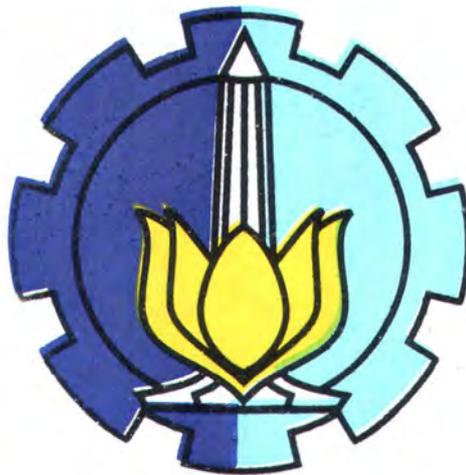




**TUGAS AKHIR**  
KL 1702

**OPTIMALISASI METODE PERLINDUNGAN KOROSI  
PADA PIPA AIR TAWAR  
DI PT. (PERSERO) PELINDO III  
CABANG TANJUNGWANGI-BANYUWANGI**



Oleh :

**TITIN LUTFIANA**  
**NRP. 4397 100 018**

RSKe  
620.112 23  
Lut  
0-1  
2002

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2002**

45 000

| PERPUSTAKAAN<br>ITS |           |
|---------------------|-----------|
| Tgl. Terima         | 20-2-2002 |
| Terima Dari         | 11        |
| No. Agenda Prp.     | 215/20    |

**OPTIMALISASI METODE PERLINDUNGAN KOROSI  
PADA PIPA AIR TAWAR  
DI PT. (PERSERO) PELINDO III  
CABANG TANJUNGWANGI-BANYUWANGI**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Pada  
Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

SURABAYA, JANUARI 2002

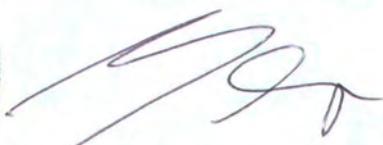
DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

  
Ir. HASAN IKHWANI, MSc

NIP. 132 048 145



  
YEYES MULYADI, ST

## ABSTRAK

*Masalah korosi merupakan masalah yang rumit dan berakibat cukup besar bagi aspek kehidupan manusia. Untuk itu perlu dilakukan suatu penanggulangan dengan metode perlindungan yang tepat, efektif dan optimal dari segi teknis dan ekonomis. Tugas akhir ini mencoba untuk mencari metode yang optimal dari aspek teknis dan ekonomis untuk menanggulangi korosi pada pipa air tawar di PT. (Persero) Pelindo III Cabang Tanjungwangi-Banyuwangi. Adapun metode yang digunakan adalah dengan pengujian di laboratorium untuk mengetahui laju korosi dari tiap spesimen uji yang telah mendapatkan beberapa metode perlindungan dengan menggunakan metode polarisasi resistance. Selanjutnya dilakukan analisa dari segi teknis dan ekonomis untuk mencari metode yang paling optimal. Dari ketiga jenis metode yang dibandingkan, maka didapatkan bahwa metode yang paling optimal dari segi teknis dan ekonomis adalah metode pengecatan dengan jenis cat modified coal tar epoxy. Adapun mekanisme perawatan yang dianjurkan adalah melakukan pengecatan ulang setebal  $\frac{1}{2}$  tebal awal untuk menjaga lapisan cat mampu melindungi pipa dari korosi sampai waktu jenuh dari cat itu sendiri.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah tak terhingga atas rahmat dan hiayah dari Allah SWT penulis ucapkan sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu. Tugas akhir ini mengambil judul **"Optimalisasi Metode Perlindungan Korosi Pada Pipa Air Tawar Di Pt. (Persero) Pelindo III Cabang Tanjungwangi – Banyuwangi"**.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan strata 1 (S-1) di jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS Surabaya. Tugas akhir ini melakukan percobaan guna mengetahui kemampuan melindungi dari beberapa metode perlindungan terhadap korosi yang terjadi di PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi-Banyuwangi dan mencari metode yang optimal berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kekurangan. Untuk itu saran dan kritik guna penyempurnaan tugas akhir ini sangat penulis harapkan. Besar harapan penulis semoga tugas akhir ini mampu meyumbangkan manfaat bagi penulis sendiri dan para pembaca. Amin.

Surabaya, Januari 200

Titin Lutfianah

## Ucapan terima kasih

Dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Allah SWT, atas semua karunia dan hidayah dalam islam, semua yang terindah dan terbaik yang pernah terjadi dalam kehidupanku, kekuatan dan ketetapan untuk menghadapi hidup dan kehidupan. Sekarang dan yang akan datang.
2. **Ibu Ismurochmah** dan **Bapak Suwono**, selaku orang tua yang senantiasa mencintai dan menyayangi dengan tulus. Terima kasih untuk do'a, motifasi dan dukungannya serta semua perjuangan dari awal hingga saat ini dan di masa yang akan datang. Untuk kekuatan menghadapi dan menyelesaikan semua, terutama detik terakhir ketika hampir menyerah dan berhenti di tengah jalan, *best regards for a great palace to my soul and my life. I always love both of you with all my heart.*
3. Bapak Dr. Ir Paulus Indiyono, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyudi, Msc, selaku dosen wali dan sekretaris Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
5. Bapak Ir. Hasan Ikhwan, Msc, selaku dosen pembimbing I tugas akhir.
6. Bapak Yeyes Mulyadi, ST, selaku dosen pembimbing II tugas akhir. Terima kasih untuk ilmu dan semuanya
7. Bapak. Minta Yuwana, selaku dosen pengajar dan ketua laboratorium elektrokimia Teknik Kimia FTI-ITS.
8. **Al Hafidz Al ustazd Asnawi Abdurrohman**-Ponpes Tanfiidhul Al Qur'an-untuk Ilmu, pengetahuan, do'a dan dukungannya dari awal sampai sekarang dan yang akan datang.
9. Adik-adikku **Nurlaeli** dan **M. Sucha Ardiansyah**, untuk keceriaan, do'a, dukungan dan motifasinya. Terutama di saat terakhir ketika hampir menyerah. *I always love and need you all....*
10. **Mas Achmad S.** Terima kasih untuk kasih, cinta, peringatan dan perhatiannya. Terutama di saat-saat terakhir pengerjaan tugas akhir.

11. Keluarga besarku : Mak Alo + Mbak Mis (Tegal), Mbak Ti+keluarga, Mbak Nik +keluarga, Mbak Wik+keluarga (Tegal), Suwun banget untuk do'a dan dukungannya. Akhirnya semua selesai juga dan itu karena dukungan semuanya..
12. Mas Rofiq **"DiJe"** Santoso (Ex. OE 94) untuk literatur, pengetahuan, data-data dan bantuannya selama menempuh kuliah. Suwun banget.
13. Pak Edward, Pak Dadan dan semua pihak PT. (Persero) PELINDO III cabang Tanjungwangi-Banyuwangi, untuk kemudahannya dan ilmu-ilmunya.
14. Rina Radityaningsih, Silvia Rosita W, dan Wayan Yuliada, ST, terima kasih untuk persahabatan yang indah. Dan semua yang pernah terjadi. *Nice to be your friend.*
15. Ex OE 94 -mas Hamidi, mas Yogie, mas sayang, mas gedhe - untuk semua bantuannya selama kuliah, pengalaman seru yang tak terlupakan, untuk jalinan kisah yang tercipta. **I MISS YOU ALL...**
16. Keluarga besar Blok U no 134. Pak Yoko dan ibu (terima kasih untuk semua), Embah (untuk do'a dan kata-kata bijak), mas Endro, mas bayu dan dik diyah
17. Yulvi (untuk komputernya), Rohmah, Wulan. Untuk keceriaan, dan kebersamaannya selama menghuni U-134.
18. **Sahabat seperjuangan di Teknik Kelautan-angkatan 97** ; Noor-mill-maryam, Yuki (just be a good mother!), Septin, Wiwin, Nurin, Retno, christin, Dien (kenapa harus ingkar??), Ratih-Bonnie (di mana kau??). Jadi cewek 97 asyik juga ya??
19. Makhluk unik 97: Pradin (matur suwun untuk "kamu bisa" sebelum masuk ruang sidang dan untuk semua, ternyata aku memang bisa!!), didik, santo, awang, hendro, ilham cilik, ilham gedhe, ivan, agus, iwan, fajar-timbul (jangan menyerah ya?!), andri-gondrong, wildan, deri, bustami, pupul (terima kasih untuk membantuku menyentuh puncak Mahameru), zein (aitarak), priyo-tomon, jaja', sigit, mamik, , danang, Teguh-miko (**thanks for everything & hati-hati**), teguh-bum-bum, siswo, heru, isa-ireng, ibnu-

- acong, gothel (ke Mahameru lagi?, sapa takut!?), faruq, Iwan-Ekonomi UBAYA (untuk bantuannya di bengkel),
20. Elok (FMIPA Unbraw), Fitri-empit & nuning (Tekkim ITS). Terima kasih untuk bantuannya selama pengujian.
  21. Penguni **white castle Unbraw**-yaning, mak inne, wiwik, desi, lilik,dani', yusi dll-untuk hiburan dan motifasi kalo suntuk dan bosan. Malang memang dingin.....
  22. Mas aji, samsul, mas alie (Jakarta), chaliq (Malang), heru (Sidoarjo), mas ochim (ternyata aku...), mas Hafidz di Batam (semua yang telah terjadi itu sangat berarti dan untuk dukungan serta semangatnya menyusuri satu per satu tugas yang harus diselesaikan)- terima kasih untuk peringatannya ketika hampir menyerah.
  23. Bu Nur, Pak Pri, Pak Teguh, Mas Agus- karyawan Tek. Kelautan untuk bantuannya selama kuliah.
  24. Senior-seniorku yang telah banyak membantu, soni, anam, rumanto, mas cahyo, mas kiwir, mas anang, tombong, mas rendra dan mas-mas lainnya. Matur suwun.....
  25. Adik-adik kelasku yang baik+imut : teddy (suwun TRB-ne), milka, diyah, indah, yenung, mamah,lucky,iza de-el-el. Keep the faith!

Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih banyak untuk semuanya.





AKU PERSEMBAHKAN  
KARYA TERBAIK INI UNTUK  
IBU, BAPAK  
DAN ADIK-ADIKKU  
SERTA ORANG-ORANG YANG  
MENGASIHI  
DAN AKU KASIHI

## DAFTAR ISI

Lembar pengesahan

Abstrak

Kata pengantar

ii

Ucapan terimakasih

iii

Daftar isi

vi

Daftar gambar

ix

Daftar tabel

x

### **BAB I        PENDAHULUAN**

1.1        Latar belakang masalah

I-1

1.2        Perumusan masalah

I-2

1.3        Tujuan

I-3

1.4        Manfaat

I-3

1.5        Batasan masalah

I-4

### **BAB II        LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA**

2.1        Lingkungan laut

II-1

2.2        Fenomena korosi

II-5

2.2.1     Faktor yang menyebabkan korosi

II-14

2.3        Jenis korosi

II-22

2.4        Pengukuran laju korosi dengan metode polarisasi

II-26

2.4.1     Proses Polarisasi

II-27

2.5        Korosi pada galvanized steel

II-28

2.6        Pengecatan

II-31

2.6.1     Jenis-jenis cat

II-34

2.6.2     Persiapan permukaan

II-37

2.6.3     Perhitungan kebutuhan cat

II-40

2.7        Pembalutan (*Wrapping*)

II-42

|                |   |       |
|----------------|---|-------|
| 2.8            | Manajemen Perawatan                                 |       |
| 2.8.1          | Umum  | II-43 |
| 2.8.2          | Tujuan  | II-44 |
| 2.8.3          | Bentuk perawatan                                    | II-46 |
| 2.8.4          | Prinsip perawatan                                   | II-48 |
| 2.9            | Metode optimasi                                     | II-49 |
| <b>BAB III</b> | <b>METODOLOGI PENELITIAN</b>                        |       |
| 3.1            | Bahan percobaan                                     | III-1 |
| 3.2            | Peralatan percobaan                                 | III-1 |
| 3.3            | Prosedur penelitian                                 | III-4 |
| <b>BAB IV</b>  | <b>ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>                       |       |
| 4.1            | Analisa kondisi lingkungan                          | IV-2  |
| 4.2            | Analisa hasil                                       | IV-2  |
| 4.2.1          | Laju korosi dengan pengukuran polarisasi resistance | IV-2  |
| 4.2.2          | Umur normal cat                                     | IV-6  |
| 4.2.3          | Fenomena pengikisan cat                             | IV-7  |
| 4.2.4          | Perhitungan umur cat dan wrapping                   | IV-8  |
| 4.3            | Analisa teknis                                      | IV-9  |
| 4.3.1          | Persiapan permukaan                                 | IV-10 |
| 4.3.2          | Penerapan pengecatan                                | IV-11 |
| 4.3.3          | Untuk Wrapping                                      | IV-12 |
| 4.4            | Analisa ekonomi                                     | IV-13 |
| 4.4.1          | Kebutuhan cat jenis 1                               | IV-14 |
| 4.4.2          | Kebutuhan cat jenis 2                               | IV-15 |
| 4.4.3          | Jumlah kebutuhan <i>wrapping</i>                    | IV-16 |
| 4.4.4          | Biaya cat   | IV-16 |
| 4.4.4.1        | Biaya cat jenis 1                                   | IV-16 |
| 4.4.4.2        | Biaya cat jenis 2                                   | IV-17 |
| 4.4.4.3        | Biaya wrapping                                      | IV-17 |
| 4.4.5          | Biaya persiapan permukaan                           | IV-17 |

|         |                                     |       |
|---------|-------------------------------------|-------|
| 4.4.6   | Biaya tenaga kerja                  | IV-18 |
| 4.4.6.1 | Persiapan permukaan                 | IV-18 |
| 4.4.6.2 | Pengecatan                          | IV-19 |
| 4.4.6.3 | <i>Wrapping</i>                     | IV-19 |
| 4.5     | Mekanisme perawatan cat             | IV-22 |
| 4.6     | Mekanisme perawatan <i>wrapping</i> | IV-23 |
| 4.7     | Mekanisme perawatan di lapangan     | IV-24 |
| 4.8     | Perkiraan biaya perawatan cat       | IV-24 |
| 4.9     | Biaya perawatan <i>wrapping</i>     | IV-29 |
| 4.10    | Penentuan metode yang optimal       | IV-32 |

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

**Lampiran A Grafik hasil pengujian**

**Lampiran B Gambar Percobaan**

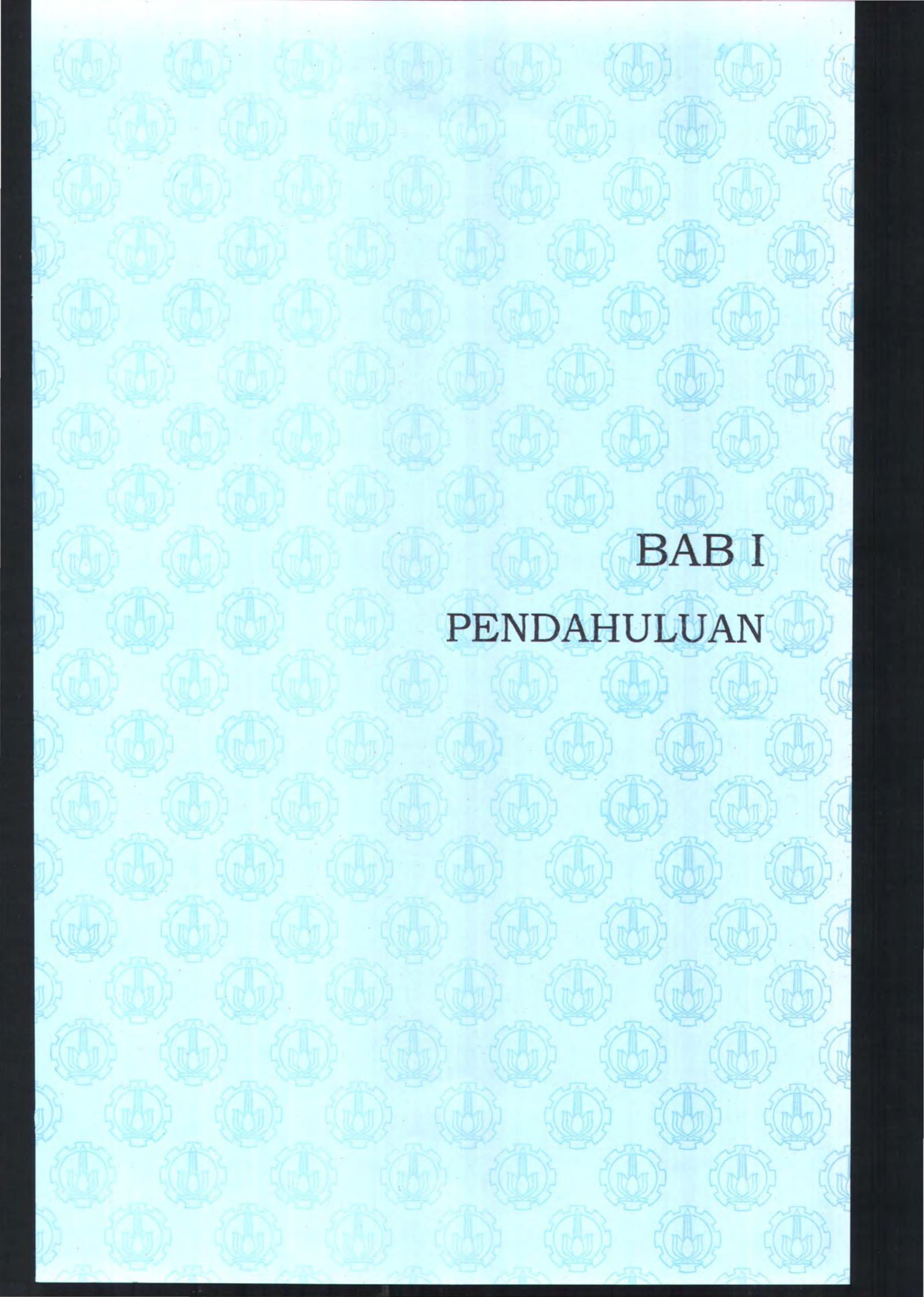
**Lampiran C Peta lokasi**

## DAFTAR GAMBAR

|              |  |       |
|--------------|--|-------|
| Gambar 2.1   | Klasifikasi spesifik setiap zone dan pengaruhnya terhadap korosi                 | II-2  |
| Gambar 2.2   | Sebuah profil energi termodinamika untuk logam dan Senyawa-senyawanya            | II-6  |
| Gambar 2.3   | Reaksi kimia korosi kering   | II-8  |
| Gambar 2.4   | Reaksi kimia korosi basah  | II-9  |
| Gambar 2.5   | Pengukuran potensial elektroda   | II-12 |
| Gambar 2.6   | Pengaruh kecepatan media terhadap korosi   | II-16 |
| Gambar 2.7   | Pengaruh kadar garam terhadap laju korosi  | II-17 |
| Gambar 2.8   | Pengaruh pH terhadap laju korosi   | II-18 |
| Gambar 2.9   | Pengaruh lingkungan dan ketebalan terhadap umur Lapisan seng                     | II-31 |
| Gambar 3.1   | Sample uji pipa galvanis   | III-2 |
| Gambar 3.2   | Rangkaian percobaan dengan metode polarisasi                                     | III-3 |
| Gambar 3.3   | Tabung plastik sebagai wadah sample uji  | III-3 |
| Gambar 4.1   | Perbandingan hasil laju korosi dengan pengukuran polarisasi resistance           | IV-4  |
| Gambar 4.2.  | Perbandingan rata-rata hasil laju korosi dengan pengukuran polarisasi resistance | IV-4  |
| Gambar 4.3.  | Perbandingan umur rata-rata cat Vs wrapping                                      | IV-9  |
| Gambar 4.4.  | Perbandingan biaya cat Vs <i>Wrapping</i>  | IV-20 |
| Gambar 4.5.  | Perbandingan biaya total dari metode perlindungan                                | IV-21 |
| Gambar 4.6.  | Perbandingan biaya operasi dari ketiga metode perlindungan                       | IV-31 |
| Gambar 4.7.  | Perbandingan biaya total akhir   | IV-32 |
| Gambar 4.8.  | Grafik fungsi utilitas biaya operasi   | IV-34 |
| Gambar 4.9.  | Grafik fungsi utilitas biaya total akhir   | IV-35 |
| Gambar 4.10. | Grafik fungsi utilitas waktu jenuh   | IV-36 |

## DAFTAR TABEL

|            |   |       |
|------------|---|-------|
| Tabel 2.1  | Komposisi kimia dalam air laut (g/kg)                     | II-1  |
| Tabel 2.2  | Potensial beberapa logam                                  | II-11 |
| Tabel 2.3  | Laju korosi dan umur <i>galvanized steel</i> di Inggris   | II-30 |
| Tabel 2.4  | Cara persiapan permukaan untuk jenis cat tertentu         | II-39 |
| Tabel 4.1  | Hasil laju korosi dengan pengukuran polarisasi resistance | IV-4  |
| Tabel 4.2  | Laju korosi dari cat dan wrapping                         | IV-8  |
| Tabel 4.3  | Umur dari cat dan wrapping                                | IV-8  |
| Tabel 4.4  | Perbandingan biaya cat Vs <i>Wrapping</i>                 | IV-20 |
| Tabel 4.5  | Biaya tenaga kerja  | IV-21 |
| Tabel 4.6  | Perbandingan biaya total dari metode perlindungan         | IV-21 |
| Tabel 4.7  | Investasi biaya untuk pengecatan & pembalutan ulang       | IV-25 |
| Tabel 4.8  | Perkiraan biaya perawatan untuk cat tipe 1                | IV-27 |
| Tabel 4.9  | Perkiraan biaya perawatan untuk cat tipe 2                | IV-28 |
| Tabel 4.10 | Perkiraan biaya perawatan untuk <i>wrapping</i>           | IV-30 |
| Tabel 4.11 | Perbandingan biaya operasi                                | IV-31 |
| Tabel 4.12 | Perbandingan nilai biaya total akhir                      | IV-31 |
| Tabel 4.13 | Tabel keputusan dengan kriteria majemuk                   | IV-34 |
| Tabel 4.14 | Tabel keputusan dengan kriteria majemuk weighted utility  | IV-37 |



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Korosi merupakan suatu hal yang sangat dekat dengan kehidupan manusia terlebih dalam bidang pemanfaatan logam. Selain logam memberikan berbagai manfaat, logam dapat menimbulkan masalah dengan korosi yang ditimbulkannya. Meskipun korosi yang terjadi dalam kurun waktu relatif lama, namun akibat yang ditimbulkannya membawa dampak yang sangat besar. Setiap tahun, banyak biaya yang dikeluarkan karena adanya korosi seperti biaya perawatan yang tinggi, kegagalan sistem yang mengakibatkan kerusakan yang mahal.

Korosi bisa terjadi pada berbagai lingkungan. Termasuk lingkungan laut, dimana air laut mengandung garam (NaCl) merupakan suatu media elektrolit yang bagus sehingga kemungkinan terjadinya korosi semakin besar. Pada berbagai kasus, korosi tidak dapat dicegah, hanya saja dapat diusahakan untuk mengendalikannya, sehingga logam atau suatu struktur mempunyai masa pakai yang lebih panjang. Pengendalian korosi mempunyai peranan cukup penting, terlebih terkait dengan aspek biaya yang sangat besar untuk penanganan akibat korosi. Untuk itu, penanggulangan korosi dengan metode yang tepat dan optimal sangat dibutuhkan.

PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi-Banyuwangi memiliki berbagai fasilitas pendukung. Pada salah satu fasilitas tersebut terdapat fasilitas air tawar



yang akan dialirkan melalui pipa ke kapal-kapal yang melakukan aktifitas bongkar muat. Sementara sekarang ini, kondisi pipa tersebut semakin tidak layak untuk digunakan karena adanya korosi yang menyerang pipa.

Pipa tersebut dibangun pada tahun 1988, kemudian diinstal ulang pada tahun 1998. Dalam kurun waktu relatif singkat (kurang lebih 3 tahun), pipa tersebut telah mengalami korosi yang parah sehingga dikhawatirkan pada suatu saat ketika korosi yang terjadi semakin parah, dan pipa tersebut tidak dapat difungsikan sebagaimana mestinya. Akibatnya akan mengurangi kinerja pelayanan, sedangkan saat ini, PT. (Persero) Pelindo III tengah dikembangkan sebagai pelabuhan bongkar muat dan peti kemas internasional. Untuk itu dirasa perlu melakukan suatu kegiatan, yang dapat mengendalikan korosi yang terjadi dengan metode yang efektif dan optimal. Hal tersebut mendorong penulis untuk menyumbangkan tulisan dengan judul

“OPTIMALISASI METODE PENANGGULANGAN KOROSI PADA PIPA AIR TAWAR DI PT. (PERSERO). PELINDO III CABANG TANJUNGWANGI – BANYUWANGI ”



## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana mengidentifikasi penyebab korosi yang memicu tingkat korosi di PT.(persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi.
2. Bagaimana sistem perlindungan korosi pada pipa dapat dioptimalkan penggunaannya secara teknis dan ekonomis.



### **1.3 Tujuan**

1. Mengidentifikasi penyebab korosi pada pipa di PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi-Banyuwangi.
2. Memperoleh metode yang efektif dan optimal untuk melindungi korosi pada pipa di PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi–Banyuwangi.

### **1.4 Manfaat**

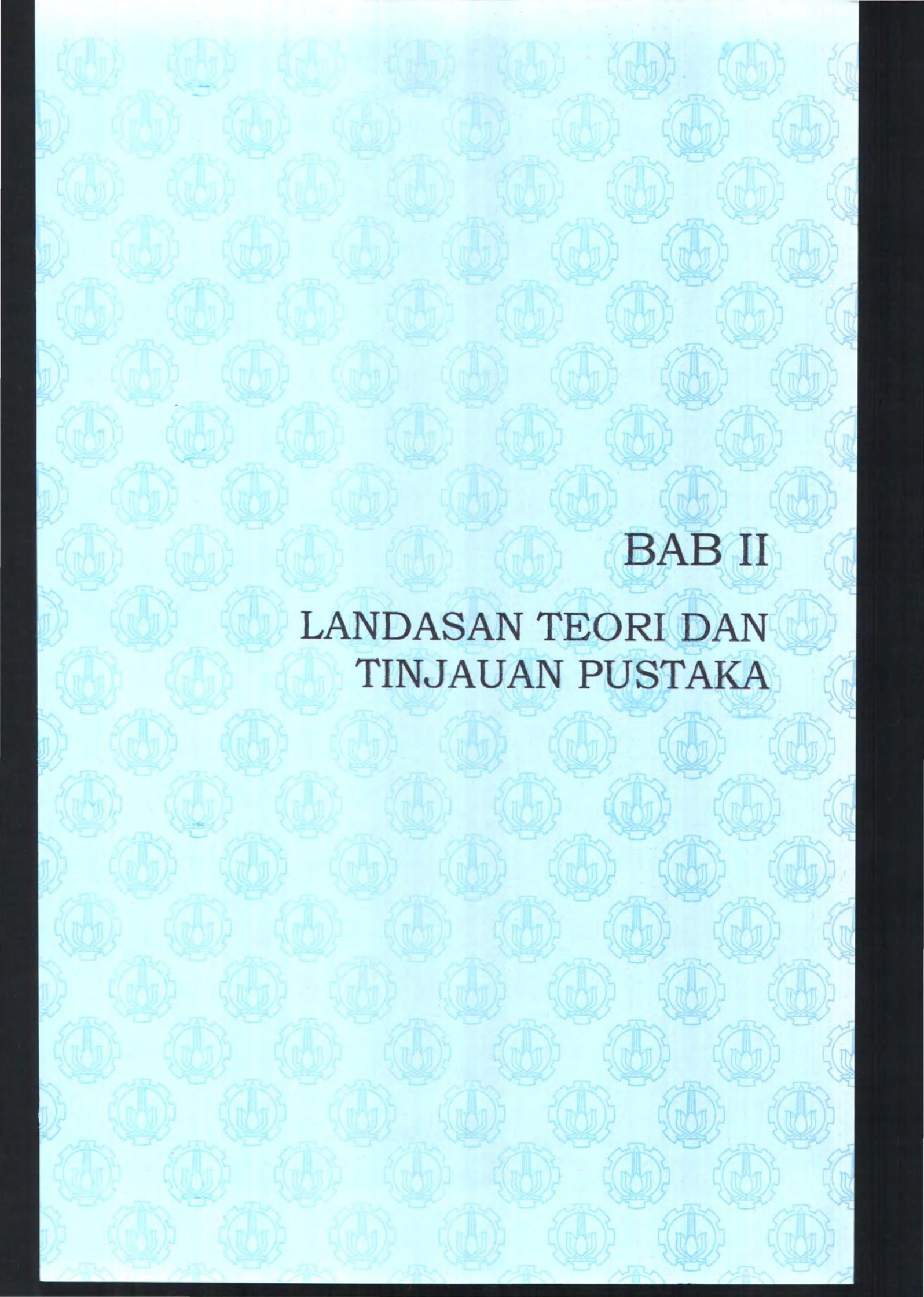
1. Memberi informasi mengenai metode penanggulangan korosi pada pipa di PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi–Banyuwangi.
2. Memberi alternatif pengambilan keputusan dalam menanggulangi korosi pada pipa di PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi–Banyuwangi.
3. Memberi informasi yang dapat digunakan untuk menganalisa kegiatan perawatan.
4. Memberi informasi kepada pihak lain, dalam hal ini mengenai perkiraan mekanisme serta biaya perawatan untuk menanggulangi korosi.



## 1.5 Batasan masalah

Untuk mempersempit permasalahan dan memudahkan analisa maka permasalahan akan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Pipa yang ditinjau merupakan pipa untuk air tawar.
2. Pipa yang ditinjau di daerah PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi – Banyuwangi.
3. Pipa berada pada daerah *splash zone*.
4. Gaya – gaya yang bekerja pada dermaga tidak diperhitungkan
5. Asumsi laju inflasi yang diperhitungkan adalah 12% per tahun.
6. Asumsi depreciation factor 10% per tahun.



**BAB II**  
**LANDASAN TEORI DAN**  
**TINJAUAN PUSTAKA**



## BAB II

## LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Lingkungan Laut

Air laut merupakan bagian terbesar yang menutupi kurang lebih 70 % bagian permukaan bumi, dengan komposisi yang terdiri dari berbagai unsur dan berpengaruh pada proses korosi logam. Komposisi unsur-unsur yang terdapat dalam air laut bisa dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi senyawa kimia dalam air laut (g / kg) (Chandler, 1985)

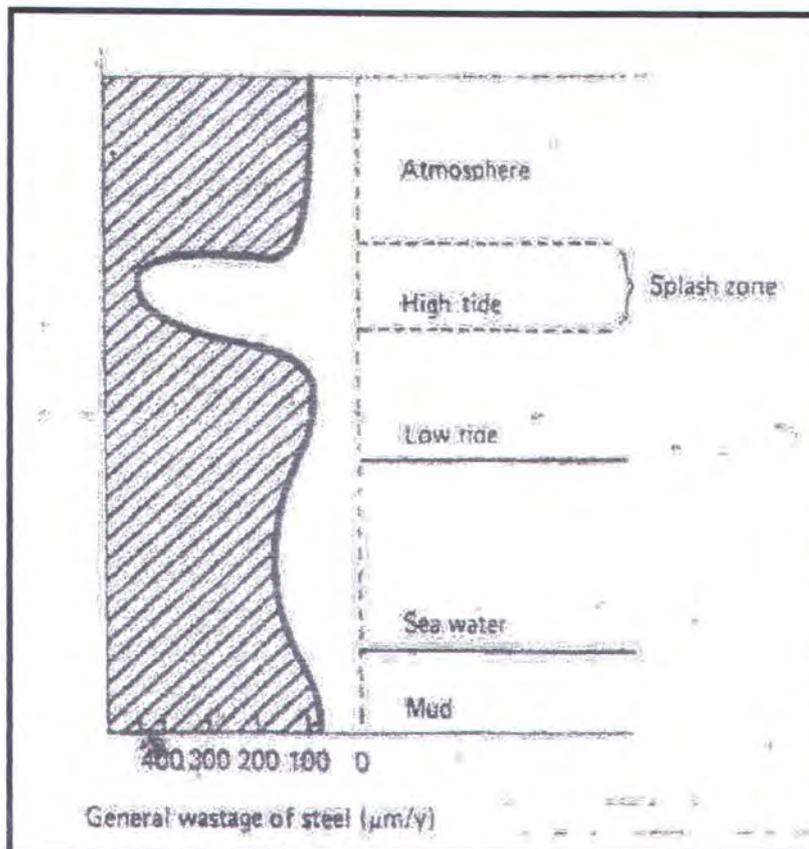
| <i>Major ions in solution in an 'open' sea water at S % = 3,50</i> |            |
|--|------------|
| Ions   | ( g / kg ) |
| Total salts  | 35,1       |
| Sodium   | 10,77      |
| Magnesium  | 1,30       |
| Calcium  | 0,409      |
| Potassium  | 0,338      |
| Strontium  | 0,010      |
| Chloride   | 19,37      |
| Sulphate as SO <sub>4</sub>  | 2,71       |
| Bromide  | 0,065      |
| Boric acid as H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                       | 0,026      |

*Dissolved organic matter = 0,001 – 0,0025 g, oxygen in equilibrium with atmosphere at 15<sup>0</sup> C = 0,008 g = 5,8 cm<sup>3</sup> / l*

Daerah laut meliputi daerah atmosfer, percikan pasang surut, laut dangkal, laut dalam atau dasar laut. Perilaku spesifik logam yang diaplikasikan pada lingkungan



laut sangat dipengaruhi kondisi lingkungan. Hal ini dikarenakan tiap lingkungan memiliki perbedaan khususnya yang berpengaruh langsung dalam proses korosi, misalnya kadar garam, pH, temperatur dan tekanan. Lingkungan air laut dibagi dalam beberapa zone dan pengaruhnya terhadap korosi (Chandler, 1985).



**Gambar 2.1.** Klasifikasi spesifik setiap zone dan pengaruhnya terhadap korosi (Chandler, 1985)

### 1. Atmosfer

Pada daerah atmosfer, intensitas serangan sangat dipengaruhi oleh gerakan partikel garam yang bereaksi dengan menempel pada permukaan logam. Hal tersebut disebabkan keadaan lingkungan di daerah atmosfer, terutama karena pengaruh suhu, kelembaban udara, gelombang, curah hujan, zat-zat kimia yang



berbahaya dan sebagainya. Perilaku korosi pada daerah ini juga bisa dipengaruhi oleh efek radiasi sinar matahari karena hal ini akan mendorong terjadinya reaksi korosi fotosintesis pada permukaan logam seperti besi dan tembaga.

## **2. Daerah Percikan (*Splash Zone*)**

Pada daerah ini air laut cenderung membuat lebih destruktif khususnya terhadap lapisan pelindung (cat) dari permukaan logam, karena daerah ini bersifat lebih agresif dibandingkan zone yang lain. Hal ini dikarenakan adanya efek gelombang udara pada air laut. Material pada daerah ini akan selalu basah dengan air laut yang jenuh dengan udara, ditambah pengaruh gelombang yang berakibat pada pola aliran sehingga menambah agresifitas dari air laut.

## **3. Zona Pasang Surut**

Permukaan logam pada daerah ini senantiasa berada dalam lingkungan yang basah oleh air laut. Pada daerah ini, temperatur logam dipengaruhi oleh temperatur air laut dan temperatur udara di atasnya. Pengaruh pasang surut air laut yang terjadi mempunyai efek terhadap laju korosi logam. Dimana pasang surut yang besar akan diikuti dengan peningkatan laju korosi.

## **4. Kondisi Tercelup**

Korosi logam dalam daerah ini bisa diklasifikasikan menjadi dua jenis utama menurut laju korosinya :

- a. Dikendalikan sebagian besar oleh reaksi pada katoda
- b. Oleh adanya lapisan tipis oksida yang menempel



Pada daerah yang dangkal, *supply* bisa mendekati jenuh, aktifitas biologi juga bisa mencapai maksimum baik bagi tumbuhan maupun binatang laut. Temperatur air laut pada kondisi ini bervariasi menurut lokasi geografisnya. Untuk temperatur di permukaan lebih tinggi dari temperatur di bagian dalam, dan mempengaruhi proses korosi logam.

*Biofouling*, khususnya dari jenis binatang laut berkulit keras bisa mengurangi serangan terhadap baja karena :

- a. Menghambat kecepatan air laut yang membawa oksigen
- b. Menahan difusi oksigen pada daerah katodik, karena pada daerah ini bisa terbentuk endapan  $\text{CaCO}_3$  yang bersifat protektif seperti halnya *biofouling*.

Semakin bertambah kedalaman, *supply* oksigen akan berkurang dan berakibat pada perilaku korosi. Selain itu temperatur akan menurun, terutama pada 100 ft pertama.

## 5. Laut Dalam

Dari hasil penelitian yang dilakukan para ahli oceanografi di pantai barat Amerika (Laut Pasifik) menunjukkan bahwa kedalaman sampai 2000 ft kadar oksigen mencapai harga minimum (0,2 ml  $\text{O}_2$  perliter air laut). Sesuai dengan ilmu termodinamika dimana harga pH akan berkurang karena perubahan tekanan yang tinggi .



## 6. Zone Lumpur (*Mud Zone*)

Sifat-sifat fisis, kimia, dan fisiologis zona ini sangat kompleks dan berpengaruh pada sifat korosifitasnya. Terutama bila dilihat dari supply oksigen yang terjadi dipengaruhi oleh endapan sedimen. Secara praktis, perilaku korosi pada daerah lumpur untuk baja lebih lambat jika dibandingkan dengan perilaku korosi baja pada air laut.

## 2.2 FENOMENA KOROSI

Secara definitif korosi merupakan proses penurunan mutu dan kekuatan material (logam) sebagai akibat dari adanya reaksi logam tersebut dengan lingkungannya, baik secara fisika, kimia maupun biologi (Trethewey, 1991).

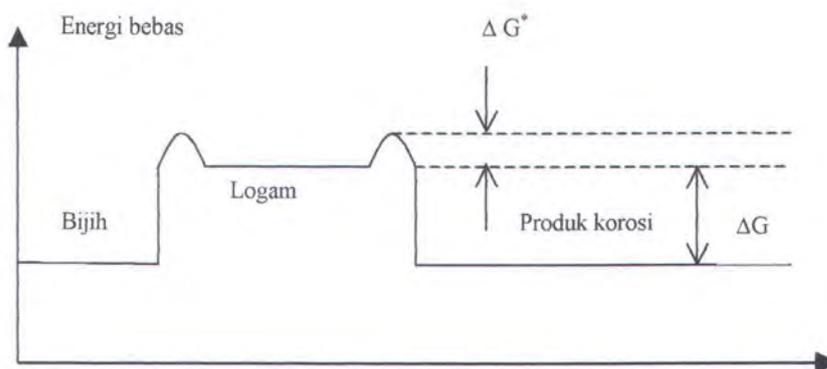
Beberapa hal penting yang menyangkut definisi ini adalah :

1. Korosi berkaitan dengan logam. Ini berarti setengah reaksi pertama (reaksi pada anoda) dianggap sebagai korosi sejati, setengah reaksi kedua (pada katoda) menerangkan suatu proses yang harus ada agar korosi dapat berlangsung, bukanlah suatu reaksi korosi.
2. Penggunaan istilah degradasi atau penurunan mutu diandaikan korosi adalah suatu proses yang tidak dikehendaki, untuk proses korosi yang dikehendaki tidak dinamakan korosi.
3. Penurunan mutu logam melibatkan reaksi kimia dan reaksi elektrokimia, yaitu antara bahan tersebut terjadi perpindahan elektron. Karena elektron bermuatan negatif, maka perpindahannya menimbulkan arus listrik, sehingga reaksi tersebut dipengaruhi arus listrik.



4. Lingkungan adalah sebutan paling mudah untuk memaksudkan semua unsur di sekitar logam terkorosi pada saat reaksi.

Di alam bebas logam kebanyakan ditemukan dalam keadaan tergabung secara kimia yang disebut bijih. Bijih-bijih ini berupa oksida, sulfida, karbonat, dan senyawa-senyawa lain yang lebih kompleks. Untuk memisahkan logam dari bijihnya (misalkan besi) diperlukan energi dalam jumlah besar dan biasanya dilakukan melalui proses pemanasan. Karena itu logam yang tidak tergabung dengan bahan lain biasanya mempunyai tingkat energi yang tinggi, hal itu bisa dijelaskan dalam gambar 2.2 berikut ini :



**Gambar 2.2.** Sebuah profil energi termodinamika untuk logam dan senyawa-senyawanya (Trethewey, 1991)

Hukum termodinamika mengungkapkan tentang kuatnya kecenderungan energi untuk berubah ke energi yang lebih rendah. Kecenderungan ini menyebabkan logam-logam bergabung kembali dengan unsur-unsur yang ada di lingkungannya. Pada gambar di atas selisih energi bebas antara logam dan produk korosinya ( $\Delta G$ ) hanya menggambarkan kecenderungan logam untuk mengalami korosi, jadi bukan



laju korosinya sendiri. Ini karena antara logam dan hasil korosi terdapat suatu penghalang energi. Atom-atom logam harus mengatasi penghalang ini agar korosi dapat terjadi. Untuk itu banyak energi harus dipasok. Penghalang energi itu disebut energi bebas aktivasi, yang disimbolkan dengan  $\Delta G^*$ . Ukuran energi bebas aktivasi inilah yang menentukan laju suatu reaksi korosi, yang tetapan lajunya dinyatakan dalam  $k_{kor}$ . Laju reaksi korosi  $v$  dapat dinyatakan dengan (Trethwey, 1991) :

$$v = k_{kor} (\text{reaktan}) \dots\dots\dots 2.1)$$

dengan :

$$k_{kor} = A \text{ eksp } (-\Delta G^* / RT) \dots\dots\dots 2.2)$$

dimana :

- A = tetapan yang tidak didefinisikan
- R = tetapan gas universal
- T = temperatur mutlak

Laju korosi dinyatakan dalam milimeter / tahun (mmpy) yaitu milimeter dalamnya korosi seluruh permukaan yang terbuka dalam waktu satu tahun.

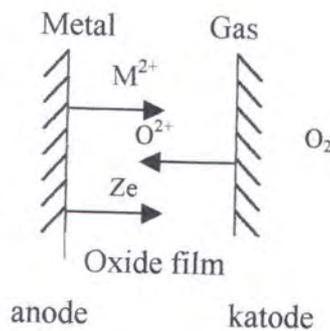
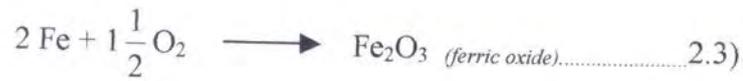
Dilihat dari jenis fluida atau lingkungan yang mengelilinginya terdapat dua jenis korosi, yaitu :

**1. Korosi kering**

Pada umumnya reaksi pada korosi kering terjadi antara logam dengan gas atau logam dengan uap termasuk unsur non logam seperti oksigen, halogen, hidrogen sulfida, uap sulfur dan sebagainya. Karakteristik reaksi ini adalah



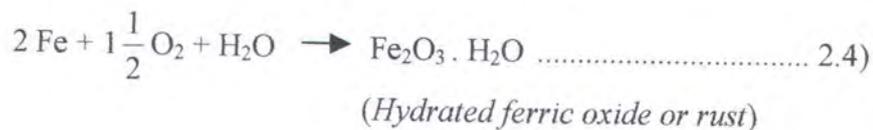
reaksi awal oksida pada logam, reaksi reduksi pada non logam dan pembentukan susunannya terjadi pada tempat yang sama atau satu tempat antara permukaan logam. Korosi ini biasa terjadi pada suhu tinggi karena suhu tinggi mempengaruhi gerakan molekul. Reaksi kimia pada korosi ini adalah sebagai berikut :

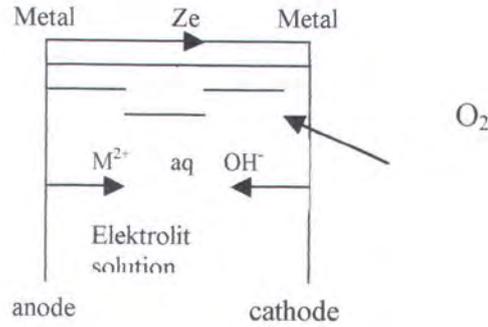


Gambar 2.3 Reaksi kimia korosi kering (Chandler, 1985)

## 2. Korosi basah

Pada korosi basah, reaksi oksidasi dan reduksi terjadi pada lingkungan fluida cair, reaksinya sendiri terjadi pada tempat yang berbeda pada permukaan logam dan terjadi perpindahan elektron dari logam anoda ke katoda. Kation atau anion yang berpindah antara permukaan logam bisa terjadi karena proses migrasi, difusi atau konveksi baik secara alami maupun dipaksakan (*external force*). Reaksi kimia pada korosi basah adalah sebagai berikut :





**Gambar 2.4** Reaksi kimia korosi basah (Chandler,1985)

Beberapa perbedaan antara korosi kering dan basah adalah sebagai berikut :

1. Pada korosi basah, ion logam terhidrasi. Energi hidrasi pada ion logam adalah besar dan hal ini cenderung mendorong terjadinya ionisasi.
2. Proses ionisasi oksigen menjadi hidroksil pada korosi basah akan melibatkan ion hidronium atau air.
3. Pada korosi kering ionisasi langsung oksigen terjadi.

Pada umumnya proses pengkaratan adalah proses elektrokimia. Contohnya adalah pada baterai lampu senter, dimana baterai terdiri dari elektroda yang terbuat dari karbon dan mangkok yang terbuat dari seng. Kedua elektroda tersebut dipisahkan oleh elektrolit yang terdiri dari larutan amonium khlorida (NH<sub>4</sub>CL). Jika elektroda karbon dihubungkan dengan elektroda seng melalui sebuah bola lampu, maka bola lampu tersebut akan menyala karena terjadi arus listrik yang mengalir dari katoda ke anoda sebagai hasil reaksi kimia. Pada mangkok seng terjadi reaksi oksidasi :





Sedangkan pada elektroda karbon yang terjadi reaksi reduksi :



Akibat oksidasi tersebut, metal Zn berubah menjadi ion Zn yang terhidrasi (*Hydrated Zinc ions*)  $\text{Zn}^{2+} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Semakin besar arus yang terjadi maka semakin banyak metal Zn yang menjadi ion, sehingga metal Zn kehilangan massa atau disebut berkarat.

Proses elektrokimia terjadi jika larutan elektrolit sebagai lingkungan, mengandung ion-ion bebas misalnya larutan garam, asam dan basa. Bila atom-atom yang ada pada permukaan logam berhubungan dengan larutan elektrolit maka atom-atom tersebut akan bersatu dengan larutan sebagai ion yang kemudian meninggalkan beberapa elektron pada logam, sehingga logam bermuatan listrik. Elektron tersebut akan mencari keseimbangan dan bereaksi dengan ion hidrogen pada larutan elektrolit. Logam tersebut akan berperan sebagai anoda dan katoda. Pada logam anoda sebagai kutub negatif terjadi reaksi oksidasi, sedangkan katoda sebagai kutub positif dan terjadi reaksi reduksi. Karena terdapat perbedaan potensial antara kedua kutub tersebut maka terjadi perpindahan elektron dari anoda ke katoda melalui larutan elektrolit dan berlaku sebagai aliran listrik. Semakin besar perbedaan potensial antara kedua logam maka aliran elektron akan semakin besar. Arus listrik yang mengalir menuju anoda sama banyak dengan elektron yang meninggalkan anoda.





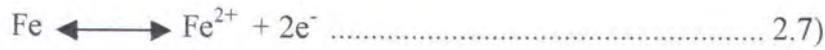
Tabel 2.2 dibawah ini menunjukkan besarnya beda potensial dari tiap-tiap jenis metal.

Tabel 2.2 Potensial beberapa logam (Widharto, 1999)

| Metal           | Ion yang terbentuk | Potensial (volt) |
|-----------------|--------------------|------------------|
| Lithium         | $\text{Li}^+$      | - 2,96           |
| Rubidium        | $\text{Rb}^+$      | - 2,93           |
| Potassium       | $\text{K}^+$       | - 2,92           |
| Strontium       | $\text{Sr}^{++}$   | - 2,92           |
| Barium          | $\text{Ba}^{++}$   | - 2,90           |
| Calcium         | $\text{Ca}^{++}$   | - 2,87           |
| Sodium          | $\text{Na}^+$      | - 2,71           |
| Magnesium       | $\text{Mg}^{++}$   | - 2,40           |
| Aluminium       | $\text{Al}^{+++}$  | - 1,70           |
| Beryllium       | $\text{Be}^{++}$   | - 1,69           |
| Manganese       | $\text{Mn}^{++}$   | - 1,10           |
| Zinc            | $\text{Zn}^{++}$   | - 0,76           |
| Chromium        | $\text{Cr}^{++}$   | - 0,56           |
| Iron (ferrum)   | $\text{Fe}^{++}$   | - 0,44           |
| Cadmium         | $\text{Cd}^{++}$   | - 0,40           |
| Indium          | $\text{In}^{+++}$  | - 0,34           |
| Thalium         | $\text{Tl}^+$      | - 0,33           |
| Cobalt          | $\text{Co}^{++}$   | - 0,28           |
| Nickel          | $\text{Ni}^{++}$   | - 0,23           |
| Tin (stanium)   | $\text{Sn}^{++}$   | - 0,14           |
| Lead (plumbum)  | $\text{Pb}^{++}$   | - 0,12           |
| Iron (ferry)    | $\text{Fe}^{+++}$  | - 0,04           |
| Hidrogen        | $\text{H}^+$       | 0,00             |
| Antimony        | $\text{Sb}^{+++}$  | + 0,10           |
| Bismuth         | $\text{Bi}^{+++}$  | + 0,23           |
| Arsenic         | $\text{As}^{+++}$  | + 0,30           |
| Copper (cupri)  | $\text{Cu}^{++}$   | + 0,34           |
| Copper (cuprum) | $\text{Cu}^+$      | + 0,47           |
| Tellurium       | $\text{Te}^{++++}$ | + 0,56           |
| Silver          | $\text{Ag}^+$      | + 0,80           |
| Mercury         | $\text{Hg}^{++}$   | + 0,80           |
| Platinum        | $\text{Pt}^{++++}$ | + 0,86           |
| Gold (aurous)   | $\text{Au}^+$      | + 1,50           |



Bentuk proses korosi elektrokimia yang paling sering ditemukan adalah proses elektrokimia dari oksidasi logam. Oksidasi sendiri adalah terlepasnya elektron dari suatu atom, misalnya terlepasnya elektron dari atom besi.

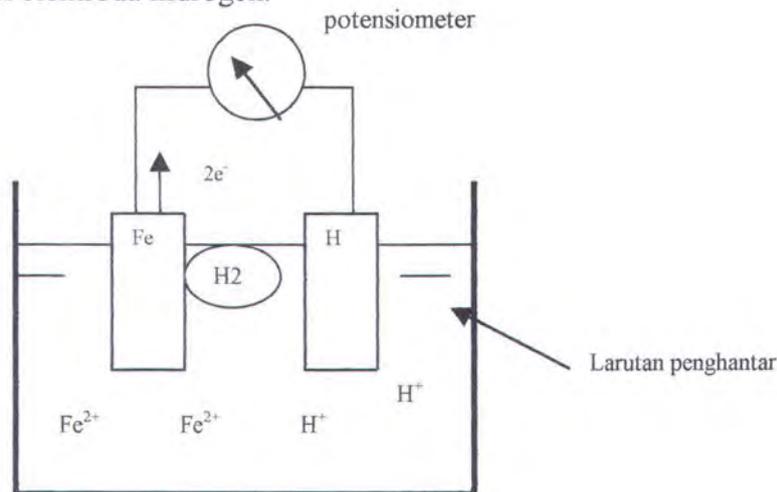


Zat hidrogen masuk ke dalam larutan penghantar melalui reaksi sebagai berikut :



Suatu potensial tertentu yang dikandung setiap metal yang cenderung berkarat atau teroksidasi disebut potensial elektroda. Potensial ini tergantung pada kondisi metal dan kondisi larutan penghantar. Potensial elektroda didapatkan dengan mengukur selisih tegangan listrik antara metal yang diukur dengan elektroda hidrogen standar, apabila keduanya dimasukkan kedalam larutan penghantar. Hal ini bisa dilihat pada gambar 2.5.

Dari pengukuran dengan potensiometer diketahui bahwa elektroda hidrogen lebih tinggi 0,44 volt dibanding elektroda besi. Sedangkan untuk elektroda perak lebih tinggi 0,8 volt dari elektroda hidrogen.



Gambar 2.5 Pengukuran potensial elektroda (Widharto, 1999)



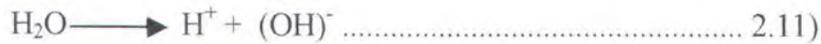
Di daerah anoda terjadi reaksi oksidasi menjadi ion positif yang larut ke dalam larutan penghantar.



Di daerah katoda terjadi reaksi reduksi pada  $\text{H}^+$  menjadi gelembung gas  $\text{H}_2$  dan kemudian menempel pada permukaan elektroda besi.



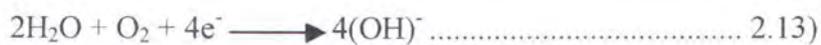
Di alam larutan terdapat ion-ion  $(\text{OH})^-$  yang berasal dari reaksi disosiasi air.



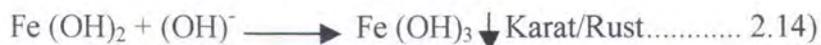
Ion-ion hidroksil ini bereaksi dengan ion-ion besi menjadi :



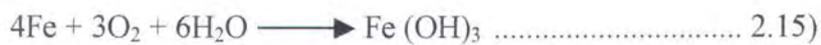
Apabila terdapat kelebihan zat asam di dalam larutan akan terjadi pembentukan ion hidroksil di daerah katoda.



yang mengakibatkan percepatan proses karat dan menghasilkan kerak (*rust*).



Atau



Elektroda besi yang anodik akan kehilangan massa karena ion-ion  $\text{Fe}^{++}$  tidak stabil. Untuk itu elektroda besi dikatakan berkarat dengan ditandai terjadi kerusakan pada permukaan. Secara umum reaksi anodik digambarkan sebagai berikut :



Reaksi katodik yang sering terjadi selama proses korosi logam adalah :



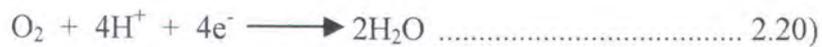
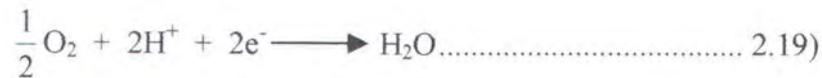
## 1. Evolusi Hidrogen



## 2. Reduksi air



## 3. Reduksi Oksigen di lingkungan asam



## 4. Reduksi Oksigen di lingkungan basa



## 5. Reduksi ion logam



## 6. Reposisi logam (pengendapan)

**2.2.1 FAKTOR YANG MENYEBABKAN KOROSI**

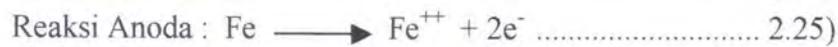
Dua aspek penting yang mempengaruhi proses korosi yaitu logam dan lingkungannya. Ada logam tertentu yang bersifat korosif pada suatu lingkungan tetapi ada logam lain yang tidak korosif pada lingkungan tersebut, contohnya adalah logam *stainless steel* korosif terhadap elektrolit asam klorida pekat (83% *chlorida acid*), tetapi pada kepekatan yang sama *carbon steel* tidak bersifat korosif.



## 1. Aspek Lingkungan

Lingkungan merupakan suatu media yang berada pada sekeliling atau sekitar bahan logam. Adapun faktor yang mempengaruhi korosi dari aspek lingkungan ini adalah :

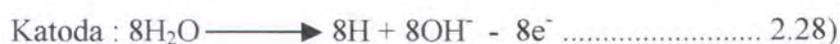
- a. Adanya Oksigen terlarut atau bahan oksidator yang lain yang dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi.

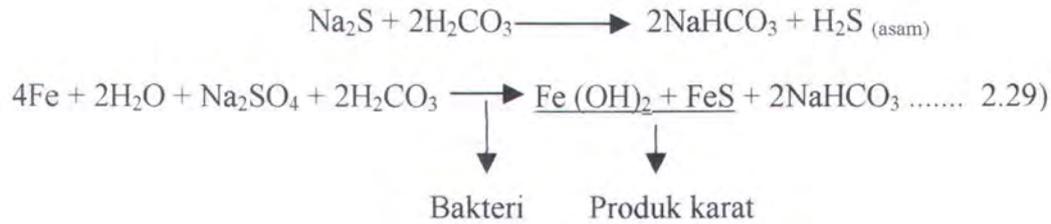


Dalam hubungannya dengan aktif-pasif metal apabila oxidizer ditambah akan berakibat pada bertambahnya *corrosion rate*. Pada tingkat tertentu harga *corrosion rate* akan konstan dan apabila diadakan penambahan oxidizer lagi akan berakibat pada meningkatnya *corrosion rate* secara dramatik.

- b. Aksi dari Bakteri Anaerobik

Secara teoritis apabila tidak terdapat zat asam, maka laju korosi pada baja relatif lambat, namun pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju korosi tinggi sekali. Ternyata di daerah tersebut hidup sejenis bakteri yaitu bakteri anaerobik yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Bakteri ini mengubah (*reducing*) garam sulfat menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan karat. Reaksinya adalah sebagai berikut :





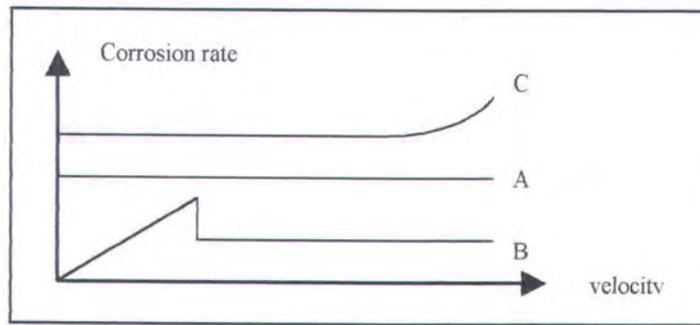
Bakteri ini juga lazim disebut *Sulfate Reducing Bacteria*, dan jenisnya adalah *Sporovibrio Desulfuricans* (Widharto, 1999).

### c. Kecepatan Media

Seperti pada penambahan oxidizer pengaruh kecepatan media terhadap *corrosion rate* tergantung pada karakteristik logam dan lingkungan dimana benda tersebut berada. Terdapat tiga jenis karakteristik logam dalam hubungannya dengan kecepatan media yaitu :

- Jenis A : Proses korosi dikontrol oleh katodik difusion sehingga kecepatan media berpengaruh pada *corrosion rate*.
- Jenis B : Proses korosi dikontrol oleh *activation polarisation* dan kecepatan media tidak berpengaruh terhadap *corrosion rate*.
- Jenis C : Beberapa logam mempunyai ketahanan korosi dalam media tertentu, apabila agitasi diberikan pada larutan media, maka akan terjadi perilaku hubungan kecepatan dengan *corrosion rate*.

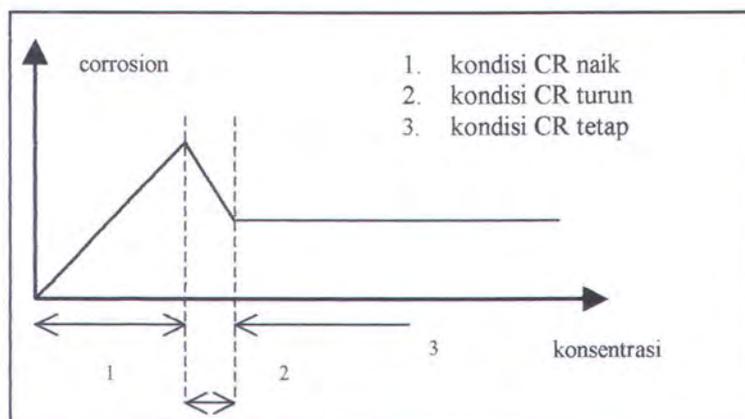
Hubungan antara kecepatan media dengan laju korosi bisa dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini:



Gambar 2.6 Pengaruh kecepatan media terhadap korosi (Fontana, 1987)

d. Garam terlarut

Garam adalah senyawa kimia yang bersifat pengoksidasi atau pereduksi, sehingga kadar garam bisa sebanyak mungkin atau sekecil mungkin. Kadar garam yang terlarut sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Semakin tinggi kadar garam akan meningkatkan laju korosi. Namun berdasarkan teori pasivitas, pada kadar garam tertentu (kadar garam tinggi) laju korosi akan menurun. Kondisi tersebut dinamakan kondisi pasif. Sehingga larutan garam bisa bersifat katalisator dan inhibitor. Gambar di bawah menunjukkan pengaruh garam terlarut terhadap laju korosi.



Gambar 2.7 Pengaruh kadar garam terhadap laju korosi (Fontana, 1987)



e. Konsentrasi gas

Kondisi udara sangat berpengaruh terhadap proses korosi. Karena fase ini merupakan zat yang mudah bereaksi dengan senyawanya. Jenis gas yang sangat berpengaruh terhadap proses korosi adalah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$  dan  $\text{H}_2$ . Gas-gas tersebut bersifat katalisator terhadap proses korosi.

f. Pengotoran biologis

Menempelnya hewan-hewan berkulit keras cenderung meredakan serangan korosi karena menghambat masuknya oksigen. Dalam keadaan lain, dimana yang menempel sedikit dan terisolasi justru bisa menyebabkan korosi lubang akibat aerasi diferensial di bawah hewan yang menempel tersebut.

g. Pencemaran

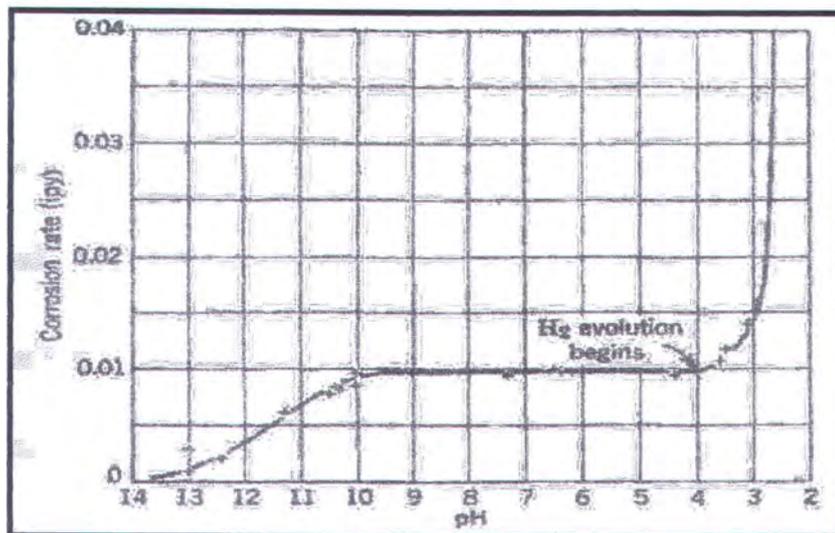
Dalam air laut yang tercemar yang mengandung sulfida bisa mempercepat serangan korosi pada baja.

h. Kadar keasaman (pH)

Kecepatan laju korosi akan berjalan konstan jika berada dalam lingkungan dengan pH antara 4-10. Jika pH kurang dari 4, asam akan menyebabkan pelepasan hidrogen. Pada beberapa beberapa kondisi asam, khususnya yang mengandung sulfida, hidrogen yang terjadi akan terdistribusi ke dalam baja dan menyebabkan *blistering* pada baja berkekuatan rendah (*low strength steel*) dan *cracking* pada baja kuat (*high strength steel*). Pada pH di atas 10, kecepatan korosi akan



menurun. Garam terlarut secara umum menambah kecepatan korosi, karena garam dapat meningkatkan konduktivitas larutan seperti yang terlihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Pengaruh pH terhadap laju korosi (Uhlig, 1985)

i. Kecepatan aliran

Hal ini dapat meningkatkan laju korosi terlebih jika berada dalam daerah olakan. Pergolakan air laut menghancurkan lapisan pelindung jika larutan tersebut mengandung partikel padat. Selain itu benturan yang terjadi dapat mempercepat penetrasi, sedangkan peronggaan memperbanyak bagian permukaan metal yang tersingkap. Dalam hal lain, secara elektrokimia, pada kecepatan tertentu kecepatan aliran bisa mengganggu konsistensi dari reaksi korosi dan hal ini menurunkan laju korosi. Kecepatan aliran yang relatif tinggi dimana logam tercelup, dapat meningkatkan laju korosi. Jika hal ini berlanjut, maka dapat menyebabkan terjadinya korosi erosi, yang diawali dengan rusaknya lapisan film dari logam yang selanjutnya permukaan logam akan mengalami kerusakan.



## 2. Aspek Logam

Dalam proses korosi, logam berlaku sebagai subyek reaksi karena itu mempelajari karakteristik logam secara makro dan mikro sangat penting untuk mendapatkan jenis logam yang cenderung tahan terhadap lingkungan tertentu. Logam dan paduannya terbentuk dari berbagai kristal atom. Kristal-kristal atom logam tersusun dalam suatu bentuk yang teratur dengan ikatan yang sangat kuat.

Ketika suatu logam mengalami pembekuan dan pendinginan, kristal-kristal atom secara acak terdistribusi di dalam logam cair dan akan terbentuk butiran-butiran, pada saat itu ada daerah yang mempunyai tingkat energi berbeda dengan daerah lainnya. Daerah tersebut dinamakan daerah batas butir (*grain boundary*). Daerah batas butir ini mempunyai tingkat energi lebih tinggi dan lebih reaktif dibandingkan daerah lain. Sebab itu daerah batas butiran akan mengalami kerusakan yang lebih cepat ketika proses korosi. Cacat kristal yang terjadi pada butiran logam akan mempercepat proses korosi.

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses korosi dari aspek logam adalah :

### a. Komposisi unsur-unsur pada logam

Setiap jenis logam mempunyai kandungan unsur-unsur yang berbeda-beda dan hal ini bisa menyebabkan sifat korosifitas dari logam tersebut.

### b. Jenis logam

Setiap logam akan bereaksi secara berbeda terhadap suatu elektrolit yang sama. Disamping itu perlu diketahui bahwa ada logam atau paduan tertentu menjadi



justru menjadi pasif (tidak bereaksi) bila kekuatan elektrolit melampaui batas tertentu.

- c. Homogenitas dan fisika permukaan logam
- d. Kemampuan pembentukan suatu lapisan pelindung
- e. Sifat mekanik logam

Sifat mekanik dari logam menunjukkan kemampuan dari suatu logam untuk menerima beban, gaya atau energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tersebut.

- f. Kehantaran listrik

Kehantaran listrik yang tinggi memungkinkan aliran listrik dari anoda ke katoda tetap bekerja meskipun kedua elemen tersebut mempunyai jarak yang jauh. Dengan kehantaran listrik yang tinggi karena mempunyai perbedaan beda potensial yang besar akan meningkatkan elemen anoda lebih bersifat korosif, maka jika perlu dipilih dua jenis logam yang berbeda dengan selisih beda potensial yang tidak besar.

- g. Struktur mikro logam

Struktur material yang tidak homogen akan ikut mempengaruhi laju korosi, ketidak homogenan struktur material disebabkan oleh beberapa seperti :

- Campuran metal/logam (secara kimia) yang tidak seimbang
- Pengaruh pengerjaan mekanis dari material, misalnya bending
- Pengerjaan panas (*heat treatment*) yang tidak sempurna

Pada pengerjaan mekanis bisa mengakibatkan susunan kristal yang saling berdekatan dalam suatu logam akan mengalami perubahan atau perbedaan dari



susunan kristal aslinya. Jadi struktur mikro logam mempengaruhi pula jenis korosi yang terjadi.

### 2.3 JENIS KOROSI

Dari sebanyak 105 jenis elemen yang 80 diantaranya berupa bahan logam mempunyai sifat kimiawi, fisik dan mekanik yang berbeda. Keseluruhan jenis logam tersebut diatas tidak ada yang kebal terhadap semua jenis karat, masing-masing logam memiliki kelebihan dan kelemahan terhadap jenis karat tertentu, misalnya logam aluminium tahan terhadap karat atmosphere, namun tidak tahan terhadap karat merkuri (air raksa). Logam yang sangat mulia seperti emas dan platina yang kebal terhadap sebagian besar karat, akan menyerah pada bromine basah, atau pada karbon tetraklorida konsentrasi 60 % keatas. Dengan melihat dari berbagai faktor yang terjadi pada proses pengkaratan ada berbagai jenis korosi yang terjadi, antara lain :

#### 1. Korosi Galvanis (*Galvanic Corrosion*)

Korosi galvanis prinsipnya sama dengan sel galvanis. Korosi ini merupakan proses pengkaratan elektrokimia jika dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung dalam elektrolit yang sama. Elektron mengalir dari metal yang kurang mulia (anodik) menuju metal yang lebih mulia (katodik), akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan metal negatif yang berada didalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuklah sumur-sumur karat atau jika merata disebut *Surface Attack* atau serangan korosi permukaan. Semakin besar beda



potensial antara dua metal tersebut maka akan semakin cepat pula aliran elektron yang terjadi sehingga korosi semakin cepat menjalar. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam korosi ini adalah :

- Energi potensial dari logam (EMF)
- Faktor luas antara logam anodik dan katodik
- Faktor jarak antara dua logam

Untuk memperkirakan logam mana yang terkorosi lebih dahulu dapat digunakan deret galvanis pada tabel 2.2 di atas.

## 2. Korosi Kavitasi (*Cavitation Corrosion*)

Terjadi karena tingginya kecepatan cairan menciptakan daerah-daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada permukaan peralatan dimana cairan tersebut mengalir, sehingga terjadi gelembung-gelembung uap cairan pada permukaan tersebut, yang jika pecah, kembali menjadi cairan dan menimbulkan pukulan pada permukaan yang cukup besar untuk memecahkan film oksida pelindung permukaan. Akibatnya bagian permukaan yang tidak terlindung akan terserang karat karena daerah tersebut menjadi anodik terhadap bagian yang terlindung (sel karat lapisan permukaan).

Penyebab terbentuknya gelembung uap cairan adalah turbulensi cairan di permukaan metal, atau suhu yang menyebabkan tekanan cairan pada suatu tempat jatuh di bawah tekanan uap cairan, seperti yang terjadi di bagian belakang propeller kapal.



### 3. Korosi Erosi (*Errosion Corrosion*)

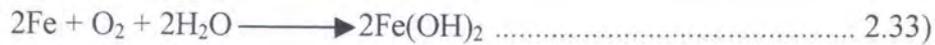
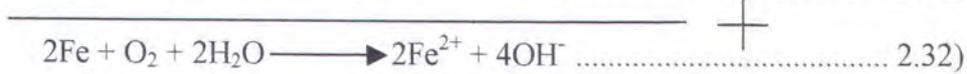
Korosi erosi adalah kerusakan permukaan metal yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat cepat. Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir dan adanya gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan metal maka lapisan pelindung akan terbuka sehingga memudahkan terjadinya karat. Jika hal ini terjadi maka proses ini disebut karat erosi. Erosi dapat terjadi pada permukaan yang bergerak cepat, sementara fluida di sekitarnya mengandung partikel-partikel padat. Fluida yang mengalir memintas permukaan logam berupa beberapa lapisan sejajar, yang masing-masing bergerak dengan kecepatan berbeda. Lapisan yang paling lambat adalah lapisan yang paling dekat dengan permukaan logam tempat gaya-gaya gesekan dan tumbukan-tumbukan molekul dengan bagian permukaan yang tidak beraturan paling besar, kecepatan ini semakin meningkat hingga maksimum pada jarak tertentu dalam badan fluida. Efek ini lebih dikenal sebagai aliran laminar. Besarnya gaya gesekan pada logam juga ditentukan oleh bentuk permukaan logam, misalnya bila logam tersebut berupa susunan pelat pada badan kapal yang sedemikian rupa. Efek yang paling mengganggu akibat meningkatnya laju aliran adalah bertambahnya ion-ion agresif seperti klorida atau sulfida. Jika dalam fluida mengandung partikel-partikel padat, lapisan pelindung mungkin tergerus sehingga korosi meningkat.

### 4. Korosi Seragam (*uniform attack*)

Korosi ini ditandai dengan terjadinya karat secara homogen ke seluruh bagian material yang terbuka. Misalnya proses korosi logam besi yang tercelup dalam air,



dimana logam besi akan teroksidasi membentuk ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan air akan tereduksi menjadi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  dengan reaksi sebagai berikut :



Proses korosi ini akan menghasikan karat besi  $2\text{Fe(OH)}_2$  yang berwarna coklat dan menipiskan permukaan logam besi.

#### 5. Korosi celah (*crevice corrosion*)

Korosi ini terjadi pada bagian logam di daerah yang berhubungan secara langsung pada daerah kontak dengan material lain (biasanya berbeda macamnya seperti gasket, kayu dan lain-lain). Pada daerah tersebut terperangkap larutan yang akan menjadi pemicu terjadinya korosi. Jenis korosi ini sering ditemui pada sambungan keling atau sambungan baut. Biasanya di antarapelat tersebut terdapat kotoran seperti debu, cat dan yang lain. Jika pelat terkorosi, maka besi akan meninggalkan unsur dasarnya dan bergabung dengan air dan oksigen untuk membentuk senyawa hidroksida besi (karat).

#### 6. Korosi Lubang (*pitting corrosion*)

Korosi ini terbatas pada satu lokasi dan menembus ke dalam serta jarang meluas. Kedalaman penembusannya mungkin lebih besar dari diameter lubang itu sendiri. Jenis korosi ini cukup berbahaya karena tidak terdeteksi karena bagian yang terkorosi akan tampak seperti tertutup kotoran.



#### 7. Korosi antar butir (*intergranular corrosion*)

Jenis korosi ini sering dijumpai pada baja nirkarat austenitik atau modifikasi dari paduan baja tersebut, yang disebabkan karena proses perlakuan bahan atau pengelasan. Pada kondisi tertentu bidang antar butir menjadi sangat reaktif, yang ditimbulkan karena adanya unsur pengotor atau adanya konsentrasi unsur pemuatan yang lebih tinggi pada batas butiran atau sebaliknya karena pengurangan unsur pemuatan sehingga mengakibatkan terjadinya kemudahan atau kepekaan terhadap serangan korosi.

#### 2.4 PENGUKURAN LAJU KOROSI DENGAN METODE POLARISASI

Korosi biasanya terjadi pada *rate* yang ditentukan oleh kesetimbangan antara reaksi elektrokimia yang berkebalikan. Reaksi yang pertama adalah reaksi anodik, di mana logam teroksidasi dan melepaskan elektron. Reaksi lainnya adalah reaksi katodik, di mana spesies dari larutan (biasanya  $O_2$  dan  $H^+$ ) tereduksi dan mengambil elektron dari logam. Jika kedua reaksi tersebut berada dalam kesetimbangan, maka aliran elektron dari masing-masing reaksi akan seimbang dan tidak terjadi aliran listrik. Karena korosi selalu melibatkan reaksi elektrokimia, maka teknik/cara yang paling ideal untuk mempelajari proses korosi tersebut adalah dengan cara elektrokimia. Salah satunya yang sudah banyak digunakan adalah metode *polarisasi resistance*.

Metode tersebut dilakukan dengan mengalirkan arus dengan tegangan tertentu ke sebuah elektroda, sehingga elektroda tersebut akan memiliki harga potensial elektroda yang berbeda dengan potensial elektrodanya pada saat rangkaian masih



terbuka. Ketika elektroda mengalami polarisasi seperti di atas maka akan menyebabkan arus mengalir melalui reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan elektroda. Jumlah arus yang mengalir dipengaruhi oleh kecepatan reaksi dan difusi reaktan pada elektroda.

Pada sel di mana elektroda mengalami korosi seragam saat rangkaiannya terbuka, maka potensialnya (*open circuit potential*) dipengaruhi oleh keseimbangan antara dua reaksi elektrokimia yang berbeda. Satu reaksi menghasilkan arus katodik, sedang reaksi yang lain menghasilkan arus anodik. *Open circuit potential* akan berhenti pada harga tertentu di mana harga arus anodik dan katodik adalah sama. Harga inilah yang dikenal dengan istilah potensial gabungan. Harga arus untuk masing-masing reaksi disebut arus korosi (*I<sub>corr</sub>*).

#### 2.4.1 PROSES POLARISASI

Secara definisi, polarisasi merupakan jangkauan dari perubahan potensial yang disebabkan oleh arus dari dan ke elektroda yang dinyatakan dalam volt (Widharto, 1999). Suatu reaksi secara elektrokimia dapat dikatakan terpolarisasi jika terjadi proses perlambatan (*retarding*) dari laju reaksi (Widharto, 1999). Proses perlambatan tersebut dapat terjadi karena adanya dua faktor yaitu faktor kimia dan faktor fisik. Adapun jika dilihat, ada dua jenis polarisasi yaitu :

##### 1. Polarisasi Aktifasi

Faktor pelambat yang mempengaruhi proses polarisasi jenis ini adalah reaksi elektrokimia itu sendiri, yakni proses evolusi terbentuknya gas hidrogen di katoda.





Laju reduksi ion hidrogen menjadi gas hidrogen merupakan fungsi beberapa faktor termasuk transfer elektron ke ion hidrogen di permukaan metal. Sehingga dapat dikatakan bahwa ada keterkaitan antara laju korosi dengan jenis metal, konsentrasi ion hidrogen serta suhu reaksi.

## 2. Polarisasi Konsentrasi

Polarisasi ini menyangkut adanya proses pelambatan reaksi elektrokimia sebagai akibat dari adanya perubahan konsentrasi di dalam larutan di dekat permukaan metal.

## 2.5 KOROSI PADA GALVANIZED STEEL

Terdapat dua alasan utama yang mendasari mengapa seng dipilih sebagai lapisan pelindung bagi besi maupun *steel*. Alasan yang pertama adalah sifat dasar seng itu sendiri, yang mempunyai ketahanan yang cukup tinggi terhadap korosi. Sedangkan alasan yang kedua adalah karena harga elektronegatifitas seng yang lebih tinggi dari pada besi sehingga seng dapat melindungi besi. Kemampuan seng untuk melindungi besi ini terjadi karena produk-produk korosi seng, seperti senyawa-senyawa oksida, hidroksida dan karbonat basa, membentuk selaput pelindung pada permukaan besi yang mengurangi laju korosi seng sampai ke tingkat yang jauh dibawah laju korosi besi atau baja (Shreir L.L, 1994).

Seng yang terdapat pada *galvanized steel* akan membentuk lapisan pelindung dengan siklus tertentu. Pada 12 bulan pertama sejak digunakannya *galvanized steel*, logam seng yang ada dipermukaan *galvanized steel* akan berubah menjadi



*zinc oxide* (ZnO). Kemudian dilanjutkan dengan berubahnya ZnO menjadi *zinc hydroxide* [Zn(OH)<sub>2</sub>] yang berlangsung sesaat setelah ZnO terbentuk. Peristiwa ini tergantung pada jumlah air di udara. Produk korosi [ZnO dan Zn(OH)<sub>2</sub>] dapat larut dalam air, sehingga seringkali keduanya terlepas dari permukaan seng karena adanya hujan dan kondensasi uap air. Tahapan akhir dari siklus korosi ini adalah terjadinya perubahan Zn(OH)<sub>2</sub> dan ZnO menjadi ZnCO<sub>3</sub> karena adanya aliran udara melewati permukaan seng. CO<sub>2</sub> yang berada di udara akan bereaksi dengan ZnO, membentuk ZnCO<sub>3</sub> yang tidak larut dalam air dan kemudian terbentuk lapisan yang sangat tebal pada permukaan *coating*. Lapisan ini terkorosi dengan sangat lambat. Rate korosi sistem secara keseluruhan ditentukan oleh pelarutan ZnCO<sub>3</sub>. Rate korosi berubah dengan sangat cepatnya pada lingkungan dengan pH rendah karena larutan asam dapat dengan mudah melarutkan lapisan ZnCO<sub>3</sub>. Lingkungan dengan pH cukup tinggi juga dapat memperpendek umur lapisan seng.

Umur *galvanized steel* di udara ditentukan oleh ketebalan dan kondisi lingkungan di mana bahan itu dipergunakan. Beberapa test dan percobaan yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa umur *galvanized steel* berbanding lurus terhadap ketebalan lapisan pelindung pada berbagai lingkungan dan tidak tergantung terhadap metode pelapisan (Sheir, 1994).

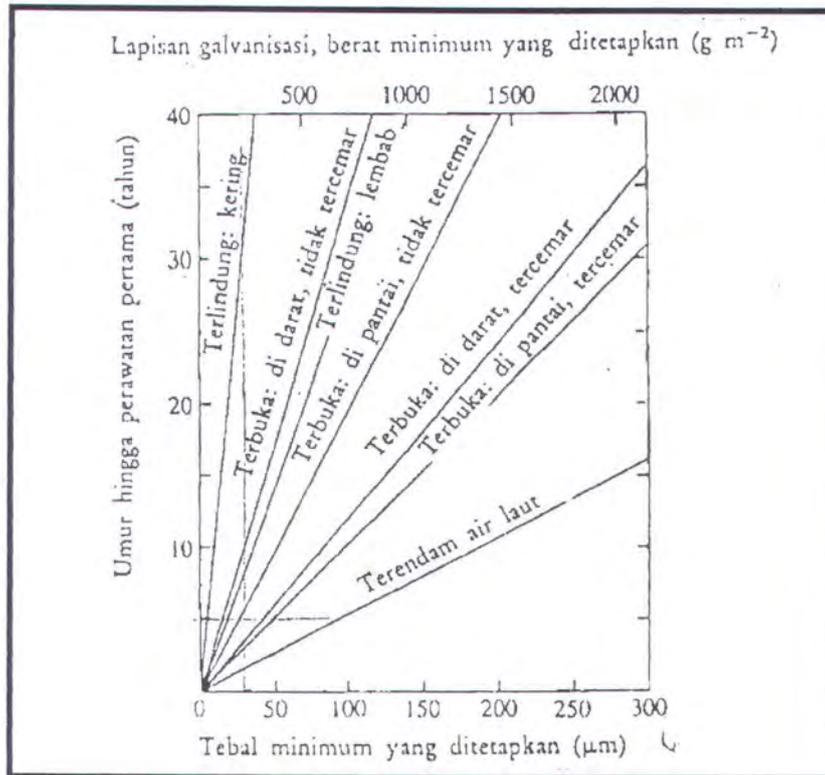
Laju korosi dan umur *galvanized steel* di Inggris ditunjukkan pada tabel 2.3. Hasil ini hanya dapat digunakan sebagai perkiraan, karena kesulitan dalam penentuan kondisi atmosfer dari waktu ke waktu (Sheir, 1994).



Tabel 2.3 laju korosi dan umur *galvanised steel*  
di Inggris (Sheir, 1994).

| Atmosfer   | Umur lapisan dengan ketebalan rata-rata |                |           |           |          |           |
|------------|---|----------------|-----------|-----------|----------|-----------|
|            | Rate korosi                             |                | (tahun)   |           |          |           |
|            | $Gm^{-2} y^{-1}$                        | $\mu m y^{-1}$ | 200 $\mu$ | 100 $\mu$ | 25 $\mu$ | 5 $\mu$   |
| Rural      | 14                                      | 2              | 50 – 150  | 25 – 75   | 6 - 20   | 1 - 3     |
| Urban      | 40                                      | 5              | 30 – 50   | 15 – 25   | 4 - 6    | $\cong$ 1 |
| Marine     | 40                                      | 5              | 30 – 50   | 15 – 25   | 4 - 6    | $\cong$ 1 |
| industrial | 80                                      | 10             | 10 – 30   | 5 – 15    | 1 - 4    | 0,25 – 1  |

Untuk hampir seluruh umur pakainya, seng merupakan suatu lapisan penghalang yang memisahkan baja dari lingkungan di sekitarnya. Meski demikian, dengan pengandaian bahwa elektrolit mempunyai konduktivitas listrik yang baik dan menghubungkan substrat yang tersingkap dengan lapisan yang tersisa, sebagian besar lapisan seng akan hilang sampai akhirnya baja terserang korosi, sebagai akibat dari peran yang dijalankannya sebagai tumbal dalam upaya perlindungan tersebut. Dalam kondisi demikian, korosi serius akan tertunda sampai lapisan pelindung tinggal 10% saja dari keadaan semula. Pada umumnya, lapisan setebal 0,33 mm di udara terbuka akan berumur 11 sampai 12 tahun bila di daerah pedesaan, sekitar 8 tahun bila di lingkungan laut, tetapi menjadi hanya 4 tahun bila di daerah industri yang terkena polusi belerang oksida. Dalam keadaan terendam di air laut, setiap lapisan dengan ketebalan 0,03 mm akan habis sesudah kira-kira 1 tahun, tetapi dengan adanya polusi, terutama hidrogen sulfida yang ditimbulkan oleh limbah di muara-muara, akan menyebabkan laju penipisan lapisan semakin bertambah antara umur sejak pelepasan pertama dan ketebalan minimum lapisan seng di lingkungan-lingkungan yang berbeda.



**Gambar 2.9** Pengaruh lingkungan dan ketebalan terhadap umur lapisan seng (Trethewey, 1991).



Hal ini harus diperhatikan dalam pelapisan baja oleh seng adalah kemungkinan berbaliknya polarisasi sel. Pembalikan ini dapat ditimbulkan oleh ion-ion  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{NO}_3^-$ , terutama dalam elektrolit-elektrolit panas, sementara ion-ion  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_3^{2-}$  mempertahankan agar peran tumbal tetap dimainkan oleh seng (Trethewey, 1991).

## 2.6 PENGECATAN

Penanggulangan korosi dengan menggunakan cat memerlukan perlakuan khusus yang ditujukan untuk mendapatkan permukaan material yang halus, sehingga cat



mampu melekat dengan sempurna dan menghasilkan umur perlindungan yang lama (Trethewey, 1991). Penyiapan permukaan yang kurang baik mengakibatkan kegagalan pengecatan sehingga tujuan untuk memperlambat faktor lingkungan yang memicu laju korosi tidak tercapai. Selain faktor tersebut, hal lain yang juga penting untuk diperhatikan dalam proses pengecatan adalah formula dan komposisi yang dimiliki oleh cat itu sendiri, serta penerapan cat yang benar.

Cat merupakan bahan organik yang terdiri dari campuran antara partikel-partikel yang tidak dapat larut yang disebut pigmen, dengan zat pengangkut yang cair (Coating Handbook of Akzonobel Coating, 1990). Pigmen tersebut biasanya terdiri dari oksida metal seperti  $TiO_2$ ,  $PbO_3$ ,  $Fe_2O_3$  atau senyawa seperti  $ZnCrO_4$ ,  $PbCO_3$ ,  $BaSO_4$ , lempung, dan lain-lain. Sedangkan zat pengangkut berupa minyak nabati seperti minyak linseed atau tung. Minyak ini disebut *drying oil* kerana jika ada kontak dengan udara bebas akan teroksidasi dan terpolimerisasi menjadi zat padat.

Cat pada umumnya kurang tepat jika diterapkan untuk melindungi bagian struktur baja yang berada di bawah tanah, karena sifat cat yang mudah mengelupas jika terkena gesekan dengan tanah. Cat yang mengandung minyak linseed dan tung tidak tahan lama jika berada dalam air untuk . Sedangkan lapisan coal tar merupakan senyawa yang lebih sesuai.



Empat atau lima lapis cat jika berada dalam kondisi operasi yang normal dapat bertahan dalam jangka waktu beberapa tahun untuk industri kimia, air tawar atau air asin.

Lapisan cat akan mengalami tegangan akibat temperatur permukaan berubah dengan cepat serta pemuaian thermal. Perubahan-perubahan kelembaban relatif akan menyebabkan siklus basah – kering, yang akan mengakibatkan cat melepuh atau retak. Selain itu, radiasi ultraungu akan menurunkan mutu permukaan cat. Ion-ion agresif di udara yang mengalami polusi akan langsung menyerang cat dan mengurangi pH air hujan yang jatuh ke permukaan yang dicat. Hal-hal tersebut mengakibatkan perubahan kimia pada pigmen atau bahan pengikat yang berakibat terurainya lapisan cat (Trethewey, 1991).

Sistem yang digunakan dalam air mungkin mempunyai lapisan primer atau tidak. Akan tetapi lapisan paling atas bergantung pada absorpsi air, koefisien transmisi yang sangat rendah untuk menahan masuknya elektrolit ke permukaan logam (Shreir, 1963). Agar cat mampu melapisi seluruh permukaan, maka ketika diulaskan logam harus benar-benar kering dan halus. Ketebalan lapisan cat kering harus merata di seluruh permukaan yang dicat, termasuk pada pinggiran dan pojok-pojok, baut-baut, uliran-uliran terbuka, paku-paku keling dan sambungan-sambungan. Kegagalan di bagian manapun pada bagian yang dicat, akan menyebabkan terpusatnya korosi *aerasi-deferensial*, yang akan terus berkembang dan menyebabkan lapisan cat melepuh, terkelupas serta menyingkapkan karat yang terjadi antara material dan cat. Cuaca dan kondisi yang sulit untuk



diramalkan, mensyaratkan cat agar mudah digunakan melalui berbagai cara seperti pengulasan, *rolling*, penyemprotan dan pencelupan. Cat harus dapat mengering dengan cepat sehingga memudahkan pemberian lapisan selanjutnya. Cat juga harus mudah untuk diperhalus atau diperbaiki, tahan terhadap serangan jamur dan bakteri, serta mampu mempertahankan keindahannya dalam waktu relatif lama. Untuk itu pengecatan dilakukan lebih dari selapis, karena semakin tebal lapisan cat maka semakin kuat perlindungan yang diberikan.

### 2.6.1 JENIS-JENIS CAT

#### a. Cat primer pra-fabrikasi

Jenis ini dipakai untuk membersihkan, membebaskan baja dari karat, melindunginya selama tahap fabrikasi atau perakitan struktur. Jika lapisan tersebut rusak akibat proses fabrikasi, maka pelapisan ulang harus segera diberikan dengan mengikuti prosedur yang telah ditentukan. Cat ini mengering dalam 2 – 3 menit sesudah diulaskan dan melindungi material selama 12 bulan.

#### b. Cat primer pra-perlakuan

Digunakan untuk penyiapan logam, agar diperoleh adhesi serta unjuk kerja cat akhir yang baik. Perlindungan yang diberikan relatif terbatas, karena itu harus diikuti dengan pelapisan akhir begitu lapisan primer mengering. Jenis ini tidak boleh diberikan pada lapisan kerak, lapisan pra-fabrikasi atau cat tua. Cat ini mengering dalam waktu singkat.

#### c. Cat minyak

Berbahan dasar minyak pengering nabati seperti minyak rami (*linseed*) atau minyak kayu (*Tung oil*). Pengeringannya melalui proses oksidasi yang



berlangsung lama, untuk itu cat ini harus dibiarkan sampai 48 jam sebelum diberikan lapisan baru, dan 7 hari sebelum cat akhir diulaskan. Pigmen-pigmen dalam minyak membentuk busa. Seng fosfat bisa ditambahkan dalam cat ini untuk mendapatkan pengeringan yang lebih cepat.

d. Cat oleoresin (*vernish*)

Resin berfungsi untuk memperbaiki sifat-sifat pengeringan dan pengikatan lapisan. Merupakan penyempurnaan dari cat minyak yang sederhana. Minyak kayu dengan 100 % cat resin fenolat dapat digunakan untuk struktur yang terendam dalam air. Cat tipe resin fenolat dapat tahan terhadap abrasi tetapi ketika diulaskan, permukaan sama sekali tidak boleh lembab.

e. Cat alkid

Bahan dasarnya polyester, yang dipersiapkan dengan mereaksikan alkohol polihidrat dengan asam-asam lemak berbasa satu dan berbasa dua. Komposisinya terdiri dari etilena glikol, minyak rami dan anhidrida ftalat. Mengering melalui polimerisasi oksidatif pada minyak, karena itu minyaknya tinggi (65 %) jenis ini dikeringkan dengan pemanggangan.

f. Cat resin epoksid

Mengering melalui proses polimerisasi antara resin epoksid dan agen pengering. Mengering dengan cara peniupan (*air-drying*) dan pemanggangan. Untuk cara pertama, memakai agen pengering senyawa amina yang dicampur tepat sebelum cat digunakan. Untuk cara kedua, agen pengering berupa senyawa fenolat karena cukup stabil dalam suhu kamar dan dapat dicampur dengan resin dalam wadah yang sama. Cat ini cukup kuat daya lekatnya, namun adhesi dengan lapisan akhir sejenis sangat lemah.



g. Cat epoksid ter batubara

Kombinasi ter batubara dan bahan dasar epoksid yang menghasilkan lapisan cat yang sangat kedap air serta tahan terhadap kebanyakan zat kimia.

h. Cat poliuretan

Mengering dengan polimerisasi. Reaktan berupa agen pengering isosianat dan resin alkid polyester. Cat ini mahal dan tidak bekerja dengan baik jika terlalu lembab atau permukaan basah ketika diulaskan. Namun jika sudah kering, cat ini sangat kedap air, keras, tahan terhadap abrasi dan tetap mengkilat dalam waktu lama.

i. Cat vinil

Kopolimer polivinil klorida/polivinil asetat yang dimodifikasi dengan anhidrida maleat. Kopolimer tersebut dilarutkan dalam pelarut dan cat mengering melalui penguapan pelarut. Setelah mengering, cat ini dapat larut dalam pelarutnya sehingga pelapisan ulang mudah diberikan. Cat ini mengering dalam 2-5 menit.

j. Cat karet diklorinasi

Setelah diulaskan, pengurangan pelarut mengendapkan lapisan kering yang hampir tidak mengalami polimerisasi. Karet membentuk lapisan rapuh, sehingga ditambahkan bahan yang bersifat mulur agar lapisan tersebut kuat, tahan lama dan tahan terhadap asam. Kerusakan pada cat mudah diperbaiki, namun cat ini mudah melunak jika terkena minyak dan lemak.

k. Cat berbahan pengikat air

Jenis cat ini murah, tidak terbakar, cepat kering dan biasanya menghasilkan adhesi yang baik antara cat dengan logam serta lapisannya. Ventilasi yang memadai harus disediakan selama cat mengering agar kelembaban relatif tetap rendah.



### 1. Cat antipengotoran

Cat ini diberikan pada struktur yang terendam dalam air laut sebagai lapisan akhir. Cat ini melepaskan racun ke dalam air untuk mencegah organisme hidup menempel pada struktur.

### 2.6.2 PERSIAPAN PERMUKAAN

Untuk mendapatkan tingkat perekatan yang tinggi antara permukaan metal dengan bahan pelindung, maka diperlukan persiapan permukaan yang bermacam-macam, yang disesuaikan dengan tingkat keperluan dan mutu cat. Berhasil atau gagal nya suatu pengecatan sangat bergantung pada tingkat perekatan antara cat serta dan permukaan metal serta tingkat kepadatan dari cat yang digunakan. Tingkat perekatan sangat ditentukan oleh persiapan permukaan yang pada hakekatnya menyita biaya sekitar 2/3 dari keseluruhan biaya pengecatan itu sendiri.

Sesuai dengan Surface Preparation Handbook of Akzonobel Coatings, (1990), untuk mencapai hasil perekatan yang baik, persiapan permukaan disesuaikan dengan tingkat keperluan dan mutu cat. Persiapan permukaan tersebut ditentukan oleh :

1. Kegunaan perlindungan cat
2. Lama perlindungan yang diperlukan secara efektif
3. Jenis dari mutu cat (tergantung suhu permukaan sewaktu pengecatan dan suhu maksimum sewaktu dioperasikan)
4. Tingkat perekatan yang diminta serta jenis media yang dioperasikan/diproses



5. Terdapat jenis bahan pelindung khusus yang dapat diterapkan tanpa persiapan permukaan sama sekali.

Menurut Widharto (1999), terdapat beberapa jenis persiapan permukaan yang dikenal yaitu :

1. Pembersihan dengan *solvent* (pelarut)- (spesifikasi dari *Steel Structures Painting Council* = SSPC – SP 1)
2. Pembersihan dengan alat pembersih manual (*hand tool cleaning*) SSPC – SP 2
3. Pembersihan dengan alat mekanis (*power tool cleaning*) SSPC – SP 3
4. Pembersihan dengan penyemprotan partikel padat (*blast cleaning*) misalnya (*sand blasting*), sebuk besi (*shot blasting*) dan dengan butir-butir besi (*grit blasting*) SSPC- SP 10
5. Penyemprotan metal hampir putih (*near white metal blast cleaning*) SSPC – SP 10



Tabel 2.4 Cara persiapan permukaan untuk jenis cat tertentu (Widharto, 1999)

| No | Penyiapan permukaan   | Suhu permukaan   | Catatan   | Spesifikasi cat   |
|----|---|--|---|---|
| 1  | Bebas debu, tidak berminyak dan kering                                    | Min.3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara                         | *kerak tebal harus dibuang<br>*permukaan cat lama harus dikasarkan dulu                     | Aluminium pigmented on flexible penetrating alkyd oil.                      |
| 2  | Penyemprotan tanpa udara, penyemprotan biasa, penyikatan hingga Sa 21/2   | Min.3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara                         | * Sa 21/2 atau ISO 8501-1 1988/ss – 05.59.00 untuk memaksimumkan ketahanan pada suhu tinggi | Heat Resisting aluminium paint (u/t.250 <sup>0</sup> C)                     |
| 3  | Pembersihan dengan power tool hingga Sa2 atau penyemprotan hingga Sa 21/2 | Min.3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara                         |   | Two pack modified epoxy coating   |
| 4  | Penyemprotan hingga Sa 21/2   | Min. 10 <sup>0</sup> C atau 30C di atas titik embun udara              |   | Glass flake reinforced polyester  |
| 5  | Pembersihan jet maxi dengan bahan kimia, air tawar dengan mini jet        | Min.3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara                         |   | Lihat spesifikasi cat pada butir 1, namun untuk kargo                       |
| 6  | Penyemprotan hingga Sa 21/2 dengan bahan abrasive                         | Min. 15 <sup>0</sup> C atau 3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara | Untuk mendapatkan kekasaran permukaan min.75 mikron (ref.Rugo test no.3 Bn 10 a             | Glass flake reinforced polyester coating for long time corrosion protection |
| 7  | Pembersihan dengan power tool hingga minimum St. 2                        | Min.3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara                         | Jika dipakai di atas cat lama, permukaan harus kering                                       | Conseal touch up, quick drying high build primer based primer               |
| 8  | Permukaan harus bersih dan kering   | Min.3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara                         | Pencemaran permukaan harus dibersihkan dengan detergen dan air tawar                        | High build urethane alkyd based primer                                      |
| 9  | Penyemprotan hingga Sa 21/2 - 3 dengan bahan abrasive                     | Min.3 <sup>0</sup> C di atas titik embun udara                         | Semua sisi tajam dan bintik percikan las harus digerinda halus                              | High build epoxy coating  |



Setelah dibersihkan, permukaan logam harus segera dilapis dengan lapisan primer untuk mencegah karat, karena setelah pembersihan biasanya lapisan film oksida pelindung ikut terkikis sehingga logam akan terbuka terhadap lingkungan. Cara lain untuk membersihkan adalah dengan membasuh memakai bahan kimia. Agar efektif dan ekonomis, bahan kimia yang dipakai harus mengandung zat-zat sebagai berikut :

1. *Wetting agent* sebagai unsur pembasah
2. *Surfactants* sebagai pemberi tenaga
3. Amalgam untuk melunturkan gemuk
4. *Surface active agent* untuk menghasilkan reaksi polaritas
5. *Sanitizer* sebagai pencuci
6. *Emulsifying additives* sebagai penstabil pH
7. *Purifying compounds*
8. Inhibitor sebagai penstabil suhu
9. *Scavenging agent* sebagai bahan aktif

### 2.6.3 Perhitungan Kebutuhan Cat

Menurut Coating Handbook of Akzonobel Coatings (1990), untuk menghitung seberapa banyak kebutuhan cat pada suatu struktur, digunakan perhitungan dengan formula sebagai berikut :

Daerah yang tertutup = sebaran rata-rata teoritis ( M<sup>2</sup> / liter )

(*Theoretical Spreading Rate – TSR*)

$$TSR ( M^2 / liter ) = \frac{volume\ solid \times 10}{ketebalan\ DFT\ dalam\ \mu} \dots\dots\dots 2.34)$$



Dimana DFT adalah *Dry film thickness* yang merupakan ketebalan lapisan cat dalam keadaan kering.

$$\frac{\text{Area yang akandicat (M}^2\text{)}}{\text{TSR}} = \text{konsumsi cat secara teori (liter)} \dots\dots 2.35)$$

$$\text{Sebaran - secara praktek (PSR)} = \text{TSR} - \text{faktor kehilangan ( \% )} \dots\dots 2.36)$$

$$\frac{\text{Area yang dicat (M}^2\text{)}}{\text{PSR}} = \text{Kebutuhan cat (liter)} \dots\dots\dots 2.37)$$

Beberapa faktor yang menentukan efektifitas pelapisan dengan pengecatan adalah :

1. Maksud dan tujuan pengecatan

Dimana jika dimaksudkan untuk penampilan, maka ketebalan yang menentukan mutu isolasi permukaan logam terhadap lingkungannya tidak menjadi syarat utama. Namun jika dimaksudkan untuk perlindungan terhadap serangan karat, maka selain mutu cat yang tahan cuaca, juga ketebalan yang menjamin optimasi perlindungan permukaan logam menjadi syarat utama selain ketebalan cat yang digunakan.

2. Persiapan permukaan

Untuk mencapai tingkat perekatan yang baik antara permukaan Logam, diperlukan persiapan permukaan yang baik. Persiapan permukaan logam ditentukan oleh kegunaan cat, lama perlindungan yang diperlukan secara efektif, jenis dari mutu cat, tingkat perekatan, dan jenis bahan pelindung.



### 3. Fungsi pelindung permukaan

Fungsi bahan pelindung adalah mencegah, menghalangi, dan menghambat hubungan langsung antara logam dan lingkungan, serta memasok arus yang melindungi permukaan logam.

## 2.7 PEMBALUTAN (*WRAPPING*)

Penggunaan pembalutan pada umumnya digunakan untuk pipa bawah tanah. Bahan tape pembalut merupakan paduan film multi-polymer yang diolah secara khusus dan coating dari bahan tiruan elastoremic. Kedua jenis bahan ini harus tahan terhadap serangan bakteri, jamur, dan mikroorganisme lainnya. Ketebalan tape coat tipe CT 10/40W, tebal 1720 mikron, suhu operasi  $-34^{\circ}\text{C}$  sampai  $49^{\circ}\text{C}$ , warna putih. Tebal tape coat tipe 6025 untuk suhu tinggi adalah 880 mikron, suhu operasi  $-30^{\circ}\text{C}$  sampai  $121^{\circ}\text{C}$  maksimum, warna hitam.

Pembalutan (*wrapping*) biasanya dilakukan dengan cara terpadu dengan jenis pelapisan lain seperti primer kemudian bahan *thermoplastic* seperti *coal tar epoxy* dan selanjutnya diterapkan pembalut *tar impregnated asbestos* secara melingkar dan ditutup dengan pelapis akhir (Widharto, 1999).

Untuk pemasangannya, lapisan pipa harus benar-benar kering. Pembalutan dilakukan dengan ketat dan secara spiral serta saling bertumpu  $\frac{1}{2}$  dari lebarnya. Udara yang terperangkap harus dikeluarkan dengan menusuknya menggunakan jarum (Widharto, 1999).



Proses tersebut harus dilakukan secara terpadu untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Pemberian lapisan yang melingkar harus diperhatikan dengan seksama untuk mencegah pelapisan yang kendor, yang akan memungkinkan masuknya udara atau air ke dalam struktur.

Pada kenyataannya, penerapan pembalut yang kendor/ salah dapat menyebabkan fungsinya tidak berjalan maksimal. Jika insulasi (tape) cenderung mengeluarkan caustic dan khlorida jika bercampur dengan air dan bersifat korosif, maka harus dipastikan bahwa sambungan logam dalam keadaan kedap air.

## **2.8 MANAJEMEN PERAWATAN**

### **2.8.1 Umum**

Pengertian manajemen merupakan, usaha untuk memelihara kerja sama sekelompok orang untuk memanfaatkan sumber daya lainnya demi mencapai tujuan. Adanya keterbatasan dalam memanfaatkan sumber daya yang ada, memerlukan pengelolaan yang cermat dan teliti. Demikian juga dalam melakukan perawatan suatu sistem. Metode perawatan yang tepat dan efisien diperlukan untuk menekan biaya yang dibutuhkan sekecil mungkin. Ketidakefisienan perawatan perlu untuk diatasi. Pengurangan kelebihan karyawan yang tidak bermutu serta meningkatkan keahlian manajer, pegawai, ahli mesin dan staf lainnya (Baum, 1988).



Banyak aspek yang terkait dalam tinjauan proyek yang dijalankan menurut Adler (1983) yaitu :

1. Aspek teknik yang meliputi proses pembagunan dan pengoperasian setelah dibangunnya sebuah sistem. Menaksir modal dan biaya eksploitasi yang dilakukan.
2. Aspek ekonomi yang mengukur biaya serta manfaat dari sudut pandang negeri yang bersangkutan sebagai keseluruhan guna menentukan manfaat netto untuk investasi marginal lainnya.

### 2.8.2 Tujuan

Perawatan yang dilakukan untuk memperpanjang umur suatu sistem juga memerlukan suatu manajemen untuk mendapatkan hasil maksimal dengan biaya serendahnyanya. Manajemen ini mengarahkan dan mengorganisasikan sumber-sumber yang digunakan untuk mengontrol kemampuan dan penampilan dari suatu sistem pada tingkatan tertentu. Hal ini didasarkan pada motivasi dimana suatu kegiatan itu terjadi, yang memperhitungkan upaya untuk mendapatkan keuntungan, faktor keamanan dan lingkungan (Beattie, 1985).

Aktifitas yang dilakukan diharapkan memperkecil kerugian yang mungkin terjadi dalam perawatan seperti pemborosan biaya pada sektor yang tidak penting, penempatan tenaga kerja yang tidak pada tempatnya dan menimbulkan ketidakefisienan jabatan.



Perawatan meliputi perawatan sebelum terjadi kerusakan dan perawatan setelah terjadi kerusakan, yang bersifat darurat dan secepatnya harus dilakukan. Setiap perawatan yang dilakukan memiliki karakteristik tertentu dan bersifat melindungi.

Manajemen perawatan adalah arahan dan pengorganisasian dari sumber-sumber yang digunakan untuk mengontrol kemampuan dan performa dari suatu sistem pada suatu tingkatan tertentu. Dalam hal ini haruslah ada standar yang bisa diterima oleh organisasi yang melakukan pemeliharaan. Manajemen perawatan biasanya didasarkan pada motivasi dimana suatu aktivitas terjadi. Hal itu tidak saja meliputi bagaimana supaya mendapatkan keuntungan yang maksimal, tetapi juga mempertimbangkan keamanan dan lingkungan.

Diharapkan segala aktivitas yang tercakup dapat memperkecil kemungkinan tindakan-tindakan seperti berikut :

- ❖ Terjadinya tindakan atau aktivitas yang sifatnya coba-coba
- ❖ Terjadinya kesalahan yang menimbulkan tidak normalnya sistem
- ❖ Terjadinya penempatan tenaga kerja yang kurang tepat atau bukan ahlinya
- ❖ Terjadi pemborosan kerja maupun biaya.

Dengan demikian tujuan manajemen perawatan pelabuhan adalah :

- a) Memperoleh pengoperasian sarana pelabuhan laut secara baik
- b) Meningkatkan keselamatan pengguna sarana pelabuhan laut
- c) Memperpanjang usia kegunaan aset, terutama di negara berkembang karena kurangnya sumber daya modal untuk penggantian



- d) Mengetahui jenis-jenis pekerjaan yang penting, sehingga sistem dapat dilaksanakan secara teliti dan dikembangkan untuk tujuan anggaran biaya
- e) Mendapatkan informasi umpan balik yang akurat bagi kantor pusat
- f) Menjamin kesinambungan pekerjaan perawatan, sehingga dapat diketahui apa yang telah dikerjakan dan yang belum dikerjakan.

### 2.8.3 Bentuk perawatan

Menurut Supandi (1987), jika ditinjau secara umum dari saat pelaksanaan pekerjaan perawatan, maka bentuk-bentuk perawatan adalah seperti berikut :

a. Perawatan preventif (*Preventive Maintenance*)

Pekerjaan perawatan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan, atau cara perawatan yang direncanakan untuk pencegahan .

Perawatan preventif dimaksudkan juga untuk mengefektifkan pekerjaan inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan, dan penyetelan sehingga peralatan atau mesin-mesin selama beroperasi dapat terhindar dari kerusakan. Perawatan preventif dilaksanakan sejak awal sebelum terjadi kerusakan.

b. Perawatan korektif (*corrective maintenance*)

Pekerjaan perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan fasilitas untuk mencapai standar yang dapat diterima. Perawatan korektif termasuk dalam cara perawatan yang direncanakan untuk perbaikan.

Dalam perawatan korektif ini dapat mengadakan peningkatan-peningkatan sedemikian rupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan



peralatan agar lebih baik. Menghilangkan problema yang merugikan untuk mencapai kondisi operasi yang lebih ekonomis.

c. Perawatan berjalan (*running maintenance*)

Pekerjaan perawatan yang dilakukan pada saat fasilitas atau peralatan dalam keadaan bekerja. Perawatan berjalan ini termasuk cara perawatan yang direncanakan untuk ditetapkan pada peralatan dalam kondisi operasi.

Perawatan dalam kondisi berjalan diterapkan pada mesin-mesin yang harus beroperasi terus dalam melayani proses produksi. Kegiatan perawatan dilakukan dengan jalan monitoring secara aktif. Diharapkan hasil dari perawatan ini dapat menjamin kondisi operasi produksi tanpa adanya gangguan yang mengakibatkan kerusakan.

d. Perawatan prediktif (*predictive maintenance*)

Perawatan prediktif ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya perubahan atau kelainan dalam kondisi fisik maupun fungsi dari sistem peralatan. Biasanya perawatan prediktif dilakukan dengan bantuan pancaindra atau dengan alat-alat monitor yang canggih.

Teknik-teknik dan alat bantu yang dipakai dalam memonitor kondisi ini adalah untuk efisiensi kerja agar kelainan yang terjadi dapat diketahui dengan cepat dan tepat. Perawatan dengan sistem monitoring sangat penting dilakukan untuk mendapatkan hasil yang realistis tanpa melakukan pembongkaran total untuk menganalisa.



e. Perawatan setelah terjadi kerusakan (*breakdown maintenance*)

Cara perawatan yang direncanakan untuk memperbaiki kerusakan. Pekerjaan perawatan ini dilakukan setelah terjadi kerusakan, dan untuk memperbaikinya harus disiapkan suku cadang, material, alat-alat dan tenaga kerja.

Beberapa peralatan yang beroperasi pada unit tersendiri atau terpisah dari proses pembuatan, tidak akan langsung mempengaruhi seluruh proses produksi apabila terjadi kerusakan. Untuk peralatan tersebut tidak perlu diadakan perawatan, karena biaya perawatan lebih besar daripada biaya kerusakan. Dalam kondisi khusus ini peralatan dibiarkan beroperasi sampai terjadi kerusakan, sehingga waktu untuk produksi tidak berkurang.

Penerapan sistem perawatan ini dilakukan pada mesin-mesin industri yang ringan, apabila terjadi kerusakan dapat diperbaiki dengan cepat.

f. Perawatan darurat (*emergency maintenance*)

Pekerjaan perbaikan yang segera dilakukan karena terjadi kemacetan atau kerusakan yang tidak terduga. Perawatan ini termasuk cara perawatan yang tidak direncanakan (*unplanned emergency maintenance*).

#### 2.8.4 Prinsip perawatan

Dalam suatu sistem industri yang besar, fungsi pemeliharaan sarana haruslah terintegrasi dan terencana dengan baik. Adapun prinsip perawatan terencana yang baik adalah, sebagai berikut (*Clifthon, 1982*):

a. Perencanaan

Perawatan harus dikerjakan berdasarkan perencanaan yang tepat dengan mempertimbangkan :



- ❖ ketersediaan suku cadang
- ❖ kondisi sarana yang akan direparasi
- ❖ kesiapan tenaga pelaksana bagian perawatan
- ❖ produksi yang akan dilakukan.

b. Pelaksanaan Pekerjaan

Pelaksanaan pekerjaan perawatan harus didasarkan pada perencanaan yang dibuat dan juga dengan mempertimbangkan *instruction manual book*, alat-alat dan kebutuhan yang diperlukan. Dalam pelaksanaan ini harus juga disertai pengontrolan secara terus menerus sesuai dengan keperluan.

c. Pencatatan dan Pelaporan

Pengamatan serta pencatatan khusus yang berhubungan dengan pekerjaan akan berguna sebagai data masukan perawatan dimasa yang akan datang, oleh karena itu semua pekerjaan yang selesai harus dicatat dan dilaporkan.

d. Analisa

Pencatatan-pencatatan pekerjaan perawatan dimaksudkan untuk memungkinkan dilakukannya analisa dalam upaya perencanaan perawatan dimasa akan datang. Perencanaan perawatan selalu diperoleh dari pengalaman pekerjaan-pekerjaan terdahulu.

## 2.9 METODE OPTIMASI

Pengambilan keputusan jika ditinjau dari berbagai segi merupakan jantung proses manajemen. Seluruh fungsi manajemen yang meliputi *planning*, *organizing*, *directing*, dan *controlling*. Meskipun kondisi pengambilan keputusan seringkali



diawali dengan informasi yang bersifat kualitatif dan kabur. Informasi yang diberikan tersebut dapat diterjemahkan dalam besaran kuantitatif yang terukur. Semakin kualitatif dan kabur kondisi pengambilan keputusannya, keputusan itu justru bernilai semakin tinggi. Keputusan yang strategis seringkali harus diambil dalam kondisi informasi kualitatif dan kabur, namun bermakna (*significant*). Keputusan-keputusan teknis operasional seharusnya dilakukan dalam kondisi informasi yang semakin kuantitatif. Setiap keputusan yang diambil dalam lingkungan yang pasti mengandung dua elemen, yaitu tindakan (*act*) dan hasil (*outcome*).

Menurut Rosyid (1999), beberapa prinsip yang perlu diperhatikan adalah :

1. Prinsip efisiensi, yaitu bahwa keputusan yang diambil adalah keputusan yang melibatkan sumber daya minimal untuk memperoleh hasil yang maksimal.
2. Prinsip keluwesan, keputusan yang diambil dapat berubah jika ada perubahan faktor-faktor lingkungan dan asumsi yang telah ditetapkan sebelumnya, sebab tidak ada keputusan yang berlaku selamanya.
3. Prinsip ketersediaan alternatif, jika tidak ada alternatif maka tidak ada masalah pengambilan keputusan . Peluang memperoleh penyelesaian yang terbaik terbuka oleh penyediaan alternatif yang kreatif.
4. Prinsip adanya kendala, jika alternatif yang dipilih adalah alternatif yang memenuhi persyaratan ketersediaan sumber daya, dan syarat-syarat lain yang ditetapkan oleh pihak ketiga.



Sesuai dengan Rosyid (1999), ada enam langkah dalam pendekatan terencana yaitu :

1. Observasi yang meliputi pengamatan fakta disekitar lingkungan persoalan yang akan diselesaikan.
2. Merumuskan masalah secara lugas
3. Mengajukan alternatif penyelesaian
4. Menentukan alternatif terbaik
5. Melakukan validasi melalui implementasi pemecahan masalah
6. Merumuskan skenario pengendalian apabila terjadi perubahan pada situasi persoalannya.

Beberapa metode optimasi yang digunakan antara lain:

1. Optimasi non linier

Persoalan ini mempunyai dimensi  $n$  (jumlah variabel keputusan adalah  $n$ ), dan dapat diselesaikan dengan dua skenario penyelesaian yaitu penyelesaian langsung dan tidak langsung. Untuk penyelesaian langsung persoalan optimasinya dibagi dua yaitu :

- a. Menentukan arah perubahan variabel keputusan  $X$
- b. Menentukan panjang langkah  $\alpha$

Sedangkan jika ditinjau dari segi ada tidaknya kendala dalam persoalan optimasi yang ditinjau, ada dua kategori prosedur optimasi, yaitu

- a. Prosedur pelacakan langsung (*direct search*)
- b. Prosedur transformasi



Dalam skenario penyelesaian tidak langsung, disusun kriteria optimalitas yang berlaku pada persoalan yang ditinjau. Kriteria tersebut merupakan satu set persamaan yang jika dipenuhi, penyelesaian atas sistem persamaan ini merupakan penyelesaian optimum yang dicari.

## 2. Penggunaan pohon keputusan

sistem ini memungkinkan untuk mengatur secara sistematis elemen-elemen keputusan persoalan rumit tanpa dikekang oleh adanya format tabel, selain itu pohon keputusan merupakan alat komunikasi manajemen istimewa karena mampu menerangkan secara gamblang menunjukkan setiap tindakan yang potensial beserta semua hasil yang mungkin dicapai. Pohon keputusan tersusun dari garpu tindakan dan garpu kejadian. Pada setiap simpul diberi notasi huruf yang menunjukkan urutan pengambilan keputusan yang dimulai dari kiri ke kanan, i.e. pencabangan pohon keputusan dimulai dari sebelah kiri ke sebelah kanan.

## 3. Pemakaian program dinamik

Merupakan suatu teknik matematik yang sesuai digunakan untuk persoalan-persoalan dimana alternatif keputusan belum tersedia. Di sini, persoalan keputusan multi-tahapan menjadi serangkaian persoalan satu-tahapan. Dengan demikian, sebuah persoalan berdimensi  $N$  dapat disajikan sebagai serangkaian  $N$  sub-persoalan satu-tahapan yang diselesaikan secara berurutan. Program dinamik ini dapat menangani persoalan dengan variabel diskrit, dan dengan fungsi-fungsi kendala dan kriteria yang diskontinyu, serta *non-differentiable*. Kelemahan program ini dikenal sebagai kutukan dimensional (*The Curse Of Dimensionality*).



#### 4. Optimasi dengan algoritma genetik

Metode ini merupakan teknik yang sesuai untuk persoalan pengambilan keputusan yang memiliki variabel campuran menerus dan diskrit, seerta ruang laiknya berbentuk tak menerus dan non-konveks.

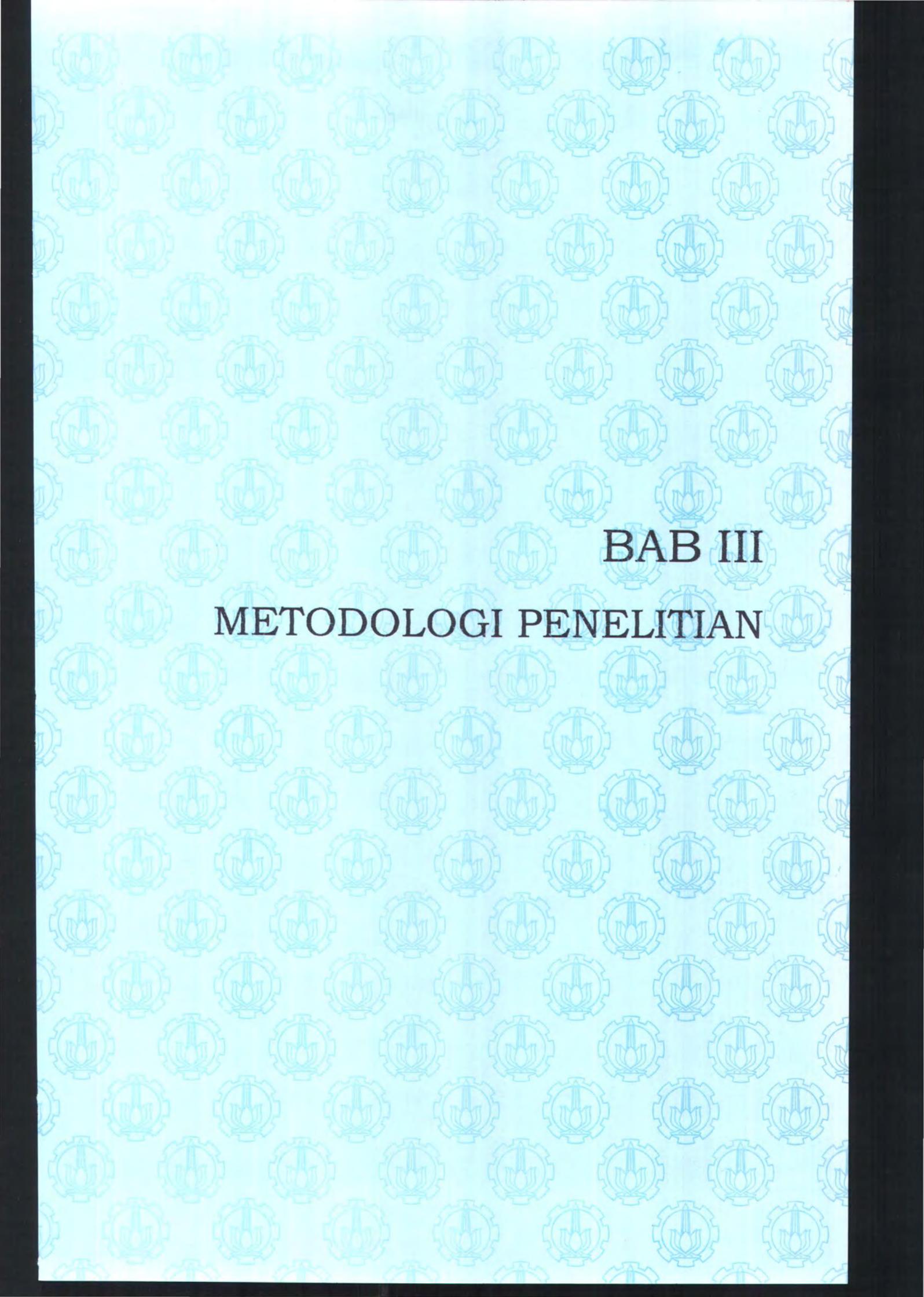
#### 5. Optimasi dengan kriteria majemuk

Pada metode ini, persoalan keputusan dirumuskan dengan mempertimbangkan beberapa persyaratan yang tersedia. Persoalan ini disebut juga sebagai persoalan optimasi vektor, karena kriteria yang nantinya akan dipakai bukan lagi merupakan sebuah skalar  $f(X)$ , namun sebuah vektor  $F$ . Metode ini meliputi metode fungsi utilitas, metode leksikografis dan metode program gol. Dimana pada metode fungsi utilitas, fungsi utilitas didefinisikan untuk setiap fungsi tujuan (kriteria) yang mencerminkan tingkat kepuasan yang dicapai untuk setiap pencapaian tujuan. Sedangkan pada metode leksikografis, kriteria keputusan diurut berdasarkan prioritasnya oleh pengambil keputusan. Penyelesaian yang optimal kemudian diperoleh dengan cara meminimumkan kriteria keputusan tersebut secara berurutan dimulai dari yang terpenting (prioritas utama), sementara kriteria lainnya diabaikan. Kemudian meminimumkan kriteria prioritas selanjutnya sambil menjadikan nilai kriteria dengan kriteria yang lebih tinggi sebagai kendala. Proses tersebut terus berlanjut sampai didapatkan keputusan terbaik. Pada metode program gol, pengambil keputusan memperkirakan harga target pencapaian pada setiap kriteria keputusan yang dipertimbangkan. Selanjutnya, persoalan optimasi dirumuskan sebagai suatu upaya untuk meminimumkan besarnya penyimpangan



yang terjadi terhadap target tersebut. Dengan demikian, model optimasinya bertambah dengan kehadiran kendala target (*goal constraints*) tersebut.





**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 BAHAN PERCOBAAN

1. Pipa galvanis medium A

Pemilihan bahan ini karena disesuaikan dengan pipa yang digunakan di PT.(PERSERO). Pelindo III cabang Tanjungwangi – Banyuwangi.

2. Fluida

Fluida yang digunakan sebagai medium percobaan adalah air laut, yang diambil dari kawasan PT.(PERSERO). Pelindo III cabang Tanjungwangi – Banyuwangi yang merupakan daerah yang ditinjau. Air laut yang digunakan tersebut memiliki komposisi kimia seperti yang terlihat sebagai berikut :

- a. Salinitas = 31. 12 ‰
- b. Pb = 0,02 mg/l
- c. Fe = 0,27 mg/ lapisan

Data mengenai uji sample air laut dilakukan di Laboratorium kimia MIPA Universitas Brawijaya Malang.

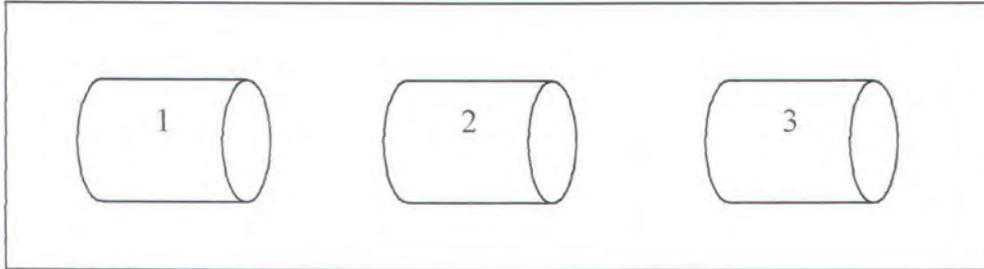
#### 3.2 PERALATAN PERCOBAAN

1. Pipa galvanis medium A dengan ukuran sebagai berikut :

- Panjang = 11,2 cm



- Tebal = 0,5 cm
- Massa = 7 kg = 7000 gr



**Gambar 3.1** Sample uji pipa galvanis

## 2. Sel tiga electrode

Komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut :

### a. Elektroda kerja (*working electrode*)

Adalah merupakan elemen yang ditinjau untuk diukur laju korosinya. Jika pada elektroda ini dalam keadaan bebas untuk melakukan reaksi (tanpa arus) maka pada voltmeter akan menunjukkan potensial korosi dari spesimen tersebut.

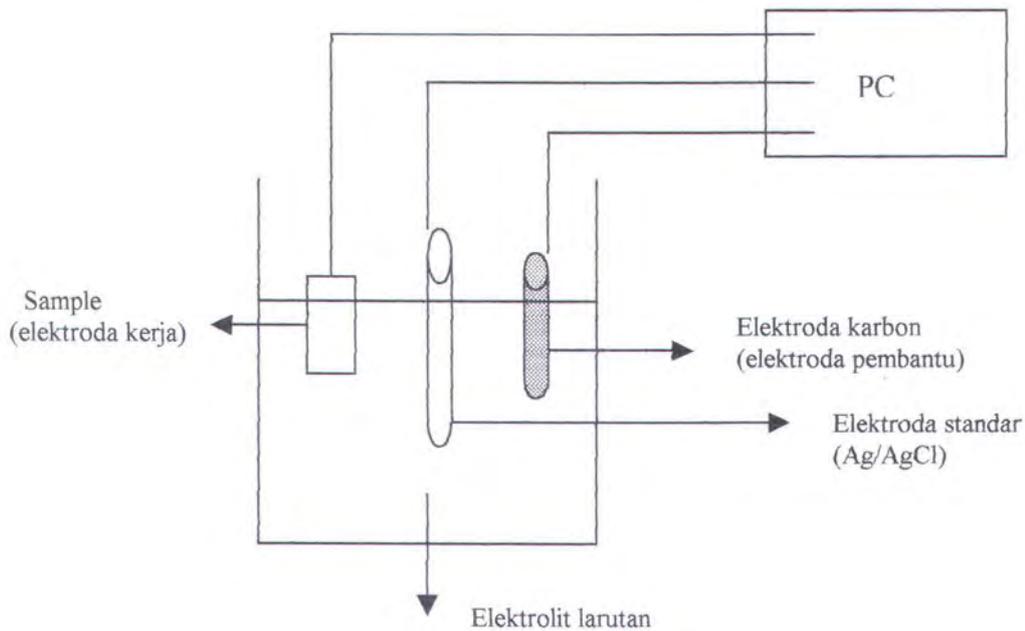
### b. Elektroda pembantu (*counter electrode*)

yaitu elektroda yang mengalirkan arus dalam rangkaian yang terbentuk ke elektroda kerja untuk mengadakan reaksi polarisasi. Elektroda yang dipakai adalah karbon.

### c. Elektroda acuan (*reference electrode*)

Digunakan sebagai titik dasar untuk referensi pengukuran potensial elektroda kerja. Elektroda ini tidak ikut serta dalam reaksi sel sehingga arus yang

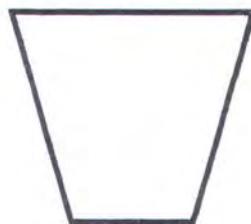
melaluinya harus sekecil mungkin agar potensialnya konstan. Elektoda yang digunakan adalah Ag/AgCl. Susunan rangkaian dapat dilihat pada gambar 3.2



**Gambar 3.2** Rangkaian percobaan dengan metode polarisasi

### 3. Tabung plastik

Tabung ini merupakan wadah ke tiga sample yang duji. Pemilihan tabung plastik karena tidak bereaksi terhadap air laut yang digunakan sebagai medium elektrolit.



**Gambar 3.3** Tabung plastik sebagai wadah sample uji

### 4. Cat kansai



Jenis yang digunakan adalah SD *Marine* DP 133 - 015 dengan kode KC – 23.

5. Cat international dari *Akzonobel Coatin*

Jenis yang digunakan adalah intertuf JXA 727.

6. *Insulation tape (wrapping)*

7. *Wash primer*

### 3.3 PROSEDUR PENELITIAN

#### 1. Persiapan material uji

a. Pemotongan dan pembentukan spesimen.

Pelat pipa dipotong dan ditutup. Kemudian pipa melalui proses galvanisasi.

Pemotongan dan pembentukan pipa dilakukan di bengkel *palleting and galvanised* PT. PAL Surabaya.

b. Membersihkan permukaan spesimen uji dengan menggunakan kertas gosok CC – CW grade 240.

Hal ini dilakukan untuk mendapatkan permukaan spesimen uji yang halus dan bersih dari kotoran sebelum dilakukan perlakuan selanjutnya.

#### 2. Persiapan larutan elektrolit

Elektrolit yang digunakan dalam percobaan sebagai medium elektrolit adalah air laut yang diambil dari kawasan PT. (Persero) Pelindo III Cabang Tanjungwangi – Banyuwangi yang telah diuji untuk mengetahui komposisi kimianya.



### 3. Pelaksanaan percobaan

Setelah pelat pipa selesai dari tahap persiapan permukaan, kemudian dilakukan perlakuan selanjutnya yang meliputi pengecatan dan *wrapping*. Untuk pengecatan, digunakan dua pelat pipa untuk dua jenis cat.

Pelat pipa pertama menggunakan cat intertuf JXA 727. Adapun proses pengerjaannya adalah sebagai berikut :

*Wash primer* diulaskan ke seluruh permukaan spesimen uji. Setelah itu ditunggu selama 4 menit sampai lapisan pertama mengering. Selanjutnya diberikan cat yang telah dicampur dengan *curing* yang berfungsi untuk membantu pengenceran dan menguatkan daya rekat partikel cat. Perbandingan antara cat dan *curing* adalah 4:1. Lapisan kedua ditunggu sampai mengering selama 4 jam. setelah mengering kemudian baru diberikan lapisan ketiga. Demikian seterusnya sampai lapisan ke lima. Pengulasan *wash primer* dan cat dilakukan dengan menggunakan kuas cat biasa

Pelat pipa kedua dicat dengan menggunakan cat kansai. Adapun cara pengerjaannya adalah *Wash primer* diulaskan ke seluruh permukaan spesimen uji. Setelah itu ditunggu selama 4 menit sampai lapisan pertama mengering. Pengulasan *wash primer* dan cat dilakukan dengan menggunakan kuas cat biasa. Selanjutnya diberikan cat yang telah dicampur dengan *curing* yang berfungsi untuk membantu pengenceran dan menguatkan daya rekat partikel cat. Perbandingan antara cat dan *curing* adalah 3 : 1. Lapisan kedua ditunggu sampai



mengering selama 3 jam. setelah mengering kemudian baru diberikan lapisan ketiga. Demikian seterusnya sampai lapisan ke empat.

Untuk pelat pipa ketiga adalah dengan perlakuan pembalutan (*wrapping*). Adapun cara pengerjaannya adalah setelah spesimen dibersihkan permukaannya, kemudian diberikan *wash primer*. Setelah itu baru diberikan lapisan *wrapping*. Pemberian lapisan ini harus hati-hati dan telaten. Karena *tape* harus ketat membalut pelat untuk menghindari terjadinya gelembung yang mengakibatkan udara atau air bisa masuk merembes ke permukaan pelat. Pembalutan ini dilakukan secara spiral (melingkar) dan bertumpuk, dimana lapisan kedua yang dilingkarkan mengambil daerah separoh dari lapisan pertama. Demikian seterusnya sampai seluruh permukaan pelat pipa terbalut *wrapping*.

#### 4. Proses perendaman dan penjemuran

Setelah ketiga pipa selesai diberikan perlakuan. Kemudian dilanjutkan dengan perlakuan kedua yaitu proses perendaman spesimen dalam larutan elektrolit. Setelah proses perendaman kemudian diteruskan dengan proses peletakan spesimen di udara terbuka. Adapun jadwal pemrosesan adalah sebagai berikut:

- 1) Jam 09.00 BBWI = perendaman
- 2) Jam 15.00 BBWI = di udara bebas
- 3) Jam 21.00 BBWI = perendaman
- 4) Jam 03.00 BBWI = di udara bebas



Pemilihan jadwal tersebut berdasarkan pendekatan akan terjadinya proses pasang surut seperti yang terjadi di lokasi PT. (Persero) Pelindo III cabang Tanjungwangi – Banyuwangi.

## 5. Pengujian

Pengujian dilakukan setelah proses perendaman dan peletakan di udara bebas selama 1608 jam. Adapun metode yang digunakan untuk pengujian guna mengetahui seberapa besar laju korosi adalah metode polarisasi. Caranya adalah sebagai berikut :

- a. Memasang rangkaian seperti pada gambar 3.2
- b. Mencatat potensial rangkaian saat arus sama dengan nol. Potensial tersebut merupakan potensial korosi ( $E_{kor}$ ) setelah dibiarkan selama beberapa saat, penentuan waktu ini memperhatikan tingkat kestabilan data yang terukur.
- c. Pengujian dengan menggunakan metode polarisasi dalam program Gamry Instrument.
- d. Proses pengujian dilakukan selama kurang lebih 15 menit untuk running program.
- e. Hasil keluaran (output) dari program adalah grafik laju korosi yang berisi besar laju korosi untuk tiap spesimen yang diuji.
- f. Langkah tersebut di atas dilakukan bergantian untuk spesimen yang lain.
- g. Total pengujian adalah sembilan spesimen.

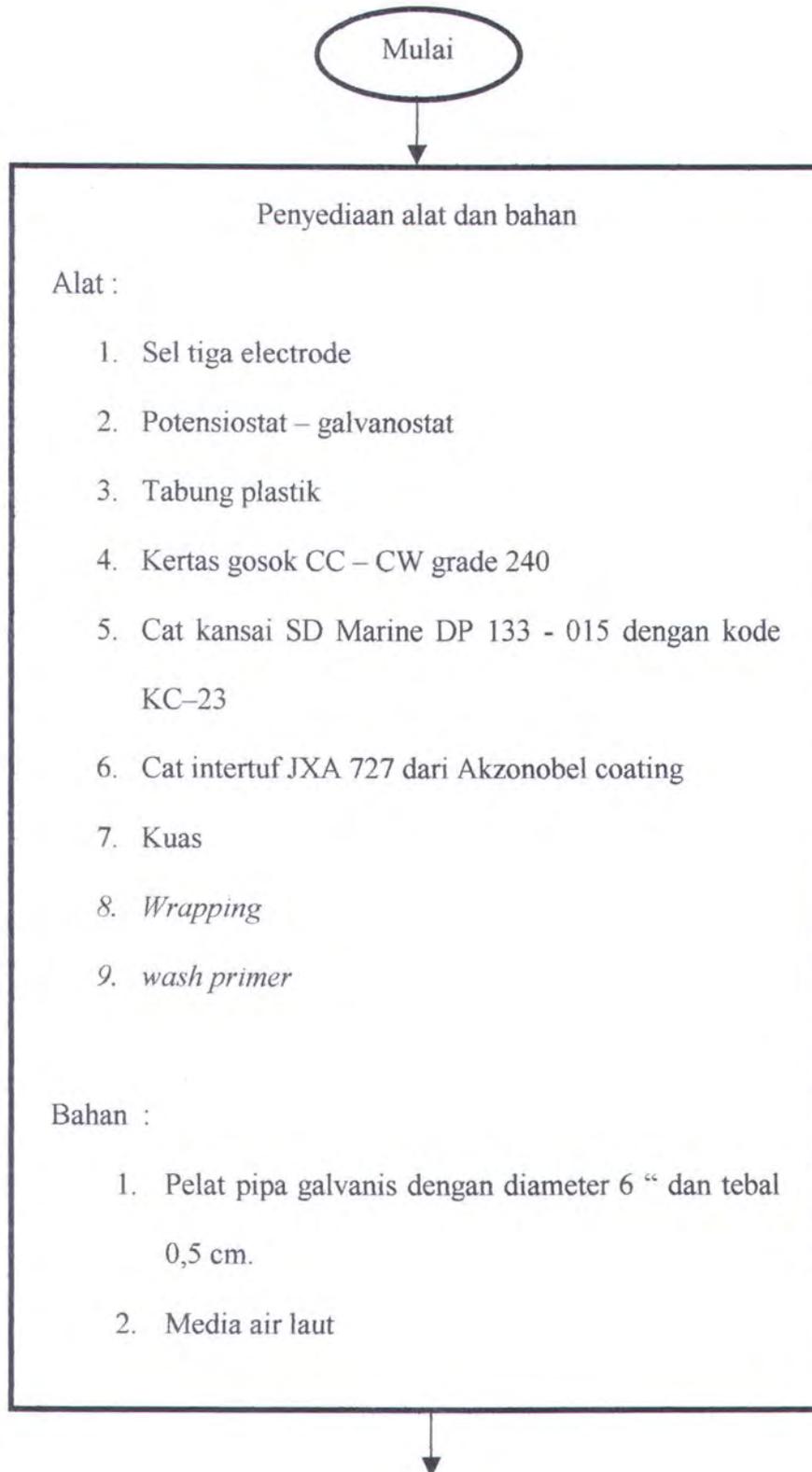


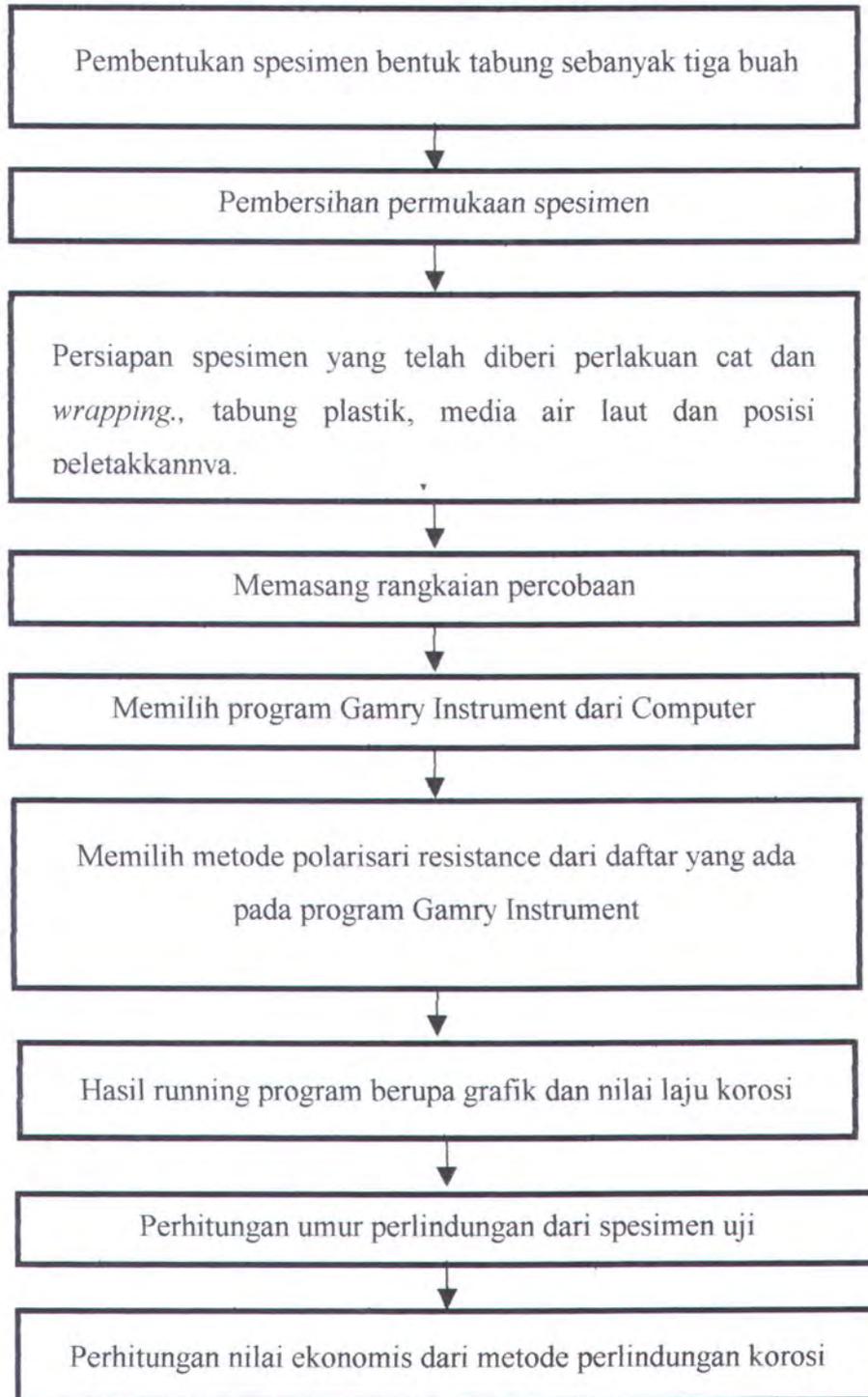
## **6. Perhitungan laju korosi**

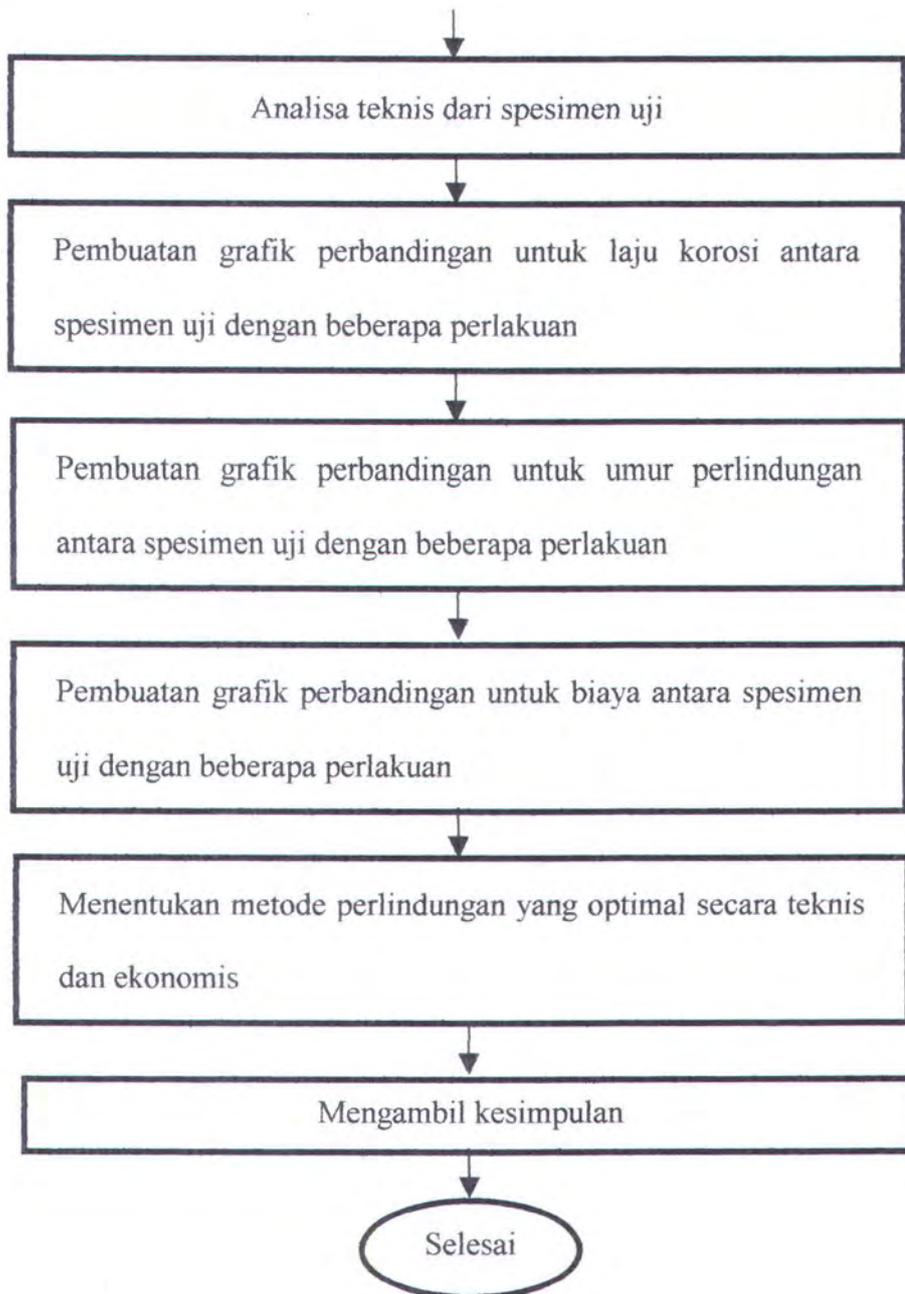
Setelah pengujian dilakukan pada ke sembilan spesimen , kemudian didapatkan hasil laju korosi berupa grafik.

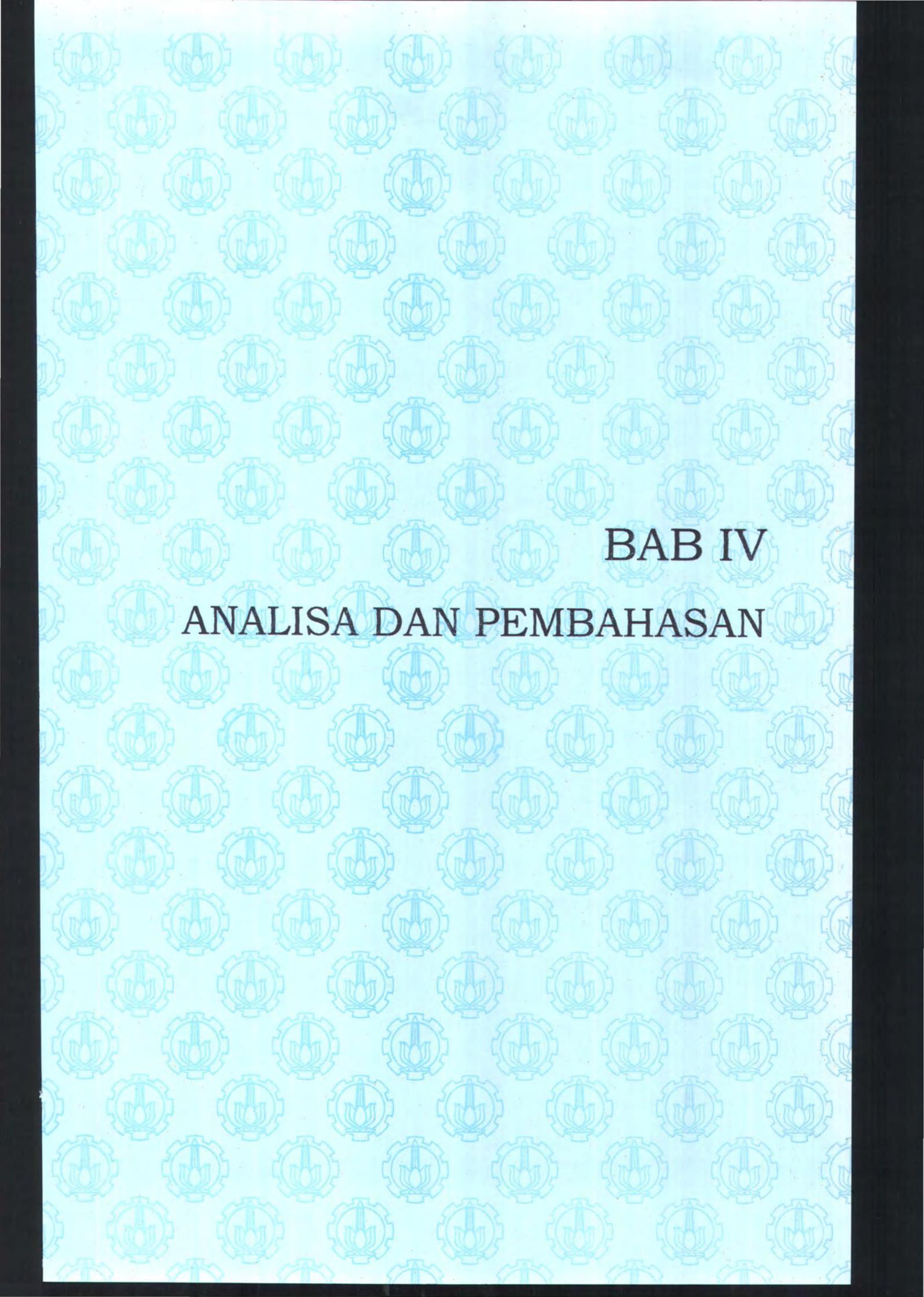


### Bagan alur proses percobaan









**BAB IV**  
**ANALISA DAN PEMBAHASAN**



## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada umumnya laju korosi yang terjadi pada logam yang berada di air laut lebih tinggi jika dibandingkan dengan laju korosi logam yang berada pada lingkungan lain. Hal ini disebabkan beberapa faktor lingkungan yang ikut mempengaruhi proses reaksi korosi. Salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh adalah kualitas air serta proses pasang surut yang terjadi di lingkungan laut.

Seperti diketahui pada lingkungan laut, kotoran-kotoran yang terbawa oleh air laut akan membawa pengaruh bagi terjadinya proses korosi, sedangkan pada daerah yang mendapatkan keadaan basah dan kering secara terus menerus (daerah *splash zone*) mempunyai kemungkinan lebih besar untuk memiliki nilai laju korosi yang tinggi, hal ini disebabkan karena adanya pengaruh kondisi basah dan kering yang berakibat pada mekanisme korosi secara elektrokimia maupun secara mekanis sehingga konsistensi reaksi antara lingkungan laut dengan media akan terganggu. Ketidakseimbangan tersebut memicu terjadinya korosi pada logam sehingga pada daerah tersebut, laju korosi yang terjadi akan lebih berat.

Untuk menanggulangi akibat korosi yang membawa dampak sangat merugikan, maka diperlukan suatu metode perlindungan yang efektif dan optimal. Karena meskipun suatu sistem telah dirancang sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat untuk tujuan fungsional, namun fungsi tersebut harus ekonomis dan terus aman bila diperkirakan dalam suatu optimasi periode tertentu, karena korosi



tersebut dapat menjadi tidak terlindungi. Pada proses pencegahan korosi ada beberapa tujuan pokok diantaranya adalah memperlambat atau bahkan menghentikan proses korosi secara wajar dan ekonomis.

#### **4.1 Analisa kondisi lingkungan**

Pada kondisi di lapangan, dimana siklus pasang surut yang terjadi adalah 2 kali pasang dan 2 kali surut dalam jangka waktu 24 jam. Hal tersebut mengakibatkan keadaan pipa yang menjadi fokus utama dalam pembahasan berada dalam kondisi basah kering yang relatif berat. Dimana ketika pasang terjadi, seluruh permukaan pipa terendam dalam air laut. Selain itu, akibat adanya aktifitas gelombang yang terjadi dari pantai akan memberikan kelembaban tinggi pada permukaan pipa. Dan hal ini berakibat pada frekuensi terjadinya korosi akan lebih besar.

Faktor lingkungan lain yang diketahui adalah komposisi kimia yang dimiliki oleh air laut di daerah tersebut. Dengan salinitas sekitar 31.12 ‰, kandungan timbal (pb) sekitar 0,02 memungkinkan korosi akan lebih cepat terjadi.

#### **4.2 Analisa hasil**

##### **4.2.1 Laju Korosi dengan pengukuran polarisasi resistance**

Spesimen uji yang telah diberikan beberapa metode perlindungan korosi dengan menggunakan metode pengecatan dan metode *wrapping* (pembalutan), langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah melakukan pengujian untuk mengetahui besarnya laju korosi yang dimiliki masing-masing spesimen uji tersebut.



Dan untuk mengetahui besarnya laju korosi pada sample yang diberi perlakuan tersebut agar dapat dilakukan analisa selanjutnya, maka setelah sample-sample tersebut mendapatkan perlakuan seperti dicat dan *wrapping*, serta mendapatkan perlakuan dengan kondisi 2 x 6 jam perendaman dalam air laut dan 2 x 6 jam berada di udara bebas, selama kurun waktu 67 hari atau setara dengan 1608 jam. Maka tahapan selanjutnya adalah pengujian di laboratorium dengan menggunakan metode *polarisasi resistance*. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan *Gamry Instrument*. Adapun caranya adalah sebagai berikut :

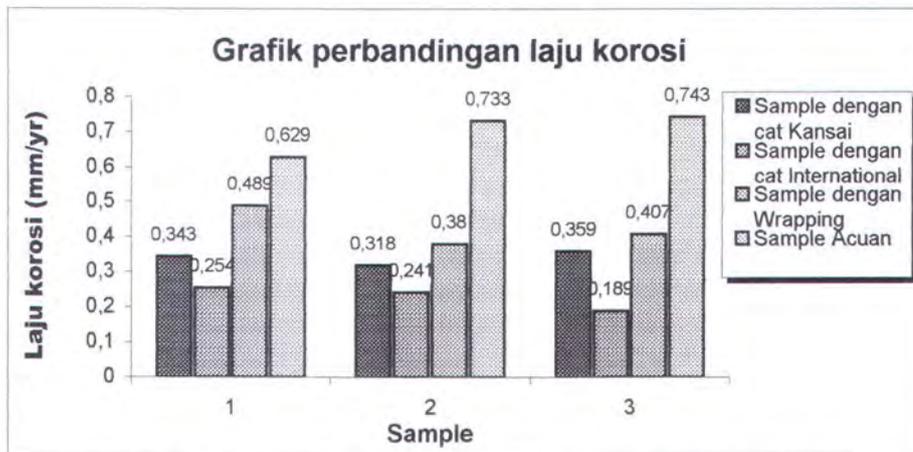
1. Meletakkan sampel dalam tabung bening berisi media air laut sebagai media elektrolit.
2. Menjepit sampel sebagai elektrode kerja yang merupakan rangkaian dengan elektrode acuan dan elektrode pembantu.
3. Rangkaian elektrode-elektrode tersebut dihubungkan dengan komputer yang berisi program *Gamry Instrument*.
4. Memilih metode polarisasi resistance dan menunggu selama kurang lebih 15 menit yang diperlukan untuk mengukur arus yang dibutuhkan tiap sampel .
5. Dari hasil pengukuran, maka dapat diketahui berapa besar laju korosi yang terjadi pada tiap sampel yang diuji.
6. Hasil tersebut berupa grafik dan laju korosi yang terjadi.

Hasil yang didapatkan dari pengukuran tersebut tercantum dalam tabel 4.1.

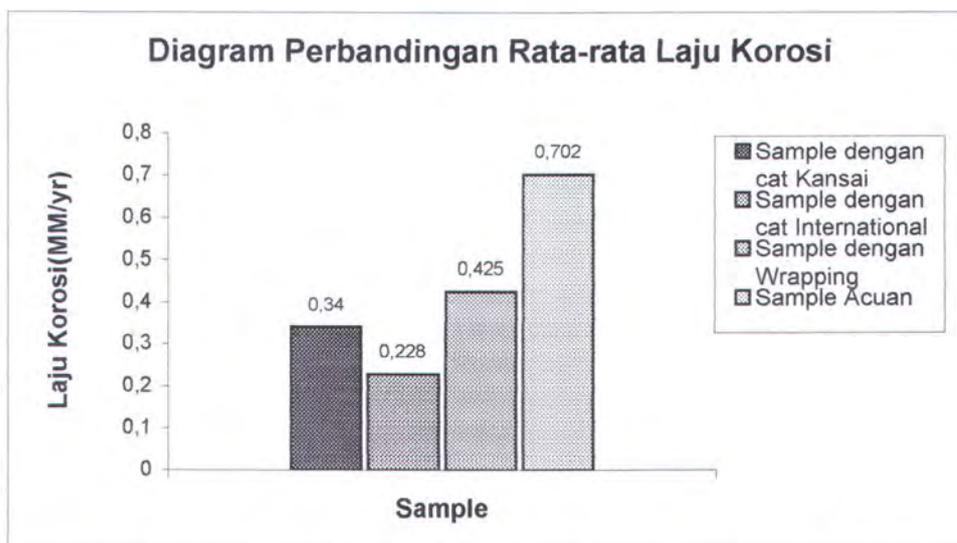


Tabel 4.1. Hasil laju korosi dengan pengukuran polarisasi resistance

| Sample ke | Sampel A | Sampel B | Sampel C | Sampel Acuan |
|-----------|----------|----------|----------|--------------|
| 1         | 0,343    | 0,254    | 0,489    | 0,629        |
| 2         | 0,318    | 0,241    | 0,38     | 0,733        |
| 3         | 0,359    | 0,189    | 0,407    | 0,743        |
| Rata-rata | 0,34     | 0,228    | 0,425    | 0,702        |



Gambar 4.1. Perbandingan hasil laju korosi dengan pengukuran polarisasi resistance



Gambar 4.2. Perbandingan rata-rata hasil laju korosi dengan pengukuran polarisari resistance



Dengan melihat hasil yang tertera pada grafik 4.1 dan grafik 4.2 yang memuat hasil laju korosi dan laju korosi rata-rata yang didapat dari pengujian, maka didapatkan bahwa sample dengan perlakuan cat jenis 1 (cat International) yang memiliki ketebalan sebanyak 5 lapis mempunyai laju korosi terendah (rata-rata adalah 0,228 mm/ year) jika dibandingkan dengan sample yang diberi perlakuan cat jenis 2 (cat Kansai) setebal 4 lapis yang memiliki laju korosi rata-rata 0,340 mmpy/ year. Untuk sample dengan perlakuan *wrapping* mempunyai laju korosi rata-rata 0,425 mm/year. Pada pengujian yang dilakukan pada sample A,B dan C untuk masing-masing sample didapatkan hasil yang berbeda. Hal ini disebabkan kebutuhan arus oleh masing-masing sample adalah tidak sama. Meskipun luasan pelat pipa yang dihitung adalah sama. Faktor penyebab lainnya yang membuat perbedaan hasil pengukuran tersebut adalah karena jarak antara elektrode kerja (elektrode yang menempel pada sample yang diuji) dan elektrode acuan yang tidak sama untuk masing-masing pengujian. Hal ini dikarenakan kesulitan untuk menentukan jarak yang benar-benar tepat di antara keduanya untuk semua sample uji. Kesulitan ini disebabkan jepit yang menempel pada sample uji yang kadang bergeser karena fluida (media air laut) yang bergerak. Sekecil apapun perbedaan jarak tersebut dapat mempengaruhi hasil pengukuran laju korosi untuk tiap-tiap spesimen. Akan tetapi, hasil yang didapatkan mempunyai hasil yang saling mendekati satu sama lain, sehingga laju korosi yang akan digunakan adalah laju korosi rata-rata untuk tiap spesimen uji.

Pemberian lapisan cat setebal 5 lapisan (untuk cat tipe 1) dan 4 lapis (untuk cat tipe 2), merupakan ketebalan yang telah ditentukan berdasarkan ketentuan dari



perusahaan sesuai dengan karakteristik dari masing-masing cat itu sendiri. Pembagian tebal lapisan cat sebanyak 4 atau 5 lapis memberikan keuntungan ketika cat diulaskan, sehingga setiap lapisan cat cepat mengering dan lapisan cat selanjutnya lebih cepat diberikan. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari kondisi ketika terjadi pasang. Karena hal tersebut akan menghalangi proses pengerjaan pengecatan

#### 4.2.2 Umur normal cat

Sesuai dengan data yang didapatkan dari perusahaan mengenai umur cat jika berada dalam kondisi operasi normal. Maka umur normal cat tipe 1 akan bertahan selama 15 tahun sebelum dilakukan pengikisan total dan dilakukan pengecatan ulang. Sedangkan untuk cat tipe 2, dapat bertahan selama 10 tahun, untuk kemudian *diblasting* dan diberi cat baru. Setelah melewati waktu tersebut, seluruh lapisan tersebut harus dikikis habis dengan *blasting* dan diganti dengan lapisan baru. Hal ini dikarenakan selama rentang waktu jenuh tersebut, cat akan kehilangan seluruh daya rekat antar partikel cat sehingga faktor-faktor dari lingkungan seperti air laut, udara bebas dan mikroorganisme akan menembus dari celah antara partikel dan memicu terjadinya korosi. Untuk itu, ketika waktu perlindungan yang diberikan telah lewat, maka lapisan baru harus segera diberikan. Hal yang sama juga berlaku untuk cat tipe 2. Waktu jenuh dari perusahaan cat tipe 1 adalah 15 tahun, yang berarti bahwa dalam jangka waktu 15 tahun, seluruh lapisan cat yang lama harus dibersihkan dan dicat ulang. Sedangkan untuk cat tipe 2, memiliki waktu jenuh 10 tahun. Untuk pembalutan, setelah melewati waktu jenuh tersebut, partikel-partikelnya akan memuai karena



adanya pengaruh panas matahari serta kombinasi basah kering akibat pasang surut.

#### **4.2.3 Fenomena pengikisan cat**

Lapisan cat yang diberikan untuk melindungi material dari korosi yang menyerang. Ketika lapisan cat berada dalam keadaan melindungi, lapisan tersebut akan berhadapan dengan beberapa factor dari lingkungan yang akan menyebabkan terjadinya proses pengikisan. Proses itu berlangsung karena pengaruh adanya panas matahari, air hujan, pasang surut yang terjadi serta akibat dari perilaku organisme yang menempel pada permukaan cat. Akibatnya, lapisan cat akan mengalami penggerusan. Lambat laun, lapisan cat akan menipis. Untuk itu perlu dilakukan tindakan perawatan guna menjaga lapisan cat tetap berada pada ketebalan yang telah diberikan pada pengecatan awal, maka setiap tahun harus dilakukan pengecatan ulang setebal  $\frac{1}{2}$  dari tebal awal. Hal ini dengan asumsi bahwa selama setahun lapisan yang tergerus adalah setengah dari ketebalan normal. Jadi untuk menutup bagian yang hilang tersebut, harus ditutup dengan lapisan baru. Jika hal ini tidak dilakukan, maka lapisan cat akan berkurang kekuatan melindunginya. Hal ini berakibat pada lapisan di bawahnya yang akan ikut tergerus. Akibatnya, faktor-faktor lingkungan dari luar kan menembus masuk ke dalam lapisan cat, untuk kemudian menyentuh lapisan logam yang dilindunginya, sehingga memicu terjadinya korosi.



#### 4.2.4 Perhitungan umur cat dan wrapping

Berdasarkan data laju korosi yang didapatkan dari hasil pengujian yang dilakukan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan umur cat untuk kemudian dilakukan perawatan dengan melakukan penambahan . Adapun cara perhitungannya adalah dengan menggunakan formulasi sebagai berikut :

$$\frac{\text{tebal (dalam mm)}}{\text{laju korosi}} = \text{lama perlindungan (dalam tahun)}$$

(Coating Handbook of Akzonobel Coatings, 1990).

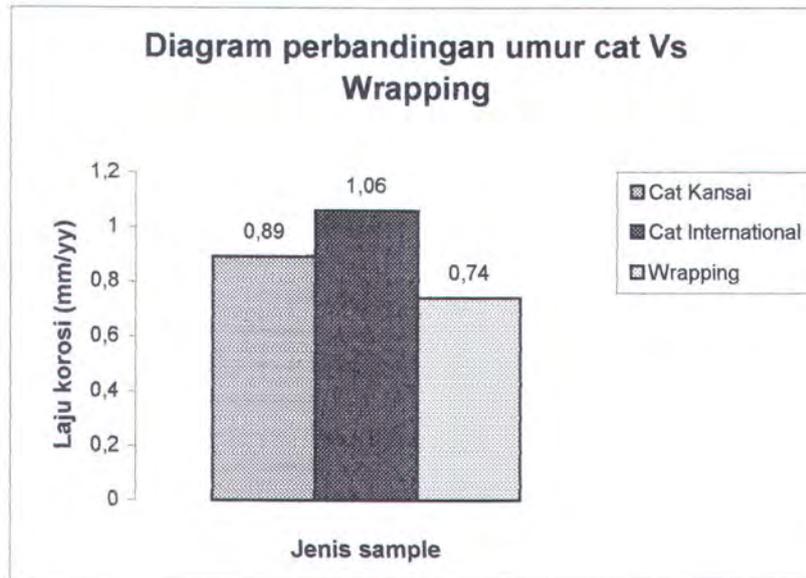
Berdasarkan dari data ketebalan cat yang digunakan yaitu 500  $\mu$  untuk cat tipe 1 , 320  $\mu$  untuk cat tipe 2 dan 200  $\mu$  untuk *wrapping*, maka hasil perhitungan umur ketiga material pelindung tersebut seperti pada tabel di bawah ini . Umur tersebut berarti maksimal waktu dari lapisan cat yang tergerus, sehingga harus dilakukan pengecatan ulang.

Tabel 4.2 Laju korosi dari cat dan *wrapping*

| Sample ke | Sample A<br>(Cat kansai) | Sample B (Cat<br>international) | Sample C<br>(Wrapping) |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 1         | 0.286                    | 0.375                           | 0.14                   |
| 2         | 0.415                    | 0.492                           | 0.353                  |
| 3         | 0.384                    | 0.554                           | 0.336                  |
| Rata-rata | 0.362                    | 0.474                           | 0.277                  |

Tabel 4.3 Umur dari cat dan *wrapping*

| Sample ke | Sample A<br>(Cat kansai) | Sample B (Cat<br>international) | Sample C<br>(Wrapping) |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Rata-rata | 0.89                     | 1.06                            | 0.74                   |



**Gambar 4.3.** Diagram perbandingan umur rata-rata cat Vs wrapping

### 4.3 Analisa Teknis

Beberapa macam metode perlindungan korosi yang telah diuji di atas, memiliki kelebihan dan kekurangan untuk masing-masing metode. Hal tersebut terkait dengan proses pengerjaan, ketersediaan material, ketersediaan sumber daya manusia dan lainnya yang saling terkait satu sama lain.

Untuk proses pengerjaan pengecatan misalnya, selain tergantung pada pekerja yang akan melakukannya juga tergantung pada kondisi cuaca. Dimana dibutuhkan kondisi yang kering dengan sinar matahari yang cukup untuk membantu proses pengeringan cat. Selain itu proses pelaksanaan pengecatan di lapangan akan menggunakan penyemprotan (*spraying*) untuk menjamin kontinuitas hasil ketebalan cat agar mendapatkan ketebalan yang rata dan mengurangi kegagalan cat.



Sedangkan pada proses pembalutan harus diusahakan melekat ketat dan saling menumpuk untuk mendapatkan hasil maksimal. Dalam hal ketersediaan material, baik cat maupun *wrapping* yang dibutuhkan banyak dijumpai di pasaran bebas, sehingga tidak akan menemukan kesulitan untuk mendapatkannya.



Dalam hal sumber daya manusia, sangat penting untuk memperkerjakan orang-orang yang memahami proses pengecatan dan pembalutan dengan baik dan benar. Dan tidak asal mengecat atau membungkus pipa dengan *wrapping*. Hal – hal kecil yang memungkinkan terjadinya kegagalan harus diperhatikan untuk mengurangi resiko kegagalan yang akan terjadi.

Kemudahan dan kesulitan yang akan dijumpai pada kedua macam metode tersebut bergantung pada ketrampilan pekerja yang akan melaksanakan proses pengerjaan pengecatan atau pembalutan. Untuk itu sedini mungkin diantisipasi dengan menggunakan tenaga kerja yang berpengalaman.

#### 4.3.1 Persiapan permukaan

Kondisi pipa yang ditinjau adalah pipa yang telah diinstalasi dan digunakan untuk mengalirkan air tawar untuk mensuplai kebutuhan air tawar dari sumber di darat ke kapal-kapal selama melakukan aktifitas bongkar muat di pelabuhan. Sehingga proses persiapan permukaan yang dilakukan sebelum dilakukan pengecatan atau perlakuan selanjutnya adalah mempunyai tujuan untuk mengikis permukaan pelat pipa dari karat yang telah terjadi, membersihkan pelat pipa dari kotoran berupa



minyak, gemuk, dan organisme-organisme yang menempel pada pelat pipa. Untuk itu, metode persiapan permukaan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. *Water jet* (penyemprotan dengan air bertekanan)

Penyemprotan ini dilakukan untuk membersihkan bagian permukaan dari pipa dan mendapatkan permukaan yang bersih dari minyak, debu, kotoran-kotoran dan lain-lain yang membuat permukaan pipa menjadi kotor.

b. *Blasting*

*Blasting* ini dilakukan untuk mengikis lapisan karat yang telah terjadi sehingga lapisan permukaan pipa jadi bersih dan siap untuk diberi perlakuan selanjutnya.

Adapun tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada proses persiapan permukaan sampai dengan tahapan pengecatan atau *wrapping* meliputi tahapan sebagai berikut :

1. *Scrapping* atau *water jet* untuk membersihkan permukaan pipa gemuk, minyak, debu serta kotoran lainnya yang menempel pada permukaan pipa.
2. *Blasting* yang berfungsi untuk membersihkan permukaan pipa dari kerak karat yang telah terjadi pada pipa, sehingga permukaan pipa benar-benar bersih dan diharapkan akan menghasilkan suatu mekanisme perlindungan yang optimal.

#### 4.3.2 Penerapan pengecatan

Untuk jenis cat yang digunakan pada metode pengecatan adalah menggunakan jenis cat *coal tar epoxy*, di mana cat jenis 1 adalah tipe *modified coal tar epoxy* dan cat tipe 2 adalah cat *heavy duty coatings* yang memiliki karakteristik berbeda.



Penggunaan kedua cat tersebut adalah mencampur wahana (zat cair yang berfungsi membuat cat mempunyai fluiditas, dan jika mengering akan meninggalkan selaput padat). Dengan agen pengering yang dicampurkan tepat sebelum cat digunakan.

Untuk proses penerapan pengecatan yang akan dilakukan mempunyai tahapan-tahapan seperti berikut ini :

1. Lapisan pertama berupa lapisan *anti corrosive*

Lapisan *anti corrosive* tersebut merupakan lapisan cat itu sendiri yang akan diberikan.

2. *Water cleaning* untuk membersihkan lapisan cat dari kotoran yang menempel selama proses pengeringan.
3. Lapisan kedua berupa lapisan *anti corrosive*
4. Lapisan ketiga berupa lapisan *anti corrosive*
5. *Water cleaning* untuk membersihkan lapisan cat dari kotoran yang menempel selama proses pengeringan kedua.
6. Lapisan keempat berupa lapisan *anti corrosive*
7. Lapisan terakhir *anti fouling* untuk mencegah menempelnya organisme.

#### **4.3.3 Untuk wrapping**

Setelah dilakukan pembersihan permukaan kemudian permukaan pipa dibalut dengan menggunakan *wrapping*. Adapun caranya adalah dengan membalut pipa secara ketat, sehingga *wrapping* melekat kuat pada pipa. Proses tersebut dilakukan dengan menumpuk separoh dari *wrapping* yang telah dilekatkan. Demikian



seterusnya sampai seluruh pipa terbungkus. Ketika proses tersebut berlangsung, diusahakan untuk tidak ada *wrapping* yang menggelembung, yang nantinya memungkinkan udara atau air menerobos masuk. Pelekatan *wrapping* harus sempurna untuk mendapatkan hasil yang maksimum.

Pelapisan harus memperhatikan kondisi udara yang tepat. Jika kelembaban relatif terlalu tinggi, selapis tipis air dapat mencegah lapisan *wrapping* melekat ketat pada permukaan pipa.

#### 4.4 Analisa Ekonomi

Pipa yang ditinjau mempunyai dimensi sebagai berikut :

- a. P = 240 meter
- b. D = 6 inchi = 15,24 cm = 0.1524 meter
- c. r = 0.0762 meter
- d. t = 0,5 cm = 0.005 meter

Sehingga luas permukaan pipa yang akan digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L &= 2 \pi r P \\ &= 2 \times 3,14 \times (0.0762) \times 260 \\ &= 114,85 \text{ M}^2 \end{aligned}$$



#### 4.4.1 Kebutuhan cat jenis 1

Cat yang digunakan untuk cat jenis 1 mempunyai karakteristik sebagai berikut :

$$\text{Volume solid} = 53 \%$$

$$\text{Ketebalan (dalam DFT)} = 500 \mu$$

Sehingga :

$$\text{* luas daerah yang tertutup} = \text{TSR}$$

$$\text{TSR} = \frac{\text{volume solid} \times 10}{\text{ketebalan (dalam DFT)}}$$

$$= \frac{53 \times 10}{500}$$

$$= 1.06 \text{ M}^2/\text{L}$$

$$\text{PSR (practical spreading rate)} = \text{TSR} - \text{Loss factor (dalam \%)}$$

$$= 1.06 - (30 \% \times 1.06)$$

$$= 1.06 - 0.318$$

$$= 0.742$$

$$\text{Jadi jumlah cat yang dibutuhkan adalah : } \frac{\text{Luas area permukaan}}{\text{PSR}}$$

$$= \frac{114,85 \text{ M}^2}{0.742}$$

$$= 154.8 \text{ liter} \approx 155 \text{ liter}$$

Cat tersebut sudah termasuk *anti fouling* yang diberikan pada lapisan terakhir untuk mengurangi kemungkinan menempelnya organisme pada pelat pipa yang



akan merusak lapisan luar cat, dan menimbulkan keretakan sehingga korosi dapat terjadi. Akibatnya tujuan dari pengecatan untuk melindungi pipa dari korosi tidak tercapai.

#### 4.4.2 Kebutuhan cat jenis 2

Cat jenis 2 yang digunakan mempunyai karakteristik sebagai berikut :

Volume solid = 40 %

Ketebalan (dalam DFT) = 320  $\mu$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{TSR} &= \frac{\text{volume solid} \times 10}{\text{ketebalan(dalamDFT)}} \\ &= \frac{40 \times 10}{320} \\ &= 1.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PSR} &= \text{TSR} - \text{loss factor (dalam \%)} \\ &= 1.25 - (30 \% \times 1.25) \\ &= 1.25 - 0.375 \\ &= 0.85 \end{aligned}$$

Sehingga untuk cat dengan jenis 2, maka jumlah cat yang akan dipergunakan

$$\begin{aligned} \text{adalah sebanyak : } & \frac{\text{Luas area permukaan}}{\text{PSR}} \\ &= \frac{114,85 M^2}{0.85} \\ &= 135.1 \text{ liter} \quad \approx 135 \text{ liter} \end{aligned}$$



#### 4.4.3 Jumlah kebutuhan Wrapping

Untuk pipa dengan dimensi sebagai berikut :

a. P = 240 meter

b. D = 6 inchi = 15,24 cm = 0.1524 meter

Jenis *wrapping* yang digunakan adalah *wrapping* yang mempunyai lebar sekitar 2 inchi atau sekitar 5,08 cm. Untuk tiap 1 meter pipa membutuhkan *wrapping* sebanyak kurang lebih 18 meter. Sehingga jumlah keseluruhan *wrapping* yang dibutuhkan untuk membalut pipa adalah sebanyak :

$$18 \times 240 = 4320 \text{ meter}$$

Dan jika setiap 1 rol *wrapping* yang dijual di pasaran bebas mempunyai panjang sekitar 25 meter, maka *wrapping* yang akan digunakan sebanyak kurang lebih 172,8 rol atau dengan pembulatan menjadi 173 rol.

#### 4.4.4 Biaya cat

##### 4.4.4.1 Biaya cat jenis 1

Untuk cat jenis 1 mempunyai harga Rp. 1.700.000,- untuk 1 gallon yang berisi 20 liter cat. Sehingga dengan kebutuhan cat yang sebanyak 155 liter, akan dibutuhkan biaya sebesar Rp. 85.000,- per liter cat. Harga tersebut sudah termasuk dengan harga *curing* yang diperlukan. Total biaya keseluruhan yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Rp. } 85.000,- \times 155 \text{ liter}$$

$$= \text{Rp. } 13.175.000,-$$



#### 4.4.4.2 Biaya Cat jenis 2

Untuk cat jenis 2 ini mempunyai harga sebesar Rp. 75.000 per liter. Sehingga total keseluruhan biaya yang akan dibutuhkan adalah sebesar :

$$\begin{aligned} & \text{Rp. } 75.000 \times 135 \\ & = \text{Rp. } 10.125.000,- \end{aligned}$$

#### 4.4.4.3 Biaya wrapping

Berdasarkan hasil survey di pasaran mengenai harga wrapping, maka wrapping yang memiliki lebar sekitar 2 inchi atau sekitar 5,08 cm adalah sebesar Rp.49.000,-. Sehingga total biaya yang akan dikeluarkan untuk pembelian wrapping adalah sebesar :

$$\begin{aligned} & \text{Rp. } 49.000,- \times 173 \text{ rol} \\ & = \text{Rp. } 8.477.000,- \end{aligned}$$

#### 4.4.5 Biaya persiapan permukaan

##### a. Water jet

Biaya untuk water jet adalah Rp. 3500,-/ M<sup>2</sup>. dengan luas area sekitar 114,85 M<sup>2</sup> maka total biaya adalah sebesar :

$$\begin{aligned} & \text{Rp. } 3500,-/ \times 114,85 \text{ M}^2 \\ & = \text{Rp. } 401.975,- \end{aligned}$$

##### b. Blasting

Untuk mengelupas bagian anticorrosive adalah sweep blast = Rp.3500,-/ M<sup>2</sup>. sedangkan untuk mengelupas sampai pelat digunakan spot/total blast = Rp. 5000,-/ M<sup>2</sup>. Jenis blasting yang akan dipakai pada kondisi sebenarnya di lapangan



adalah jenis *total blast* untuk mengelupas karat sampat bagian pelat pipa.

Sehingga biaya yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\text{Rp. } 5000,-/ \text{M}^2 \times 114,85 \text{ M}^2$$

$$= \text{Rp. } 574.250,-$$

Sehingga total biaya untuk proses pembersihan pada persiapan permukaan adalah

sebesar :

$$\text{a. } \textit{water jet} = \text{Rp. } 401.975,-$$

$$\text{b. } \textit{blasting} = \underline{\text{Rp. } 574.250,-} +$$

$$\text{Total} = \text{Rp. } 976.225,-$$

#### 4.4.6 Biaya Tenaga kerja

Untuk tenaga kerja yang akan digunakan selama proses pengerjaan persiapan permukaan sampai dengan proses pengecatan dan wrapping adalah sebagai berikut :

##### 4.4.6.1 Persiapan permukaan

$$\text{a. } 1 \text{ orang } \textit{technical man} = \text{Rp. } 65.000,-/ \text{orang/ hari}$$

$$\text{b. } 1 \text{ orang tenaga pengawas} = \text{Rp. } 37.500,-/ \text{orang/ hari}$$

$$\text{c. } 4 \text{ orang tenaga kerja pelaksana} = \text{Rp. } 20.000,-/ \text{orang/ hari}$$

Proses pengerjaan persiapan permukaan ini berlangsung selama kurang lebih dua hari. Sehingga total biaya yang dibutuhkan adalah sebesar :

$$\text{a. } 1 \times \text{Rp. } 65.000,- \times 2 \text{ hari} = \text{Rp. } 130.000,-$$



$$b. 1 \times \text{Rp. } 37.500,- \times 2 \text{ hari} = \text{Rp. } 75.000,-$$

$$c. 4 \times \text{Rp. } 20.000,- \times 2 \text{ hari} = \text{Rp. } 160.000,-$$

$$\text{Total} = \text{Rp. } 365.000,-$$

#### 4.4.6.2 Pengecatan

$$a. 1 \text{ orang } \textit{technical man} = \text{Rp. } 75.000,-/ \text{ orang/ hari}$$

$$b. 1 \text{ orang tenaga pengawas} = \text{Rp. } 37.500,-/ \text{ orang/ hari}$$

$$c. 5 \text{ orang tenaga kerja pelaksana} = \text{Rp. } 22.000,-/ \text{ orang/ hari}$$

$$d. 1 \text{ orang satpam (penjaga)} = \text{Rp. } 20.000,-/ \text{ orang/ hari}$$

Proses pengerjaan pengecatan dilakukan hanya ketika keadaan surut. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk pengecatan adalah selama kurang lebih 4 hari.

Sehingga jumlah keseluruhan biaya yang dibutuhkan adalah :

$$a. 1 \times \text{Rp. } 75.000,- \times 4 \text{ hari} = \text{Rp. } 300.000,-$$

$$b. 1 \times \text{Rp. } 37.500,- \times 4 \text{ hari} = \text{Rp. } 150.000,-$$

$$c. 5 \times \text{Rp. } 22.000,- \times 4 \text{ hari} = \text{Rp. } 440.000,-$$

$$d. 1 \times \text{Rp. } 20.000,- \times 4 \text{ hari} = \text{Rp. } 80.000,-$$

$$\text{Total} = \text{Rp. } 970.000,-$$

#### 4.4.6.3 Wrapping

$$a. 1 \text{ orang } \textit{technical man} = \text{Rp. } 65.000,-/ \text{ orang/ hari}$$

$$b. 1 \text{ orang tenaga pengawas} = \text{Rp. } 35.500,-/ \text{ orang/ hari}$$

$$c. 5 \text{ orang tenaga kerja pelaksana} = \text{Rp. } 20.000,-/ \text{ orang/ hari}$$



Untuk pengerjaan *wrapping*, waktu yang dibutuhkan adalah selama 2 hari.

Sehingga total keseluruhan jumlah biaya yang dibutuhkan adalah sebesar :

- a.  $1 \times \text{Rp. } 65.000,- \times 2 \text{ hari} = \text{Rp. } 130.000,-$
  - b.  $1 \times \text{Rp. } 35.500,- \times 2 \text{ hari} = \text{Rp. } 71.000,-$
  - c.  $5 \times \text{Rp. } 20.000,- \times 2 \text{ hari} = \text{Rp. } 200.000,-$
- Total = Rp. 401.000,-

Tabel 4.4 Perbandingan biaya cat Vs *Wrapping*

| Tipe perlindungan | Cat tipe 1       | Cat tipe 2       | Wrapping        |
|-------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Biaya (dalam Rp)  | Rp. 13.175.000,- | Rp. 10.125.000,- | Rp. 8.477.000,- |



Gambar 4. 4 grafik perbandingan biaya cat Vs Wrapping

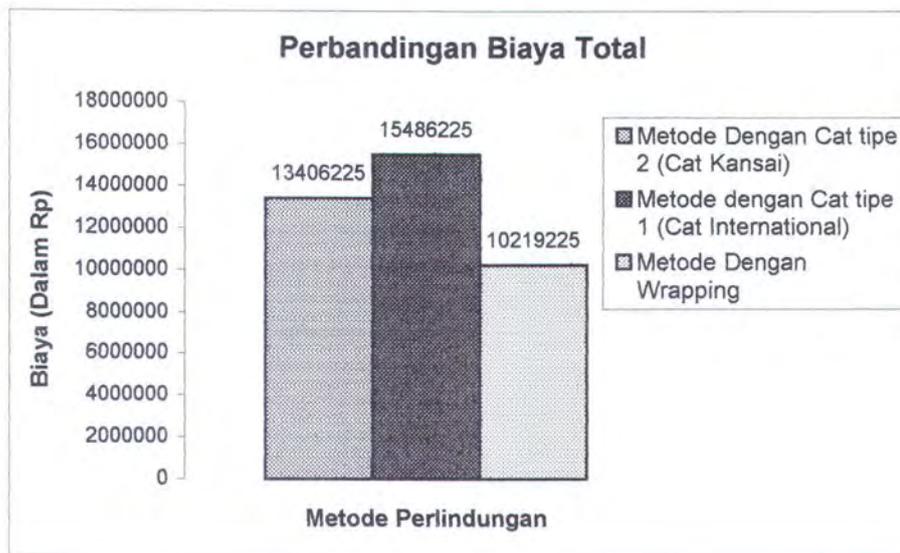


Tabel 4.5 Biaya tenaga kerja

| Jenis Pekerjaan  | Pengecatan      | Wrapping      |
|------------------|-----------------|---------------|
| Biaya (dalam Rp) | Rp. 1.335.000,- | Rp. 766.000,- |

Tabel 4.6 Perbandingan biaya total dari metode perlindungan

| Tipe perlindungan | Cat tipe 1      | Cat tipe 2       | Wrapping        |
|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Biaya (dalam Rp)  | Rp.15.486.225,- | Rp. 13.406.225,- | Rp.10.219.225,- |



Gambar 4.5 Grafik perbandingan biaya total dari metode perlindungan

Dari hasil perhitungan untuk biaya tenaga kerja yang dibutuhkan, biaya cat yang harus dibeli, biaya *wrapping* yang diperlukan, sampai pada biaya untuk persiapan permukaan yang tertera pada tabel, maka dapat dilihat bahwa terdapat variasi untuk biaya total yang dibutuhkan untuk tiap jenis metode perlindungan korosi yang diterapkan.



#### 4.5 Mekanisme perawatan cat

Dalam proses penerapan cat, setelah cat diberikan pada permukaan, tahapan selanjutnya yang harus dilakukan adalah melakukan perawatan. Adapun caranya adalah dengan melakukan inspeksi terhadap cat secara berkala. Hal ini diperlukan untuk mencari tahu akan adanya cacat pada lapisan cat sedini mungkin, sehingga langkah antisipasinya dapat segera dilakukan.

Berdasarkan pada hasil perhitungan yang telah dilakukan terhadap ketiga jenis metode perlindungan tersebut, maka untuk metode dengan cat tipe 1 memiliki umur 1.06 tahun. Metode dengan cat tipe 2 memiliki umur perlindungan 0.89 dan metode wrapping memiliki umur 0.74 tahun. Hal itu berarti setelah lewat dari waktu yang telah diketahui, harus dilakukan pengecatan ulang dengan ketebalan  $\frac{1}{2}$  dari tebal awal untuk metode pengecatan dan pengecekan untuk melihat cacat pada metode pembalutan

Kerusakan lapisan cat dapat terjadi karena cat kehilangan daya rekat antar partikel cat serta organisme yang menempel pada permukaan pelat pipa ketika pipa berada dalam kondisi tercelup air laut pada saat terjadi pasang. Organisme-organisme tersebut menempel dan hidup di permukaan pelat pipa sehingga mengakibatkan keretakan lapisan cat terluar. Hal ini dapat dicegah dengan memberikan lapisan *anti fouling* pada lapisan terakhir.

Ketika lapisan terluar mengalami keretakan, maka ada kemungkinan untuk merambat pada lapisan cat di bawahnya dan lapisan cat selanjutnya, sehingga air



laut dan udara bebas dapat masuk menembus pelat pipa dan mengakibatkan terjadinya korosi pada pipa. Untuk itu lapisan cat terluar harus dijaga agar tetap utuh dan tidak retak. Adapun cara untuk mengetahui lebih dini akan adanya cacat pada lapisan cat adalah dengan melakukan pengecekan secara berkala.

#### 4.6 Mekanisme perawatan *wrapping*

Untuk metode perlindungan korosi dengan menggunakan *wrapping*, mekanisme perawatannya adalah dengan melakukan pengecekan ulang secara periodik untuk mencari tahu apakah sambungan dari *wrapping* yang diberikan benar-benar dalam keadaan ketat dan kedap air. Ketika ditemukan *wrapping* yang mengelupas (sambungan longgar), maka *wrapping* tersebut harus diganti. Frekuensi penggantianannya tergantung pada kondisi *wrapping* itu sendiri. Dalam keadaan dimana metal yang dilindungi memiliki kemungkinan besar untuk terendam dalam air, maka kemungkinan sambungan tersebut kendur akan lebih besar. Untuk itu penggantian *wrapping* akan lebih sering. Berdasarkan pengalaman di lapangan, penggantian *wrapping* untuk kondisi metal tercelup dilakukan minimal 5 tahun sekali. Hal itu disebabkan karena selama waktu tersebut, kemungkinan sambungannya menjadi longgar akan lebih besar. Longgarnya lapisan *wrapping* tersebut karena siklus pemuaiannya *wrapping* yang disebabkan oleh temperatur (sinar matahari) dan basah oleh air hujan atau embun yang terjadi secara berulang-ulang sehingga sifat melindungi dari *wrapping* berkurang dan memicu terjadinya korosi.



Keuntungan dari penggunaan metode pembalutan adalah mudah dalam pelaksanaannya. Dimana hal yang harus dilakukan adalah membalut pelat dan mengusahakan agar balutannya ketat dan tidak longgar.

#### 4.7 Mekanisme perawatan di lapangan

Untuk mekanisme perawatan yang telah dilakukan di PT. (Persero). Pelindo III cabang Tanjungwangi – Banyuwangi adalah menggunakan metode perlindungan korosi dengan pengecatan. Akan tetapi karena laju korosi yang terjadi masih tinggi, maka diusahakan untuk mencari alternatif metode perlindungan lain yang lebih optimal dari segi teknis dan ekonomis

Alternatif mekanisme perlindungan alternatif pada pipa, pihak pelabuhan sedang mempertimbangkan untuk menggunakan sistem *wrapping* dengan memakai *insulation tape*.

#### 4.8 Perkiraan biaya Perawatan Cat

Untuk melakukan perhitungan pada biaya perawatan yang dilakukan secara periodik, maka ada beberapa pertimbangan yang akan digunakan dalam perhitungan untuk menentukan biaya yang dibutuhkan. Adapun faktor yang berpengaruh adalah harga yang ada di pasaran bebas. Baik untuk harga material, harga tenaga kerja dan harga-harga lainnya. Selain itu, faktor tingkat inflasi yang terjadi juga berpengaruh pada fluktuasi harga di pasaran.

Untuk mengetahui kebutuhan biaya perawatan pada metode perlindungan dengan pengecatan yang dilakukan, maka asumsi yang dipakai adalah :



1. Tingkat inflasi yang terjadi per tahun yang berlaku adalah 12 %
2. Biaya cat dan mekanisme yang digunakan adalah sama.
3. Mekanisme penambahan/penggantian sesuai dengan waktu jenuh dari masing-masing jenis perlindungan.
4. Biaya yang diperlukan adalah
  - a.  $\frac{1}{2}$  biaya cat total
  - b.  $\frac{1}{2}$  biaya tenaga kerja total
  - c. Perhitungan selama 20 tahun

Adapun biaya investasi biaya yang diperlukan untuk melakukan pengecatan dan *wrapping* sesuai dengan waktu jenuh dari masing-masing metode perlindungan tersebut dapat dilihat pada grafik berikut ini.

**Tabel 4.7** Investasi biaya untuk pengecatan & pembalutan ulang

|                                   | Investasi biaya untuk pengecatan & pembalutan ulang |                  |                  |
|-----------------------------------|---|------------------|------------------|
|                                   | Metode A  | Metode B         | Metode C         |
| Investasi awal                    | Rp. 15.486.225,-                                    | Rp. 13.406.225,- | Rp. 10.219.225,- |
| penggantian ke-1<br>(tahun ke-5)  | Rp. 0,-   | Rp. 0,-          | Rp. 16.350.760,- |
| Penggantian ke-2<br>(tahun ke-10) | Rp. 0,-   | Rp. 29.493.695,- | Rp. 22.482.295,- |
| Penggantian ke-3<br>(tahun ke-15) | Rp. 43.361.430,-                                    | Rp. 0,-          | Rp. 28.613.830,- |
| Penggantian ke-4<br>(tahun ke-20) | Rp. 0,-   | Rp. 45.581.165,- | Rp. 34.745.365,- |
| <b>TOTAL</b>                      | Rp. 58.847.655,-                                    | Rp. 88.481.085,- | Rp.112.411.475,- |



Sedangkan perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk perawatan dengan cara penambahan tebal lapisan cat untuk menjaga ketebalan lapisan cat secara keseluruhan pada metode perlindungan korosi dengan pengecatan adalah seperti pada tabel di bawah ini. Perhitungan tersebut menggunakan asumsi bahwa biaya awal yang dipakai merupakan biaya material cat dan biaya tenaga kerja. Sedangkan biaya persiapan permukaan hanya digunakan untuk penggantian ulang secara keseluruhan. Perawatan yang akan dilakukan merupakan suatu pekerjaan yang mengacu pada umur perlindungan yang didapatkan dari hasil pengujian terdahulu. Dimana untuk kedua jenis pengecatan yang dibandingkan mempunyai waktu yang berbeda, yaitu 1,06 tahun untuk cat International dan 0,89 tahun ( $\pm 10$  bulan) untuk cat Kansai.



Tabel 4.8 Perkiraan biaya perawatan untuk cat tipe 1

| Periode<br>(per 1 tahun) | Biaya awal       | Tingkat<br>inflasi | Biaya operasi     | Biaya total        |
|--------------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 0                        | Rp. 15.486.225,- | 0%                 | Rp. 0,-           | Rp. 15.486.225,-   |
| 1                        | Rp. 7.469.500,-  | 12%                | Rp.1.120.425,-    | Rp. 8.589.925,-    |
| 2                        | Rp. 8.589.925,-  | 12%                | Rp.1.030.791,-    | Rp. 9.620.716,-    |
| 3                        | Rp. 9.620.716,-  | 12%                | Rp.1.154.485.92,- | Rp.10.775.201.92,- |
| 4                        | Rp. 10.651.507,- | 12%                | Rp.1.278.180.84,- | Rp.11.929.687.84,- |
| 5                        | Rp. 11.682.298,- | 12%                | Rp.1.401.875.76,- | Rp.13.084.173.76,- |
| 6                        | Rp. 12.713.089,- | 12%                | Rp.1.525.570.68,- | Rp.14.238.659.68,- |
| 7                        | Rp. 13.743.880,- | 12%                | Rp.1.649.265.6,-  | Rp.15.393.145.6,-  |
| 8                        | Rp. 14.774.671,- | 12%                | Rp.1.772.960.52,- | Rp.16.547.631.52,- |
| 9                        | Rp. 15.805.462,- | 12%                | Rp.1.896.655.44,- | Rp.17.7021.17.44,- |
| 10                       | Rp. 16.836.253,- | 12%                | Rp.2.020.350.36,- | Rp.18.856.033,6,-  |
| 11                       | Rp. 17.867.044,- | 12%                | Rp.2.144.045.28,- | Rp.20.011.089.28,- |
| 12                       | Rp. 18.897.835,- | 12%                | Rp.2.267.740.2,-  | Rp.21.165.575.2,-  |
| 13                       | Rp. 19.928.626,- | 12%                | Rp.2.391.435.12,- | Rp.22.320.061.12,- |
| 14                       | Rp. 20.959.417,- | 12%                | Rp.2.515.130.04,- | Rp.23.474.547.04,- |
| 15                       | Rp. 21.990.208,- | 12%                | Rp.2.638.824.96,- | Rp.24.629.032.96,- |
| 16                       | Rp.23.020.999,-  | 12%                | Rp.2.762.519,88,- | Rp.25.783.518,88,- |
| 17                       | Rp. 24.051.790,- | 12%                | Rp.2.886.214,8,-  | Rp.26.938.004,8,-  |
| 18                       | Rp.25.082.581,-  | 12%                | Rp.3.009.909,72,- | Rp.28.092.490,72,- |
| 19                       | Rp.26.113.372,-  | 12%                | Rp.3.133.604,64,- | Rp.29.246.976,64,- |
| 20                       | Rp. 27.144.163,- | 12%                | Rp.3.257.299,56,- | Rp.30.401.462,56,- |
|                          |                  | Σ                  | Rp.41.857.285,-   | Rp.404.286.846,3   |



Tabel 4.9 Perkiraan biaya perawatan untuk cat tipe 2

| Periode<br>(per 10 bulan) | Biaya awal       | Laju<br>inflasi | Biaya opresi    | Biaya total      |
|---------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 0                         | Rp. 13.406.225,- | 0%              | Rp. 0,-         | Rp. 13.406.225,- |
| 1                         | Rp. 5.794.500,-  | 12%             | Rp. 695.340,-   | Rp. 6.489.840,-  |
| 2                         | Rp. 6.663.675,-  | 12%             | Rp. 799.641,-   | Rp. 7.463.316,-  |
| 3                         | Rp. 7.532.850,-  | 12%             | Rp. 903.942,-   | Rp. 8.436.792,-  |
| 4                         | Rp. 8.402.025,-  | 12%             | Rp. 1.008.243,- | Rp. 9.410.268,-  |
| 5                         | Rp. 9.271.200,-  | 12%             | Rp. 1.112.544,- | Rp. 10.383.744,- |
| 6                         | Rp. 10.140.375,- | 12%             | Rp. 1.216.845,- | Rp. 11.357.220,- |
| 7                         | Rp. 11.009.550,- | 12%             | Rp. 1.321.146,- | Rp. 12.330.696,- |
| 8                         | Rp. 11.878.725,- | 12%             | Rp. 1.425.447,- | Rp. 13.304.172,- |
| 9                         | Rp. 12.747.900,- | 12%             | Rp. 1.529.748,- | Rp. 14.277.648,- |
| 10                        | Rp. 13.617.075,- | 12%             | Rp. 1.634.049,- | Rp. 15.251.124,- |
| 11                        | Rp. 14.486.250,- | 12%             | Rp. 1.738.350,- | Rp. 16.224.600,- |
| 12                        | Rp. 15.355.425,- | 12%             | Rp. 1.842.651,- | Rp. 17.198.076,- |
| 13                        | Rp. 16.224.600,- | 12%             | Rp. 1.946.952,- | Rp. 18.171.552,- |
| 14                        | Rp. 17.093.775,- | 12%             | Rp. 2.051.253,- | Rp. 19.145.028,- |
| 15                        | Rp. 17.962.950,- | 12%             | Rp. 2.155.554,- | Rp. 20.118.504,- |
| 16                        | Rp. 18.832.125,- | 12%             | Rp. 2.259.855,- | Rp. 21.091.980,- |
| 17                        | Rp. 19.701.300,- | 12%             | Rp. 2.364.156,- | Rp. 22.065.456,- |
| 18                        | Rp. 20.570.475,- | 12%             | Rp. 2.468.457,- | Rp. 23.038.932,- |
| 19                        | Rp. 21.439.650,- | 12%             | Rp. 2.572.758,- | Rp. 24.012.408,- |
| 20                        | Rp. 22.308.825,- | 12%             | Rp. 2.677.059,- | Rp. 24.985.884,- |
| 21                        | Rp. 23.178.000,- | 12%             | Rp. 2.781.360,- | Rp. 25.959.360,- |
| 22                        | Rp. 24.047.175,- | 12%             | Rp. 2.885.661,- | Rp. 26.932.836,- |
| 23                        | Rp. 24.916.350,- | 12%             | Rp. 2.989.962,- | Rp. 27.906.312,- |
| 24                        | Rp. 25.785.525,- | 12%             | Rp. 3.094.263,- | Rp. 28.879.788,- |
|                           |                  |                 | Rp. 3.198.564,- | Rp. 29.853.264,- |
|                           |                  | Σ               | Rp.46.966.350,- | Rp.451.758.825,- |



#### 4.9 Biaya perawatan wrapping

Dengan asumsi yang sama dengan asumsi yang digunakan untuk metode perawatan pengecatan, maka perkiraan biaya perawatan dengan menggunakan *wrapping*, maka perkiraan biaya yang dibutuhkan adalah seperti pada tabel 4.10. Perhitungan tersebut dilakukan mengacu pada umur perlindungan selama 0,74 tahun ( $\pm 9$  bulan). Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Perkiraan biaya perawatan untuk *wrapping*

| Periode<br>(per 9 bulan) | Biaya awal          | Laju<br>inflasi | Biaya operasi       | Biaya total         |
|--------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 0                        | Rp. 10.219.225,-    | 0%              | Rp. 0,-             | Rp. 10.219.225,-    |
| 1                        | Rp. 10.219.225,-    | 12%             | Rp. 1.226.307,-     | Rp. 11.445.532,-    |
| 2                        | Rp. 11.445.532,-    | 12%             | Rp. 1.373.463,84,-  | Rp. 12.818.995,84,- |
| 3                        | Rp. 12.818995,84,-  | 12%             | Rp. 1.538.279.501,- | Rp. 14.357.275,34,- |
| 4                        | Rp. 14.094.355,12,- | 12%             | Rp. 1.691.322.614,- | Rp. 15.785.677,73,- |
| 5                        | Rp. 15.394.240,54,- | 12%             | Rp. 1.847.308,865,- | Rp. 17.241.549,4,-  |
| 6                        | Rp. 16.694.125,96,- | 12%             | Rp. 2.003.295,115,- | Rp. 18.697.421,08,- |
| 7                        | Rp. 17.994.011,38,- | 12%             | Rp. 2.159.281,366,- | Rp. 20.153.292,75,- |
| 8                        | Rp. 19.293.896,8,-  | 12%             | Rp. 2.315.267,616,- | Rp. 21.609.164,42,- |
| 9                        | Rp. 20.593.782,22,- | 12%             | Rp. 2.471.253,866,- | Rp. 23.065.036,09,- |
| 10                       | Rp. 21.893.667,64,- | 12%             | Rp. 2.627.240,117,- | Rp. 24.520.907,76,- |
| 11                       | Rp. 23.193.553,06,- | 12%             | Rp. 2.783.226,367,- | Rp. 25.976.779,43,- |
| 12                       | Rp. 24.493.438,48,- | 12%             | Rp. 2.939.212,618,- | Rp. 27.432.651,1,-  |
| 13                       | Rp. 25.793.323,9,-  | 12%             | Rp. 3.095.198,868,- | Rp. 28.888.522,77,- |
| 14                       | Rp. 27.093.209,32,- | 12%             | Rp. 3.251.185,118,- | Rp. 30.344.394,44,- |
| 15                       | Rp. 28.393.094,74,- | 12%             | Rp. 3.407.171,369,- | Rp. 31.800.266,11,- |
| 16                       | Rp. 29.692.980,16,- | 12%             | Rp. 3.563.157,619,- | Rp. 33.256.137,78,- |
| 17                       | Rp. 30.992.865,58,- | 12%             | Rp. 3.719.143,87,-  | Rp. 34.712.009,45,- |
| 18                       | Rp. 32.292.751,-    | 12%             | Rp. 3.875.130,12,-  | Rp. 36.167.881,12,- |
| 19                       | Rp. 33.592.636,42,- | 12%             | Rp. 4.031.116,37,-  | Rp. 37.623.752,79,- |
| 20                       | Rp. 34.892.521,84,- | 12%             | Rp. 4.187.102,621,- | Rp. 39.079.624,46,- |
| 21                       | Rp. 36.192.407,26,- | 12%             | Rp. 4.343.088,871,- | Rp. 40.535.496,13,- |
| 22                       | Rp. 37.492.292,68,- | 12%             | Rp. 4.499.075,122,- | Rp. 41.991.367,8,-  |
| 23                       | Rp. 38.792.178,1,-  | 12%             | Rp. 4.655.061,372,- | Rp. 43.447.239,47,- |
| 24                       | Rp. 40.092.063,52,- | 12%             | Rp. 4.811.047,622,- | Rp. 44.903.111,14,- |
| 25                       | Rp. 41.391.948,94,- | 12%             | Rp. 4.967.033,873,- | Rp. 46.358.982,81,- |
|                          |                     | Σ               | Rp. 77.379.971,-    | Rp. 732.432.294,2,- |



Dari hasil seperti yang tertera pada tabel di atas, maka dapat dibuat tabel perbandingan untuk biaya operasi dan biaya total yang diperlukan untuk operasional selama jangka waktu 20 tahun.

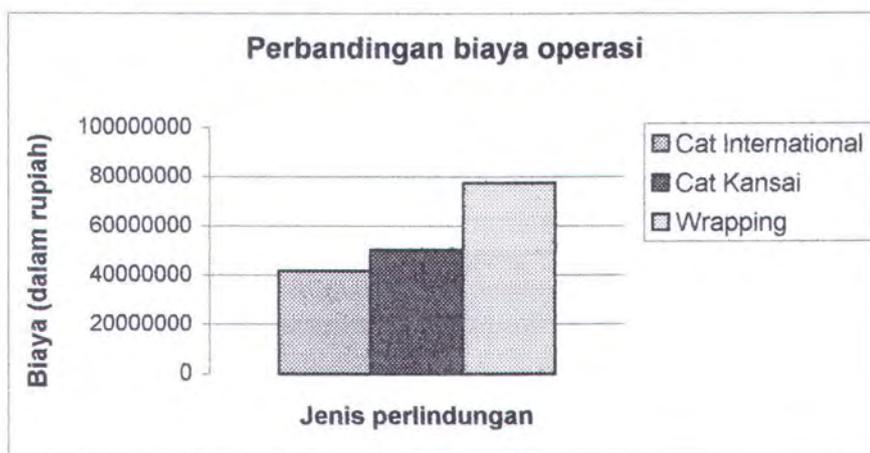
**Tabel 4.11** Perbandingan biaya operasi

| Cat tipe 1      | Cat tipe 2      | Wrapping         |
|-----------------|-----------------|------------------|
| Rp.41.857.285,- | Rp.46.966.350,- | Rp. 77.379.971,- |

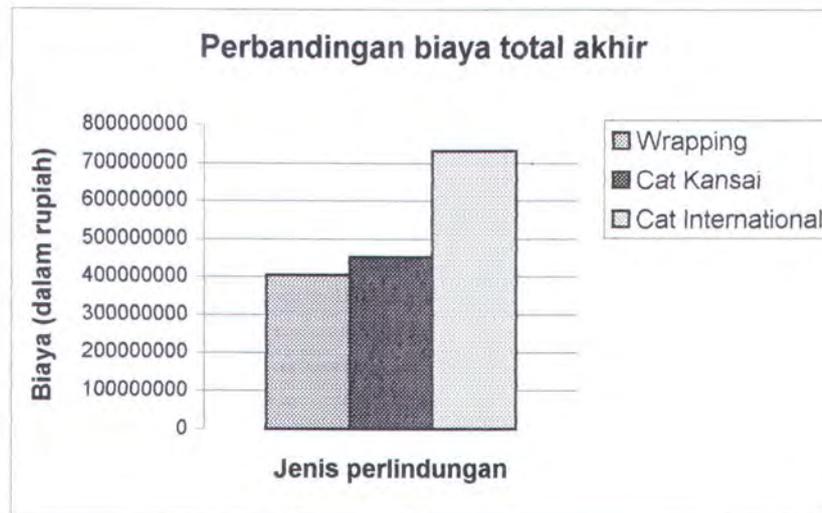
**Tabel 4.12** Perbandingan biaya total akhir

| Cat tipe 1       | Cat tipe 2       | Wrapping            |
|------------------|------------------|---------------------|
| Rp.404.286.846,3 | Rp.482.585.565,- | Rp. 732.432.294,2,- |

Berdasarkan tabel perbandingan di atas, maka terlihat bahwa dengan perhitungan ekonomi biasa, **metode perlindungan 1 dengan menggunakan cat International** memiliki biaya operasional dan biaya total yang lebih rendah jika dibandingkan dengan metode pengecatan dengan cat Kansai dan pembalutan.



**Gambar 4.6** Diagram perbandingan biaya operasi dari ketiga metode perlindungan



**Gambar 4.7** Diagram perbandingan biaya total akhir

Berdasarkan perbandingan dengan menggunakan analisa ekonomi langsung seperti terlihat di atas, maka terlihat bahwa metode pengecatan dengan cat International merupakan metode yang lebih optimal daripada metode pengecatan dengan cat Kansai atau dengan pembalutan.

#### **4.10 Penentuan metode yang optimal**

Untuk menentukan metode perlindungan yang optimal, maka digunakan *scouring* untuk masing-masing kriteria yang akan dipergunakan sebagai acuan pengambilan keputusan. Adapun dasar penentuan bobot *scouring* adalah seimbangannya penganalisaan terhadap aspek teknis dan aspek ekonomis untuk mendapatkan metode yang optimal. Besarnya bobot *scouring* didasarkan pada pendekatan subyektif sesuai dengan asumsi penulis untuk mendapatkan hasil yang mendekati. Dipilihnya bobot 30% ( untuk waktu jenuh) dan 35 % (untuk biaya operasi serta biaya akhir) adalah dengan pertimbangan bahwa pelabuhan Tanjungwangi



merupakan pelabuhan kecil, sehingga untuk criteria ekonomi mendapatkan bobot sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan bobot untuk waktu jenuh.

Adapun untuk penentuan metode perlindungan yang paling optimum akan menggunakan teori kriteria majemuk *weighted utility* (Rosyid, 1999). Pada persoalan yang akan ditinjau memiliki lebih dari satu kriteria untuk dipertimbangkan sebelum mengambil keputusan. Untuk menyelesaikannya, ditentukan lebih dulu kriteria terpenting di antara kriteria-kriteria tersebut, dan kriteria itu akan menjadi kriteria keputusan. Misalnya, pengambil keputusan mempertimbangkan kriteria keputusan “Minimumkan biaya dan maksimumkan waktu”

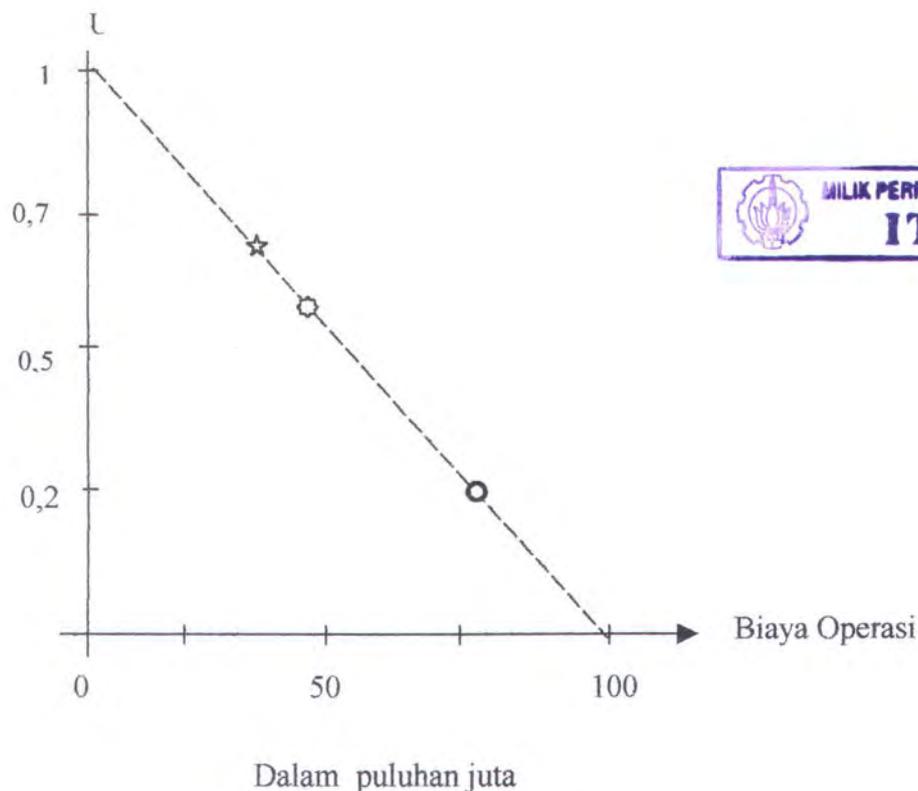
Pernyataan tersebut disusun dengan menghubungkan satu kriteria dengan kriteria lainnya dengan penghubung logis DAN. Struktur tersebut menjadi tidak dapat dikompromi, dan akan mempersempit jumlah pilihan yang dapat diterima. Jika dihubungkan dengan kriteria ATAU, struktur ini menjadi menjadi struktur yang kompromistik, karena pilihan dapat diterima apabila hanya salah satu kriteria tersebut tercapai. Tabel kriteria pada persoalan dengan kriteria majemuk seperti pada tabel 4.13 untuk persoalan memilih metode terbaik dengan 3 kriteria dalam kondisi yang pasti.



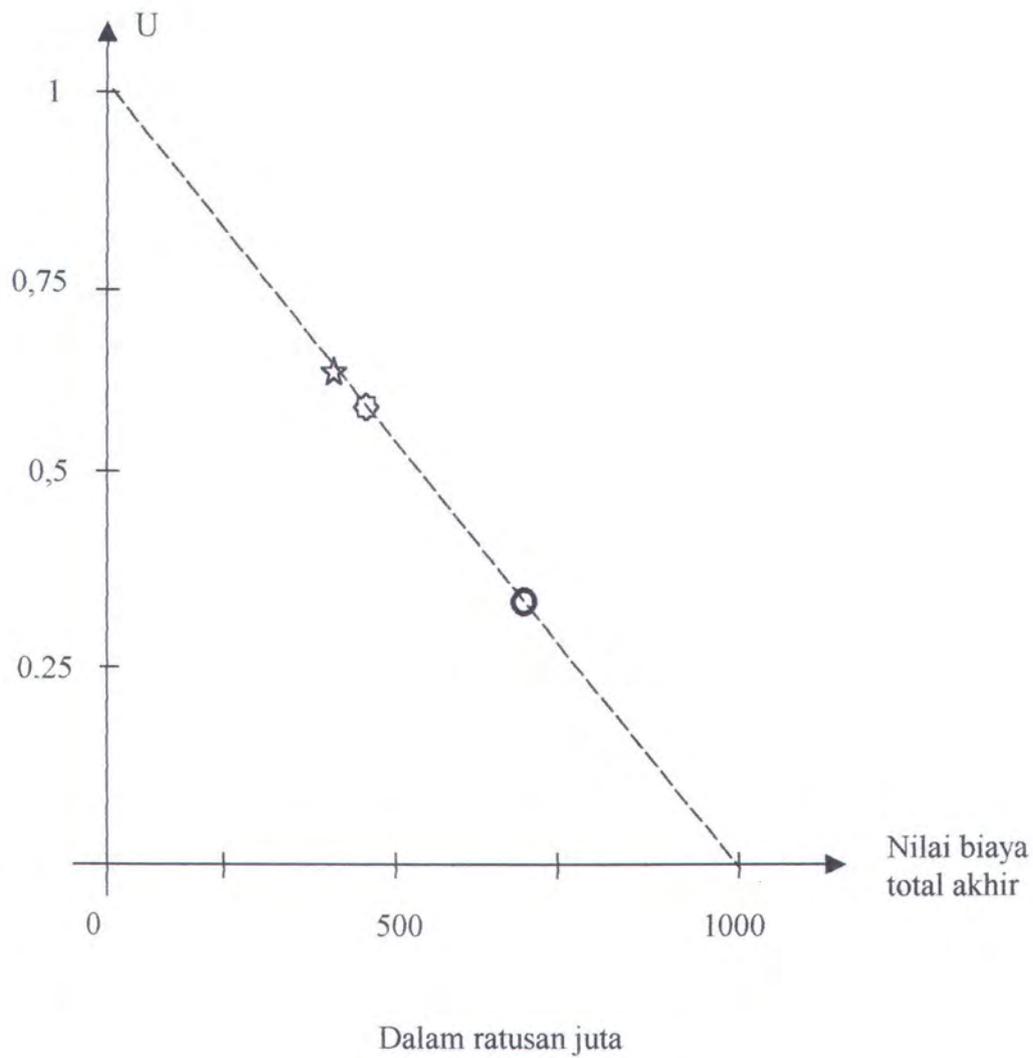
Tabel 4.13 Tabel keputusan dengan kriteria majemuk

| Kriteria          | Bobot | Metode perlindungan |                   |                    |
|-------------------|-------|---------------------|-------------------|--------------------|
|                   |       | Metode A            | Metode B          | Metode C           |
| Biaya Operasi     | 35%   | Rp.41.857.285,-     | Rp.46.966.350,-   | Rp. 77.379.971,-   |
| Biaya total akhir | 35%   | Rp. 404.286.846,-   | Rp. 451.758.825,- | Rp.732.432.294,2,- |
| Waktu jenuh       | 30%   | 15 tahun            | 10 tahun          | 5 tahun            |

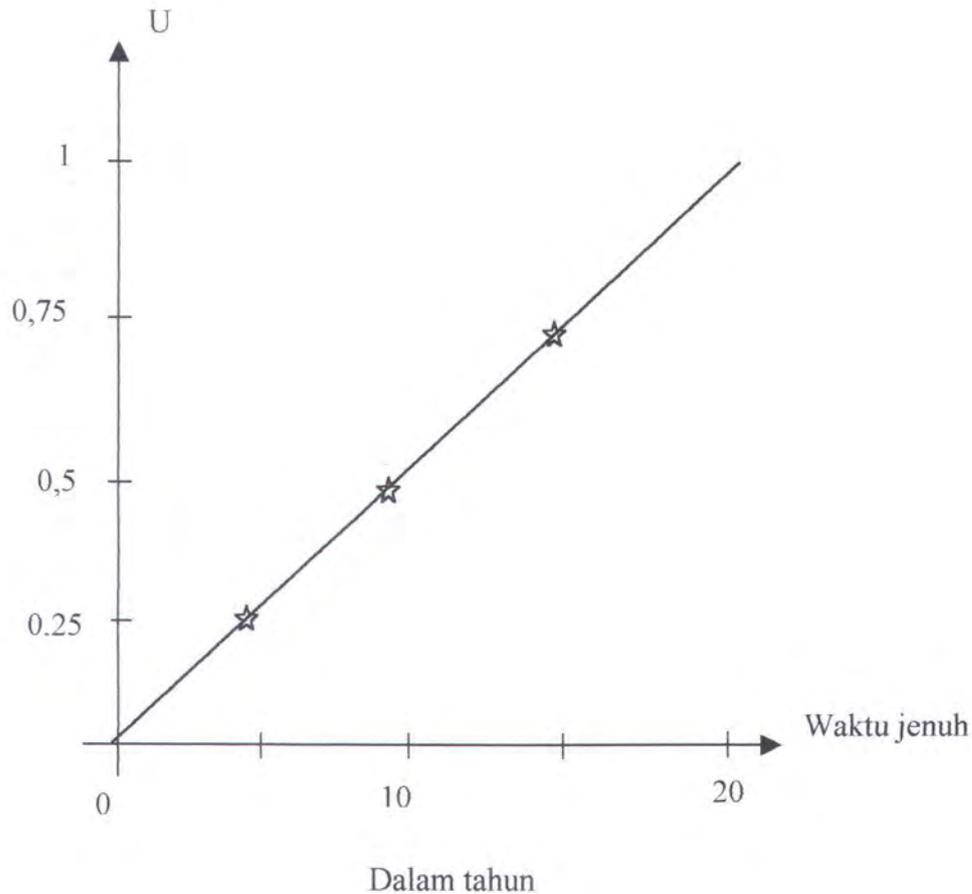
Hasil yang didapat pada setiap pilihan untuk tabel di atas diperoleh dengan menjumlahkan *payoff* untuk pilihan-pilihan tersebut, yang sebelumnya telah diubah ke dalam besaran-besaran non-dimensional melalui fungsi utilitas yang sesuai. Fungsi utilitas tersebut dapat digambarkan pada grafik berikut :



Gambar 4.8 Grafik fungsi utilitas biaya operasi



**Gambar 4.9** Grafik fungsi utilitas nilai biaya total akhir



**Gambar 4.10** Grafik fungsi utilitas waktu jenuh

Fungsi utilitas tersebut digunakan untuk mengubah besaran kualitatif menjadi besaran kuantitatif. Hasil total setiap pilihan dapat diperoleh dengan salah satu dari dua cara berikut :

1. menjumlahkan secara langsung pencapaian setiap kriteria
2. jika kriteria terhubung dengan hubungan logis DAN, maka utilitas total diperoleh dengan mengalikan masing-masing utilitas tiap kriteria, atau utilitas total adalah utilitas terkecil. Dan apabila terhubung dengan hubungan logis ATAU, maka utilitas total diperoleh dengan



menjumlahkan utilitas masing-masing kriteria dan selanjutnya membaginya dengan jumlah kriteria. Tindakan terbaik adalah tindakan dengan utilitas total terbesar.

**Tabel 4.14** Tabel keputusan dengan kriteria majemuk *Weighted utility*

| Kriteria                | Bobot | Metode perlindungan        |                            |                            |
|-------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                         |       | metode A                   | Metode B                   | Metode C                   |
| Biaya Operasi           | 35%   | $0.62 \times 35\% = 0.217$ | $0.55 \times 35\% = 0.193$ | $0.2 \times 35\% = 0.07$   |
| Nilai biaya total akhir | 35%   | $0.61 \times 35\% = 0.214$ | $0.54 \times 35\% = 0.189$ | $0.33 \times 35\% = 0.116$ |
| waktu jenuh             | 30%   | $0.75 \times 30\% = 0.225$ | $0.5 \times 30\% = 0.15$   | $0.25 \times 30\% = 0.075$ |
| Total weighted utility  |       | (terbaik) 0.656            | 0.532                      | 0.261                      |
| Hubungan dan            |       | (terbaik) 0.217            | 0.193                      | 0.07                       |

Berdasarkan hasil yang ada pada tabel di atas, dimana untuk hubungan DAN yang mewakili pengambilan keputusan dengan pertimbangan semua kriteria terpenuhi, tidak hanya salah satu atau dua dari banyaknya kriteria yang ada, maka terlihat bahwa metode perlindungan korosi dengan menggunakan cat tipe 1 adalah metode yang paling optimal dari segi teknis dan ekonomis.



**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**



## BAB V

### KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil pengujian yang telah dilakukan pada beberapa spesimen uji yang mendapatkan perlakuan perlindungan korosi yang berbeda dan setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan beberapa kesimpulan yang menjawab perumusan masalah dalam tugas akhir ini. Adapun kesimpulan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Faktor lingkungan utama yang memicu laju korosi di daerah PT. (Persero) Pelindo III Cabang Tanjungwangi - Banyuwangi adalah kondisi pasang surut. Dimana terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dalam 24 jam. Dengan keadaan pasang surut yang seperti itu, mengakibatkan siklus basah kering mempunyai frekuensi lebih tinggi. Akibatnya, laju korosi yang terjadi adalah besar. Selain itu salinitas air laut sebesar 31,12 ‰ dan kadar pb sebesar 0,02 mg/l serta kandungan Fe sebesar 0,27 mg/lapisan turut menentukan tingginya laju korosi di daerah tersebut.
2. Metode perlindungan korosi pada pipa di daerah tersebut yang efektif dan optimal dari segi teknis dan ekonomi adalah metode pengecatan dengan persiapan permukaan yang tepat, yaitu menggunakan pengikisan dengan *blasting* (penyemprotan). Dengan cara ini, didapatkan hasil permukaan yang lebih bersih. Terbebas dari sisa karat yang terjadi, bersih dari kotoran, minyak, gemuk dan lain-lainnya, sehingga lapisan cat akan menempel dengan



sempurna pada permukaan pipa . Adapun mekanisme perawatan terhadap cat adalah dengan melakukan pengecatan ulang setebal  $\frac{1}{2}$  dari ketebalan awal setiap tahun untuk menjaga kemampuan melindungi pada lapisan cat sampai waktu jenuh dari cat itu sendiri. Selanjutnya lapisan cat tersebut dikikis habis dan dilakukan pengecatan ulang secara total.

Untuk analisa ekonomi yang dilakukan terdapat konsistensi hasil antara perhitungan ekonomi biasa secara langsung dengan menggunakan perhitungan dengan metode optimasi. Sehingga hasil yang didapat adalah metode pengecatan dengan cat International merupakan metode perlindungan yang optimal

## **SARAN**

Untuk tugas akhir selanjutnya, dapat digunakan alternatif kemungkinan adanya korosi yang diakibatkan oleh adanya bakteri dan logam berat dalam air laut

## DAFTAR PUSTAKA

- Adler, Hans, 1983, **Evaluasi Ekonomi Proyek-proyek Pengangkutan**, diterjemahkan Paul Sitohang, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Baum, Warren & Tolbert, Stokes, 1988, **Investasi Dalam Pembangunan**, penerjemah Bassilus B, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta. Indonesia.
- Beattie, Bruce & Taylor, R, C, **Ekonomi Produksi**, 1985, Penerjemah Josohardjono, Soeratno, Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Chandler. Kenneth, A, 1984, **Marine and Offshore Corrosion**, Butterworth.
- Courtaulds. 1990, **Surface Preparation Handbook of Akzonobel Coatings**, Houston.
- Courtaulds. 1990, **Coating Handbook of Akzonobel Coatings**, Houston.
- Fontana. Mars, Guy, 1967, **Corrosion Engineering**, McGraw – Hill book Company, Singapore.
- Nurlaini, Ir, 1980, **Korosi dan penanggulangannya**, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Pusat Riset Dirgantara, Bandung, Indonesia.

- Rosyid, Daniel, 1999, **Optimasi – Teknik Pengambilan Keputusan Secara Kuantitatif**, Program Pendidikan Tinggi Teknik (P2T2)  
Program sStudi Teknik Kelautan, ITS, Surabaya
- Shreir, LL , Jarman, R and Burtstein, G, 1963, **Corrosion**, Volume 2,  
Butterworth – Heinemann.
- Widharto, Sri, 1999, **Karat Dan Pencegahannya**, Pradnya Paramita,  
Jakarta, Indonesia.



LAMPIRAN



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA**

Jl. Veteran Telp. (0341) 563383, 551611 - 551615 Pes. 168 Fax. (0341) 563383 Malang 65145  
 e-mail : kim-unibraw@malang.wasantara.net.id

**LAPORAN HASIL ANALISA**  
 NO. 245/J 10.1.28/P.G/01

ASAL SAMPEL : TITIN LUTFIANAH  
 NRP : 4397 100 018  
 SAMPEL : AIR LAUT BANYUWANGI  
 JUMLAH : SECUKUPNYA

**HASIL ANALISA**

| Parameter    | Kode Contoh<br>Air Laut | Metode/Alat |
|--------------|-------------------------|-------------|
| pH           | 7,97                    | pH meter    |
| Salinitas, % | 31,12                   | Titrimetri  |
| Fe, mg/l     | Nihil                   | AAS         |
| Pb, mg/l     | Nihil                   | "           |
| Cd, mg/l     | 0,02                    | "           |
| Mn, mg/l     | Nihil                   | "           |
| Zn, mg/l     | Nihil                   | "           |
| Cu, mg/l     | Nihil                   | "           |
| Co, mg/l     | 0,14                    | "           |

eterangan : hasil analisa tersebut diatas berdasarkan sample yang kami terima

Jurusan Kimia

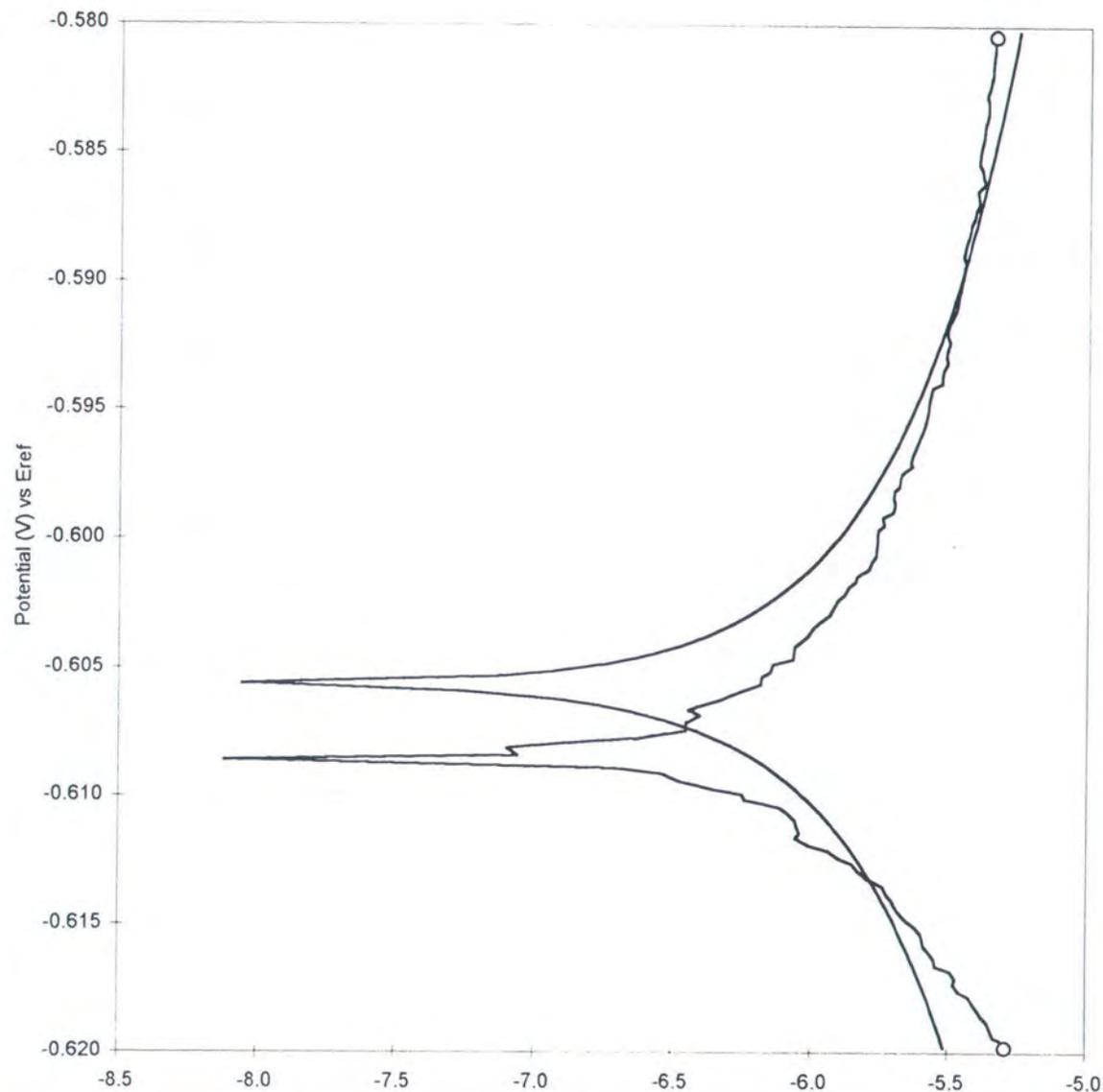


Lezatun Hasanah, M.Si  
 NIP. 131 616 320

Malang, 2 Oktober 2001  
 An. Koordinator Analisa,

Barlah Rumhayati, M.Si  
 NIP 132 257 761

Polarization Resistance  
'Acuan;Sample 1.dta' 9/30/2001-16:48:22



Pstat: MY01  
 Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
 EOC: -0.59849 V  
 Area: 591.04 cm2  
 Electrode: 7.87 gm/cm3, 27.92 g/Equiv  
 Conditioning: OFF  
 Delay: OFF  
 IR Comp.: OFF

NOTES

Sample 1  
 Pipa Acuan  
 Pengujian 2

POLRES RESULTS

Region = -619.8 mV to -580.4 mV  
 BetaC = 1.1500 V/Decade  
 BetaA = 1.1500 V/Decade  
 Ecorr = -605.6 mV  
 Icorr = 5.415E-05 A/cm2  
 Rp = 4.611E+03 Ohm cm2  
 CorrRate = 0.629 mm/yr



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fax 5928105, 5994251 Psw. 1104-1105

LEMBAR PRESENSI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : TITIN LUTFIANAH  
N R P : 4397 100 018  
Dosen Pembimbing I : YEYES MULYADI, ST  
N I P :  
Tanggal Mulai : .....  
Tanggal Selesai : .....  
Judul Tugas Akhir :

“ Optimalisasi Metode Perlindungan Korosi Pada  
Pipa Air Tawar Di PT.(PERSERO) Pelindo III  
Cabang Tanjungwangi – Banyuwangi ”

| NO  | TANGGAL  | MATERI ASISTENSI                         | PARAF |
|-----|----------|--|-------|
| 1.  | 12/11/01 | BAB I, II, III<br>Perbaikan BAB II & III |       |
| 2.  |          |  |       |
| 3.  | 15/1/02  | Bab 4.                                   |       |
| 4.  | 21/1/02  | bab 4                                    |       |
| 5.  | 23/1/02  | bab 4.                                   |       |
| 6.  | 24/1/02  | bab 4                                    |       |
| 7.  |          |  |       |
| 8.  |          |  |       |
| 9.  |          |  |       |
| 10. |          |  |       |



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fax 5928105, 5994251 Psw. 1104-1105

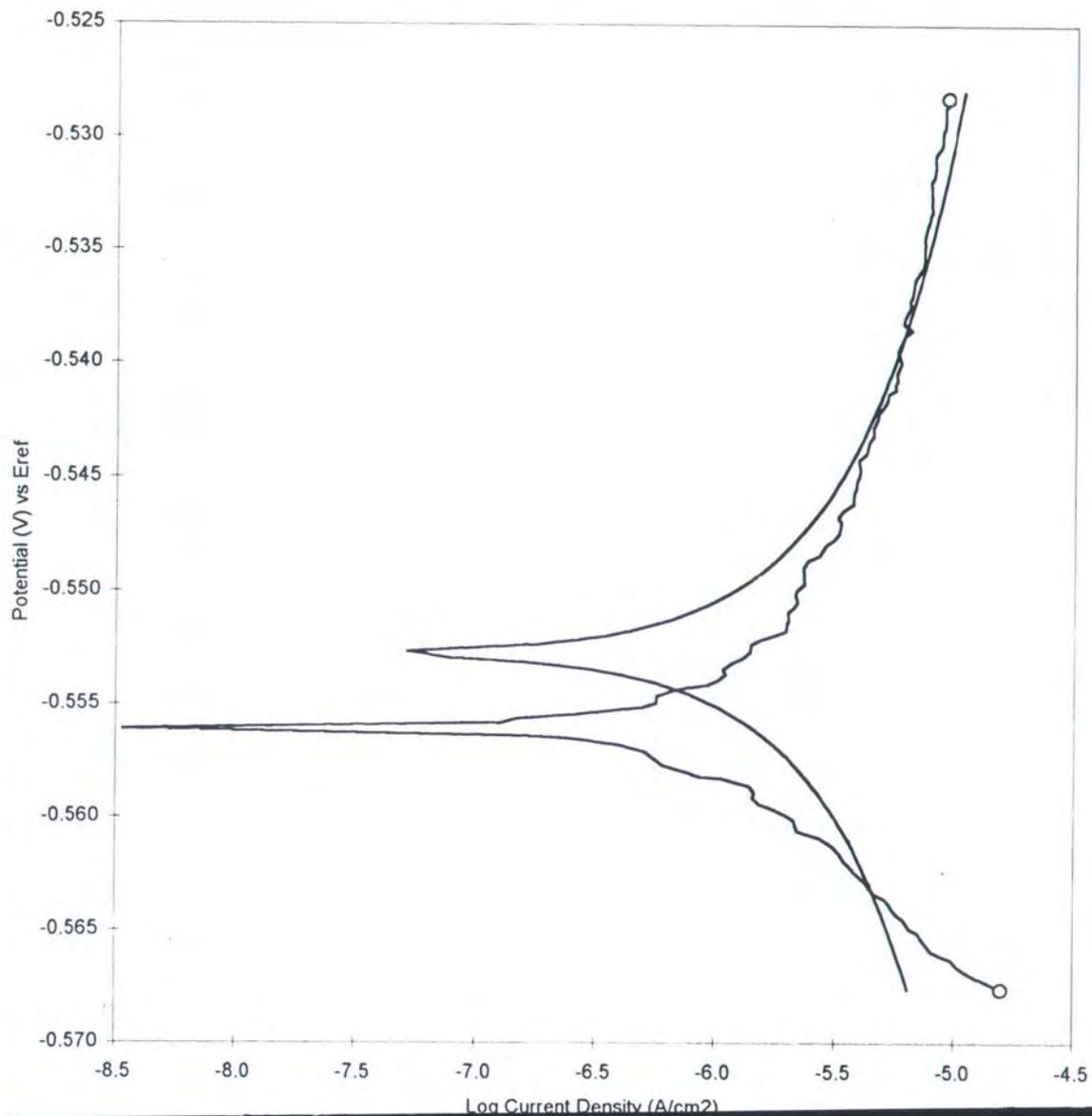
LEMBAR PRESENSI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : TITIN LUTFIANAH  
N R P : 4397 100 018  
Dosen Pembimbing I : Ir. HASAN IKHWANI, MSc  
N I P : 132 048 145  
Tanggal Mulai : .....  
Tanggal Selesai : .....  
Judul Tugas Akhir :

“ Optimalisasi Metode Perlindungan Korosi Pada  
Pipa Air Tawar Di PT.(PERSERO) Pelindo III  
Cabang Tanjungwangi – Banyuwangi “

| NO  | TANGGAL     | MATERI ASISTENSI       | PARAF |
|-----|-------------|------------------------|-------|
| 1.  | 8 Nov. 2001 | Bab I                  |       |
| 2.  | 8 Nov. 2001 | Bab II                 |       |
| 3.  | 13 Nov 2001 | Bab III                |       |
| 4.  | 11 Des 2001 | grafik hasil percobaan |       |
| 5.  | 10 Jan 2002 | Bab IV                 |       |
| 6.  | 17 Jan 2002 | bab IV                 |       |
| 7.  | 24 Jan 2002 | bab IV                 |       |
| 8.  |             |                        |       |
| 9.  |             |                        |       |
| 10. |             |                        |       |

Polarization Resistance  
'Acuan;Sample 2.dta' 9/30/2001-16:23:2



Pstat: MY01  
 Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
 EOC: -0.546222 V  
 Area: 591.04 cm2  
 Electrode: 7.87 gm/cm3, 27.92 g/Equiv  
 Conditioning: OFF  
 Delay: OFF  
 IR Comp.: OFF

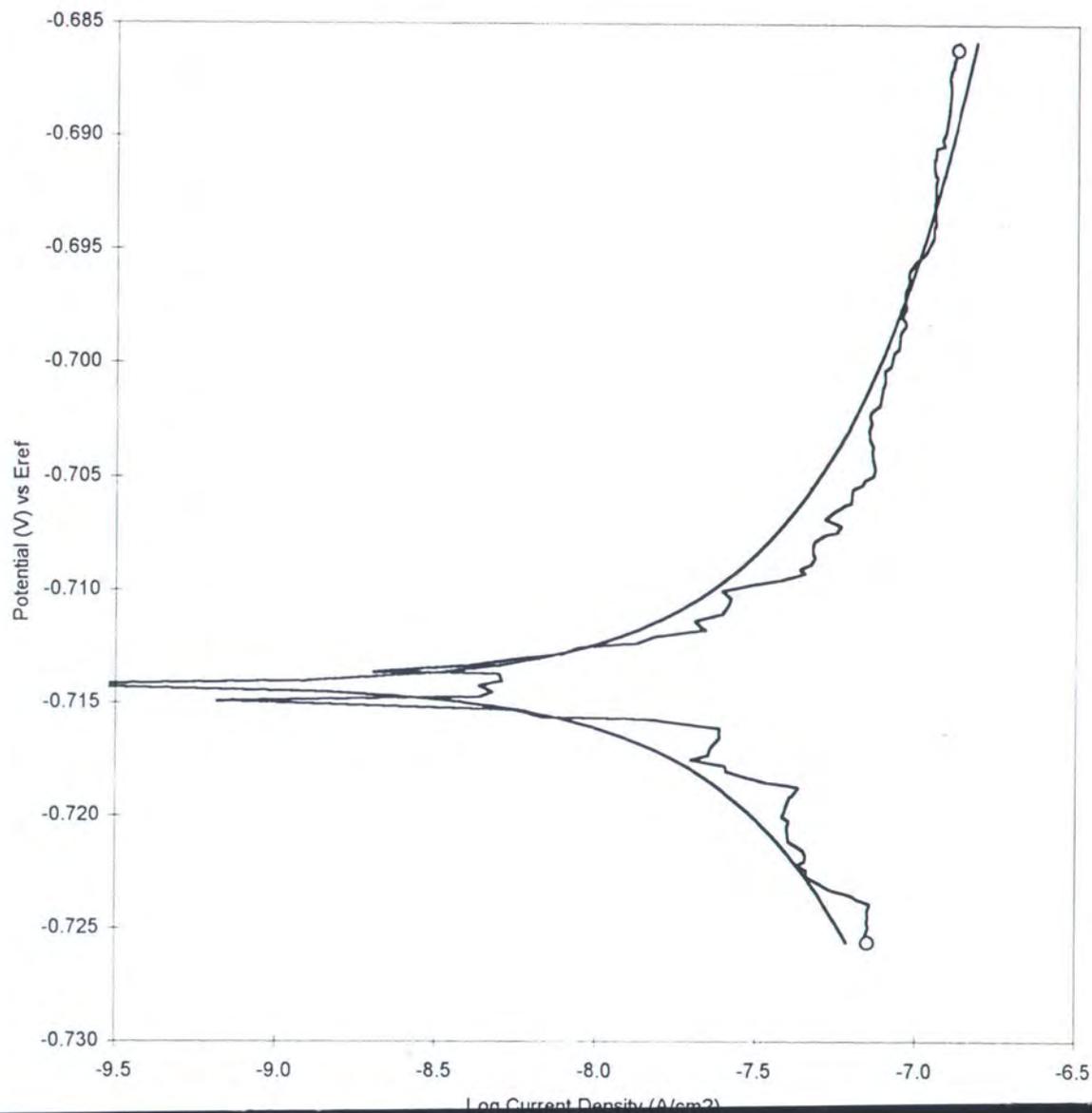
NOTES

Sample 2  
 Pipa acuan  
 Pengujian 2

POLRES RESULTS

Region = -567.6 mV to -528.2 mV  
 BetaC = 675.0 mV/Decade  
 BetaA = 675.0 mV/Decade  
 Ecorr = -552.7 mV  
 Icorr = 6.315E-05 A/cm2  
 Rp = 2.321E+03 Ohm cm2  
 CorrRate = 0.733 mm/yr

Polarization Resistance  
'Acuan;Sample 3.dta' 9/30/2001-18:41:36



Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.704147 V  
Area: 591.04 cm<sup>2</sup>  
Electrode: 7.87 gm/cm<sup>3</sup>, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

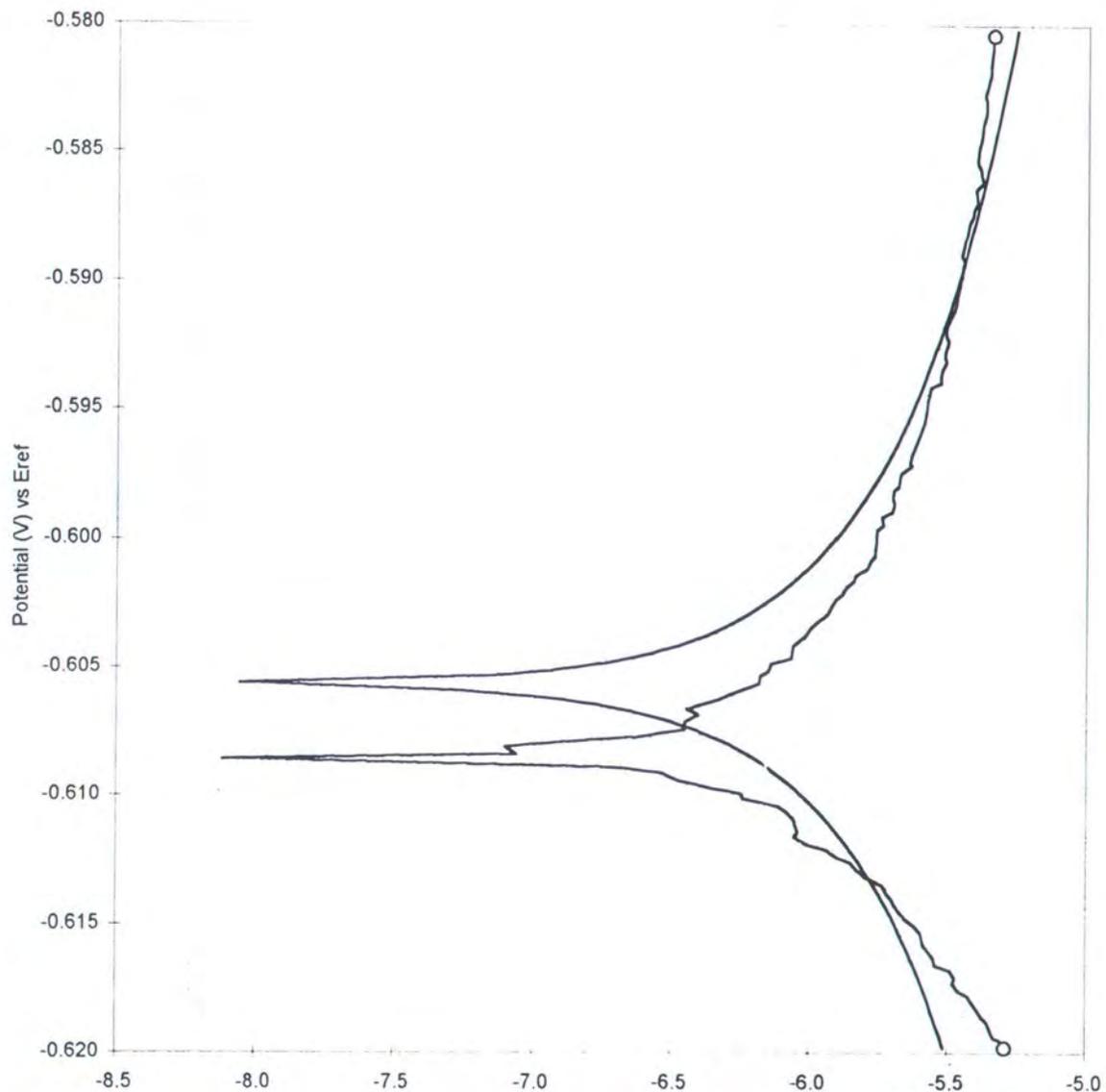
NOTES

Sample 3  
Pipa Acuan  
Pengujian 2

POLRES RESULTS

Region = -725.6 mV to -686.1 mV  
BetaC = 55.1250 V/Decade  
BetaA = 55.1250 V/Decade  
Ecorr = -714.2 mV  
Icorr = 6.403E-05 A/cm<sup>2</sup>  
Rp = 1.869E+05 Ohm cm<sup>2</sup>  
CorrRate = 0.743 mm/yr

Polarization Resistance  
'Cat Internasional.dta' 9/30/2001-16:48:22

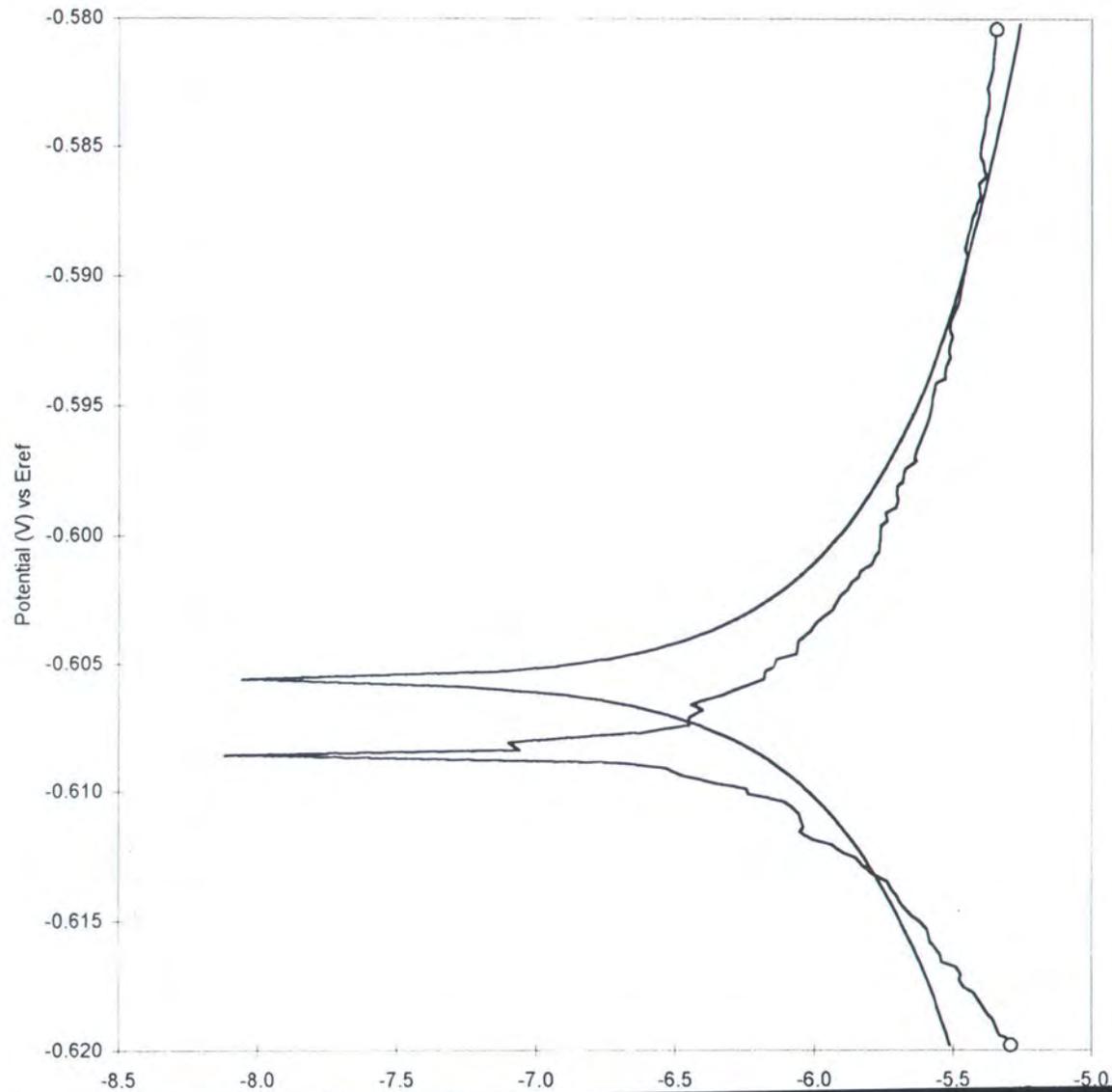


Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.59849 V  
Area: 591.04 cm<sup>2</sup>  
Electrode: 7.87 gm/cm<sup>3</sup>, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

NOTES  
Sample 1  
Penguian 2

POLRES RESULTS  
Region = -619.8 mV to -580.4 mV  
BetaC = 465.0 mV/Decade  
BetaA = 465.0 mV/Decade  
Ecorr = -605.6 mV  
Icorr = 2.190E-05 A/cm<sup>2</sup>  
Rp = 4.611E+03 Ohm cm<sup>2</sup>  
CorrRate = 0.254 mm/yr

Polarization Resistance  
'Cat Internasional.dta' 9/30/2001-16:48:22

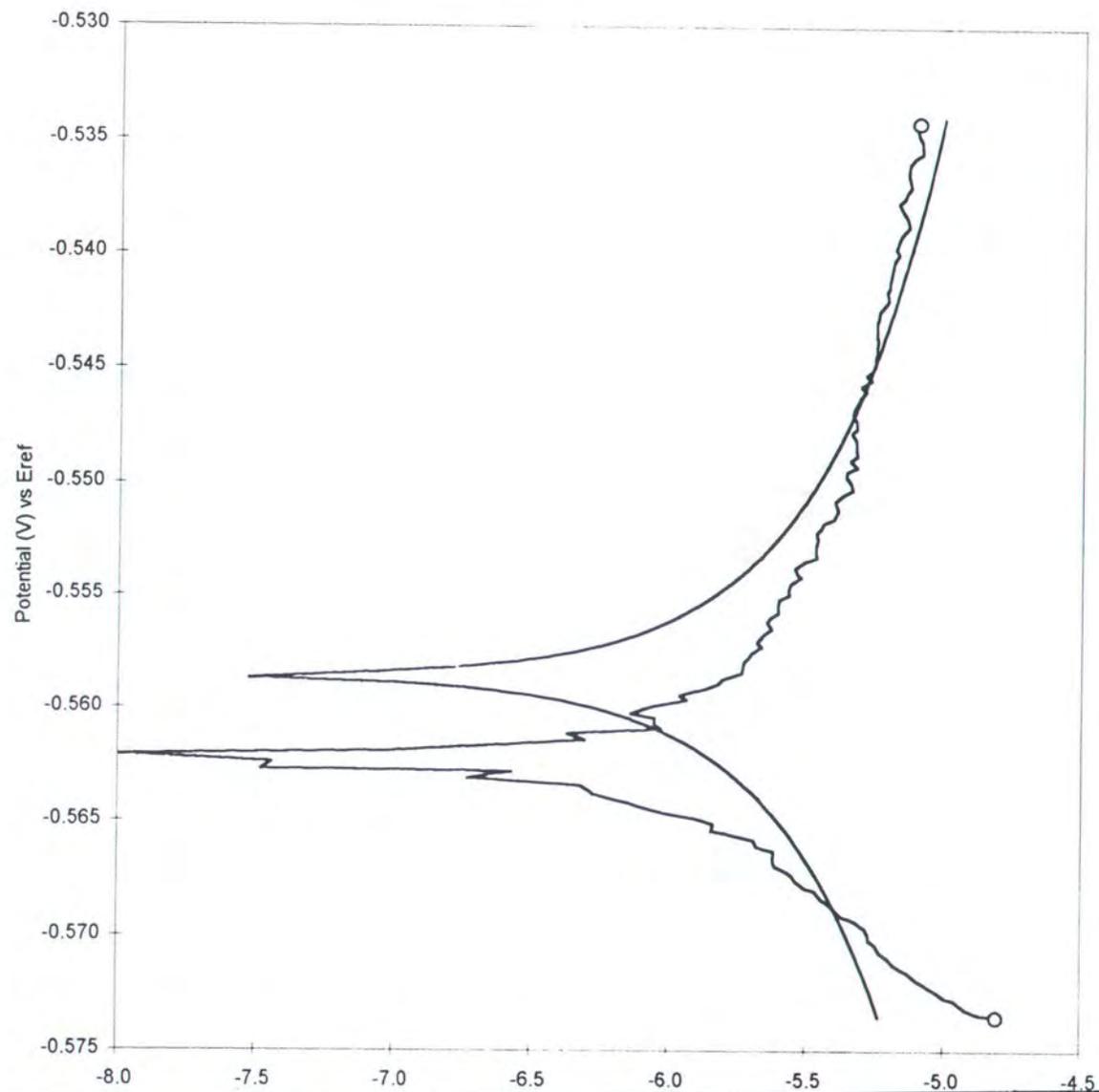


Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.59849 V  
Area: 591.04 cm<sup>2</sup>  
Electrode: 7.87 gm/cm<sup>3</sup>, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

NOTES  
Sample 2  
Pengujian 2

POLRES RESULTS  
Region = -619.8 mV to -580.4 mV  
BetaC = 441.0 mV/Decade  
BetaA = 441.0 mV/Decade  
Ecorr = -605.6 mV  
Icorr = 2.077E-05 A/cm<sup>2</sup>  
Rp = 4.611E+03 Ohm cm<sup>2</sup>  
CorrRate = 0.241 mm/yr

Polarization Resistance  
'Cat Internasional;sample3.dta' 9/30/2001-16:30:37

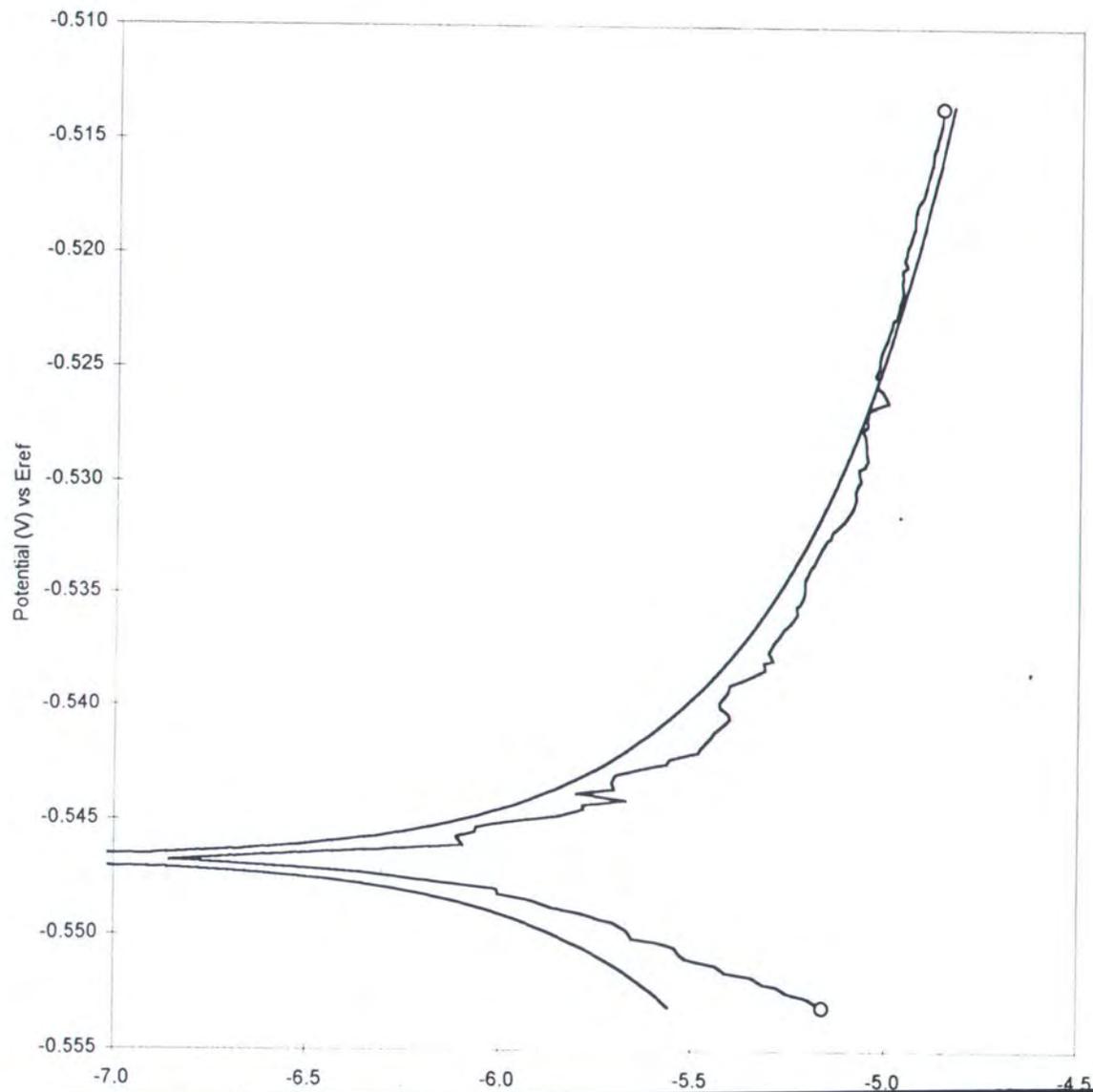


Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.552262 V  
Area: 591.04 cm<sup>2</sup>  
Electrode: 7.87 gm/cm<sup>3</sup>, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

NOTES  
Sample 3  
Cat Internasional  
Pengujian 2

POLRES RESULTS  
Region = -573.5 mV to -534.2 mV  
BetaC = 190.0 mV/Decade  
BetaA = 190.0 mV/Decade  
Ecorr = -558.6 mV  
Icorr = 1.625E-05 A/cm<sup>2</sup>  
Rp = 2.539E+03 Ohm cm<sup>2</sup>  
CorrRate = 0.189 mm/yr

Polarization Resistance  
'Cat Kansai.dta' 9/30/2001-16:39:11

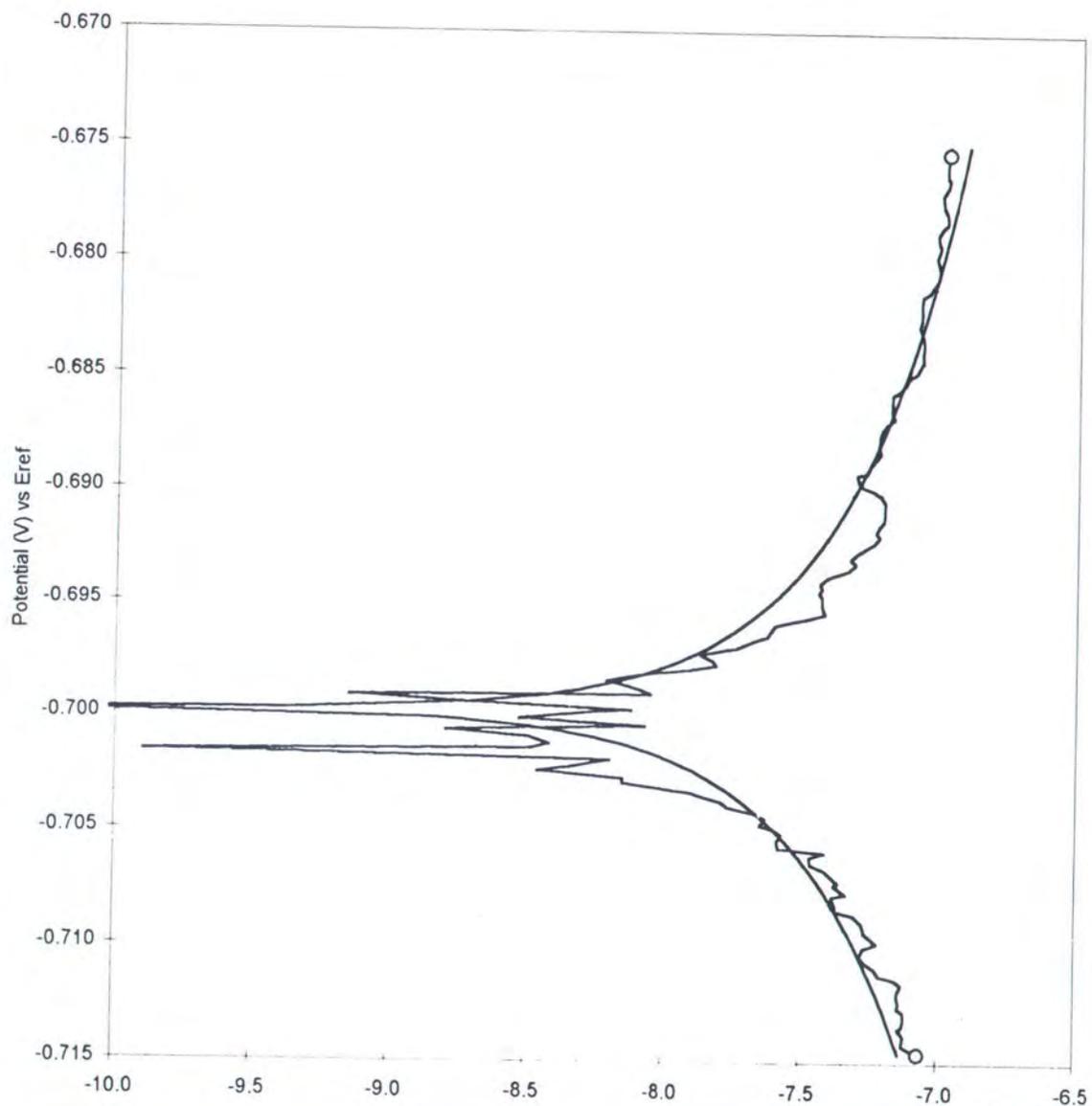


Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.531631 V  
Area: 591.04 cm<sup>2</sup>  
Electrode: 7.87 gm/cm<sup>3</sup>, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

NOTES  
Sample 1  
Cat Kansai  
Penguian 2

POLRES RESULTS  
Region = -553.1 mV to -513.5 mV  
BetaC = 310.0 mV/Decade  
BetaA = 310.0 mV/Decade  
Ecorr = -546.8 mV  
Icorr = 2.951E-05 A/cm<sup>2</sup>  
Rp = 2.281E+03 Ohm cm<sup>2</sup>  
CorrRate = 0.343 mm/yr

Polarization Resistance  
'Cat Kansai;sample2.dta' 9/30/2001-18:34:19



Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.693284 V  
Area: 591.04 cm<sup>2</sup>  
Electrode: 7.87 gm/cm<sup>3</sup>, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

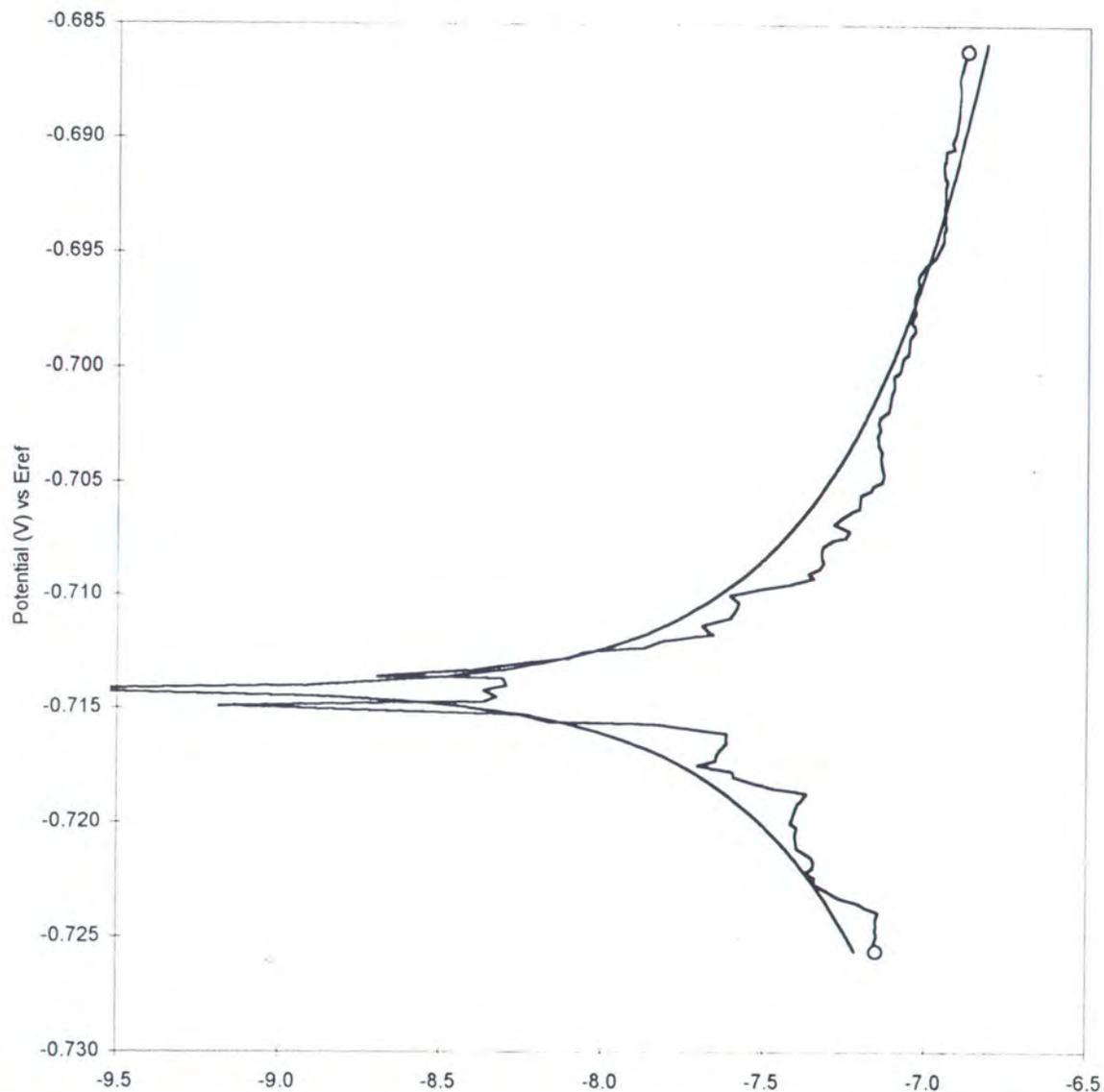
NOTES

Sample 2  
Cat Kansai  
Pengujian 2

POLRES RESULTS

Region = -714.6 mV to -675.2 mV  
BetaC = 25.6350 V/Decade  
BetaA = 25.6350 V/Decade  
Ecorr = -699.8 mV  
Icorr = 2.743E-05 A/cm<sup>2</sup>  
Rp = 2.030E+05 Ohm cm<sup>2</sup>  
CorrRate = 0.318 mm/yr

Polarization Resistance  
'Cat kansai;sample3.dta' 9/30/2001-18:41:36



Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.704147 V  
Area: 591.04 cm2  
Electrode: 7.87 gm/cm3, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

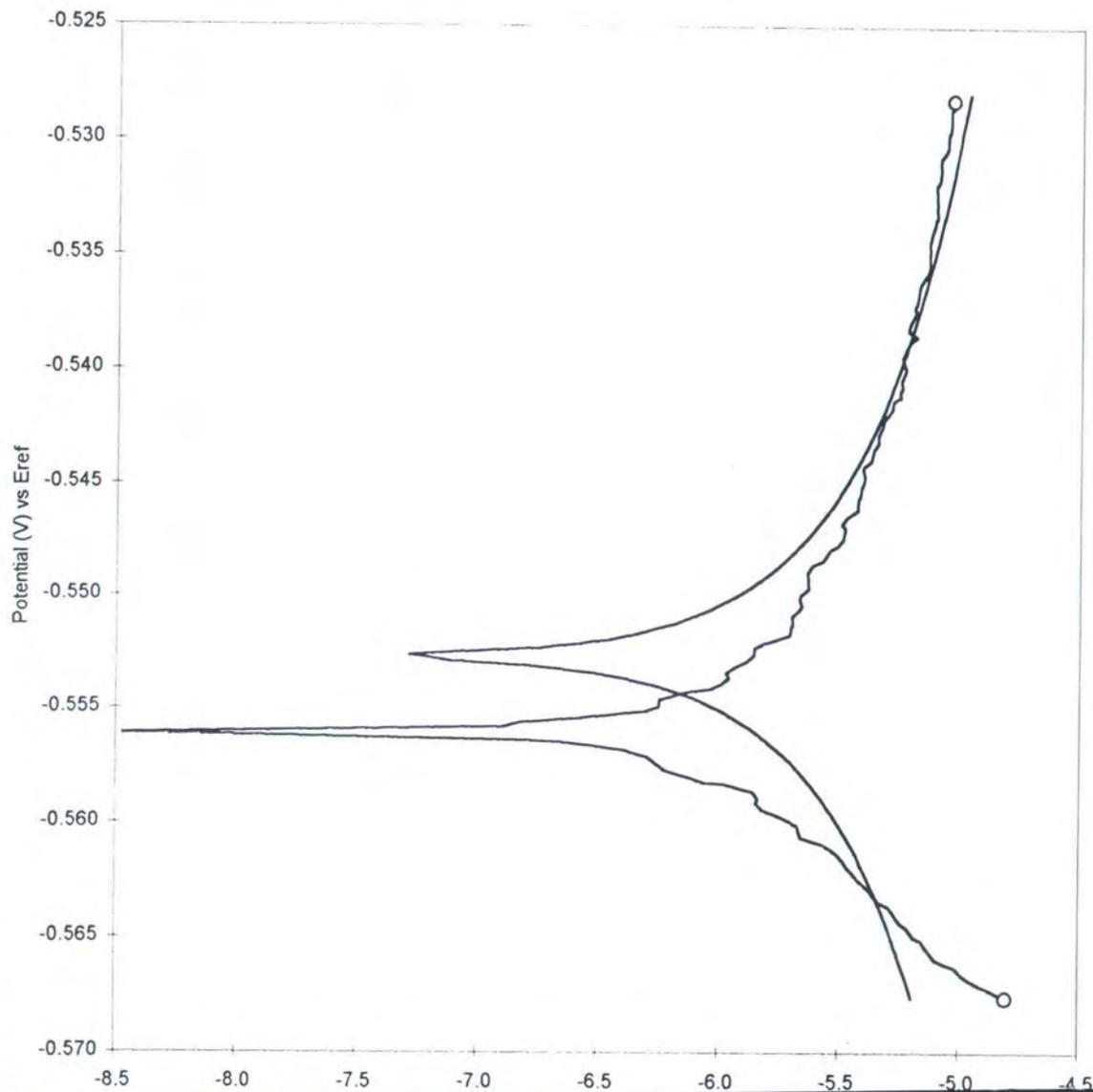
NOTES

Sample 3  
Cat Kansai  
Pengujian 2

POLRES RESULTS

Region = -725.6 mV to -686.1 mV  
BetaC = 26.6350 V/Decade  
BetaA = 26.6350 V/Decade  
Ecorr = -714.2 mV  
Icorr = 3.094E-05 A/cm2  
Rp = 1.869E+05 Ohm cm2  
CorrRate = 0.359 mm/yr

Polarization Resistance  
'Wrapping;Sample 1;data2.dta' 9/30/2001-16:23:2

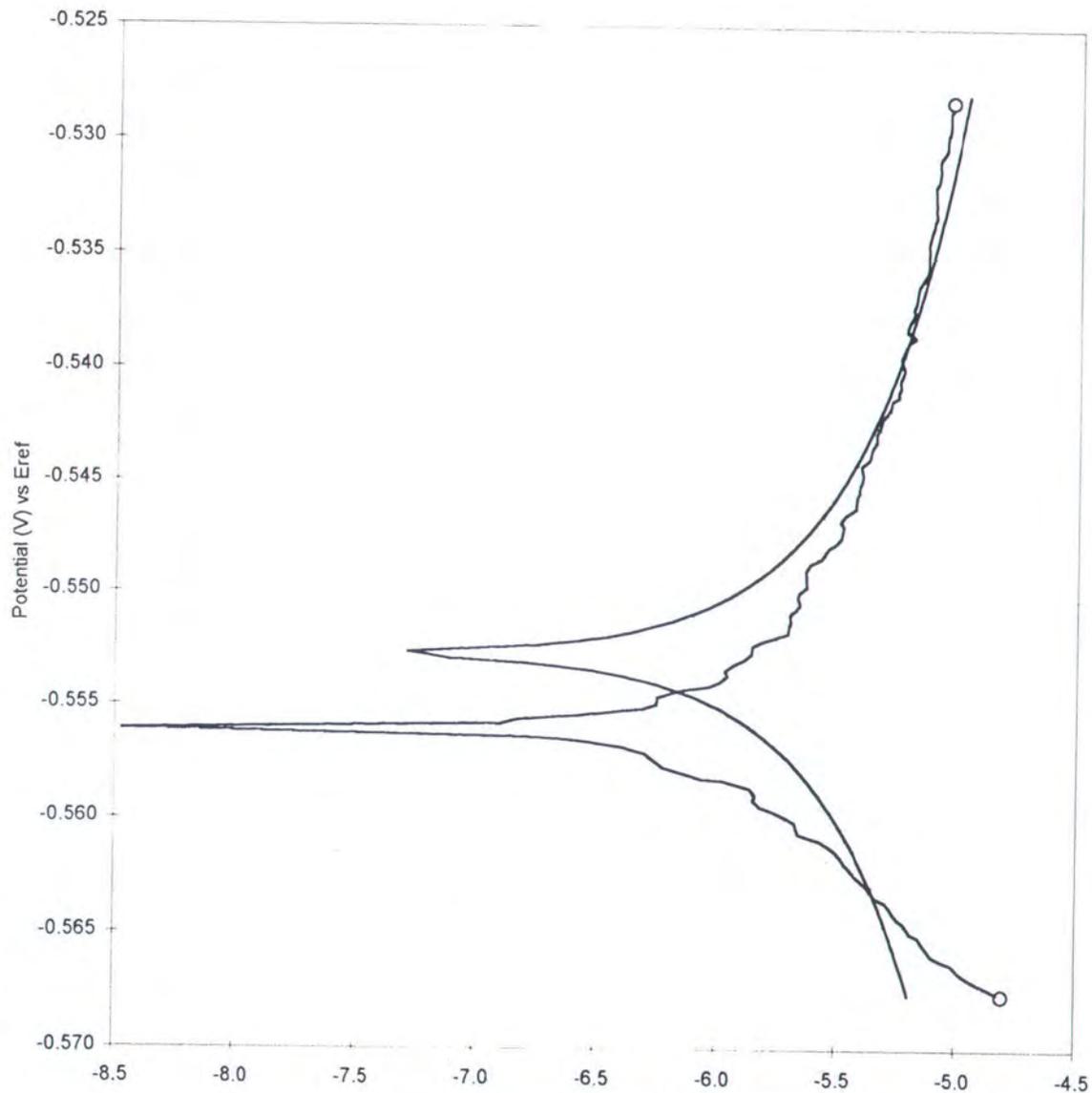


Pstat: MY01  
Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
EOC: -0.546222 V  
Area: 591.04 cm2  
Electrode: 7.87 gm/cm3, 27.92 g/Equiv  
Conditioning: OFF  
Delay: OFF  
IR Comp.: OFF

NOTES  
Sample 1  
Wrapping  
Penguian 2

POLRES RESULTS  
Region = -567.6 mV to -528.2 mV  
BetaC = 450.0 mV/Decade  
BetaA = 450.0 mV/Decade  
Ecorr = -552.7 mV  
Icorr = 4.210E-05 A/cm2  
Rp = 2.321E+03 Ohm cm2  
CorrRate = 0.489 mm/yr

Polarization Resistance  
'Wrapping.dta' 9/30/2001-16:23:2



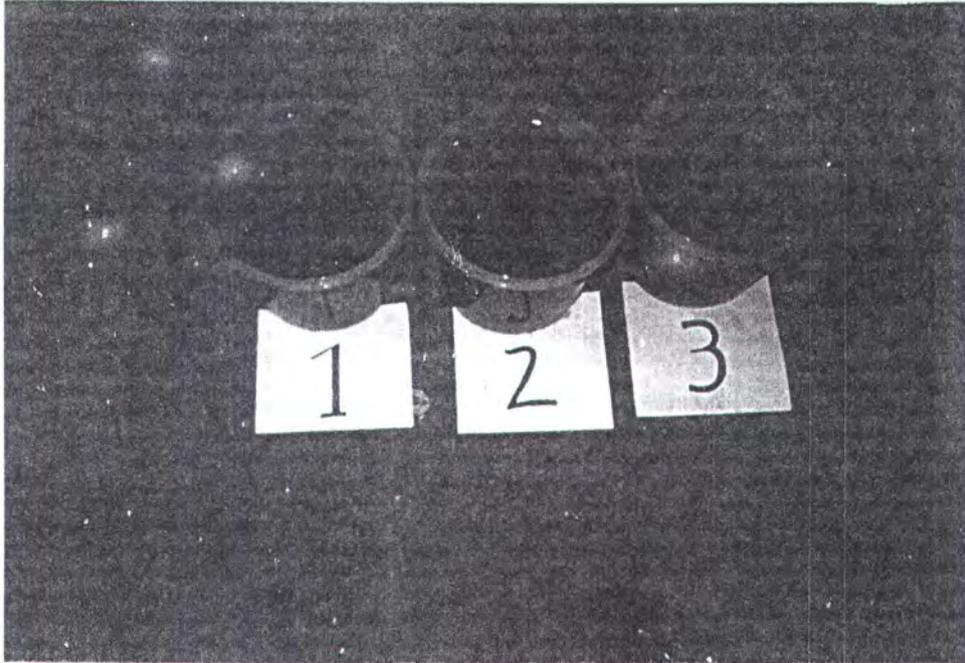
Pstat: MY01  
 Scan: -0.02 V to 0.02 V, 0.125 mV/s, 2 s/pt  
 EOC: -0.546222 V  
 Area: 591.04 cm<sup>2</sup>  
 Electrode: 7.87 gm/cm<sup>3</sup>, 27.92 g/Equiv  
 Conditioning: OFF  
 Delay: OFF  
 IR Comp.: OFF

NOTES

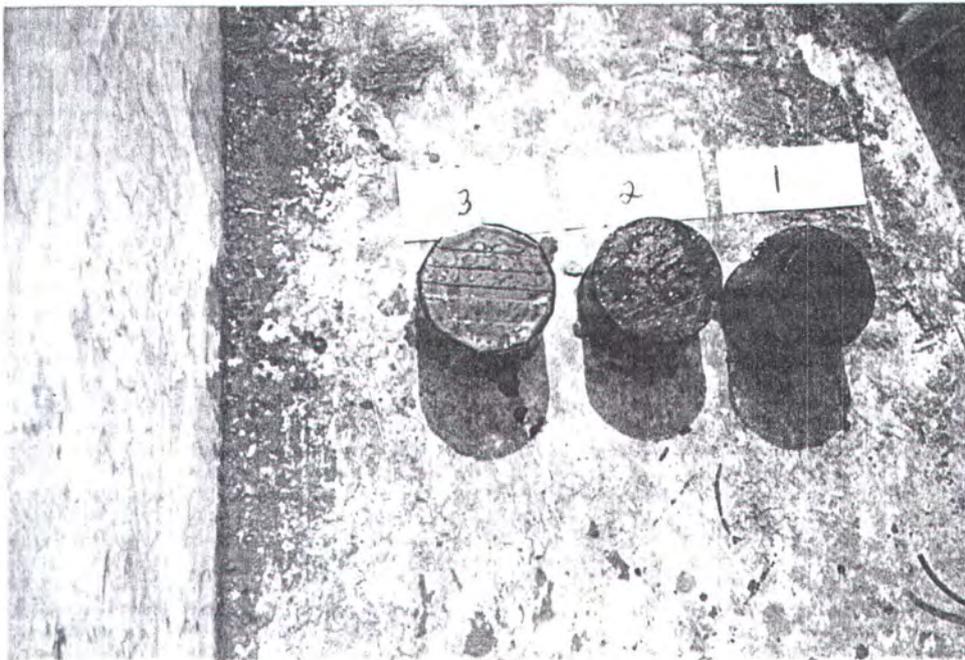
Sample 2  
 Wrapping  
 Pengujian 2

POLRES RESULTS

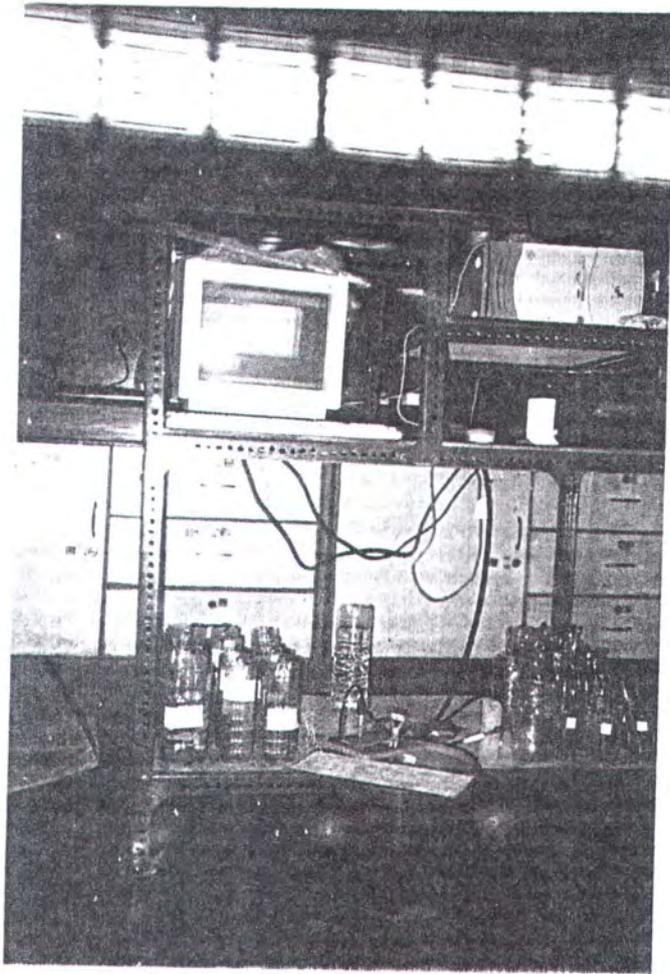
Region = -567.6 mV to -528.2 mV  
 BetaC = 350.0 mV/Decade  
 BetaA = 350.0 mV/Decade  
 Ecorr = -552.7 mV  
 Icorr = 3.274E-05 A/cm<sup>2</sup>  
 Rp = 2.321E+03 Ohm cm<sup>2</sup>  
 CorrRate = 0.380 mm/yr



Proses perendaman spesimen uji dalam media air laut



Proses peletakan spesimen uji di udara bebas (penjemuran)



Proses pengujian di Laboratorium