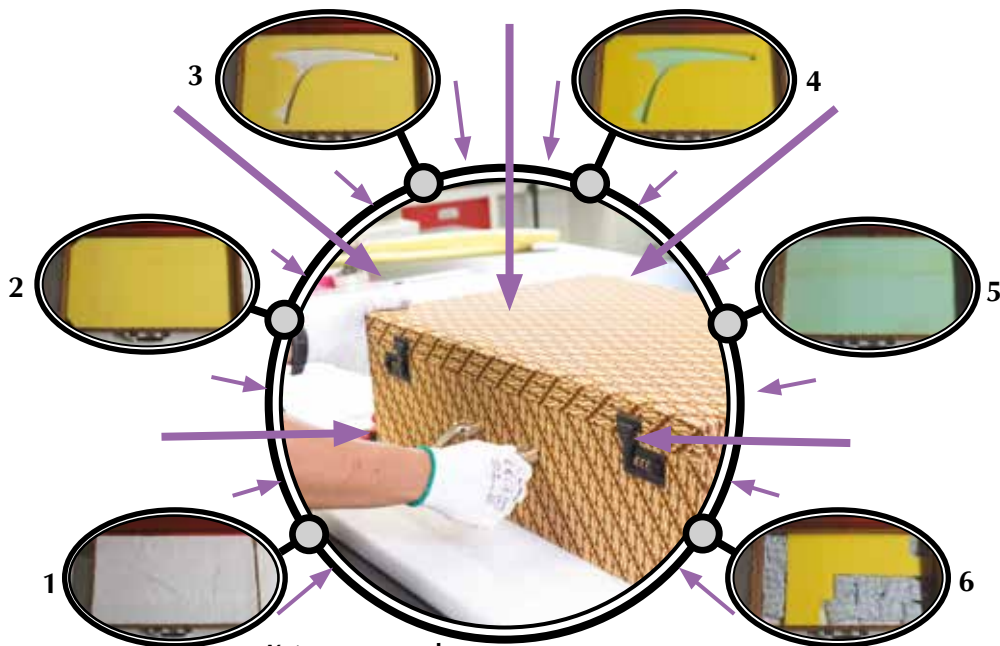
Secara vertikal terdapat lapisan-lapisan yang melindungi koleksi di dalam kotak. Dimulai dari lapisan terluar, yaitu busa PU dilapis kertas bebas asam, busa PU berpola yang bersentuhan dengan

koleksi, busa PU sebagai alas dan pembatas, serta yang terakhir berupa lapisan desikan pada dasar kotak.

Koleksi yang telah diletakkan di rak kemudian dicatat untuk mengetahui rekam transpor koleksi. Selain itu, diberikan informasi pada kotak penyimpanan untuk memudahkan pencarian dan menghindari koleksi dari potensi hilang, terselip, atau tertukar.

B. Label Koleksi Candrasa

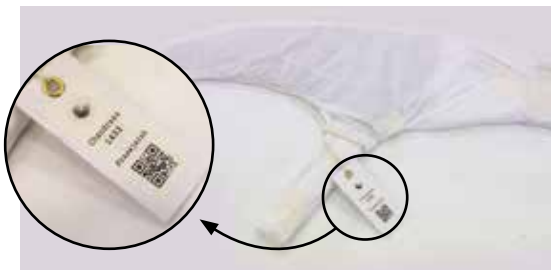
Kedua koleksi candrasa yang disimpan memiliki bentuk serupa dengan sedikit perbedaan yang apabila dilihat secara singkat tidak akan bisa dibedakan. Untuk menghindari koleksi tertukar, diberikan label registrasi pada tiap-tiap koleksi.



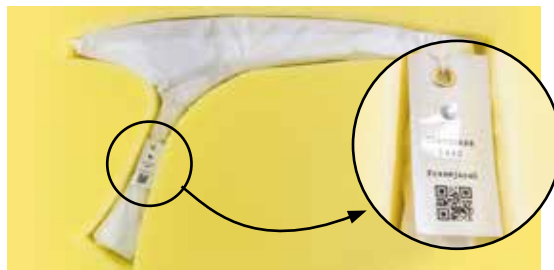
Keterangan gambar:

1. Busa poliuretan dilapis kertas bebas asam
2. Busa poliuretan
3. Kertas bebas asam yang melapisi koleksi
4. Busa poliuretan berpola
5. Busa poliuretan polos
6. Desikan

Gambar 6.39 – Lapisan Pelindung di dalam Kotak Penyimpanan



Gambar 6.40 – Pemberian Label Registrasi pada Koleksi Candrasa 1432



Gambar 6.41 – Pemberian Label Registrasi pada Koleksi Candrasa 1440

6.3.4 Pengendali Kelembapan

Desikan merupakan pengendali kelembapan yang digunakan dalam penyimpanan koleksi museum. Terdapat dua jenis desikan yang digunakan oleh Museum Nasional, yaitu bentonit dan gel silika, sama seperti desikan yang digunakan pada koleksi yang dipamerkan di dalam ruang pameran tertutup.

Desikan yang digunakan untuk koleksi di dalam kotak penyimpanan adalah bentonit. Bentonit dipilih sebagai desikan karena terbuat dari tanah lempung (*clay*) sehingga relatif lebih ramah lingkungan. Selain itu, penggunaan bentonit jauh lebih praktis tanpa perlu pengaktifasian terlebih dahulu.

Perhitungan jumlah desikan yang dibutuhkan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

- Menentukan jumlah kelembapan yang diperoleh atau dilepaskan oleh vitrin atau lemari penyimpanan dalam periode waktu tertentu.
- Menentukan jumlah air yang bisa diserap atau dilepas oleh satu kilogram desikan dalam rentang RH yang diinginkan di dalam vitrin.
- Jumlah desikan yang dibutuhkan ditentukan dengan membagi nilai kelembapan yang diperoleh atau dilepaskan dengan kapasitas kelembapan yang dimiliki desikan.

Tahapan ini dirumuskan dalam persamaan berikut: (Weintraub, 2002)

$$Q = \frac{(C_{eq} D)V(Nt)}{M_h F}$$

Keterangan:

M_h = kapasitas penyangga kelembapan dari desikan dalam rentang RH spesifik. Untuk desipak nilainya 6,28 sesuai dengan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan di Museum Nasional

C_{eq} = konsentrasi uap air saat jenuh. Pada 25°C, satu m³ udara menampung 23,5 gr uap air pada saat jenuh (Engineering ToolBox, 2004)

D = perbedaan antara RH di luar dan di dalam lemari simpan. RH di luar lemari simpan didasarkan pada titik maksimum atau minimum, sedangkan untuk RH di dalam kotak simpan berdasarkan nilai tengah (median).

Berdasarkan pemantauan dengan *data logger* sebelumnya, rentang RH dalam lemari penyimpanan (internal) 47,3%–77,1% dengan nilai tengah 68,5% dan rentang RH di luar lemari simpan (eksternal) adalah 47,4%–80,80%. Nilai D adalah selisih nilai tengah RH internal dengan nilai minimum RH eksternal, yaitu 21,1% atau 0,21 dalam desimal.

V = volume vitrin atau wadah yang digunakan. Vitrin yang digunakan pada penelitian ini berukuran 1 m^3 .

N = jumlah pertukaran udara per hari (nilai N adalah 1 satu pertukaran udara per hari untuk vitrin tertutup) (Thomson, 1977)

t = durasi maksimal bagi desikan untuk mempertahankan rentang RH yang dapat ditoleransi, menggambarkan durasi yang diperlukan oleh desikan untuk jenuh 100% terhadap uap air.

Q = massa desikan yang digunakan (kg)

F = rentang maksimum fluktuasi RH yang dapat ditoleransi dalam vitrin. Pada bahan organik, rentang yang diterima adalah 45-60%, sehingga nilai F adalah 15 (Al-Saad, 2013)

Dengan demikian, jumlah desikan yang dibutuhkan untuk tiap-tiap kotak penyimpanan dalam waktu dua puluh bulan adalah sebagai berikut.

A. Koleksi Candrasa No. Inventaris 1440

Dimensi kotak penyimpanan adalah panjang 70 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 20 cm. Volume kotak adalah 56.000 cm^3 , jika dikonversi ke dalam satuan meter menjadi $0,056 \text{ m}^3$.

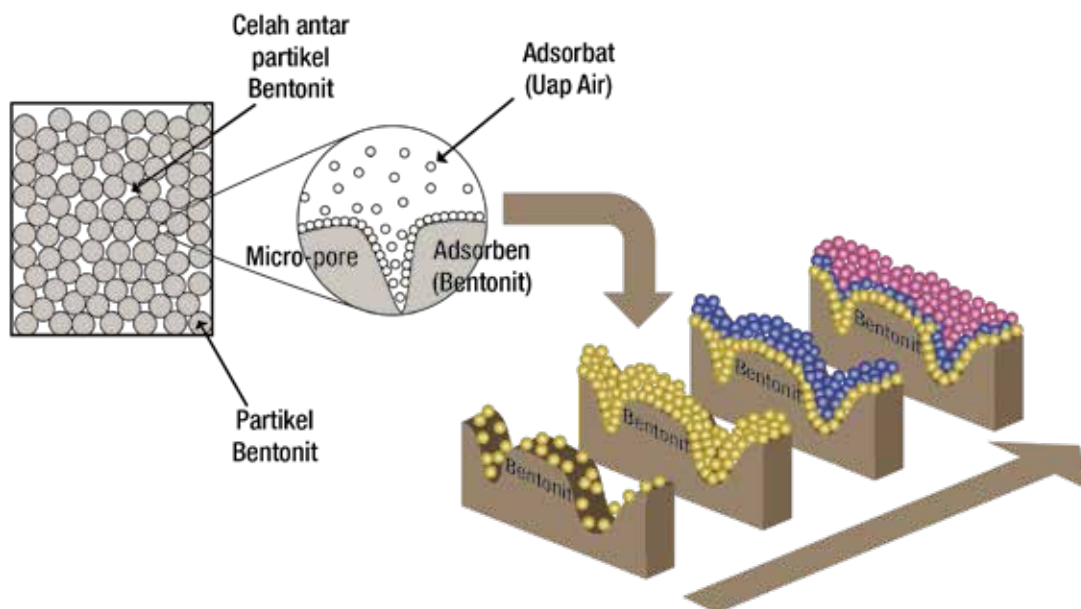
$$Q = \frac{(C_{eq} D)V(Nt)}{M_h F}$$

$$Q = \frac{(23,5 \times 0,21) \times 0,056 \times (20 \times 30)}{(6,28 \times 15 \ 94,2)}$$

$$Q = 1,76 \text{ kg}$$

B. Koleksi Candrasa No. Inventaris 1432

Dimensi kotak penyimpanan adalah panjang 80 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 20 cm. Volume kotak adalah 56.000 cm^3 , jika dikonversi ke dalam satuan meter menjadi $0,064 \text{ m}^3$.



Gambar 6.42 – Mekanisme Penyerapan Uap Air dengan Bentonit

$$Q = \frac{(C_{eq} D)V(Nt)}{M_h F}$$

$$Q = \frac{(23,5 \times 0,21) \times 0,064 \times (20 \times 30)}{(6,28 \times 15 \ 94,2)}$$

$$Q = 2,01 \text{ kg}$$

Pemberian desikan bentonit berfungsi untuk mengadsorpsi uap air dari udara sekitar koleksi. Adsorpsi adalah proses perpindahan massa berupa penyerapan gas atau zat terlarut oleh permukaan padat atau cair. Proses adsorpsi oleh bentonit berjalan sangat baik pada suhu rendah hingga normal karena kemampuannya untuk beregenerasi pada suhu tersebut tanpa mengalami kerusakan atau pembengkakan. Pada suhu ini juga bentonit mampu menyerap kelembapan lebih baik dibandingkan gel silika.

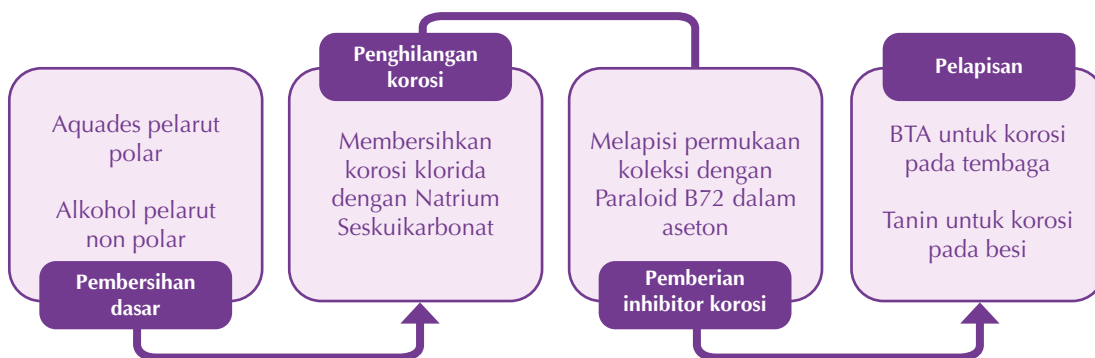
Cara kerja desikan seperti diilustrasikan pada Gambar 6.42, secara bertahap dimulai dari penyerapan pada celah-celah berpori di permukaan bentonit yang berlangsung dalam tekanan rendah. Ketika tekanan uap meningkat, molekul yang terserap mulai membentuk lapisan tunggal (*monolayer*) yang menutup permukaan adsorben. Seiring dengan peningkatan tekanan uap, molekul lainnya

akan terserap, dimulai dari molekul dengan ukuran terkecil yang kemudian membentuk lapisan baru (*multilayer*) di atas lapisan tunggal. Peningkatan tekanan uap ini akan menyerap makin banyak molekul ke dalam desikan dan menutup celah berporinya.

6.4 PELAKSANAAN KONSERVASI

Konservasi koleksi museum adalah tindakan pelestarian koleksi museum agar dapat kembali atau mendekati keadaan semula, termasuk juga pencegahan terjadinya kerusakan dari agen penyebab deteriorasi agar koleksi tetap dapat diakses dan dimanfaatkan baik oleh generasi saat ini maupun oleh generasi yang akan datang. Tindakan konservasi yang dilakukan tergantung dari bahan penyusun koleksi dan kondisi kerusakan koleksi tersebut.

Berdasarkan hasil uji XRF, diperoleh data adanya klorida yang terdeteksi pada permukaan koleksi yang menandakan adanya korosi klorida yang berbahaya bagi koleksi jika tidak dihilangkan. Secara umum, tahap pelaksanaan konservasi koleksi candrasa seperti ditampilkan pada Gambar 6.43 terdiri atas empat tahap, yaitu pembersihan dasar, penghilangan korosi, pemberian inhibitor korosi, dan pelapisan koleksi.



Gambar 6.43 – Bagan Diagram Alir Pelaksanaan Konservasi

6.4.1 Pembersihan Tingkat Dasar

Pembersihan tingkat dasar dilakukan untuk menghilangkan debu yang terakumulasi di permukaan koleksi. Debu yang tidak dibersihkan dapat mengundang kelembapan yang mempercepat tumbuhnya jamur dan menyebabkan kerusakan pada koleksi. Debu juga dapat mengandung bahan yang bersifat korosif terhadap koleksi.

Pembersihan debu dilakukan dengan menggunakan kuas dan kain halus yang dibasahi dengan akuades yang dicampurkan dengan etanol 96% dengan perbandingan 1:1 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.44 dan Gambar 6.45.

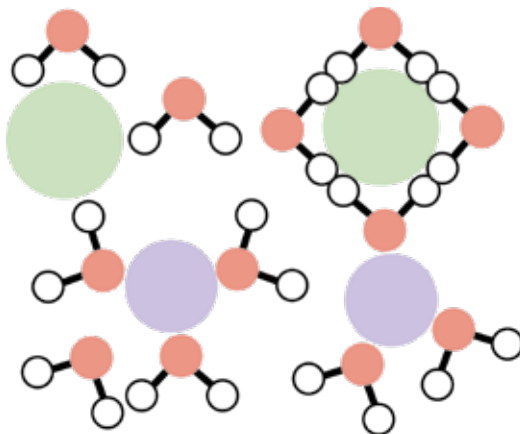
Selain untuk pembersihan debu, campuran akuades dan etanol ini bisa digunakan untuk mengangkat pengotor lain, lemak yang menempel di permukaan koleksi, dan sisa pelapis lama. Penggunaan



Gambar 6.44 – Pembersihan Debu pada Koleksi Candrasa 1432 secara Mekanis dengan Kuas



Gambar 6.45 – Pembersihan Debu pada Koleksi Candrasa 1440 secara Mekanis dengan Kuas



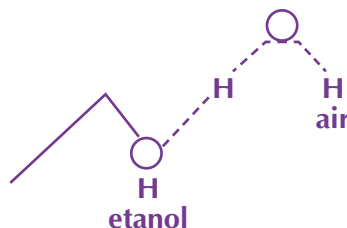
Gambar 6.46 – Interaksi Pelarut Polar (Fowler, Roush dan Wise, 2013)

kedua senyawa tersebut didasarkan pada perbedaan zat yang dibersihkan dan ditentukan oleh sifat kelarutan. Kelarutan suatu senyawa didasarkan pada kesamaan sifatnya dengan sifat pelarut sehingga terjadi interaksi intermolekuler atau jenis interaksi senyawa terhadap pelarut dengan prinsip *“like dissolves like”*.

Akuades memiliki momen dipol sehingga bersifat polar. Karenanya, akuades dapat berinteraksi dengan senyawa polar lain dan ion-ion. Pelarut polar seperti air atau akuades dapat menggantikan interaksi ion-ion menjadi ion-dipol sehingga digunakan untuk melarutkan senyawa dengan interaksi ionik (Smith, 2011). Contoh senyawa ionik adalah garam-garam seperti polutan. Interaksi antara pelarut polar dengan polutan ditunjukkan oleh Gambar 6.46.

Etanol, yang memiliki rumus kimia C_2H_5OH , menyebabkan senyawa ini bersifat polar dan nonpolar sekaligus. Gugus hidroksil pada etanol bersifat polar sehingga menyebabkannya dapat melarutkan senyawa-senyawa ion. Sementara itu, rantai karbon yang bersifat nonpolar membuatnya dapat melarutkan

senyawa nonpolar seperti lemak. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.50, pelarut etanol dapat melarutkan lemak karena mengandung sebagian besar ikatan C-C dan C-H. Walaupun memiliki gugus OH dengan elektron, senyawa lemak terlalu besar sehingga tidak dapat dilarutkan oleh air (Fowler, Roush, dan Wise, 2013).



Gambar 6.50 – Interaksi Etanol dengan Air dan Struktur Kolesterol (Lemak)
(Chemdraw, 2021; Pubchem, 2021; Smith, 2011)



Gambar 6.47 – Pengangkatan Debu pada Koleksi Candrasa 1432 dari Sisa *Coating* Lama

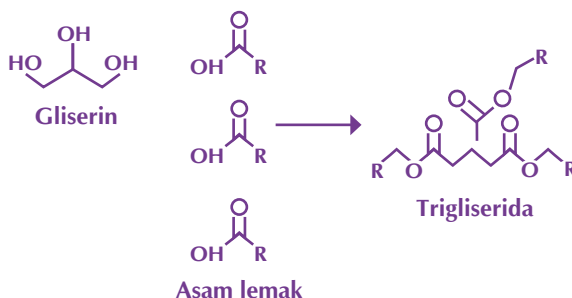


Gambar 6.48 – Pengangkatan Debu pada Koleksi Candrasa 1440 dari Sisa *Coating* Lama



Gambar 6.49 – Pengeringan Koleksi setelah Pembersihan

Gambar 6.51 menunjukkan ilustrasi interaksi senyawa turunan alkohol (gliserin) dengan asam lemak yang menghasilkan senyawa trigliserida. Hal ini mengindikasikan bahwa alkohol dapat digunakan untuk membersihkan lemak pada koleksi.



Gambar 6.51 – Ilustrasi Reaksi Asam Lemak dengan Alkohol
(Chemdraw, 2021; Karmee, S.K., 2018)

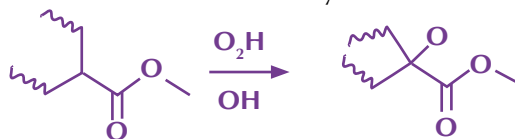
Etanol, selain untuk melarutkan pengotor yang bersifat nonpolar seperti lemak, digunakan untuk mengangkat sisa pelapis lama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.51. Pelapis lama yang digunakan adalah Paraloid B-72. Karena pengaruh lingkungan saat penyimpanan, lapisan pelindung tersebut dalam waktu lama akan terkikis sehingga tidak mampu lagi melindungi koleksi dengan optimal. Ikatan antar-polimer bahan pelapis telah banyak yang rusak. Oleh karena itu, penggunaan etanol akan membantu untuk membersihkan sisa pelapis ini.

Gambar 6.52 menunjukkan reaksi radikal alkohol dengan metil metakrilat yang merupakan salah satu monomer penyusun Paraloid B-72 dan terjadi pada proses fotooksidasi. Oksidasi Paraloid B-72 diinisiasi oleh adisi oksigen radikal yang berasal dari atom-atom hidrogen metil akrilat. Pada proses ini, terjadi absorpsi gugus -OH saat pembentukan asam karboksilat dan hidroperoksida serta absorpsi alkohol yang terbentuk dari radikal alkoksi (Chiantore dan Lazzari, 1996). Hal ini membuktikan terjadinya reaksi alkohol dengan Paraloid B-72 sehingga dapat digunakan sebagai bahan pembersih sisa pelapis. Selain itu, kandungan Paraloid B-72 yang terdiri atas etil dan metil metakrilat dengan

perbandingan 7:3 menunjang kelarutan senyawa tersebut di dalam etanol.

Setelah pembersihan, koleksi dikeringkan agar tidak ada pelarut yang tertinggal dan bereaksi dengan koleksi sehingga menimbulkan korosi seperti ditunjukkan pada Gambar 6.49.

Etanol merupakan bahan yang relatif aman digunakan. Namun, tetap diperhatikan ketentuan penggunaannya berdasarkan sifat dari senyawa ini.



Gambar 6.52 – Reaksi Radikal Alkohol dengan Metil Metakrilat
(Chemdraw, 2021; Chiantore dan Lazzari, 1996)

Petunjuk Penggunaan Bahan: Etanol

Etanol merupakan cairan tak berwarna dengan titik didih 78°C, titik nyala 17°C, dan titik lebur -117°C. Dari data tersebut, sifat etanol adalah mudah menyala. Oleh karena itu, dalam penggunaan etanol, hindari membuangnya dalam konsentrasi yang pekat secara langsung ke saluran air karena risiko ledakan. Selain itu, penggunaannya harus dijauhkan dari nyala api, permukaan panas, dan sumber penyulut. Etanol harus disimpan pada wadah tertutup rapat dengan lingkungan kering dan ventilasi baik serta jauh dari sumber api atau panas. Etanol jangan sampai terkena mata karena akan menyebabkan iritasi mata serius, dan juga jangan sampai tertelan karena memiliki toksisitas akut dengan LD50 oral sebesar 10.470 mg/kg berat badan (SDS Ethanol 96%, 2020).

6.4.2 Penghilangan Korosi

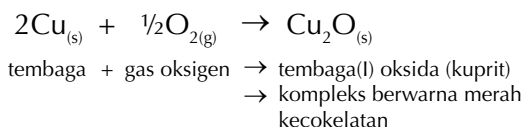
Sesuai dengan hasil analisis kerusakan koleksi, diperoleh data bahwa pada koleksi candrasa nomor inventaris 1432 terdeteksi adanya korosi klorida pada seluruh permukaan dan korosi besi pada bagian yang terdapat spot-spot coklat kemerahan. Sementara itu, pada koleksi candrasa nomor inventaris 1440, terdeteksi adanya korosi klorida.

Seperti yang telah dibahas pada Subbab 6.2, pada logam perunggu dikenal dua istilah terkait korosi, yaitu korosi pasif atau patina dan korosi aktif atau *bronze disease*. Patina tidak perlu dihilangkan karena bersifat melindungi koleksi, sedangkan *bronze disease* bersifat aktif merusak koleksi sehingga harus dihilangkan.

Untuk memahami proses penghilangan korosi yang berasal dari

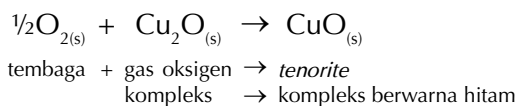
klorida yang dilakukan pada koleksi candrasa, kita perlu terlebih dahulu memahami reaksi yang terjadi dan bentuk senyawa yang terbentuk pada proses korosi dan harus dihilangkan.

Pada awalnya, tembaga bereaksi dengan oksigen di atmosfer membentuk kuprit (Cu_2O) dengan warna merah, coklat, atau hitam:



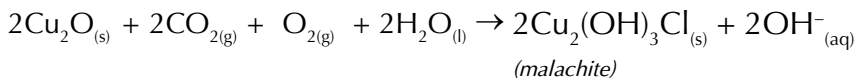
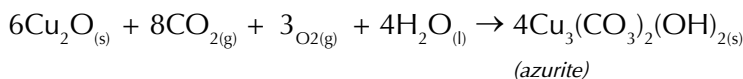
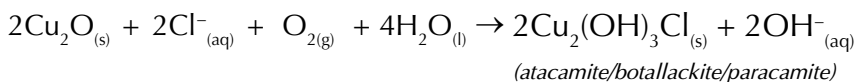
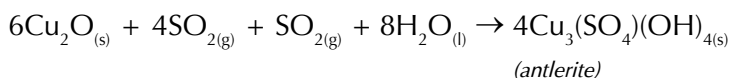
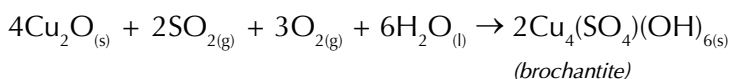
Kemudian, kuprit yang terbentuk bereaksi menghasilkan spesies berbeda, misalnya reaksi kuprit dengan oksigen

menghasilkan *tenorite* berwarna hitam melalui reaksi berikut:



CuO atau *tenorite* merupakan intermediat pada pembentukan korosi tembaga lainnya. Warna tembaga akan berubah dari jingga menjadi coklat atau hitam apabila berinteraksi dengan senyawa di atmosfer, seperti oksigen, karbon dioksida, sulfur dioksida, air, dan ion klorida sehingga terbentuk senyawa baru (Kuntzleman, Cullen, Milam, dan Ragan, 2020).

Reaksi-reaksi dan senyawa-senyawa yang terbentuk, antara lain, adalah:



Pada kasus candrasa, kita akan membahas mengenai korosi yang dihasilkan karena klorida. Pada reaksi di atas, tertulis bahwa senyawa yang terbentuk adalah $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ atau tembaga(II) klorida. Senyawa tersebut memiliki tiga wujud, yaitu *botallackite* (*monoclinic*), *atacamite* (*orthorhombic*), dan *paratacamite* (*rhombohedral*). Hasil akhir korosi, oksidasi, dan hidrolisis yang umum ditemukan

adalah *paratacamite* dan *atacamite*. Mineral *paratacamite* lebih stabil pada lingkungan bersuhu 100° dengan tekanan normal (Shaerkey dan Lewin, 1971).

Dengan demikian, dapat diketahui bahwa korosi aktif pada perunggu, berbentuk senyawa $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ dan berbentuk *paratacamite*. Adanya korosi aktif pada koleksi tidak hanya membahayakan koleksi tersebut karena lama-kelamaan

akan dapat mengikis hingga inti logamnya sehingga koleksi dapat hancur, tetapi juga senyawa tersebut bersifat berbahaya apabila tertelan dan terhirup. Oleh karena itu, dalam penanganannya diperlukan tempat dengan ventilasi baik, menggunakan APD lengkap, dan menjauhi kontak mata dan kulit (SDS Tribasic Copper Chloride, 2020).

Berbeda dengan pengangkatan debu ataupun lemak yang dapat menggunakan air dan alkohol, penggunaan air dan alkohol tidak dapat melarutkan korosi klorida.

Larutan yang digunakan untuk penghilangan korosi pada koleksi candrasa adalah larutan natrium seskuikarbonat 5%. Larutan ini merupakan campuran dari natrium karbonat dan natrium hidrogen karbonat dengan perbandingan 1:1. Konsentrasi larutan natrium karbonat yang digunakan disesuaikan dengan tingkat keparahan dari korosi yang terbentuk; jika lebih ringan, dapat digunakan konsentrasi yang lebih kecil.

Berikut ini langkah pembuatan larutan natrium seskuikarbonat 5%.

1. Menimbang sebanyak 25 gram natrium karbonat dan 25 gram natrium bikarbonat, sehingga total padatan adalah 50 gram.



Gambar 6.53 – Penimbangan Bahan

2. Pada 50 gram padatan tadi ditambahkan akuabides hingga volume larutan menjadi 1.000 ml sehingga menghasilkan larutan dengan konsentrasi 5%. Akuabides adalah air hasil dua kali penyulingan atau destilasi sehingga memiliki mineral yang sedikit.



Gambar 6.54 – Penambahan Akuabides

3. Mengaduk larutan hingga homogen.



Gambar 6.55 – Pencampuran Larutan dengan Magnetic Stirrer

Dalam setiap penggunaan bahan kimia untuk konservasi, kita harus mengetahui sifat bahan kimia tersebut untuk penggunaan yang aman dan tepat. Sifat-sifat bahan kimia dapat kita ketahui dari *safety data sheet* (SDS) dari setiap bahan.

Petunjuk Penggunaan Bahan: Natrium Seskuikarbonat

Natrium seskuikarbonat merupakan bahan yang dapat menyebabkan iritasi serius pada mata sehingga diperlukan kacamata pelindung dalam penggunaannya. Walaupun dinilai tidak berbahaya terhadap kulit dan pernafasan, tetap disarankan menggunakan alat pelindung diri sesuai dengan standar. Senyawa tersebut harus disimpan dalam tempat kering, sejuk, dan dijauhkan karena reaktif terhadap asam, dan LD50 yang dimiliki terhadap pernafasan adalah sebesar >5.03 mg/L dalam 4 jam sehingga dinilai berbahaya serta harus ditangani dalam ruangan dengan sirkulasi udara baik (SDS Sesqui Sodium Sesquicarbonate, 2015).

Ketika direaksikan dengan larutan natrium seskuikarbonat, ion-ion hidroksil larutan basa tersebut dapat bereaksi membentuk tembaga(I) oksida dan menetralkan produk samping berupa HCl sehingga terbentuk larutan natrium klorida (NaCl) (Kear, Barker, dan Walsh, 2004).

Berikut ini langkah pengaplikasian larutan natrium seskuikarbonat:

1. Melepaskan label yang terdapat pada koleksi agar tidak basah dengan bahan kimia. Simpan label tersebut untuk dipasang kembali pada saat telah selesai proses konservasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.56.



Gambar 6.56 – Pelepasan Label Koleksi

2. Membasahi kapas dengan larutan natrium seskuikarbonat 5%, kemudian menggosokkan pada permukaan koleksi secara searah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.57.



Gambar 6.57 – Larutan Natrium Seskuikarbonat Digosokkan ke Permukaan Koleksi

3. Menyediakan wadah berukuran lebih besar dari koleksi. Tempatkan koleksi pada wadah tersebut. Basahi kembali kapas dengan larutan 5%, kemudian balutkan kapas tersebut pada seluruh bagian koleksi. Siram sisa larutan pada koleksi yang telah dibalut kapas secara merata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.58.



Gambar 6.58 – Aplikasi Larutan Natrium Seskuikarbonat pada Koleksi

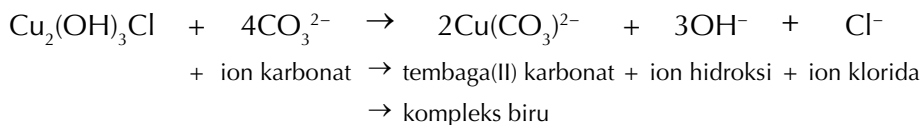
4. Membiarkan koleksi dikompres dengan kapas yang dibasahi larutan natrium seskuikarbonat selama tiga jam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.59. Waktu pengompresan ini bergantung pada tingkat keparahan korosi yang diangkat. Makin parah kondisinya, pengompresan bisa dilakukan lebih lama hingga satu malam.



Gambar 6.59 – Pengompresan Candrasa

Penggunaan seskuikarbonat tidak akan mengangkat patina (korosi stabil) pada koleksi, tetapi hanya akan mengangkat korosi klorida. Seperti dalam langkah-langkah di atas, korosi diangkat melalui pengompresan koleksi dengan kapas yang dibasahi senyawa tersebut.

Reaksi antara korosi klorida $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ dan larutan natrium seskuikarbonat adalah sebagai berikut:



Setelah tahapan pengompresan, terlihat bahwa pada kapas dan sisa larutan yang dihasilkan menunjukkan warna biru yang menandakan telah terbentuknya kompleks tembaga(II) karbonat.

Setelah tiga jam, air bekas kompresan koleksi diuji dengan

menggunakan larutan AgNO_3 0,1 N. Larutan ini berfungsi untuk menguji dan memastikan adanya klorida yang telah berhasil terangkat dengan larutan natrium seskuikarbonat.

Berikut ini langkah pembuatan larutan (AgNO_3) 0,1 N.

1. Timbang padatan AgNO_3 sebanyak 1,7 gram.



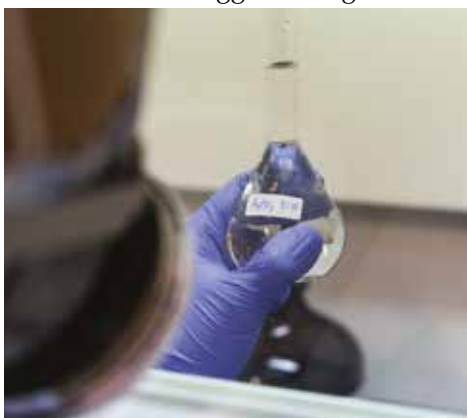
Gambar 6.60 – Padatan AgNO_3

2. Larutkan padatan dalam 100 ml *aquademin* dalam labu ukur.



Gambar 6.61 – Melarutkan Padatan AgNO_3

3. Aduk larutan hingga homogen.



Gambar 6.62 – Pembuatan Larutan Menjadi AgNO_3 0,1N

Petunjuk penggunaan bahan: AgNO_3

Pembuatan AgNO_3 ini dilakukan di lemari asam dengan memakai masker gas. AgNO_3 merupakan padatan putih tak berbau yang larut dalam air. Senyawa tersebut dapat menyebabkan sensasi terbakar pada mata dan kulit, iritasi jika terhirup, dan efek kronik (jangka panjang) apabila terhirup atau tertelan sehingga terjadi akumulasi perak dalam tubuh. Pengguna harus memakai APD lengkap dan menggunakannya dalam ruangan dengan ventilasi cukup. Penyimpanan harus dijauhkan dari bahan mudah terbakar, wadah ditutup jika tidak digunakan, dilindungi dari cahaya, dan hindari penyimpanan pada ruangan berlantai kayu (Lembaran Data Keselamatan Bahan, 2021).

Berikut ini merupakan tahapan uji klorida dengan AgNO_3 0,1N:

1. Kapas yang membalut koleksi dibuka.
2. Kapas tersebut digosokkan pada permukaan koleksi untuk membantu proses pengangkatan korosi.



Gambar 6.63 – Penggosokan Kapas setelah Pengompresan

- Kapas yang digunakan untuk membalut koleksi diambil, kemudian diperas larutannya.



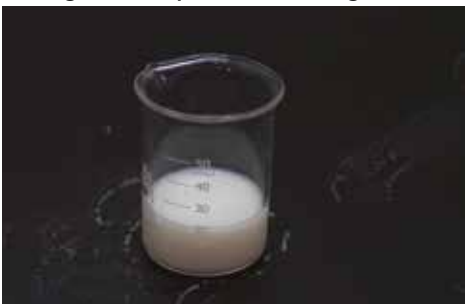
Gambar 6.64 – Pemasakan Larutan Hasil Pengompresan

- Diambil sampel larutan perasan tersebut sebanyak 25 ml.
- Diteteskan larutan AgNO_3 0,1 N sebanyak 10 ml.



Gambar 6.65 – Penetesan Larutan AgNO_3 pada Sampel Uji

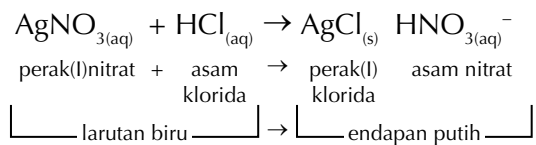
- Diperhatikan apakah terbentuk endapan putih. Jika terbentuk endapan putih, hal itu menandakan adanya klorida di larutan tersebut, dan jika tidak berarti tidak ada klorida yang terangkat dari permukaan logam.



Gambar 6.66 – Terbentuk Endapan Putih AgCl

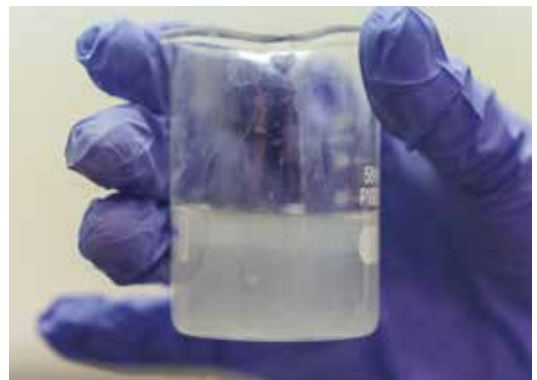
Pada kompresan pertama, terdeteksi adanya klorida di air bekas kompresan, yang menandakan bahwa seskuikarbonat telah berhasil mengangkat klorida pada koleksi. Untuk memastikan bahwa tidak ada lagi klorida yang masih melekat di permukaan koleksi, tindakan pengompresan dengan seskuikarbonat diulangi kembali.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Endapan putih AgCl yang terbentuk menandakan bahwa seskuikarbonat telah mengangkat korosi klorida pada koleksi. Pengompresan kedua dilakukan untuk memastikan bahwa korosi sudah terangkat semua.

Setelah selesai, air bekas kompresan kembali diuji. Pada hasil uji AgNO_3 yang kedua, tidak diperoleh lagi endapan putih perak klorida, yang menandakan bahwa tidak ada lagi klorida yang dapat diangkat dengan larutan natrium seskuikarbonat. Dengan hasil ini, aplikasi larutan natrium seskuikarbonat telah selesai. Namun, tidak



Gambar 6.67 – Hasil Uji AgNO_3 pada Larutan Hasil Kompresan ke-2

sampai di situ saja, sisa larutan natrium seskuikarbonat yang masih melekat di koleksi harus dihilangkan karena sifat basanya justru akan dapat membahayakan koleksi karena dapat mengikis permukaan dan dapat menimbulkan korosi baru.

Cara menghilangkannya adalah dengan mencuci koleksi dengan akuades dan *teepol* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.68.

Petunjuk penggunaan bahan: *Teepol*TM

Teepol adalah detergen yang tidak mengandung parfum, yang bisa mengangkat kotoran, lemak, dan sisa bahan kimia pada permukaan koleksi. Produk tersebut tersusun atas natrium dedoksilbenzenasulfonat, alkohol etoksilat, natrium lauril eter sulfat, natrium klorida, natrium glukonat, dan bronopol. Produk tersebut berupa cairan bening dengan pH 6,5–7,5. Produk tersebut dapat menyebabkan iritasi serius pada mata jika terkena (SDS Teepol, 2021).



Gambar 6.68 – Pencucian untuk Menghilangkan sisa Larutan Natrium Seskuikarbonat

Air yang digunakan untuk pencucian adalah akuades. Akuades adalah air yang diperoleh dari hasil destilasi atau penyulingan sehingga kandungan mineralnya sudah berkurang. Larutan natrium seskuikarbonat bersifat basa. Pencucian ini dilakukan hingga air bekas bilasan memiliki pH netral atau pH 7. Pengecekan nilai pH dilakukan dengan menggunakan kertas indikator universal.



Gambar 6.69 – Penghilangan Sisa Larutan Seskuikarbonat dengan Aquades dan *Teepol*



Gambar 6.70 – Pengecekan pH dengan Indikator Universal

Setelah koleksi bersih dari sisa larutan seskuikarbonat yang ditandai dengan nilai pH yang netral, selanjutnya koleksi dikeringkan dengan kain halus dan dengan bantuan *blower*. Koleksi harus dipastikan kering kondisinya

sebelum proses selanjutnya. Permukaan koleksi yang telah kering juga dibersihkan kembali dengan kuas untuk memastikan tidak adanya kain atau kapas yang masih menempel.



Gambar 6.71 – Pengeringan Koleksi dengan *Blower*



Gambar 6.72 – Pengeringan Koleksi dengan Kain Halus



Gambar 6.73 – Memastikan Permukaan Koleksi telah Bersih setelah Kering

6.4.3 Pemberian Inhibitor Korosi

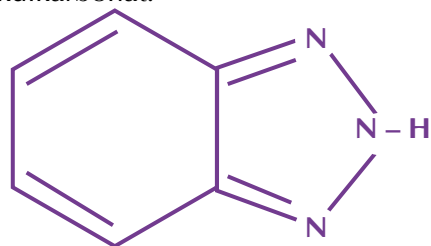
Setelah dilakukan penghilangan korosi klorida dengan natrium seskuikarbonat, selanjutnya diberikan inhibitor untuk menghambat korosi aktif yang kemungkinan masih tersisa pada logam. Kegunaan inhibitor adalah memperlambat korosi pada logam. Inhibitor tersebut dapat digolongkan ke dalam dua kategori, yaitu pembentuk selaput pelindung oksida melalui efek pengoksidasi dan adsorpsi selektif permukaan logam (Rahim, 2008).

Bahan yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi pada koleksi candrasa ini adalah *benzotriazole* dan *tanin*.

A. Inhibitor Benzotriazole

Benzotriazole (BTA/BTAH) adalah inhibitor khusus untuk logam tembaga dan paduannya. Stabilisasi dengan BTA ini dilakukan pada koleksi candrasa nomor inventaris 1440.

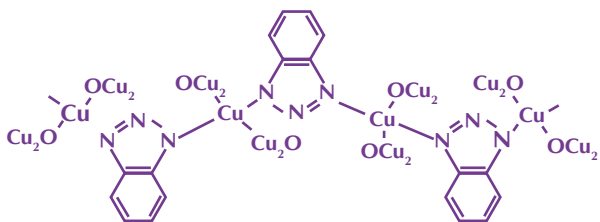
Inhibitor BTA ini tidak mengangkat klorida dari permukaan logam, tetapi menjadi pembatas antara permukaan tembaga dan lingkungannya. Oleh karena itu, sebelum pemberian inhibitor BTA, harus dilakukan penghilangan klorida oleh natrium seskuikarbonat. Penggunaan inhibitor bertujuan supaya korosi yang terjadi tidak berlanjut, terutama pada korosi aktif yang masih tersisa walaupun telah dibersihkan dengan natrium seskuikarbonat.



Gambar 6.74 – Struktur Senyawa *Benzotriazole* (Pubchem, 2021)

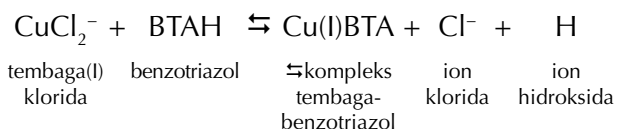
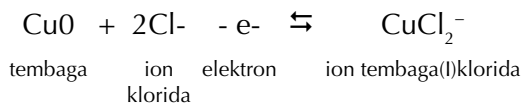
Inhibisi terjadi akibat Cu berinteraksi dengan BTAH. Pembentukan kompleks Cu(I)BTAH menyebabkan reduksi permukaan selaput atom-atom tembaga. Senyawa kompleks yang terbentuk mencegah pembentukan korosi lebih lanjut karena perlindungan dilakukan oleh selaput Cu(I)BTAH (Finsgard dan Milosev, 2010).

Struktur selaput tersebut diilustrasikan pada Gambar 6.75 di bawah ini. Kemungkinan lain proteksi yang ditimbulkan adalah pencegahan adsorpsi oksigen oleh lapisan yang telah diadsorpsi terlebih dahulu oleh BTAH (Finsgard dan Milosev, 2010).

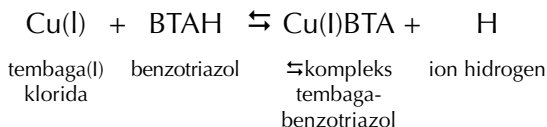


Gambar 6.75 – Kompleks Cu-BTAH (Chemdraw, 2021)

Kehadiran senyawa BTAH dapat meningkatkan kestabilan kompleks dan menunjang kemurnian senyawa Cu₂O pada lapisan Cu-BTA. BTAH stabil pada suasana asam. Permukaan lapisan yang terbentuk dapat mencegah interaksi ion Cl⁻ dengan Cu₂O yang dapat membentuk padatan CuCl. Reaksi yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 6.76 – Membuat Larutan BTA 3% dengan Mencampurkan 15 Gram BTA dengan 500ml Etanol



BTA yang digunakan adalah dengan konsentrasi 3% dalam etanol. Aplikasi larutan BTA 3% pada permukaan koleksi adalah dengan cara mengoleskannya dengan kuas tipis-tipis. Setelah itu koleksi diangin-anginkan hingga kering.

Oleh karena sifatnya yang toksik atau beracun jika terpapar, aplikasi BTA dilakukan di dalam lemari asam dan dengan menggunakan masker



Gambar 6.77 – Pengaplikasian BTA pada Permukaan Koleksi

gas. Dalam pelaksanaan konservasi, tidak hanya kelestarian koleksi yang harus dijaga, tetapi keselamatan dari konservator yang bekerja merupakan prioritas utama.

Petunjuk penggunaan bahan: Benzotriazole (BTA)

Menurut Occupational Safety and Health Administration (OSHA) pada tahun 2012, BTA dikategorikan sebagai bahan berbahaya yang dapat menyebabkan iritasi serius pada mata dan sifat racun akut apabila tertelan serta berbahaya bagi lingkungan perairan dalam jangka panjang. BTA merupakan larutan tak berwarna dan tak berbau. Penggunaan APD lengkap dan sirkulasi udara yang memadai dapat meminimalisasi potensi paparan dari senyawa tersebut. Penyimpanan BTA harus dilakukan dalam wadah tertutup rapat di tempat kering, sejuk, dan dengan ventilasi baik (Lembar Data Keselamatan Bahan Benzotriazole, 2021).

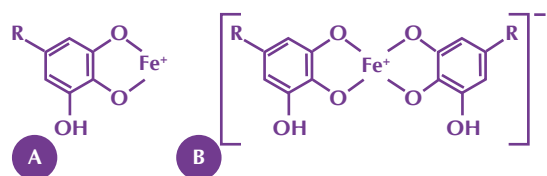
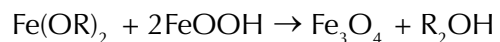
B. Inhibitor Tanin

Pada koleksi candrasa nomor inventaris 1432, berdasarkan hasil uji XRF, diperoleh data bahwa terdapat korosi aktif berwarna cokelat yang didominasi oleh unsur besi. Oleh karena itu, pemberian inhibitorynya tidak menggunakan BTA, tetapi dengan inhibitor besi, yaitu tanin. Tanin merupakan senyawa bahan alam yang tersedia pada sistem pembuluh

tanaman, seperti daun, kulit pohon, biji, dan bunga.

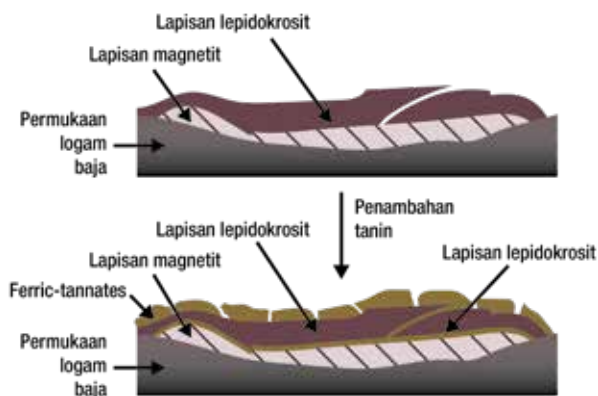
Korosi besi disebabkan oleh oksidasi Fe menjadi Fe^{2+} yang dilanjutkan dengan oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} sehingga membentuk FeOOH . Pada pori-pori lapisan korosi, ion Fe^{3+} (pada FeOOH) akan direduksi menjadi Fe^{2+} akibat paparan dengan logam besi. Kemudian, ion Fe^{2+} akan kembali direduksi menjadi besi (III) oksida. Dalam hal ini, tanin dapat mengubah korosi aktif menjadi senyawa yang lebih stabil dan resisten terhadap korosi. Bagian polifenolik tanin berinteraksi dengan besi (III) oksida dan oksihidroksida membentuk *ferric-tannates* berupa selaput biru kehitaman. Senyawa-senyawa kompleks mono dan bis dapat terbentuk akibat interaksi tanin dan komponen korosi pada larutan *aqueous* (Rahim, 2008).

Berikut ini mekanisme reaksi yang terjadi pada pembentukan *ferrous-tannate*:



Gambar 6.78 – Struktur *Iron-Tannate*
(A) Monokompleks dan (B) Biskompleks

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.79, hasil korosi terdiri atas dua lapisan, yaitu lapisan magnetit pada bagian dalam dan lepidokrosit pada bagian luar yang lebih renggang. Tanin diserap ke dalam lapisan korosi dan membentuk *ferric-tannates*. Reaksi sebagian besar terjadi pada lapisan luar.



Gambar 6.79 – Perubahan Korosi Aktif Menjadi *Ferric-Tannates*
(Rahim, Kassim, & Steinmetz, 2011)

Tanin dapat mengalami tiga jenis interaksi terhadap ion-ion besi, yaitu pembentukan kompleks dengan Fe^{2+} , tanin bereaksi langsung dengan ion-ion Fe^{3+} , dan reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} .

Tanin yang digunakan sebagai inhibitor untuk koleksi candrasa ini merupakan asam tanat yang diubah ke dalam bentuk larutan dengan dilarutkan ke dalam etanol dengan persentase 3% (W/V), seperti ditunjukkan pada Gambar 6.80.



Gambar 6.80 – Proses Pembuatan Tanin

Petunjuk penggunaan bahan: Tanin

Asam tanat (*tannic acid*) merupakan bubuk berwarna kuning kecokelatan yang sedikit berbau dan bersifat asam lemah di dalam air. Asam tersebut memiliki titik didih dan temperatur dekomposisi 200 °C. Kemungkinan bahaya yang diakibatkan adalah iritasi pada mata, kulit, saluran pernafasan, dan saluran pencernaan. Penggunaan senyawa tersebut harus dalam ruangan dengan ventilasi cukup untuk meminimalisasi akumulasi debu. Selain itu, senyawa tersebut harus ditempatkan dalam tempat sejuk, kering, tertutup rapat, dan terlindungi dari cahaya serta udara luar (Lembar Data Keselamatan Bahan Asam Tanat, 2021).

Tanin diaplikasikan pada titik-titik yang terdapat korosi berwarna cokelat di permukaan candrasa. Tanin diaplikasikan dengan menggunakan kuas. Setelah diaplikasikan, koleksi kemudian dikeringkan pada suhu ruang hingga lapisan tanin mengering.



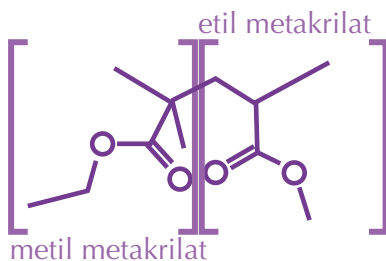
Gambar 6.81 – Proses Pemberian Inhibitor Tanin

6.4.4 Pelapisan Koleksi

Setelah dilakukan stabilisasi dengan inhibitor pada koleksi candrasa, tahap selanjutnya adalah memberikan pelapis pada permukaan koleksi. Pelapis ini berfungsi sebagai *barrier* antara permukaan logam dengan lingkungannya sehingga debu, polutan, dan uap air dari udara tidak dapat berkontak langsung dengan permukaan logam tersebut. Hal ini dapat mencegah terjadinya korosi kembali.

Pelapis yang digunakan adalah Paraloid B-72 yang dilarutkan dalam toluena dengan konsentrasi 3%. Toluena merupakan pelarut organik yang mudah menguap dan menimbulkan bau menyengat sehingga aplikasi pelapis ini harus dilakukan di lemari asam atau tempat yang sirkulasi udaranya baik. Selain itu, konservator harus menggunakan masker gas.

Paraloid merupakan resin akrilat yang digunakan sebagai pelapis dan zat *adhesive* atau penempel karena bersifat stabil, transparan, resisten, dan reversibel. Resin tersebut cocok digunakan untuk beragam bahan, seperti keramik, besi, batuan, atau kaca. Persiapan resin tersebut didasarkan pada fungsi yang ingin digunakan, seperti pelindungan, penyambungan, atau pengeleman (Vincotte, Beauvolt, Boyard, dan Gulminot, 2019).



Gambar 6.82 – Senyawa Paraloid B-72 (Skoda, Pucalikova, Kurtika, dan Kroflova, 2018)

Paraloid B-72 bersifat mudah digunakan, pelindung sinar ultraviolet, tidak lengket, dan tahan terhadap senyawa asam serta ancaman biologis (Skoda, Pucalikova, Kurtika, dan Kroflova, 2018).

Efektivitas Paraloid B-72 sebagai pelapis telah teruji, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.19. Pengujian kemampuan pelapis Paraloid B-72 terhadap tembaga dan perak menunjukkan kemampuan tertinggi yang dihasilkan oleh senyawa tersebut jika dibandingkan dengan pelapis lilin mikro-kristalin. Performa tersebut didasarkan pada perubahan massa bahan yang dilindungi dengan variasi jenis pelapis atau campuran pelapis. Pada tabel ditunjukkan bahwa makin tinggi nilai persentase yang dihasilkan, makin sedikit massa yang berkurang akibat korosi (Mohamed dan Mohamed, 2017). Paraloid berperan sebagai selaput pelindung dari uap air yang dapat memperlambat atau menghentikan oksidasi.

Tabel 6.16 – Hasil Performa Pelapis terhadap Perubahan Massa Tembaga dan Perak

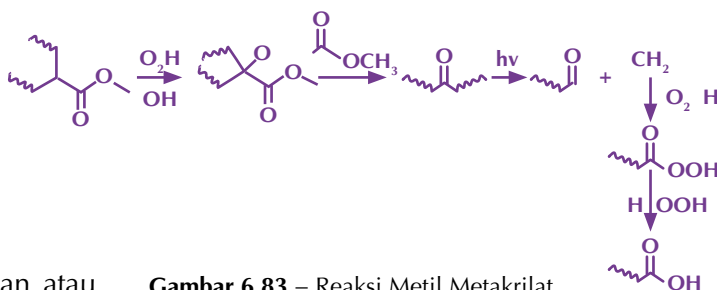
Pelapis	Performa (%)	
	Tembaga	Perak
Selapis Paraloid B-72 3%	75%	70.5%
Selapis Paraloid B-72 3% + selapis lilin mikrokristalin	68.97%	52.63%
Dua lapis lilin mikrokristalin	23%	Tidak diuji
Selapis lilin mikrokristalin	46.51%	22.63%

(Mohamed dan Mohamed, 2017)

Senyawa Paraloid B-72 tersusun atas etil metakrilat (EMA) dan metil metakrilat (MA) (Chiantore dan Lazzari, 1996). Paraloid B-72 bersifat stabil terhadap pengaruh oksidasi oleh cahaya

sehingga dapat digunakan sebagai pelindung. Fotooksidasi terhadap Paraloid B-72 hingga 2.500 jam berlangsung tanpa pembentukan fraksi tak larut dengan penurunan berat sekitar 5% atau cenderung konstan setelah 2.000 jam. Selaput polimer tidak menunjukkan retakan atau variasi optik lain. Namun, hal ini berbeda dengan Paraloid B-72 yang dipaparkan sinar UV dan mempercepat penguningan (Chiantore dan Lazzari, 1996). Oleh karena itu, sebaiknya hindari paparan cahaya UV karena menyebabkan terjadinya fotooksidasi lapisan Paraloid B-72.

Proses oksidasi Paraloid B-72 diinisiasi oleh adisi oksigen terhadap radikal pada metil metakrilat.



Gambar 6.83 – Reaksi Metil Metakrilat (Chemdraw, 2021; Chiantore dan Lazzari, 1996)

Kemudian, dekomposisi hidroperoksida menyebabkan pembentukan keton. Setelah itu, terjadi pembentukan gugus asam akibat dekomposisi keton oleh induksi fotolitik dan perubahan bentuk anhidrida rantai terbuka. Gambar 6.83 menunjukkan reaksi penyusutan Paraloid B-72 terhadap fotooksidasi.

Petunjuk penggunaan bahan: Paraloid B-72

Paraloid B-72 merupakan senyawa yang bersifat toksik pada ambang batas tertentu. LD50 yang dimiliki terhadap oral adalah sebesar >5000 mg/kg pada tikus dan dermal (kulit) sebesar >3000 mg/kg pada kelinci. Berdasarkan data tersebut, Paraloid B-72 dinilai tidak beracun, karena batas ambang bahan kimia toksik sebesar ≤ 1 mg/kg berat badan hingga 500 mg/kg berat badan. (Material Safety Data Sheet Paraloid B-72, 2003).

Walaupun dinilai tidak beracun, dalam pemakaiannya sebagai bahan pelapis, paraloid harus dilarutkan dengan pelarut organik. Paraloid B-72 larut dalam pelarut organik dan menghasilkan dispersi tak berwarna (Skoda, Pucalikova, Kurtika, dan Kroflova, 2018). Hal ini sesuai dengan sifat Paraloid B-72 yang nonpolar sehingga dapat larut pada senyawa nonpolar. Senyawa organik yang digunakan sebagai pelarut dalam konservasi candrasa adalah toluena.

Petunjuk penggunaan bahan: Toluena

Toluena merupakan cairan tak berwarna dengan bau aromatik dan tidak larut dalam air. Senyawa ini bersifat mudah terbakar pada bentuk cair dan uap, menyebabkan depresi sistem saraf, dan berbahaya apabila terhirup. Selain itu, toluena dapat terserap melalui kulit dan berpotensi membahayakan bayi dalam kandungan serta kesuburan (fertilitas). Penyimpanan harus dijauhkan dari sumber api dan ditempatkan di media sejuk, kering, dan memiliki sirkulasi udara baik. Toluena juga harus dijauhkan dari senyawa pengoksidasi. Oleh karena sifat dari pelarutnya yang mudah menguap dan berbahaya jika terhirup, proses pembuatan larutan dan proses pelapisan koleksi harus dilakukan di dalam lemari asam (Lab Chem, 2018).



Gambar 6.84 – Penggunaan Lemari Asam

Berikut ini cara pembuatan larutan Paraloid B-72 3% (w/v):

1. ditimbang 15 gram Paraloid B-72



Gambar 6.85 – Penimbangan Bahan Pelapis

2. ditambahkan toluena hingga volume menjadi 500 ml;



Gambar 6.86 – Penambahan Pelarut

3. larutan diaduk hingga homogen; dan



Gambar 6.87 – Pencampuran Bahan Menggunakan *Magnetic Stirrer*

4. larutan didiamkan selama 24 jam dan siap digunakan.

Aplikasi pelapis ini dilakukan dengan cara mengoleskan larutan dengan menggunakan kuas secara merata ke seluruh permukaan koleksi.



Gambar 6.88 – Proses Pelapisan (*coating*) pada Koleksi dengan Larutan Paraloid B-72

Dengan dilakukannya pelapisan terhadap candrasa, diharapkan dapat melindungi koleksi ini dari kembalinya material/senyawa penyebab korosi.

6.4.5 Hasil Konservasi

Hasil akhir yang diharapkan dari proses konservasi benda arkeologi bukanlah menjadikan koleksi terlihat baru, melainkan menghilangkan kerusakan pada koleksi. Pada prinsipnya, penggunaan larutan natrium seskuikarbonat untuk mengatasi masalah korosi klorida pada bahan perunggu adalah dengan mengubah korosi klorida yang bersifat korosif terhadap koleksi menjadi korosi oksida yang tidak berbahaya. Secara fisik bahkan koleksi tidak mengalami perubahan secara drastis.

Bagaimana kita melakukan penilaian apakah suatu tindakan konservasi telah mencapai tujuannya? Dalam pelaksanaan konservasi koleksi, dokumentasi menjadi hal penting yang harus dilakukan. Dokumentasi berupa laporan tertulis, foto dan video, gambar dan ilustrasi (untuk mencatat perubahan penting yang

sulit digambarkan dengan foto), atau catatan analitis jika ada. Semua tindakan konservasi harus didokumentasikan secara tertulis, begitu juga kondisi awal dan setelah konservasi. Hasil dokumentasi inilah yang dapat kita gunakan sebagai bahan evaluasi suatu tindakan konservasi, yaitu bagaimanakah kondisi koleksi sebelum dan setelah konservasi dapat dibandingkan dengan disertai data hasil pengukuran kuantitatif.

Pada proses konservasi koleksi candrasa, untuk hasil konservasi dilakukan pengujian dengan menggunakan mikroskop digital dan *X-ray fluorescence (XRF) portable*.

A. Hasil Pengujian dengan Mikroskop Digital

Pengamatan dengan mikroskop digital digunakan untuk analisis kualitatif terhadap perubahan permukaan kapak candrasa sebelum dan setelah dilakukan konservasi koleksi.



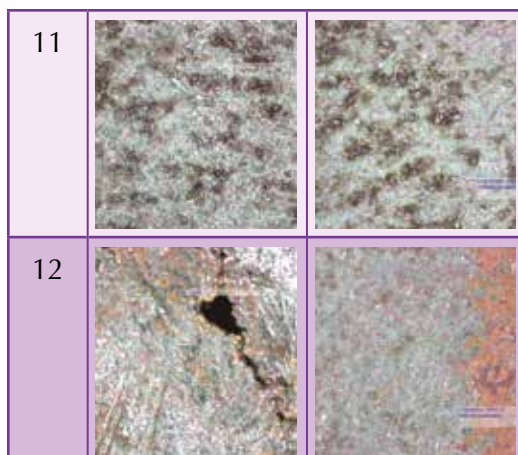
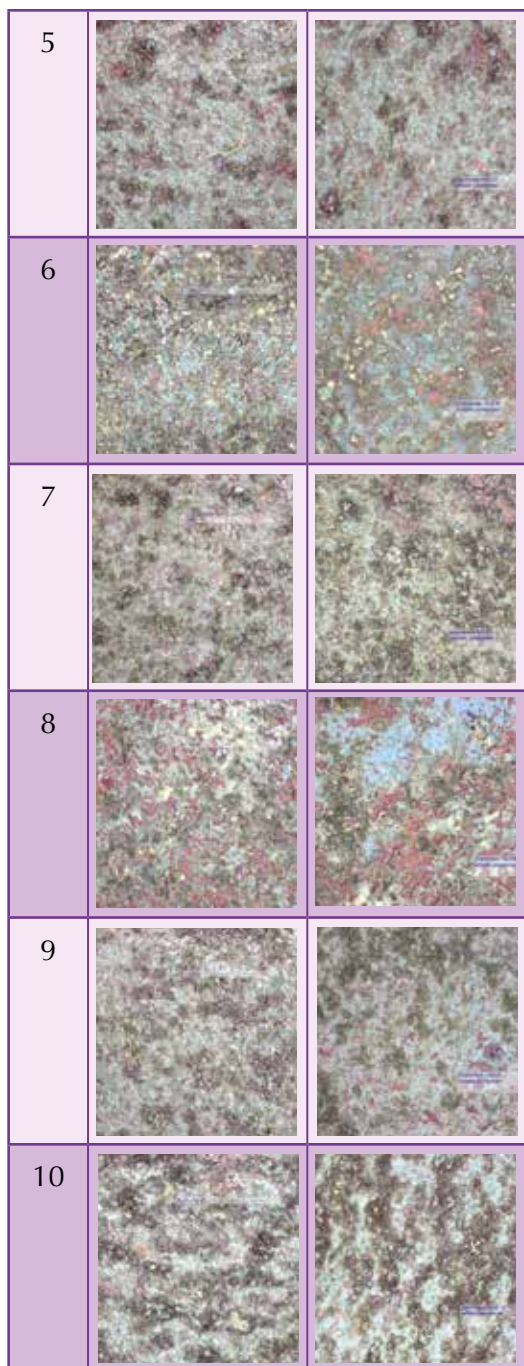
Gambar 6.89 – Pendeteksian dengan Mikroskop Digital



Gambar 6.90 – Candrasa 1432 setelah Konservasi

Tabel 6.17 – Hasil Pembacaan Mikroskop Digital* Candrasa No. Inventaris 1432

Titik	Sebelum	Sesudah
1		
2		
3		
4		



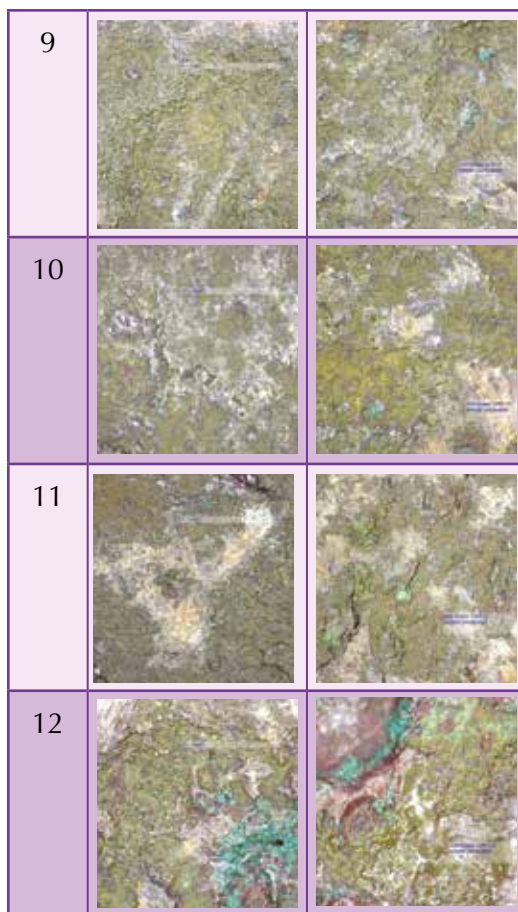
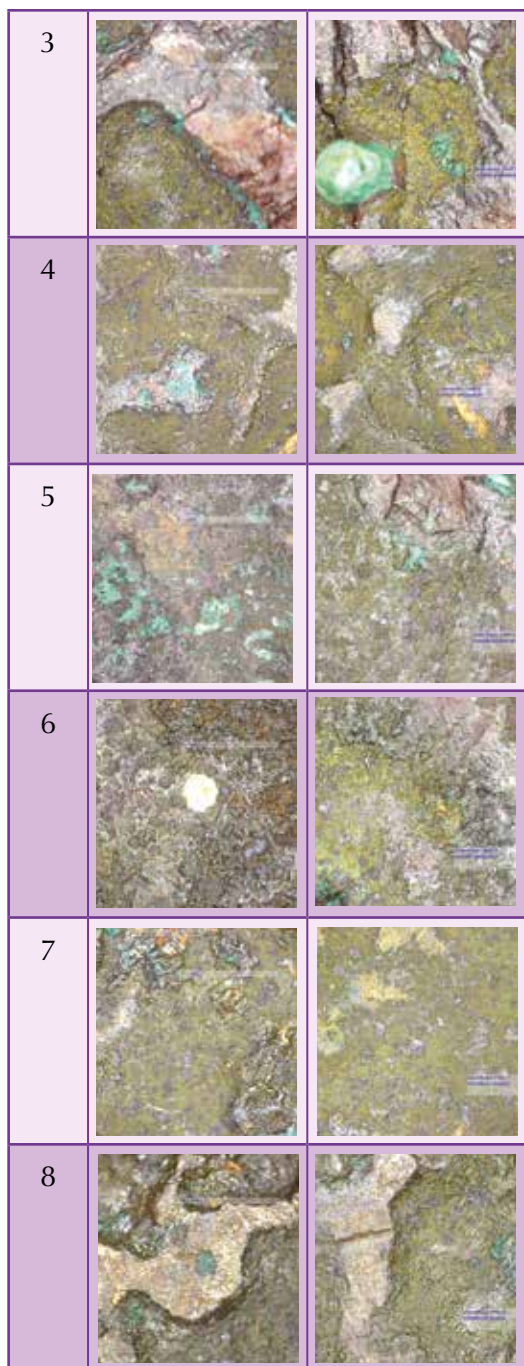
* Diambil menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 60-70 kali.



Gambar 6.91 – Candrasa 1440 setelah Konservasi

Tabel 6.18 – Hasil Pembacaan Mikroskop Digital* Candrasa No. Inventaris 1440

Titik	Sebelum	Sesudah
1		
2		



* Diambil menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 60–70 kali.

Berdasarkan tabel perbandingan antara hasil pembacaan dari mikroskop digital, dapat terlihat bahwa secara umum gambaran permukaan setelah tindakan konservasi adalah permukaan yang terlihat lebih halus meskipun tidak benar-benar mengubah gambaran permukaan secara drastis. Gambaran permukaan yang lebih halus ini dapat diakibatkan oleh hilangnya debu dan polutan, serta korosi aktif yang telah berubah bentuk menjadi korosi yang lebih stabil.

Pada beberapa titik seperti di titik nomor 2 pada candrasa nomor inventaris

1432 terlihat adanya pengurangan warna kemerahan korosi besi. Pengurangan warna korosi kemerahan ini dapat menjadi tanda bahwa korosi aktif telah terangkat. Kelemahan analisis dari hasil pengukuran secara visual dengan mikroskop digital ini adalah ketidakakuratan posisi titik yang diukur antara sebelum dan setelah konservasi, tetapi cukup menjadi gambaran perubahan yang terjadi pada permukaan koleksi.

B. Hasil Pengujian dengan XRF Portable

X-ray fluorescence portable digunakan untuk menganalisis kandungan korosi klorida sebelum dan setelah konservasi koleksi candrasa. Pengujian dilakukan menggunakan alat *portable* karena bersifat nondestruktif sehingga tetap menjaga bentuk asli koleksi.

Yang akan menjadi ukuran bahwa ada korosi yang berkurang adalah nilai klorida (Cl) yang terdeteksi setelah proses konservasi. Hasil tersebut akan dibandingkan dengan nilai klorida sebelum konservasi dilakukan. Perbandingan tersebut dilakukan untuk nilai pada titik uji yang sama.



Gambar 6.92 – Identifikasi dengan *XRF Portable*

Tabel 6.19 – Hasil Deteksi Unsur Cl pada XRF Portable Candrasa No. Inventaris 1432 sebelum dan sesudah Tindakan Berlangsung

	Unsur Cl (ppm)	
	Sebelum Tindakan	Sesudah Tindakan
Titik Pengambilan Data	1	481. 9
	2	265. 6
	3	439. 4
	4	500. 2
	5	753. 4
	6	598. 8
	7	621. 4
	8	673. 3
	9	572. 4
	10	418. 9
	11	433. 0
	12	1137. 2
		683. 36

Data yang dihasilkan menunjukkan bahwa terdapat pengurangan kadar klorida pada 8 dari 12 titik yang diuji. Pembacaan tersebut menandakan bahwa korosi klorida telah dihilangkan oleh larutan natrium seskuikarbonat. Hasil pembacaan XRF ini bersifat semikuantitatif karena hanya merupakan penggambaran komposisi unsur di bagian permukaan yang dipindai. Namun, hal ini dapat menjadi gambaran bahwa tindakan yang dilakukan telah berhasil menghilangkan klorida.

Untuk korosi besi, tidak dapat dilakukan perbandingan nilai seperti pada korosi klorida karena besi termasuk logam penyusun koleksi ini sehingga dapat terjadi bias dari hasil pengukuran. Penghilangan korosi besi dapat terlihat secara visual dengan menggunakan mikroskop digital.

6.5 KESIMPULAN

Kapak candrasa merupakan salah satu koleksi zaman prasejarah berbahan perunggu yang telah lama berada di ruang penyimpanan Museum Nasional. Ruang penyimpanan ini berfungsi sebagai pelindung koleksi terhadap agen kerusakan. Koleksi yang berada di ruang penyimpanan sebenarnya lebih aman dari pengaruh lingkungan luar karena memiliki lapisan pelindung yang lebih banyak dibanding koleksi yang dipamerkan. Namun, dalam kasus candrasa, penggunaan artefak pada masa lalu dan kondisi saat penemuan, dapat memengaruhi kondisi fisik koleksi pada saat ini. Oleh karena itu, meskipun berada di ruang penyimpanan, kerusakan koleksi masih dapat terjadi.

Analisis komposisi unsur dan analisis kerusakan pada koleksi perlu dilakukan pada tahap awal untuk mengetahui perlakuan tepat yang akan dilakukan dan guna menghindari adanya kesalahan pada perlakuan pembersihan, pemberian inhibitor, serta *coating*. Perlakuan yang tepat perlu dilakukan agar agen kerusakan dapat diminimalisasi dan menghindari kerusakan yang sebelumnya tidak ada.

Berdasarkan analisis, koleksi candrasa 1432 dan 1440 menghasilkan komposisi unsur dan kerusakan yang berbeda sehingga menghasilkan rekomendasi penanganan yang berbeda pula.

Kegiatan konservasi koleksi candrasa terdiri atas tiga tahapan utama, mulai dari identifikasi, pelaksanaan konservasi, dan penyimpanan. Identifikasi mencakup identifikasi komposisi unsur penyusun koleksi dan identifikasi kerusakan. Dari hasil identifikasi diperoleh bahwa koleksi candrasa 1440 dan 1432 memiliki

komposisi yang berbeda. Perbedaan komposisi ini mengakibatkan adanya perbedaan tampilan visual antara kedua koleksi, selain juga karena pengaruh dari korosi yang terbentuk. Perbedaan komposisi dari kedua candrasa ini dapat menjadi masukan bagi kurator dalam menganalisis koleksi secara lebih mendalam.

Pada koleksi candrasa no. inv. 1432 ditemukan korosi aktif berupa korosi klorida dan korosi besi, sedangkan pada koleksi candrasa no. inv. 1440 ditemukan korosi aktif berupa korosi klorida. Perbedaan kerusakan tersebut mengakibatkan perbedaan dalam penanganannya.

Pada tahap konservasi, karena pada kedua koleksi terdeteksi adanya korosi klorida, dilakukan penghilangan korosi dengan menggunakan larutan natrium seskuikarbonat. Selanjutnya diberikan inhibitor korosi, yaitu benzotriazole untuk korosi klorida dan tanin untuk korosi besi. Setelah itu koleksi dilapisi dengan Paraloid B-72. Hasil pembersihan diuji menggunakan mikroskop digital dan XRF *portable* dengan membandingkan data sebelum dan setelah konservasi, yang menunjukkan bahwa perawatan yang dilakukan berhasil menghilangkan korosi klorida dari koleksi.

Untuk perlindungan yang optimal agar agen kerusakan tidak mengenai koleksi kembali, tahapan diakhiri dengan penyimpanan, *monitoring*, dan pengendalian lingkungan mikro. Penyimpanan meliputi pemilihan material simpan dan metode penyimpanan yang sesuai. Pengendalian lingkungan mikro dilakukan dengan meletakkan desikan di dalam kotak simpan koleksi.



Dari tahapan yang dijabarkan pada bab ini, terlihat bahwa konservasi koleksi yang terdapat di ruang penyimpanan tidak dibedakan dengan koleksi yang dipamerkan. Koleksi tetap mendapatkan penanganan terbaik yang bisa dilakukan.

Untuk ke depannya diperlukan pengembangan metode konservasi untuk logam, khususnya perunggu. Yang pertama adalah pengembangan metode identifikasi yang lebih akurat sehingga dapat diperoleh data secara kuantitatif untuk menilai efektivitas bahan konservan yang digunakan. Selanjutnya diperlukan juga pengembangan metode berupa penggunaan bahan penghilang korosi, inhibitor korosi, ataupun bahan pelapis yang lebih efektif dan lebih aman bagi pekerja dan lingkungan. Penggunaan bahan tradisional dapat dipertimbangkan sebagai alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Saad, Z.M. (2013). *Course Outline Preventive Conservation*. Diambil kembali dari <http://faculty.yu.edu.jo/zalsaad/Lists/Taught Courses/DispForm.aspx?ID=32>.
- Atikah. (2017). "Efektivitas Bentonit sebagai Adsorben pada Proses Peningkatan Kadar Bioetanol". *Distilasi*, 2: 23—32.
- Atikah. (2019). "Pengaruh Waktu dan Berat Adsorben Bentonit pada Proses Dehidrasi Bioetanol". *Jurnal Redoks*, Vol. 4 No. 2: 25—31.
- Chemdraw. (2021). *Chemdraw*. Diambil kembali dari <https://chemdrawdirect.perkinelmer.cloud/js/sample/index.html#>.
- Chiantore, O., dan Lazzari, M. (1996). "Characterization of Acrylic Resins". *International Journal Polymer Analysis and Characterization*, 2: 395—408. doi:10.1080/10236669608033358.
- Cronyn, J.M. (1995). *The Elements of Archaeological Conservation*. London: Routledge.
- Dargahi, M., Olsson, A.L., Tufenkji, N., dan Gaudreault, R. (2015). "Green Technology: Tannin-Based Corrosion Inhibitor for Protection of Mild Steel". *Corrosion*, 1321—1331. doi:DOI: 10.5006/1777.
- Davis, J. (2000). *Corrosion: Understanding the Basics*. United States: ASM International.
- Davis, J.R., dan Committee, A.I. (2001). *Copper and Copper Alloys*. United States: ASM International.
- Department of The Interior Museum Property Handbook. (2007). *In Museum Property Handbook*. U.S. Department of the Interior.
- Engineering ToolBox. (2004). *Water Vapor and Saturation Pressure in Humid Air*. Diambil kembali dari https://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html.
- Finsgard, M., dan Milosev, I. (2010). "Inhibition of Copper Corrosion by 1,2,3-benzotriazole: A Review". *Corrosion Science*, 2737—2749. doi:10.1016/j.corsci.2010.05.002.
- Fowler, S., Roush, R., dan Wise, J. (2013). *Concepts of Biology*. XanEdu Publishing Inc;

1st edition (April 25, 2013).

- Fowler, S., Roush, R., dan Wise, J. (2013). *Concepts of Biology* (1st edition ed.). XanEdu Publishing Inc.
- Fuente, D.d., Simancas, J., dan Morcillo, M. (2008). "Morphological Study of 16-Year Patinas Formed on Copper in a Wide Range of Atmospheric Exposures". *Corrosion Science*, 268—285.
- Grzywacz, C.M. (2006). *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environment*. Los Angeles: Getty Publications.
- Gunashekar, S., dan Abu-Zahra, N. (2014). "Characterization of Functionalized Polyurethane Foam for Lead Ion Removal from Water (H.W. Ade, Ed.)". *International Journal of Polymer Science*, Vol. 2014: 1—7.
- Hatchfield, P. (2002). *Pollutants in The Museum Environment: Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage*. London: Archetype Publications.
- Heekeren, H.R.v. (1958). *The Bronze-Iron Age of Indonesia*. S-Gravenhage: Martinus Nijhoff.
- Howe, P., dan Watts, P. (2005). *Tin and Inorganic Tin Compounds*. Philippines: World Health Organization.
- Hu, H., dan Xu, K. (2020). "Chapter 8 Physicochemical Technologies for HRP and Risk Control". *High-Risk Pollutants in Wastewater*, 169—207.
- Kaden, D.A., Mandin, C., Nielsen, G.D., dan Wolkoff, P. (2010). "Formaldehyde". Dalam W.H. Organization, *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. Geneva.
- Karmee, S.K. (2018). "A Spent Coffee Grounds Based Biorefinery for the Production of Biofuels, Biopolymers, Antioxidants and Biocomposites". *Waste Management*, 72: 240—254.
- Kear, G., Barker, B.D., dan Walsh, F.C. (2004, January). "Electrochemical Corrosion of Unalloyed Copper in Chloride Media—a Critical Review. *Corrosion Science*, 46(1), 109—135.
- Kuntzleman, T.S., Cullen, D.M., Milam, S., dan Ragan, D. (2020). "Rapid Formation of

Copper Patinas: A Simple Chemical Demonstration of Why the Statue of Liberty Is Green". *ACS Publications*, 97: 2244—2248. Diambil kembali dari <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00417>.

Lembar Data Keselamatan Bahan Asam Tanat. (2021, Maret 21). *merckmillipore.com*. Diambil kembali dari SAFC: https://www.merckmillipore.com/ID/id/product/msds/MDA_CHEM-100773?Origin=PDP.

Lembar Data Keselamatan Bahan Benzotriazole. (2021, Januari 25). *merckmillipore.com*. Diambil kembali dari Sigma-Aldrich: https://www.merckmillipore.com/ID/id/product/msds/MDA_CHEM-822315?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

Lembaran Data Keselamatan Bahan. (2021, Maret 27). *merckmillipore.com*. Diambil kembali dari Supelco: https://www.merckmillipore.com/Web-CH-Site/fr_FR/-/CHF/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-109081&DocumentType=MSD&DocumentId=109081_SDS_ID

Liang, Z., Jiang, K., dan Zhang, T.-a. (2021). "Corrosion Behaviour of Lead Bronze from Western Zhou Dynasty in an Archaeological-Soil Medium". *Corrosion Science*, Vol. 191.

Marmur, A. (2008). "From Hygrophilic to Superhydrophobic: Theoretical Conditions for Making High-Contact-Angle Surfaces from Low-Contact-Angle Materials". *Langmuir*, 24 (14): 7573—7579. Diambil kembali dari <https://remote-lib.ui.ac.id:2075/10.1021/la800304r>.

Michels, H. (2006). *Copper and the Skin*. CRC Press.

Mohamed, W.A., dan Mohamed, N.M. (2017). "Testing Coatings for Enameled Metal Artifacts". *International Journal of Conservation Sciences*, Vol. 8, Issue 1: 15—24.

Newton, C., dan Cook, C. (2018). *Caring for Archaeological Collections*. Dipetik Agustus 19, 2021, dari Government of Canada, Canadian Conservation Institute: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/archaeological-collections.html>.

Ntelia, E., dan Karapanagiotis, I. (2020). "Superhydrophobic Paraloid B72". *Progress in Organic Coatings*, 139. Diambil kembali dari <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105224>.

Oudbashi, O. (2015). "Multianalytical Study of Corrosion Layers in Some Archaeological

Copper Alloy Artefacts". *Surface and Interface Analysis*, Vol. 47 Issue 13: 1133—1147.

Pellizzi, E., Lattuat-Derieux, A., Lavédrine, B., dan Cheradame, H. (2014). "Degradation of Polyurethane Ester Foam Artifacts: Chemical Properties, Mechanical Properties and Comparison between Accelerated and Natural Degradation". *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 107: 255—261.

Petterson, R.C. (1984). *The Chemical Composition of Wood*. Washington, D.C.: American Chemical Society.

Pubchem. (2021). *Pubchem Compound Summary for CID 1140, Toluene*. Diambil kembali dari <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Toluene>.

Rahim, A.A. (2008). "Recent Development of Vegetal Tannins in Corrosion Protection of Iron and Steel". *Materials Science*, Vol. 1 (3): 223—231.

Rahim, A.A., Kassim, M.J., dan Steinmetz, J. (2011). "Mangrove (*Rhizophora apiculata*) Tannins: an Eco- friendly Rust Converter". *Corrosion Engineering, Science and Technology*. doi:10.1179/174327809X457003.

Scott, D.A. (2002). *Copper and Bronze in Art: Corrosion, Colorants, and Conservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.

SDS Ethanol 96%. (2020, 10 30). *Merck*. Diambil kembali dari Merck Millipore: https://www.merckmillipore.com/ID/id/product/msds/MDA_CHEM-159010?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

SDS Sesqui Sodium Sesquicarbonate. (2015, Maret 30). *BOREMCO.com*. Diambil kembali dari TRONOX: <https://www.boremco.com/SDS/Sodium-Sesquicarbonate.pdf>.

SDS Teepol. (2021, Maret 8). *teepol.co.uk*. Diambil kembali dari Teepol: <http://teepol.co.uk/msds/teepol-multi-purpose-detergent-0001-0002-0003-0029-0032-0554.pdf>.

SDS Tribasic Copper Chloride. (2020). Diambil kembali dari <https://palsusa.com/wp-content/uploads/sites/6/2020/07/TRIBASIC-COPPER-CHLORIDE.pdf>.

Shaerkey, J.B., dan Lewin, S.Z. (1971). "Conditions Governing the Formation of Atacamite and Paratacamite". *American Mineralogist*, 56: 179—192.

Skoda, D., Pucalikova, R., Kurtika, I., dan Kroflova, K. (2018). "Paraloid B72

Nanodispersion Preparation Technology and Its Possibilities for Use in the Monument Care". *The Civil Engineering Journal*, Vol. 3: 394—400. doi:10.14311/CEJ.2018.03.0031.

Smith, J.G. (2011). *Organic Chemistry*. New York: McGraw-Hill Publishing Company.

Tétreault, J. (2003). "Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives". *Canadian Conservation Institute*.

The Getty Conservation Institute. (1996). *Pollutants in the Museum Environment*. Diambil kembali dari The Getty: http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/11_1/gcinews8_1.html.

Thomson, G. (1977). "Stabilization of RH in Exhibition Cases: Hygrometric Half-time". *Studies in Conservation*, 22: 85—102.

Vincotte, A., Beauvolt, E., Boyard, N., dan Gulminot, E. (2019). "Effect of Solvent on PARALOID® B72 and B44 Acrylic Resins Used as Adhesives in Conservation." *Heritage Science*.

Weintraub, S. (2002). "Demystifying Silica Gel". *Objects Specialty Group Postprints*, Vol. 9: 169—194.

Western Australia Museum's Department of Materials Conservation. (2017). *Light*. Diambil kembali dari <https://manual.museum.wa.gov.au/>: <https://manual.museum.wa.gov.au/conservation-and-care-collections-2017/preventive-conservation-agents-decay/light>

Yulita, I. (2021). Pengendalian Iklim Pasif di Museum Sebagai Antisipasi Perubahan Iklim. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 6: 29-35.



SEKILAS

Museum Nasional



Salah seorang pendiri lembaga *Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen (BG)*, JCM Radermacher, menyumbangkan sebuah rumah miliknya di jalan Kalibesar, yang pada masa itu merupakan kawasan perdagangan penting di Batavia. Ia pun menyumbangkan koleksinya berupa benda-benda budaya dan buku-buku. Sumbangan Radermacher inilah yang menjadi cikal-bakal berdirinya museum dan perpustakaan.



SEKILAS

MUSEUM NASIONAL

www.museumnasional.or.id

Menjelang akhir abad ke-18, di Eropa tengah terjadi revolusi intelektual (*the age of enlightenment*) di mana pemikiran-pemikiran ilmiah dan ilmu pengetahuan mulai berkembang. Pada tahun 1752 di Harlem, perkumpulan ilmiah Belanda bernama *De Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen* berdiri. Hal ini mendorong pemerintah Belanda di Batavia mendirikan organisasi yang sejenis bernama *Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen* (BG) pada 24 April 1778. Lembaga ini bersifat independen dengan tujuan memajukan penelitian dalam bidang seni dan ilmu pengetahuan khususnya biologi, fisika, arkeologi, kesusastraan, etnologi dan sejarah. Selain itu, BG juga menerbitkan hasil-hasil penelitian. Semboyannya adalah "*Ten Nutte van het Algemeen*" yang berarti untuk kepentingan masyarakat umum. Salah seorang pendiri lembaga ini, JCM Radermacher, menyumbangkan sebuah rumah miliknya di jalan Kalibesar, yang pada

masa itu merupakan kawasan perdagangan penting di Batavia. Ia pun menyumbangkan koleksinya berupa benda-benda budaya dan buku-buku. Sumbangan Radermacher inilah yang menjadi cikal-bakal berdirinya museum dan perpustakaan.

Selama masa pemerintahan Inggris di Jawa (1811-1816), Letnan Gubernur Sir Thomas Stamford Raffles memerintahkan pembangunan gedung baru untuk digunakan sebagai museum dan ruang pertemuan untuk *Literary Society* (dulu disebut gedung "*Societeit de Harmonie*"). Alasan pembangunan gedung baru ini tak lain karena rumah di jalan Kalibesar sudah penuh dengan berbagai koleksi. Bangunan ini berlokasi di jalan Majapahit nomor 3. Sekarang di tempat ini berdiri kompleks gedung Sekretariat Negara, di dekat Istana Kepresidenan.

Jumlah koleksi benda budaya terus meningkat, hingga pada akhirnya museum di jalan Majapahit tidak dapat lagi menampung koleksinya. Pada tahun 1862, pemerintah Hindia Belanda memutuskan



untuk membangun sebuah gedung museum baru di lokasi yang sekarang, yaitu Jalan Medan Merdeka Barat No. 12 (dahulu disebut *Koningsplein West*). Gedung museum ini baru dibuka untuk umum pada tahun 1868. Museum ini juga dikenal di kalangan masyarakat Indonesia, khususnya penduduk Jakarta. Mereka menyebutnya "*Gedung Gajah*" atau "*Museum Gajah*" karena di halaman depan museum terdapat sebuah patung gajah perunggu hadiah dari Raja Chulalongkorn (Rama V) dari Thailand yang pernah berkunjung ke museum pada tahun 1871.

Pada tahun 1923 perkumpulan ini memperoleh gelar "*Koninklijk*" karena jasanya dalam bidang ilmiah dan proyek pemerintah sehingga lengkapnya menjadi *Koninklijk Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen*. Pada tanggal 26 Januari 1950, *Koninklijk Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen* diubah namanya menjadi *Lembaga Kebudayaan Indonesia* dengan semboyan: "*memajukan ilmu-ilmu kebudayaan yang berfaedah untuk*

meningkatkan pengetahuan tentang kepulauan Indonesia dan negeri-negeri sekitarnya". Mengingat pentingnya museum ini bagi bangsa Indonesia maka pada tanggal 17 September 1962 Lembaga Kebudayaan Indonesia menyerahkan pengelolaan museum kepada pemerintah Indonesia, yang kemudian menjadi Museum Pusat. Akhirnya, berdasarkan Surat Keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan, No.092/ 0/1979 tertanggal 28 Mei 1979, Museum Pusat ditingkatkan statusnya menjadi Museum Nasional.

Dalam menjalankan fungsi museum sebagai lembaga yang melindungi, mengembangkan, memanfaatkan koleksi, dan mengomunikasikannya kepada masyarakat, Museum Nasional.

Hingga saat ini Museum Nasional mengelola lebih dari 190.000 benda-benda bernilai sejarah yang terdiri dari 7 jenis koleksi Prasejarah, Arkeologi masa Klasik atau Hindu – Budha; Numismatik dan Heraldik; Keramik; Etnografi, Geografi dan Sejarah.



GLOSARIUM

A

adsorbat

zat yang terjerap atau melekat karena suatu proses pada permukaan zat lain adsorben: zat yang sifatnya dapat menyerap zat lain sehingga menempel pada permukaannya tanpa reaksi kimia

aerosol

sistem tersebarnya partikel halus zat padat atau cairan dalam gas atau udara, misalnya asap dan kabut

agen deteriorasi koleksi

lihat agen penyebab kerusakan koleksi

agen penyebab kerusakan koleksi

merupakan faktor faktor yang menyebabkan penurunan mutu pada koleksi, yaitu: (1) gaya fisik, (2) pencurian/vandalisme, (3) api, (4) air, (5) hama, (6) polutan, (7) cahaya ultra violet dan infra merah, (8) temperatur yang tidak sesuai, (9) kelembapan relatif yang tidak sesuai dan (10) disosiasi/kelalaian pekerja

anion

unsur atau senyawa dengan muatan negatif

antropogenik

bersifat buatan manusia

arca

artefak yang dibentuk menyerupai manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan, atau bentuk lain yang dibuat secara tiga dimensi untuk keperluan keagamaan seperti memuja tuhan atau dewa-dewinya

arkeometalurgi

studi tentang penggunaan dan produksi logam di masa lalu oleh manusia, merupakan sub-disiplin ilmu arkeologi dan arkeologi

artefak

sebuah benda yang diubah/dibuat oleh manusia dari bahan-bahan alam

asam

unsur atau senyawa dengan derajat keasaman (pH) di bawah 7

~ *urat*: $C_5H_4N_4O_3$, asam berwarna putih, tidak berbau, dan hampir tidak berasa yang merupakan limbah nitrogen utama yang ada dalam urin terutama burung, reptil, dan serangga. Terdapat dalam jumlah kecil di urin manusia dan merupakan penyebab penyakit asam urat tofi

azurit

mineral tembaga karbonat hidroksida dengan komposisi kimia $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$, terkenal karena karakteristiknya yang berwarna biru tua hingga biru-ungu cerah

B

basa

unsur atau senyawa dengan derajat keasaman (pH) di atas 7

bentonit

sejenis tanah liat yang memiliki kemampuan sebagai desikan (pengendali kelembapan)

benzotriazola

$C_6H_5N_3$, senyawa yang tersusun atas cincin benzena dan triazol

C

cahaya

sinar atau terang dari sesuatu yang bersinar seperti matahari, bulan dan lampu yang memungkinkan mata menangkap bayangan benda-benda sekitarnya

~ *tampak*: daerah spektrum elektromagnetik dengan panjang gelombang 400-760 nm; cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia

cire perdue

atau *lost-wax* adalah teknik yang dipakai untuk membuat seni pahat dari logam dengan cara mengecor model yang terbuat dari lilin. Model ini kemudian akan “hilang” akibat panas selama proses pengecoran

D

data logger

Sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen, digunakan untuk merekam data (data logging)

daktilitas

kemampuan material mengembangkan regangannya dari keadaan plastis sehingga akhirnya putus

deformasi

perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena diterapkan gaya eksternal

deformasi plastis

deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada benda secara permanen, walaupun beban yang berkerja diabaikan

dekomposisi termal

atau termolisis, adalah suatu dekomposisi kimiawi yang disebabkan oleh panas

desikan

pengendali kelembapan; bahan atau zat yang dapat menyerap atau melepas uap air

destruktif

bersifat merusak, memusnahkan, atau menghancurkan

deteriorasi

kemunduran; penurunan mutu, dan sebagainya

difusi

percampuran gas atau zat cair di luar daya mekanik

dispersi

pergerakan untuk perpindahan individual, terutama untuk mendiami lingkungan baru

dorsal

berkenaan dengan punggung

E

ekskavasi

penggalan yang dilakukan di tempat yang mengandung benda purbakala

elektrokimia

cabang ilmu kimia tentang proses terjadinya perubahan energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya, serta penggunaannya

elektrolit

senyawa yang larutannya merupakan penghantar arus listrik

evaporasi

proses perubahan molekul zat cair menjadi gas atau uap air; penguapan

F

feromon

zat kimia yang menghasilkan bau yang menarik hewan tertentu; wewangian yang dihasilkan hewan untuk berkomunikasi atau menarik pasangan

fiksatif

zat yang digunakan untuk menyamakan tekanan uap dan volatilitas bahan baku dalam minyak parfum untuk meningkatkan ketahanannya

fluktuasi

ketidaktetapan; kegoncangan; perubahan turun-naik

fluoresens sinar-X

fenomena emisi sinar-X karakteristik “sekunder” (atau fluoresen) dari bahan yang telah mengalami proses eksitasi dengan ditembak oleh sinar-X atau sinar gamma berenergi tinggi

formaldehida

gas berbau menyengat yang digunakan dalam pembuatan bahan celup, plastik, serta resin tiruan

fotokimia

cabang ilmu kimia tentang hubungan senyawa kimia dengan cahaya

G

galena

Mineral alam sumber timbal dalam bentuk sulfida dengan senyawa kimia PbS

gel silika

silika berbentuk kristal yang memiliki kemampuan sebagai desikan (pengendali kelembapan)

~ *biru*: gel silika yang memiliki indikator warna biru, akan berubah warna menjadi merah muda saat telah jenuh dan dapat digunakan kembali setelah dikeringkan

gempil

cuil sedikit pada bagian pinggir atau tepinya

geripis

cuil-cuil sedikit pada pinggirnya

gompal

rompes; sompek; rusak pada bagian pinggir

gradual

berangsur-angsur; sedikit demi sedikit

gugus

kumpulan unsur kimia yang reaktif pada bagian tertentu senyawa

H

hama

hewan yang menyebabkan kerusakan atau mengganggu aktivitas manusia

hidran

alat pemadam kebakaran yang dipasang permanen, dilengkapi selang untuk mengalirkan air yang bertekanan tinggi secara terus-menerus

hidroksil

radikal valensi satu OH, yang pada penggabungan dengan radikal lain membentuk hidroksida

hidroksilasi

proses memasukkan gugus hidroksil ke dalam senyawa kimia

higroskopis

mudah menghisap dan melepaskan uap air

indeks kualitas udara

Air Quality Index (AQI); indeks yang menunjukkan tingkat polusi udara di suatu daerah dan dampaknya terhadap kesehatan

inhibitor

zat yang berfungsi menghambat atau menghentikan reaksi

interaksi

saling mempengaruhi

insinerator

alat pengolah sampah yang melibatkan pembakaran bahan organik

inskripsi

tulisan, pahatan, atau guratan huruf-huruf yang mengandung pesan pada permukaan benda atau bangunan

intermetalik

paduan fasa padat yang terbentuk dari dua atau lebih logam yang mempunyai struktur berbeda dengan penyusunnya, mempunyai susunan struktur kristal yang teratur dan Panjang di bawah temperatur kritis

ion

partikel (atom atau molekul) yang bermuatan listrik, yang dihasilkan

ionik

interaksi pada senyawa dengan gaya elektrostatis tinggi sehingga bermuatan

iklim

keadaan hawa atau kondisi cuaca seperti temperatur, kelembapan, curah hujan, dan sejenisnya dalam jangka waktu yang agak lama di suatu daerah

~ *mikro*: iklim dalam jangka waktu yang relatif singkat pada suatu lingkungan yang relatif lebih kecil atau sempit

K

kalsinasi

pemanasan hingga mencapai suhu yang tinggi dalam atmosfer udara/ oksigen atau gas tertentu

kapilaritas

peristiwa naik atau turunnya zat cair pada bahan yang terdiri atas beberapa pembuluh halus akibat gaya adhesi atau kohesi

karsinogen

senyawa yang dapat berpotensi menyebabkan kanker jaringan hidup

kasiterit

bijih timah dalam bentuk timah oksida (SnO_2)

kation

unsur atau senyawa yang bermuatan positif

kelembapan

keadaan yang lembap (mengandung air)

~ *relatif*: rasio atau perbandingan jumlah uap air yang benar-benar ada di udara dengan jumlah maksimum yang mungkin ada pada temperatur yang sama

~ *relatif kritikal*: nilai kelembapan relatif di sekitar objek (pada temperatur tertentu) yang menjadi titik awal objek tersebut mulai menyerap kelembapan dari udara di sekitar objek

koleksi

Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, dan/atau Struktur Cagar Budaya dan/atau Bukan Cagar Budaya yang merupakan bukti material hasil budaya dan/atau material alam dan lingkungannya yang mempunyai nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, kebudayaan, teknologi, dan/atau pariwisata (PP No. 66 Tahun 2015 tentang Museum)

kondensasi

perubahan uap air atau benda gas menjadi benda cair pada suhu udara di bawah titik embun

konsentrasi

jumlah kandungan bahan kimia dalam suatu objek

konservasi

pemeliharaan dan perlindungan sesuatu secara teratur untuk mencegah kerusakan dan kemusnahan dengan jalan mengawetkan; pelestarian

korosi

proses, perubahan, atau perusakan yang disebabkan oleh reaksi kimia terhadap suatu objek khususnya logam

~ *aktif*: korosi yang terjadi secara terus menerus atau kontinu dan menyebabkan terjadi pengurangan berat dari logam; dalam larutan, akan terbentuk sejumlah produk korosi yang terlarut

~ *pasif*: lihat patina

kovalen

interaksi pada senyawa yang melibatkan persebaran elektron merata

L

larutan

zat cair campuran zat pelarut dan zat terlarut

~ *padat*: larutan yang terdiri dari dua atau lebih unsur logam yang larut seutuhnya dalam keadaan cair dan atau dalam keadaan padat. Dengan kata lain, bila campuran homogen dari dua atau lebih jenis atom logam terjadi dalam keadaan padat, keadaan ini disebut sebagai larutan padat

light meter

alat pengukur intensitas cahaya tampak dengan satuan lux (lx)

M

makroskopis

dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa bantuan mikroskop

malasit

atau birudi pandan adalah mineral karbonat hidroksida tembaga, dengan rumus kimia $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ dan berwarna hijau

materi partikulat

particulate matter (PM); polutan berupa zat padat berukuran kecil

metalurgi

salah satu bidang ilmu dan teknik bahan yang mempelajari tentang perilaku fisika dan kimia dari unsur-unsur logam, senyawa-senyawa antarlogam, dan paduan-paduan logam

mikroorganisme

makhluk hidup sederhana yang terbentuk dari satu atau beberapa sel yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop

mikroskop

alat untuk melihat benda berukuran kecil atau mikroskopis yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang
~ *digital*: mikroskop yang dilengkapi dengan teknologi komputer

mikroskopis

sifat ukuran yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang sehingga diperlukan

mikroskop untuk dapat melihat dengan jelas

mineral

benda padat homogen yang memiliki bentuk teratur dan terbentuk secara ilmiah

minor

kecil; tambahan

morfologi

struktur luar dari batu-batuan dalam hubungan dengan perkembangan ciri topografis

municipal solid waste

jenis sampah umum yang mencakup sampah rumah tangga, sampah badan komersil, dan sampah di area-area umum

O

objek pemajuan kebudayaan

tradisi lisan, manuskrip, adat istiadat, ritus, pengetahuan tradisional, teknologi tradisional, seni, bahasa, permainan rakyat dan olahraga tradisional (Pasal 5 UU No. 5 Tahun 2017 tentang Pemajuan Kebudayaan)

oksida

senyawa oksigen yang bersifat biner, umumnya dengan logam (seperti Na_2O) atau bukan logam (seperti

NO_2)

oksidasi

penggabungan suatu zat dengan oksigen; pelepasan elektron dari suatu partikel (molekul); proses yang dapat meningkatkan bilangan oksidasi

orpimen

mineral arsenik sulfida berwarna oranye-kuning dengan formula As_2S_3 ditemukan di fumarol vulkanik dan mata air panas terbentuk oleh sublimasi dan sebagai produk sampingan dari dekomposisi mineral arsenik lain, realgar

P

pantone

sistem pewarnaan yang memungkinkan pilihan warna dan reproduksi yang konsisten dan akurat di seluruh dunia

paraloid B-72

resin termoplastik yang digunakan sebagai pelapis permukaan untuk melindungi suatu objek

palstave

sejenis kapak perunggu kuno berasal dari Zaman Perunggu tengah banyak ditemukan Eropa utara, barat dan

barat daya

partikel

unsur butir (dasar) benda atau bagian benda yang sangat kecil dan berdimensi; materi yang sangat kecil, seperti butir pasir, elektron, atom, atau molekul; zarah

~ *terbawa udara*: partikel berukuran kecil yang dapat terbawa udara

patina

korosi pasif; lapisan hijau pada tembaga atau perunggu yang merupakan suatu oksida dan karbonat dari unsur tembaga

pelarut

zat yang memiliki kepolaran yang sama dengan zat terlarut; zat yang melarutkan

pengecoran

proses peleburan bahan atau material pada suatu tungku hingga meleleh, yang kemudian di tuang ke dalam cetakan berongga sesuai dengan pola atau bentuk yang dikehendaki, lalu didinginkan hingga dingin dan dipisahkan dari cetakannya untuk mendapatkan produk akhir

pengerjaan dingin

(Bahasa inggris, *cold working*) merupakan pembentukan plastis logam di bawah suhu rekristalisasi pada umumnya dilakukan disuhu kamar tanpa pemanasan benda kerja

perunggu

logam paduan tembaga dengan unsur lain seperti timah dan seng

polimer

gabungan dari monomer-monomer unsur atau senyawa

polutan

bahan yang mengakibatkan polusi atau pencemaran

pori

lubang atau rongga kecil-kecil pada benda padat

portabel

mudah dibawa-bawa

prasasti

tulisan atau piagam yang tertulis pada batu, tembaga, dan sebagainya

presipitasi

proses pengendapan, baik dari dalam larutan maupun dari udara permukaan ke permukaan bumi

R

realgar

juga dikenal sebagai “rubi belerang” atau “rubi dari arsenik”, adalah mineral sulfida arsenik dengan rumus kimia $\alpha\text{-As}_4\text{S}_4$

reduksi

proses yang dapat menurunkan bilangan oksidasi

resin

zat padat tak berbentuk yang digunakan sebagai pelapis

resistan

sebuah sikap yang mampu mengurangi, menahan, ataupun mengatasi

S

segel silinder

silinder bundar kecil, panjangnya biasanya sekitar satu inci atau 2-3 cm, diukir dengan karakter tertulis atau adegan figuratif atau keduanya, yang digunakan pada zaman kuno untuk mencap permukaan datar dua dimesi, biasanya pada tanah liat basah

semikonduktor

materi yang mempunyai daya hantar listrik antara konduktor (menghantarkan daya hantar listrik) dan isolator (menghambat daya hantar listrik)

senyawa

zat murni dan homogen yang terdiri atas dua unsur atau lebih yang berbeda dengan perbandingan tertentu; biasanya memiliki sifat yang berbeda dari sifat unsur-unsurnya

~ organik volatil: *Volatile Organic Compound* (VOC); bahan kimia organik yang memiliki tekanan uap tinggi pada suhu kamar dan mudah menguap

~ organik volatil total: *Total Volatile Organic Compound* (TVOC); jumlah keseluruhan senyawa organik volatil yang ada pada suatu area

smithsonite

atau zinc spar, adalah bijih mineral seng karbonat (ZnCO_3), suatu bijih mineral alam seng

sistem tata udara

Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC); sistem yang mengatur lingkungan menggunakan pengendalian temperatur, kelembapan relatif, arah pergerakan udara, dan kualitas udara

spektrofotometri fluoresens sinar-X:

x-ray fluorescence (XRF) *spectrophotometry*; instrumen untuk menganalisis kandungan unsur pada suatu objek dengan memanfaatkan fenomena fluoresens sinar-X (XRF)

superkonduktor

suatu material yang tidak memiliki hambatan daya hantar listrik di bawah suatu nilai suhu tertentu

stabil

tidak berubah-ubah

stabilisasi

usaha atau upaya membuat stabil

T

tanin

senyawa bahan alam dari sistem pembuluh tanaman

tembaga pribumi

bijih tembaga dengan komposisi tunggal tembaga dalam kemurnian cukup tinggi yang ditemukan sebagai mineral alam

temperatur

suhu; panas dinginnya suatu objek

termohigrometer

alat untuk mengukur temperatur (°C) dan kelembapan relatif (%) udara baik di dalam maupun luar ruangan

titik leleh/lebur

suhu saat suatu zat padat meleleh/melebur

TVOC

lihat senyawa organik volatil total

U**udara ambien**

udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya

ultraviolet

daerah spektrum elektromagnet yang terbentuk sekitar panjang gelombang 10–380 nm

unsur

bagian terkecil dari suatu benda

UV meter

ultraviolet meter; alat pengukur intensitas cahaya ultraviolet dengan satuan nanometer (nm)

V**vandalisme**

perbuatan merusak dan menghancurkan hasil karya seni dan barang berharga lain

vitrin

lemari kaca untuk memajang objek atau koleksi seni

volatil

mudah menguap

ULASAN BUKU

KONSERVASI KOLEKSI PERUNGGU MUSEUM NASIONAL



Prof. Dr. Eddy Herald, M.Si
Anggota Himpunan Kimia
Indonesia

Buku bertajuk ‘Konservasi Koleksi Perunggu Museum Nasional’ yang telah diterbitkan oleh Museum Nasional Indonesia ini patut diapresiasi, apalagi buku ini dimaksudkan untuk menjadi

panduan bagi para pelestari koleksi museum. Dengan terbitnya buku ini, bagi Museum Nasional merupakan sumbangsih dan perwujudan dari salah fungsi keberadaan Museum Nasional, yaitu berbagi pengetahuan dan pengalaman khususnya dalam melakukan konservasi koleksi perunggu. Oleh karena itu, buku ini menjelaskan pula mengenai pengetahuan tentang ilmu material perunggu, prinsip konservasi dan pengalaman melakukan konservasi koleksi-koleksi perunggu yang ada di Museum Nasional selama ini, baik koleksi perunggu yang berada pada ruang simpan, ruang pamer tertutup dan ruang pamer terbuka.

Upaya Museum Nasional untuk merawat dan menjaga koleksi museum agar tetap lestari dan menarik, terutama pada koleksi logam perunggu adalah keniscayaan. Mengapa? Karena, logam perunggu adalah jenis logam yang sangat mudah berinteraksi dengan lingkungannya, khususnya bila kontak langsung dengan udara yang kelembabannya tinggi serta bereaksi dengan senyawa belerang, karbon, klor dan senyawa kimia lainnya. Lingkungan di sekitar area penyimpanan dan pameran merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam timbulnya korosi pada

perunggu. Jika lingkungan mendukung keberadaan senyawa kimia polutan, keberadaan klor yang relatif konstan pada lapisan korosi dapat menyebabkan 'penyakit perunggu (*bronze disease*)'.

Dengan memahami bahwa proses yang mengarah pada kerusakan adalah elemen mendasar dari konsep konservasi, adanya fenomena korosi dan penyakit perunggu pada artefak dapat menyebabkan kerusakan permanen yang gilirannya akan berakibat pada hilangnya nilai-nilai sejarah, artistik, sosial dan ilmiah dari benda-benda bersejarah yang terbuat dari logam perunggu ini. Oleh karena itu, kebutuhan akan konservasi karya seni perunggu membutuhkan perhatian dan pemahaman semua pihak dalam menjaga kelestariannya. Meskipun sulit, usaha memperlambat korosi secara alami melalui konservasi logam harus terus menerus dilakukan. Begitu pula dengan pemahaman akan sifat bahan penyusun logam perunggu dan produk yang dihasilkan harus terus menerus diedukasi oleh otoritas dalam bidang konservasi.

Sifat dan karakter penyusun logam perunggu serta kestabilannya hendaknya juga merupakan salah satu fokus dalam menjaga kelestarian artefak peninggalan budaya nenek moyang kita ini. Untuk itu, kiranya tepat sekali jika Museum Nasional yang telah berpengalaman dalam konservasi logam perunggu dengan jenis koleksi logam perunggu dalam berbagai bentuk dan berjumlah ribuan menerbitkan buku ini agar pekerja konservasi dan pemerhati koleksi perunggu lainnya dapat belajar dan memahami bagaimana melakukan konservasi logam perunggu.

Buku ini juga memberikan informasi yang memadai tentang proses korosi

pada logam perunggu, yang dimulai dari mekanisme terbentuknya korosi pada perunggu dilengkapi dengan reaksi kimia dan gambarnya sampai merangkum senyawa produk korosi yang biasa ditemukan pada permukaan objek artefak.

Strategi konservasi logam perunggu berdasarkan beberapa penelitian selama lebih dari satu dekade telah diungkapkan dalam buku ini. Strategi konservasi yang telah ditemukan dan diaplikasikan ini disesuaikan dengan komposisi kimia, struktur, situs arkeologi, dan mekanisme degradasinya. Di samping itu, beberapa metode konservasi telah dijelaskan pula dalam buku ini. Salah satu metode konservasi yang sering diterapkan pada perunggu kuno adalah menggunakan senyawa penghambat korosi, yakni '*benzotriazole* (BTA)' yang beracun dan karsinogenik. Sayangnya, pemakaian BTA tidak selalu terbukti efektif untuk menghambat korosi.

Dengan demikian, hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan konservasi koleksi logam perunggu pada Museum Nasional adalah penggunaan bahan yang tidak berbahaya, handal, dan tahan lama yang sesuai dengan karya seni perunggu itu sendiri. Jika bahan yang digunakan adalah beracun, misalnya, perlu diganti dengan yang lebih ramah lingkungan (*green*) untuk keselamatan pekerja dan lingkungan yang menjaga warisan budaya yang maha tinggi ini.

Melihat kondisi yang demikian, Museum Nasional telah menjelaskan dalam buku ini beberapa usaha untuk menggantikan BTA dengan inhibitor korosi hijau dan organik yang ramah lingkungan meskipun masih banyak kendala dalam preparasi, hasil sintesis yang belum memuaskan serta aplikasinya yang membutuhkan persyaratan yang



khusus sehingga kemungkinan biayanya untuk mengganti BTA menjadi lebih besar. Meskipun demikian, pertimbangan dalam pemilihan metode konservasi alternatif yang lebih ramah lingkungan perlu tetap terus diupayakan semaksimal mungkin dengan melakukan riset dan kolaborasi yang dapat bekerjasama dengan institusi terkait lainnya demi terciptanya pembangunan yang berkelanjutan di berbagai sektor dan bidang.

Secara keseluruhan, tampilan dan cover buku sudah cukup baik. Hanya saja, dalam beberapa halaman yang ada, masih diperlu ditingkatkan lagi kualitas gambarnya, melengkapi sitasi yang belum dituliskan dan memperbaiki beberapa kata yang typo.

Sebagai bagian akhir ulasan buku ini, penting kiranya Museum Nasional melakukan tindak nyata dengan upaya-upaya preventif dalam rangka mencegah reaksi kimia lebih lanjut yang mungkin terjadi akibat faktor-faktor lingkungan di areal penyimpanan benda-benda bersejarah yang mengandung nilai seni tinggi ini. Tanggung jawab konservasi adalah tanggung jawab bersama. Oleh karena itu, pemahaman tentang siklus konservasi, yaitu: Cegah (avoid); tangkal (block); deteksi (detect); respon (respond); dan perbaikan (recovery) yang tertuang di dalam buku ini menjadi penting dan perlu agar semua orang yang terlibat di dalam urusan Museum di Indonesia memiliki rasa tanggung jawab yang lebih serta rasa memiliki (handarbeni) yang besar terhadap warisan budaya yang luhur ini.

Semoga.....



Dr. rer.nat. Agustino Zulys M.Sc.
Pendiri Rumah Sains Indonesia

Museum nasional sebagai museum tertua, pertama dan terbesar di Asia Tenggara, merupakan salah satu kekayaan bangsa Indonesia yang perlu dilestarikan keberadaannya dan diharapkan meningkat kualitas pengelolaan dan kuantitas koleksinya. Sewaktu di sekolah SD dan SMP saya sering mengunjungi museum nasional yang dikenal dengan museum gajah ini, terkagum-kagum dengan koleksi museum yang ada. Banyak pertanyaan yang timbul dalam benak saya. Bagaimana menjaga seluruh koleksi bernilai ini dari kerusakan secara alami maupun karena andil manusia baik sengaja maupun tidak sengaja.

Melalui buku ini pertanyaan-pertanyaan tersebut terjawab secara lengkap dan komprehensif. Buku yang berjudul 'Konservasi Koleksi Perunggu' menyajikan informasi tentang pentingnya konservasi logam, mengapa ada potensi kerusakan pada koleksi logam, cara-cara dan Teknik pengawetan koleksi logam. Bahkan dijabarkan teknik-teknik yang sangat aplikatif dan mudah dalam melestarikan benda koleksi logam. menyajikan metode identifikasi dan pengawetan yang komprehensif mulai dari metode tradisional maupun metode mutakhir menggunakan alat-alat instrumentasi yang modern seperti X-ray Fluoresence, mikroskop digital.

Bagi Anda pengelola museum, kolektor benda-benda logam, buku setebal 318 halaman ini merupakan jawaban dari permasalahan anda dalam melakukan konservasi benda-benda logam Anda. Panduan lengkap tersajikan dalam buku ini bagi para kolektor yang ingin merawat koleksi-koleksi logamnya, di dalamnya terdapat pengetahuan praktis dan teknis untuk mengidentifikasi, mendeteksi dan menghilangkan pengaruh pengotor atau polutan yang berpotensi merusak benda koleksi logam. Selain itu juga terdapat pengetahuan dalam mencegah kerusakan koleksi logam serta cara penyimpanan yang tepat.

Yang juga mengagumkan dari buku ini adalah penjelasan secara ilmiah dan tajam dalam memaparkan mekanisme kerusakan yang terjadi serta upaya pencegahan kerusakan secara kimia maupun secara fisika. Sebagai seorang kimiawan saya melihat hubungan yang sinergis, bagaimana seni dan keindahan begitu menyatu dengan dunia sains. Sebagai pecinta koleksi museum, baru kali ini saya membaca buku yang sangat unik dan komprehensif tentang 'Konservasi Koleksi Perunggu' terbitan Museum Nasional Indonesia ini.

Saya yakin buku ini menjadi referensi utama para pengelola koleksi logam di daerah maupun para kolektor pribadi dan masyarakat umum lainnya.



Sri Patmiarsi Retnaningtyas M.Hum
Pengurus Ikatan Ahli Arkeologi Indonesia
Komda Jabotabek

Membaca judul buku ini, kesan ilmiah dan teknis langsung hinggap dalam benak. Kesan ini tidak terlepas dari istilah konservasi. Istilah konservasi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia diartikan sebagai pemeliharaan dan perlindungan sesuatu secara teratur untuk mencegah kerusakan dan kemusnahan dengan jalan mengawetkan. Istilah konservasi dipadankan pula dengan pengawetan ataupun pelestarian. Tentu saja pengertian konservasi diuraikan dalam buku ini untuk memberikan pemahaman yang jelas tentang istilah tersebut.

Bagi masyarakat umum, istilah konservasi dianggap sebagai kegiatan ilmiah yang dilakukan terhadap koleksi museum dan harus dilakukan oleh tenaga yang memiliki kompetensi untuk melakukan hal tersebut. Istilah keren untuk tenaga yang melakukan konservasi adalah konservator. Anggapan itu tentu saja banyak benarnya, apalagi jika sudah memasuki hal-hal tentang teknis konservasi. Namun demikian kesan ilmiah tampaknya ingin diminimalisir oleh penyusun buku, terutama pada bagian pendahuluan, sehingga tulisan menjadi enak dibaca dan mudah dipahami oleh pembaca awam sekalipun.

Membahas koleksi museum tentunya tidak terlepas dari aturan yang berlaku. Pemerintah Indonesia telah menaruh perhatian besar terhadap keberadaan museum dan koleksinya dari sisi legalitas dengan menerbitkan Undang-Undang nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya dan Peraturan Pemerintah nomor 66 tahun 2015 tentang Museum. Museum disebutkan sebagai sebuah lembaga yang berfungsi melindungi, mengembangkan, memanfaatkan koleksi dan mengomunikasikannya kepada masyarakat. Sedang koleksi museum merujuk pada Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, dan/atau Struktur Cagar Budaya dan/atau Bukan Cagar Budaya yang merupakan bukti material hasil budaya dan/atau material alam dan lingkungannya yang mempunyai nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, Pendidikan, agama, kebudayaan, teknologi dan/atau pariwisata.

Istilah Konservasi sendiri tidak disebutkan dalam kedua peraturan perundangan-undangan tersebut. Sebagai penggantinya, konservasi diganti dengan istilah pemeliharaan, mengingat prinsip dan metode yang dilakukan adalah sama. Dalam Undang-Undang nomor 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya, pemeliharaan merujuk pada cara merawat Cagar Budaya untuk mencegah dan menanggulangi kerusakan akibat pengaruh alam dan/atau perbuatan manusia. Sebagaimana penjelasan tentang koleksi museum, di dalamnya



tercakup koleksi Cagar Budaya dan Bukan Cagar Budaya. Dengan demikian perlakuan atau tindakan pemeliharaan atau konservasi terhadap semua koleksi museum akan sama, tidak membedakan koleksi tersebut Cagar Budaya atau bukan Cagar Budaya.

Buku ini sangat lengkap dalam membahas hal-hal tentang konservasi dan koleksi berbahan perunggu. Mulai dari informasi yang menjelaskan tentang penyebab kerusakan, sampai pada poses pemeliharaannya, hingga tersimpan dengan kondisi terawat. Bahkan sejarah awal pembuatan perunggu di Indonesia maupun di dunia pun diinformasikan dengan baik dalam buku ini, sehingga pembaca mendapatkan gambaran menyeluruh tentang koleksi perunggu dan konservasinya.

Semoga dengan kehadiran buku Konservasi Koleksi Perunggu ini menambah pengetahuan dan wawasan masyarakat dalam mengapresiasi museum dan koleksinya. Selain itu tentu saja Museum Nasional telah mewujudkan tugasnya dalam melakukan pengkajian, pendidikan dan kesenangan.

Semoga Museum Nasional semakin maju dan menjadi museum terdepan yang selalu memberikan inspirasi dan menjadi jendela pengetahuan bagi masyarakat



Basuki Teguh Yuwono S.Sn., M.Sn.
Ketua Padepokan Keris Brojobuwono,
Karanganyar, Jawa Tengah

Buku ini merupakan buku yang sarat pengetahuan dan informasi segar mengenai konservasi Logam Perunggu. Tampaknya sengaja dibuat untuk menjawab atas langkanya buku yang membahas mengenai konservasi logam perunggu secara komprehensif.

Inti buku ini membahas mengenai prinsip konservasi, agen penyebab kerusakan logam, mekanisme korosi logam perunggu, teknologi konservasi logam, dan arah pengembangan teknologi konservasi logam perunggu. Pembahasan ini menjadi pembeda dari buku-buku yang ada mengenai konservasi logam khususnya perunggu. Buku ini demikian kuat dan fokus memuat hal-hal tersebut yang dikemas dengan contoh-contoh kasus pada artefak perunggu yang menjadi koleksi Museum Nasional. Lebih dalam buku ini memberikan contoh kasus mengenai koleksi yang berada di ruang pameran terbuka dan ruang pameran tertutup, di mana prinsip kasus dan penanganannya yang sangat berbeda. Pembaca juga akan diajak berselancar dalam lautan ragam jenis artefak perunggu yang dimiliki oleh Museum Nasional dengan tata kelola konservasinya. Betapa kayanya koleksi benda-benda arkeologi dari bahan perunggu yang menghantarkan pembaca pada ruang peradaban manusia ribuan tahun silam dari berbagai wilayah Indonesia dan mancanegara.

Isi buku ini juga tidak hanya semata-mata fokus membahas mengenai konservasi perunggu, namun diawali dengan dipaparkannya mengenai sejarah peradaban manusia, khususnya era perunggu sebagai tonggak peradaban manusia, asal muasal perunggu, teknik awal cetak perunggu dan karakteristiknya serta berbagai produknya, merupakan pengetahuan mendasar yang disuguhkan dalam buku ini.

Hal mendasar dan substansial dari konservasi logam yang menjadi inti isi buku ini dipaparkan secara jelas, dengan bahasa yang sederhana dan tampilan yang menarik sehingga mudah dipahami. Buku ini tampaknya didesain sedemikian rupa agar dapat dikonsumsi tidak hanya sekmen masyarakat akademisi, namun dapat dipahami oleh berbagai kalangan dan kelas masyarakat.

Selamat kepada Museum Nasional yang telah membidani lahirnya buku yang penuh pengetahuan segar ini. Terimakasih salam seni dan budaya.



Drs. Nunus Supardi
Pemerhati Budaya dan Museum

Koleksi museum pada umumnya terdiri atas aneka benda budaya yang usianya ratusan, bahkan ribuan tahun. Benda-benda budaya itu berasal dari bahan yang beranekaragam. Ada yang dari bahan kayu, batu, kertas, tulang, gading, kaca, getah, kain, kulit, logam, dll. Karena faktor usia, masing-masing koleksi dengan bahan yang berbeda-beda itu sama-sama rentan terhadap “penyakit”. Karena bahan berbeda, obat yang digunakan dan cara pengobatannya pun menjadi berbeda-beda.

Untuk koleksi yang berbahan

logam, usia dan bentuknya juga bermacam-macam. Ada yang berasal dari bahan besi, perak, tembaga, seng, kuningan, timah, aluminium, emas, dan dari bahan perunggu. Dari segi usia, ada koleksi berbahan perunggu yang berasal dari zaman prasejarah, yaitu periode berkembangnya peradaban yang ditandai dengan penggunaan teknik melebur tembaga yang ditambang dari perut bumi. Zaman itu dikenal sebagai Zaman Perunggu, setelah manusia hidup dalam peradaban yang disebut Zaman Batu. Zaman ini ditandai dengan berbagai macam bentuk artefak, seperti dalam bentuk kapak, mata panah, genta, patung, nekara, talam, cepuk, mangkuk kecil, lampu, sendok, gayung air, prasasti dan lain sebagainya.

Karena pengaruh berbagai faktor, seperti usia, mikroorganisme, kelembaban udara, temperatur udara, lingkungan koleksi berasal, penempatannya, dan dalam cara penanganan koleksi, menjadikan koleksi perunggu mudah mengalami kerusakan. Gangguan terhadap fisik dari koleksi perunggu bisa disebabkan oleh sejenis bakteri, jamur, ganggang, dan lumut. Atau bisa juga disebabkan oleh jenis penyakit karena faktor kimiawi seperti karat, kristal garam, dan sebagainya. Akibatnya koleksi itu dapat mengalami keretakan, pengelupasan, lapuk, keropos, pecah, patah, gopal, terkikis, dan sebagainya.

Dalam melakukan perawatan, pemeliharaan, pencegahan terhadap berbagai ancaman itu harus dilakukan secara hati-hati dan berdasarkan metode dan bahan konservasi secara tepat dan berkesinambungan. Buku berjudul **“KONSERVASI KOLEKSI PERUNGU MUSEUM NASIONAL”** ini mencoba menjelaskan berbagai hal yang berkenaan dengan perawatan dan penyelamatan aneka benda koleksi berbahan perunggu yang ada di Museum Nasional Indonesia.

Melalui buku ini pembaca akan mengetahui langkah-langkah dan tindakan konservasi yang bersifat *preventif*, yaitu cara-cara mengetahui



munculnya gejala kerusakan dan cara mencegah, merawat hingga memperbaiki kerusakan koleksi. Pembaca juga akan mengetahui langkah-langkah yang konservasi yang bersifat *interventif*, yaitu semua tindakan yang langsung diterapkan pada koleksi atau sekelompok koleksi yang bertujuan untuk menghentikan proses yang merusak koleksi, atau pun untuk memperkuat strukturnya. Selain itu, pembaca juga akan mengetahui langkah-langkah konservasi yang bersifat *restoratif*, yaitu semua tindakan yang langsung diterapkan dalam upaya mengembalikan atau memulihkan koleksi yang mengalami kerusakan parah ke bentuk dan kondisi semula, sehingga koleksi tersebut dapat diapresiasi, dipahami, dan dimanfaatkan secara optimal.

Buku yang disusun dan diterbitkan oleh Museum Nasional Indonesia ini patut mendapatkan apresiasi. Semoga buku yang sarat dengan informasi tentang perawatan koleksi perunggu ini dapat menjadi acuan bagi para pengelola museum, pecinta museum, dan para kolektor benda budaya berbahan perunggu.



KONSERVASI KOLEKSI PERUNG MUSEUM NASIONAL

Buku bertajuk "Konservasi Koleksi Perunggu Museum Nasional" yang telah diterbitkan oleh Museum Nasional Indonesia ini patut diapresiasi, apalagi buku ini dimaksudkan untuk menjadi panduan bagi para pelestari koleksi museum. Dengan terbitnya buku ini, bagi Museum Nasional merupakan sumbangsih dan perwujudan dari salah fungsi keberadaan Museum Nasional, yaitu berbagi pengetahuan dan pengalaman khususnya dalam melakukan konservasi koleksi perunggu.

Prof. Dr. Eddy Herald, M.Si – Anggota Himpunan Kimia Indonesia

Sebagai pecinta koleksi museum, baru kali ini saya membaca buku yang sangat unik dan konprehensif tentang konservasi logam terbitan Museum Nasional Indonesia ini. Saya yakin buku ini menjadi referensi utama para pengelola koleksi logam di daerah maupun para kolektor pribadi dan masyarakat umum lainnya.

Dr. rer.nat. Agustino Zulys M.Sc. – Pendiri Rumah Sains Indonesia

Semoga dengan kehadiran buku Konservasi Koleksi Perunggu ini menambah pengetahuan dan wawasan masyarakat dalam mengapresiasi museum dan koleksinya. Selain itu tentu saja Museum Nasional telah mewujudkan tugasnya dalam melakukan pengkajian, pendidikan dan kesenangan.

Sri Patmiarsi Retnaningtyas M.Hum – Pengurus Ikatan Ahli Arkeologi Indonesia Komda Jabotabek

Buku yang disusun dan diterbitkan oleh Museum Nasional Indonesia ini patut mendapatkan apresiasi. Semoga buku yang sarat dengan informasi tentang perawatan koleksi perunggu ini dapat menjadi acuan bagi para pengelola museum, pecinta museum, dan para kolektor benda budaya berbahan perunggu.

Nunus Supardi – Pemerhati Budaya dan Museum

Buku ini demikian kuat dan fokus memuat hal-hal tersebut yang dikemas dengan contoh-contoh kasus pada artefak perunggu yang menjadi koleksi Museum Nasional. Lebih dalam buku ini memberikan contoh kasus mengenai koleksi yang berada di ruang pameran terbuka dan ruang pameran tertutup, di mana prinsip kasus dan penanganannya yang sangat berbeda. Pembaca juga akan diajak berselancar dalam lautan ragam jenis artefak perunggu yang dimiliki oleh Museum Nasional dengan tata kelola konservasinya.

Basuki Teguh Yuwono – Ketua Padepokan Keris Brojowuwono, Karanganyar, Jawa Tengah



ISBN 978 979 8353 21 5



9 789798 353215