KONSERVASI MATERIAL LOGAM TEMBAGA(Cu) TINGGALAN BUDAYA BAWAH AIR

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai
Gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta



Disusun oleh:

TAUFIK HIDAYAT
No. Mahasiswa: 12 612 035

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018

KONSERVASI MATERIAL LOGAM TEMBAGA(Cu) TINGGALAN BUDAYA BAWAH AIR

Oleh:

TAUFIK HIDAYAT

No. Mahasiswa: 12612035

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Skripsi
Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Tanggal: .....

Dewan Penguji	Tanda Tangan
1. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.	.....
2. Nahar Cahyandaru, S.Si., M.Dip.	.....
3. Argo Khoirul Anas, S.Si., M.Sc.	.....
4. Wiyogo Prio Wicaksono, S.Si., M.Si.	.....

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia

(Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D)

PERNYATAAN ETIKA AKADEMIK

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama	: Taufik Hidayat
No. Mahasiswa	: 12612035
Program studi	: kimia
Judul Skripsi	: Konservasi Material Logam Tembaga(Cu) Tinggalan Budaya Bawah Air

Melalui surat ini menyatakan bahwa:

1. Selama melakukan penelitian dan pembuatan laporan penelitian skripsi saya tidak melakukan tindak pelanggaran etika akademik dalam bentuk apapun seperti penjiplakan, pembuatan skripsi oleh orang lain, atau pelanggaran lain yang bertentangan dengan etika akademik yang dijunjung tinggi Universitas Islam Indonesia. Oleh karena itu, skripsi yang saya buat merupakan karya ilmiah saya sebagai penulis, bukan karya jiplakan atau karya orang lain.
2. Apabila di kemudian hari, setalah saya lulus dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia menemukan bukti secara meyakinkan bahwa skripsi saya adalah karya jiplakan atau karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi akademis yang di tetapkan oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 25 juni 2018



Taufik Hidayat
NIM 12612035

iii

Kupersembahkan tulisan ini untuk ayah dan mamak tersayang yang selalu mendukung dan mendo'akan aktivitas anaknya, dan adik-adikku yang tersayang.

"Musuh yang paling berbahaya di atas dunia ini adalah penakut dan bimbang. Teman paling setia hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh"

"Tertawalah sebelum tertawa itu dilarang"

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji milik Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada nabi besar Muhammad SAW yang telah telah membawa kita dari zaman kebodohan ke zaman yang labih cerdas, dan para keluaga, sahabat serta umatnya yang tetap istiqomah mengajarkan dan menegakkan risalahnya.

Skripsi yang berjudul**"KONSERVASI MATERIAL BUDAYA LOGAM TEMBAGA PENINGGALAN BAWAH AIR"**ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana sains (S.si) program studi Ilmu Kimia Universitas Islam Indonesia. Keberhasilan penelitian dan penulisan penelitian skripsi ini tidak lepas dari fasilitas dan bimbingan oleh berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, nikmat, petunjuk dan karunia-Nya serta memberikan perlindungan, kemudahan serta kesabaran dalam setiap pekerjaan sehingga dapat menyelesaikan penelitian skripsi dan penulisan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
2. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
3. Dr. Is Fatimah, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam.
4. Bapak Prof. Riyano, Ph.D, selaku pelaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi selama penelitian, penyusunan proposal dan penyusunan Skripsi.
5. Bapak Nahar Cahyandaru,S.Si, M.Dip. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi selama penelitian, penyusunan proposal dan penyusunan skripsi.

6. Segenap civitas laboran laboraturium penelitian kimia dan laboraturium kimia dasar Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang telah membantu penyelesaian penelitian dan penyusunan Skripsi ini dengan baik.
7. Segenap civitas Akademik Jurusan Ilmu Kimia Universitas Islam Indonesia Yogyakarta dan semua pihak yang membantu materil maupun spiritual dalam penyelesaian penelitian dan penulisan skripsi ini dengan baik.
8. Ucapan terima kasih kepada Balai Konservasi Candi Borobudur yang telah berkenan mengijinkan penulis melakukan penelitian selama ini.
9. Mas Yudhi atmaja, mas widyo, dan mba yuyun yang telah banyak membantu dan memotivasi dalam penelitian.
10. Teman seperjuangan dalam melakukan penelitian, dan penyusunan Skripsi serta sahabat-sahabat lainnya yang telah memberikan semangat dan doanya.
11. Seluruh teman-teman pondok sawojajar dan segenap isinya(persahabatan kita tak dapat dinilai dengan uang dan kebersamaan kita tak dapat terulang) semoga persaudaraan kita tetap terjalin.
12. Ucapan terima kasih atas perhatiannya dari penulis, Muhamad malthuf jajuli, Siti sundari, Latifah mariani yang tidak bosan bosan untuk mengingatkan dan membantu dalam penulisan skripsi ini hingga usai.
13. Untuk teman-teman seperjuangan PKL Adhiyatna yoginanda dan Dian riyanti yang terkece.
14. Terima kasih juga untuk teman - teman KKN unit 319 desa somoleter yang banyak memberi pengalaman buat penulis.
15. Terima kasih buat ibu kos pondok sawojajar karena telah membantu penulis selama dijogja.
16. Terima kasih untuk bang hafidz yusril dan alan yang selalu jadi tempat curhat dan jadi abang terbaik selama penulis dijogja.
17. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebut namanya satu-persatu.

Penulis meyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna karena masih banyak kekurangan yang ada pada penulis. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya.

Yogyakarta, 16 maret 2018

Penulis

(Taufik Hidayat)
Nim: 12 6120 35

KONSERVASI MATERIAL LOGAM TEMBAGA TINGGALAN BUDAYA BAWAH AIR

INTISARI

Taufik Hidayat
NIM 12 612 035

Telah dilakukan penelitian konservasi pada material logam tembaga tinggalan budaya bawah air. Konservasi artefak dengan solusi yang tepat sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi permukaan korosi serta mendeaktivasi korosi dan menstabilisasi atau melapisi material logam tembaga tinggalan budaya bawah air. Konservasi ini dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama identifikasi pelapukan. Tahap kedua analisis dan karakterisasi permukaan obyek korosi menggunakan *Handy Microscope*, *X-Ray Difraction*, *X-Ray Fluorescence*, dan *Scanning Electron Microscopy*. Tahap ketiga pasivasi atau deaktivasi proses korosi. Hasil identifikasi pelapukan pada penelitian ini dikelompokan pada tiga tingkat lapisan korosi yaitu, lapisan putih, lapisan hijau, dan lapisan merah. Karakterisasi objek menggunakan XRD pada korosi aktif kering diperoleh mineral aragonite 36,95% pada $2\theta = 27{,}77^{o}$ dan dan mineral paratacamite 31,28% pada $2\theta = 36{,}5^{o}$. Deaktivasi atau pasivasi obyek pada penelitian ini menggunakan 5% Na_2CO_3, pasta natrium bikarbonat dan air jeruk nipis.

Kata kunci: konservasi, material tembaga, tinggalan bawah air

CONSERVATION OF COPPER MATERIALS UNDERWATER HERITAGE

ABSTRACT

Taufik Hidayat
NIM 12 612 035

The research on conservation of Copper cannon ball materials underwater heritage has been done. Artifacts conservation with the proper solution is indispensable. This research aims to identify and characterize the surface corrosion and deactivation or pasivation process of corrosion and stabilitation or coating the copper materials underwater heritage. This conservation has been done in three stages. The first stage was the identification of weathering. The second stage was the analysis and characterization of the objects surface corrosion using Handy Microscope, XRD (x-ray diffraction), XRF (x-ray fluorescence), and SEM (scanning electron microscopy). The third stage was passivation or deactivation process of corrosion.The results of the identification of weathering in this research were classified into three levels of corrosion: white layer, green layer, and red layer. Characterization of the object using XRD on dry active corrosion minerals obtained aragoneite 36,95% at $2\theta = 27{,}77^{o}$ and paratacameite $2\theta = 31{,}28^{o}$ at $2\theta = 36{,}5^{o}$. Deactivation or passivation objects in this research using 5% Na_2CO_3, natrium bikarbonat pasta, and lime.

Keywords: conservation, copper materials, underwater heritage.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PERSEMBAHAN iii
KATA PENGANTAR iv
INTISARI vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 5
BAB II DASAR TEORI 6
2.1 Dasar Pelaksanaan Konservasi 6
2.2 Pelapukan dan Prinsip Konservasi Cagar Budaya Bawah Air 9
2.3 Konservasi *In Situ* 10
2.4 Konservasi Peninggalan Bawah Air Berbahan Logam Tembaga 11
2.5 Artefak Logam Tembaga Pada Kapal Karam 20
2.6 X-Ray Difraction (XRD) 20
2.7 X-Ray Fluorescence (XRF) 22
2.8 Scanning Electron Microscopy 24
BAB III TINJAUAN PUSTAKA 26
BAB IV METODE PENELITIAN 29
4.1 Bahan 29
4.2 Alat 29
4.3 Cara Kerja 30
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 33

5.1 Hasil Identifikasi Pelapukan Material Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air 33
5.2 Analisis dan Karakterisasi Permukaan Korosi Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air 35
5.2.1 Analisis dan Karakterisasi Permukaan Korosi Material Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air Menggunakan Handy Microscope 35
5.2.2 Analisis dan Karakterisasi Permukaan Korosi Material Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air Menggunakan XRD 36
5.2.3 Analisis dan Karakterisasi Permukaan Korosi Material Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air Menggunakan XRF 38
5.2.4 Analisis dan Karakterisasi Permukaan Korosi Material Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air Menggunakan SEM 39
5.3 Pasivasi atau Deaktifasi Korosi Material Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air 40
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 41
6.1 Kesimpulan 41
6.2 Saran 42
DAFTAR PUSTAKA 43
LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 1. Korosi tembaga 13
2. Gambar 2. Mangkuk dan piringan tembaga tinggalan bawah air 19
3. Gambar 3. Skema komponen pada XRD 20
4. Gambar 4. Ilustrasi sinar x dengan cuplikan 21
5. Gambar 5. Bagan kerja XRF 22
6. Gambar 6. Bagan alat XRF Portabel 22
7. Gambar 7. Skema prinsip kerja SEM 24
8. Gambar 8. Pelapukan dan korosi material logam tembaga 32
9. Gambar 9. Korosi material logam tembaga 33
10. Gambar 10. Difraksi sinar X pada korosi logam tembaga 34
11. Gambar 11. Hasil Difraksi sinar X korosi logam tembaga 34
12. Gambar 12. Hasil Difraksi sinar X korosi logam tembaga 34
13. Gambar 13. Hasil karakterisasi logam tembaga dengan SEM perbesaran 50x 37
14. Gambar 14. Hasil karakterisasi logam tembaga dengan SEM perbesaran 1000x 37
15. Gambar 15. Hasil karakterisasi logam tembaga dengan SEM perbesaran 2000x 37
16. Gambar 15. Hasil karakterisasi logam tembaga dengan SEM perbesaran 5000x 37
17. Gambar 16. Bola meriam besi hasil pelapisan menggunakan lilin Mikrokristalin 5%, 10%, 20% dan 50% 46

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakterisasi permukaan korosi menggunakan XRD 35
Tabel 2. Karakterisasi permukaan korosi menggunakan XRF 36
Tabel 3. Karakterisasi permukaan korosi material logam tembaga menggunakan XRF sebelum dan sesudah pasivasi 39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil X-ray Flourescence permukaan korosi Logam tembaga tinggalan bawah air sebelum dan sesudah dipasivasi 41
Lampiran 2. Dokumentasi proses konservasi 58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki beraneka ragam tinggalan budaya, baik berupa benda, struktur, situs dan kawasan cagar budaya lainnya. Berdasarkan aspek material penyusunnya maka dibedakan menjadi cagar budaya berbahan batu, kayu, logam dan lainnya. Supaya cagar budaya tersebut dapat dinikmati oleh generasi mendatang dalam kondisi utuh dan lengkap, maka cagar budaya tersebut harus dilestarikan. Dalam upaya pelestarian cagar budaya tersebut maka perlu dilakukan konservasi (Swastikawati dkk., 2015).

Peninggalan manusia pada masa lampau tidak hanya berorientasi pada tinggalan prasejarah, tetapi juga tinggalan arkeologi yang terdapat di bawah air (arkeologi bawah air = *underwater archaeology*). Indonesia kaya akan peninggalan bawah air karena didukung oleh posisinya yang strategis yaitu berada di antara Benua Asia dan Australia, antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia membuat Indonesia pada zaman dahulu menjadi tempat persinggahan kapal-kapal yang membawa komoditi perdagangan. Oleh sebab itu tidak heran jika banyak kapal-kapal asing dari Tiongkok, Jepang, Portugis, dan Belanda lalu-lalang di Perairan Indonesia baik untuk transit maupun berdagang. Kapal-kapal tersebut ada yang sampai di tempat tujuan dan ada juga yang karam di Perairan Indonesia baik karena faktor alam maupun karena faktor manusia. Indonesia bahkan menduduki posisi penting di Asia Tenggara bahkan di Asia karena memiliki banyak tinggalan arkeologi bawah air (Turner, 2011:30).

Arus transportasi laut yang tinggi memungkinkan kawasan Nusantara menyimpan kekayaan peninggalan dari masa lampau di bawah laut. Kekayaan peninggalan bawah laut yang berupa kapal tenggelam (*shipwreck*) beserta muatannya berjumlah sangat banyak dan tersebar di berbagai lokasi baik yang telah diketahui maupun yang belum diketahui. Selain kapal tenggelam, lautan Indonesia juga menyimpan kekayaan peninggalan bawah air lainnya misalnya pesawat yang jatuh dan sisa-sisa perang lainnya. Material penyusun peninggalan bawah air juga sangat bervariasi, mulai dari kayu, logam, keramik, dan material lainnya. Peninggalan bawah air memiliki nilai penting bagi sejarah, kebudayaan, dan ilmu pengetahuan sehingga ditetapkan sebagai cagar budaya.

Pelestarian cagar budaya peninggalan bawah air sangat penting untuk dilakukan karena tingginya nilai cagar budaya tersebut serta umumnya berada dalam kondisi yang sudah lapuk. Secara ekonomi peninggalan bawah air juga bernilai tinggi sehingga di sisi lain merupakan ancaman bagi perlindungannya (Cahyandaru, 2011).

Saat ini penelitian tentang konservasi artefak logam bawah air, terutama tembaga (Cu) masih kurang. Meskipun perkembangan arkeologi bawah air international semakin banyak. Supaya cagar budaya dapat dinikmati oleh generasi mendatang dalam kondisi yang utuh dan lengkap, maka cagar budaya tersebut harus dilestarikan. Dalam upaya pelestarian cagar budaya maka diperlukan tindakan konservasi.

Berdasarkan bahan serta peralatan yang digunakan maka konservasi cagar budaya dapat dibedakan menjadi konservasi modern dan konservasi tradisional.

Konservasi modern adalah tindakan konservasi dengan menggunakan bahan serta peralatan yang relative modern. Bahan yang direkomendasikan dalam kegiatan konservasi tersebut merupakan hasil penelitian, pengkajian dan pengembangan dalam bidang konservasi. Sedangkan yang dimaksud dengan peralatan modern adalah merupakan seperangkat peralatan modern yang dibuat atau dapat digunakan untuk kegiatan konservasi. Konservasi tradisional adalah tindakan konservasi dengan menggunakan bahan dan peralatan tradisional, yang berpatokan pada kearifan local (*local wisdom*) serta pengalaman yang terakumulasi dalam pengetahuan masyarakat setempat (*people knowledge*). Bahan tradisional adalah bahan yang didapat dari lingkungan masyarakat setempat, yang dipercayai dapat digunakan dalam konservasi cagar budaya, atas dasar pengalaman dan tradisi turun temurun. Peralatan tradisional adalah peralatan sederhana, yang dibuat oleh masyarakat dengan bahan yang diperoleh dari lingkungannya (Sunarno, 2010).

Saat ini terdapat kecenderungan di dunia untuk kembali menggunakan metode konservasi tradisional dalam penanganan konservasi cagar budaya. Kecenderungan ini didasarkan pada fakta bahwa penggunaan metode tradisional lebih mudah dan ramah terhadap lingkungan. Sesungguhnya Indonesia memiliki lebih banyak lagi metode tradisional sebagai bentuk kearifan local yang dapat digunakan untuk mengkonservasi cagar budaya. Namun metode-metode tersebut belum dikaji dengan baik(Swastikawati dkk, 2014).

Salah satu metode tradisional yang perlu dikaji adalah penggunaan bahan tradisonal atau bahan alam untuk perawatan dan pengawetan cagar budaya

berbahan logam. Seperti penggunaan jeruk nipis untuk membersihkan logam tembaga. Akan tetapi pertimbangan terpenting untuk menentukan apakah sebuah artefak logam perlu dibersihkan atau tidak adalah jenis korosinya. Apakah artefak tersebut mengalami korosi aktif ataukah pasif. Sehingga perlu untuk menentukan karakteristik korosi aktif dan pasif dari setiap jenis artefak logam. Baik karakterisitik secara visual maupun dari sudut pandang kimia.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana hasil pelapukan pada piringan tembaga tingalan budaya bawah air ?
2. Bagaimana hasil karakterisasi permukaan objek dan permukaan korosi pada piringan tembaga tinggalan budaya bawah air dengan menggunakan *handy mikroskop, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF) dan Scanning Electron Microscope (SEM)* ?
3. Bagaimana efektifitas pasivasi dan deaktivasi korosi pada piringan tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan natrium karbonat($Na_2CO_{3)}$ dan bikarbonat($NaHCO_3$)?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui hasil identifikasi pelapukan pada material piringan tembaga tinggalan budaya bawah air.
2. Mengetahui hasil dari karakterisasi permukaan objek dan permukaan korosi pada material piringan tembaga tinggalan budaya bawah air dengan menggunakan *handy mikroscope,* XRD, XRF, dan SEM
3. Mengetahui efektifitas pasivasi dan deaktivasi korosi pada material

piringan tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan natrium karbonat($Na_2CO_{3)}$ dan bikarbonat($NaHCO_3$).

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi tentang hasil dari identifikasi pelapukan material piringan tembaga tinggalan budaya bawah air.
2 Memberikan informasi tentang hasil dari analisis permukaan objek dan permukaan korosi pada material piringan tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan *handy mikroscope*, XRD, XRF, dan SEM.
3 Memberikan informasi tentang efektifitas pasivasi atau deaktivasi korosi pada material piringan tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan natrium karbonat($Na_2CO_{3)}$ dan bikarbonat($NaHCO_3$.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Dasar Pelaksanaan Konservasi

Pelaksanaan penanganan konservasi di Indonesia saat ini mengacu pada Undang-Undang Nomor 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya. Undang-Undang tersebut memuat regulasi tentang cagar budaya dan cagar budaya bawah air dinyatakan sebagai bagian dari cagar budaya. Pasal 76 UU No. 11 tahun 2010 tentang pemeliharaan menyebutkan sebagai berikut:

(1) Pemeliharaan dilakukan dengan cara merawat Cagar Budaya untuk mencegah dan menanggulangi kerusakan akibat pengaruh alam dan/atau perbuatan manusia.

(2) Pemeliharaan Cagar Budaya sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat dilakukan di lokasi asli atau di tempat lain, setelah lebih dahulu didokumentasikan secara lengkap.

(3) Perawatan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan dengan pembersihan, pengawetan, dan perbaikan atas kerusakan dengan memperhatikan keaslian bentuk tata letak, gaya, bahan, dan atau teknologi Cagar Budaya.

(4) Perawatan Cagar Budaya sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang berasal dari air harus dilakukan sejak proses pengangkatan sampai ke tempat penyimpanannya dengan tata cara khusus.

(5) Pemerintah dan Pemerintah Daerah dapat mengangkat atau menempatkan juru pelihara untuk melakukan perawatan Cagar Budaya.

(6) Ketentuan lebih lanjut mengenai Pemeliharaan Cagar Budaya diatur dalam Peraturan Pemerintah.

Undang-undang No. 11 Tahun 2010 Pasal 76 ayat (1) menjelaskan bahwa pemeliharaan dilakukan dengan cara merawat Cagar Budaya untuk mencegah dan menanggulangiker usakan akibat pengaruh alam dan atau perbuatan manusia. Termasuk dalam konteks kerusakan adalah deteriorasi (*deterioration*), yaitu fenomena penurunan karakteristik dan kualitas Benda Cagar Budaya, baik akibat faktor fisik (misalnya: air, api dan cahaya), mekanis (misalnya retak dan patah), kimiawi (misalnya asam dan basa keras), maupun biologis (misalnya jamur, bakteri, dan serangga).

Undang –Undang Nomor 11 tahun 2010 saat ini belum dilengkapi dengan Peraturan Pemerintah maupun aturan-aturan pendukung lainnya. Peraturan perundangan pendukung tersebut ke depan dapat menjadi acuan teknis dalam pelaksanaan pelestarian cagar budaya. Selain adanya Undang-Undang dan peraturan lainnya yang berkaitan dengan Cagar Budaya, pengelolaan peninggalan bawah air juga diatur dengan peraturan lain yang dikeluarkan oleh Kementerian atau Lembaga Negara lain. Salah satu yang mengatur adalah Kepres 19/2007 tentang Pannas BMKT (Panitia Nasional Barang Muatan Kapal Tenggelam). (Cahyandaru, 2011). Beberapa acuan internasional juga bisa menjadi rujukan, meskipun aturan tersebut secara hukum tidak mengikat. Salah satu acuan pelestarian yang bisa dirujuk adalah piagam untuk perlindungan dan pengelolaan

cagar budaya bawah air *(Charter on the Protection and Management of Underwater Cultural Heritage 1996)* yang telah diratifikasi oleh ICOMOS. Beberapa prinsip dasar konservasi cagar budaya yang tercantum dalam piagam perlindungan dan pengelolaan cagar budaya bawah air adalah sebagai berikut:

1. Pelestarian cagar budaya bawah air secara *in situ* harus menjadi pertimbangan pertama
2. Akses oleh publik harus disediakan
3. Teknik konservasi non destruktif, dan teknik survai yang tidak merusak harus menjadi acuan
4. Investigasi harus tidak menimbulkan dampak negatif, menghindari gangguan yang tidak perlu terhadap situs, dan diikuti dengan dokumentasi yang memadai.
5. Untuk konservasi material; kegiatan konservasi harus menyediakan perlakukan *(treatment)* benda tinggalan arkeologi selama investigasi, selama transit, dan untuk jangka panjang. Konservasi material harus dilakukan menurut standar profesional yang berlaku.

Secara prinsip piagam dapat dijadikan acuan namun tidak mengikat secara hukum. Hal ini berbeda dengan konvensi yang akan menjadi produk hukum mengikat apabila negara yang bersangkutan telah meratifikasi. Prinsip-prinsip dalam piagam di atas sejalan dengan konvensi perlindungan peninggalan bawah air (UNESCO) *Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage tahun 2001*. (Catatan: Indonesia belum meratifikasi konvensi ini sehingga secara hukum tidak terikat dengan aturan-aturan yang ada). Konvensi UNESCO lain

yang memungkinkan untuk diterapkan dalam meningkatkan perlindungan terhadap cagar budaya bawah air adalah konvensi tentang pelarangan dan pencegahan penyelundupan, impor, ekspor, dan pengalihan kepemilikan cagar budaya (UNESCO) *Convention on the Means of Prohibiting and Preventing the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property 1970*. Jika suatu situs bawah air memiliki nilai penting universal yang luar biasa *(Outstanding universal value/ OUV)*, dapat pula diajukan sebagai warisan budaya dunia (Cahyandaru, 2011).

2.2 Pelapukan dan Prinsip Konservasi Cagar Budaya Bawah Air

Pelapukan peninggalan bawah air secara umum berlangsung lebih cepat dibanding peninggalan yang berada di darat. Laju pelapukan benda cagar budaya bawah air bisa mencapai 5-10 kali lebih cepat dibanding benda cagar budaya di darat (Hamilton, 1999). Kecepatan pelapukan ini akibat dari interaksi material dengan air yang mengadung garam dan aktivitas biologi. Reaksi kimia pelapukan terjadi lebih cepat dalam medium air karena reaksi berlangsung dengan efektif.

Air melarutkan berbagai mineral dalam tanah, selanjutnya mineral terlarut tersebut juga berperan dalam reaksi pelapukan yang terjadi dalam medium air Pergerakan senyawa-senyawa kimia dalam air juga lebih cepat sehingga mendukung reaksi pelapukan. Pelapukan yang umum terjadi pada peninggalan bawah air adalah (Cahyandaru, 2011):

1) Pelapukan akibat garam terlarut
2) Pelapukan akibat garam tidak terlarut, termasuk akibat pertumbuhan karang atau biota laut

3) Pelapukan akibat korosi
4) Pelapukan akibat degradasi kimia
5) Pelapukan akibat mikroba
6) Pelapukan akibat organisme lain (cacing, crustaceae, dan lain-lain)

Material penyusun benda cagar budaya sangat bervariasi dan masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Masing-masing jenis material akan mengalami proses pelapukan yang juga berbeda tergantung pada komposisi kimia material dan reaksi-reaksi kimia yang mungkin terlibat. Meskipun pelapukan yang umum seperti endapan garam dapat terjadi di semua jenis material cagar budaya bawah air, tetapi pelapukan yang mengikutinya akan berbeda sehingga metode konservasinya juga berbeda. Oleh karena itu metode konservasi terhadap material cagar budaya bawah air tidak dapat digeneralisir untuk semua jenis material. Masing-masing jenis material harus diperlakukan dengan metode yang berbeda sesuai dengan pelapukan dan karakteristik material tersebut (Cahyandaru, 2011).

2.3 Konservasi *In Situ*

Konservasi *in situ* untuk cagar budaya bawah air saat ini menjadi isu yang berkembang dan merupakan bidang kajian yang sangat menarik. Selama ini konservasi masih difokuskan pada bagaimana memperlakukan benda yang diangkat dari bawah air untuk selanjutnya dikonservasi dan disajikan di museum sebagaimana benda cagar budaya darat. Kebijakan nasional dengan pembentukan Panitia Nasional BMKT (Barang Muatan Kapal Tenggelam) juga mengisyaratkan konservasi yang difokuskan pada barang muatan yang sifatnya sebagai cagar

budaya bergerak. Sedangkan situsnya beserta badan kapal yang mungkin masih tersisa belum menjadi perhatian. Nilai penting cagar budaya bawah air tentu saja tidak hanya pada benda muatannya saja tetapi juga kapal dan situsnya sendiri. Oleh karena itu perlu langkah lebih lanjut untuk melakukan konservasi *in situ* terhadap peninggalan budaya bawah air. Acuan internasional yang ada umumnya juga mengedepankan konservasi *in situ* sebagai salah satu langkah penting dalam konservasi. Konvensi UNESCO mensyaratkan konservasi *in situ* jika memungkinkan. Demikian juga piagam untuk perlindungan dan pengelolaan cagar budaya bawah air menyatakan bahwa konservasi *in situ* harus menjadi pilihan pertama dalam melaksanakan konservasi. Metode konservasi in situ untuk masing-masing jenis material juga berbeda, konservasi in situ tidak bisa diterapkan untuk semua jenis material. Material keramik seperti tembikar, terakota, porselin relatif sulit dikonservasi secara in situ. Ukuran benda yang relatif kecil juga menyulitkan perlindungan karena rawan pencurian mengingat situs bawah air tidak bisa diamankan dengan model penjagaan seperti situs di darat. Demikian juga dengan benda cagar budaya lainnya yang kecil yang bernilai ekonomi tinggi, juga sulit dikonservasi secara *in situ* (Cahyandaru, 2011).

2.4 Konservasi Peninggalan Bawah Air Berbahan Logam Tembaga

Indonesia memiliki cagar budaya dalam bentuk artefak logam dalam jumlah yang sangat berlimpah, yang terbesar di seluruh wilayah nusantara. Artefak-artefak tersebut memiliki bentuk dan fungsi yang beraneka ragam pula bahan penyusunnya. Artefak-artefak logam tersebut merupakan sumber data primer dalam arkeologi (Swastikawati, 2015).

Logam merupakan material yang mudah mengalami korosi, sehingga peninggalan logam bawah air umumnya juga ditemukan dalam keadaan yang telah mengalami korosi. Pengaruh air laut pada proses korosi logam sangat signifikan sehingga laju korosi peninggalan bawah air logam jauh lebih cepat dibanding cagar budaya logam di darat (Cahyandaru, 2011).

A. Kimia Logam

Dibandingkan dengan material lain logam memiliki sifat khas, yang tidak dimiliki oleh material lain. Sifat-sifat tersebut adalah:

1) Liat (dapat ditempa/ ditarik)
2) Penghantar listrik/ panas
3) Mengkilap
4) Dapat dilebur
5) Dapat dibuat paduan
6) Dapat mengalami korosi

Adanya sifat-sifat tersebut menjadikan logam sebagai material yang banyak digunakan dalam peradaban manusia sejak zaman dahulu hingga sekarang. Logam dapat dijumpai secara langsung dalam bentuk logam secara alami (*native ores*), ada juga yang berada dalam senyawa yang disebut bijih yang dapat diolah menjadi logam.

Dari sudut pandang kimia logam dikelompokkan berdasarkan kecenderunganya dalam melepas elektron. Logam merupakan unsur yang kelebihan elektron, sehingga untuk mencapai kestabilannya cenderung melepas

elektron. Sebagai senyawa, logam akan mengadakan ikatan ionik dengan melepaskan elektron membentuk ion bermuatan positif (*kation*). Sifat kelebihan elektron ini yang juga memungkinkan logam berdiri sendiri tanpa membentuk senyawa dengan ikatan logam.

B. Korosi Logam

Pembahasan penting lain pada metalurgi adalah sifat korosi logam. Korosi dapat terjadi karena sifat dasar logam yang secara kimia cukup reaktif. Logam dapat membentuk berbagai senyawa, terutama oksida, hidroksida, dan garam. Kecepatan korosi logam sangat dipengaruhi oleh jenis logam disamping kondisi lingkungan logam berada. Ketahanan setiap logam terhadap korosi berbeda-beda tergantung reaktivitas masing-masing unsur. Logam yang berada dalam air akan lebih cepat mengalami korosi karena reaksi-reaksi kimia dapat berlangsung secara lebih efektif.

Menurut Trethewey dan Chamberlain (1991) korosi merupakan peristiwa yang sangat berkaitan dengan potensial oksidasi-reduksi. Sepert peristiwa terbentuknya aliran listrik sebagai bentuk sel baterai, dimana logam-logam berperan sebagai elektroda. Karena korosi merupakan peristiwa oksidasi-reduksi (redoks), maka potensial redoks dari masing-masing unsur logam berperan dalam menentukan katahanan logam dari korosi. Ketahanan korosi logam oleh reaksi kimia dapat dipelajari melalui deret volta, sebagai berikut :

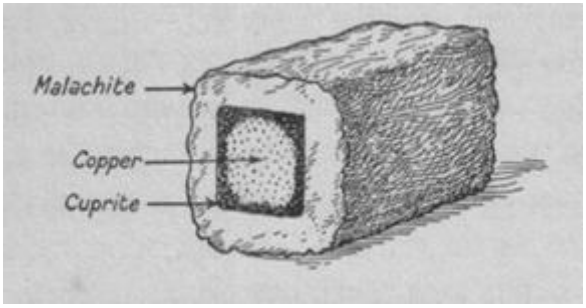
K;Na;Ba;Sr;Ca;Mg;Al;Mn;Zn;Cd;Fe;Co;Ni;Sn;Pb;H;Cu;Hg;Ag;Pt;Au

Deret diatas menunjukkan urutan potensial oksidasi dari masing-masing unsur. Sebagai contoh apabila ada logam Na yang direaksikan dengan $CaCl_2$,

maka Na mampu menggantikan Ca membentuk NaCl dan logam Ca. Semakin ke kanan unsur semakin stabil karena sulit dioksidasi oleh unsur lain. Unsur hidrogen pada deret menempati nomor 6 dari kanan. Unsur ini mewakili senyawa asam , karena asam dapat dipandang sebagai senyawa yang dapat melepaskan H^+.

Korosi logam oleh asam sering terjadi sebagai salah satu bentuk pelapukan logam di alam. Logam di sebelah kanan H, yaitu Cu, Hg, Ag, Pt, dan Au tidak dapat dilarutkan oleh asam, karena memiliki potensial oksidasi lebih tinggi. Sehingga dapatlah dipahami bahwa logam-logam tersebut (terutama perak, emas, dan platina) dianggap sebagai logam mulia yang tidak mudah mengalami korosi. Logam di sebelah kiri H dapat dioksidasi oleh ion H^+. Semakin ke kiri akan semakin mudah teroksidasi.

Pengetahuan awal mengenai korosi menganggap bahwa korosi disebabkan oleh reaksi logam dengan oksigen di udara yang dipercepat oleh adanya air yang disebut sebagai pengkaratan. Ternyata korosi jenis ini hanyalah bagian dari peristiwa korosi dan pengendaliannya. Tembaga, perunggu dan paduan-paduan yang berbahan dasar tembaga, korosi yang terjadi menyebabkan terbentuknya dua lapisan oksida sebagai berikut:



Gambar 1. Korosi tembaga membentuk lapisan cuprite dan malachite (Plendrleith, 1957)

Karena korosi merupakan peristiwa oksidasi-reduksi dan melibatkan perbedaan potensial redoks antar dua jenis logam, maka dua logam yang digabungkan akan mengadakan sistem sel. Sistem sel tersebut akan menyebabkan satu logam menjadi stabil karena tereduksi dan satu logam lainnya terkorosi sangat cepat karena teroksidasi.

C. Pengantar konservasi logam

Meskipun logam yang ada di bumi sangat banyak jenisnya, namun ternyata jenis logam yang ditemukan sebagai peninggalan budaya tidaklah terlalu banyak. Penggunaan jenis logam yang sangat bervariasi baru dilakukan pada era modern ini. Fakta penemuan benda-benda peninggalan sejarah berbahan logam hanya menggunakan beberapa jenis logam yaitu; besi, tembaga, timbal, timah, emas, dan perak. Meskipun ada juga logam lain dalam jumlah kecil sebagai campuran. Sehingga secara umum berdasarkan ketahanan, proses pelapukan, dan metode konservasinya benda peninggalan logam dapat dikelompokkan menjadi kelompok logam besi dan paduannya, kelompok logam tembaga dan paduannya (termasuk perunggu dan kuningan), kelompok logam timah-timbal, dan kelompok logam mulia. Dalam pembahasan konservasi peninggalan bawah air ini akan dibahas kelompok logam besi, tembaga, dan logam mulia, karena kelompok inilah yang paling banyak ditemukan.

D. Korosi Logam Tembaga bawah Air

Pelapukan logam tembaga pada dasarnya berlangsung hampir sama dengan pelapukan material besi. Yang berbeda adalah praduk korosinya yang mempunyai kenampakan dan sifat fisika berbeda. Logam tembaga relatif lebih

tahan korosi dibanding logam besi. Hal ini disebabkan posisi logam Cu dalam seret Volta yang berada di sebelah kanan. Pada deret Volta semakin ke kanan unsur akan semakin inert atau semakin sulit bereaksi.

Logam tembaga umumnya ditemukan sebagai paduan dengan logam lain, misalnya perunggu dan kuningan. Namun jenis pelapukan akan ditentukan oleh tembaga sebagai komponen dominan dalam paduan logam. Mekanisme pelapukan tembaga dalam air adalah sebagai berikut.

Langkah pertama dalam korosi elektrokimia paduan tembaga dan tembaga adalah produksi ion tembaga. pada gilirannya digabungkan dengan klorida dalam air laut untuk membentuk tembaga klorida sebagai komponen utama dari lapisan korosi:

$$Cu \longrightarrow Cu^{+} + e^{-}$$

$$Cu^{+} + Cl^{-} \longrightarrow CuCl$$

Tembaga klorida adalah senyawa mineral yang sangat tidak stabil. Saat tembaga yang mengandung tembaga klorida dipulihkan dan terpapar udara, maka akan terus menimbulkan korosi secara kimiawi dengan proses dimana cuoprous chlorides hadir dalam kelembaban dan oksigen dihidrolisis untuk membentuk asam klorida dan klorida-klorida dasar (Oddy dan Hughes 1970: 188):

$$4CuCl + 4H_2O + O_2 \longrightarrow CuCl_2 \quad 3Cu(OH)_2 + 2\ HCl$$

Asam klorida pada gilirinnya menyerang logam yang tidak mengalami korosi membentuk klorida cuprous lebih banyak:

$$2Cu + 2HCl \longrightarrow 2CuCl + H_2$$

Reaksi berlanjut sampai tidak ada logam yang tersisa. Proses korosi kimia ini biasa disebut sebagai “penyakit perunggu” bentuk konservasi yang perlu dilakukan agar artifak tidak terkontaminasi tembaga adalah dengan proses kimiawi sehingga tembaga klorida yang berbahaya diubah menjadi tembaga oksida. Jika klorida dibiarkan tidak dihambat maka tembaga akan mengalami korosi kembali.

Artifak tembaga yang berada dalam laut juga terjadi karena terbentuknya senyawa tembaga dan tembaga sulfida (Cu_2S dan CuS) dengan bantuan bakteri pereduksi sulfat. Produk tembaga sulfida biasanya dalam keadaan oksidasi terendah, seperti juga sulfida besi dan sulfida perak. Setelah sembuh dan terpapar oksigen, tembaga(I) sulfida mengalami oksidasi berikutnya ke keadaan oksidasi yang lebih tinggi, yaitu tembaga(II) sulfida (Gettens 1964: 555-556; Utara dan MacLeod 1987: 82).

Setelah diambil dari laut, artifak tembaga dan cuprous tertutup oleh karang laut dengan ketebalan yang bervariasi. Dan terdapat lapisan hitam dari sulfida tembaga yang tertanam pada artifak sehingga penampilan artifak tembaga tidak seperti asalnya. Selain lapisan hitam juga terdapat lapisan hijau yang menutupi tembaga ini lah yang disebut patina ini. Terkadang proses korosi menutup semua bagian artifak tapi berbeda dengan timah dan seng yang akan terkorosi secara sempurna. Lapisan tembaga sulfida tidak mempengaruhi objek begitu juga lapisan hijau dari. Kedua bentuk korosi yang dapat dihilangkan ini dapat mudah dikeluarkan dengan pembersih komersil, asam format atau asam sitrat (Utara dan Mac Leod, 1987).

E. Konservasi Logam Tembaga

Dalam beberapa kasus untuk menghilangkan secara mekanis produk kerak kotor dan korosi dari artefak dilakukan untuk benda tembaga yang berasal dari bawah laut. Untuk menghindari artefak rusak pembersihan secara mekanik harus dilakukan dengna hati-hati dan pembilasan air untuk menghilangkan sisa kerak yang menempel.

Setelah perawatan awal dilakukan, didapat konservasi benda logam tembaga yang terkontaminasi klorida menyarankan tindakan kimia hal itu dapat tercapai dengan

1. Mengeluarkan tembaga klorida
2. Mengubah tembaga klorida menjadi tembaga oksida yang tidak berbahaya
3. Mengikat tembaga klorida dari spesimen udara

Alternatif pembersihan yang mungkin termasuk :

1. Pembersihan galvanik
2. Pembersihan dengan alkalin sulfit
3. Pembersihan elektroreduksi
4. Pembersihan kimia
    i. Natrium sesquikarbonat
    ii. Natrium karbonat
    iii. Benzotriazol (BTA)

Natrium sesquikarbonat dan natrium karbonat dapat membersihkan lapisan pengotor dan juga tembaga klorida (CuCl) dalam objek. Larutan ini cukup efektif

untuk pembersihan sehingga cukup sering digunakan dalam konservasi tembaga dan paduannya.

BTA merupakan bahan kimia untuk pembersihan kimia logam berbahan tembaga. BTA dapat membersihkan lapisan pengotor pada logam tembaga maupun melarutkan tembaga klorida (CuCl) dari dalam objek. BTA juga berfungsi sebagai konsolidan sehingga treatmen ini sekaligus sebagai treatmen untuk konsolidasi objek. (Hati-hati: BTA merupakan senyawa karsinogen atau pemicu kanker, jadi hindari kontak langsung dengan kulit atau terhirup. Gunakan masker dan sarung tangan karet selama bekerja dengan BTA).

Kelemahan pembersihan dengan metode natrium sesquikarbonat dan natrium karbonat adalah tidak mampu menghilangkan lapisan korosi hijau pada permukaan tembaga. Namun hal ini tidak menjadi masalah karena seringkali permukaan kerak hijau tidak dihilangkan karena dianggap sebagai patina. Jadi disesuaikan dengan kebutuhan, apakah lapisan kerak hijau akan dihilangkan atau tidak. Jika tidak dihilangkan karena dianggap sebagai patina maka metode tersebut dapat digunakan. Pembersihan dengan BTA juga hanya mampu menghilangkan sedikit lapisan hijau. Jika pembersihan menghendaki sampai semua lapisan kerak dihilangkan maka bisa menggunakan bahan kimia lain yang lebih kuat. Bahan yang dapat digunakan adalah Garam Rochelle alkali yang dikombinasikan dengan asam sulfat encer (Plenderleith, 1957). Pertama kali objek dibersihkan dengan garam Rochelle alkali dan selanjutnya dinetralkan dengan asam sulfat encer.

2.5 Artefak Logam Tembaga pada kapal karam

Gambar 2. Mangkuk dan piringan tembaga tinggalan bawah air

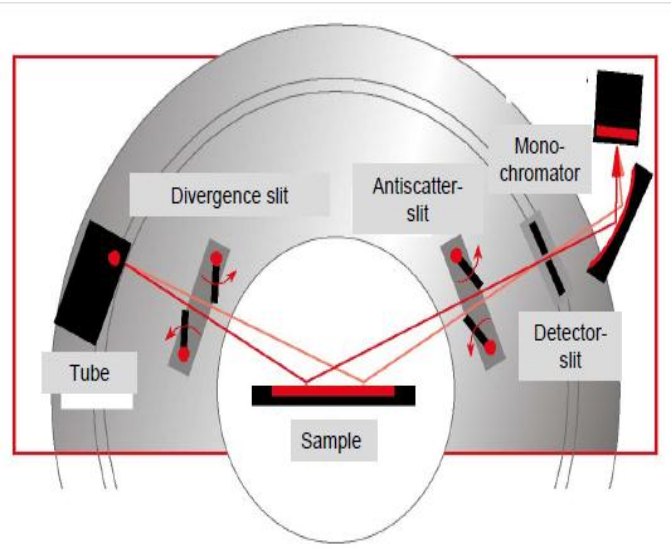
Hasil penelitian menunjukan bahwa mangkuk dan piringan ini terbuat dari tembaga. Pemeriksaan dengan SEM menujukan adanya korosi pada permukaan. Untuk membuktikan hasil dan kandungan dari korosi logam tembaga yang ada dibutuhkan penggunaan alat-alat seperti, Handy Microscope, SEM, XRD, dan XRF untuk dapat membantu dalam mengungkapkan informasi lebih lanjut mengenai benda tembaga kuno diambil dari lingkungan laut.

2.6 X-ray Difraction (XRD)

Spektroskopi difraksi sinar-X (X-ray difraction/XRD) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Komponen utama XRD yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel holder dan detektor. Instrument XRD memberikan data-data difraksi dan kuantitatif intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ. Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).

Suatu kristal yang dikenai oleh sinar-X tersebut berupa material (sampel), sehingga intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan

(*interferensi destruktif*) dan ada juga yang saling menguatkan (*interferensi konstruktif*). Suatu material jika dikenai sinar-X maka intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar datang, hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya yang sama. Berkas sinar-X yang menguatkan (interferensi konstruktif) dari gelombang yang terhambur merupakan peristiwa difraksi (Taqiyah, 2012).



Gambar 3. Skema komponen pada XRD (*Basics-in-XRD Bruker AXS*

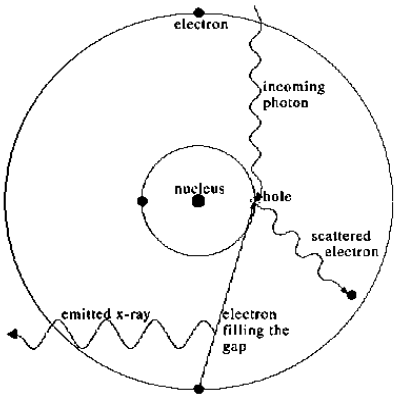
2.7 X-Ray Fluourescence (XRF)

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa

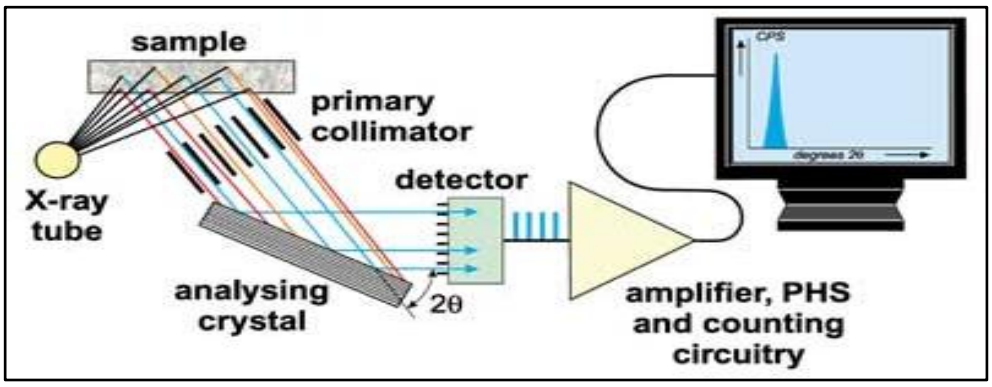
unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur di lakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisi jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. XRF ada dua jenis yaitu WDXRF (*Wave Length Dispersive* XRF) dan EDXRF (*Energy Dispersive* XRF).

1. jenis XRF yang pertama adalah WDXRF (*Wavelength-dispersive X-ray Fluorescence*) yang membedakan setiap radiasi flouresens spesifik dari suatu unsur berdasarkan energi foton yang dihasilkan setelah proses radiasi (Gosseau, 2009).

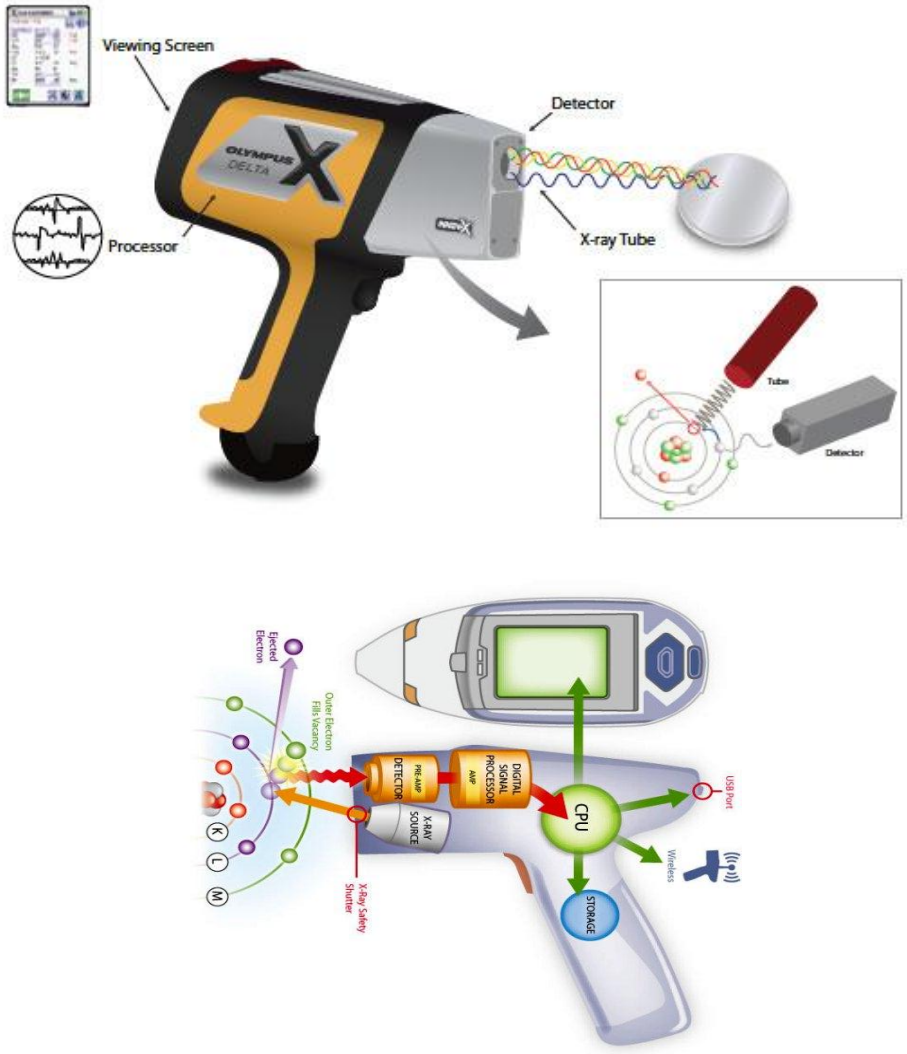
2. Jenis XRF yang kedua adalah EDXRF. EDXRF (*Energy-dispersive X- ray Fluorescence*) yang memisahkan setiap radiasi flouresens sinar X kesudut refleksi tertentu berdasarkan panjang gelombangnya (Gosseau, 2009).



Gambar 4. Ilustrasi sinar X dengan cuplikan



Gambar 5. Bagan kerja XRF



Gambar 6. Bagan kerja XRF portable

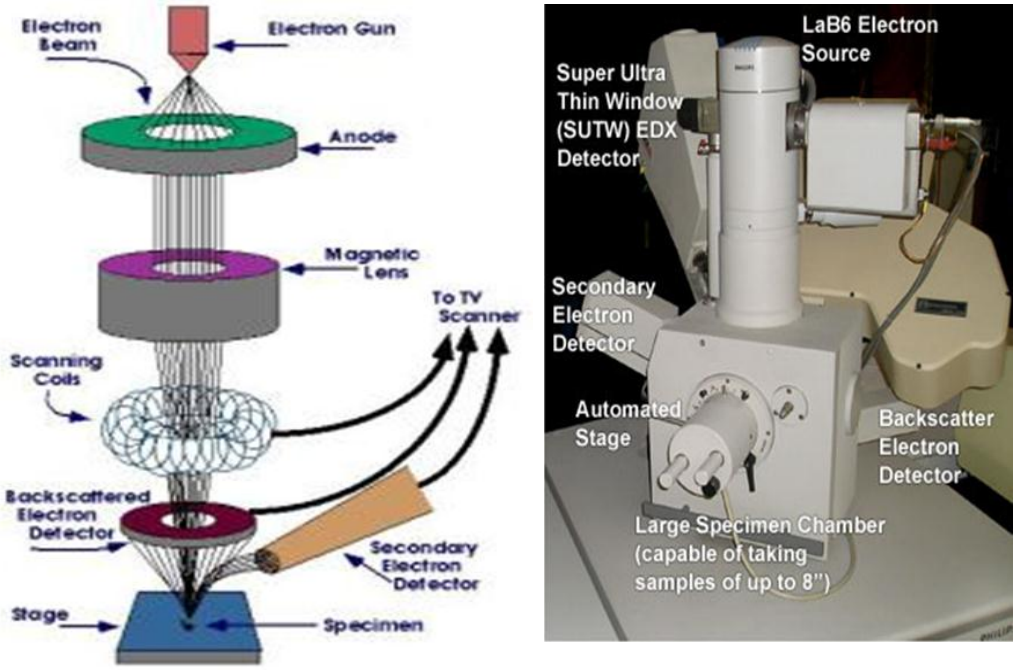
2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain guna menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memilki perbesaran 30-3000000×, *depth of field* 4 - 0,4 mm dan resolusi sebesar 10 nm. Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

1. Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya(kekerasan, sifat memantulkan cahaya dan sebagainya).
2. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada integrated circuit (ic) dan chip, dan sebagainya).
3. Komposisi, yaitu data kuantitaif unsur dan senyawa yang terkandung dalam objek(titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
4. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir didalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

Pada prinsipnya cara kerja SEM dimulai dari berkas elektron berinteraksi dengan sampel yang akan menghasilkan *Scondary Electron* (SE) yang didalam detektor SE tersebut diubah menjadi sinyal listrik selanjutnya akan menghasilkan gambar pada monitor. Sinyal yang keluar dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarakan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Apabila jumlah elektron yang dipancarkan semakin banyak maka gambar yang dihasilkan semakin terang dan demikian sebaliknya.

Skema prinsip kerja SEM ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema prinsip kerja SEM

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai konesrvasi logam tembaga tinggalan budaya bawah laut telah banyak di teliti diantaranya penelitian tentang pengaruh penambahan agen chelat EDTA untuk menghambat laju korosi pada logam tembaga. penelitian ini menggunakan metoda penentuan korosi melalui pengukuran resistansi logam, dimana kenaikan resistansi pada logam yang terkorosi semakin meningkat. Pengukuran korosi dilakukan terhadap kawat tembaga dan kawat tembaga yang dichelat dengan media pengkorosi H_2SO_4 1M. Hasil penelitian terhadap kawat tembaga dengan panjang 3 m dan diameter 0,5 mm yang dichelat dengan EDTA 1 M menujukan penurunan korosi sebesar 20,6% (Nuryanto, 2007).

Pada penelitian lain untuk menghilangkan secara mekanis kerak dan korosi dari artifak tembaga dengan cara merendam benda logam tembaga dalam 5-10% asam sitrat, dengan 1-4 persen tiourea ditambahkan sebagai (plenderleith, 1986). Asam sitrat harus digunakan hati-hati karena dapat melarutkan senyawa cupric dan cuprous. Dengan lama waktu proses satu jam sampai beberapa hari dalam proses perendaman, bila spesimen sangat tipis, rapuh dam memilki detail halus perawatan asam sebaiknya jangan dilakukan dan diganti dengan natrium heksametafosfat 5-15 persen (Plenderweith dan Werner, 1971). Hal ini berguna untuk mengubah garam kalsium dan magnesium yang tidak larut menjadi garam terlarut.

Pengujian dengan metode Planned-Interval Test dalam interval waktu (0-5) hari, (0-10) hari, (0-15) hari dan (10-15) hari menunjukkan perubahan kondisi lingkungan dan perilaku korosi tembaga. Perubahan kondisi lingkungan ini ditunjukkan oleh penurunan pH dan peningkatan nilai konduktivitas lingkungan. Penurunan pH dari 7,6 ke 7,1 pada interval waktu (0-5) hari karena reaksi hidrolisis dan dekomposisi asam askorbat (AA). Sedangkan nilai konduktivitas yang semakin tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya ion-ion terlarut dalam lingkungan. Kedua perubahan ini menimbulkan peningkatan pada korosivitas lingkungan. Korosivitas tertinggi dijumpai pada interval waktu (10-15) hari , terbukti dengan laju korosi paling besar. Efisiensi AA tertinggi untuk semua variasi lingkungan NaCl dan $CaSO_4$ terjadi pada 150 ppm. Kurang atau lebih dari 150 ppm , AA tidak akan berfungsi sebagai inhibitor karena selain jumlah AA yang tidak memadai untuk inhibisi juga dipakai bersama ion logam membentuk senyawa kelat yang meningkatkan laju korosi (Tjitro, dkk. 2000).

Informasi mengenai objek logam kuno, termasuk komposisi, elemen dan mikro, serta proses manufakturnya, dapat memberikan data penting tentang prosesnya, penggunaan kemungkinannya, asal dan teknologi dari waktu ke waktu. Interaksi antar budaya seperti perang atau koneksi perdagangan juga dapat diperiksa melalui data ini. Informasi ini juga dapat membantu dalam meningkatkan proses konservasi benda. Ilmu material dan rekayasa sudut pandang, sangatlah menarik untuk mengeksplorasi cara-cara di mana logam telah digunakan dalam proses pembuatan benda-benda logam di peradaban kuno. Menggabungkan percobaan empiris bahan dan model teoritis memungkinkan

apresiasi untuk efek struktur sifat material. Hubungan antara struktur mikro dan sifat mekanik memungkinkan manipulasi dan pengendalian sifat logam dengan proses seperti pengecoran, pengerjaan dingin, kerja panas, pemanasan dan pendinginan. Aspek teknologi ini diperkuat dan menjadi lebih menarik setelah reaksi dari logam tembaga dengan lingkungan dasar laut (Mentovich dkk., 2010).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Bahan

a. Serpihan logam tembaga mangkuk dan piringan dari tinggalan budaya bawah air (Laboratorium Balai Konservasi Borobudur)
b. Natrium Karbonat(Na_2CO_3) 5% (Teknis)
c. Natrium Hidroksida (NaOH) (Merck)
d. Natrium bikarbonat ($NaHCO_3$) (soda kue)
e. Akuades (Laboratorium Balai Konservasi Borobudur)
f. Jeruk Nipis

4.2 Alat

a. Handy micsroscope (Rohs)
b. (X-Ray Powder Difraction) XRD (D8 FOCUS)
c. (X-Ray Fluorescence) XRF Portabel (Olympus DP-2000 High Count Rate)
d. (Scaning Electron Microscope) SEM (Jeol JSM T300)
e. Bak plastik
f. Sikat
g. Pahat
h. Palu
i. Skavel
j. Kamera
k. Kuas

4.3 Cara Kerja

A. Identifikasi Sampel

Identifikasi tingkat pelapukan dilakukan dengan pengamatan visual pada obyek. Objek dikelompokkan dan dilakukan pelaksanaan penanganan sesuai tingkat keaktifan korosi.

B. **Analisis dan karakterisasi objek**

Analisis dan karakterisasi objek dengan Handy microscope, XRD, XRF dan SEM pada permukaan obyek dan permukaan korosi. Sebelum dipasivasi dan deaktivasi diambil sampel korosi yang menempel pada permukaan objek dan permukaan korosi dengan cara pengikisan menggunakan skavel sampai menghasilkan serbuk untuk alat XRD, XRF dan SEM, sedangkan untuk handy microscope hanya dengan menempelkan sampel pada microscope karena sampel yang digunakan berukuran kecil.

C. **Pasivasi dan Deaktivasi**.

1) Sampel direndam dalam larutan Natrium Karbonat 5 %. pH larutan dijaga antara 11-13, jika pH turun maka harus dinaikkan sampai pada rentang tersebut dengan larutan Natrium Hidroksida.
2) Perendaman dilakukan sekitar 1 minggu, selanjutnya di bilas air keran dilanjutkan dengan akuades. Objek dikeringkan dan dilihat perkembangannya.
3) Jika masih terjadi korosi maka proses diulang.
4) Sampel dilapisi pasta yang dilapisi dari campuran soda kue

($NaHCO_3$) dan jeruk nipis.

5) Sebelum proses pasivasi selesai, belum boleh dilakukan pembersihan kerak atau karat. Lapisan kerak akan menjadi pelindung alami sementara.

6) Pembersihan manual

Alat yang digunakan adalah; sikat, skavel, jarum, pahat dan palu kecil, dan alat-alat lainnya. Tingkat pembersihan disesuaikan dengan tingkat korosi objek:

a. Jika objek masih jelas bentuknya maka diusahakan agar bisa sebersih mungkin.

b. Jika bentuk objek sudah kurang jelas maka pembersihan harus hati-hati agar bagian dari benda tidak ikut terlepas pada saat melepaskan kerak. Tidak semua kerak harus bersih, utamakan untuk mempertahankan / menemukan bentuk benda.

c. Jika korosi sudah sangat lanjut, bentuk benda sudah tidak terlihat sama sekali, maka pembersihan mekanik hanya pada permukaan saja. Penghilangan kerak secara total akan menghilangkan bentuk benda.

7) Evaluasi bentuk objek, pada tahap ini semua kerak yang disebabkan oleh karang atau kerak yang bukan hasil korosi sudah harus bersih. Sisa karat atau kerak korosi mungkin belum sepenuhnya bersih, sesuai tingkat pelapukan objek.

10) Pembersihan, tahap pembersihan ini merupakan inti dari kegiatan konservasi, sehingga harus bisa menuntaskan permasalahan konservasi objek hingga dapat bertahan untuk jangka panjang.
11) Pembilasan dan pengeringan, di akhir dari semua tahap tersebut dilakukan pembilasan sampai betul-betul bersih dari klorida dan dari larutan yang digunakan.
12) Dokumentasi, semua tahapan proses harus didokumentasikan secara lengkap dan detail.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari penelitian konservasi serpihan logam tembaga mangkuk dan piringan tinggalan budaya bawah air ini menghasilkan tiga bagian yaitu identifikasi pelapukan, analisis dan karakterisasi, pasivasi dan deaktivasi korosi.

5.1 Hasil indentifikasi pelapukan material logam tembaga tinggalan budaya bawah air

Identifikasi tingkat pelapukan dapat dilakukan dengan membandingkan dan memperhatikan setiap obyek yang mengalami korosi. Korosi logam tembaga bawah air tidak seperti logam lainnya, karena logam tembaga merupakan logam mulia yang sering bertahan pada kondisi lingkungan yang buruk termasuk dalam perendaman air garam (bawah laut). Obyek korosi yang terjadi pada logam tembaga menunjukkan bahwa logam tembaga mangkuk dan piringan ini memiliki jenis korosi yaitu korosi aktif dan korosi pasif.

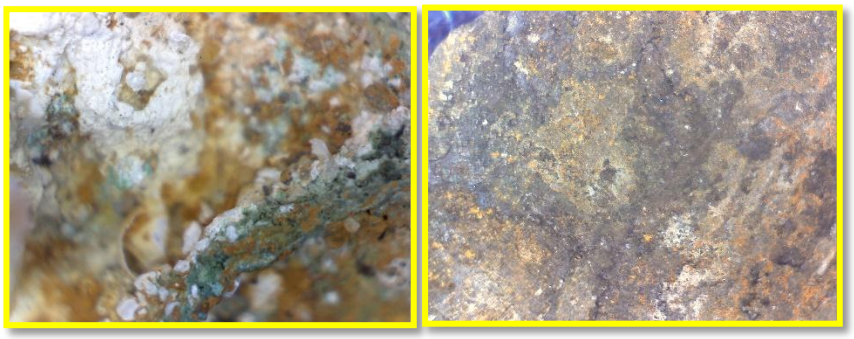
Ciri-ciri korosi aktif pada artefak paduan tembaga sebagai berikut:

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

Ciri-ciri korosi pasif pada artefak paduan tembaga:

- Bersifat koheren atau jelas, melekat, dan halus.
- Memiliki variasi dalam warna dari merah, coklat, hitam, dan biru sampai nuansa warna hijau.

.



8a 8b

Gambar 8. Pelapukan dan korosi material logam tembaga (a) aktif (b) pasif

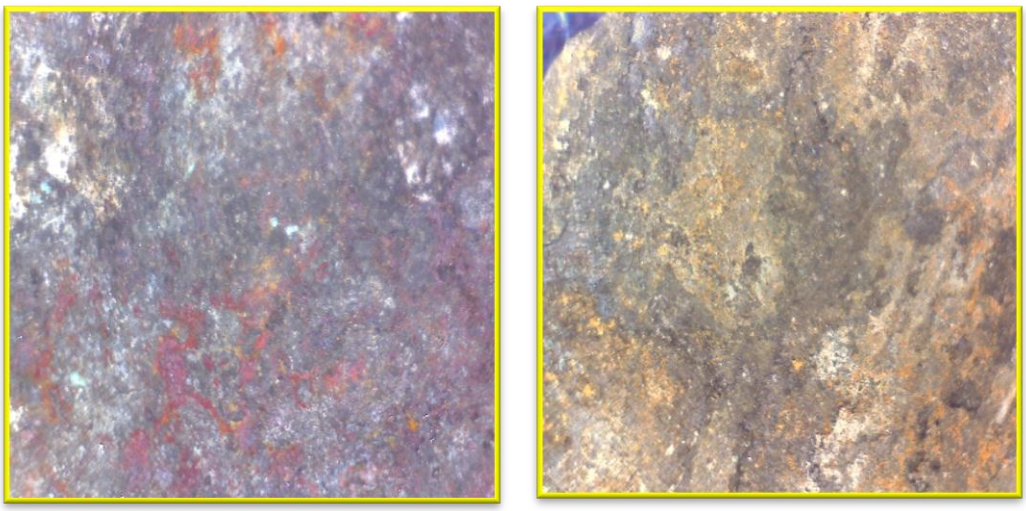
Gambar 8 menujukan pelapukan dan korosi yang terjadi pada logam tembaga mangkuk dan piringan tinggalan budaya bawah air. Pada Gambar 8a merupakan korosi aktif dilihat dengan adanya lapisan permukaan berwarna hijau yang disebabkan polutan klorida yang menempel pada permukaan logam. Pada Gambar 8b pasif karena memiliki variasi warna dari merah,coklat dan hitam yang merupakan ciri dari korosi pasif.

Benda tembaga dalam air laut dikonversi menjadi tembaga dan tembaga sulfida (Cu_2S dan CuS) dengan aksi *sulfate-reduction* oleh bakteri , Di lingkungan anaerobik, produk tembaga sulfida biasanya di keadaan oksidasi terendah, seperti juga sulfida besi dan sulfida perak (Gettens dkk, 1964).

5.2 Karakterisasi Permukaan Korosi Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air

5.2.1 Karakterisasi permukaan korosi logam tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan handy microscope

Karakterisasi permukaan obyek korosi tahap pertama menggunakan *Handy Microscope* yang memiliki kemampuan perbesaran sampel objek sampai 500 kali. Hasil karakterisasi obyek menggunakan *handy microscope* ditunjukkan pada **Gambar 9.**



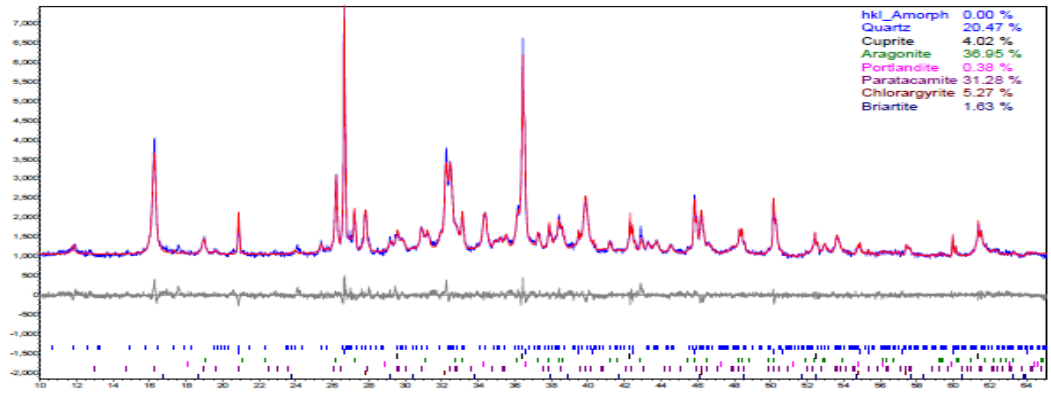
a b

Gambar 9. Korosi material logam tembaga(Cu) (a) korosi aktif , (b) korosi pasif

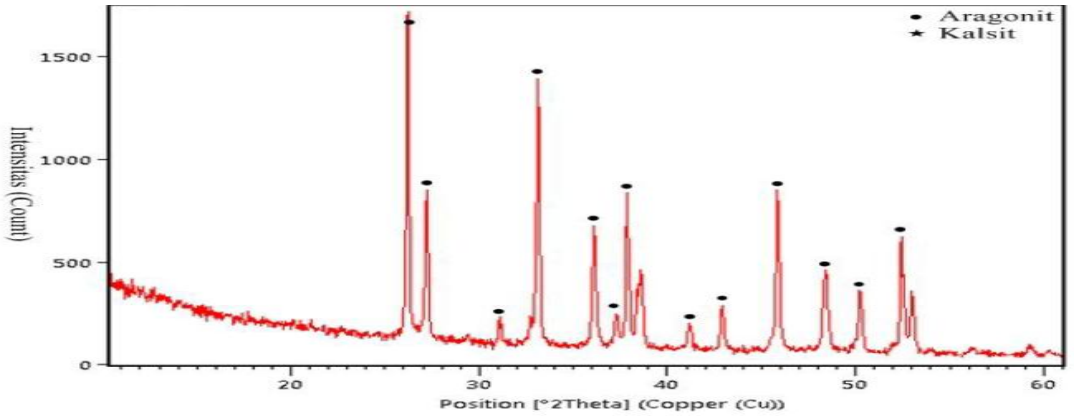
Gambar 9 menunjukkan adanya korosi pada materi logam tembaga(Cu) tinggalan budaya bawah air yang dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu korosi aktif seperti terlihat pada Gambar 9a dan korosi pasif seperti terlihat pada Gambar 9b.

5.2.2 Karakterisasi permukaan korosi logam tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan XRD

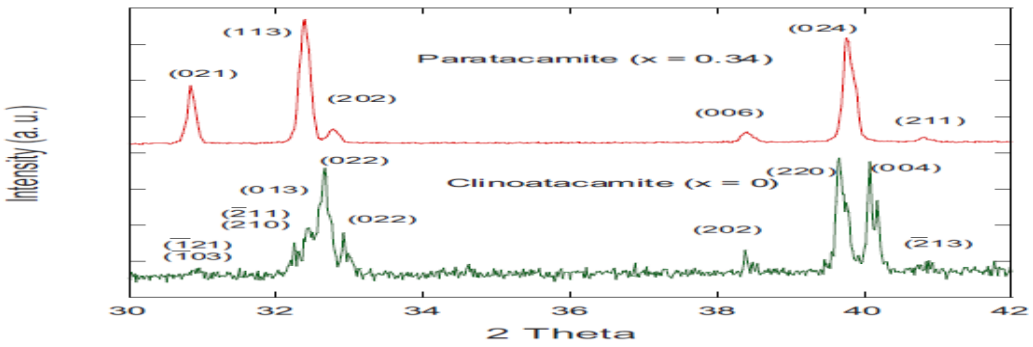
Karakterisasi permukaan korosi tahap pertama menggunakan XRD ditunjukan pada **Gambar 10.**



Gambar 10. Difraksi sinar X pada korosi logam tembaga



Gambar 11. Hasil difraksi sinar X korosi logam tembaga (Wahyuni dkk, 2015)



Gambar 12. Hasil difraksi sinar X korosi logam tembaga (chu dkk, 2011)

Gambar 10 menunjukan adanya puncak 2θ pada 27,77^{o} dan 36,5^{o}. Puncak puncak tersebut merupakan puncak dari aragonite dan paratacamite. Hal ini sudah dilakukan pada penelitian yang menemukan adanya *Aragonite* pada puncak 2θ pada 26,80^{o} wahyuni, dkk (2015) dan *Paratacamite* yang menemukan puncak 2θ pada 39,56^{o} (chu dkk, 2011). Komposisi mineral hasil analisis karakterisasi menggunakan XRD dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakterisasi permukaan korosi menggunakan XRD

NO	Mineral	Kadar %
1	Quartz	20,47%
2	Cuprite	4,02%
3	Aragonite	36,95%
4	Portlandite	0,38%
5	Paratacamite	31,28%
6	Chlorarghyrite	5,27%
7	Briartite	1,63%

Berdasarkan hasil dari uji karaterisitik menggunakan XRD aragonite memliki puncak tertinggi dengan kadar 36,95%, Aragonite sendiri merupakan mineral karbonite $CaCO_3$ (bentuk lainnya adalah *mineral kalsit* dan *veterit*) yang paling umum ada di alam. Mineral ini terbentuk akibat proses biologi dan fisika, termasuk presipitasi lingkungan laut dan air tawar. Selain *aragonite* terdapat pula logam paratacamite dengan kadar 31,28%, *Paratacamite* sendiri merupakan

mineral golongan halida dengan rumus molekul $Cu_2Cl(OH)_3$ dari dua hal ini dapat di ketahui yang berperan dalam korosi aktif pada logam tembaga adalah aragonite dan paratacamite

5.2.3 Karakterisasi permukaan korosi logam tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan XRF

Berdasarkan hasil analisis dan karakterisasi permukaan korosi material mangkuk dan piringan logam tembaga tinggalan budaya bawah air menunjukan adanya unsur yang berbeda seperti yang terlihat pada Tabel 2.

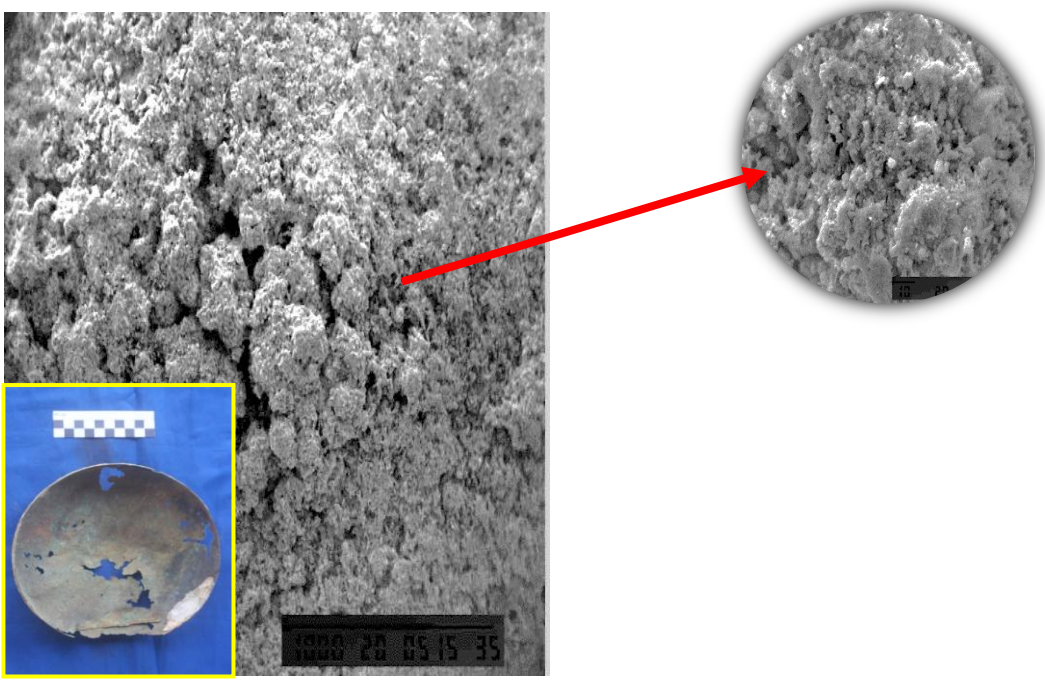
Tabel 2. Karakterisasi permukaan korosi menggunakan XRF

No	Unsur	Korosi aktif (%)	Korosi Pasif (%)
1.	Cu	14,315	16,527
2.	Ca	22,069	15,831
3.	Cl	4,352	5,736
4.	SiO_2	6,920	11,370
5.	Fe	0,657	2,875
6.	K	0,598	0,417
7.	S	0,233	0,732
8.	Ti	0,063	-
9.	Al	-	1,138

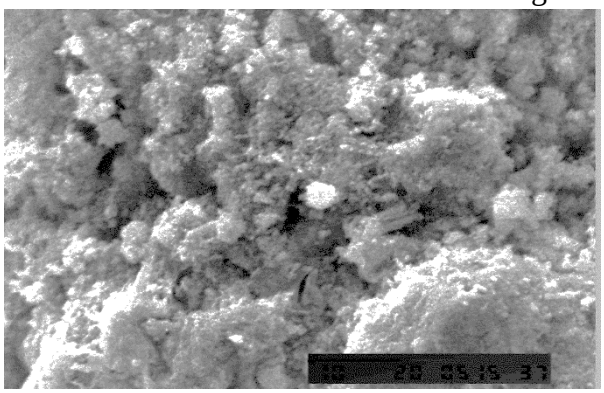
Tabel 2 menunjukkan hasil dari karakterisasi korosi material logam tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan XRF. Pada Tabel 2 dapat dilihat adanya unsur terbesar hasil atau produk korosi, yaitu Kalsium (Ca) yang memilki korosi aktif sebesar 22,069% dan korosi pasif 15,831% yang mempengaruhi proses korosi logam tembaga.

5.2.4 Karakterisasi permukaan korosi logam tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan SEM

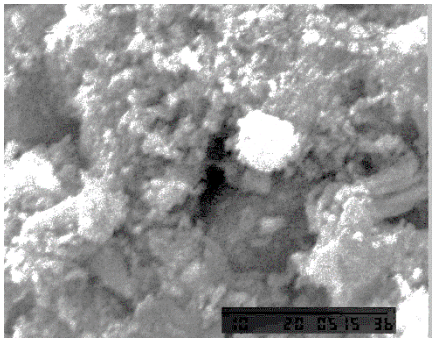
Hasil analisis dan karakterisasi permukaan korosi pada logam tembaga mangkuk dan piringan tinggalan budaya bawah air menggunakan SEM *(Scanign Electron Microscopy)* ditunjukkan pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 13. Hasil karakterisasi korosi logam tembaga dengan SEM 50 kali



Gambar 15. Hasil karakterisasi logamtembaga dengan SEM 2000 kali



Gambar 16. Hasil karakterisasi logam tembaga dengan SEM 5000 kali

Dari gambar 13, 14,15 dan 16 terlihat betul bahwa permukaan logam tembaga mangkuk dan piringan mengalami korosi berupa permukaan yang tidak rata dan terdapat kars dan korosi pada permukaan.

5.3 Pasivasi atau Deaktivasi Korosi Material Logam Tembaga Tinggalan Budaya Bawah Air

Pasivasi atau deaktivasian korosi adalah pemberhentian korosi pada objek dengan cara/metode tertentu. Pada tahap pasivasi dalam penelitian ini, sampel direndam dalam larutan natrium karbonat 5%. Nilai pH larutan dijaga antara 11-13, jika pH turun maka harus dinaikkan sampai pada rentang tersebut dengan larutan natrium hidroksida. Selanjutnya obyek dibilas dengan air dilanjutkan akuades. Obyek dikeringkan dan dilihat perkembangannya, jika masih terjadi korosi maka proses diulang sampai korosi berhenti. Perendaman pada penelitian ini dilakukan sampai lima bulan, dan larutan perendam diganti sekitar empat hari sampai satu minggu sekali. Selanjutnya objek dilapisi pasta yang dibuat dari campuran soda kue dan jeruk nipis.

Sebelum proses pasivasi selesai, tidak boleh dilakukan pembersihan kerak atau karat. Lapisan kerak akan menjadi pelindung alami sementara. Selanjutnya dilakukan pembersihan manual menggunakan alat seperti: sikat, skavel, jarum, pahat, palu kecil, dan alat-alat lainnya. Setelah proses pembersihan manual selesai, objek diidentifikasi berbagai permasalahan yang ada, bentuk fisik diperjelas dan setiap fragmen yang lepas selama proses dikumpulkan dan diuji coba untuk rekonstruksi. Selanjutnya dilakukan pembersihan dengan pencucian menggunakan air sabun, air buah jeruk nipis, dan dibilas dengan akuades. Setelah

selesai pembilasan dengan akuades dilanjutkan dengan pengeringan. Proses pengeringan dilakukan dengan pemanasan pada terik matahari.

Hasil analisis dan karakterisasi objek menggunakan XRF sebelum dan sesudah pasivasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakterisasi permukaan korosi logam tembaga tinggalan budaya bawah air menggunakan XRF sebelum dan sesudah pasivasi

No	Unsur	Sebelum		Sesudah	
		Sampel 1 Korosi aktif	Sampel 2 Korosi Pasif	Sampel 1	Sampel 2
		Kadar (%)	Kadar (%)	Kadar (%)	Kadar (%)
1.	Cu	14,315	16,527	62,852	68,221
2.	Ca	22,069	15,831	3,038	3,682
3.	Cl	4,352	5,736	2,687	2,296
4.	SiO_2	6,920	11,370	3,353	1,637
5.	Fe	0,657	2,875	3,309	2,365
6.	K	0,598	0,417	0,145	0,395
7.	S	0,233	0,732	0,211	0,205
8.	Ti	0,063	-	-	-
9.	Al	-	1,138	0,236	0,258

Karakterisasi material korosi tembaga menggunakan XRF sebelum dan sesudah dipasivasi ditunjuki dengan (Tabel 3) menunjukan perbedaan data yang signifikan. Pada obyek korosi aktif dan pasiv sebelum pasivasi menunjukan adanya kalsium (Ca) yang merupakan hasil utama dari korosi material tembaga tinggalan bawah air, sedangkan pada obyek hasil uji 1 dan 2 setelah pasivasi menunjukan perbedaan yang sangat signifikan, dimana kalsium (Ca) sudah turun

secara drastis. Dari perbedaan ini dapat disimpulkan bahwa proses korosi pada obyek telah hilang dan terhenti.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil identifikasi dari pelapukan pada penelitian ini adalah ada tiga jenis korosi yaitu, lapisan putih, lapisan hijau, lapisan merah.
2. Karakterisasi menggunakan Handy Microscope pada obyek dihasilkan dua jenis korosi, yaitu korosi aktif dan korosi pasif. Hasil dari XRD pada korosi pasif diperoleh mineral aragonite sebanyak 36,95% pada 2θ = 27,77o dan mineral paratacamite 31,28% pada 2θ = 36,5o. Dari hasil XRF material mangkuk tembaga didapat hasil bahwa unsur kalsium yang mempunyai persentase tertinggi yaitu 22,069% dan 15,831%. Hasil dari SEM memperlihatkan dengan jelas adanya korosi yang terjadi pada material logam tembaga tinggalan budaya bawah air berupa kondisi permukaan yang tidak rata dan adannya kars (karang) yang menempel pada logam.
3. Deaktivasi atau pasivasi menggunakan larutan 5% Na_2CO_3 dengan pH 11-13, pelapisan dengan pasta natrium bikarbonat dan air jeruk nipis terbukti dapat menghilangkan patina (konkresi dan korosi) yang terdapat dalam logam tembaga tinggalan budaya bawah air.

DAFTAR PUSTAKA

Cahyandaru, Nahar. (2011). *Metode penanganan konservasi peninggalan bawah air.* Balai Konservasi Borobudur, Magelang, Jawa Tengah.

Chamberlain j. Trethwey KR., (1991). *KOROSI* (Untuk Mahasiswa dan Karyawan), PT Gramedika Pustaka Utama ,Jakarta.

Chu, S. Moller, p. Nocera, D.G and Lee, Y.S. hydorthermal growth of single crystals of the quantum magnets: clinoatacamite, paratacamite, and herbersmithe. Massachutes institute of technolgy, cambridge, USA.

Djalal, Hasjim. 2010. Negara Kepulauan Menuju Negara Maritim. Lembaga Laut Indonesia.Jakarta.

Gosseu D. 2009. Understanding of XRF technology and calrification of its aplication for RoHS directives.

Gettens, R. J. 1964. *The Corrosion Products of Metal Antiquities*. Smithsonian Institution Publication 4588. Washington DC.

Hamilton D. L. (1999): Methods of Conserving Archaelogical Material from Underwater Sites, Texas A&M University Press, Texas.

Herman, Z. D., 2006, Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam, Jurnal Geologi Indonesia, Vol 1 No. 1 Maret 2006:31-3.

Hukum Laut Internasional Tahun 1982 (UNCLOS).

Keputusan Presiden No. 19 Tahun 2007.

Maaβ, Peter and Peibker, Peter. 2011. Corrosion and Corrosion Protection. Wileyvch Verlag Gmbh and Co. KgaA. Weinheim. ISBN: 978-3-527-32324-1.

Mentovich, E.D., Schreiber, D.S., Goren, Y., Kahanov, Y., Goren, H., Cvikel, D. & Ashkenazi, D. (2010). New insights regarding the Akko 1 shipwreck: a metallurgic and petrographic investigation of the cannonballs. *Journal of Archaeological Science* 37 (10), 2520–2528

MacLeod, I. D. 1987. Conservation of Corroded Copper Alloys: A Comparison of New and Traditional Methods for Removing Chloride Ions. *Studies in Conservation* 32:25-40.

Munandar, Aris. 2014. Konservasi Benda Cagar Budaya Berbahan Besi, Perunggu dan Kuningan. Makalah disampaiakan dalam Diskusi Prakajian Metode

Konservasi Tradisional, tanggal 8 April 2014 di Hotel Grand Artos Magelang.

Undang-Undang No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya.

Oddy, W. A., and M. J. Hughes. 1970. The Stabilization of Active Bronze and Iron Antiquities by the Use of Sodium Sesquicarbonate. *Studies in Conservation* 15:183-189

Plenderleith, H. J. 1956. *The Conservation of Antiquities and Works of Art*. Oxford University Press.

Plenderleith, H. J., and A. E. A. Werner. 1971. *The Conservation of Antiquities and Works of Art*. Revised Edition. OxfordUniversity Press.

Nuryanto, R., Lusiana, R.A.and Khabibi. 2007. Penambahan EDTA Inhibitor Pada Laju Korosi Logam Tembaga.

Tjitro, S. Anggono, J., Angorowati, A. A.and Phengkusakmo, G., Studi Perilaku Korosi Tembaga dengan Variasi Konsentrasi Asam Askorbat (Vitamin C) dalam Lingkungan Air yang Mengandung Klorida dan Sulfat.

Swastikawati, A., Kusumawati, H.,Supandi, and Y.,Atmaja, Y. 2015. *Tanin sebagai Inhibitor Korosi Logam Besi Cagar Budaya*. Balai Konservasi Borobudur. Magelang, Jawa Tengah.

Swastikawati, Ari. 2011. Teori Konservasi Kayu**.** Makalah disampaikan dalam pelatihan Tenaga Teknis Konservasi Tingkat Menengah, Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Direktorat Jenderal Sejarah dan Purbakala, Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata pada tanggal 25 Juli sampai 13 Agustus 2011.

Sunarno. 2010. Penanganan Konservasi: Perawatan dan Restorasi Kayu. Makalah disampaikan dalam Bimbingan Teknis Konservasi Peninggalan Bawah Air, Direktorat Peninggalan Bawah Air. Direktorat Jenderal Sejarah dan Purbakala.

Taqiyah, R. (2012). *Perbandingan Struktur Kristal dan Morfologi Lapisan Tipis Barium Titanat (BT) dan Barium Zirkonium Titanat (BZT) yang ditumbuhkan dengan Metode Sol-Gel.* Surakarta: Skripsi, Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.

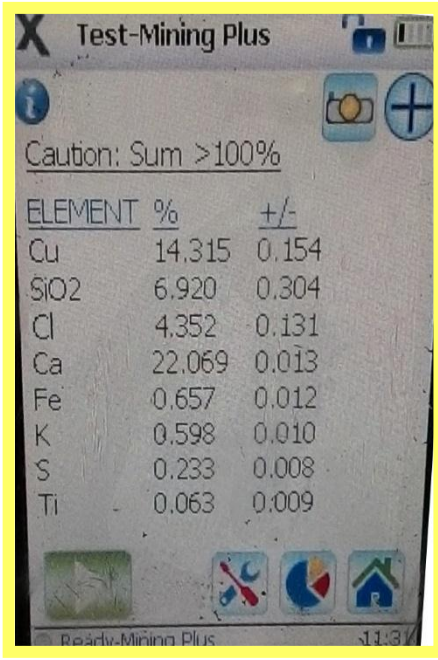
Widyawati, N. (2012). *Analisa Pengaruh Heating Rate terhadap tingkat Kristal dan Ukuran Butir Lapisan BZT yang Ditumbuhkan dengan Metode Sol Gel*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Wahyuni, S. Darvina, Y. dan Ramli. (2015) Optimalisasi temperatur kalsinasi untuk mendapatkan kalsit $CaCO_3$ dalam cangkang pensi(*corbicula moltkiana*) yang terdapat di danau maninjau, FISIKA FMIPA UNP.

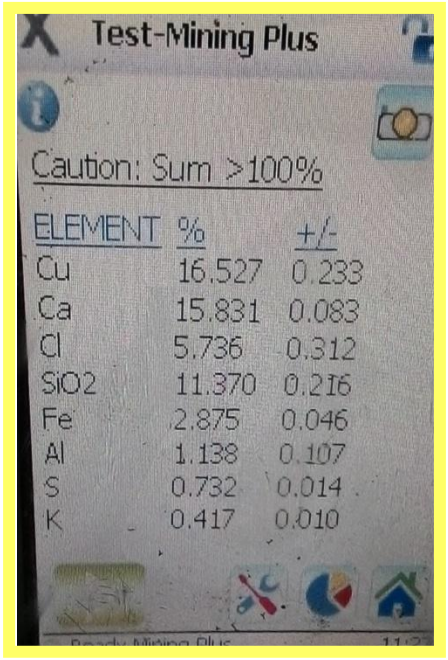
LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil X-ray Flourescence permukaan korosi tembaga tinggalan bawah air sebelum dan sesudah dipasivasi

Sebelum Pasivasi

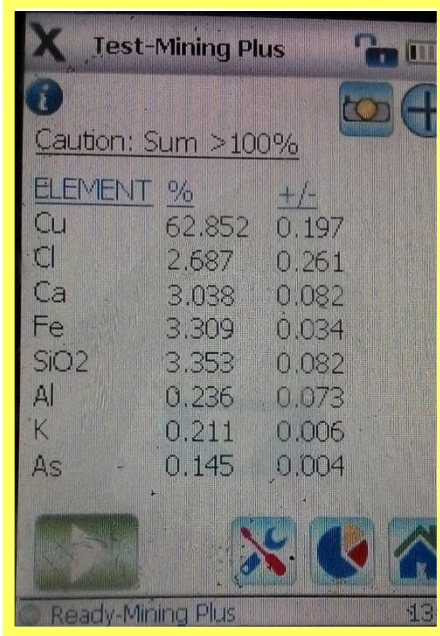


Tembaga korosi aktif

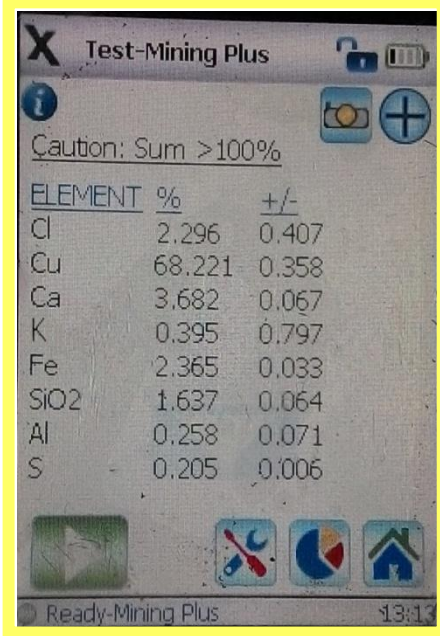


Tembaga korosi pasif

Sesudah Pasivasi



Tembaga korosi aktif



Tembaga korosi pasif

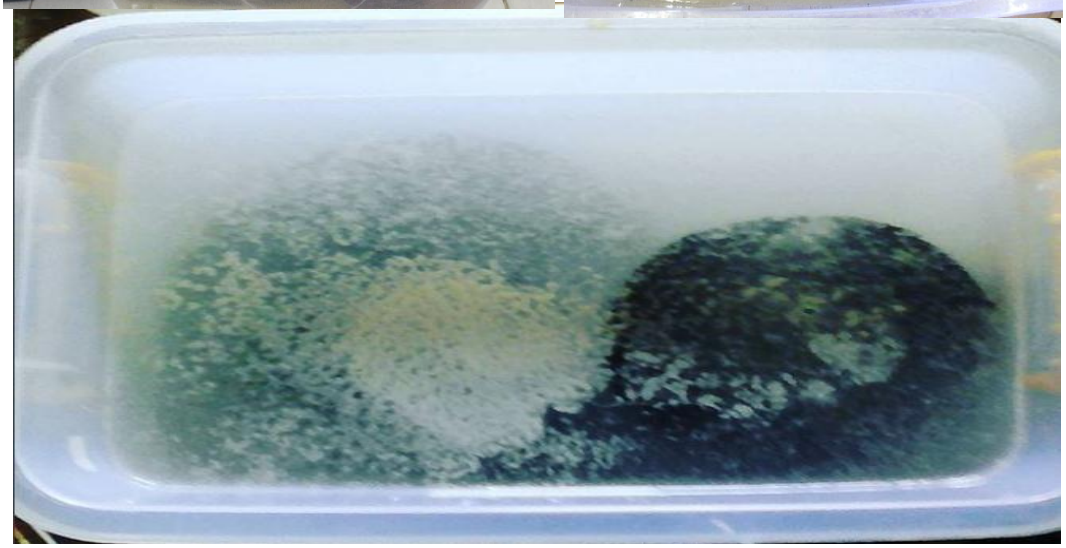
Lampiran 2. Dokumentasi proses konservasi



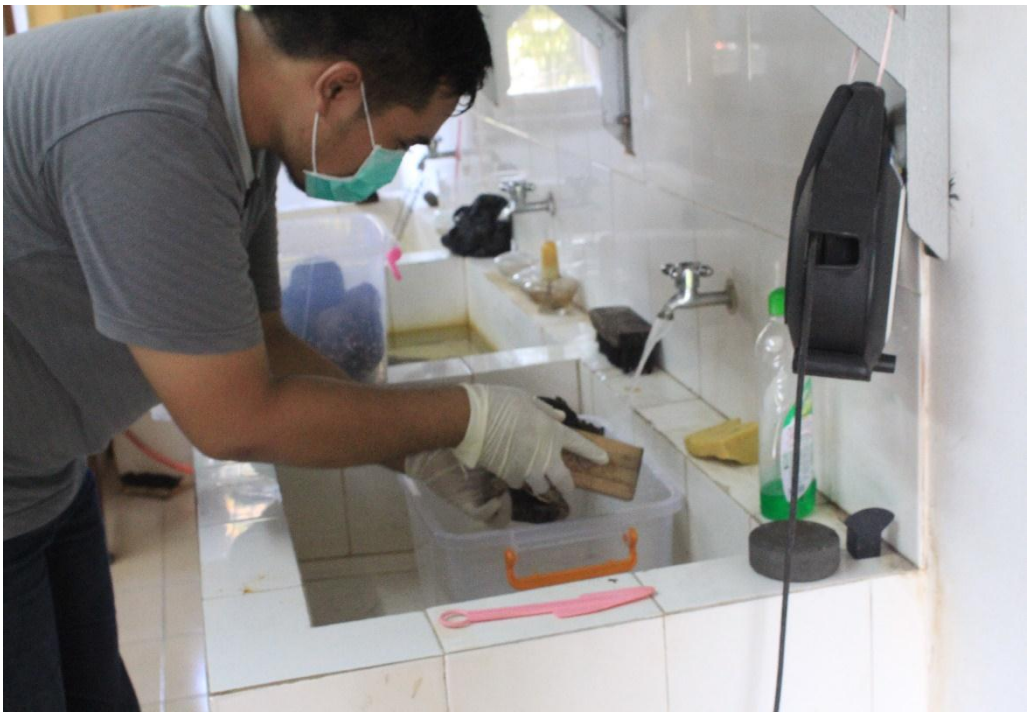


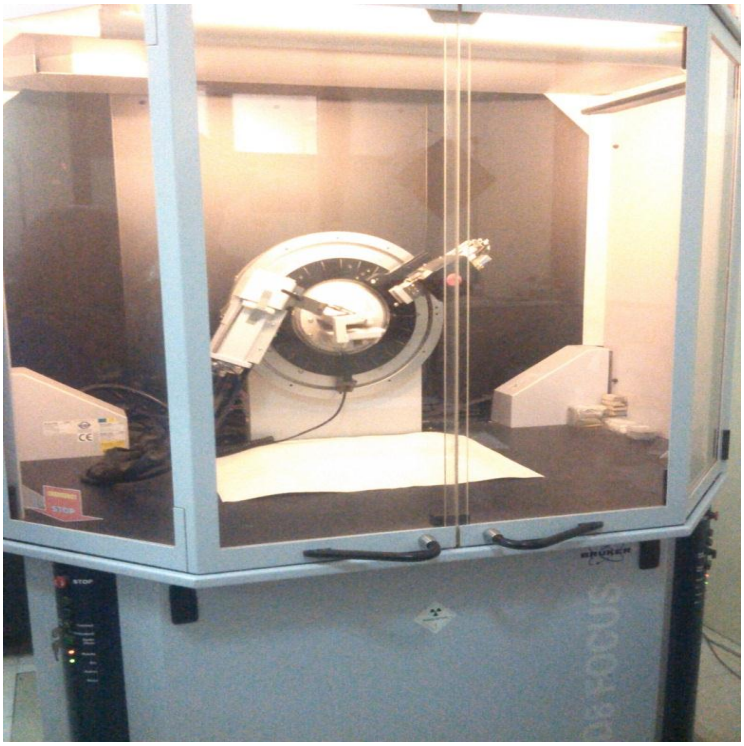













SODA KUE
SODIUM - BICARBONATE
no. 71282
P-IRT NO. 206347101988