

ALTERNATIF PENCEGAHAN KOROSI *PLATFORM'S STEEL-PIPE PIER* DI SELAT MADURA

Bernardinus Herbudiman

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. PHH Mustapa 23 Bandung 40124 Telp. (022) 7272215 Fax. (022) 7202892
herbudiman@itenas.ac.id

Ikhya

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. PHH Mustapa 23 Bandung 40124 Telp. (022) 7272215 Fax. (022) 7202892
ikhya@itenas.ac.id

Adi Noviandi Heryadi Sopandi

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. PHH Mustapa 23 Bandung 40124 Telp. (022) 7272215 Fax. (022) 7202892
adi_otot@telkom.net

Abstract

Steel platform for geotechnical investigation in Madura-strait was affected by corrosive surrounding marine environment. Corrosion attack on platform structure could generate technical and economical loss. To reduce negative impact, several effort on corrosive prevention are needed. Several alternatives on steel pipe corrosive prevention are being studied. In this research the purpose of this study is to find the most suitable and economic prevention alternative. Comparison between several alternatives on corrosive prevention is used as research method. Several alternatives being compared are inorganic coating using Portland Cement, cathodic protection by zinc and aluminums, coating by zinc, nickel, and chrome, spraying by zinc, nickel, and chrome, and painting. Working method, field availability, and cost are considered on this study. For Madura-strait steel pipe platform case, the best corrosive protection alternative is spraying by zinc, due to economic consideration during 60-days protection. For longer protection purpose, coating and cathodic protection are more suitable alternatives due to less maintenance cost.

Keywords:

corrosive prevention, marine environment, steel platform.

PENDAHULUAN

Saat ini baja sering digunakan di lingkungan laut. Pada pembangunan jembatan yang menghubungkan Surabaya dengan Madura seperti nampak pada Gambar 1, pipa baja digunakan sebagai struktur penyangga *platform* penyelidikan geoteknik. Karena lokasinya yang terletak di lingkungan laut seperti nampak pada Gambar 3, maka *platform* rawan terhadap serangan korosi. Korosi pada pipa baja akan menurunkan mutu akibat bereaksi dengan lingkungan secara elektrokimia.

Kerusakan akibat serangan karat dapat berupa takik-takik atau sumuran-sumuran kecil yang merata di permukaan metal, terbentuknya *rust* (selaput tipis kerak), terbentuknya kerak tebal berlapis-lapis, penipisan yang merata, perapuhan/pelunakan metal karena berubah sifat, kekeroposan, penggetasan dan keretakan (Trethewey K.R., Chamberlain J., 1991).

Perlindungan untuk logam yang digunakan di air laut cukup sulit, karena daya konduksi air laut yang

cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan reaksi sel lokal. Kandungan ion sodium yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan alkalinitas pada area katodik. Kandungan ion total yang tinggi memudahkan terbentuknya konsentrasi ion yang dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan film pada *coating*, dan kandungan ion klorida yang tinggi merusak sistem pasifasi. Perlindungan yang ideal adalah pelapisan yang melindungi secara permanen untuk selamanya sehingga menghalangi kontak permukaan logam dengan lingkungan yang korosif (Anggono, J., Tjitro S., 1999).

Laju korosi di lingkungan air laut sangat tinggi oleh faktor-faktor berikut: tingginya konsentrasi garam-garam terlarut, perubahan temperatur air laut, kandungan oksigen terlarut, keasaman (pH) air laut, dan organisma.

Ada beberapa alternatif pencegahan korosi yang penggunaannya disesuaikan dengan jenis peralatan, tempat serta jenis lingkungan yang korosif.

Alternatif tersebut adalah sebagai berikut: pelapisan dengan cat (*organic coating*), pelapisan anorganik dengan *Portland Cement*, inhibisi (*inhibition*), proteksi katodik, dan pelapisan (*coating*).

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan perbandingan terhadap beberapa cara pencegahan yang tepat dan ekonomis dalam mencegah korosi yang terjadi pada pipa baja yang digunakan pada *platform* penyelidikan geoteknik di Selat Madura seperti nampak pada Gambar 2. Beberapa metode pencegahan korosi yang akan dibandingkan adalah sementasi, *spraying*, pengecatan, proteksi katodik dan *electroplating*.



Gambar 1. Lokasi penyelidikan geoteknik



Gambar 2. Instalasi *platform*



Gambar 3. *Platform* terpasang

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan serangkaian tahapan sebagai berikut:

Jenis dan kadar karat diidentifikasi melalui pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Pengujian XRF dilakukan terhadap serbuk korosi (Herbudiman, et al, 2006), sedangkan pengujian SEM dilakukan pada potongan pipa (Ikhya, et al, 2007). SEM memiliki fungsi dasar yaitu memberikan objek yang terlihat sangat kecil namun dapat dilihat oleh mata telanjang. Kedua pengujian ini dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung.

Hasil identifikasi jenis dan kadar karat digunakan untuk memilih beberapa alternatif yang sesuai untuk usulan pencegahan korosi pada proyek instalasi platform berikutnya. Usulan pencegahan korosi ini tidak dibatasi pada platform penyelidikan geoteknik saja, namun juga untuk maksud lain yang membutuhkan waktu operasi yang lebih lama. Variasi waktu operasi platform yang hendak ditinjau meliputi 60 hari, 1 tahun, 4 tahun, 10 tahun dan 20 tahun.

Beberapa alternatif usulan pencegahan korosi platform memiliki keunikan tersendiri dalam hal kemudahan penerapan, durasi proteksi, dan kebutuhan pelapisan ulang dalam jangka waktu tertentu. Agar dapat menentukan pilihan yang paling tepat dari beberapa alternatif pencegahan korosi yang tersedia untuk berbagai variasi durasi operasi platform, maka dalam penelitian ini, dilakukan juga analisis perbandingan biaya sederhana, berdasarkan keunikan dari masing-masing alternatif. Data harga satuan pekerjaan pencegahan korosi didapat dari konsultan instalasi platform, PT. Mentari Terbit Engineering, Bandung, Juni 2006. Data tersebut diasumsikan tetap sama untuk berbagai variasi durasi masa layan platform. Mengingat komponen biaya pelapisan awal dan pelapisan ulang yang relatif jauh lebih besar dibanding kenaikan harga perawatan akibat inflasi tahunan, maka asumsi harga yang sama ini masih cukup relevan dan tidak terlalu mempengaruhi hasil penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi jenis Karat

Tabel 1 dan Tabel 2 berturut-turut menunjukkan hasil pengujian XRF dan SEM. Dari hasil pengujian tersebut dapat ditarik beberapa bahasan berikut. Senyawa yang membentuk korosi pada besi yaitu Fe_2O_3 , mengindikasikan jenis karat merah. Ion ferro Fe^{2+} yang terbentuk karena oksidasi atom besi dapat dengan mudah dioksidasi lagi, jika dalam elektrolit lingkungannya terdapat oksigen terlarut, sehingga Fe^{2+} dioksidasi menjadi ion Fe^{3+} dan terbentuk senyawa Fe_2O_3 .

Tabel 1. Hasil Pengujian XRF (Herbudiman, 2006)

No	Unsur	Unsur teroksidasi	Berat (%)
1	Fe	Fe ₂ O ₃	81,47
2	Ca	CaO	5,32
3	Si	SiO ₂	3,19
4	S	SO ₃	2,98
5	Cl	Cl	2,19
6	Na	Na ₂ O	1,41
7	Al	Al ₂ O ₃	1,28
8	Mg	MgO	1,14
9	Mn	MnO	0,361
10	K	K ₂ O	0,115
11	P	P ₂ O ₅	0,107
12	Ni	NiO	0,0744
13	Cu	CuO	0,0732
14	Co	Co ₃ O ₄	0,0637
15	Sr	SrO	0,0586
16	Ti	TiO ₂	0,0483
17	Sn	SnO ₂	0,0228
18	Cr	Cr ₂ O ₃	0,0586
19	Ta	Ta ₂ O ₅	0,0136
20	Br	Br	0,0134
21	Cs	Cs ₂ O	0,0129
22	I	I	0,0083
23	Mo	MoO ₃	0,0066
24	V	V ₂ O ₅	0,0059
25	Zn	ZnO	0,0050
26	Ga	Ga ₂ O ₃	0,0035
27	Zr	ZrO ₂	0,0023

Tabel 2. Hasil pengujian SEM (Ikhya, et al, 2007)

Elemen	Massa Sebelum Korosi (%)	Massa Sesudah Korosi (%)	Perubahan (%)
C	0,78	7,24	6,46
O	22,8	20,5	-2,3
Mg	0,03	0,12	0,09
Si	0,09	0,31	0,22
P	0,85	0	-0,85
K	0,07	0,11	0,04
Ca	0	0	0
Cl	0	1,27	1,27
Mn	0	0	0
Fe	73,6	66,3	-7,33
Ni	1,15	3,32	2,17
Ag	0	0,56	0,56
Sn	0,59	0	-0,59

Bentuk korosi yang terjadi pada pipa baja dalam suasana air laut adalah korosi merata yang menutupi permukaan baja seperti nampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Karat merah merata

Alternatif Proteksi Korosi

Setelah mencermati jenis dan kadar karat yang terjadi, maka beberapa alternatif yang sesuai untuk pencegahan korosi adalah: pelapisan (*metal coating*) dengan seng, nikel, dan krom; cat (*organic coating*), *spray* dengan seng, nikel, dan krom; proteksi katodik dengan anoda seng, dan aluminium; serta perlindungan dengan semen portland. Jenis-jenis pelapisan tersebut sesuai untuk jenis korosi merata dan dalam kadar korosi ringan sampai sedang.

Pada masing-masing alternatif tersebut, kemudian dicermati lebih lanjut tentang kemudahan teknis pengerjaan, durasi daya tahan proteksi, pemeliharaan, kebutuhan pelapisan ulang untuk masa layan struktur yang relatif panjang, serta analisis biaya sederhana untuk mendapatkan alternatif paling ekonomis dengan kemampuan proteksi yang sama pada beberapa variasi masa layan. Tabel 3 menunjukkan perbandingan kemudahan teknis pengerjaan, teknis pemeliharaan dan kebutuhan pelapisan ulang dari beberapa alternatif pencegahan korosi. Sedangkan ukuran dimensi dan total panjang baja yang digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan pelapisan, ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Teknis pengerjaan, pemeliharaan dan pelapisan ulang

Metode	Teknis Pengerjaan	Teknis Pemeliharaan	Pelapisan Ulang
<i>Electroplating-seng</i>	Sulit	Sulit	10 thn
<i>Electroplating-nikel</i>	Sulit	Sulit	10 thn
<i>Electroplating-krom</i>	Sulit	Sulit	20 thn
<i>Spray-seng</i>	Mudah	Sulit	2 thn
<i>Spray-nikel</i>	Mudah	Sulit	2 thn
<i>Spray-krom</i>	Mudah	Sulit	4 thn
Proteksi katodik-seng	Sulit	Mudah	20 thn
Proteksi katodik-aluminium	Sulit	Mudah	10 thn
Cat	Mudah	Sulit	1 thn
Sementasi	Mudah	Sulit	1 thn

Tabel 4. Dimensi dan panjang baja platform

Profil	Panjang (m)	Jumlah	Keliling (m)	Luas Selimut (m ²)
Equal Angle 70x70x7	130,177	100	0,28	3.644,956
H Beam 200x100x8x5.5	13,4	16	1,021	218,9024
Pipe D16	24	4	0,050265	4,825
Total Luas Selimut (m²)				3.868,683

Perbandingan Analisis Biaya

Berikut ini adalah sampel perhitungan perbandingan analisis biaya dari beberapa alternatif proteksi korosi baja, dengan masa layan platform satu tahun.

Biaya pelapisan (*metal coating*) dengan cara penyepuhan (*electroplating*) untuk masing-masing jenis *coating* seng, nikel dan krom, dapat dilihat pada Tabel 5. Pelapisan ini efisien untuk elemen struktur pra-pabrikasi. Untuk struktur yang sudah dipabrikasi, *metal coating* sebagai lapis pelindung sulit digunakan.

Tabel 5. Biaya *electroplating*

Jenis Coating	Harga per kg (Rp)	Berat Total (Kg)	Total Biaya (Rp)
Seng	7.500,-	7.772	58.290.000,-
Nikel	20.000,-	7.772	155.440.000,-
Krom	65.000,-	7.772	505.180.000,-

Bila 1kg *coating electroplating* dapat digunakan untuk melapisi 0,5m² luas selimut profil platform, maka total berat *coating electroplating* yang diperlukan untuk 3.868,683m² luas selimut profil platform adalah 7.772kg.

Cat (*organic coating*) sesuai dan mudah dilakukan sebagai perlindungan untuk struktur yang sudah dipabrikasi. Kebutuhan biaya cat adalah sebagai berikut. Bila 1 kg cat dapat melapisi seluas 20 m², maka banyaknya cat yang dibutuhkan untuk melapisi pipa seluas 3868,683 m² adalah 193 kg. Harga bahan untuk lapisan *priming coat, under coat dan finishing coat* berturut-turut adalah Rp 20.000/kg, Rp 34.000/kg dan Rp 25.000/kg. Kebutuhan biaya untuk masing-masing lapisan sejumlah 193 kg cat yang dibutuhkan berturut-turut adalah Rp 3.860.000; Rp 6.562.000; Rp 4.825.000. Setelah ditambah biaya operasional Rp 2.000.000, maka total biaya untuk pengecatan sebesar Rp 17.247.000.

Rincian biaya *spraying* dengan seng adalah sebagai berikut. Bahan pelapis dasar (*metal cleaner*) Rp 30.000/kg dan oksida seng Rp 27.000/kg. Bila 1 kg bahan dapat melapisi luas 20 m², maka jumlah bahan yang diperlukan sama dengan cat, yaitu 193 kg. Biaya yang diperlukan untuk pengadaan bahan *metal cleaner* dan oksida seng menjadi sebesar Rp 11.001.000. Setelah ditambah biaya operasional Rp 2.000.000, maka total biaya yang dibutuhkan untuk melakukan *spraying* dengan seng sebesar Rp 13.001.000.

Untuk *spraying* dengan nikel dan krom, perbedaan terletak pada harga bahan dasar oksida nikel dan

krom, berturut-turut sebesar Rp 79.000/kg dan Rp 148.000/kg. Perbedaan ini berimplikasi pada perbedaan biaya yang diperlukan untuk pengadaan bahan untuk nikel dan krom berturut-turut menjadi Rp 21.037.000 dan Rp 34.354.000, serta pada perbedaan total biaya yang dibutuhkan untuk melakukan *spraying* dengan nikel dan krom berturut-turut menjadi Rp 23.037.000 dan Rp 36.354.000.

Perlindungan dengan proteksi katodik dengan menggunakan anoda seng dirinci sebagai berikut. Data kapasitas anoda 780 A.jam/kg, efisiensi 90%, faktor utilitas 85 %, dimensi keliling penampang 105cm, panjang 38cm, berat 100kg, luas permukaan yang akan diproteksi 3868,683m², kebutuhan arus proteksi baja telanjang dalam air laut sebesar 377 mA/m². Dengan asumsi lapisan baja sudah terdegradasi 10%, maka kebutuhan arus proteksi untuk waktu 1 tahun adalah luas permukaan dikalikan kebutuhan arus proteksi dikalikan lapisan terdegradasi, hasilnya sebesar 146.000 mA atau 146 A. Berat anoda yang dibutuhkan untuk proteksi 1 tahun sebesar 2128 kg. Jika berat satu anoda adalah 100 kg maka jumlah anoda yang diperlukan sebanyak 22 buah. Dengan harga anoda Rp 8000/kg, maka biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan anoda sebesar Rp 17.024.000. Setelah dijumlahkan dengan biaya kabel Rp 650.000; *rectifier* dan sumber arus Rp 20.000.000; biaya operasional dan pemasangan Rp 10.000.000, dan biaya operator Rp 2.000.000, maka jumlah total biaya yang dibutuhkan untuk perlindungan proteksi katodik menggunakan seng sebesar Rp 49.674.000.

Untuk proteksi katodik dengan anoda aluminium, kapasitas anoda 2700 A.jam/kg, efisiensi 90 %, faktor utilitas 60 %, dimensi 120x6x 6 cm, berat tiap anoda 100 kg, luas permukaan yang akan diproteksi 3868,683m², kebutuhan arus proteksi baja telanjang dalam air laut 377 mA/m². Kebutuhan arus proteksi untuk waktu 1 tahun adalah 146 A. Berat anoda yang dibutuhkan untuk proteksi 1 tahun sebesar 871 kg, sehingga jumlah anoda yang diperlukan sebanyak 9 buah. Dengan harga anoda Rp 20.000/kg, biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan anoda sebesar Rp 17.420.000. Setelah dijumlahkan dengan biaya kabel Rp 500.000, *rectifier* dan sumber arus Rp 20.000.000, biaya operasional dan pemasangan Rp 10.000.000, dan biaya operator Rp 2.000.000, maka jumlah total biaya yang dibutuhkan untuk perlindungan proteksi katodik menggunakan aluminium sebesar Rp 57.920.000.

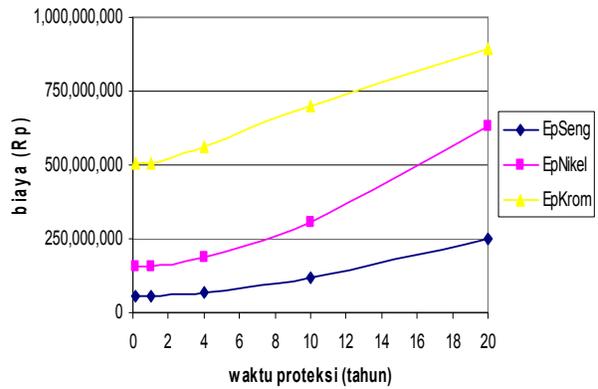
Rincian biaya perlindungan dengan *portland cement* adalah sebagai berikut. Tebal lapisan semen untuk

perlindungan 1 tahun sebesar 2 mm, dan luas permukaan baja yang perlu dilapisi 3868.683 m². Dengan asumsi 1 sak semen dapat menutupi seluas 8 m² baja, maka jumlah semen yang dibutuhkan sebanyak 484 sak. Dengan harga satuan Rp 40.000, maka jumlah biaya untuk bahan semen Rp 19.360.000, dan setelah dijumlahkan dengan biaya operasional Rp 2.000.000, maka jumlah total biaya untuk sementasi sebesar Rp 21.360.000.

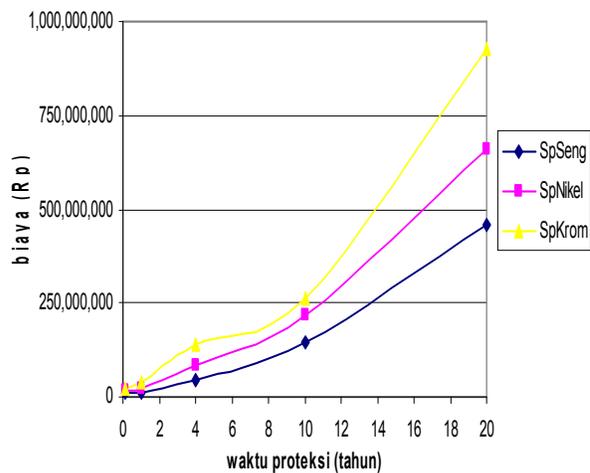
Gambar 5, 6, 7, 8 dan 9 berturut-turut menjelaskan hubungan waktu proteksi dengan biaya, berturut-turut untuk metode *electroplating*, *spraying*, proteksi katodik, pengecatan dan sementasi. Dari berbagai macam metode diatas, masing-masing alternatif memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda-beda.

Proteksi korosi dengan metode *spraying*, pengecatan dan sementasi, hanya mampu memberikan perlindungan jangka pendek, 1 sampai 2 tahun dan untuk penggunaan jangka panjang akan memerlukan biaya untuk perawatan dan pelapisan ulang setiap tahunnya. Hal ini nampak pada Gambar 6, 8 dan 9 dimana pada waktu proteksi hingga 4 tahun kemiringan kurva landai, namun ketika melewati jangka waktu lebih dari 10 tahun nampak kemiringan garis pada kurva akan meningkat sangat tajam karena adanya biaya tambahan untuk perawatan dan pelapisan ulang sehingga biaya yang dikeluarkan untuk perlindungan jangka panjang akan sangat boros.

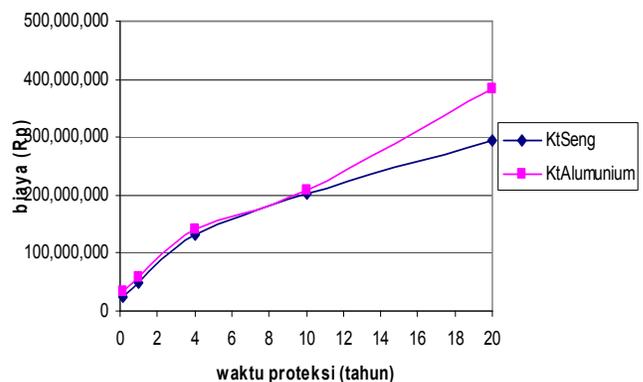
Proteksi korosi dengan metode *electroplating* dan proteksi katodik, memerlukan biaya yang cukup besar untuk pelaksanaannya, tetapi akan lebih tahan lama dan tidak memerlukan biaya perawatan yang terlalu sering. Proteksi katodik hanya perlu mengganti anoda untuk jangka waktu 10 tahun. Pada Gambar 5 dan Gambar 7 nampak bahwa pada awal penggunaan akan memakan biaya yang cukup besar tetapi setelah melewati jangka waktu 10 tahun kemiringan garis pada kurva tidak terlalu besar karena tidak memerlukan biaya perawatan dan pelapisan ulang yang cukup besar. Gambar 10 menunjukkan kurva hubungan antara waktu proteksi dengan biaya dari beberapa metode-metode pencegahan korosi yang paling ekonomis.



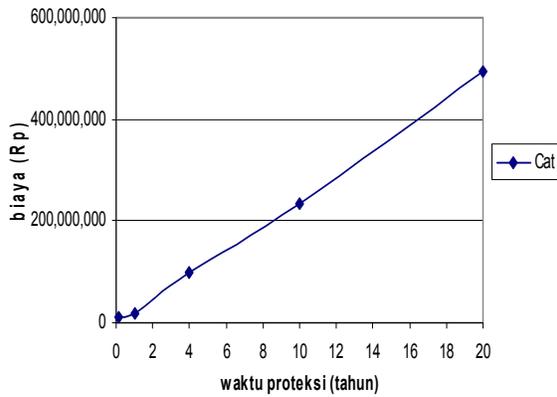
Gambar 5. Waktu proteksi dengan biaya *electroplating*



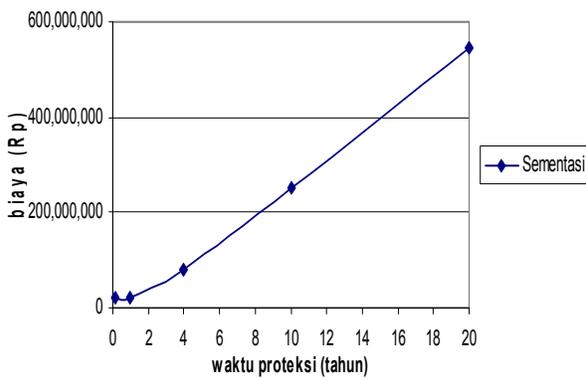
Gambar 6. Waktu proteksi dengan biaya *spray*



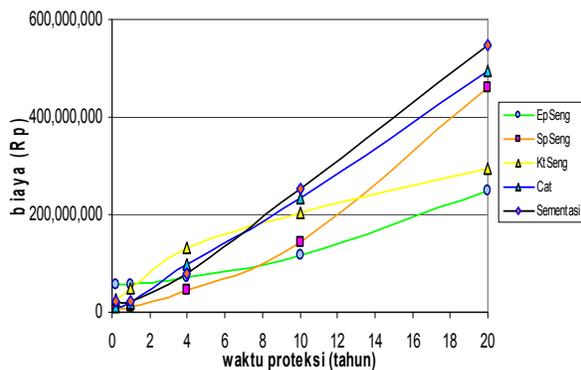
Gambar 7. Waktu proteksi dengan biaya proteksi katodik



Gambar 8. Waktu proteksi dengan biaya cat



Gambar 9. Waktu proteksi dengan biaya sementasi



Gambar 10. Perbandingan waktu proteksi dengan biaya

SIMPULAN

Untuk penanganan korosi *platform steel-pipe pier* dengan masa layan pendek di Selat Madura, alternatif pencegahan yang dipilih adalah pelapisan dengan penyemprotan (*spraying*) menggunakan bahan seng (Zn). Hal ini dikarenakan penggunaan seng sebagai lapisan pelindung membutuhkan biaya yang relatif murah dibanding alternatif lain, cara pengerjaannya mudah.

Untuk proteksi platform dengan masa layan jangka panjang (lebih dari 10 tahun) jenis proteksi yang cocok digunakan adalah proteksi katodik dengan anoda seng, mengingat biaya perawatan dan pelapisan ulang yang relatif kecil.

REFERENSI

- Anggono, J., Tjitro S., 1999, "Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut", *Jurnal Teknik Mesin*, Fakultas Teknik Industri, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Herbudiman, B., Ikhya, Singarimbun, S.A., 2006, "Uji X-Ray Fluorescence Serbuk Korosi Baja Platform Penyelidikan Geoteknik Bawah Laut", *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Ikhya, Herbudiman, B., Singarimbun, S.A., 2007, "Kajian Korosi pada Pipa Baja Platform Selat Madura dengan Scanning Electron Microscope", *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Trethewey, K.R., Chamberlain J., 1991, "Korosi", PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.