

APLIKASI SISTIM PERLINDUNGAN KATODIK PADA KAPAL TENGGELAM SEBAGAI BENDA CAGAR BUDAYA

Eko Julianto S., Sulaiman

Program Diploma III Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstract

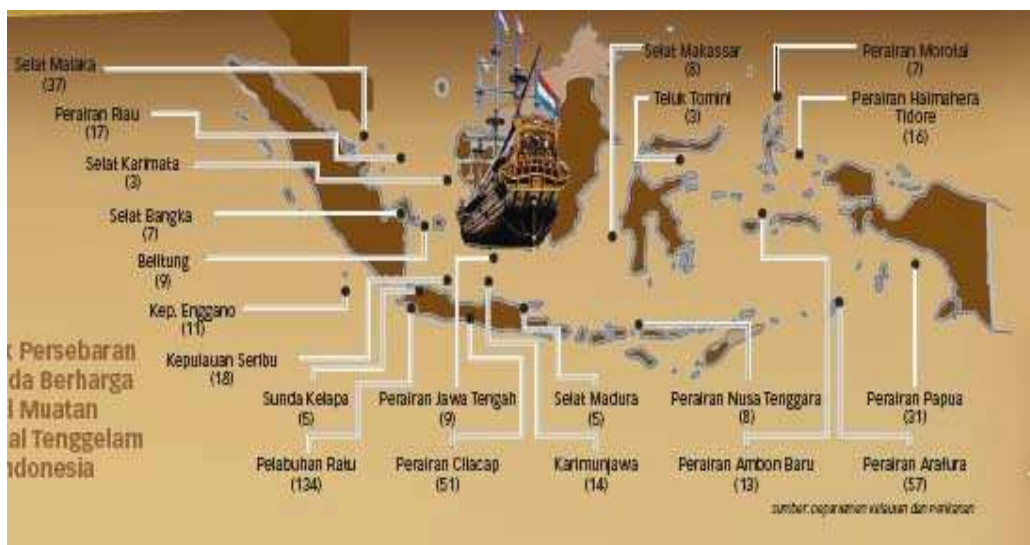
In Indonesia, a lot of cultural heritage made of metal found under water in the form of a shipwreck, cannons, anchors and even submarines. Metal is the material that is prone to damage due to corrosion. Metals are submerged in sea water will corrosion rate at high speed. Cathodic protection system is a way of preventing corrosion with an efficient control of the redox potential and not destructive. Sacrificial anode round method is a cathodic protection system is more practical applied to cultural heritage made of metal found under water. The application field is selected on the steel ship that sank in 1960 in the waters of Karimunjawa, Jepara. The metal used as a sacrificial anode is zinc alloy. Measurement data is resistance, potential and electric current generated in the sacrificial anode zinc alloy and steel ship with outboard boats carried on the location of the shipwreck. Measurements were made with a multimeter, voltmeter and ampere meter. From the calculation, it can be concluded that the cathodic protection system to prevent corrosion of the steel ship that sank as objects of cultural heritage with an area of 1436.61 m^2 within 7 (seven) years requires zinc alloy sacrificial anodes as heavy as 485 kg.

Keywords: shipwreck, cathodic protection, cultural heritage

PENDAHULUAN

Cagar budaya berbahan logam banyak ditemui di Indonesia, dalam berbagai jenis, bentuk, ukuran, baik yang disimpan di dalam ruangan maupun dipajang di luar atau bahkan dibiarkan berada di lokasi aslinya (*in situ*). Di Indonesia banyak ditemukan cagar budaya berbahan logam bawah air berupa kapal tenggelam (*shipwreck*), meriam,

jangkar, bahkan kapal selam. Hal ini terjadi karena Indonesia berada pada jalur pelayaran perdagangan internasional yang sangat ramai. Menurut berita dari situs Departemen Kelautan dan Perikanan, Indonesia memiliki sekitar 460 situs arkeologi bawah air. Berikut ini gambaran persebaran kapal tenggelam di perairan Indonesia (<http://iwandahnial.wordpress.com>):



Gambar 1. Persebaran kapal tenggelam di perairan Indonesia

Sampai saat ini penanganan tinggalan bawah air lebih terfokus pada benda muatan kapal tenggelam (BMKT) yang dianggap lebih bernilai ekonomis. Namun kapalnya sendiri yang juga berpotensi menjadi cagar budaya kurang mendapat perhatian. Cagar budaya yang “diselamatkan” atau diangkat sebagian besar berupa benda-benda yang berukuran relatif kecil, sedangkan kapalnya sendiri tidak ditangani dengan baik. Pengangkatan kapal tenggelam ke permukaan hampir mustahil dilakukan, sehingga perlu metode konservasi *in situ* (dibiarkan berada di lokasi aslinya) untuk menangani cagar budaya tersebut supaya tetap lestari dan umurnya lebih panjang.

Logam merupakan material yang rawan kerusakan akibat korosi. Apabila tidak ada penanganan terhadap cagar budaya berbahan logam, maka seiring bertambahnya usia dan kondisi lingkungan, cagar budaya tersebut beresiko rusak sehingga dapat menghilangkan nilai penting yang terkandung di dalamnya.

Korosi logam disebabkan oleh reaksi logam dengan bahan-bahan lain di lingkungan dengan dibantu adanya air. Logam yang berada di lingkungan terbuka akan terkena air dan kelembaban sehingga mudah mengalami korosi. Demikian juga dengan logam yang terpendam atau terpendam sebagian dapat mengalami korosi oleh pengaruh air tanah. Logam yang terendam dalam air terutama air laut juga akan mengalami korosi dengan laju yang tinggi. Logam yang terkorosi akan mengalami reaksi oksidasi (teroksidasi), sedangkan senyawa pengkorosinya akan mengalami reduksi. Setiap peristiwa korosi logam selalu melibatkan reaksi redoks. Metode pencegahan korosi dengan mengendalikan potensial redoks merupakan cara yang efisien dan non destruktif. Metode yang digunakan disebut sebagai sistim perlindungan katodik (*cathodic protection system*). Sistim perlindungan katodik ada dua jenis, yaitu metode arus terpasang yang melibatkan pemberian arus listrik dan metode anoda tumbal.

Sistim perlindungan katodik yang lebih praktis diaplikasikan adalah metode anoda tumbal. Secara teori, untuk mencegah logam mengalami

korosi maka logam dibuat menjadi bahan yang memiliki potensial redoks yang tinggi. Cara yang ditempuh adalah dengan menghubungkan logam dengan logam lain yang potensial redoksnya rendah. Dengan sistem ini maka logam yang berpotensi redoks rendah akan teroksidasi sedangkan logam yang berpotensi redoks tinggi tidak akan teroksidasi.

Sistim perlindungan katodik telah umum digunakan pada berbagai bidang, antara lain pertambangan lepas pantai, teknologi perkapalan, sistem perpipaan bawah tanah, tiang pancang, tiang listrik dan lain-lain. Penerapan di bidang konservasi cagar budaya juga telah berkembang, terutama untuk perlindungan besi/baja pada rangka, angkur, atau struktur bangunan cagar budaya. Perlindungan katodik juga telah dikembangkan pada konservasi cagar budaya logam bawah air *in situ*.

Pada penelitian ini akan diadakan aplikasi perlindungan katodik pada cagar budaya logam besi/baja yang berada dalam air laut, dengan berpedoman pada Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah No. 260/KPTS/M/2004 tentang Pedoman penanggulangan korosi tiang pancang pipa baja jembatan dengan proteksi katodik anoda korban Pd T-01-2004-B. Dalam pedoman ini telah ditentukan prosedur dan penerapan metode proteksi katodik anoda korban supaya menghasilkan umur proteksi optimum.

Untuk menjawab permasalahan pengembangan metode konservasi logam dengan sistim perlindungan katodik ini, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prosedur penerapan sistim perlindungan katodik dengan anoda tumbal pada cagar budaya logam besi/baja.
2. Berapa kebutuhan dan umur proteksi anoda tumbal pada cagar budaya logam besi/baja di lingkungan air laut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui efektifitas sistim perlindungan katodik logam dengan anoda tumbal dengan cara menghubungkan dua logam menggunakan kabel konduktor.

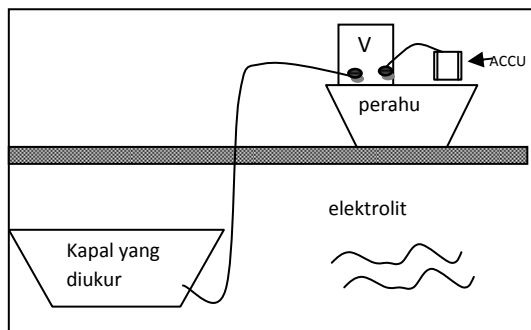
2. Mengetahui prosedur penerapan sistim perlindungan katodik anoda tumbal pada cagar budaya logam besi/baja di dalam air laut.
3. Mengetahui jumlah kebutuhan dan umur proteksi anoda tumbal pada cagar budaya logam besi/baja di lingkungan air laut.

Sedangkan dari segi manfaat, maka penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk merumuskan metode konservasi logam dengan sistem perlindungan katodik anoda tumbal. Sistem perlindungan katodik diharapkan cocok diterapkan pada logam cagar budaya yang terendam di dalam air, sehingga dapat memberi manfaat bagi pengembangan metode konservasi dan memberikan sumbangan ilmu pengetahuan secara umum.

METODE PENELITIAN

Prosedur Pengukuran Data Di Lapangan

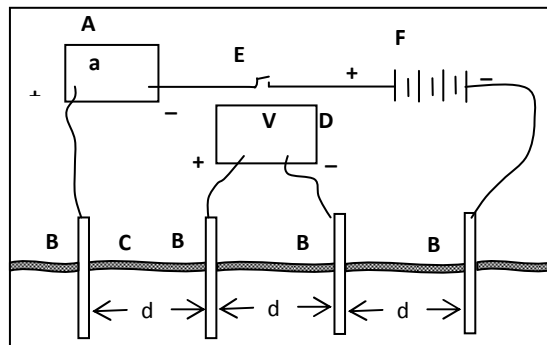
- a. Pengukuran luas benda cagar budaya logam
Perhitungan luas permukaan proteksi adalah luas permukaan yang ada di dalam tanah maupun yang ada di air. Perhitungan luas permukaan kapal dilakukan dengan menggunakan data pengukuran yang sudah dilakukan oleh Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Jawa Tengah.
- b. Pengukuran potensial cagar budaya logam
Pengukuran potensial dengan menggunakan alat multimeter dengan elektoda pembanding jenis Cu/CuSO₄. Baja akan terproteksi dari korosi apabila besar potensial terhadap elektoda pembanding kurang dari - 0.850 volt.



Gambar 1. Pengukuran potensial logam dengan alat multimeter

- c. Pengukuran tahanan jenis air dan tanah

Tahanan jenis terhadap air dan tanah disekitar lokasi cagar budaya logam sangat mempengaruhi tingkat korosifitasnya. Pengukuran tahanan jenis tanah dengan menggunakan metode empat elektode yaitu empat buah elektode, sebuah baterai, sebuah amperemeter dan sebuah voltmeter.



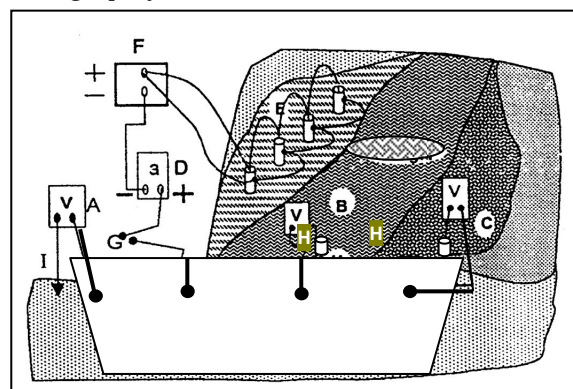
Gambar 2. Rangkaian kutub-kutub dari batang elektroda

Keterangan gambar:

A adalah Amperemeter, D adalah voltmeter, B adalah batang elektroda, E adalah tombol, C adalah permukaan air, F adalah sumber arus listrik, d adalah jarak garis anoda, V adalah Resistimeter

- d. Pengukuran rapat arus dan perhitungan arus proteksi

Pengukuran rapat arus dengan menggunakan alat adjustable DC Power Source yang dilengkapi dengan voltmeter, amperemeter, batang elektrode sebagai penyalur arus.



Gambar 3. Pengukuran rapat arus (current density)

Keterangan gambar :

A, B, C adalah Voltmeter, F adalah Adjustable DC Source, D adalah DC meter, H adalah reference cell, G adalah Switch (tombol), I adalah batang CuSO₄, E adalah Batang Elektroda dengan jarak ± 30480 cm

Arus proteksi dapat dihitng dengan menggunakan rumus :

$$\text{Rapat arus} = \frac{\text{angka arus}}{\text{luas permukaan obyek}}$$

Arus potensial = luas permukaan obyek x rapat arus

e. Perhitungan kebutuhan minimum anoda

Untuk menghitung kebutuhan minimum anoda dengan menggunakan rumus :

$$\Upsilon = \frac{I_p}{I_a}$$

Υ = kebutuhan minimum anoda (buah)

I_p = arus proteksi (Ampere)

I_a = arus yang dihasilkan anoda (Ampere)

f. Penempatan anoda di dalam air

Penempatan anoda korban pada cagar budaya logam ditempatkan di bawah permukaan air terendah agar anoda selalu terendam air, sedangkan titik penghubung dapat bebas di atas permukaan air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penerapan Sistim Perlindungan Katodik Dengan Anoda Tumbal Paduan Seng Pada Kapal Tenggelam di Karimunjawa - Jepara

Penerapan lapangan dipilih pada kapal yang tenggelam di perairan Karimunjawa, kapal ini dipilih dengan pertimbangan:

- Memenuhi persyaratan dalam penerapan metode perlindungan katodik anoda tumbal, yaitu berbahan logam dan berada di dalam air (laut)
- Lokasinya sudah diketahui dengan jelas dan sering dijadikan tujuan penyelaman, pada titik lokasi kapal sudah dilandai dengan balon (buoy) oleh Balai Taman Nasional Karimunjawa
- Data dimensi kapal sudah diukur oleh Balai Pelestarian Cagar Budaya Jawa Tengah.
- Berpotensi menjadi cagar budaya.

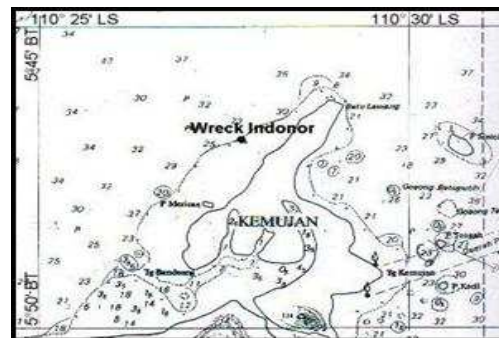
A. Data Teknis Kapal Yang Tenggelam

Berikut ini data teknis mengenai Kapal “SS Indonor”

(<http://www.ekspedisiindonor.8k.com/ekspedisi.html> update ukuran dalam Noviantra, 2013) :

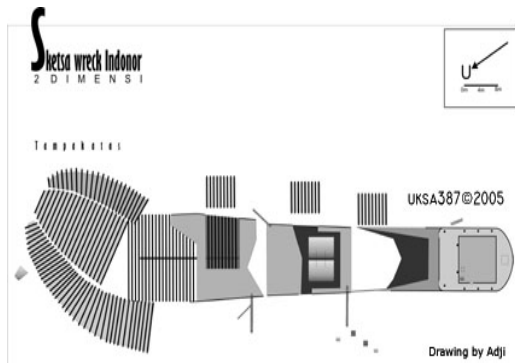
- Nama kapal : Steam Ship Indonor
- Tipe Kapal : Cargo
- Ukuran Utama Kapal : Panjang Kapal, 106,90 m
- Panjang antara garis tegak haluan dan buritan kapal, 99,99 m
- Lebar, : 14,20 m
- Tinggi, : 7,00 m
- Daya muat : 2828 GRT
- Kecepatan dinas : 9,50 knots
- Tujuan pelayaran : Palembang-Surabaya
- Tenaga Penggerak : Ketel Uap
- Daya penggerak : 269 n.H.P
- Tahun Pembuatan : 1942
- Tahun tenggelam : 1960
- Material kapal : Konstruksi Baja
- Penyebab Tenggelam : Kerusakan kapal karena kandas di Kepulauan Karimunjawa-Jepara

Berdasarkan hasil pemetaan kapal diketahui bahwa Wreck Indonor saat ini menghadap ke arah timur laut yang terletak pada koordinat 05° 46.902' Lintang Selatan & 110° 27. 741' Bujur Timur.

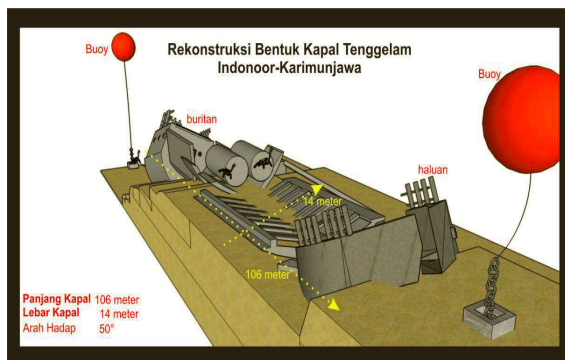


Gambar 4. Peta Posisi Wreck Indonor

Sebagai gambaran umum mengenai kondisi kapal dapat dideskripsikan bahwa kapal saat ini patah menjadi 4 bagian. Pada bagian pertama posisi menghadap ke arah timur dengan kedalaman berkisar 6-10 meter. Sebagian kecil ujung kapal (panjang kurang lebih 4 m) terpisah dari bagian haluan dan tetancap diterumbu karang, bagian haluan telah terbelah menjadi 3 bagian yang tampak tinggal gading-gading yang masih berjajar dengan jarak antar gading 45 cm.



Gambar 5. Tampak atas Wreck Indonor
(<http://www.ekspedisiindonor.8k.com/ekspedisi.html>)



Gambar 6. Rekonstruksi 3D Wreck Indonor
(Noviandra, 2013)

B. Perhitungan dan Analisis Kebutuhan Anoda Tumbal pada Kapal Yang Tenggelam

Dari data dimensi Kapal Indonor (Noviandra, 2013) bagian buritan kapal terdiri dari 4 bagian yang kemudian diukur luasan masing-masing bagian. Berikut adalah perhitungan untuk menentukan luasan masing-masing bagian buritan kapal sehingga diperoleh luasan total pada bagian buritan kapal “SS Indonor”.

- Luas rumah gladak : $(2 \times \text{Tinggi} + \text{Lebar}) \times \text{Panjang} = (2 \times 2,15 + 6,0) \times 8,7 = 89,61 \text{ m}^2$
 - Luas bangunan atas : $[(2 \times \text{tinggi} + 2 \times \text{Lebar}) \times \text{Panjang}] \times \text{koefisien luas Cargo} = [(2 \times 9,9 + 2 \times 14,6) \times 17,2] \times 0,85 = 716,38 \text{ m}^2$
 - Luas lambung : $[(2 \times \text{tinggi} + 2 \times \text{Lebar}) \times \text{Panjang}] \times \text{koefisien luas Cargo} = [(2 \times 3 + 2 \times 14,2) \times 21,2] \times 0,85 = 619,89 \text{ m}^2$
 - Luas daun kemudi kapal : $2 \times (\text{Tinggi} \times \text{Panjang}) = 2 \times (3,25 \times 1,65) = 10,73 \text{ m}^2$
- Luas total** = $(89,61 + 716,38 + 619,89 + 10,73) \text{ m}^2 = 1436,61 \text{ m}^2$

Untuk menentukan kebutuhan anoda tumbal dan umur proteksi bagian buritan pada kapal “SS Indonor”, maka dilakukan pengukuran arus dan potensial yang didasarkan pada pedoman Keputusan Menteri Kimpraswil (Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah).

Dalam aplikasi ini logam yang akan digunakan sebagai anoda tumbal untuk melindungi bagian buritan kapal “SS Indonor” adalah logam paduan seng (Zn)

Adapun karakteristik paduan seng yang digunakan sebagai berikut :

- Kapasitas : 700 Ampere jam/kg
- Ukuran : $(20 \times 10 \times 3,5) \text{ cm} / (0,2 \times 0,1 \times 0,035) \text{ m}$
- Berat bersih : 2,50 kg
- Berat kotor : 3,25 kg
- Potensial(E1) : - 1,05 volt

Beberapa hal yang diukur di lapangan yaitu pengukuran tahanan anoda tumbal, potensial dan arus baik pada baja kapal maupun pada anoda tumbal.

1. Tahanan anoda tumbal paduan seng (R_{an}) dalam air laut

$$R_{an} = \frac{\rho}{2s} \text{ (ohm)}$$

dimana :

ρ = Resistivitas air laut = $2,044 \Omega \text{ m}$

l = panjang anoda = $0,20 \text{ m}$

b = lebar anoda = $0,10 \text{ m}$

s = rata-rata panjang dan lebar anoda (m)

$$R_{an} = \frac{2,044}{2 \left(\frac{0,2 \times 0,1}{2} \right)} = \frac{2,044}{2 \left(\frac{0,3}{2} \right)} = \frac{2,044}{0,30} = 6,81 \Omega \text{ m}$$

2. Arus yang dihasilkan anoda tumbal paduan seng (I_{an}), dapat dihitung dengan rumus :

$$I_{an} = \frac{(E_1 - E_1') - E_2}{R}$$

dimana :

I_{an} = Arus yang dihasilkan anoda

E_1 = Potensial anoda (volt) = - 1,05 volt

E_2 = Potensial plat baja/katoda = -0,666 volt

E_1' = Potensial drop anoda korban (volt)

Pengukuran dilakukan menggunakan alat multimeter, voltmeter, dan amperemeter untuk memperoleh data potensial drop pada anoda tumbal seng.

Tabel 1. Data potensial drop pada anoda tumbal seng

No. Ukur	Potensial Drop (mv)
1	- 187,50
2	- 177,10
3	- 187,30
Jumlah	- 551,90
Rata-rata	- 183,97

$$E_1' = - 183,47 \text{ mv}$$

$$E_1' = - 0,184 \text{ volt}$$

$$I_{an} = \frac{(E_1 - E_1') - E_2}{R_{an}} \text{ (Ampere)}$$

$$I_{an} = \frac{\{(-1,05) - (-0,184)\} - (-0,666)}{6,81}$$

$$\frac{(-0,866) - (-0,666)}{6}$$

$$I_{an} = \frac{6,81}{6,81}$$

$$I_{an} = \frac{0,206}{6,81} = 0,030 \text{ Ampere}$$

3. Penentuan Umur Proteksi pada bagian buritan kapal "SS Indonor"

$$T = \frac{W \times C}{I_{an} \times 8760} \text{ (th)}$$

Dimana :

T = umur proteksi (th)

W = berat anoda (kg) / 2,5 kg

C = kapasitas anoda(Ah/kg) / 700 Ah/kg

I_{an} = 0,030

8760, konversi dari tahun ke jam

$$T = \frac{2,5 \times 700}{0,030 \times 8760}$$

$$T = \frac{1750}{262,8} = 6,66 \text{ th} = 7 \text{ th}$$

4. Penentuan arus proteksi tota(I_p)

I_p = Luas permukaan baja total dalam air laut x Rapat arus dalam air laut (mA/m²)

Dimana :

$$I_p = A_{kd} \times i_{air} \text{ (mA/m}^2\text{)}$$

$$A_{kd} = \text{Luas permukaan baja dalam air laut} \\ = 1436,61 \text{ m}^2$$

$$i_{air} = \text{Rapat arus listrik air laut (mA/m}^2\text{)}$$

Tabel 2. Data pengukuran rapat arus

No. Ukur	Rapat Arus (i _{air})
1	4,02 mA/m ²
2	4,07 mA/m ²
3	4,02 mA/m ²
Jumlah	12,11 mA/m ²
Rata-rata	4,04 mA/m ²

i_{air} dapat dihitung dengan pengukuran air laut diatas kapal yang tenggelam, sbb :

$$i_{air} = \frac{12,11}{3}$$

$$i_{air} = 4,04 \text{ mA/m}^2$$

$$I_p = A_{kd} \times i_{air} \\ = 1436,61 \times 4,04 \text{ (mA/m}^2\text{)} \\ = 5803,9044 \text{ mA}$$

$$I_p = 5,804 \text{ Ampere}$$

5. Perhitungan Kebutuhan minimum anoda tumbal paduan seng

Kebutuhan minimum anoda tumbal paduan seng dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut ;

$$y_{an} = \frac{I_p}{I_{an}} \text{ (buah)}$$

$$y_{an} = \frac{5,804 \times 0,030}{0,03} = 193,47 \text{ buah}$$

$$y_{an} = \pm 194 \text{ buah/unit}$$

Jika per unit beratnya = 2,5 kg, maka kebutuhan minimum anoda korban :

$$y_{an} = 194 \times 2,5 \text{ kg} = 485 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan di atas, untuk memberikan perlindungan pada bagian buritan kapal "SS Indonor" dengan luas 1436,61 m² dalam jangka waktu 7 tahun maka anoda tumbal paduan seng yang dibutuhkan sebesar 485 kg atau anoda tumbal seng yang dibutuhkan sejumlah ± 194 buah.

Pembahasan

Penerapan sistim perlindungan katodik anoda tumbal pada Wreck Indonor yang berada di bawah permukaan laut 6 – 14 meter menemui beberapa kesulitan dari aspek teknis pengukuran, objek kapalnya sendiri, dan lingkungan. Dari pengamalan praktek lapangan yang sudah dilakukan tim peneliti, hal-hal berikut ini perlu menjadi perhatian:

- Posisi kapal yang berada cukup dalam di bawah permukaan laut mengharuskan pengukuran dilakukan oleh penyelam. Penyelam harus memiliki sertifikat selam yang memadai (minimal grade A2) dan harus didampingi oleh seorang *dive master* yang sudah ekspert dalam bidang penyelaman. Penyelam harus memahami teknis pengukuran yang akan dilakukan, berkaitan dengan penggunaan dan pemasangan peralatan yang digunakan. Selain itu penyelam juga harus

memahami bagaimana seharusnya perlakuan terhadap cagar budaya (Wreck Indonor telah didaftarkan menjadi cagar budaya oleh BPCB Jateng) supaya pengukuran yang dilakukan tidak merusak objek yang diteliti. Idealnya penyelam dan peneliti harus melakukan pertemuan dan latihan untuk menyamakan persepsi tentang data apa saja yang akan diambil, bagaimana pengukuran dilakukan, penentuan titik pengukuran, perkiraan waktu penyelaman untuk menentukan jumlah penyelam dan berapa hari yang dibutuhkan untuk memperoleh semua data. Semua hal tersebut harus direncanakan dengan sangat detail, karena waktu penyelaman sangat dibatasi jumlah oksigen dan ada kaidah-kaidah penyelaman yang harus diikuti berkaitan dengan keselamatan penyelam. Komunikasi antara tim penyelam dan tim pengukur di atas perahu harus dikoordinasikan terlebih dahulu, supaya tidak terjadi miskomunikasi, karena penyelam tidak dapat naik ke permukaan berulang kali.

- Pada saat pengukuran tahanan jenis tanah, kondisi arus bawah laut yang cukup besar menyulitkan penyelam dalam pemasangan alat. Kabel yang sudah dirangkai terbawa arus dan menjadi kusut. Selain itu panjang kabel yang sudah disiapkan (3x kedalaman kapal) tidak mencukupi karena terbawa arus. Oleh karena itu data tahanan jenis tanah tidak berhasil diperoleh, dan pengukuran dan perhitungan kebutuhan anoda difokuskan pada kapal yang terendam air saja.

- Pengukuran potensial logam mensyaratkan kabel harus berhubungan langsung dengan permukaan logam (kapal). Penempelan kabel ini mengalami kesulitan karena hampir seluruh permukaan kapal ditumbuhi karang, sedangkan perlakuan terhadap terumbu karang dilindungi Undang-undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Keputusan Menteri Kelautan dan perikanan Nomor KEP. 38/MEN/2004 Tentang Pedoman Umum Pengelolaan Terumbu Karang dan Surat Edaran Menteri PPLH No. 408/MNPPLH/4/1979 tentang larangan pengambilan batu karang yang dapat merusak ekosistem laut. Untuk mensiasati hal ini, sebelum pengukuran dimulai, penyelam melakukan observasi untuk mencari lokasi kapal yang terumbu karangnya tipis, dan memungkinkan untuk sedikit dikupas.

Setelah berhasil melakukan pengukuran di lapangan serta melakukan perhitungan umur proteksi dan kebutuhan anoda tumbal, selanjutnya adalah bagaimana merancang pemasangan anoda tumbal pada cagar budaya logam terutama yang terendam air (di bawah permukaan air). Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam perancangan pemasangan anoda tumbal adalah:

1. Bentuk dan ukuran cagar budaya yang akan dilindungi.

Bentuk dan ukuran cagar budaya yang akan dilindungi akan menentukan cara pemasangan anoda tumbal. Sebagai contoh, cagar budaya berukuran besar misalnya kapal tenggelam alternatif pemasangannya:

- Pemasangan anoda menggunakan kabel konduktor sebagai penghubung. Dengan cara ini anoda korban tidak menempel secara langsung dengan budayanya. Bagian permukaan kapal yang harus dilukai juga sangat sedikit, hanya untuk menghubungkan ujung kabel dengan logam kapalnya. Anoda korban juga dapat diposisikan pada tempat yang tersembunyi. Kelemahannya adalah akan ada kabel-kabel konduktor yang akan tampak di permukaan kapal.

2. Kedalaman cagar budaya yang akan dilindungi dari permukaan air. Posisi cagar budaya akan menentukan aspek teknis pemasangan anodanya. Apabila cagar budaya berada cukup dalam dari permukaan air, maka perlu penyelam dalam pemasangannya dan perlu perencanaan yang matang.

3. Kondisi permukaan benda cagar budaya. Syarat pemasangan anoda tumbal adalah harus terhubung langsung dengan logamnya. Sedangkan sebagian besar cagar budaya logam yang ada di bawah air ditumbuhi karang dan biota laut yang lain. Hal ini harus dipertimbangkan, karena perlakuan terhadap terumbu karang diatur dengan undang-undang lingkungan hidup dan harus berkoordinasi dengan instansi yang menangani pelestarian terumbu karang.

4. Kaidah Arkeologis. Cagar budaya bawah air dilindungi dengan Undang-undang No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya. Oleh karena itu, semua hal yang akan dilakukan terhadap cagar budaya harus tunduk pada undang-undang. Penerapan sistem perlindungan katodik anoda tumbal ini

bertujuan memperpanjang umur cagar budaya dengan memperlambat laju korosinya. Namun dalam penerapannya ada sebagian kecil dari cagar budaya yang dikonservasi harus “dikorbankan” misalnya kenampakan visual atau “sedikit melukai” cagar budayanya. Pertimbangannya, membiarkan cagar budaya tanpa konservasi tetapi lebih cepat rusak atau “sedikit berkorban” tetapi umurnya lebih panjang.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat dirumuskan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran di lapangan menurut pedoman yang dikeluarkan Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah berhasil mengumpulkan data yang berguna untuk menghitung jumlah kebutuhan anoda tumbal dan umur proteksi pada Wreck Indonor. Jumlah kebutuhan minimum anoda korban untuk melindungi bagian buritan Wreck Indonor dengan luas 1436,61 m² dalam jangka waktu 7 tahun sebesar 485 kg yang dapat dibagi menjadi ± 194 buah potongan seng.
2. Sistem perlindungan katodik dengan anoda tumbal pada cagar budaya logam di dalam air laut sangat berpotensi untuk dikembangkan, namun dalam penerapannya perlu penelitian lebih lanjut. Prosedur pengukuran relatif sulit dilakukan karena menggunakan peralatan yang sederhana. Peralatan pengukuran yang berkembang di negara maju sudah sangat canggih dan perlu diadaptasi untuk mempermudah pengambilan data dan memperoleh hasil yang lebih akurat.
3. Apabila akan dilakukan penelitian lanjutan atau penerapan pada sebuah cagar budaya, disarankan tim berisi konservator cagar budaya yang berkopoten dilengkapi ahli dari latar belakang ilmu arkeologi, kimia, teknik elektronika dan penyelam.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2003, *Annual Book of ASTM Standards, Metal Corrosion, Erosion and Wear. Vol 03. 02*, ASTM International, New York.

- Atkins, Lambert, Coull, 2002, *Cathodic Protection Of Steel Framed Heritage Structures*, 9DBMC-2002. Paper
- Bartuli, Petriaggio, Davidde, Palmisano, Lino, 2008, *In Situ Conservation by Cathodic Protection of Cast Iron Finding in Marine Environment*, 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem
- Cahyandaru N, 2010, *Identifikasi Kerusakan dan Penanganan Konservasi Terhadap Kayu dan Logam Cagar Budaya Peninggalan Bawah Air*, Makalah pada Pelatihan Tenaga Teknis Konservasi, Direktorat Peninggalan Bawah Air, Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata
- Cahyandaru N, 2011, *Metode Penanganan Konservasi Peninggalan Bawah Air*, Makalah pada Rapat Penyusunan Metode Teknis Konservasi, Direktorat Peninggalan Bawah Air, Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata
- Farrell, Davies, McCaig, 2001, *Cathodic Protection of Iron and Steel*, The Building Conservation Directory
- Hamilton DL, 1999, *Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites*, Conservation Research Laboratory, Texas A&M University
- Hamilton DL, 2001, *Conservation of Cultural Material from Underwater Sites*, *Journal Archives and Museum Informatics* No. 13; 291-323
- Heldtberg, MacLeod, Richards, 2004 *Corrosion and Cathodic Protection of Iron in Seawater; a Case Study of the James Matthews (1841)*, Proceeding of Metal National Museum of Australia Canberra
- Noviandra G, Aruna N, Sagitra L, 2013, *Pembaharuan Data BMKT Indonor: Penerapan Metode Pengukuran Dasar Arkeologi Bawah Air Pada Kapal Tenggelam/Shipwreck di Kepulauan Karimun Jawa*, *Laporan Akhir PKM-P*, Universitas Gadjag Mada, Yogyakarta
- Plenderleith, HJ, 1957, *The Conservation of Antiquities and Work of Art*, Oxford University Press, London

- Sasono, Eko Julianto, 2008, *Analisa Perbandingan Pemakaian Alumunium Cathodic Protection dan Zinc Cathodic Protection pada Pelat Badan Kapal*, Laporan Penelitian Prodi Teknik Perkapalan FT Universitas Diponegoro, Semarang
- Sasono, Eko Julianto, 2010 *Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium pada Pelat Baja Kapal AISI 2512 terhadap Laju Korosi di dalam Media Air Laut*, Tesis pada Prodi Magister Teknik Mesin FT Universitas Diponegoro, Semarang
- Trethewey KR dan Chamberlain J, (1991), *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- <http://iwandahnial.wordpress.com/2010/05/04/harta-karun-di-perairan-indonesia-bisa-lunasi-utang-negara/>
- <http://www.ekspedisiindonor.8k.com/ekspedisi.html>
- <http://www.kkp.go.id/index.php/arsip/c/2583/Indonesia-Miliki-500-Situs-Bawah-Air>