

PENERAPAN *MARINE GROWTH PREVENTION SYSTEM* (MGPS) PADA PENGOPERASIAN KAPAL UNTUK MENGHAMBAT LAJU KOROSI

Sri Endah Susilowati^{1,*}, Didit Sumardiyanto²

^{1,2}Prodi Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
Jalan Sunter Permai Raya No.36, Sunter Agung, Tj. Priok, Kota Jkt Utara, DKI Jakarta, 14350

*Email: sriendah.susilowati@yahoo.com

Diterima: 4 Maret 2018

Direvisi: 19 Mei 2018

Disetujui: 27 Juni 2018

ABSTRAK

MGPS (*Marine Growth Prevention System*) adalah suatu sistem yang diterapkan di kapal untuk menghambat pertumbuhan marine growth, yaitu sekumpulan hewan/tumbuhan laut yang tumbuh dan berkoloni di permukaan bangunan/struktur di dalam laut yang dapat menyebabkan terjadinya korosi, yang jika tidak diatasi berlarut-larut akan mengakibatkan kerusakan pada *main engine* maupun *auxiliary engine*. Adanya *marine growth* menyebabkan berkurangnya diameter efektif pipa, sehingga menyebabkan beban arus fluida dan beban tekanan yang diterima pipa menjadi lebih besar, misalnya pada saluran pipa sea water inlet dan outlet sebagai bagian dari sistem pendingin mesin bisa tersumbat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penggunaan *Marine Growth Prevention System* pada *Motor Tanker* (MT.) *Savvy* yang digunakan untuk menghambat terjadinya korosi dengan cara menghitung laju korosi pipa air laut JISF0507 dan pengurangan berat pada elektroda tembaga (Cu) tipe RRY17 berdasarkan nilai variabilitas *current density* yang merupakan akibat peningkatan kecepatan kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proteksi dengan sistem katodik menggunakan *Marine Growth Prevention System* anoda karbon (elektroda tembaga) sangat efektif untuk melindungi pipa air pendingin mesin dan lambung kapal dari serangan biota laut (*marine growth*) penyebab korosi.

Kata kunci: *Marine Growth Prevention System*, korosi, elektroda tembaga (Cu) RRY17

ABSTRACT

MGPS (*Marine Growth Prevention System*) is a system applied in the ship to inhibit the growth of marine growth, that is as a collection of marine animals / plants that grow and colonize the surface of buildings / structures in the sea that can cause corrosion, which if not solved in protracted -evolution will result in damage to the main engine and auxiliary engine. The existence of marine growth leads to a reduction in the effective diameter of the pipe, thereby causing the load of fluid flow and the pressure load received by the pipe to become larger, for example in the pipeline sea water inlet and outlet as part of the engine cooling system can be clogged. The aim of this research is to analyze the use of *Marine Growth Prevention System* on *Motor Tanker* (MT.) *Savvy* which is used to inhibit corrosion by calculating the corrosion rate of JISF0507 seawater pipeline and weight reduction in copper electrode (Cu) type RRY17 based on current density variability value is a result of increased ship speed. The results showed that protection with cathodic system using *Marine Growth Prevention System* of carbon anode (copper electrode) is very effective to protect the engine cooling water pipe and ship hull from marine growth causing corrosion.

Keywords: *Marine Growth Prevention System*, corrosion, copper electrode (Cu) RRY17

PENDAHULUAN

Pengoperasian sebuah kapal besar selalu dilengkapi sistem pendingin mesin dan sistem penyeimbang kapal dengan fluida menggunakan air laut sehingga diperlukan sistem pemipaan untuk sirkulasi fluida pendingin tersebut. Hal itu menyebabkan tumbuhnya berbagai tumbuhan biota laut seperti karang, teritip, dan ganggang laut yang memicu timbulnya korosi. Kapal Motor Tanker (MT) Savvy menggunakan air laut sebagai media pendingin mesin dan juga sebagai air *ballast*. Instalasi pipa yang dipakai adalah JIS-F0507. Penggunaan air laut menyebabkan tumbuhnya *marine growth* yang memicu timbulnya korosi yang akan mempengaruhi kinerja mesin serta turunya daya guna terutama efektivitas mesin dan menyebabkan banyak kerusakan yang merugikan.

Untuk melindungi timbulnya korosi pada sistem pemipaan, MT. Savvy menggunakan MGPS type-SC yang dipasang pada *Sea Chest* (SC) yang dilengkapi masing-masing dengan sebuah elektroda tembaga (Cu) tipe RRY17 dan sebuah elektroda aluminium yang diletakkan pada lokasi yang strategis, sedekat mungkin dengan area yang hendak diproteksi. Anode tersebut terhubung dengan panel kontrol yang mengatur arus yang dialirkan ke anode tersebut. Ion yang dihasilkan oleh anode akan disebarkan oleh air laut dan membuat lingkungan yang tidak kondusif untuk pertumbuhan *marine growth* di area tersebut. Keuntungan lainnya adalah aluminium hidroksida yang terbentuk akan menciptakan lapisan pelindung pada permukaan saluran sehingga sekaligus dapat mencegah korosi.

Penggunaan arus yang stabil pada elektroda tembaga dan elektroda aluminium pada lambung kapal, akan menghasilkan ion tembaga dan aluminium hidroksida untuk menjaga pipa dari tumbuhan biota laut yang dapat yang bersifat korosif dan membentuk karat. Cara untuk mencegah perkembangan korosi ini dikenal dengan sebutan *Marine Growth Prevention System* (MGPS).

MGPS bekerja dengan metode atau prinsip elektrolit yang bekerja memberi perlindungan secara terus menerus tanpa menggunakan bahan kimia. Caranya adalah penggabungan dua sistem yaitu instalasi pipa *anti-fouling* dan *corrosion suppression*. Dengan kontrol dari panel *power supply* tegangan rendah yang disalurkan ke sebuah

anoda yang terhubung langsung dengan cairan di dalam jaringan pipa untuk meminimalisir pengaruh keasaman kadar cairan terhadap proses korosi di sepanjang instalasi pipa. Keistimewaan dari pemakaian sistem ini adalah karena ramah lingkungan, tidak memakai bahan kimia untuk menetralkan kondisi cairan, sesuai dengan aturan yang berlaku pada klasifikasi aturan internasional.

Sistem ini terdiri dari sepasang tembaga dan aluminium yang disebut anoda yang dipasang pada saringan masuk cairan yang akan dinetralkan. Anoda tembaga menghasilkan ion yang mengalir melalui media cairan yang bersentuhan langsung dengannya. Ion tersebut berpotensi menghambat pertumbuhan kerang dan teritip di sepanjang *range* aliran arus anoda. Tanpa perlindungan pipa *anti-fouling*, pipa bisa saja penuh dengan organisme yang lama kelamaan dapat mengakibatkan penyumbatan sehingga mengurangi efisiensi sistem pada instalasi pipa, dengan dibantu aluminium hidroksida sebagai flokulasi yang dilepaskan oleh tembaga. Inilah yang disebut perlindungan ganda, dimana dengan sistem tersebut dapat diperoleh keuntungan terlindungi dari *bio-fouling* dan proses korosi. Pada instalasi baru anoda dipasang pada *sea chests* menggunakan penahan khusus atau sebuah *mounting flange*. Atau jika sistem dipasang sebelum kapal *drydocking*, anoda dapat dipasang dalam saringan air laut. Keuntungan lainnya adalah mempermudah penggantian anoda baru.

Penelitian yang dilakukan oleh Seung Jun Lee dan Jun Lee Seong (2011) tentang pengaruh kecepatan alir pada perilaku elektrokimia paduan 5083-H116 Al untuk *seachest* kapal, hasilnya menunjukkan bahwa kerapatan dan arus laju korosi meningkat linier dengan adanya kecepatan alir dibandingkan keadaan statis. Sedangkan penelitian yang lain menunjukkan bahwa pemasangan anoda karbon paduan aluminium pada pelat lambung kapal KM ADRI XLIV secara teknis mempunyai kinerja yang baik dan sangat berpengaruh dalam memperlambat laju korosi pelat baja kapal (Nur Aziz, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penggunaan MGPS pada MT. Savvy yang digunakan untuk mencegah timbulnya korosi. Dengan cara menghitung laju korosi pipa air laut JISF0507 dan menghitung pengurangan berat pada elektroda

tembaga (*Cu*) tipe RRY17 berdasarkan nilai variabilitas *current density* dan kecepatan kapal.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di kapal MT Savvy, yang menggunakan sistem MGPS dengan menggunakan perpaduan elektroda Aluminium (*Al*) dan Tembaga (*Cu*).

A. Peralatan yang digunakan

- Megger (isolation tester)* 1 set
- Volt meter* 1 set
- Ampere meter 1 set
- Spanner No.36* 2 pcs
- Spanner No.19* 2 pcs
- Kunci shock 1 set
- Vernier Calipper* 1 pc

B. Material MGPS

- Elektroda Tembaga (*Cu*) tipe RRY17 produksi *Cathelco Limited* (1 pc)
- Pipa standar *Japanese Industries Standard JIS F-0507* (setingkat *UNS G10200 Carbon steel*) dengan diameter 20 cm, panjang 150 cm sebagai logam sampelnya (pipa air laut).

C. Teknik Pengumpulan Data

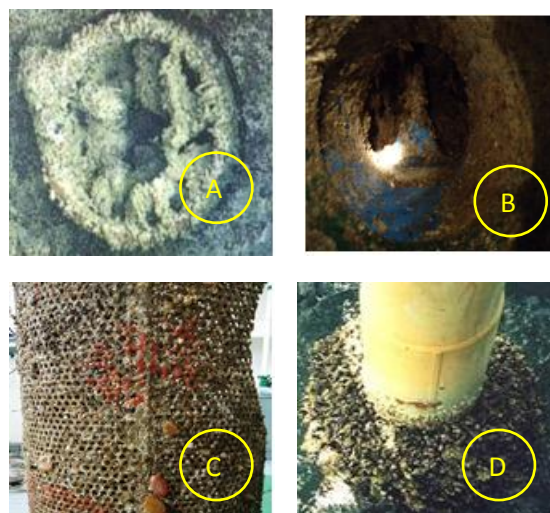
Pengumpulan data melalui teknik observasi dan dokumentasi catatan lapangan. Instrumen penelitian ini menekankan teknik observasi karena dianggap sesuai dengan karakteristik penelitian tindakan.

D. Pelaksanaan Uji Korosi

Dalam uji korosi kadar kepekatan normal atau rata-rata *pH* lingkungan air laut 8.0 dan sampel elektroda (*Cu*) direndam dalam *box sea chest* 3 hari atau 72 jam *nonstop* dengan beberapa perlakuan kondisi variasi kecepatan air laut berdasarkan *speed* pergerakan kapal antara lain :

- Kapal kondisi stop atau air diam (0 *m/s*)
- Kapal *full away*, *speed* 12.9 *knots*, atau air bergerak 6636 *m/s*.
- Kapal *half ahead*, *speed* 9.7 *knots*, atau air bergerak 499 *m/s*.
- Kapal *slow ahead*, *speed* 6.5 *knots*, atau air bergerak 3344 *m/s*.
- Kapal *dead slow*, *speed* 3.3 *knots*, atau air bergerak saat 1698 *m/s*.

Kondisi pada kasus *sea chest intake* tidak diproteksi dengan MGPS seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Marine growth dan efek yang ditimbulkannya, (a) lubang intake, (b) bagian dalam pipa, (c) filter, (d) tiang platform

Ship particulars MT. Savvy :

General Dimension:

Gross tonnage (6694 ton), *net tonnage* (3785.04 ton), *displacement* (13263.04 ton), *dead weight* (10327 ton), *lightship* (2935.75 ton), *length over all* (120 m), *length between perpendicular* (114.06 m), *breadth moulded* (20.50 m), *depth moulded* (10.00 m), *summer draft* (7.61 m), *height from keel* (29.16m).

Machinery:

Main engine (Hanshin Diesel Japan LH46LG 3960 hp 220 rpm), *Auxiliary engine* (Yanmar Japan 6LAAL-DTN 250 kW 1200 rpm, x 3 unit), *Harbour generator* (Yanmar Japan 6CHL-TN 80 kAV, 75 kW, 1800 rpm), *Emergency generator* (Mitsui Deutz Japan F4910 40 kW, 1800 rpm), *Bow thruster engine* (Yanmar Japan 6KY-ET1 4CyC, 370 kW, 2040 rpm, x 2 unit), *Cargo pump* (M/E driven, screw type CSL-1000P, 600 rpm, 0.98 MPa, cap. 1000 m³/h, x 2 unit), *stripping pump* (elmo driven, screw type CSL-300, 600 rpm, 0.98 MPa, cap. 300 m³/h), *air conditioner* (Daikin Ind US20H 75 kW, x 2 unit, Fan 2,5 kW).

Tank Capacity :

Cargo tank capacity (13307.22 m³), *slop tank* (1476.84 m³), *MFO tank capacity* (8300 ltr & 343.22 m³), *MDO tank capacity* (6000 ltr & 76 m³), *ballast tank capacity* (4264 m³).

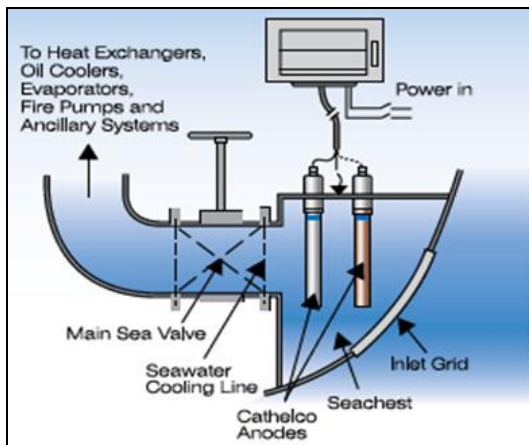
Penerapan MGPS pada MT. Savvy

Penerapan *pipe guard system* MGPS pada MT. Savvy menggunakan produksi Hikari

Sangyo Co., Ltd. Japan dengan dua kombinasi tipe pemasangan, yakni :

a. Typical seachest anode arrangement

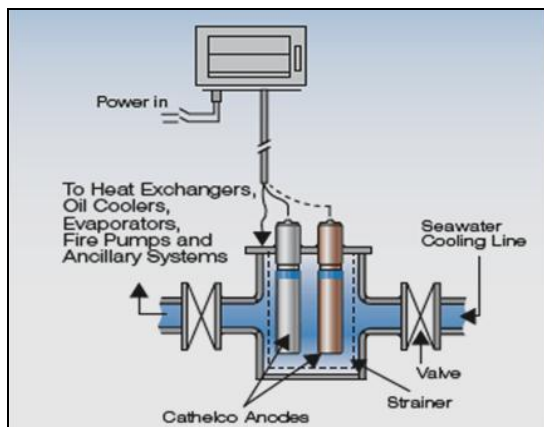
Anoda tembaga dan anoda aluminium dipasang di *sea chest* jika kapal tanker direncanakan *drydocking* kurang dari 5 tahun, dengan asumsi ada ketersediaan ruang yang cukup.



Gambar 2. Tipe pemasangan anoda pada *sea chest*

b. Typical strainer anode arrangement

Keuntungan dari sistem pemasangan pada filter adalah, anoda dapat diganti setiap saat tanpa perlu *drydocking*. Dalam hal ini, air laut yang berasal dari *sea chest* tetap harus dipastikan bebas dari kotoran dan kontaminasi.



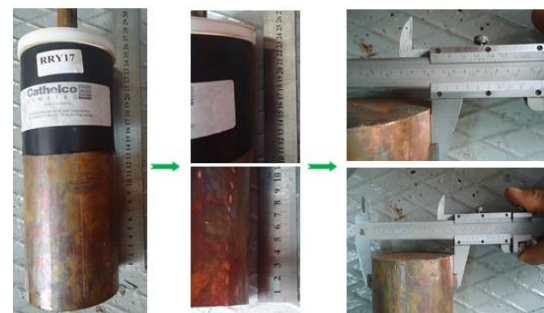
Gambar 3. Tipe pemasangan anoda pada filter *strainer*



Gambar 4. Elektroda tembaga dan elektroda aluminium MGPS

Pengukuran/identifikasi

Dimensi dan massa elektroda diukur sebelum melakukan pengujian. Dimensi diukur dengan menggunakan *vernier caliper* dan mistar baja.



Gambar 5. Pengukuran dimensi elektroda tembaga RRY17

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil Penelitian

Komposisi unsur kimia elektroda yang digunakan didapat dari *delivery order sheet*, sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi kimia elektroda tembaga (Cu) RRY17

No.	Nama unsur	Komposisi (%)
1	Tembaga (Cu)	96.66
2	Argentum (Ag)	2.439
3	Zirkonium (Zr)	0.701
4	Besi (Fe)	0.18
5	Silikon (Si)	0.002
6	Seng (Zn)	0.002
7	Nikel (Ni)	0.013
8	Mangan (Mn)	0.001
9	Timbal (Pb)	0.001
10	Aluminium (Al)	0.001

Elektroda (sampel) direndam dalam *box sea chest* dengan variasi debit air laut berdasarkan *speed* kapal selama 72 jam. Setelah observasi diperoleh data berupa

pengurangan massa anoda seperti terlihat pada tabel 2 di bawah :

Tabel 2. Pengurangan massa pada pipa air laut (JIS F-0507)

Kecepatan kapal	Kecepatan (m/s)	Pengurangan (mg)	Cd (m ⁴ /mm)
Stop	0,000	46,1	157.890
Dead Slow	1,698	105,8	333.156
Slow	3,344	179	1,591.510
Half	4,990	214	2,122.010
Full away	6,636	267	2,652.520

PERHITUNGAN

1. Laju Korosi Pipa Air Laut (JIS F-0507)

Laju korosi atau *Corrosion Rate* (*Cr*) sangat di pengaruhi oleh kondisi lingkungannya, misal : temperatur, derajat keasaman fluida (*Power Hydrogen / pH*), oksigen (*O₂*), dan zat – zat oksidator. Laju korosi (*Cr*) pipa air laut (JIS F 0507) dapat dihitung dengan rumus :

1. Metode kehilangan massa atau *weight gain loss* (*WGL*).
2. Metode elektrokimia dengan persamaan Faraday (*Faraday's Law*).

Metode *mass loss* dihitung dengan rumus :

$$Cr = \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)}$$

Keterangan :

Cr, *Corrosion rate* (laju korosi), mm/yr

K, Konstanta pipa JIS F0507 = 87.6

W, *mass loss* setelah pengujian, mg

T, *time of exposure* = 72 h

D, *density* pipa JIS F0507 = 7.86 g/cm³

A, luas permukaan pipa

d, diameter dalam pipa = 20 cm

L, Panjang pipa = 150 cm

$$A = \pi \times \left(\frac{20}{100} \right) \times 150 = 94.25 \text{ cm}^2$$

Maka laju korosi untuk masing-masing gerakan kapal :

- a. Kapal *stop* (0 m/s), *W* = 46.1 mg

$$Cr = \frac{(87.6 \times 46.1)}{(94.25 \times 72 \times 7.86)} = 0.07571 \text{ mm/yr}$$

- b. Kapal *dead slow* (1.698 m/s), *W* = 105.8 mg

$$Cr = \frac{(87.6 \times 105.8)}{(94.25 \times 72 \times 7.86)} = 0.17376 \text{ mm/yr}$$

- c. Kapal *slow ahead* (3.344 m/s), *W* = 179 mg

$$Cr = \frac{(87.6 \times 179)}{(94.25 \times 72 \times 7.86)} = 0.29398 \text{ mm/yr}$$

- d. Kapal *half ahead* (4.99 m/s), *W* = 214 mg

$$Cr = \frac{(87.6 \times 214)}{(94.25 \times 72 \times 7.86)} = 0.35146 \text{ mm/yr}$$

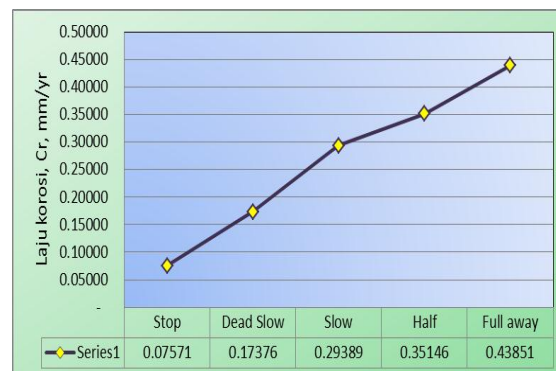
- e. Kapal *full away* (6.636 m/s), *W* = 267 mg

$$Cr = \frac{(87.6 \times 267)}{(94.25 \times 72 \times 7.86)} = 0.43851 \text{ mm/yr}$$

Dari perhitungan di atas diperoleh seperti terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 6

Tabel 3. Laju korosi pada pipa air laut

Kecepatan kapal	Kecepatan air laut (m/s)	Laju korosi, Cr (mm/yr)
Stop	0,000	0.07571
Dead Slow	1,698	0.17376
Slow	3,344	0.29398
Half	4,990	0.35146
Full away	6,636	0.43851



Gambar 6. Pengaruh kecepatan kapal terhadap laju korosi pipa air laut

Pipa baja yang berada pada lingkungan air laut (NaCl) akan mengalami korosi karena adanya ion *Cl*. Ion tersebut akan memecah lapisan pasif pada baja pipa air laut (JIS F 0507). Saat bersentuhan dengan permukaan logam, ion *Cl* akan melarutkan ion-ion logam dan memudahkan untuk masuk ke larutan. Dari Gambar 6 terlihat bahwa laju korosi pipa air laut (JIS F 0507) ternyata akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai kecepatan air laut dalam hal ini *speed* kapal.

Penelitian yang dilakukan oleh Seung-Jun Lee dkk juga menunjukkan bahwa laju korosi yang terjadi pada *sea chest* kapal meningkat

seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran dibandingkan dengan keadaan statis. Pada saat kapal melaju dengan kecepatan *full away* mesin penggerak melakukan pembakaran bahan bakar yang lebih banyak, sehingga memerlukan fluida pendingin, yang dalam hal ini adalah air laut, dengan kapasitas aliran yang lebih besar, dan menyebabkan kecepatan aliran air di dalam pipa mengalami peningkatan.

2. Pengurangan Berat pada Elektroda Tembaga RRY1

Berat total anoda, W_{tot} yang dibutuhkan untuk proteksi dapat dihitung dengan persamaan :

$$W_{tot} = \frac{I_p \times Y \times C}{\mu} \quad \text{dimana} \quad I_p = A \times \frac{C_d}{1000}$$

Keterangan :

- I_p , kuat arus yang dibutuhkan untuk proteksi
- Y , waktu pengujian = 3 days atau 0,008 years
- C , rate consumption anode = 3,6 kg/Amp.Years
- C_d , current density = x mA/m²
- A , luas area pipa air laut = 0,09425 m²
- μ , utilization factor = 0,90

Berikut adalah data rapat arus (C_d) dari berbagai kecepatan kapal seperti terlihat pada Tabel 4 di bawah.

Tabel 4. Pengujian *current densit (Cd)*

Kecepatan kapal	Kecepatan air laut (m/s)	Cd (mA/mm ²)
Stop	0,000	157.890
Dead Slow	1,698	333.156
Slow	3,344	1,591.510
Half	4,990	2,122.010
Full away	6,636	2,652.520

Nilai W_{tot} untuk berbagai kecepatan kapal :

- a. Air diam atau saat kapal *stop* (0 m/s)

$$C_d = 157.89 \text{ mA/m}^2$$

maka :

$$I_p = 0.09425 \times \frac{(157,89)}{1000} = 0.015 \text{ Amp}$$

$$W_{tot} = \frac{0.015 \times 0.008 \times 3.6}{0.90} = 0.48 \text{ mg}$$

- b. Kapal *dead slow*, 3.3 knots (1.698 m/s)

$$C_d = 333,156 \text{ mA/m}^2,$$

maka :

$$I_p = 0.09425 \times \frac{(333.156)}{1000} = 0.031 \text{ Amp}$$

$$W_{tot} = \frac{0.031 \times 0.008 \times 3.6}{0.90} = 0.99 \text{ mg}$$

- c. Kapal *slow ahead*, 6.5 knots (3.344 m/s)

$$C_d = 1591,51 \text{ mA/m}^2,$$

maka :

$$I_p = 0.09425 \times \frac{(1591,51)}{1000} = 0.15 \text{ Amp}$$

$$W_{tot} = \frac{0 \times 0.008 \times 3.6}{0.90} = 4.8 \text{ mg}$$

- d. Kapal *half ahead*, 9.7 knots (4.99 m/s),

$$C_d = 2122.01 \text{ mA/m}^2,$$

maka :

$$I_p = 0.09425 \times \frac{(2122,01)}{1000} = 0.20 \text{ Amp}$$

$$W_{tot} = \frac{0.20 \times 0.008 \times 3.6}{0.90} = 6.4 \text{ mg}$$

- e. Kapal *full away*, 12.9 knots (6.636 m/s),

$$C_d = 2652,52 \text{ mA/m}^2,$$

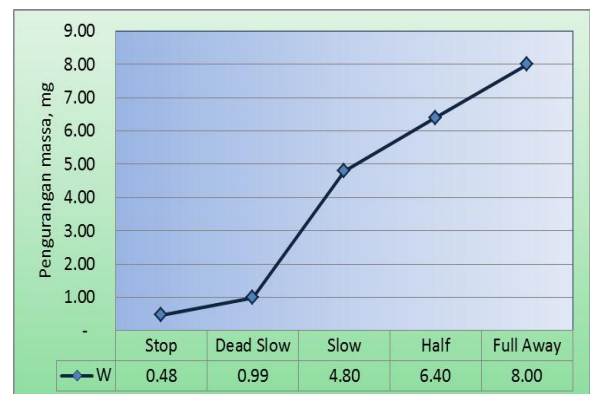
maka :

$$I_p = 0.09425 \times \frac{(2652,52)}{1000} = 0.25 \text{ Amp}$$

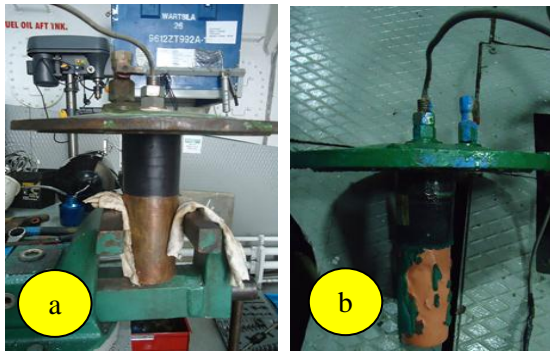
$$W_{tot} = \frac{0.25 \times 0.008 \times 3.6}{0.90} = 8.0 \text{ mg}$$

Tabel 5. pengurangan massa anoda tembaga (Cu) RRY17 pada berbagai kecepatan kapal

Kecepatan kapal	Kecepatan air laut (m/s)	Kuat Arus, Ip (Ampere)	Pengurangan massa, Wtot (mg)
Stop	0,000	0.015	0.48
Dead Slow	1,698	0.031	0.99
Slow	3,344	0.150	4.80
Half	4,990	0.200	6.40
Full away	6,636	0.250	8.00



Gambar 7. Pengaruh kecepatan kapal terhadap pengurangan massa anoda tembaga (Cu) RRY17



Gambar 8. Pengurangan massa pada elektroda tembaga RRY17, (a) Kondisi awal, (b) Kondisi setelah 72 jam.

Dari hasil perhitungan hubungan antara laju korosi pipa air laut (JIS F-0507) dibandingkan dengan pengurangan massa anoda tembaga (Cu) RRY17 seperti terlihat pada Tabel 6 dan Gambar 9 di bawah.

Tabel 6. Pengurangan massa anoda tembaga (Cu) RRY17 dan laju korosi pipa air laut (JIS F-0507) pada berbagai kecepatan kapal

Kecepatan kapal	Laju korosi pipa air laut, Cr (mm/yr)	Pengurangan massa anoda, Wtot (mg)
Stop	0.07571	0.48
Dead Slow	0.17376	0.99
Slow	0.29389	4.80
Half	0.35146	6.40
Full away	0.43851	8.00



Gambar 9. Pengurangan massa anoda tembaga (Cu) RRY17 dan laju korosi pipa air laut (JIS F-0507)

Jika diperhatikan nilai pengurangan massa pada katoda pipa air laut JIS F-0507 pada Tabel 6, jelas sekali bahwa pengurangan yang terjadi sangat besar jika dibandingkan dengan pengurangan massa yang terjadi pada anoda tembaga (Cu) RRY17. Pipa baja untuk pipa air laut JIS F-0507 (Fe) *mild steel, cast iron* berada pada tabel bagian paling atas serta memiliki nilai elektroda potensial paling negatif jika dibandingkan dengan tembaga (Cu) RRY17. Dengan demikian, (Fe) paling reaktif jika dibandingkan dengan (Cu). Hal inilah yang menyebabkan pengurangan berat katoda (JIS F-0507) lebih besar jika dibandingkan dengan pengurangan berat anoda tembaga RRY17. Demikian halnya dengan (Al), aluminium memiliki elektroda potensial yang lebih negatif dari pada tembaga yang lebih positif jika dibandingkan dengan (Fe). Jika membandingkan nilai pengurangan berat anoda yang didapat di lapangan dan nilai pengurangan berat anoda yang didapat dari perhitungan rumus, terlihat adanya perbedaan nilai kebutuhan berat anoda. Hal ini terjadi karena rumus tidak memperhitungkan kecepatan air laut (*speed* kapal), sementara data di lapangan menunjukkan bahwa kecepatan air laut sangat mempengaruhi kebutuhan berat anoda. Semakin tinggi kecepatan air (*speed* kapal) maka semakin tinggi pula kebutuhan berat anoda yang digunakan untuk mencegah pertumbuhan *marine growth* penyebab korosi.

KESIMPULAN

1. Laju korosi pipa air laut (JIS F-0507) pada MT. Savvy semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan air laut (*speed* kapal). Pada kecepatan stop (0.0 m/s) laju korosi sebesar 0.07571 mm/yr. Dan saat kecepatan penuh (6636 m/s) laju korosi sebesar 0.43851 mm/yr.
2. Pengurangan massa elektroda tembaga (Cu) RRY17 lebih tinggi atau lebih cepat sebanding dengan kecepatan air laut (*speed* kapal). Pada posisi stop (0,0 m/s) pengurangan massa elektroda (Cu) RRY17 sebesar 0.48 mg dan arus pada elektroda 0.015 Ampere. Sedangkan saat kecepatan penuh (6,636 m/s) pengurangan massa elektroda (Cu) RRY17 sebesar 8.0 mg dan arus pada elektroda 0.25 Ampere.
3. Nilai *Current density* (Cd) tergantung pengaruh lingkungan, pemeliharaan dan

pelapisan dalam hal ini kecepatan kapal sangat berpengaruh besar karena saat kapal stop nilai Cd sebesar 157.89 mA/m^2 sedang saat *full speed* Cd sebesar 2652.52 mA/m^2 .

DAFTAR PUSTAKA

- Atmadja, S. T. (2010). Pengendalian Korosi Pada Sistem Pendingin Menggunakan Penambahan Zat Inhibitor. *ROTASI*, 12 (2), 7-13
- Bayuseno, A. P. (2009). Analisa Laju Korosi Pada Baja Untuk Material Kapal Dengan Dan Tanpa Perlindungan Cat. *ROTASI*, 11(3), 32-37.
- Cheremisinoff, N. P., & Cheremisinoff, P. N. (1981). *Cooling Towers Selection, Design and Practice*. Michigan: Ann Arbor Science.
- Delimunthe, I. S. (2004). Kimia Dari Inhibitor Korosi. *Kimia Dari Inhibitor Korosi*.
- Deviyani., Larisa dan Isdiriayani N. (2006). Inhibisi Korosi Baja Dalam Air Laut Mengandung Sulfida Menggunakan Glutaraldehid. *Jurnal Teknik Kimia*, 5 (1) 341-349. Bandung: ITB..
- Diniardi, E., Ramadhan, A. I., & Basri, H. (2014). Analisis Kekuatan Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Material Polimer Penyusun Kipas Radiator. *Jurnal Teknologi*, 6(1), 55-67.
- Fontana, G. Mars & Norbert. D. Greene. (1988). *Corrosion Engineering 2nd, International Student Edition*. Jurong: McGraw-Hill Int. Book. Co.
- Geiger, Gary & Mel. J. Esmacher, P.E.(2012). *Controlling Corrosion in Cooling Water Systems-Part2: Inhibiting and Monitoring Corrosion*. New York: American Institute of Chemical Engineers.
- Grandison, C., Piola, R., & Fletcher, L. (2011). *A review of marine growth protection system (MGPS) options for the Royal Australian Navy* (No. DSTO-TR-2631). DEFENSE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANIZATION VICTORIA (AUSTRALIA) MARITIME PLATFORMS DIV.
- Herro, H. M., & Port, R. D. (1993). *The Nalco guide to cooling water system failure analysis*. McGraw-Hill.
- Heusler, K. E., & Fischer, L. (1976). Kinetics of pit initiation at passive iron. *Materials and Corrosion*, 27(8), 551-556..
- Karim, A. A., & Yusuf, Z. A. (2012). Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka Terhadap Tingkat Laju Korosi Pada Pelat Baja Tangki Ballast Air Laut. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*, 10(2), 206
- Kim, S. J., & Lee, S. J. (2011). Investigation on electrochemical and cavitation characteristics of rudder materials for ship in sea water. *Corrosion Science and Technology*, 10(3), 101-107.
- NALCO, 1987, *Standard Manual Procedure for Corrosion Coupon Rate*, Illinois, Nalco. Co.
- Nur Aziz O., 2012, *Studi Pengaruh Laju Alir Fluida Terhadap Laju Korosi Baja Api SL X-52 Menggunakan Metode Polarisasi Pada Lingkungan NaCl 3,5% Yang Mengandung Gas CO2*. Universitas Indonesia.
- Olmsted, John and Williams G. (2007). *Handbook of Chemistry and Physics, 5th edition*, New York: CRC Press-Taylor & Francis Group.
- Rozenfeld, I. L., 1988, *Corrosion Inhibitors*, New York: McGraw-Hill Co, Inc.
- Sasono, E. J. (2010). *Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium pada Pelat Baja Kapal AISI 2512 terhadap Laju Korosi di dalam Media Air Laut* (Doctoral dissertation, Tesis pada Prodi Magister Teknik Mesin FT Universitas Diponegoro, Semarang).
- Seung-Jun, L. E. E., & Seong-Jong, K. I. M. (2011). Effects of flow velocity on electrochemical behavior of seachest 5083-H116Al alloy for ship. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21(8), 1703-1709.
- Soares, C. G., Garbatov, Y., Zayed, A., & Wang, G. (2009). Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere. *Corrosion Science*, 51(9), 2014-2026.
- Revie, R. W. (2008). *Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering*. John Wiley & Sons.
- Yari, Mehdi., 2015, *An Intro to Pipeline Corrosion in Seawater*, Ontario: University Of Western Ontario.